

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - Υ.Π.ΕΝ.  
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ  
ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ  
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-6/2022

Βιοκλιματικός σχεδιασμός  
στον ελλαδικό χώρο

Α' έκδοση

Αθήνα, Φεβρουάριος 2022

## Ομάδα Εργασίας για την σύνταξη της παρούσας Τεχνικής Οδηγίας

Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα
Αλεξανδρή Ελευθερία	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Λάσκος Κωνσταντίνος	Πολιτικός Μηχανικός
Παπαθανασόπουλος Στέφανος	Αρχιτέκτων Μηχανικός
Τσαγκρασούλης Αριστείδης	Δρ. Φυσικός
Χατζηδημητρίου Αγγελική	Δρ. Αρχιτέκτων Μηχανικός

## Συνεργάστηκαν

Όνοματεπώνυμο	Ειδικότητα
Λαμπροπούλου Λένα	Αρχιτέκτων Μηχανικός

## Πρόλογος

Κείμενο για διαβούλευση

## Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Εισαγωγή.....	1
<b>1. Βασικές έννοιες βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων .....</b>	<b>3</b>
1.1. Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	3
1.1.1. Παθητική θέρμανση .....	4
1.1.2. Φυσικός δροσισμός .....	4
1.1.3. Φυσικός φωτισμός .....	4
1.1.4. Μικροκλίμα κτιρίου .....	5
1.2. Στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	5
1.2.1. Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ...	5
1.2.2. Συνθήκες άνεσης .....	7
1.3. Περιβαλλοντικές παράμετροι .....	8
1.3.1. Κλίμα.....	8
1.3.2. Θερμοκρασία και υγρασία .....	9
1.3.3. Ηλιακή γεωμετρία και ακτινοβολία.....	11
1.3.4. Άνεμος .....	15
1.4. Παράμετροι σχεδιασμού.....	17
1.4.1. Διάταξη κτιρίου, μορφολογία, γεωμετρικές αναλογίες .....	17
1.4.2. Χωροθέτηση ανοιγμάτων, μέγεθος, προσανατολισμός.....	17
1.4.3. Ηλιοπροστασία ανοιγμάτων.....	18
1.4.4. Ιδιότητες διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων .....	19
1.4.5. Διάταξη εσωτερικών χώρων .....	19
1.4.6. Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου .....	21
<b>2. Αξιολόγηση σχεδιασμού κελύφους .....</b>	<b>22</b>
2.1. Μορφολογία κτιρίου.....	22
2.1.1. Δείκτης συμπαγούς μορφής .....	22
2.1.2. Προσανατολισμός και αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας.....	25
2.1.3. Μέγιστα βάθη $D_{max}$ των διάφορων τμημάτων του κτιρίου.....	30
2.2. Στατικά ενεργειακά χαρακτηριστικά κτιρίου.....	32
2.2.1. Συντελεστής θερμικών ροών .....	32
2.2.2. Θερμοχωρητικότητα.....	37
2.2.3. Χρονική σταθερά .....	39
2.2.4. Συντελεστές αξιοποίησης κερδών και απωλειών.....	39

2.3.	Αδιαφανή δομικά στοιχεία .....	45
2.3.1.	Θερμομόνωση .....	45
2.3.2.	Θερμοχρωρτικότητα δομικού στοιχείου .....	47
2.3.3.	Απορροφητικότητα και ικανότητα εκπομπής .....	50
2.4.	Διαφανή δομικά στοιχεία .....	53
2.4.1.	Τεχνικά χαρακτηριστικά .....	53
2.4.2.	Ενεργειακή απόδοση διαφανών στοιχείων.....	60
2.5.	Αναλογία ανοιγμάτων .....	69
<b>3.</b>	<b>Παθητική θέρμανση .....</b>	<b>73</b>
3.1.	Τεχνικές παθητικής θέρμανσης .....	73
3.2.	Σύστημα άμεσου κέρδους.....	76
3.2.1.	Νότια ανοίγματα.....	76
3.3.	Συστήματα έμμεσου κέρδους .....	78
3.3.1.	Τοίχος θερμικής μάζας .....	78
3.3.2.	Τοίχος Trombe .....	79
3.3.3.	Αδιαφανής τοιχοποιία με διαφανή θερμομόνωση .....	81
3.3.4.	Ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο .....	82
3.4.	Συστήματα απομονωμένου κέρδους .....	84
3.4.1.	Θερμοσιφωνικό πανέλο ή ηλιακός συλλέκτης θέρμανσης αέρα (αεροσυλλέκτης) ...	84
3.5.	Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων θέρμανσης .....	85
<b>4.</b>	<b>Φυσικός δροσισμός .....</b>	<b>97</b>
4.1.	Τεχνικές φυσικού δροσισμού .....	97
4.2.	Ηλιοπροστασία.....	99
4.2.1.	Συστήματα ηλιοπροστασίας .....	99
4.2.2.	Σχεδιασμός συστήματος ηλιοπροστασίας .....	100
4.2.3.	Συντελεστές σκίασης .....	111
4.2.4.	Ηλιοπροστασία ανοιγμάτων και ενεργειακό ισοζύγιο .....	113
4.3.	Φυσικός αερισμός.....	116
4.3.1.	Είδη ανοιγμάτων και εμβαδόν αερισμού.....	118
4.3.2.	Υπολογισμός αερισμού για κτιριακή μονάδα .....	121
4.3.3.	Υπολογισμός αερισμού για δωμάτιο.....	122
4.3.4.	Νυχτερινός αερισμός.....	123
4.4.	Δροσισμός με ακτινοβολία .....	123
4.5.	Δροσισμός με εξάτμιση.....	124
4.6.	Δροσισμός μέσω του εδάφους .....	125

4.7.	Διπλό κέλυφος.....	125
<b>5.</b>	<b>Φυσικός φωτισμός .....</b>	<b>127</b>
5.1.	Τεχνικές βελτίωσης φυσικού φωτισμού.....	127
5.2.	Εξέλιξη απαιτήσεων φυσικού φωτισμού στα κτίρια .....	128
5.3.	Εκτίμηση διαθεσιμότητας φυσικού φωτισμού στα κτίρια .....	129
5.3.1.	Παράγοντας φυσικού φωτισμού .....	129
5.3.2.	Αυτονομία φυσικού φωτισμού .....	130
5.4.	Γενικές αρχές σχεδιασμού .....	131
5.4.1.	Μορφολογία κτιρίου .....	132
5.4.2.	Προσανατολισμός.....	133
5.4.3.	Κατακόρυφα ανοίγματα .....	134
5.4.4.	Οριζόντια ανοίγματα .....	136
5.4.5.	Γεωμετρία χώρου .....	136
5.4.6.	Υαλοπίνακες.....	137
5.5.	Συστήματα φυσικού φωτισμού .....	138
5.5.1.	Περσίδες .....	139
5.5.2.	Ράφι φωτισμού .....	139
5.5.3.	Πρισματικοί ακρυλικοί υαλοπίνακες.....	140
5.5.4.	Ολογραφικά υμένια.....	141
5.5.5.	Φωτοσωλήνες.....	142
<b>6.</b>	<b>Μικροκλίμα.....</b>	<b>144</b>
6.1.	Τεχνικές βελτίωσης μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου.....	144
6.1.1.	Προσανατολισμός κτιρίου και θέση του στο οικόπεδο .....	146
6.1.2.	Επίδραση υλικών στο μικροκλίμα .....	146
6.1.3.	Βλάστηση, πράσινη υποδομή και πόλεις .....	149
6.2.	Φυτεύσεις στο κέλυφος του κτιρίου.....	152
6.2.1.	Φυτεύσεις σε δώματα .....	153
6.2.2.	Φυτεύσεις σε όψεις.....	154
<b>7.</b>	<b>Αειφορικός σχεδιασμός.....</b>	<b>157</b>
7.1.	Βασικές έννοιες .....	157
7.2.	Παρελθόν – παρόν - μέλλον.....	160
<b>Παράρτημα Α.</b>	<b>Θερμικές απώλειες κτιρίου .....</b>	<b>161</b>
<b>Παράρτημα Β.</b>	<b>Συντελεστής αξιοποίησης κερδών &amp; απωλειών .....</b>	<b>163</b>
<b>Παράρτημα Γ.</b>	<b>Ηλιακά κέρδη αδιαφανών δομικών στοιχείων.....</b>	<b>168</b>
Γ.1.	Ηλιακά κέρδη αδιαφανών δομικών στοιχείων.....	168

Γ.2. Ενεργειακό ισοζύγιο ηλιακών κερδών αδιαφανών δομικών στοιχείων .....	169
<b>Παράρτημα Δ. Εποχική απόδοση διαφανών δομικών στοιχείων .....</b>	<b>170</b>
Δ.1. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου θέρμανσης .....	170
Δ.2. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου ψύξης .....	172
Δ.3. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου θέρμανσης-ψύξης	173
<b>Παράρτημα Ε. Δείκτες κλιματικών παραμέτρων .....</b>	<b>174</b>
<b>Παράρτημα ΣΤ. Προσανατολισμός και γωνία αζιμουθίου .....</b>	<b>177</b>
<b>Παράρτημα Ζ. Επιρροή φυτεμένων δωματίων και όψεων στο μικροκλίμα.....</b>	<b>178</b>
<b>Πίνακας ορολογίας .....</b>	<b>183</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>187</b>

## Εισαγωγή

Καίρια σύγχρονα ζητήματα, όπως η κλιματική αλλαγή, η κατασπατάληση φυσικών πόρων και η υποβάθμιση του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, σχετίζονται άμεσα με την κατασκευή και τη λειτουργία των κτιρίων σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Ο σχεδιασμός των κτιρίων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων. Η προσέγγιση του βιοκλιματικού σχεδιασμού στοχεύει στην ανακατεύθυνση των αρχών σχεδιασμού του δομημένου περιβάλλοντος προς αειφορικές λύσεις, που περιλαμβάνουν την αξιοποίηση τοπικών ιδιαιτεροτήτων και κλιματικών συνθηκών, την ορθή διαχείριση φυσικών πόρων, τη συνεισφορά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την υιοθέτηση τεχνικών και υλικών που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον ή την υγεία των ανθρώπων.

Η παρούσα Τεχνική Οδηγία αποσκοπεί στην ανασκόπηση των διαθέσιμων στοιχείων, των δυνατοτήτων και των περιορισμών της εφαρμογής των αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού στα κτίρια, στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, με άξονα την αξιοποίηση σχεδιαστικών επιλογών για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, λαμβάνοντας υπόψη και την ανάγκη τεκμηρίωσης των σχεδιαστικών επιλογών των μελετών ενεργειακής απόδοσης κτιρίων.

Σκοπός της Οδηγίας είναι πολλαπλός:

- να καθορίσει μια κοινή ορολογία και «γλώσσα» για όλους τους μηχανικούς που συνεργάζονται για την σύνταξη μιας Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης,
- να εξηγήσει ουσιώδεις και βασικές αρχές που χρησιμοποιούνται από άλλες Τεχνικές Οδηγίες και το εθνικό λογισμικό βάσης υπολογισμών ΤΕΕ-Κ.Εν.Α.Κ.,
- να προσφέρει στον μελετητή αξιοποιήσιμα εργαλεία για το σχεδιασμό καθώς και για τις αποφάσεις κατά τη σύνθεση για την πρακτική ενσωμάτωση βιοκλιματικών στοιχείων σε κτίρια τόσο του αστικού χώρου όσο και της εκτός σχεδίου δόμησης,
- να λειτουργήσει επικουρικά στις υφιστάμενες Τεχνικές Οδηγίες για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και να καλύψει την τεκμηρίωση ζητημάτων που αφορούν:
  - σε επιλογές σχεδιασμού, χωροθέτησης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων και συστημάτων όπως ανοίγματα και συστήματα ηλιοπροστασίας, γεωμετρικές αναλογίες κελύφους, μέγεθος, θέση και προσανατολισμός ανοιγμάτων, που ήδη λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς του λογισμικού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ, όμως δεν αξιολογούνται πλήρως, λόγω της σχεδιαστικής ταύτισης με το κτίριο αναφοράς.
  - σε επιλογές σχεδιασμού, χωροθέτησης και διαστασιολόγησης δομικών στοιχείων και συστημάτων που ως τώρα δεν λαμβάνονταν υπόψη στους υπολογισμούς του λογισμικού ΤΕΕ Κ.Εν.Α.Κ. (αλλά πλέον λαμβάνονται), όπως παθητικά ηλιακά συστήματα, φυτεμένα δώματα και φυτεύσεις σε κατακόρυφες επιφάνειες.
  - τον τρόπο διαχείρισης και τον υπολογισμό ποσοτικών δεδομένων για επιλογές σχεδιασμού και συστήματα που δεν λαμβάνονται στους υπολογισμούς του λογισμικού ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ, όπως η επίδραση του διαμερούς αερισμού, του νυχτερινού δροσισμού κ.ά.

Η οδηγία αντιμετωπίζει το βιοκλιματικό σχεδιασμό του κτιρίου, που αφορά κυρίως την ενεργειακή του συμπεριφορά, ως ένα υποσύνολο του αειφορικού σχεδιασμού, όπως αναλύεται και στο τελευταίο κεφάλαιο.



Η Τεχνική Οδηγία διαρθρώνεται σε επτά ενότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν συνοπτικά τις κυριότερες παραμέτρους του βιοκλιματικού σχεδιασμού για τα κτίρια, καθώς και συγκριτικά αποτελέσματα ποσοτικών δεδομένων που προκύπτουν από τις διάφορες επιλογές σχεδιασμού.

Στην πρώτη ενότητα αναπτύσσονται οι βασικές αρχές και οι στόχοι του βιοκλιματικού σχεδιασμού καθώς και οι κύριες περιβαλλοντικές παράμετροι και σχεδιαστικές επιλογές που επηρεάζουν την περιβαλλοντική και ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων.

Στη δεύτερη ενότητα διερευνώνται μέθοδοι αξιολόγησης της απόδοσης του κελύφους ως προς τον σχεδιασμό του και τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του. Δίνονται απλοποιητικές σχέσεις συσχέτισης απωλειών και ηλιακών κερδών, με αντίστοιχα παραδείγματα και νομογράμματα, ώστε ο/η μελετητής/ήτρια να μπορεί, με τη χρήση τους κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου, να λαμβάνει εύκολα αποφάσεις σχετικά με τη βιοκλιματική στρατηγική που θα ακολουθήσει.

Στην τρίτη ενότητα αναφέρονται οι μέθοδοι παθητικής θέρμανσης των κτιρίων και οι σχεδιαστικές επιλογές που ενισχύουν τα ηλιακά κέρδη και περιορίζουν τις θερμικές απώλειες. Επίσης, παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκριτικά αποτελέσματα της χωροθέτησης ανοιγμάτων με διαφορετικό μέγεθος και προσανατολισμό και της εφαρμογής διαφορετικών παθητικών ηλιακών συστημάτων σε τυπικό κτίριο ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη.

Στην τέταρτη ενότητα αναφέρονται οι μέθοδοι φυσικού δροσισμού των κτιρίων και οι σχεδιαστικές επιλογές που περιορίζουν τα θερμικά κέρδη, αξιοποιούν τη θερμική μάζα των δομικών στοιχείων για τη συγκράτηση θερμότητας και ενισχύουν την αποβολή θερμότητας. Επίσης παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκριτικά αποτελέσματα της εφαρμογής διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας και διαφορετικών μεθόδων φυσικού αερισμού σε τυπικό κτίριο ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη.

Στην πέμπτη ενότητα αναφέρονται μέθοδοι ενίσχυσης του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων και σχεδιαστικές επιλογές μεγέθους και χωροθέτηση ανοιγμάτων, διαχείρισης ιδιοτήτων επιφανειών και προσθήκης συμπληρωματικών συστημάτων.

Στην έκτη ενότητα αναφέρονται μέθοδοι βελτίωσης του μικροκλίματος στο περιβάλλον των κτιρίων και σχεδιαστικές επιλογές για τη διαχείριση των συνθήκων στον υπαίθριο χώρο που συνεπικουρούν στη μείωση των απαιτήσεων ψύξης ή και θέρμανσης των κτιρίων. Επίσης, παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκριτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων της εφαρμογής φυτεμένων δωμαίων και κατακόρυφων φυτεύσεων σε όψεις διαφορετικού προσανατολισμού σε τυπικό κτίριο ως προς τη μεταβολή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος εξωτερικά του κελύφους του κτιρίου.

Στην τελευταία ενότητα γίνεται μια σύντομη αναφορά σε ορισμένες επιπλέον παραμέτρους του σχεδιασμού που αφορούν στη διαχείριση των υλικών με κριτήριο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο σύνολο του κύκλου ζωής τους.

Περιλαμβάνονται επίσης επτά παραρτήματα τα οποία περιέχουν πρόσθετες τεχνικές πληροφορίες και λεπτομέρειες, αναλυτικές υπολογιστικές σχέσεις και μεθόδους τεκμηρίωσης.

## 1. Βασικές έννοιες βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων

### 1.1. Αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποσκοπεί στην εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων, με την αξιοποίηση του τοπικού κλίματος στο περιβάλλον τους, με τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση συμβατικών μορφών ενέργειας.

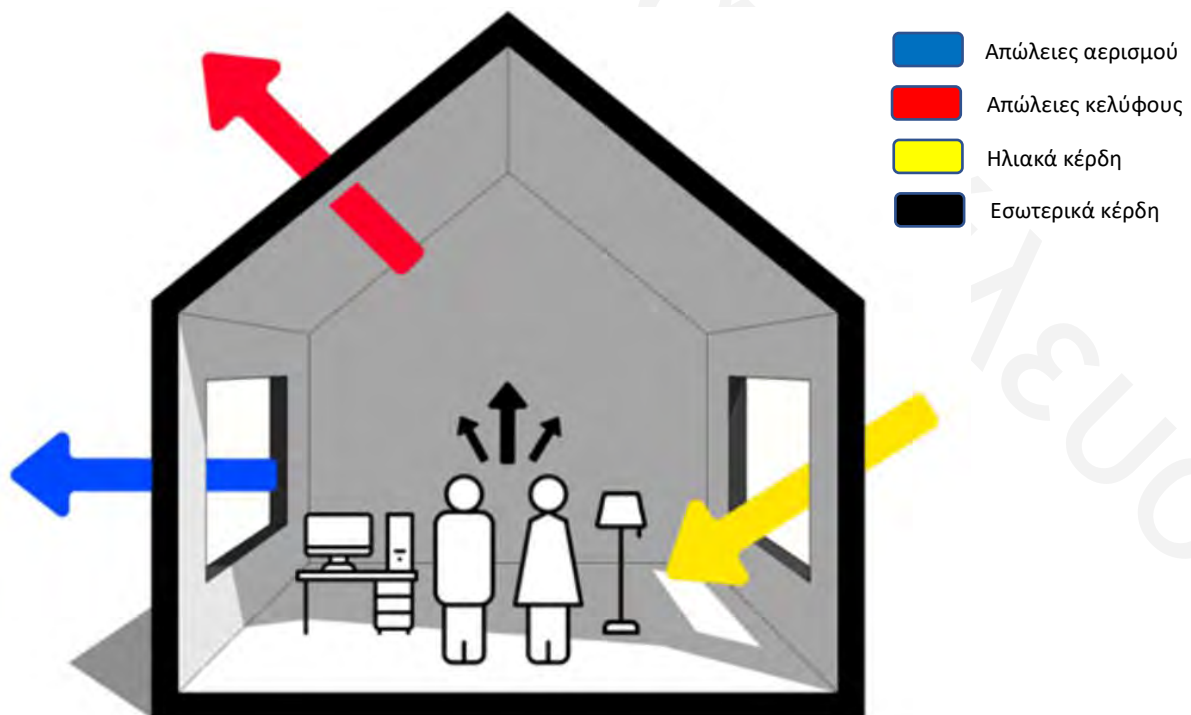
Σύμφωνα με τον ΝΟΚ (2012):

*“Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός του κτιρίου που αποσκοπεί στη βέλτιστη εκμετάλλευση των φυσικών και κλιματολογικών συνθηκών με σκοπό να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας”*

ενώ

*“Βιοκλιματικό κτίριο ονομάζεται ένα κτίριο που ανταποκρίνεται στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντός του, καθώς έχει σχεδιαστεί με τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες θερμικής άνεσης και ποιότητας αέρα κατά τη διάρκεια όλου του έτους, με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και κατατάσσεται στις ανώτερες ενεργειακά κατηγορίες όπως αυτές κάθε φορά ορίζονται”.*

Για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται στην διαχείριση του ενεργειακού ισοζυγίου του κτιρίου (Εικόνα 1-1) ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες σε διαφορετικές περιόδους του έτους. Στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας απαιτούνται μέτρα για την θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για τον δροσισμό τους τη θερινή περίοδο.



Εικόνα 1-1: Ενεργειακό ισοζύγιο κτιρίου

### 1.1.1. Παθητική θέρμανση

Για την εξασφάλιση χαμηλών απαιτήσεων θέρμανσης των κτιρίων κατά την ψυχρή περίοδο του έτους ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται:

- στην αξιοποίηση των ηλιακών κερδών, της ενέργειας δηλαδή που μπορεί να αξιοποιηθεί από την ηλιακή ακτινοβολία,
- στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών από το κέλυφος, μέσω της θερμομόνωσης και της αεροστεγανότητας των δομικών στοιχείων,
- στην προστασία του κτιρίου από ψυχρούς, χειμερινούς ανέμους.

### 1.1.2. Φυσικός δροσισμός

Για την εξασφάλιση χαμηλών απαιτήσεων ψύξης των κτιρίων κατά τη θερμή περίοδο του έτους ο βιοκλιματικός σχεδιασμός βασίζεται:

- στην ελαχιστοποίηση των ηλιακών κερδών, μέσω της προστασίας από την ηλιακή ακτινοβολία,
- στην ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών από το κέλυφος, μέσω της θερμομόνωσης και της αεροστεγανότητας των δομικών στοιχείων,
- στην μείωση των εξωτερικών θερμοκρασιών, μέσω της βελτίωσης του μικροκλίματος του περιβάλλοντα χώρου,
- στην ενίσχυση της αποβολής θερμότητας, μέσω φυσικού αερισμού. Για το δροσισμό μέσω φυσικού αερισμού ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αξιοποιεί τους δροσερούς ανέμους τη θερινή περίοδο και τη θερμική μάζα των δομικών στοιχείων, σε συνδυασμό με την εφαρμογή νυχτερινού αερισμού όταν είναι εφικτό,
- στην ενίσχυση της αποβολής θερμότητας μέσω ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας με χρήση υλικών υψηλής ικανότητας εκπομπής σε θέσεις με θέαση προς τον ουρανό,
- στην ενίσχυση της αποβολής θερμότητας μέσω εξάτμισης είτε μέσω επιφανειακής φύτευσης είτε μέσω υδάτινων στοιχείων.

### 1.1.3. Φυσικός φωτισμός

Ο φυσικός φωτισμός των εσωτερικών χώρων των κτιρίων αναβαθμίζει την ποιότητα των συνθηκών διαβίωσης, μειώνει τις απαιτήσεις σε ενέργεια για τεχνητό φωτισμό και τις απαιτήσεις σε ενέργεια για ψύξη, μέσω της μείωσης των εσωτερικών θερμικών κερδών από τεχνητό φωτισμό. Για την εξασφάλιση οπτικής άνεσης στους εσωτερικούς χώρους με φυσικό φωτισμό, ο σχεδιασμός βασίζεται:

- στον σωστό προσανατολισμό του κτιρίου,
- στην επαρκή διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων,
- στη ορθή επιλογή υαλώσεων,
- στις χρωματικές επιλογές του χώρου,
- στη πρόβλεψη κινητής εσωτερικής ηλιοπροστασίας για την αποφυγή θάμβωσης,
- στην κατανομή των επιπέδων εργασίας ή άλλων επιφανειών, ανάλογα με τη χρήση του χώρου.

### 1.1.4. Μικροκλίμα κτιρίου

Η βελτίωση του μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου βασίζεται στη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου και αποσκοπεί στη ρύθμιση της εξωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας, στη διαχείριση της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και της ροής του ανέμου, ώστε να μειώνει την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου, τόσο τη χειμερινή όσο και τη θερινή περίοδο. Πιο αναλυτικά:

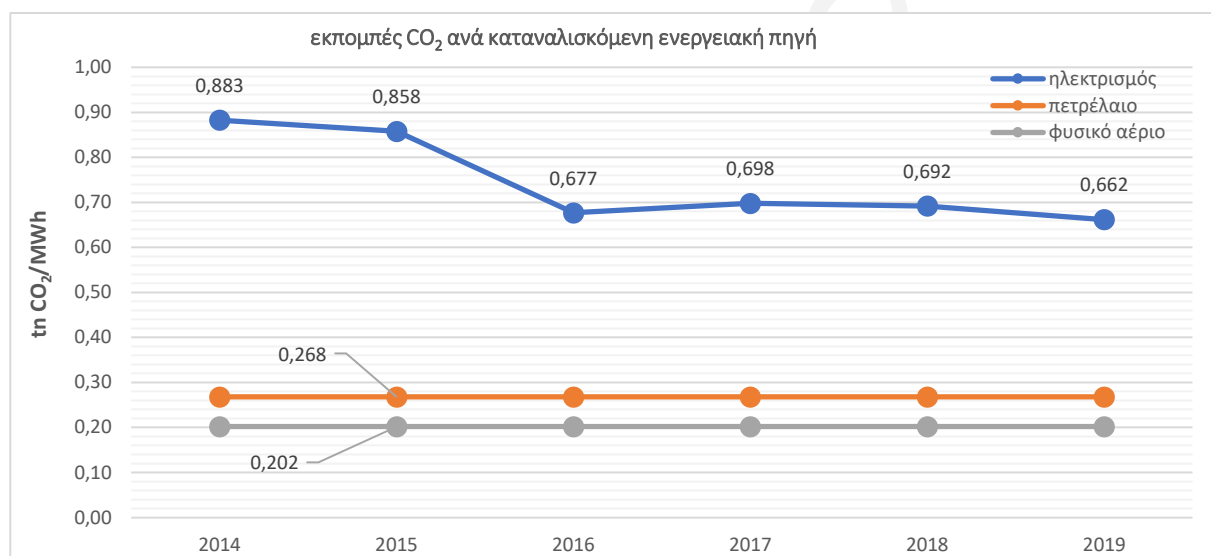
- τη θερινή περίοδο, η διαμόρφωση εστιάζει, στην ηλιοπροστασία εξωτερικών επιφανειών και την ενίσχυση ή διευθέτηση της ροής του ανέμου, με στόχο τη μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου,
- κατά τη χειμερινή περίοδο, η βελτίωση στοχεύει κυρίως στην ανεμοπροστασία των υπαίθριων χώρων και του κελύφους των κτιρίων, προκειμένου να επιτευχθεί μείωση των απαιτήσεων σε ενέργεια για θέρμανση.

## 1.2. Στόχοι βιοκλιματικού σχεδιασμού

### 1.2.1. Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια κατά τη λειτουργία τους πραγματοποιείται για την επίτευξη συνθηκών θερμικής άνεσης με συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης των εσωτερικών χώρων τη χειμερινή και θερινή περίοδο, αντίστοιχα, την κάλυψη των απαιτήσεων οπτικής άνεσης με τεχνητό φωτισμό και στις περισσότερες χρήσεις κτιρίων την εξασφάλιση της ποιότητας αέρα με μηχανικό αερισμό.

Η προσέγγιση του βιοκλιματικού σχεδιασμού εστιάζει κατ' αρχάς στη μείωση των απαιτήσεων των κτιρίων για κατανάλωση ενέργειας μέσω της διαχείρισης παραμέτρων σχεδιασμού, και εν συνεχεία στην αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των απαραίτητων ενεργειακών φορτίων. Η προσέγγιση αυτή στοχεύει να περιορίσει την κατανάλωση συμβατικών μορφών ενέργειας σε μικρές χρονικές περιόδους και ακραίες καιρικές συνθήκες, ώστε να ελαχιστοποιήσει την παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου, που προέρχονται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και σχετίζονται με την επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 1-2. Χρονική εξέλιξη ισοδύναμων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά τύπο καταναλισκόμενης ενέργειας (πηγή εθνικών στοιχείων για ηλεκτρισμό: NIR και για φυσικό αέριο και πετρέλαιο θέρμανσης: IPCC)

Τέλος, σημαντικό ρόλο παίζει και η επιλογή της πηγής ενέργειας για την επικουρική θέρμανση / ψύξη του κτιρίου με Η/Μ συστήματα, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη συγκεκριμένη πηγή. Για παράδειγμα, το φυσικό αέριο παράγει χαμηλότερες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το πετρέλαιο ή τον ηλεκτρισμό. Στην [Εικόνα 1-2](#) παρατηρείται όμως ότι, παρότι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εκπέμπει περισσότερα αέρια του θερμοκηπίου, η τάση της αυτή είναι πτωτική, καθώς διεισδύει όλο και μεγαλύτερο ποσοστό ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

Σύμφωνα με το [\(ISO 52000-1, 2017\)](#) η χρήση ενός μόνο δείκτη για τον προσδιορισμό των κτιρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (nearly Zero Energy Building, NZEB), όπως ο δείκτης των απαιτήσεων πρωτογενούς ενέργειας, μπορεί να είναι παραπλανητική, επομένως προτείνεται η χρήση συνδυασμού διαφορετικών απαιτήσεων για την αξιολόγηση των κτιρίων NZEB ώστε να προσαρμόζεται στον προσδιορισμό που δίνεται από την EPBD (2010/31 /EU) στο άρθρο 2:

*«Κτίριο σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας σημαίνει ένα κτίριο το οποίο έχει πολύ υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται θα πρέπει να καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από ανανεώσιμες πηγές που περιλαμβάνουν και επιτόπιες ή γειτονικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.»*

Επομένως NZEB σημαίνει ένα κτίριο πολύ υψηλής ενεργειακής απόδοσης, με πολύ χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης, ψύξης αερισμού, Ζ.Ν.Χ. και φωτισμού, σε σχέση με ένα τυπικό κτίριο ίδιας χρήσης, το οποίο λαμβάνει υπόψη:

- εσωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες (το εσώκλιμα του κτιρίου),
- θερμικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και των δομικών στοιχείων με σημαντική επίδραση στην ενεργειακή συμπεριφορά του κελύφους,
- ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις που βελτιστοποιούν τη αξιοποίηση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας,
- ενεργητικά συστήματα και συστήματα αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- κοινόχρηστα συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Το κτίριο NZEB χαρακτηρίζεται από έναν δείκτη κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας *EP* εκφρασμένο σε kWh/(m<sup>2</sup> yr) και με βάση μια μεθοδολογία αξιολογείται σταδιακά από τις απαιτήσεις μέχρι την συνολική ενεργειακή απόδοση εκφρασμένη σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας με ζητούμενο να καλύπτονται ορισμένες προδιαγραφές σε τέσσερα στάδια αξιολόγησης.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αποδοτικότητας του ίδιου του κτιρίου (κελύφους) όπως αντικατοπτρίζεται στις ενεργειακές ανάγκες/απαιτήσεις σε σχέση με τη χρήση και τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και συνοψολογίζει

- την ποιότητα του κελύφους (π.χ. θερμομόνωση, ανοίγματα),
- τον βιοκλιματικό σχεδιασμό (π.χ. ηλιακά κέρδη φυσικό φωτισμό),
- τη θερμική αδράνεια των θερμικών ζωνών,
- την εξασφάλιση της ποιότητας του εσωκλίματος και των εσωτερικών συνθηκών για την αποφυγή προβλημάτων πχ ανεπαρκούς αερισμού, ποιότητας αέρα ή συμπύκνωσης υδρατμών.

Το δεύτερο στάδιο αφορά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των Η/Μ συστημάτων του κτιρίου, αντικατοπτρίζεται στην ενεργειακή κατανάλωση και συνοψολογίζει την κατανάλωση από διαφορετικά συστήματα εκφρασμένη ως συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας

Το τρίτο στάδιο αφορά τη συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χαρακτηρίζονται ως κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και συνοπολογίζει τον συμψηφισμό/την ανταποδοτικότητα μεταξύ διαφορετικών πηγών ενέργειας, την επίδραση της εξαγόμενης ενέργειας και λαμβάνει υπόψη μόνο την ενέργεια που καταναλώνεται στο κτίριο.

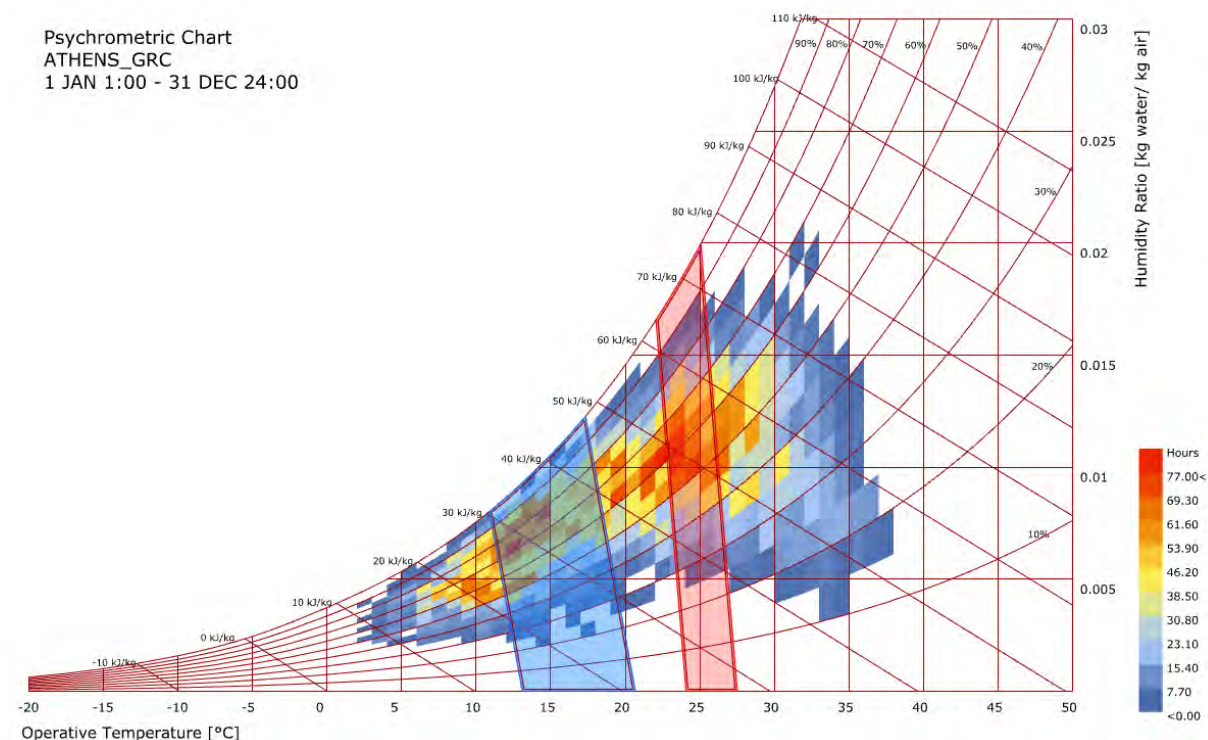
Το τέταρτο και τελικό στάδιο αφορά στην τελική αξιολόγηση του κτιρίου, των Η/Μ εγκαταστάσεων και τη χρήση Α.Π.Ε. και γίνεται με βάση τον δείκτη EP [kWh/(m<sup>2</sup> yr)] της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας που προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές

### 1.2.2. Συνθήκες άνεσης

Η εξασφάλιση άνεσης και υγιεινών συνθηκών διαβίωσης στο εσωτερικό των κτιρίων αποτελεί κύριο στόχο του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Οι συνθήκες άνεσης αφορούν στη θερμική, οπτική και ακουστική άνεση και στην ποιότητα του αέρα στους χώρους των κτιρίων.

#### Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση προσεγγίζεται ως μια κατάσταση που χαρακτηρίζει την αίσθηση ικανοποίησης από τις θερμικές συνθήκες ή την αντίληψη θερμικά ουδέτερων συνθηκών, εξαρτάται από την ανταλλαγή ενέργειας του ανθρωπίνου σώματος με το περιβάλλον του, αλλά κι από παράγοντες φυσιολογικής και ψυχολογικής προσαρμογής (Hoppe, 2002). Η αντίληψη της θερμικής άνεσης καθορίζεται αφενός από κλιματικούς παράγοντες, και συγκεκριμένα από τη θερμοκρασία αέρα, τη σχετική υγρασία, την ακτινοβολία, τις επιφανειακές θερμοκρασίες και τη ροή αέρα, αφετέρου από προσωπικούς παράγοντες, που διαφέρουν για κάθε άνθρωπο και συγκεκριμένα από το ρυθμό μεταβολισμού και την ένδυση (Auliciems & Szokolay, 1997).



Εικόνα 1-3. Ψυχομετρικό διάγραμμα – με μπλε χρώμα υποδεικνύεται η ζώνη συνθηκών άνεσης τον χειμώνα και με κόκκινο η ζώνη συνθηκών άνεσης για το καλοκαίρι

### Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση στον εσωτερικό των κτιρίων εξαρτάται από την επάρκεια φωτισμού, ανάλογα με την χρήση και τις λειτουργικές απαιτήσεις του εσωτερικού χώρου και την ομοιόμορφη κατανομή των επιπέδων φωτισμού για την ομαλή προσαρμογή της οπτικής αντίληψης των χρηστών και την αποφυγή θάμβωσης.

### Ακουστική άνεση

Η ακουστική άνεση αφορά κυρίως στην ένταση και την ποιότητα των ήχων που γίνονται αντιληπτοί στους χώρους των κτιρίων και σχετίζεται με τα επίπεδα θορύβου στο εξωτερικό περιβάλλον, τα υλικά του κελύφους, τη διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων και του περιβάλλοντος χώρου. Με αυτή τη λογική, ενδιάμεσοι χώροι μπορεί να λειτουργήσουν όχι μόνο ως στοιχεία κλιματικής προστασίας, αλλά και ακουστικής. Ένα στοιχείο νερού στον περιβάλλοντα χώρο μπορεί να λειτουργήσει όχι μόνο ως στοιχείο βελτίωσης του μικροκλίματος, αλλά και ως ηχητικό φράγμα σε ενοχλητικούς θορύβους.

### Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου

Η ποιότητα του αέρα στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων εξαρτάται από τα επίπεδα υγρασίας και τη συγκέντρωση ατμοσφαιρικών ρύπων όπως CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC) και αιωρούμενα σωματίδια. Οι εσωτερικοί ρύποι προέρχονται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, τα υλικά των δομικών στοιχείων, ιδιαίτερα των επιφανειακών, τα υλικά των επίπλων και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Μπορούν να απομακρυνθούν με κατάλληλο φυσικό αερισμό ή μηχανικό εξαερισμό, ενώ τοξικές πηγές (π.χ. δομικά υλικά με ισοκυανικές ενώσεις, χρώματα με πτητικές ενώσεις, έπιπλα με φορμαλδεΐδη κ.ο.κ.), είναι απαραίτητο να αποφεύγονται.

## 1.3. Περιβαλλοντικές παράμετροι

### 1.3.1. Κλίμα

Οι παράμετροι του κλίματος που επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου είναι:

- **Η θερμοκρασία του αέρα:** Η θερμοκρασία αέρα ακολουθεί μια χαρακτηριστική ημερήσια διακύμανση, σε άμεση σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία, με ελάχιστες τιμές το πρωί πριν την ανατολή του ήλιου και μέγιστες τιμές το απόγευμα λίγο αργότερα από τη μεσουράνηση. Στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, την άνοιξη και το φθινόπωρο συχνά η εξωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται εντός του εύρους των ορίων της θερμικής άνεσης για σημαντικά χρονικά διαστήματα. Είναι χαρακτηριστικό πως ένας μήνας την άνοιξη και ενάμιση μήνας το φθινόπωρο δεν περιλαμβάνονται ούτε στην περίοδο θέρμανσης ούτε στην περίοδο ψύξης για τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων των κτιρίων (16 Απριλίου με 14 Μαΐου και 16 Σεπτεμβρίου με 30 Οκτωβρίου για τις κλιματικές ζώνες Α και Β, ενώ για τις κλιματικές ζώνες Γ και Δ, 1 με 31 Μαΐου και 1 Σεπτεμβρίου με 14 Οκτωβρίου, σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1, ενότητα 3.3). Με το βιοκλιματικό σχεδιασμό, η περίοδος που δεν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου μπορεί να επιμηκυνθεί περισσότερο.
- **Η σχετική υγρασία:** Η σχετική υγρασία ακολουθεί παρόμοια ημερήσια διακύμανση με εκείνη της θερμοκρασίας, όμως με μέγιστες τιμές το πρωί και ελάχιστες τιμές το απόγευμα. Η σχετική υγρασία έχει μεγάλη επίδραση στην αίσθηση θερμική άνεσης, ειδικά τους θερινούς μήνες. Σε περιοχές με υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας, η θερμοκρασία θερμικής άνεσης είναι χαμηλότερη σε σχέση με περιοχές με χαμηλά επίπεδα. Σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία είναι αδύνατος ο δροσισμός μέσω εξάτμισης, ενώ σε περιοχές με χαμηλή σχετική υγρασία, η εξατμιστική ψύξη μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου.

- **Η ηλιακή ακτινοβολία:** Η ηλιακή ακτινοβολία διακρίνεται σε άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και οι ώρες ηλιοφάνειας σε μια περιοχή εξαρτώνται από την ηλιακή γεωμετρία και τη φαινόμενη τροχιά του ήλιου, ενώ καιρικά φαινόμενα όπως νεφοκάλυψη και υετός προκαλούν αποκλίσεις των τιμών από τον σταθερό ημερήσιο και ετήσιο κύκλο. Σε αστικές περιοχές η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζεται και από την ατμοσφαιρική ρύπανση. Από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει το κτίριο εξαρτάται τόσο η μείωση του θερμικού φορτίου το χειμώνα, όσο και η αύξηση του ψυκτικού το καλοκαίρι.
- **Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου:** Οι επικρατούντες άνεμοι σε μια περιοχή χαρακτηρίζονται από τη διεύθυνση και την ταχύτητά τους και διακρίνονται ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισής τους ανά εποχή ή ανά μήνα του έτους. Οι άνεμοι που επικρατούν τη χειμερινή περίοδο χαρακτηρίζονται ψυχροί και μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων, ενώ οι άνεμοι που επικρατούν τη θερινή περίοδο μπορούν να αξιοποιηθούν για τον δροσισμό των κτιρίων και των υπαίθριων χώρων.

Για το σχεδιασμό των κτιρίων λαμβάνονται υπόψη ετήσια κλιματικά δεδομένα που προέρχονται από επεξεργασία πολυετών μετρήσεων μετεωρολογικών σταθμών. Επειδή το μικροκλίμα κάθε περιοχής παρουσιάζει αποκλίσεις από τα κλιματικά δεδομένα του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού, είναι χρήσιμο να λαμβάνονται υπόψη και τοπικές μετρήσεις ή παρατηρήσεις, όπου είναι διαθέσιμες. Παρακάτω, αναλύονται οι βασικές αυτές κλιματικές παράμετροι, εστιάζοντας στο ελλαδικό κλίμα.

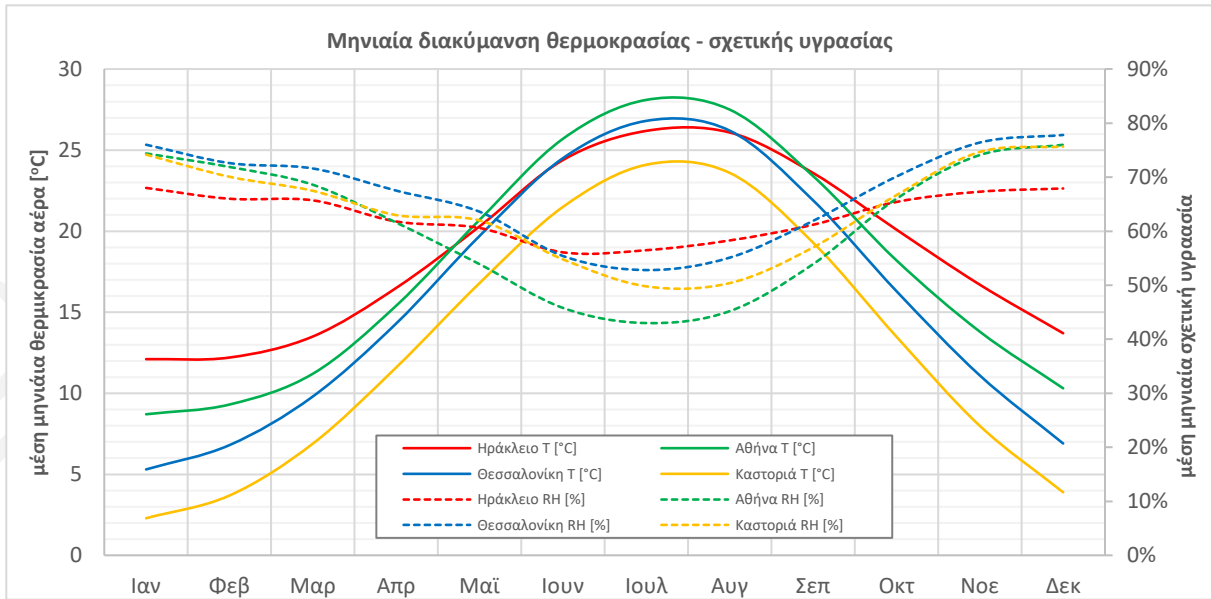
### 1.3.2. Θερμοκρασία και υγρασία

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως τυπικά μεσογειακό. Η πλούσια όμως τοπογραφία της δημιουργεί μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, στα πλαίσια του μεσογειακού κλίματος. Διακρίνονται τέσσερις κύριοι κλιματικοί τύποι (Ζερεφός & συνεργάτες, 2011):

- α) ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με τα χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια της Ελλάδος και στα Ιόνια Νησιά,
- β) ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που περιλαμβάνει τη ΝΑ Ελλάδα, μέρος της Στερεάς, τμήματα της Ανατολικής Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και της Κρήτης, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες από τα αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη του Ιονίου και τα Δωδεκάνησα,
- γ) ο Ηπειρωτικός Τύπος, στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας, ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών. Τα νησιά του Β. Αιγαίου παρουσιάζουν μεταβατικό τύπο ηπειρωτικού κλίματος προς χερσαίο.
- δ) ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα. Στους ορεινούς αυτούς όγκους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

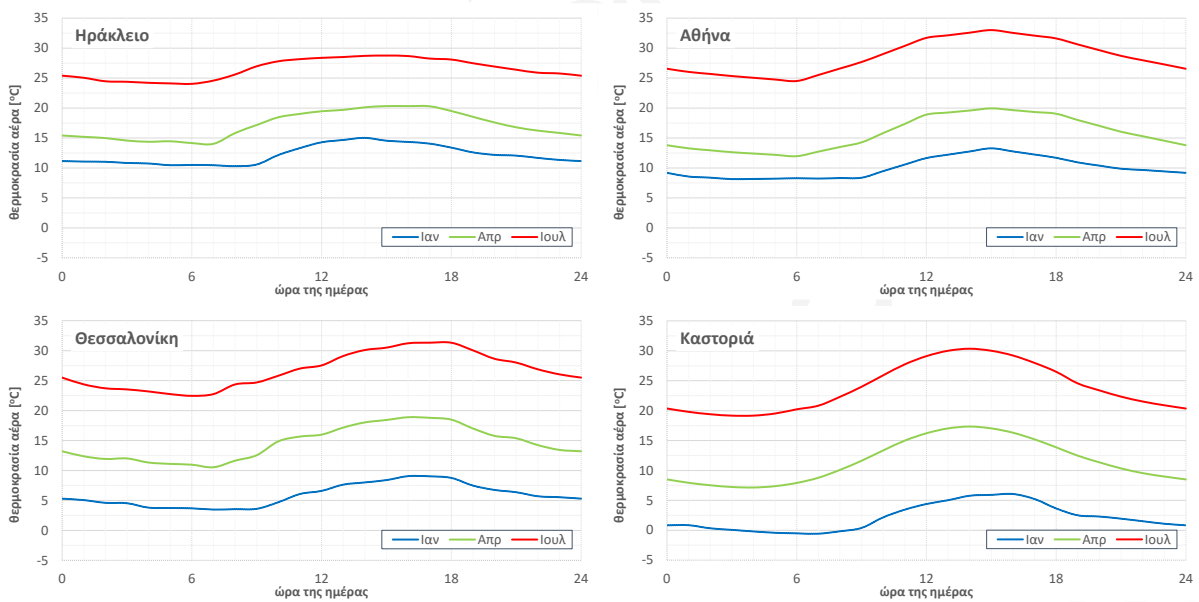
Πέραν της παραπάνω διάκρισης, η Ελλάδα με βάση τις βαθμομέρες θέρμανσης έχει χωρισθεί σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με την Α κλιματική ζώνη να είναι η πιο θερμή κλιματικά (Κρήτη, Κυκλάδες, το μεγαλύτερο τμήμα της Πελοποννήσου κ.α.) και την Δ κλιματική ζώνη η πιο ψυχρή (Δυτική Μακεδονία και τμήμα της Ανατολικής Μακεδονίας). Ο χωρισμός σε κλιματικές ζώνες δίνεται στον Κ.Εν.Α.Κ. καθώς και την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 2070-3:2010.





Εικόνα 1-4: Διακύμανση μηνιαίας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε αντιπροσωπευτικές πόλεις των τεσσάρων κλιματικών ζωνών.

Με βάση τα ημερήσια προφίλ ωριαίας θερμοκρασίας φαίνεται ότι τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο, οι διακυμάνσεις της ημερήσιας θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες για περιοχές της Δ κλιματικής ζώνης και μειώνονται όσο μεταβαίνουμε σε θερμότερες ζώνες.



Εικόνα 1-5: Μέση ωριαία διακύμανση θερμοκρασίας σε αντιπροσωπευτικές πόλεις των τεσσάρων κλιματικών ζωνών.

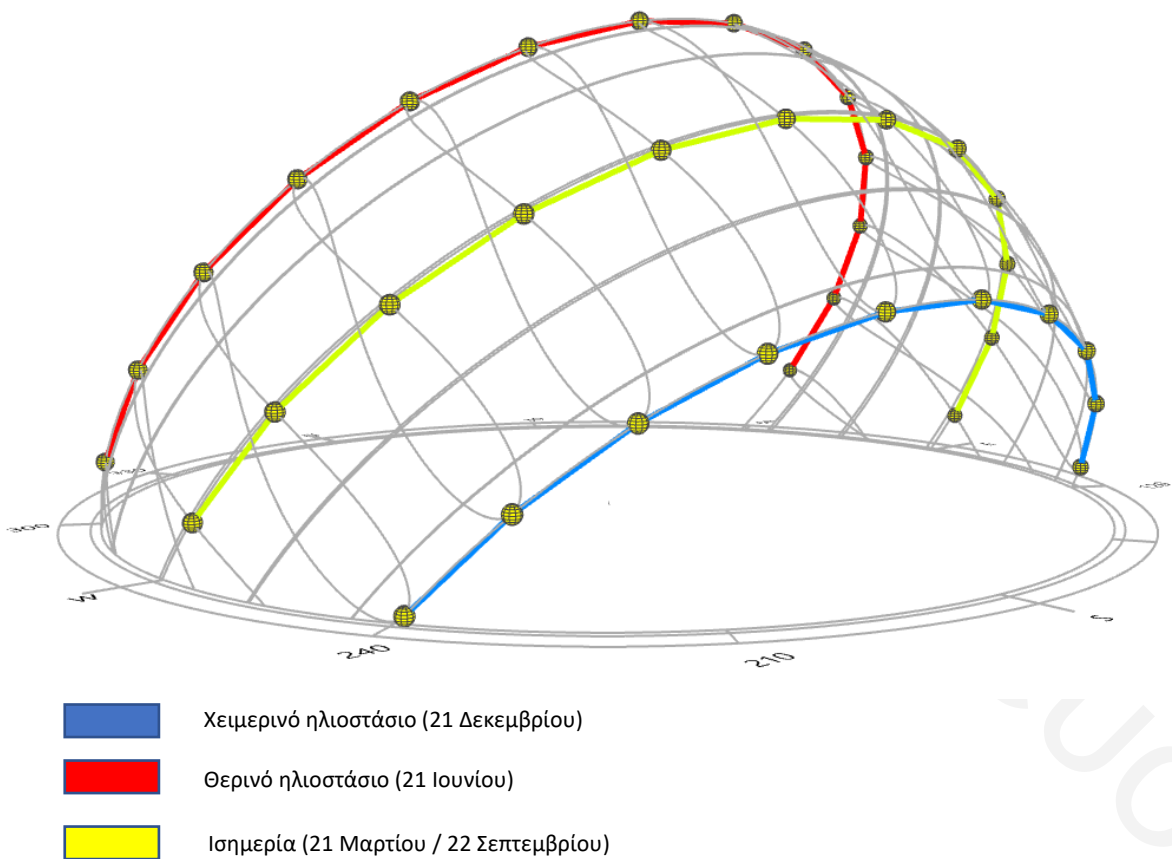
### 1.3.3. Ηλιακή γεωμετρία και ακτινοβολία

#### 1.3.3.1. Ηλιακή γεωμετρία

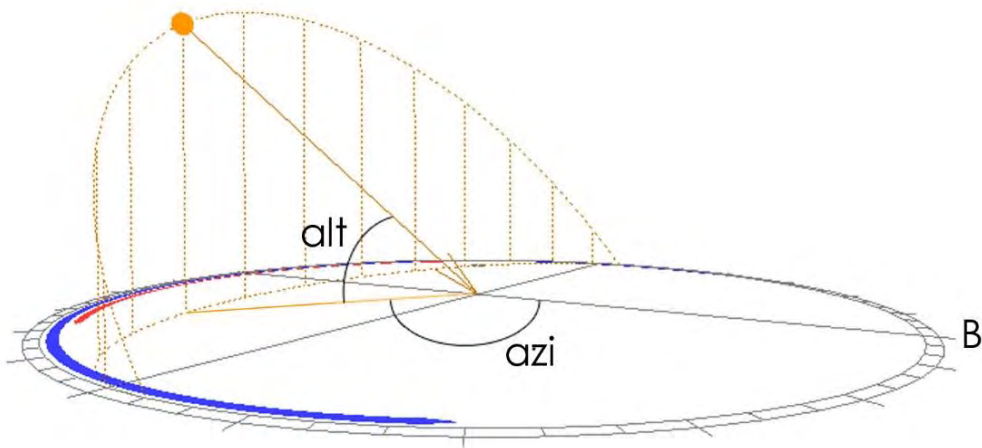
Η φαινόμενη πορεία του ήλιου σε μια τοποθεσία και γύρω από ένα κτίριο είναι ένα από τα πλέον σταθερά και προβλέψιμα χαρακτηριστικά του κλίματος. Η φαινόμενη τροχιά του ηλίου εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της κάθε περιοχής και η θέση του ήλιου μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια στη διάρκεια της ημέρας και στη διάρκεια του έτους, με τις γωνίες αζιμουθίου και ύψους ηλίου (Εικόνα 1-7):

- **Γωνία αζιμουθίου (azi):** η γωνία της ορθής προβολής του ήλιου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο σε σχέση με τον άξονα Βορρά-Νότου (Παράρτημα ΣΤ),
- **Γωνία ύψους (alt):** η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουρανό και του οριζόντιου επιπέδου.

Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1-6) είναι ενδεικτική της πορείας του ηλίου στον ελλαδικό χώρο, για τέσσερις χαρακτηριστικές ημέρες του έτους (χειμερινό ηλιοστάσιο, εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία και θερινό ηλιοστάσιο).

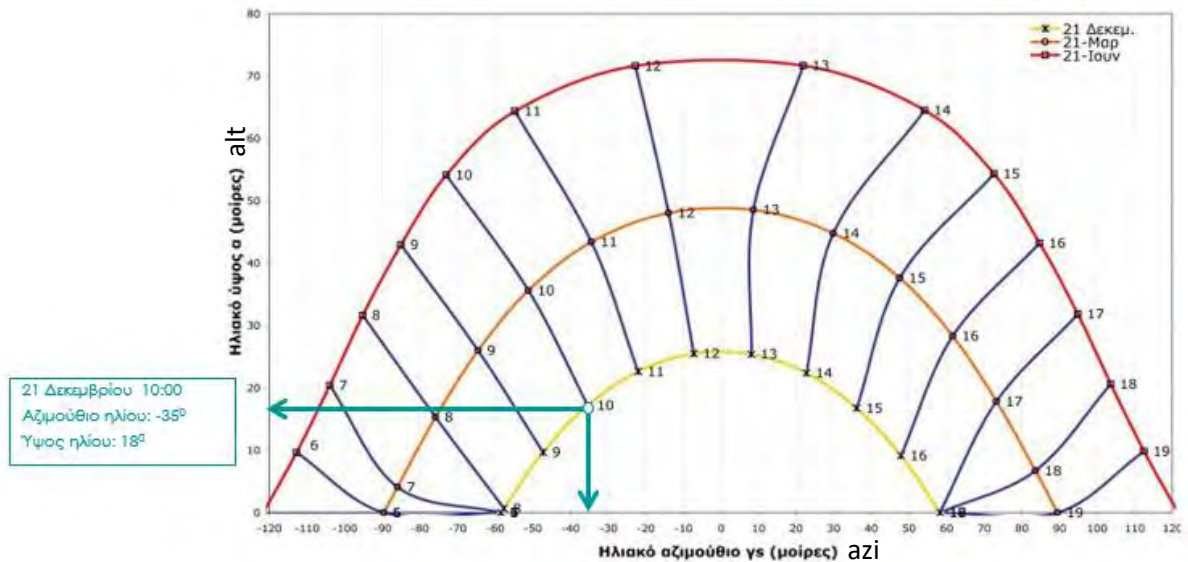


Εικόνα 1-6: Διάγραμμα φαινόμενης τροχιάς του ήλιου στη διάρκεια του έτους, στην περιοχή της Αθήνας, με ένδειξη τεσσάρων χαρακτηριστικών ημερών.



Εικόνα 1-7: Ημερήσιο διάγραμμα της φαινόμενης τροχιάς του ήλιου, με ένδειξη της γωνίας αζιμουθίου (azi) και της γωνίας ύψους (alt) του ήλιου.

Οι γωνίες ύψους και αζιμουθίου του ήλιου για κάθε ημέρα και ώρα του έτους είναι δυνατόν να εντοπιστούν μέσα από ηλιακά διαγράμματα (στερεογραφικά ή κυλινδρικά), όπου αποτυπώνεται η φαινόμενη τροχιά του ήλιου για καθορισμένα γεωγραφικά πλάτη. Στο παρακάτω κυλινδρικό διάγραμμα (Εικόνα 1-8) σημειώνεται η γραφική μέθοδος υπολογισμού του αζιμουθίου και του ύψους του ήλιου για τις 10:00π.μ. κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο για γεωγραφικό πλάτος  $40^{\circ}\text{B}$ . Οι σχέσεις υπολογισμού των γωνιών του ήλιου αναφέρονται στην TOTEE 20701-3/2010 στις σχέσεις 4.11 και 4.12 και τα κυλινδρικά ηλιακά διαγράμματα για ελληνικές περιοχές στο παράρτημα Γ της ίδιας οδηγίας.

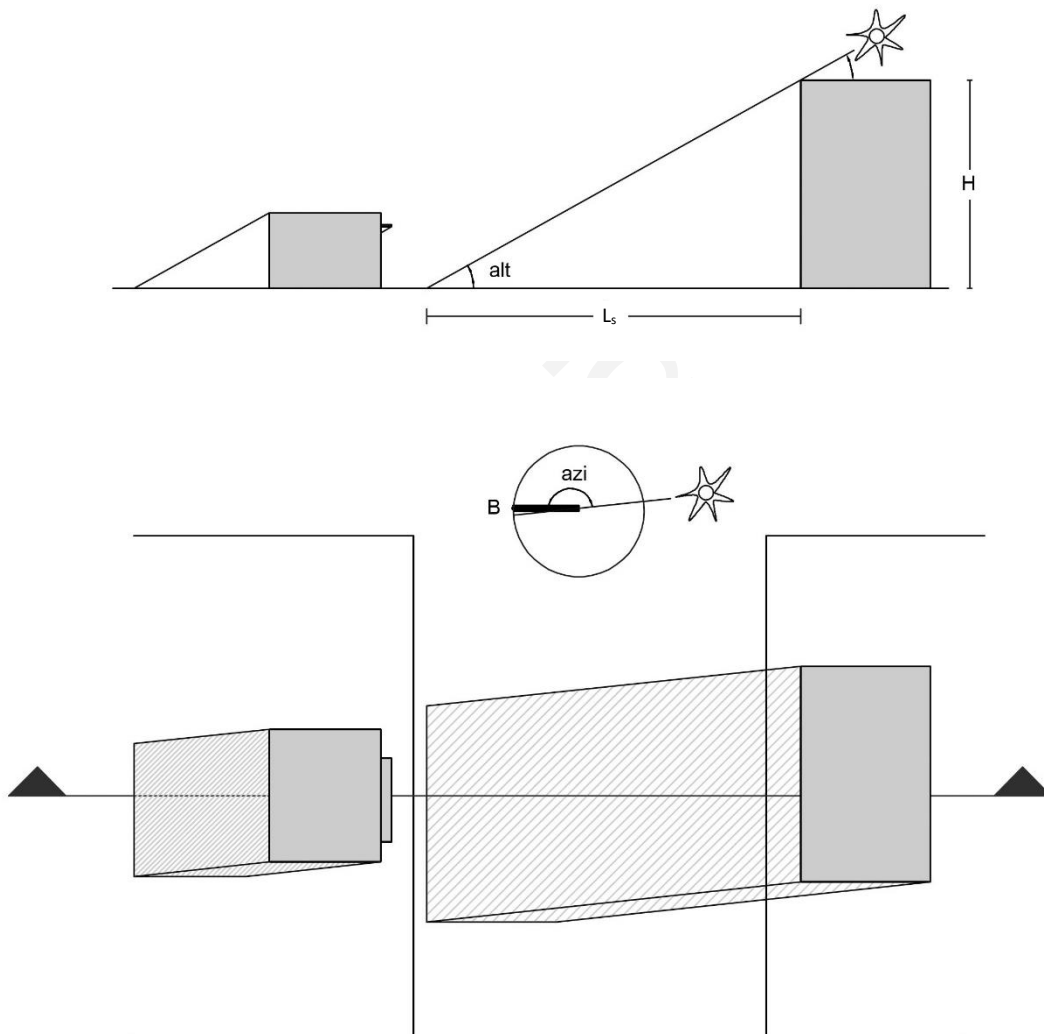


Εικόνα 1-8: Κυλινδρικό διάγραμμα ηλιακής τροχιάς για ελληνικές περιοχές με γεωγραφικό πλάτος  $40^{\circ}\text{B}$ , με ένδειξη γραφικού υπολογισμού των γωνιών αζιμουθίου (azi) και ύψους ηλίου (alt) για την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου στις 10:00π.μ.

Ο υπολογισμός των γωνιών του ήλιου χρησιμεύει στον υπολογισμό της σκίασης από διάφορα εμπόδια σε κτίρια και υπαίθριους χώρους για οποιαδήποτε ημέρα και ώρα του έτους. Το μήκος σκιάς υπολογίζεται από τον λόγο του ύψους εμποδίου ( $H$ ) προς την εφαπτομένη της γωνίας ύψους ηλίου ( $alt$ ) και η διεύθυνση της σκιάς υπολογίζεται από τη γωνία αζιμουθίου ( $azi$ ). Από τα ηλιακά διαγράμματα μπορεί να υπολογιστεί η ετήσια μάσκα σκιασμού για οποιοδήποτε σημείο επιφάνειας κτιρίου ή υπαίθριου χώρου. Πιο αναλυτικά, το μήκος της σκιάς ( $L_s$ ), υπολογίζεται από τη σχέση:

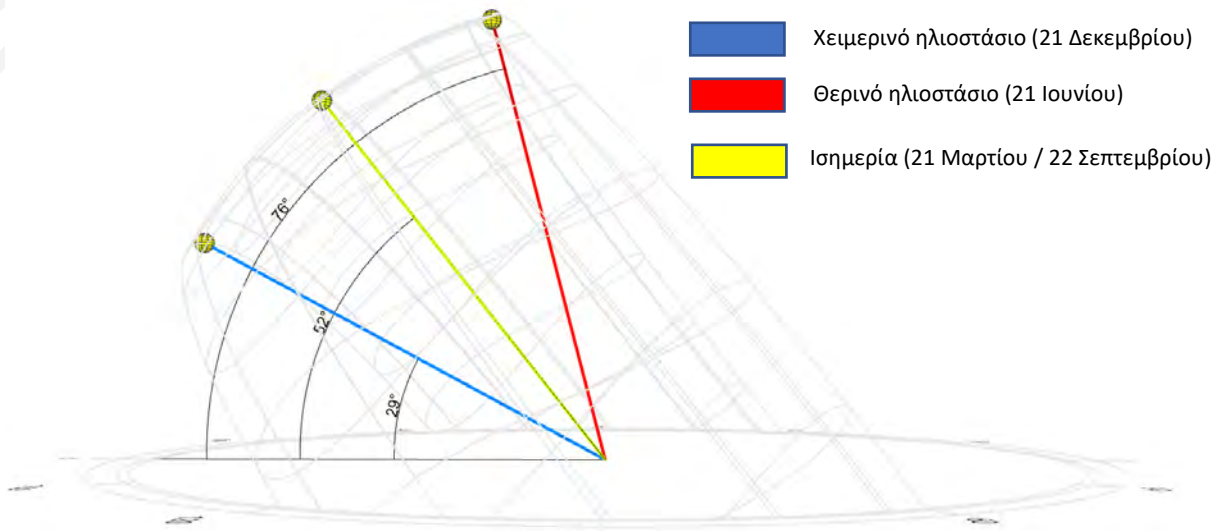
$$L_s = \frac{H}{\tan(alt)} \quad [εξ. 1.1]$$

όπου:  $L_s$  [m]: το μήκος σκιάς,  
 $H$  [m] το ύψος του εμποδίου,  
 $alt$  [deg]: η γωνία ύψους ηλίου



Εικόνα 1-9: Παράδειγμα υπολογισμού μήκους σκιάς ( $L_s$ ) από τον λόγο του ύψους εμποδίου ( $H$ ) προς την εφαπτομένη της γωνίας ύψους ηλίου ( $\tan(alt)$ )

Οι χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους στις οποίες σημειώνονται οι ακραίες θέσεις του ήλιου είναι το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου - η μεγαλύτερη ημερήσια τροχιά και οι υψηλότερες γωνίες ύψους του ήλιου) και το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου - η μικρότερη ημερήσια τροχιά και οι χαμηλότερες γωνίες ύψους του ήλιου). Ο υπολογισμός σκιασμού για αυτές τις ημερομηνίες είναι χρήσιμος, καθώς αποτυπώνει το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος σκιάς ενός εμποδίου. Χαρακτηριστική ώρα της ημέρας είναι η ώρα μεσουράνησης (μεταξύ 12:00 και 13:00), η ώρα, κατά την οποία ο ήλιος φτάνει στο υψηλότερο σημείο της ημερήσιας τροχιάς (η γωνία ύψους του ήλιου έχει την μεγαλύτερη τιμή για τη συγκεκριμένη ημέρα).

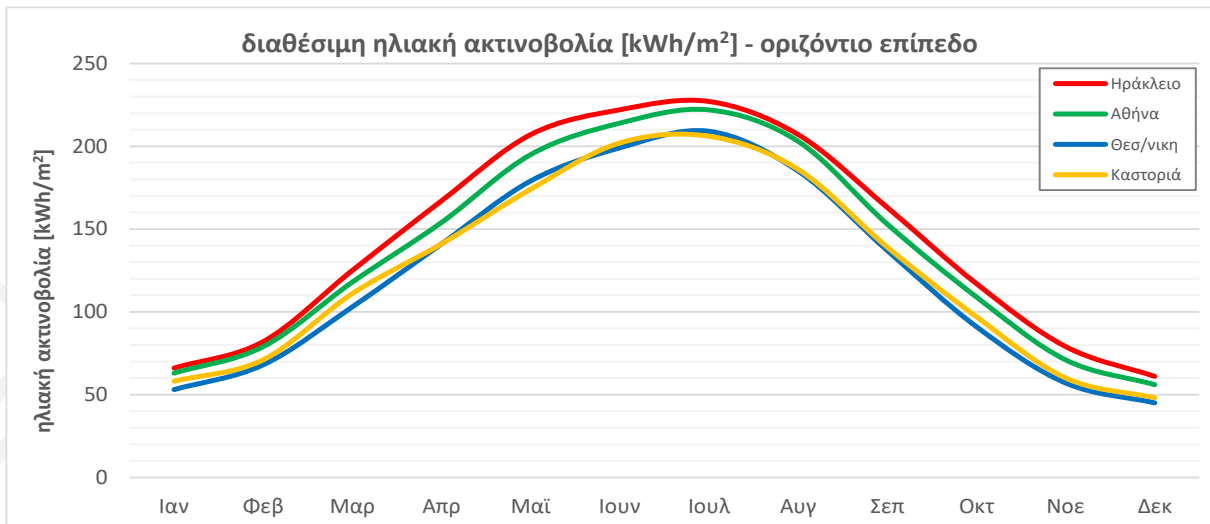


Εικόνα 1-10: Θέσεις ήλιου τις ώρες μεσουράνησης για τα δύο ηλιοστάσια και για τις ισημερίες για περιοχές με γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$

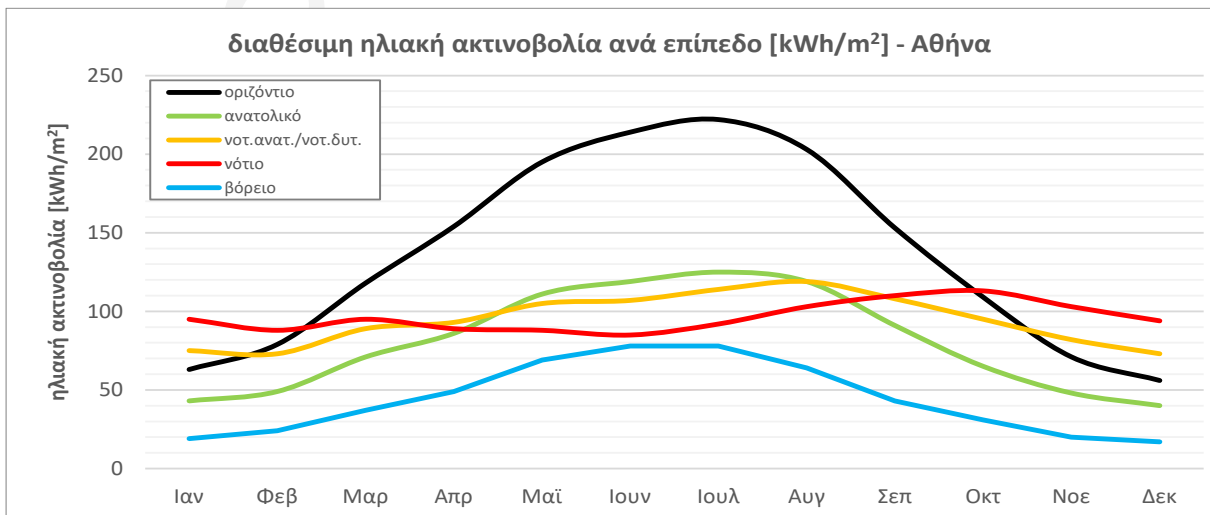
### 1.3.3.2. Ηλιακή ακτινοβολία

Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία διαφοροποιείται ανάλογα με την περίοδο του χρόνου, τον προσανατολισμό της επιφάνειας και την περιοχή. Γενικά, περιοχές με μικρότερο γεωγραφικό πλάτος διαθέτουν αυξημένη διαθεσιμότητα ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με εκείνες με μεγαλύτερο. Έτσι στο Ηράκλειο η μέση διαθέσιμη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο είναι περίπου  $1.725 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ yr})$ , στην Αθήνα  $1.635 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ yr})$ , στη Καστοριά  $1.490 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ yr})$  ενώ στη Θεσσαλονίκη  $1.465 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ yr})$ . Αναλυτικές τιμές δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3. Στην [Εικόνα 1-11](#), δίνεται η ηλιακή ακτινοβολία για τέσσερις πόλεις από τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, σε οριζόντιο επίπεδο και μηνιαίο βήμα.

Όπως φαίνεται στο σχετικό γράφημα ([Εικόνα 1-12](#)), στους περισσότερους προσανατολισμούς, η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία μεγιστοποιείται κατά τους θερινούς μήνες και ελαχιστοποιείται τους χειμερινούς. Αντίθετη περίπου συμπεριφορά παρουσιάζει ο νότιος προσανατολισμός, στον οποίο μεγιστοποιούνται τα ηλιακά κέρδη τη χειμερινή περίοδο και ελαχιστοποιούνται τη θερινή. Το γεγονός αυτό το εκμεταλλεύεται ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, αξιοποιώντας το νότιο προσανατολισμό, που λαμβάνει τα μέγιστα κέρδη τη χειμερινή περίοδο και γίνεται αντιληπτό παρακάτω ([βλ. ενότητα 2.1.2](#)).



Εικόνα 1-11: Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο για αντιπροσωπευτικές πόλεις στις τέσσερις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας



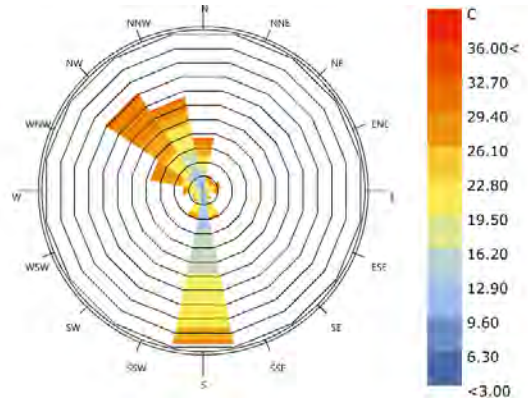
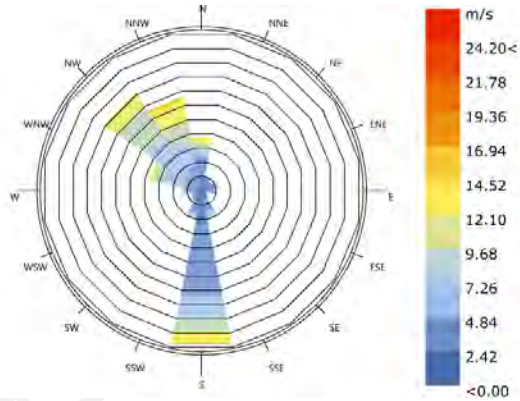
Εικόνα 1-12: Ετήσια διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και σε επιφάνειες διαφορετικού προσανατολισμού στο γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας (38°)

#### 1.3.4. Άνεμος

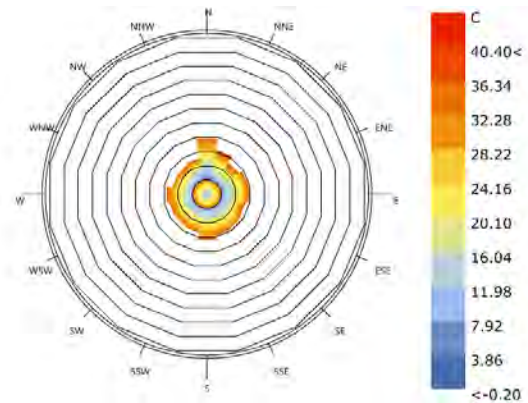
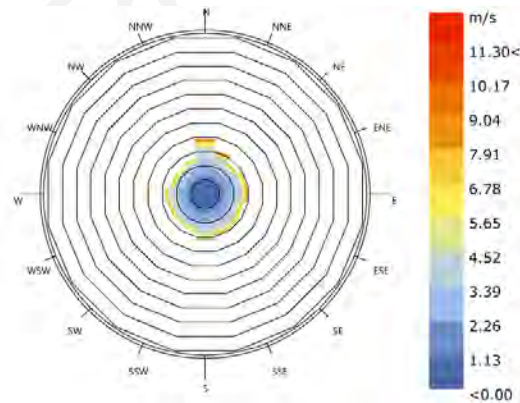
Ο άνεμος, εξίσου σημαντικός κλιματικός παράγοντας, επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων, διαμορφώνει τις συνθήκες θερμικής άνεσης, ιδιαίτερα στους εξωτερικούς χώρους και υποδεικνύει την τοποθέτηση των ανοιγμάτων στο κτίριο. Η μεγαλύτερη ταχύτητα αέρα απάγει με γρηγορότερο ρυθμό θερμότητα από ένα σώμα· οι προστατευμένες, απάνεμες περιοχές (π.χ. χαμηλοί όροφοι σε αστικούς χώρους) έχουν χαμηλότερες θερμικές απώλειες σε σχέση με περιοχές εκτεθειμένες στον άνεμο.

Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου είναι από τις πιο βασικές συνθήκες που επηρεάζουν το σχεδιασμό ενός κτιρίου, κυρίως ως προς την αποφυγή της τοποθέτησης ανοιγμάτων στη φορά των χειμερινών ανέμων και τοποθέτηση ανοιγμάτων στη φορά των θερινών ανέμων. Για την καλύτερη κατανόηση του ανέμου σε μια περιοχή, χρησιμοποιούνται τα ροδογράμματα, τα οποία μας δίνουν πληροφορία για την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, με τις αντίστοιχες ταχύτητες, όπου συχνά απεικονίζεται και η θερμοκρασία του. Οι κύκλοι σηματοδοτούν τη συχνότητα εμφάνισης συγκεκριμένων ανέμων σε κάθε διεύθυνση, ενώ τα χρώματα προσδίδουν είτε την ταχύτητα είτε τη μέση θερμοκρασία του αέρα από τη συγκεκριμένη διεύθυνση.

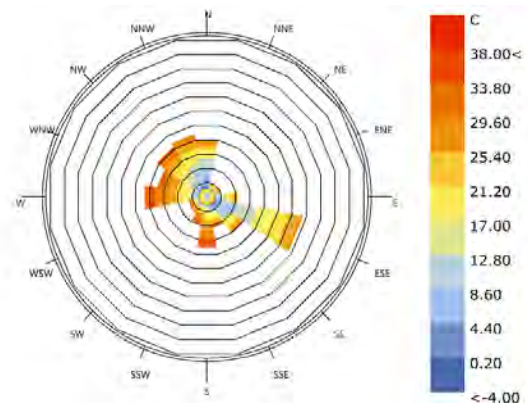
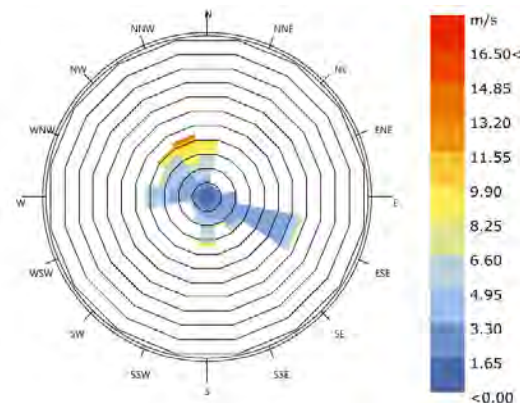
**Ηράκλειο**



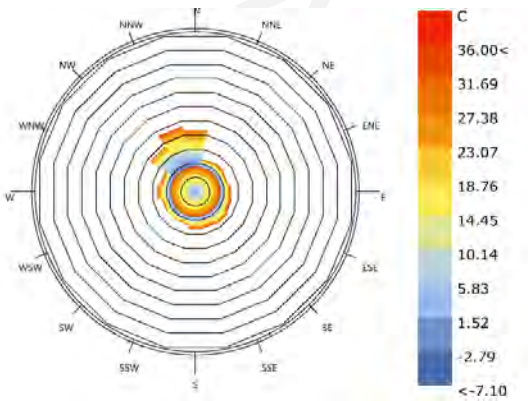
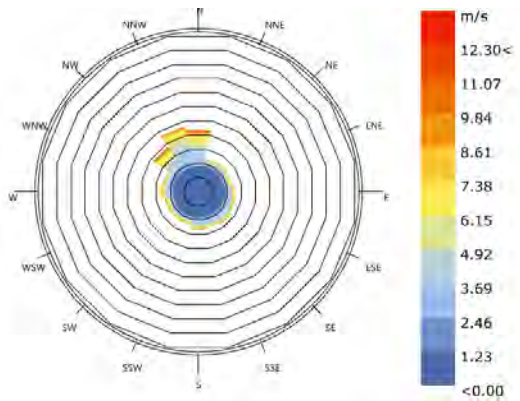
**Αθήνα**



**Θεσσαλονίκη**



**Κοζάνη**



Εικόνα 1-13: Ροδογράμματα ανέμου για τέσσερις χαρακτηριστικές πόλεις της Ελλάδας. Συχνότητα (ώρες) εμφάνισης ανέμων διαφορετικών διευθύνσεων με ένδειξη της ταχύτητας ανέμου (αριστερή στήλη) και της θερμοκρασίας ανέμου (δεξιά στήλη)

## 1.4. Παράμετροι σχεδιασμού

Το κέλυφος των κτιρίων αποτελεί το όριο μεταξύ εσωτερικού χώρου και εξωτερικού περιβάλλοντος το οποίο διαφοροποιεί και διαμορφώνει τις συνθήκες στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι εσωτερικές συνθήκες επηρεάζονται άμεσα από τον σχεδιασμό του κελύφους, την αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του κτιρίου με το περιβάλλον τους και τις κλιματικές συνθήκες (Givoni, 1998) όπως:

- την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κέλυφος και στα εσωτερικά δομικά στοιχεία του κτιρίου,
- τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από και προς το εξωτερικό περιβάλλον με αγωγιμότητα και συναγωγή,
- τη δυνατότητα φυσικού φωτισμού και φυσικού αερισμού.

Οι επιλογές του σχεδιασμού που διαμορφώνουν αυτές τις αλληλεπιδράσεις αφορούν:

- στη διάταξη του κτιρίου, τη μορφολογία και τις γεωμετρικές αναλογίες του,
- στη χωροθέτηση το μέγεθος και τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων,
- στην ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων,
- στα υλικά των δομικών στοιχείων,
- στη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου.

### 1.4.1. Διάταξη κτιρίου, μορφολογία, γεωμετρικές αναλογίες

Η διάταξη του κτιρίου επηρεάζει τις ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ εσωτερικών χώρων και εξωτερικού περιβάλλοντος μέσω του κελύφους, ανάλογα με τη εκτεθειμένη επιφάνεια κελύφους σε σχέση με τον όγκο του εσωτερικού χώρου. Πιο συγκεκριμένα, η αναλογία επιφάνειας κελύφους προς τον περικλειόμενο όγκο εσωτερικού χώρου καθορίζει τη δυνατότητα ροής θερμότητας με αγωγιμότητα από ή προς το κτίριο και επομένως τις απαιτήσεις σε ενέργεια για θέρμανση ή ψύξη. Η συμπαγής διάταξη ενός κτιρίου ορισμένου όγκου επιτρέπει μικρή επιφάνεια αλληλεπίδρασης με το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ η επιμήκης διάταξη ενός κτιρίου του ίδιου όγκου επιτρέπει μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης και ενδεχομένως μεγαλύτερη ροή θερμότητας μέσω του κελύφους.

Η μορφολογία, ο προσανατολισμός των επιμέρους επιφανειών, οι θέσεις των ανοιγμάτων και τα υλικά των δομικών στοιχείων μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη ροή θερμότητας μέσω του κελύφους και να αντισταθμίσουν πιθανά μειονεκτήματα των γεωμετρικών αναλογιών.

- Η επιμήκης διάταξη των κτιρίων αυξάνει την αναλογία επιφάνειας κελύφους προς περικλειόμενο όγκο, όμως επιτρέπει τη διαμόρφωση εσωτερικών χώρων με μικρό βάθος και ευνοεί τη δυνατότητα διαμπερούς αερισμού, φυσικού φωτισμού και αξιοποίηση ηλιακού κέρδους.
- Η διαμόρφωση αίθριων στα κτίρια αυξάνει την αναλογία επιφάνειας κελύφους προς περικλειόμενο όγκο, όμως η επιφάνεια του κελύφους σε επαφή με το αίθριο αλληλοεπιδρά με έναν εξωτερικό χώρο προστατευμένο από το ίδιο το κτίριο, στον οποίο διαμορφώνονται διαφορετικές, και συνήθως ευνοϊκές, μικροκλιματικές συνθήκες, σε σχέση με τον περιβάλλοντα εξωτερικό χώρο.

### 1.4.2. Χωροθέτηση ανοιγμάτων, μέγεθος, προσανατολισμός

Οι κυριότερες παράμετροι επιλογής της χωροθέτησης των ανοιγμάτων είναι η θέα και η επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και οι παράμετροι που σχετίζονται με τις συνθήκες άνεσης και την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δηλαδή ο φυσικός φωτισμός, ο φυσικός αερισμός και τα ηλιακά θερμικά κέρδη. Στη γεωγραφική θέση της Ελλάδας ο συσχετισμός των ανοιγμάτων με συστήματα



ηλιοπροστασίας θεωρείται απαραίτητος για τα ανοίγματα με ανατολικό δυτικό και νότιο προσανατολισμό.

Στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, με βάση τις τιμές προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη διάρκεια του έτους:

- τα **νότια** ανοίγματα δέχονται μεγάλη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα, όταν είναι χρήσιμη για την παθητική θέρμανση και λιγότερη το καλοκαίρι,
- τα **βόρεια** ανοίγματα δεν δέχονται καθόλου απευθείας ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, αλλά δέχονται μικρή ποσότητα ακτινοβολίας το καλοκαίρι
- τα **ανατολικά και δυτικά** ανοίγματα δέχονται πολύ περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι από ό,τι τον χειμώνα και αποτελούν πηγές υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, τα νότια προσανατολισμένα ανοίγματα μπορεί να αποτελέσουν πηγή ηλιακού κέρδους για την παθητική θέρμανση ενός κτιρίου το χειμώνα. Ανοίγματα προσανατολισμένα με μικρή απόκλιση από το νότο είτε νοτιοανατολικά ή νοτιοδυτικά μπορεί επίσης να θεωρηθεί ότι προσφέρουν επαρκή ηλιακά θερμικά κέρδη τον χειμώνα. Σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητος ο συνδυασμός με επαρκή συστήματα ηλιοπροστασίας για τη θερινή περίοδο. Από την πλευρά της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων, η προτιμότερη διάταξη των ανοιγμάτων περιλαμβάνει μεγάλα νότια ανοίγματα με επαρκή ηλιοπροστασία για το καλοκαίρι, μικρά βόρεια ανοίγματα για φυσικό φωτισμό και αερισμό και πρόβλεψη κατάλληλης ηλιοπροστασίας για τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα που χρειάζονται για τον φωτισμό, αερισμό και δροσισμό των εσωτερικών χώρων.

Η θέση και ο συνδυασμός των ανοιγμάτων στο κέλυφος του κτιρίου επηρεάζουν τη δυνατότητα φυσικού αερισμού και φυσικού φωτισμού, σε άμεση σχέση με την εσωτερική διαρρύθμιση. Τα διαμπερή ανοίγματα επιτρέπουν διαμπερή αερισμό και μεγαλύτερη ομοιομορφία κατανομής φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους. Οι φεγγίτες προσφέρουν ευελιξία και εναλλακτικές επιλογές για τον φυσικό αερισμό και συμπληρωματικές πηγές φυσικού φωτισμού που μπορούν να ενισχύσουν την ένταση και την ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού στους χώρους των κτιρίων.

#### 1.4.3. Ηλιοπροστασία ανοιγμάτων

Η πρόβλεψη κατάλληλων συστημάτων ηλιοπροστασίας διαφέρει ανάλογα με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων. Τα σταθερά συστήματα ηλιοπροστασίας διακρίνονται σε οριζόντια και κατακόρυφα. Η ηλιοπροστασία ανοιγμάτων με νότιο προσανατολισμό επιτυγχάνεται ικανοποιητικά με οριζόντια στέγαστρα πάνω από τα ανοίγματα, τα οποία εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και επιτρέπουν την έκθεση των ανοιγμάτων στον ήλιο τον χειμώνα. Το κατάλληλο μέγεθος του στεγαστρου εξαρτάται από το ύψος του ανοίγματος. Εναλλακτικά συστήματα είναι οι οριζόντιες περσίδες μπροστά από το άνοιγμα, οι αποστάσεις μεταξύ των οποίων εξαρτώνται από το πλάτος τους (όσο μεγαλύτερο το πλάτος των περσίδων τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι η απόσταση μεταξύ τους). Η ηλιοπροστασία των ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων, και των ανοιγμάτων με ενδιάμεσο προσανατολισμό, επιτυγχάνεται με συνδυασμό οριζόντιων και κατακόρυφων σκιάστρων, λόγω της μικρής γωνίας ύψους του ήλιου τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Τα κατακόρυφα σκιάστρα μπορεί να τοποθετούνται κάθετα στην επιφάνεια του ανοίγματος ή με κλίση προς το νότο.

Τα σταθερά συστήματα ηλιοπροστασίας δεν προσφέρουν ευελιξία ρυθμίσεων για τις ενδιάμεσες εποχές, κατά τις οποίες είναι επιθυμητή η εναλλαγή σκίασης και ηλιασμού, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Τα κινητά συστήματα ηλιοπροστασίας προσφέρουν ευελιξία προσαρμογής στη διάρκεια της ημέρας ή του έτους, ανάλογα με τη θέση του ήλιου και τις ανάγκες σκίασης, όμως απαιτούν την επέμβαση των χρηστών ή αυτοματισμούς και έχουν μεγάλες απαιτήσεις συντήρησης.

#### 1.4.4. Ιδιότητες διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων

Τα υλικά κατασκευής των κτιρίων καθορίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ εξωτερικής θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας με την εσωτερική θερμοκρασία των κτιρίων και τις απαιτήσεις σε ενέργεια για θέρμανση και ψύξη. Η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου συσχετίζεται με την εξωτερική και με την προσπίπτουσα ακτινοβολία μέσα από τον ημερήσιο κύκλο διακύμανσης και επηρεάζεται από τις ιδιότητες των υλικών του κελύφους και των δομικών στοιχείων στο εσωτερικό του.

Οι ιδιότητες των **διαφανών δομικών** στοιχείων του κελύφους επηρεάζουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας (συντελεστής ηλιακού κέρδους  $g$ ), και τη μεταφορά θερμότητας με αγωγιμότητα (συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  υαλοστασίου και πλαισίου), ενώ ο τύπος των ανοιγμάτων τη διείσδυση αέρα μέσω των συναρμογών και την αεροστεγανότητα του κελύφους. Τέλος ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας του υαλοπίνακα καθορίζει τη διείσδυση του φωτός και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού των εσωτερικών χώρων.

Η θερμική αγωγιμότητα των **αδιαφανών δομικών** στοιχείων κελύφους επηρεάζει την μεταφορά θερμότητας μέσω του κελύφους, ενώ τα χρώματα των εξωτερικών επιφανειών την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα δομικά στοιχεία. Οι επιφάνειες με λεία υφή και ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις έχουν χαμηλή απορροφητικότητα και θερμαίνονται λιγότερο από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα μειωμένα θερμικά κέρδη μέσω τους κελύφους.

Η **θερμοχωρητικότητα** των υλικών των δομικών στοιχείων εσωτερικά του κελύφους καθορίζει την ικανότητα τους να αποθηκεύουν θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτά, μέσα από τα διαφανή δομικά στοιχεία, καθώς και από τα εσωτερικά κέρδη, και να την απελευθερώνουν στο περιβάλλον τους, κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη. Η ιδιότητα αυτή των δομικών στοιχείων επιτρέπει την αξιοποίηση της αποθηκευμένης θερμότητας για την παθητική θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για τον δροσισμό τους τη θερινή περίοδο, με τη βοήθεια επαρκούς αερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η θερμοχωρητικότητα των υλικών εξαρτάται από την ειδική θερμότητα και από την πυκνότητά τους. Υψηλή θερμοχωρητικότητα έχουν τα πυκνά και συμπαγή υλικά όπως σκυρόδεμα, πετρώματα, πλίνθοι, οπτόπλινθοι κ.α., καθώς επίσης και το νερό. Πολύ χαμηλή θερμοχωρητικότητα έχει ο αέρας και τα υλικά που περιέχουν εγκλωβισμένο αέρα στη μάζα τους όπως τα θερμομονωτικά υλικά. Πιο αναλυτικές πληροφορίες παρουσιάζονται στην [ενότητα 2.3.2](#).

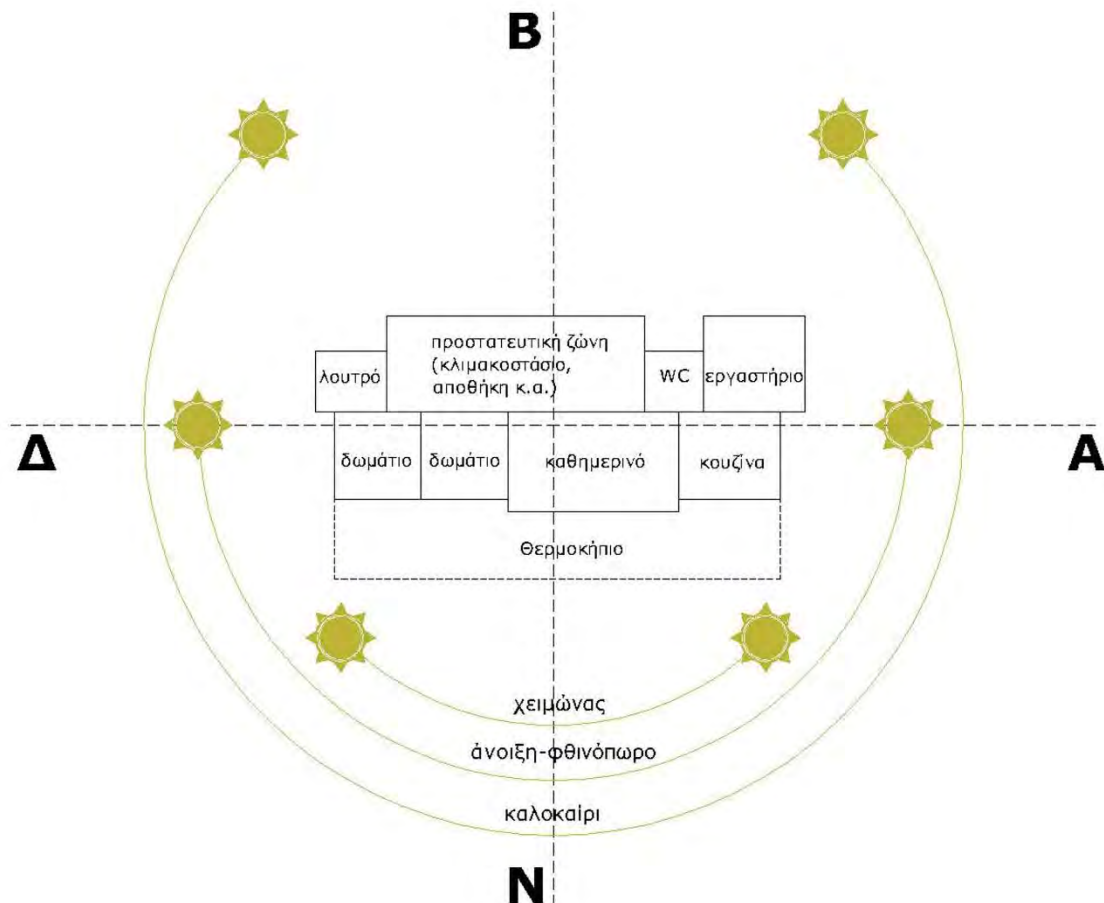
#### 1.4.5. Διάταξη εσωτερικών χώρων

Η διάταξη των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου παίζει μεγάλο ρόλο στην τελική ζήτηση ενέργειας και στις συνθήκες θερμικής ή οπτικής άνεσης που διαμορφώνονται. Τα ηλιακά κέρδη ανά προσανατολισμό, που αναλύθηκαν παραπάνω, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό προς το πού θα μπορούσαν να προσανατολισθούν οι επιμέρους χώροι ενός κτιρίου ανάλογα με τις χρήσεις τους, ώστε να μειώνονται περισσότερο οι ενεργειακές του ανάγκες. Για παράδειγμα, σε μια κατοικία, σε περιοχή με αυξημένη ζήτηση σε θέρμανση, καλό είναι, οι κύριοι χώροι να προσανατολίζονται προς το Νότο, εφόσον και ο χειμερινός του ηλιασμός είναι ανεμπόδιστος, βελτιώνοντας τις συνθήκες θερμικής άνεσης, μειώνοντας τη ζήτηση για θέρμανση στους χώρους διημέρευσης και προσφέροντας την ευεξία που προσφέρει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία τη χειμερινή περίοδο. Σε περίπτωση κτιρίων θερινής χρήσης (π.χ. ξενοδοχεία εποχιακής λειτουργίας), οι χώροι διημέρευσης ευνοούνται ακόμη και σε προσανατολισμούς με χαμηλά ηλιακά κέρδη (π.χ. βόρειο προσανατολισμό ή, γενικά, σκιαζόμενες περιοχές). Ομοίως, χρήσεις, όπου η κύρια ανάγκη είναι ο σταθερός φωτισμός, όπως εργαστήρια, γραφεία κ.α., είναι καλό να προσανατολίζονται προς το Βορρά, για την αποφυγή των έντονων διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα βόρεια τμήματα ενός κτιρίου μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για

βοηθητικές δευτερεύουσες χρήσεις, ως χώροι ανάσχεσης θερμικών απωλειών ή επιδράσεων ψυχρών ανέμων. Επίσης, σε κάποιους τύπους κτιρίων στους οποίους είναι σημαντική αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού όπως π.χ. κτίρια γραφείων όλοι οι χώροι δευτερεύουσας χρήσης μπορούν να τοποθετηθούν στον πυρήνα του κτιρίου αφήνοντας την περιμετρική ζώνη για τους χώρους κύριας λειτουργίας.

Σε κάθε περίπτωση, οι χώροι με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό μπορούν να θεωρηθούν δυσμενείς για κύριες χρήσεις, λόγω του αυξημένου ηλιακού φορτίου το καλοκαίρι και του μειωμένου το χειμώνα. Παρόλο που τα ηλιακά κέρδη σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό είναι παρόμοια εξαιτίας της συμμετρίας της ηλιακής τροχιάς, οι χώροι με δυτικό προσανατολισμό επιβαρύνονται περισσότερο τη θερινή περίοδο, λόγω του συνδυασμού της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και των υψηλών απογευματινών θερμοκρασιών, κάτι που δε φαίνεται στους υπολογισμούς με μηνιαίο βήμα του ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ, αλλά γίνεται αντιληπτό με προγράμματα ωριαίου βήματος προσομοίωσης.

Φυσικά, οι πολεοδομικοί περιορισμοί, η θέα, η ιδιωτικότητα ή η εξωστρέφεια του κτιρίου κ.α. είναι παράγοντες που επηρεάζουν επίσης σε σημαντικό βαθμό την χωροθέτηση και τον προσανατολισμό των εσωτερικών χώρων του κτιρίου.



Εικόνα 1-14. Ενδεικτική διάταξη χώρων κατοικίας για την αξιοποίηση των ηλιακών κερδών σε χώρους διημέρευσης κατά τη χειμερινή περίοδο

#### 1.4.6. Διαμόρφωση περιβάλλοντα χώρου

Η διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου των κτιρίων εστιάζει στη βελτίωση του μικροκλίματος κατά τη θερινή περίοδο και στην ανεμοπροστασία κατά τη χειμερινή περίοδο. Επιλογές σχεδιασμού που περιλαμβάνουν φυτεύσεις στις επιφάνειες των κτιρίων και στον περιβάλλοντα υπαίθριο χώρο, υδάτινα στοιχεία, υδατοπερατά εξωτερικά δάπεδα, ψυχρά δάπεδα, στέγαστρα, ανεμοφράκτες κ.ά. μπορούν να ρυθμίσουν την επίδραση των κλιματικών συνθηκών στο κέλυφος των κτιρίων.

- Οι φυτεύσεις στα δώματα και τις κατακόρυφες επιφάνειες των κτιρίων, κατά τη θερινή περίοδο προσφέρουν ηλιοπροστασία και διατηρούν χαμηλές τις επιφανειακές θερμοκρασίες, ενώ συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα γύρω από τα κτίρια, μέσω της εξατμισοδιαπνοής.
- Οι φυτεύσεις στους υπαίθριους χώρους στο περιβάλλον των κτιρίων επίσης συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας αέρα το καλοκαίρι, μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Οι κατάλληλες διατάξεις φυλλοβόλων δέντρων προσφέρουν ηλιοπροστασία στις όψεις και στα εξωτερικά δάπεδα, ενώ επιτρέπουν τον ηλιασμό τον χειμώνα. Κατάλληλες διατάξεις αειθαλών δέντρων και θάμνων προσφέρουν προστασία από ψυχρούς χειμερινούς ανέμους.
- Τα υδάτινα στοιχεία στους υπαίθριους χώρους συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας κατά τη θερμή περίοδο, μέσω της εξάτμισης. Σιντριβάνια, πίδακες και συστήματα ψεκασμού σταγονιδίων προσφέρουν μεγαλύτερο ρυθμό εξάτμισης και είναι αποτελεσματικότερα στη μείωση της θερμοκρασίας σε σχέση με τις στατικές, υδάτινες επιφάνειες. Οι υδάτινες επιφάνειες έχουν την ιδιότητα να απορροφούν μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς να μεταβάλουν σημαντικά τη θερμοκρασία τους, και εξαιτίας της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού τείνουν να σταθεροποιούν τη θερμοκρασία στο άμεσο περιβάλλον τους.
- Τα ψυχρά υλικά στα εξωτερικά δάπεδα έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα (κυρίως στο υπερευθροτμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας), με αποτέλεσμα να διατηρούν χαμηλή επιφανειακή θερμοκρασία και να συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα γύρω από τα κτίρια.
- Τα σκληρά υλικά σε δάπεδα, τοποθετημένα εν ξηρώ, τα υδατοπερατά υλικά, οι επιφάνειες με σταθεροποιημένο χρώμα ή κεραμικά και το φυσικό έδαφος επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού της βροχής στο έδαφος και την εξάτμιση υγρασίας από το έδαφος, με αποτέλεσμα χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες και μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο περιβάλλον τους, με παράλληλο εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα και αποφόρτιση του δικτύου ομβρίων.
- Η προσθήκη κινητών ή σταθερών στεγαστρών στους υπαίθριους χώρους σκιάζουν τα δάπεδα και τις επιφάνειες των κτιρίων, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των θερμοκρασιών των επιφανειών και του αέρα στο άμεσο περιβάλλον τους.
- Σταθεροί ή κινητοί ανεμοφράκτες σε κατάλληλες θέσεις σε προσήνεμες πλευρές των κτιρίων μπορούν να εκτρέψουν ή να ανακατευθύνουν τη ροή του ανέμου, μειώνοντας την επιβάρυνση στο κτιριακό κέλυφος.

## 2. Αξιολόγηση σχεδιασμού κελύφους

Το κέλυφος του κτιρίου αποτελεί το όριο, που διαφοροποιεί τις συνθήκες των εσωτερικών χώρων από το εξωτερικό περιβάλλον και ο σχεδιασμός του διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό το εσωκλίμα των κτιρίων (Givoni, 1998) και την ενεργειακή συμπεριφορά τους. Οι εσωτερικές συνθήκες συνδέονται άμεσα με την αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων με το περιβάλλον τους και τις κλιματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κέλυφος του κτιρίου και στα εσωτερικά δομικά στοιχεία, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από και προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω του κελύφους με αγωγιμότητα, συναγωγή και ακτινοβολία, η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας θερμότητας στα δομικά στοιχεία αλλά και η αξιοποίηση του φυσικού αερισμού και φωτισμού μέσω των ανοιγμάτων καθορίζουν το τελικό ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου.

Οι επιλογές του σχεδιασμού που διαμορφώνουν αυτές τις αλληλεπιδράσεις μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω βασικές παραμέτρους:

- στη διάταξη του κτιρίου, τη μορφολογία και τις γεωμετρικές αναλογίες του
- στον προσανατολισμό και την ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτίριο
- στην στρατηγική φυσικού φωτισμού
- στις θερμικές ιδιότητες και τη διαστασιολόγηση των διαφανών και αδιαφανών δομικών στοιχείων
- στην στρατηγική ηλιοπροστασίας
- στο μέγεθος και τη χωροθέτηση των ανοιγμάτων αερισμού
- στη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου.

Είναι σημαντικό όλα τα παραπάνω πάντοτε να λογίζονται παράλληλα και να αξιολογείται η επιρροή μιας σχεδιαστικής απόφασης στις υπόλοιπες παραμέτρους, αξιολογώντας και επιλέγοντας την τελική σχεδιαστική σύνθεση με βάση τις ισορροπίες που δημιουργούνται.

### 2.1. Μορφολογία κτιρίου

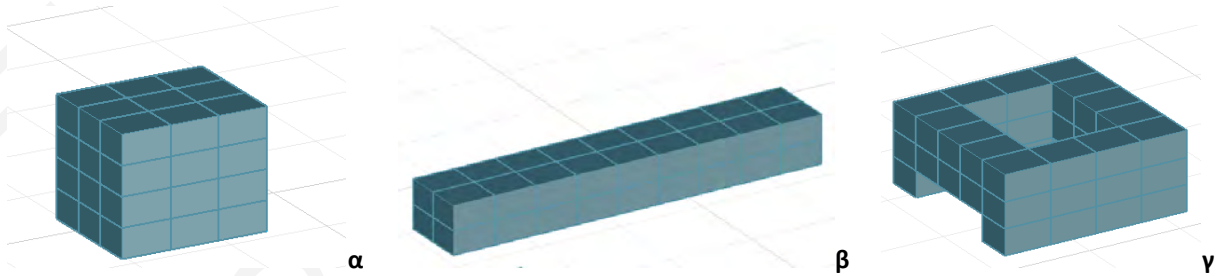
Η μορφή του κτιρίου είναι καθοριστική για την ενεργειακή του συμπεριφορά. Βασικές παράμετροι της μορφολογίας είναι:

- ο δείκτης συμπαγούς μορφής  $C$ , που εκφράζεται με τον λόγο της εκτεθειμένης επιφάνειας του κτιρίου προς τον ωφέλιμο όγκο ( $F/V$ ),
- ο λόγος  $W/L$  του μήκους του κτιρίου στον άξονα με προσανατολισμό Βορρά-Νοτου ( $W$ ) προς το μήκος του κτιρίου στον άξονα με προσανατολισμό Ανατολής-Δύσης ( $L$ ), που εκφράζει το πόσο επίμηκες και σε προς ποια διεύθυνση είναι ένα κτίριο και, επίσης,
- το μέγιστο βάθος  $D_{max}$  των διάφορων τμημάτων του κτιρίου.

#### 2.1.1. Δείκτης συμπαγούς μορφής

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο δείκτης συμπαγούς μορφής  $C$  μπορεί να εκφραστεί με τον λόγο της εκτεθειμένης επιφάνειας του κελύφους του κτιρίου προς τον ωφέλιμο (θερμαινόμενο) όγκο που περικλείεται σε αυτήν,  $F/V [m^{-1}]$ , και δείχνει πόσο εκτεθειμένο είναι ένα κτίριο στις εξωτερικές συνθήκες αναλογικά με τον ωφέλιμο όγκο του. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας παρόμοιος δείκτης

που είναι ο λόγος της εκτεθειμένης επιφάνειας του κελύφους προς την ωφέλιμη (θερμαινόμενη) επιφάνεια του κτιρίου,  $F/A_f$  [-]. Όσο πιο συμπαγής είναι η μορφή του κτιρίου, δηλαδή όσο πιο μικρός είναι ο δείκτης συμπαγούς μορφής  $C$ , τόσο μικρότερες είναι οι θερμικές απώλειές του για συγκεκριμένη ωφέλιμη επιφάνεια κι έτσι έχει χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις τον χειμώνα. Από την άλλη πλευρά, οι λιγότερο συμπαγείς μορφές κτιρίων συχνά μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες αξιοποίησης φυσικού φωτισμού, αερισμού και ηλιακών κερδών. Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη όλες οι παράμετροι και να αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν σε κάθε διαφορετική προσέγγιση.



Εικόνα 2-1 Εναλλακτικές διατάξεις κτιρίων, με τον ίδιο εμπριεχόμενο όγκο και διαφορετική περιβάλλουσα επιφάνεια: (α) Συμπαγές σχήμα ( $F/V=0,47$ ), (β) Επίμηκες σχήμα ( $F/V=0,63$ ), (γ) Στοές και αίθριο ( $F/V=0,91$ )

Οι θερμικές απώλειες διαμέσου των δομικών στοιχείων ενός κτιρίου ανά μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας  $q_{h,A}$  [ $m^2$ ] ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης μπορούν να υπολογιστούν με χρήση της επόμενης σχέσης (βλ. Παράρτημα Α):

$$q_{h,A} = \frac{Q_h}{A_f} = \frac{F}{A_f} \cdot U_m \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. 2.1}]$$

όπου:  $q_{h,A}$  [ $kWh/(m^2 \text{ yr})$ ]: οι ανηγμένες στην θερμαινόμενη επιφάνεια θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης

$F$  [ $m^2$ ]: η εκτεθειμένη περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιρίου

$A_f$  [ $m^2$ ]: η θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου

$U_m$  [ $W/m^2K$ ]: ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου

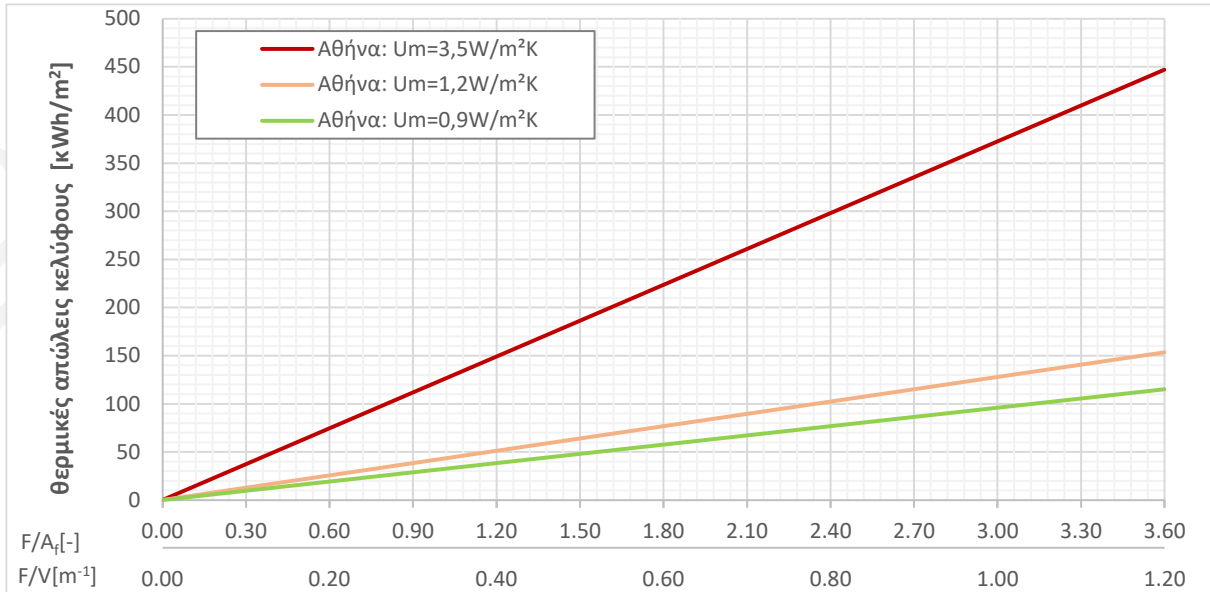
$\Sigma \Delta T_h$  [ $kKh$ ]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. Παράρτημα Ε)

Με βάση την παραπάνω σχέση, υπολογίστηκαν οι θερμικές απώλειες κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικές τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$  [ $W/(m^2K)$ ] και διαφορετικές κλιματικές ζώνες θεωρώντας μέσο ύψος των θερμαινόμενων χώρων ίσο με  $H_m=3,0m$ , και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στις επόμενες εικόνες (Εικόνα 2-2 και Εικόνα 2-3). Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν:

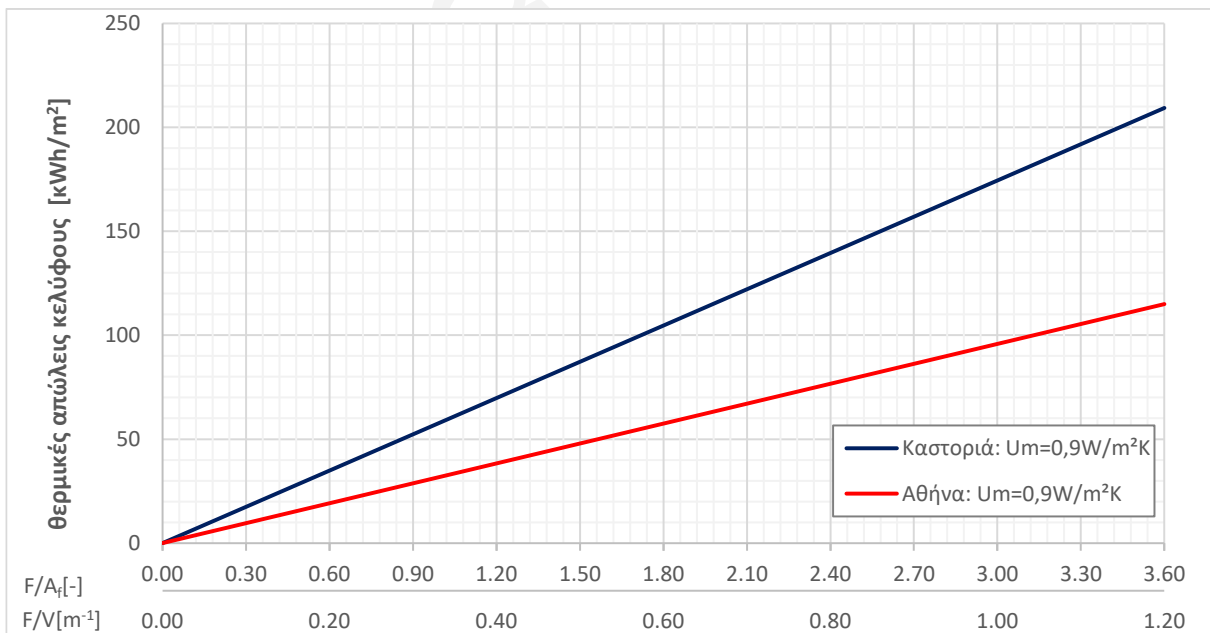
- οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου για τρεις διαφορετικούς μέσους συντελεστές θερμοπερατότητας ( $U_m=3,5W/m^2K$ ,  $U_m=1,2W/m^2K$ ,  $U_m=0,9W/m^2K$ ) για την περιοχή της Αθήνας συναρτήσει του δείκτη  $F/V$  (ή  $F/A_f$ ) (Εικόνα 2-2) και
- οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου με τον ίδιο συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U_m=0,9W/m^2K$ ) συναρτήσει του δείκτη  $F/V$  (ή  $F/A_f$ ) για δύο διαφορετικές περιοχές και πιο συγκεκριμένα για την Αθήνα και την Καστοριά (Εικόνα 2-3).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-2, η επίδραση του λόγου  $F/V$ , δηλαδή της μορφολογίας του κτιρίου, είναι πολύ μεγαλύτερη σε κτίρια με ασθενέστερη θερμομόνωση, σε σχέση με κτίρια που έχουν

ισχυρότερη θερμομόνωση. Επίσης, για κτίρια με ίδιο βαθμό θερμομόνωσης, η επίδραση του λόγου  $F/V$  (Εικόνα 2-3) είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με μεγαλύτερες ανάγκες για θέρμανση (π.χ. Καστοριά) σε σχέση με περιοχές που έχουν μικρότερες ανάγκες θέρμανσης (π.χ. Αθήνα).

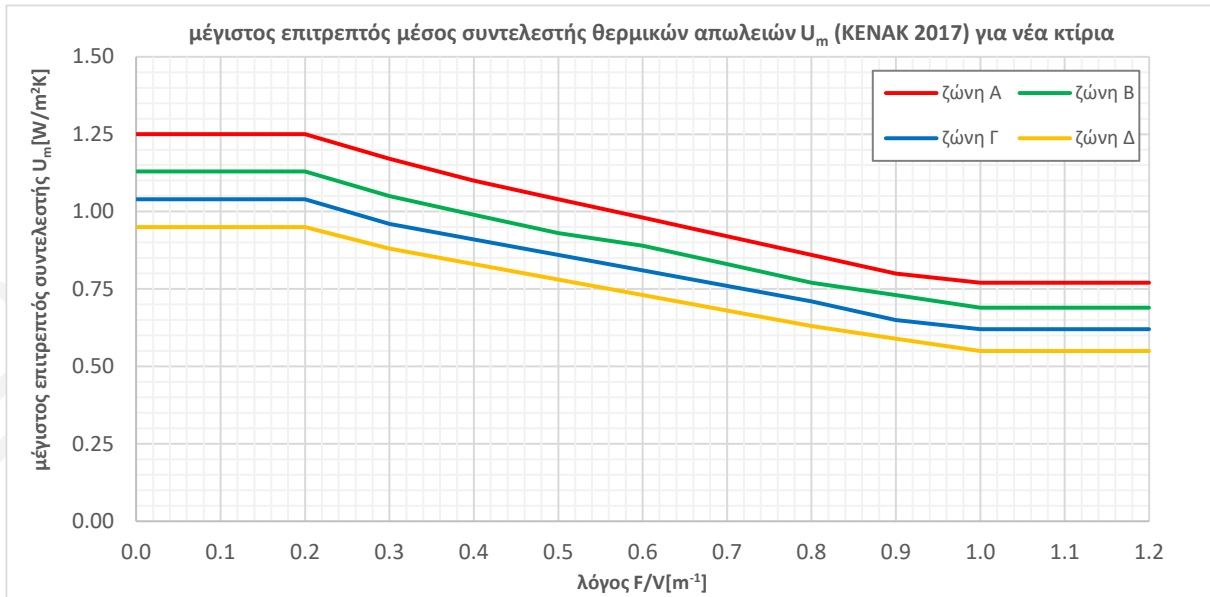


Εικόνα 2-2: Θερμικές απώλειες κτιρίου στην Αθήνα, συναρτήσει του λόγου  $F/V$  για τρεις περιπτώσεις μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$ .



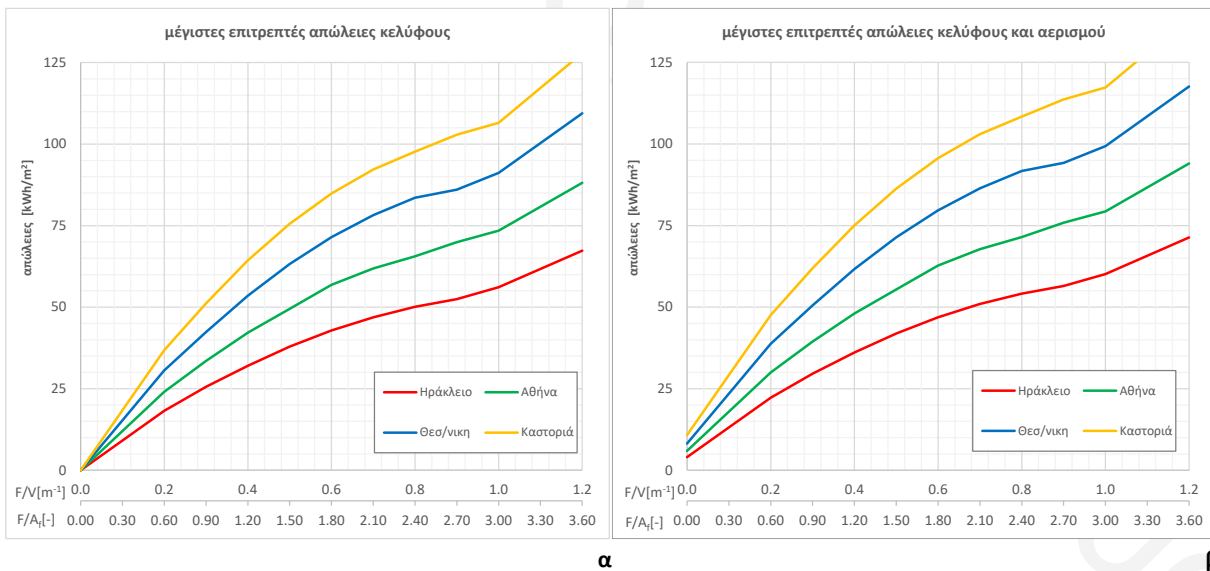
Εικόνα 2-3: Θερμικές απώλειες κτιρίου στην Αθήνα και στην Καστοριά, συναρτήσει του λόγου  $F/V$  για τον ίδιο μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$ .

Η επίδραση του δείκτη συμπαγούς μορφής  $C$  αντιμετωπίστηκε τόσο από τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ. 1979), όσο και από τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ. 2011 και 2017), καθορίζοντας ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης (μέγιστος επιτρεπτός μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών  $U_m$   $W/m^2K$ ) για τα κτίρια, ανάλογα με το πόσο συμπαγή μορφή έχουν (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4: Μέγιστος επιτρεπτός συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_m$  σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. σε σχέση με τον λόγο  $F/V$  για κάθε κλιματική ζώνη.

Λαμβάνοντας υπόψη τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_m$ , και με την παραδοχή ότι το τυπικό ύψος ορόφου είναι 3m, μπορούν να υπολογιστούν οι μέγιστες θερμικές απώλειες ενός κτιρίου που καλύπτει τις ελάχιστες προδιαγραφές του Κ.Εν.Α.Κ. Το γράφημα στην **Εικόνα 2-5** μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αρχική διαστασιολόγηση των παθητικών συστημάτων (βλ. **ενότητα 3.1**), εκτιμώντας τις θερμικές απώλειες του κελύφους και ισοσταθμίζοντάς τες με παθητικά συστήματα θέρμανσης.



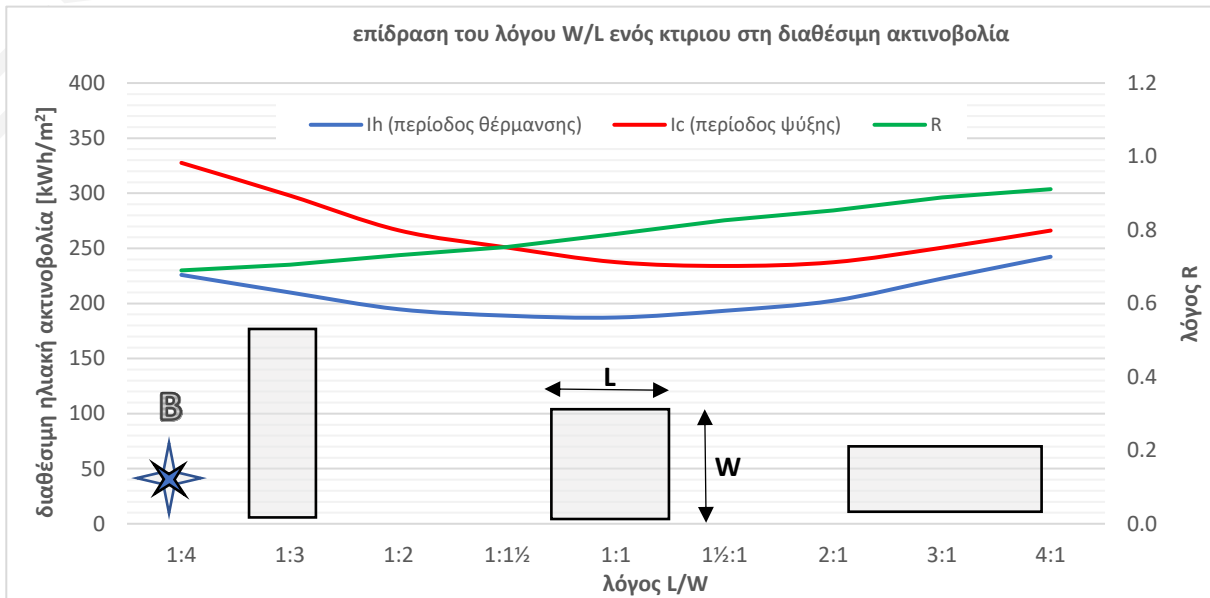
Εικόνα 2-5: (α) Μέγιστες επιτρεπτές απώλειες κατά την περίοδο θέρμανσης από το κτιριακό κέλυφος για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις και (β) αντίστοιχες τιμές για μέγιστες επιτρεπτές απώλειες λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες αερισμού (για κτίρια κατοικίας με φυσικό αερισμό).

### 2.1.2. Προσανατολισμός και αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, κτίρια με πιο συμπαγείς μορφές παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες, σε σχέση με λιγότερο συμπαγή. Παράλληλα όμως, επιμήκη κτίρια στη διεύθυνση Ανατολή-Δύση (Α-Δ) φαίνεται να πλεονεκτούν σε σχέση με κτίρια με τετράγωνο σχήμα ή επίμηκες



σχήμα στη διεύθυνση Βορράς-Νότος (B-N) καθώς δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια του χειμώνα και λιγότερη στη διάρκεια του καλοκαιριού. Στην [Εικόνα 2-6](#), παρουσιάζεται η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο κέλυφος του κτιρίου κατά την περίοδο θέρμανσης και κατά την περίοδο ψύξης σε κτίρια με διαφορετικές αναλογίες μήκους  $L$  προς πλάτος  $W$  (όπου μήκος  $L$  χαρακτηρίζεται η διάσταση του κτιρίου στον άξονα Α-Δ και πλάτος  $W$  η διάσταση στον άξονα Β-Ν) καθώς και η αναλογία της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης προς τη διαθέσιμη ακτινοβολία κατά την περίοδο ψύξης ως λόγος  $R$  (βλ. [\[εξ. 2.2\]](#)). Παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η αναλογία  $L/W$ , τόσο περισσότερο αυξάνεται ο λόγος  $R$  για το σύνολο του κτιρίου.



Εικόνα 2-6: Συσχετισμός των γεωμετρικών αναλογιών μήκους και πλάτους κτιρίου ( $L/W$ ) με τη συνολική διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία ανά ωφέλιμη επιφάνεια κατά την περίοδο θέρμανσης  $I_h$  και κατά την περίοδο ψύξης  $I_c$ , καθώς και του λόγου τους  $R$ .

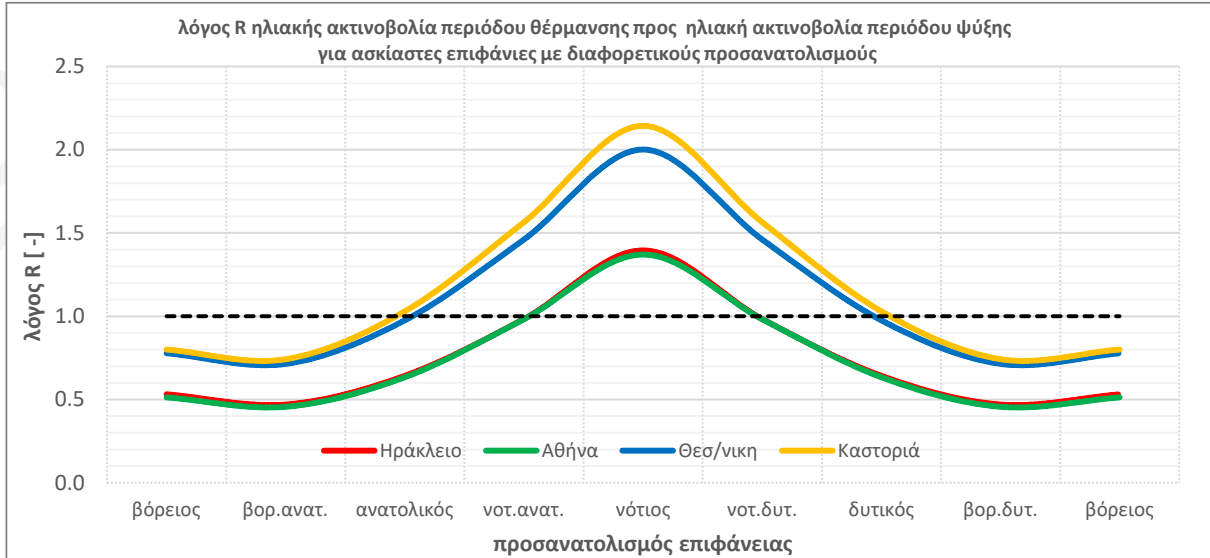
Προκειμένου να αντιληφθούμε την επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας στο ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτιρίου, ορίζεται ως  $R$  ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης, όπως φαίνεται στη σχέση [\[εξ. 2.2\]](#):

$$R = \frac{I_h}{I_c} \quad [\text{εξ. 2.2}]$$

όπου $R [-]$	ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης
$I_h$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	η ηλιακή ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης
$I_c$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	η ηλιακή ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου ψύξης

Στην [Εικόνα 2-7](#) δίνεται γραφικά ο λόγος  $R$  για αντιπροσωπευτικές πόλεις των τεσσάρων κλιματικών ζωνών, για μη σκιασμένες, κατακόρυφες επιφάνειες με διαφορετικούς προσανατολισμούς. Όπως φαίνεται από το γράφημα, ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος προσανατολισμός, όμως ο

λόγος R διαφέρει σε κάθε μια από τις κλιματικές ζώνες, οι οποίες και έχουν διαφορετικές περιόδους θέρμανσης/ψύξης. Είναι σαφές πως η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περισσότερο αποδοτική στις ψυχρότερες περιοχές. Σημειώνεται ότι οι πραγματικές περιόδους θέρμανσης και ψύξης εξαρτώνται επίσης από το ίδιο το κτίριο, π.χ. κτίρια με ισχυρότερη θερμομόνωση έχουν μικρότερη περίοδο θέρμανσης από ότι κτίρια χωρίς θερμομόνωση στην ίδια περιοχή.



Εικόνα 2-7: Λόγος R της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κατακόρυφες επιφάνειες κατά την περίοδο θέρμανσης προς την αντίστοιχη κατά την περίοδο ψύξης για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις.

Αντίστοιχα, ορίζεται ως  $R_{sh}$  ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε μια επιφάνεια δομικού στοιχείου στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης όπως φαίνεται στη σχέση [εξ. 2.2]:

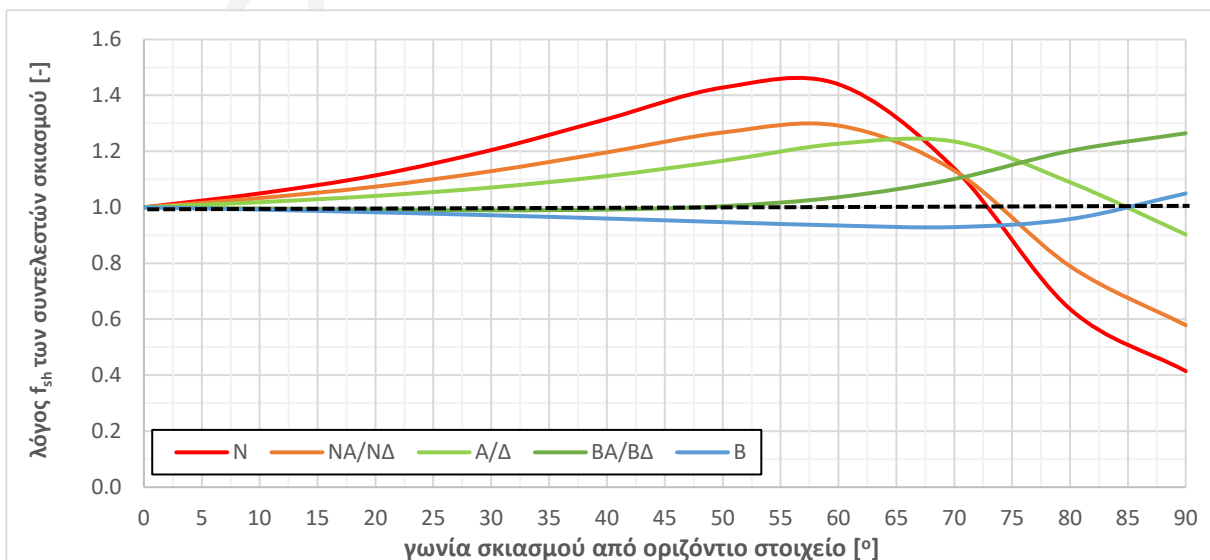
$$R_{sh} = \frac{I_h \cdot F_{sh,h}}{I_c \cdot F_{sh,c}} = R \cdot f_{sh} \quad [\text{εξ. 2.3}]$$

όπου $R_{sh} [-]$	ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε μια επιφάνεια στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης
$I_h [kWh/m^2]$	η ηλιακή ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης
$F_{sh,h} [-]$ :	ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης (βλ. ενότητα 4.2.3)
$I_c [kWh/m^2]$	η ηλιακή ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου ψύξης
$F_{sh,c} [-]$ :	ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης (βλ. ενότητα 4.2.3)
$R = I_h / I_c [-]$	ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης,
$f_{sh} = F_{sh,h} / F_{sh,c} [-]$	ο λόγος του συντελεστή σκιασμού κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης προς τον συντελεστή σκιασμού κατά την διάρκεια της περιόδου ψύξης

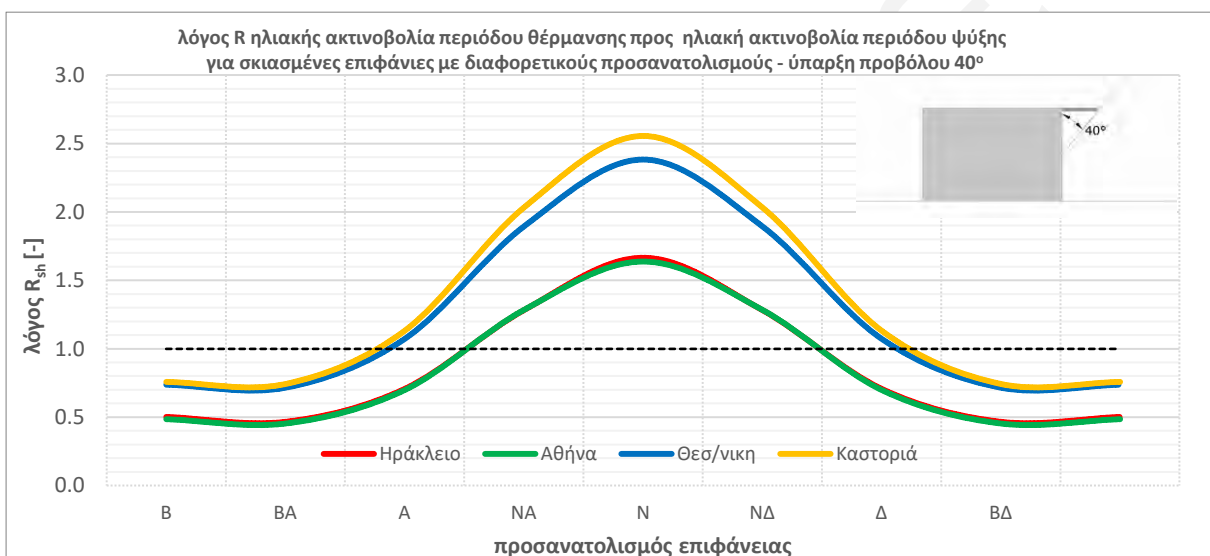
Αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για να είναι θετική η συνεισφορά της ηλιακής ακτινοβολίας στο ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο ενός διαφανούς δομικού στοιχείου, είναι ο λόγος  $R_{sh}$  να είναι μεγαλύτε-

ρος της μονάδας, δηλαδή η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου το χειμώνα να είναι περισσότερη από την προσπίπτουσα ακτινοβολία το καλοκαίρι. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος  $R_{sh}$ , τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν ο λόγος  $R_{sh}$  είναι μικρότερος από την μονάδα (1), τα ψυκτικά φορτία, στα οποία μετατρέπεται τελικά η ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι, είναι μεγαλύτερα από την εν δυνάμει μείωση της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση τον χειμώνα.

Το παραπάνω πλεονέκτημα του νότιου προσανατολισμού ενισχύεται περισσότερο από το γεγονός ότι η γωνία ύψους του ήλιου, κατά τις μεσημεριανές ώρες, μεγιστοποιείται το καλοκαίρι και ελαχιστοποιείται το χειμώνα· με τη χρήση οριζόντιων σκιάστρων στο κατακόρυφο νότιο επίπεδο, προσφέρεται η δυνατότητα περαιτέρω μείωσης της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη θερινή περίοδο, χωρίς να μειώνεται στον ίδιο βαθμό η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με αποτέλεσμα ο λόγος  $R_{sh}$  να είναι μεγαλύτερος από το λόγο  $R$  μέχρι και περίπου 1,5 φορά. Το παραπάνω γίνεται περισσότερο εμφανές από το επόμενο γράφημα στο οποίο αποτυπώνεται γραφικά η επίδραση της γωνίας σκιασμού οριζόντιου στοιχείου στον λόγο  $f_{sh}$  των συντελεστών σκιασμού ανά προσανατολισμό.

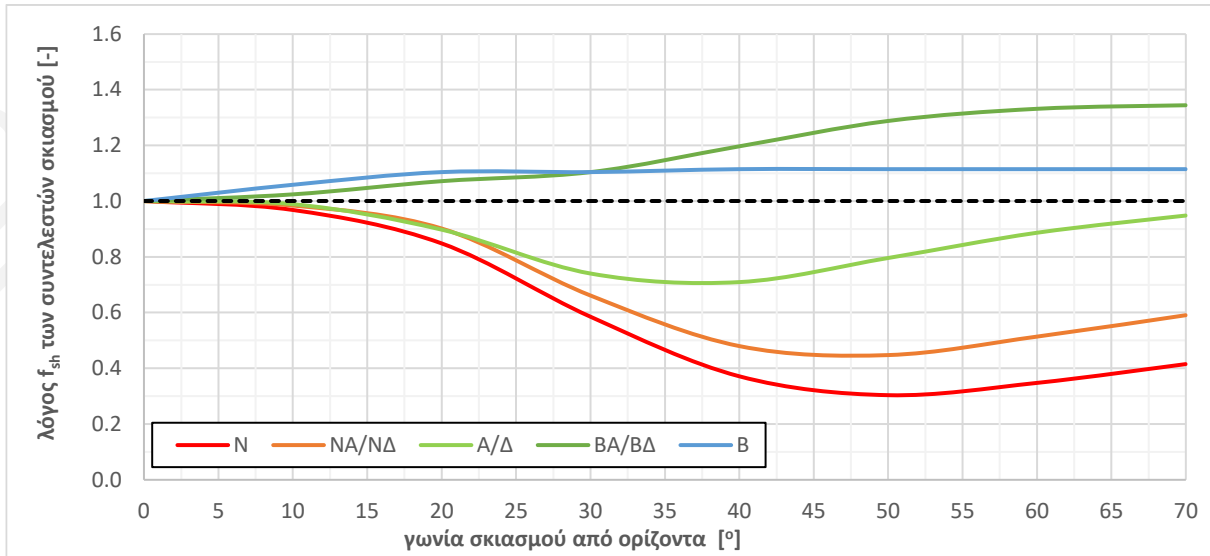


Εικόνα 2-8: Λόγος  $f_{sh}$  του συντελεστή σκίασης κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης προς τον συντελεστή σκιασμού κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης συναρτήσει της γωνίας σκιασμού.

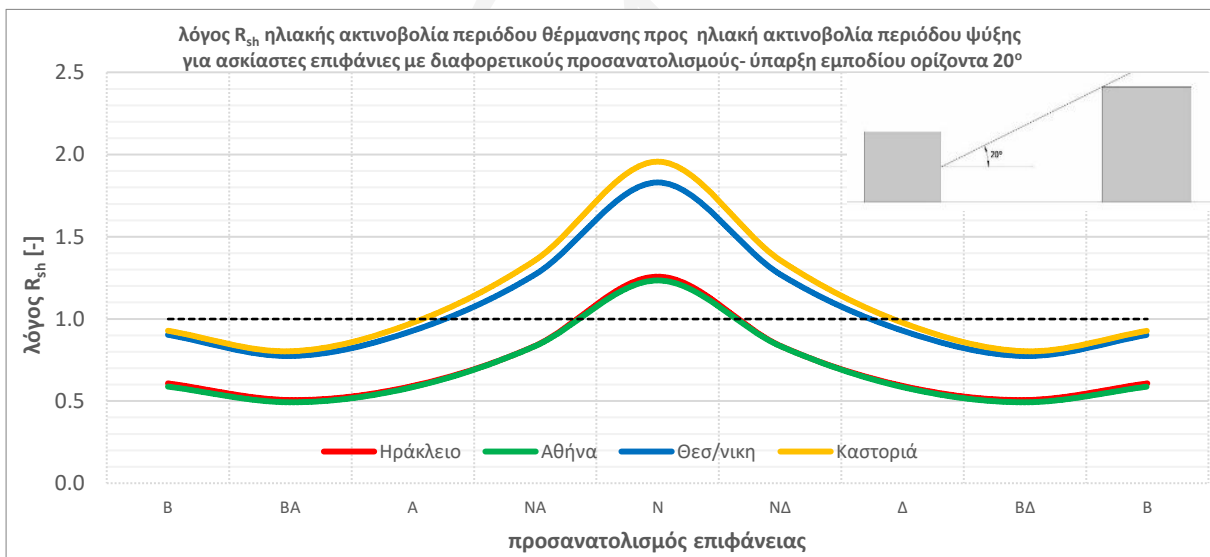


Εικόνα 2-9: Λόγος  $R_{sh}$  με ύπαρξη οριζόντιου προβόλου 40° για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις

Αντίθετα, στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων στον ορίζοντα, η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του χειμώνα μειώνεται περισσότερο από ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, με αποτέλεσμα ο λόγος  $R_{sh}$  να μειώνεται περισσότερο στο νότιο προσανατολισμό από το κατακόρυφο εμπόδιο (Εικόνα 2-11), σε σχέση με το οριζόντιο (Εικόνα 2-9).



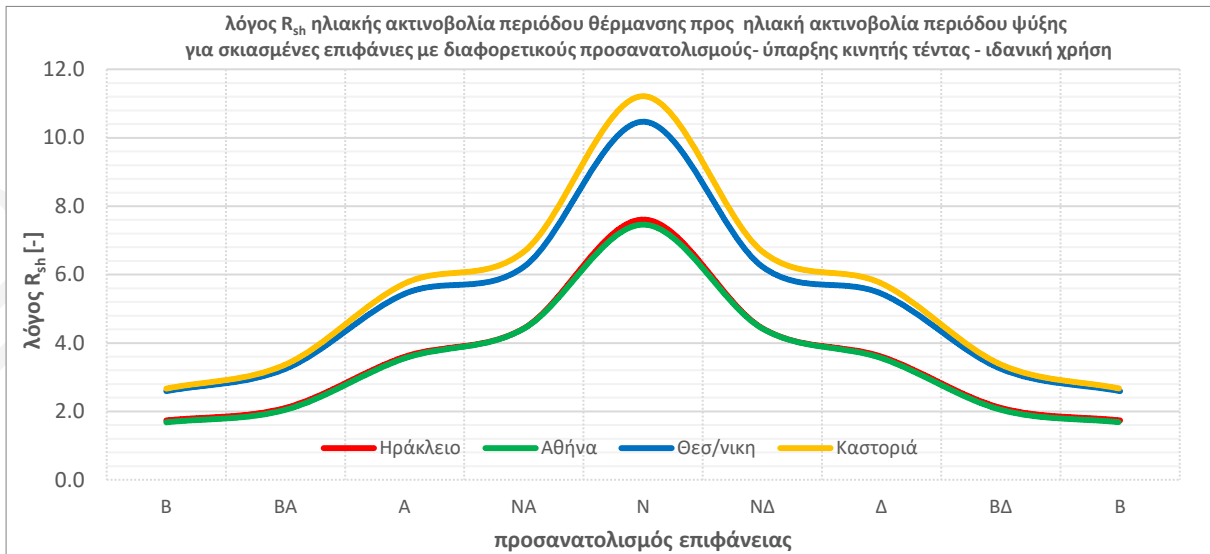
Εικόνα 2-10: Λόγος  $f_{sh}$  του συντελεστή σκίασης κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης προς τον συντελεστή σκίασμού κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης συναρτήσει της γωνίας σκιασμού.



Εικόνα 2-11: Λόγος  $R_{sh}$  με ύπαρξη εμποδίου στον ορίζοντα  $20^\circ$  για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις

Πολύ σημαντική είναι επίσης η συμβολή της κινητής σκίασης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ή η ύπαρξη φυλλοβόλων δέντρων, που μπορούν να καταστήσουν αξιοποιήσιμη την ηλιακή ακτινοβολία ακόμη και προσανατολισμούς οι οποίοι με βάση τις τιμές ανεμπόδιστης ακτινοβολίας έχουν  $R < 1$  (δηλαδή αρνητική συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτιρίου). Με τη χρήση κινητών συστημάτων ηλιοπροστασίας ή με την εποχιακή ηλιοπροστασία από φυτεύσεις, είναι δυνατόν να τροποποιηθεί ο λόγος  $R$  και για μη ευνοϊκούς προσανατολισμούς π.χ. σε μια ανατολική επιφάνεια να αξιοποιηθούν τα μικρά ηλιακά κέρδη κατά τη χειμερινή περίοδο και να μειωθούν τα ηλιακά κέρδη αποτρέποντας την υπερθέρμανση κατά τη θερινή περίοδο. Σημειώνεται πάντως ότι για χειροκίνητα συστήματα

σκίασης πρακτικά δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία τους αφού εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα.



Εικόνα 2-12: Λόγος  $R_{sh}$  με ύπαρξη τέντας που χρησιμοποιείται ιδανικά, για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις. Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία την περίοδο θέρμανσης  $I_h$  και την περίοδο ψύξης  $I_c$  σε επιφάνειες διαφορετικού προσανατολισμού για βασικές πόλεις της Ελλάδας, καθώς και άλλοι χρήσιμοι δείκτες κλιματικών συνθηκών, παρουσιάζονται στο [Παράρτημα Ε](#) ενώ αναλυτικά στοιχεία σε μηνιαίο βήμα δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010.

### 2.1.3. Μέγιστα βάθος $D_{max}$ των διάφορων τμημάτων του κτιρίου

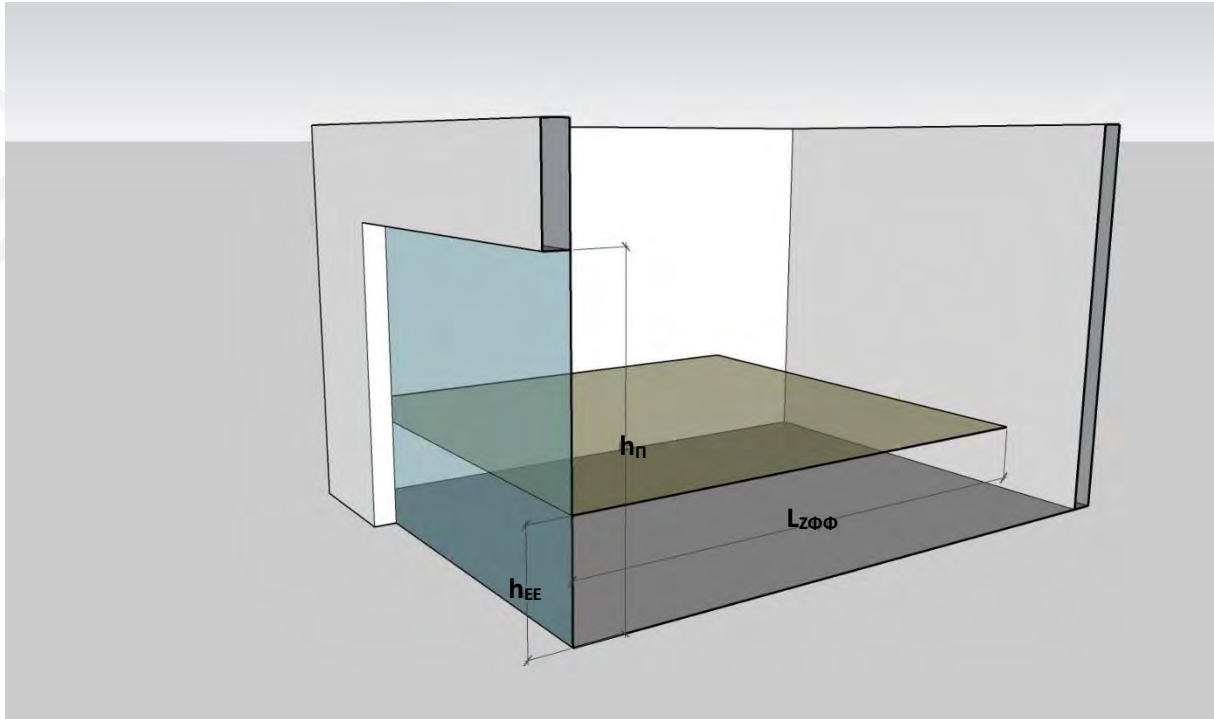
Εκτός από τη διάταξη του κτιρίου, είναι σημαντική η διάταξη και οι διαστάσεις των χώρων εντός του κτιρίου, τόσο για την απολαβή των ηλιακών κερδών, όσο και για το φυσικό φωτισμό τους. Γενικά, όσο πιο μεγάλο βάθος έχουν, τόσο δυσκολότερα φωτίζονται με φυσικό φωτισμό. Η περιοχή στην οποία μπορεί να γίνει αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού ονομάζεται ζώνη φυσικού φωτισμού. Το βάθος της ζώνης φυσικού φωτισμού μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$L_{Z\Phi\Phi} = 2,5 \cdot (h_{\Pi} - h_{EE}) \quad [\text{εξ. 2.4}]$$

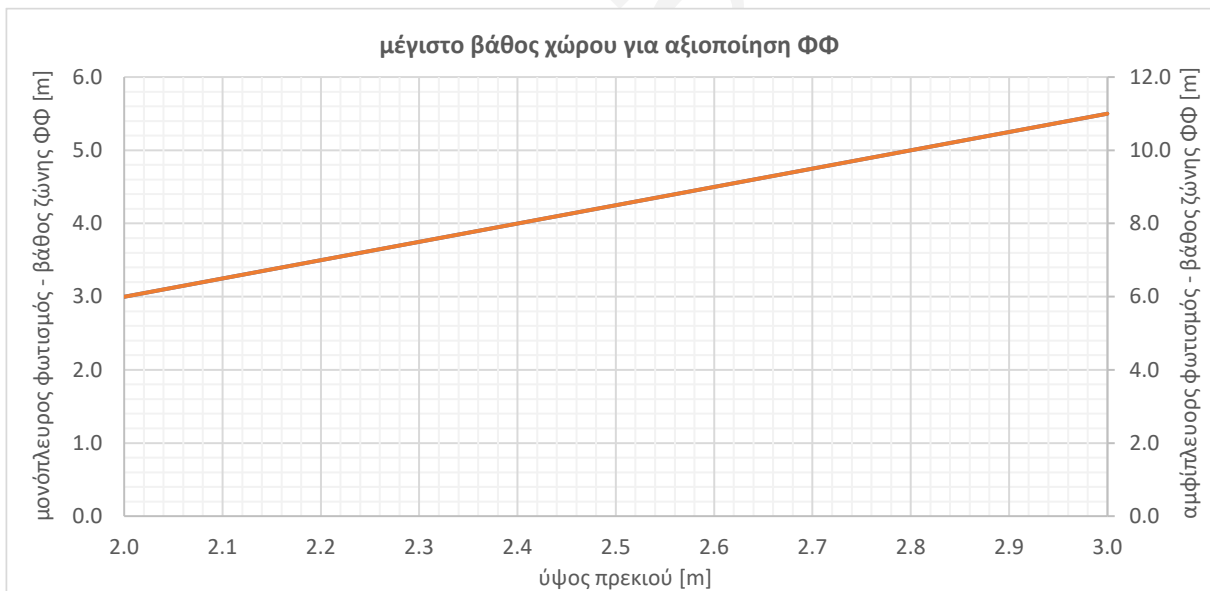
όπου	$L_{Z\Phi\Phi}[m]$ :	το βάθος της ζώνης φυσικού φωτισμού
	$h_{\Pi}[m]$ :	το ύψος πρεκτιού του διαφανούς δομικού στοιχείου
	$h_{EE}[m]$ :	το ύψος της επιφάνειας εργασίας

Η παραπάνω σχέση αποτυπώνεται γραφικά στην [Εικόνα 2-14](#), λαμβάνοντας ύψος επιπέδου εργασίας ίσο με 0,80m από το δάπεδο. Για ένα διαμερή χώρο, με δυνατότητα τοποθέτησης διαφανών δομικών στοιχείων και στις δύο απέναντι πλευρές του, το γράφημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μέγιστου βάθους που μπορεί να έχει ο χώρος, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού. Γίνεται αντιληπτό από το παρακάτω γράφημα, ότι όσο πιο ψηλά είναι τοποθετημένο ένα άνοιγμα, σε τόσο περισσότερο βάθος χώρου μπορεί να αξιοποιηθεί ο φυσικός φωτισμός.

Για παράδειγμα για ύψος πρεκίου ίσο με 2,4m το μέγιστο βάθος φωτισμού ισούται με 4,0m για ύπαρξη ανοιγμάτων μόνο από την μια πλευρά ενώ στην περίπτωση που υπάρχουν ανοίγματα και από τις δύο πλευρές του χώρου αυτό διπλασιάζεται και ισούται με 8,0m.



Εικόνα 2-13: Ένδειξη του βάθους ζώνης φυσικού φωτισμού σε εσωτερικό χώρο με άνοιγμα στη μια πλευρά



Εικόνα 2-14: Βάθος ζώνης φυσικού φωτισμού συναρτήσεως του ύψους πρεκίου του διαφανούς δομικού στοιχείου και μέγιστο πλάτος εσωτερικού χώρου στον οποίο μπορεί να γίνει αξιοποίηση φυσικού φωτισμού με ανοίγματα σε δυο απέναντι πλευρές.

## 2.2. Στατικά ενεργειακά χαρακτηριστικά κτιρίου

Το κάθε κτίριο έχει μια σειρά από ενεργειακά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ενεργειακή συμπεριφορά του και εξαρτώνται από τις σχεδιαστικές επιλογές του μελετητή. Βασικές παράμετροι είναι:

- ο συντελεστής θερμικών ροών,  $H$ , του κτιρίου που καθορίζει για συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες τον ρυθμό ροών θερμότητας από τον εξωτερικό αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου ή και το αντίστροφο,
- η δρώσα θερμοχωρητικότητα του κτιρίου,  $C_m$ , που εξαρτάται από το είδος των δομικών στοιχείων (υψηλής ή χαμηλής θερμοχωρητικότητας) που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τη θέση της θερμομονωτικής στρώσης (εσωτερικά, στον πυρήνα ή εξωτερικά του δομικού στοιχείου) και καθορίζει την δυνατότητα του κτιρίου να αποθηκεύσει ενέργεια στο κέλυφος του,
- η χρονική σταθερά του κτιρίου,  $\tau$ , που εξαρτάται από τα δύο προηγούμενα μεγέθη και καθορίζει τελικά τη δυνατότητα του κτιρίου να εκμεταλλευτεί την ενέργεια που αποθηκεύεται στα δομικά του στοιχεία για τη μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση και ψύξη.

### 2.2.1. Συντελεστής θερμικών ροών

Οι θερμικές ροές (απώλειες ή κέρδη) ενός κτιρίου καθορίζονται από το κλίμα της περιοχής που βρίσκεται, τον τρόπο λειτουργίας του (επιθυμητή θερμοκρασία, ωράριο λειτουργίας, απαιτήσεις σε νωπό αέρα) και από τα χαρακτηριστικά των δομικών του στοιχείων (επίπεδο θερμομόνωσης και αεροστεγανότητα). Μπορούν να προσδιοριστούν από το συντελεστή θερμικών ροών του κτιρίου που το χαρακτηρίζει και εξαρτάται από τις σχεδιαστικές επιλογές του μελετητή, με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$Q = H \cdot \Sigma \Delta T \quad [\text{εξ. 2.5}]$$

όπου:  $Q$  [kWh]: οι θερμικές ροές (απώλειες ή κέρδη) του κτιρίου  
 $H$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής ροής του κτιρίου  
 $\Sigma \Delta T$  [K·h]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης ή ψύξης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. [Παράρτημα Ε](#)).

Σημειώνεται ότι όταν το μέγεθος  $\Sigma \Delta T$  έχει θετική τιμή (μικρότερες εξωτερικές θερμοκρασίες από την εσωτερική), οι ροές θερμότητας λογίζονται ως απώλειες του κτιρίου, ενώ όταν έχει αρνητική τιμή (υψηλότερες εξωτερικές θερμοκρασίες από την εσωτερική), οι ροές θερμότητας λογίζονται ως κέρδη του κτιρίου π.χ. κατά τη διάρκεια κάποιων μηνών της θερινής περιόδου.

Ενδεικτικός της «ποιότητας» σχεδιασμού ενός κτιρίου είναι ο ανηγμένος στην ωφέλιμη επιφάνεια συντελεστής θερμικής ροής που υπολογίζεται με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$H_m = H / A_f \quad [\text{εξ. 2.6}]$$

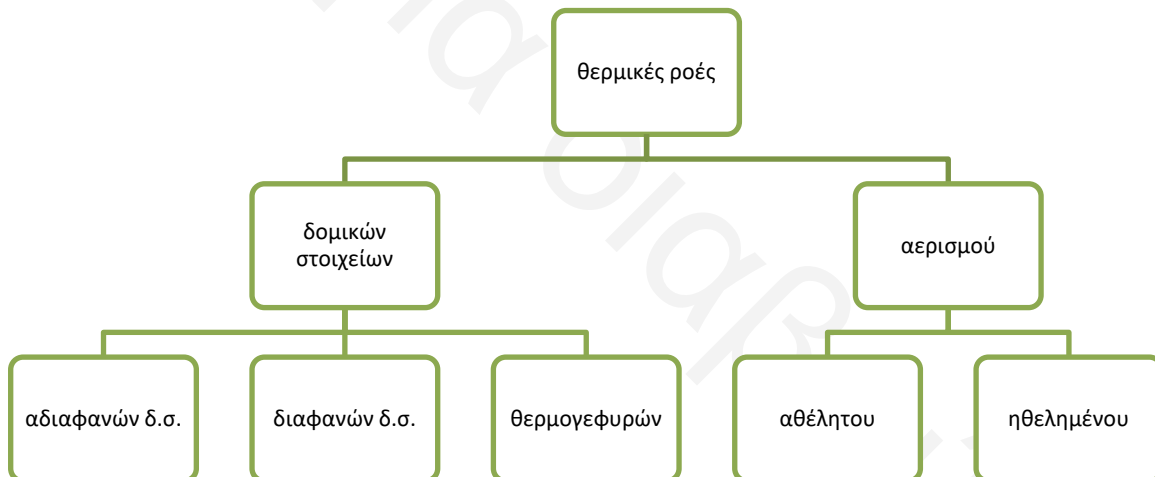
όπου:  $H_m$  [W/ m<sup>2</sup>K]: ο ανηγμένος στην ωφέλιμη επιφάνεια συντελεστής θερμικής ροής του κτιρίου  
 $H$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής ροής του κτιρίου  
 $A_f$  [m<sup>2</sup>]: η ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου.

Οι θερμικές ροές διαχωρίζονται σε ροές διαμέσου των δομικών του στοιχείων και σε ροές αερισμού. Αντίστοιχα και ο συντελεστής θερμικής ροής του κτιρίου προκύπτει ως το άθροισμα του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου και του συντελεστή θερμικής ροής αερισμού:

$$H = H_{tr} + H_{vent} \quad [εξ. 2.7]$$

όπου:  $H$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής ροής του κτιρίου  
 $H_{tr}$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του κτιρίου  
 $H_{vent}$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής ροής αερισμού του κτιρίου

Σε παλιότερα κτίρια, χωρίς ή με ανεπαρκή θερμομόνωση και ανοίγματα χαμηλής αεροστεγανότητας, οι απώλειες λόγω αερισμού αντιστοιχούσαν περίπου στο 5%-20% των συνολικών θερμικών απωλειών. Σε σύγχρονα κτίρια, που καλύπτουν τις ελάχιστες απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. και αερίζονται με φυσικό τρόπο (κατοικίες), οι απώλειες λόγω αερισμού αντιστοιχούν περίπου στο 10%-25% ανάλογα με την κλιματική ζώνη (δηλαδή το επίπεδο θερμομόνωσης με μικρότερα ποσοστά να αντιστοιχούν στην Α ζώνη και μεγαλύτερα στην Δ), τον λόγο συμπαγούς μορφής F/V και την κλάση αεροστεγανότητας των ανοιγμάτων. Σε κτίρια που αερίζονται με μηχανικό τρόπο (και διαθέτουν σύστημα ανάκτησης θερμότητας υποχρεωτικά βάσει Κ.Εν.Α.Κ.) και διαθέτουν ανοίγματα της υψηλότερης κλάσης αεροστεγανότητας (βλ. [ενότητα 2.4.1.1](#)) τα παραπάνω ποσοστά μειώνονται περίπου στο μισό.



Εικόνα 2-15: Διαχωρισμός θερμικών ροών από και προς το κτίριο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα.

Ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας ενός κτιρίου προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους θερμικών διαπερατοτήτων των αδιαφανών δομικών στοιχείων, των διαφανών δομικών στοιχείων καθώς και των θερμογεφυρών που δημιουργούνται σε ασυνέχειες της θερμομονωτικής στρώσης αλλά και μεταβολές της γεωμετρίας του κτιρίου (π.χ. γωνίες οριζόντιες και κατακόρυφες).

$$H_{tr} = \sum A_{op} \cdot U_{op} + \sum A_w \cdot U_w + \sum L \cdot \Psi \quad [εξ. 2.8]$$

όπου:  $H_{tr}$  [W/K]: ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του κτιρίου  
 $A_{op}$  [m<sup>2</sup>]: η επιφάνεια του αδιαφανούς δομικού στοιχείου  $i$   
 $U_{op}$  [W/(m<sup>2</sup>K)]: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του αδιαφανούς δομικού στοιχείου  $i$   
 $A_w$  [m<sup>2</sup>]: η επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου  $j$



$U_w [W/(m^2K)]:$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου $j$
$L [m]:$	το μήκος της θερμογέφυρας $k$
$\Psi [W/m K]:$	ο γραμμικός συντελεστής θερμικών απωλειών της θερμογέφυρας $k$

Σε κτίρια κατασκευασμένα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ., ο μέγιστος επιτρεπτός συντελεστής θερμοπερατότητας για τα ανοίγματα είναι περίπου 5,1 έως 6,3 φορές (ανάλογα με την κλιματική ζώνη) μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο για κατακόρυφα αδιαφανή στοιχεία. Συνεπώς η επίδραση της συνολικής επιφάνειας τους στον συντελεστή θερμικής διαπερατότητας του κτιρίου και κατ' επέκταση στις θερμικές απώλειες είναι πολύ μεγάλη. Όπως θα αναλυθεί όμως σε επόμενη ενότητα (βλ. [ενότητα 2.4.2](#)) τα διαφανή δομικά στοιχεία δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως πηγές απωλειών για το κτίριο αλλά ως πηγές κερδών (παθητική θέρμανση) εφόσον σχεδιαστούν κατάλληλα

Οι θερμογέφυρες είναι ένα εγγενές πρόβλημα που παρουσιάζουν κτίρια που είναι θερμομονωμένα. Μπορούν να αποτελούν το 10% έως 35% των απωλειών διαπερατότητας ακόμη και σε κτίρια που διαθέτουν εξωτερικά συστήματα θερμομόνωσης (που γενικά ελαχιστοποιούν την ύπαρξη θερμογεφυρών). Η επίδραση τους είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότεροι είναι οι συντελεστές θερμικής διαπερατότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου (δηλαδή όσο περισσότερο θερμομονωμένο είναι το κτίριο). Στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2:2022 δίνονται πινακοποιημένες τιμές γραμμικής θερμοπερατότητας  $\Psi$  θερμογεφυρών για διάφορες κατασκευαστικές λεπτομέρειες. Ο μελετητής ενθαρρύνεται κατά τη φάση σχεδιασμού του κτιρίου να επιλέξει εκείνες που εμφανίζουν το χαμηλότερο συντελεστή  $\Psi$  ούτως ώστε να περιορίσει τις απώλειες του κτιρίου.

Οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού ενός κτιρίου προκύπτουν από το άθροισμα των απωλειών λόγω ηθελημένου αερισμού, απαραίτητου για την διατήρηση ενός υγιούς εσωκλίματος που μπορεί να γίνεται με φυσικό τρόπο (π.χ. άνοιγμα κουφωμάτων) ή με μηχανικό τρόπο, και των απωλειών του αθέλητου αερισμού λόγω αεροστεγανότητας των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Οι απώλειες λόγω αεροστεγανότητας εξαρτώνται κυρίως από την επιφάνεια των διαφανών δομικών στοιχείων καθώς και από τον συντελεστή αεροπερατότητας τους.

$$H_{vent} = H_{fr} + H_{inf} = [q_{fr} \cdot f_{op} \cdot (1 - n_r) + q_{inf}] \cdot c_p \cdot \rho = [q_{fr} \cdot f_{op} \cdot (1 - n_r) + \sum A_w \cdot a_{inf}] \cdot c_p \cdot \rho \quad [εξ. 2.9]$$

όπου: $H_{vent} [W/K]:$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών λόγω αερισμού
$H_{fr} [W/K]:$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών λόγω ηθελημένου αερισμού
$H_{inf} [W/K]:$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών λόγω αθέλητου αερισμού
$q_{fr} [m^3/h]:$	οι απαιτήσεις σε φρέσκο αέρα που εξαρτώνται από τη χρήση και την πυκνότητα κατοίκησης του κτιρίου (βλ. πίνακα 2.3 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1:2022)
$f_{op} [\%]:$	το ποσοστό του χρόνου σε μία εβδομάδα που το κτίριο κατοικείται και απαιτεί νωπό αέρα (βλ. πίνακα 2.1 Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1:2022)
$n_r [\%]:$	το ποσοστό ανάκτησης θερμότητας του συστήματος μηχανικού αερισμού, αν το κτίριο αερίζεται με φυσικό τρόπο λαμβάνεται ίσο με 1
$q_{inf} [m^3/h]:$	οι απώλειες αέρα λόγω αεροστεγανότητας
$c_p [Wh/kg]$	η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα στους 20°C που λαμβάνεται ίση με $c_p=0,281Wh/kg$
$\rho [kg/m^3]$	η πυκνότητα του αέρα στους 20°C που λαμβάνεται ίση με $1,2kg/m^3$

$c_p \rho$ [Wh/m <sup>3</sup> ]	το γινόμενο της ειδικής θερμοχωρητικότητας με την πυκνότητα του αέρα
ίσο	με $c_p \rho = 0,337$ Wh/m <sup>3</sup>
$A_w$ [m <sup>2</sup> ]	η επιφάνεια του πορτοπαράθυρου
$\alpha_{inf}$ [(m <sup>3</sup> /h)m <sup>2</sup> ]	ο συντ. αεροπερατότητας του πορτοπαράθυρου (βλ. ενότητα 2.4.1.1).

Σε παλιότερα κτίρια με ανοίγματα χαμηλής αεροστεγανότητας οι απώλειες λόγω ηθελημένου αερισμού αποτελούσαν μόλις το 10%-20% των απωλειών αερισμού ανάλογα με το ποσοστό των ανοιγμάτων επί της κάτοψης του κτιρίου. Σε σύγχρονα κτίρια κατασκευασμένα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ. το αντίστοιχο ποσοστό γίνεται περίπου ίσο με 25%-35% εφόσον το κτίριο αερίζεται με φυσικό τρόπο και περίπου 50%-70% εφόσον αερίζεται με μηχανικό τρόπο (με υποχρεωτική βάση Κ.Εν.Α.Κ. εγκατάσταση διάταξης ανάκτησης θερμότητας).

## Υπολογιστικό παράδειγμα 2.1

Μονοκατοικία με δώμα και πιλοτή διαστάσεων 12,0m x 12,0m και ύψους h=3,0m διαθέτει ανοίγματα ίσα με το 20% των όψεων. Να προσδιοριστεί ο συντελεστής θερμικών ροών για το κτίριο αν υποθεθεί ότι διαθέτει εξωτερική θερμομόνωση σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες και κουφώματα αεροστεγανότητας κλάσης 3.

Το κτίριο έχει: ωφέλιμη επιφάνεια  $A_f=12m \times 12m=144m^2$ , θερμαινόμενο όγκο  $V=144m \times 3m=432m^3$ , εκτεθειμένη περιβάλλουσα επιφάνεια  $F=2 \times 12m \times 12m + 4 \times 12m \times 3m=432m^2$ , λόγο συμπαγούς μορφής  $F/V=432m^2/432m^3=1m^{-1}$ . Οι υπόλοιπες εμβαδομετρήσεις και υπολογισμοί δίνονται στον επόμενο πίνακα.

	ανοίγματα	κατακόρυφα δ.σ.	δώμα	πυλωτή	
επιφάνεια [m <sup>2</sup> ]	=12x4x3x20%= 28.8	=12x4x3x80%= 115.2	=12x12= 144	=12x12= 144	
U [W/m <sup>2</sup> K]	ζώνη Α	2.8	0.55	0.45	0.45
	ζώνη Β	2.6	0.45	0.40	0.40
	ζώνη Γ	2.4	0.40	0.35	0.35
	ζώνη Δ	2.2	0.35	0.30	0.30
ΣΑΥ [W/K]	ζώνη Α	81	63	65	65
	ζώνη Β	75	52	58	58
	ζώνη Γ	69	46	50	50
	ζώνη Δ	63	40	43	43

Σύμφωνα με την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2:2022 προσδιορίστηκαν οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες καθώς και οι συντελεστές Ψ που αντιστοιχούν σε αυτές.

Θερμογέφυρες				
λεπτομέρεια	ΔΣ-10&12	ΔΠ-8*	ΛΠ-24	ΥΠ-24
Ψ [W/mK]	0.80	0.85	0.2	0.15
L [m]	=12x4= 48	=12x4= 48	=2x2x10= 40	=14.4x2= 28.8
	38.4	40.8	8	4.32
ΣΨL [W/K]				

Οι συντελεστές θερμικών απωλειών λόγω ηθελημένου αερισμού και αθέλητου αερισμού υπολογίζονται λαμβάνοντας από την Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1:2022 τις απαιτήσεις νωπού αέρα καθώς και τον χρόνο λειτουργίας του κτιρίου.

$$H_{fr}=0,75[m^3/hm^2] \times 144m^2 \times 16[h]/24[h] \times 1 \times 0,337[Wh/m^3] = 24W/K$$

$$H_{inf}=28,8m^2 \times 1,4[(m^3/h)/m^2] \times 0,337[Wh/m^3] = 14W/K$$

Συνεπώς ο συντελεστής θερμικών ροών του κτιρίου ισούται με:

	ΣΑ <sub>w</sub> ×U <sub>w</sub>	ΣΑ <sub>op</sub> ×U <sub>op</sub>	ΣΨ×L	H <sub>tr</sub> [W/K]	H <sub>fr</sub> [W/K]	H <sub>inf</sub> [W/K]	H <sub>vent</sub> [W/K]	H [W/K]
ζώνη Α	81	193	92	<b>365</b>	24	14	38	<b>403</b>
ζώνη Β	75	167	92	<b>333</b>				<b>333</b>
ζώνη Γ	69	147	92	<b>308</b>				<b>308</b>
ζώνη Δ	63	127	92	<b>282</b>				<b>282</b>

Συνεπώς ο συντελεστής θερμικών ροών του κτιρίου επιμερίζονται ως εξής:

	ΣΑ <sub>w</sub> ×U <sub>w</sub>	ΣΑ <sub>op</sub> ×U <sub>op</sub>	ΣΨ×L	H <sub>tr</sub> [W/K]	H <sub>fr</sub> [W/K]	H <sub>inf</sub> [W/K]	H <sub>vent</sub> [W/K]	H [W/K]
ζώνη Α	20%	48%	23%	<b>91%</b>	6%	3%	<b>9%</b>	<b>100%</b>
ζώνη Β	20%	45%	25%	<b>90%</b>	7%	4%	<b>10%</b>	<b>100%</b>
ζώνη Γ	20%	43%	26%	<b>89%</b>	7%	4%	<b>11%</b>	<b>100%</b>
ζώνη Δ	20%	40%	29%	<b>88%</b>	8%	4%	<b>12%</b>	<b>100%</b>

### 2.2.2. Θερμοχωρητικότητα

Η θερμοχωρητικότητα των υλικών των δομικών στοιχείων του κελύφους καθορίζει την ικανότητά τους να αποθηκεύουν θερμότητα είτε από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτά μέσω των διαφανών δομικών στοιχείων, είτε από τον εσωτερικό αέρα, αποτρέποντας την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του και να απελευθερώνουν την αποθηκευμένη θερμότητα στο περιβάλλον τους, κατά τις νυχτερινές ώρες, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι χαμηλότερη. Η ιδιότητα αυτή των δομικών στοιχείων επιτρέπει την αξιοποίηση της αποθηκευμένης θερμότητας για την παθητική θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για τον δροσισμό τους τη θερινή περίοδο, με τη βοήθεια επαρκούς αερισμού κατά τη διάρκεια της νύχτας ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις των χώρων.

Η αποθήκευση θερμότητας στα δομικά στοιχεία είναι πολύ σημαντική, καθώς:

- αποθηκεύεται θερμότητα, η οποία αποδίδεται στο κτίριο όταν πλέον δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι την περίοδο της ημέρας που δεν απαιτείται η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης,
- αποφεύγεται υπερθέρμανση του χώρου τις ώρες με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία<sup>1</sup>
- επιτυγχάνεται χρονική υστέρηση μεταξύ της μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα και της μέγιστης εσωτερικής, με αποτέλεσμα μικρότερες διακυμάνσεις της εσωτερικής θερμοκρασίας και καλύτερες συνθήκες θερμικής άνεσης. Ιδιαίτερα για την περίοδο ψύξης, η χρονική υστέρηση μπορεί να μειώσει πολύ την κατανάλωση ενέργειας για ψύξη, αν η μεγάλη θερμοχωρητικότητα συνδυάζεται με νυχτερινό αερισμό.

Όπως αναλύεται στη σχετική ενότητα (βλ. [ενότητα 2.3.2](#)) η θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου δεν μπορεί να αξιοποιηθεί στο σύνολο της. Έτσι ορίζεται η δρώσα θερμοχωρητικότητα του κάθε δομικού στοιχείου που πρακτικά είναι η αξιοποιήσιμη θερμοχωρητικότητα κατά τη φάση λειτουργίας ενός κτιρίου. Η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα ενός χώρου/ κτιρίου,  $C_m$ , μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά με χρήση της επόμενης σχέσης [[εξ. 2.10](#)] με βάση τη επιφάνεια των δομικών στοιχείων που περικλείουν τον χώρο και την δρώσα θερμοχωρητικότητα καθενός από αυτά.

$$C_m = \sum (k'_m \cdot A_{int}) \quad [\text{εξ. 2.10}]$$

όπου:  $C_m$  [Wh/K]: η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα του χώρου/ κτιρίου

$k'_m$  [Wh/m<sup>2</sup>K]: η δρώσα θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων που περιβάλλουν τον χώρο/ τους χώρους του κτιρίου (βλ. [ενότητα 2.3.2](#))

$A_{int}$  [m<sup>2</sup>): η εσωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων που περιβάλλουν τον χώρο/ τους χώρους του κτιρίου

Εναλλακτικά, και για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών, η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα μπορεί να υπολογιστεί από τυπικές τιμές ανηγμένης στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου δρώσας

<sup>1</sup> Ως προς την αναγκαιότητα της θερμοχωρητικότητας, σε πολύ αποδοτικά παθητικά συστήματα, είναι απολαυστική η μαρτυρία του Michael Reynolds στο ντοκιμαντέρ του Oliver Hodge (2007) "Garbage warrior" (λεπτά: 29:30 – 31:05), όπου περιγράφει πώς σε ένα κτίριο του χαμηλής θερμοχωρητικότητας, με καλά σχεδιασμένο θερμοκήπιο, είχε λιώσει το πλαστικό περιβλήμα μιας γραφομηχανής, λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών του χώρου από τα χειμερινά ηλιακά κέρδη.

θερμοχωρητικότητας  $c_m$  σύμφωνα με την επόμενη σχέση και τις τιμές του σχετικού πίνακα (Πίνακας 2-1):

$C_m = c_m \cdot A_f$		<i>[εξ. 2.11]</i>
όπου:	$C_m [Wh/K]$ :	η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα του χώρου/ κτιρίου
	$c_m [Wh/m^2K]$ :	η δρώσα θερμοχωρητικότητα ανηγμένη στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου (Πίνακας 2-1)
	$A_f [m^2]$ :	η ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου.

Πίνακας 2-1: Ενδεικτικές τιμές δρώσας θερμοχωρητικότητας ανηγμένης στην ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1)

τρόπος δόμησης	$C_m$	
	[kJ/(m <sup>2</sup> K)]	[Wh/(m <sup>2</sup> K)]
Ελαφριά κατασκευή με ξύλινο σκελετό και στοιχεία πλήρωσης από γυψοσανίδα ή ξύλο και εσωτερική θερμομόνωση σε όλα τα δομικά στοιχεία (τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο).	80	22
Φέρων οργανισμός από ελαφριά μεταλλική κατασκευή, πλήρωση από υαλοπετάσματα ή ελαφριά πετάσματα με θερμομόνωση.	110	31
Φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα, στοιχεία πλήρωσης από ελαφροβαρείς τσιμεντόλιθους ή γυψοσανίδα και ύπαρξη ψευδοροφών.	165	46
Φέρων οργανισμός με κατακόρυφα στοιχεία λιθοδομών ή πλινθοδομών με συμπαγείς οπτόπλινθους ή ωμόπλινθους και οριζόντια στοιχεία από ξύλο.	230	64
Φέρων οργανισμός από σκυρόδεμα και στοιχεία πλήρωσης από διάτρητες οπτόπλινθους.	280	78
Φέρων οργανισμός με κατακόρυφα στοιχεία λιθοδομών ή πλινθοδομών με συμπαγείς οπτόπλινθους ή ωμόπλινθους και οριζόντια στοιχεία από σκυρόδεμα.	300	83

Η βέλτιστη δρώσα θερμοχωρητικότητα ενός κτιρίου, εξαρτάται από τη λειτουργία του. Κτίρια συνεχόμενης λειτουργίας (κατοικίες, νοσοκομεία κ.ο.κ.) είναι καλό να έχουν αυξημένη δρώσα θερμοχωρητικότητα, τόσο για την αποθήκευση των παθητικών κερδών, όσο και για την αποφυγή υπερθέρμανσης το καλοκαίρι, χάρη στο χρόνο υστέρησης. Αντίθετα σε κτίρια διακοπτόμενης λειτουργίας (σχολεία, γραφεία κ.ο.κ.) η μεγάλη δρώσα θερμοχωρητικότητα μπορεί να οδηγήσει στην απόδοση των ηλιακών κερδών μεσημβρινές ή απογευματινές ώρες, που το κτίριο μπορεί να μη βρίσκεται σε λειτουργία. Έτσι, τα ηλιακά του κέρδη δεν αξιοποιούνται τις πρωινές ώρες, όταν το κτίριο λειτουργεί, με αποτέλεσμα να χρειάζεται πρόσθετη θέρμανση εκείνη την περίοδο. Επιπλέον σε κτίρια διακοπτόμενης λειτουργίας, η υψηλή δρώσα θερμοχωρητικότητα όταν συνδυαστεί με πολύ ισχυρή θερμομόνωση, κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου τη θερινή περίοδο μπορεί να εγκλωβίσει πολύ υψηλά ποσά θερμότητας με αποτέλεσμα κατά την ημέρα έναρξης λειτουργίας του κτιρίου (Δευτέρα) το σύστημα ψύξης παράλληλα με τα στιγμιαία ψυκτικά φορτία να πρέπει να αποφορτίσει και το κτιριακό κέλυφος. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητη η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων κατά τις ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου καθώς και η ψύξη του μέσω νυχτερινού αερισμού.

### 2.2.3. Χρονική σταθερά

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει τη λειτουργία ενός κτιρίου είναι η χρονική σταθερά,  $\tau$ , που ορίζεται ως ο λόγος της ικανότητας του να αποθηκεύσει ενέργεια (δρώσα θερμοχωρητικότητα) προς την ικανότητα του να αποβάλλει θερμότητα (συντελεστής θερμικών απωλειών). Η χρονική σταθερά του κτιρίου μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης [εξ. 2.12]. Όσο μεγαλύτερη χρονική σταθερά έχει ένα κτίριο τόσο μεγαλύτερη θερμική αδράνεια παρουσιάζει (θερμαίνεται ή ψύχεται δηλαδή αργά).

$$\tau = \frac{\text{ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας}}{\text{ικανότητα θερμικών απωλειών}} = \frac{C_m}{H} \quad [\text{εξ. 2.12}]$$

όπου: $\tau$ [h]:	η χρονική σταθερά του κτιρίου
$C_m$ [Wh/K]:	η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα του κτιρίου
$H$ [W/K]:	ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου.

Κατά την περίοδο θέρμανσης, η χρονική σταθερά  $\tau$  ενός κτιρίου καθορίζει τη δυνατότητα του να αποθηκεύσει και να αξιοποιήσει τα εσωτερικά και τα ηλιακά κέρδη, με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση των φορτίων θέρμανσης. Αντίστοιχα κατά την περίοδο ψύξης, καθορίζει τη δυνατότητα του κτιρίου να αποθηκεύσει τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη, αποτρέποντας την υπερθέρμανση του αέρα, και να τα αποβάλει σε ώρες που η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει χαμηλότερα από την εσωτερική.

Για κτίρια κατοικιών στην Ελλάδα, ενδεικτικά, η χρονική σταθερά κυμαίνεται για αμόνωτα κτίρια  $\tau=8\text{h} - 16\text{h}$ , για μονωμένα σύμφωνα με τον Κ.Θ.Κ.  $\tau=24\text{h} - 48\text{h}$  ενώ για κτίρια κατασκευασμένα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.  $\tau=36\text{h} - 72\text{h}$ . Για κτίρια γραφείων με υαλοπετάσματα, ενδεικτικά, η χρονική σταθερά κυμαίνεται για αμόνωτα κτίρια  $\tau=4\text{h} - 8\text{h}$ , για μονωμένα σύμφωνα με τον Κ.Θ.Κ.  $\tau=12\text{h} - 24\text{h}$  ενώ για κτίρια κατασκευασμένα σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.  $\tau=24\text{h} - 48\text{h}$

### 2.2.4. Συντελεστές αξιοποίησης κερδών και απωλειών

Η μεθοδολογία που έχει υιοθετηθεί από τον Κ.Εν.Α.Κ. (2022) και έχει υλοποιηθεί στην νέα έκδοση του εθνικού λογισμικού βάσης TEE-KENAK v.2 για τους ενεργειακούς υπολογισμούς είναι η μηνιαία μέθοδος του διεθνούς προτύπου EN ISO 52016-1:2017. Σύμφωνα με αυτή, οι υπολογισμοί εκτελούνται σε μηνιαίο βήμα με χρήση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας σε διάφορα επίπεδα. Βασική παράμετρος των υπολογισμών είναι ο συντελεστής αξιοποίησης των κερδών  $n_h$  για την περίοδο θέρμανσης και ο συντελεστής αξιοποίησης των απωλειών  $n_e$  για την περίοδο ψύξης. Για την πλήρη κατανόηση της μεθόδου ο αναγνώστης παραπέμπεται στο διεθνές πρότυπο EN ISO 52016-1:2017<sup>2</sup>.

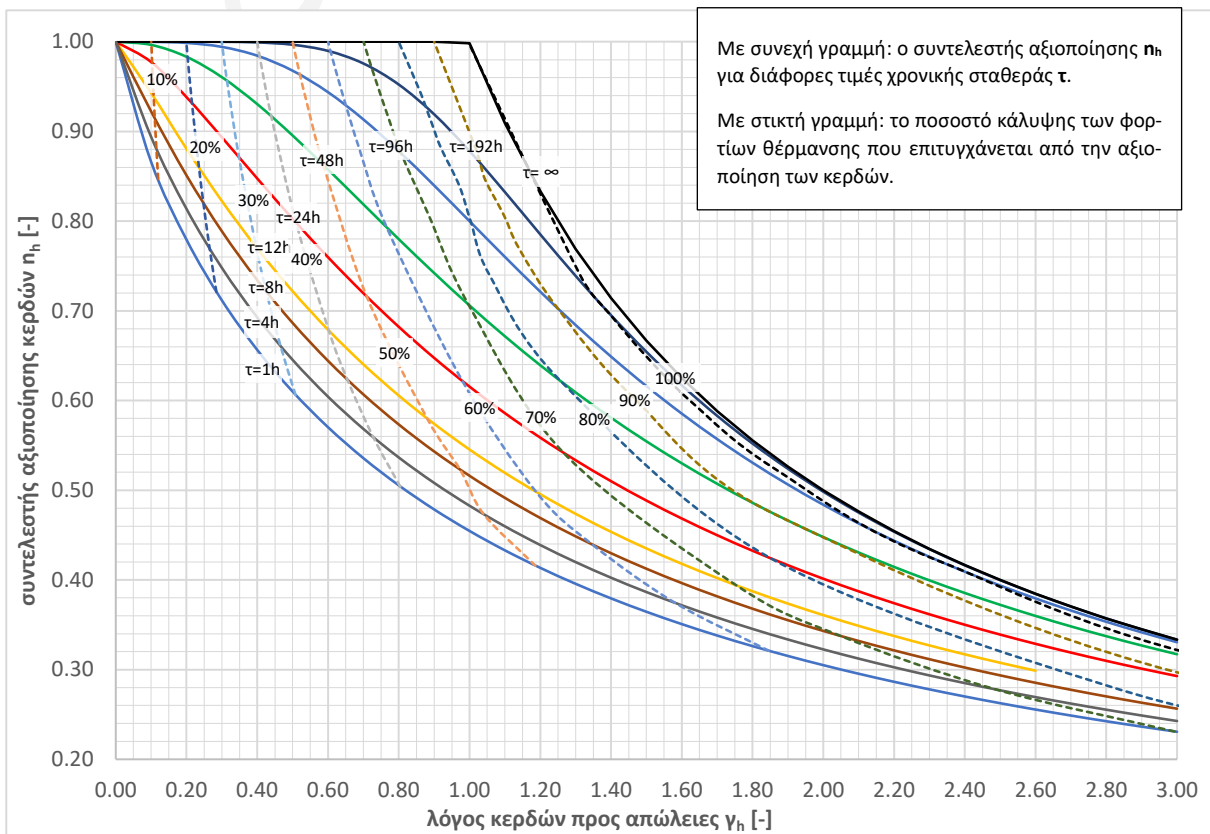
#### 2.2.4.1. Συντελεστής αξιοποίησης κερδών $n_h$ για την περίοδο θέρμανσης

Ο συντελεστής αξιοποίησης κερδών  $n_h$  υποδεικνύει το ποσοστό των κερδών, ηλιακών και εσωτερικών (από τους ανθρώπους, τον εξοπλισμό και τον τεχνητό φωτισμό), που μπορούν να αξιοποιηθούν κατά τη διάρκεια της περιόδου υπολογισμού και μπορεί να λάβει τιμή από 1, για πλήρη δυνατότητα

<sup>2</sup> Το EN ISO 52016-1:2017 αποτελεί εξέλιξη του διεθνούς προτύπου EN ISO 13790:2008 "Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling". Ο Κ.Εν.Α.Κ. 2011 & 2017 είχε υιοθετήσει ως μεθοδολογία υπολογισμών τη μηνιαία μέθοδο του συγκεκριμένου προτύπου η οποία είχε ενσωματωθεί στο εθνικό λογισμικό βάσης TEE-KENAK v.1.

εκμετάλλευσης των κερδών, έως 0, για μηδενική. Εξαρτάται από τη χρονική σταθερά του κτιρίου  $\tau$  καθώς και από την αναλογία των θερμικών κερδών προς τις θερμικές απώλειες  $\gamma_h$  του κτιρίου ( $\gamma_h = \text{κέρδη}/\text{απώλειες}$  βλ. Παράρτημα Β), η οποία σε μεγάλο βαθμό επηρεάζεται από τον λόγο της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς στη θερμαινόμενη επιφάνεια  $A_g/A_f$  (αύξηση κερδών άρα αύξηση  $\gamma_h$ ) αλλά και το επίπεδο θερμομόνωσης του κτιρίου (μείωση απωλειών άρα αύξηση  $\gamma_h$ ). Πρακτικά ο συντελεστής αξιοποίησης των κερδών  $\eta_h$  υποδηλώνει το ποσοστό των κερδών που μπορούν να αποθηκευτούν στα αδιαφανή δομικά στοιχεία και να αξιοποιηθούν για την μείωση των φορτίων θέρμανσης. Τα επιπλέον κέρδη οδηγούν σε αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα πάνω από την ελάχιστη επιθυμητή με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση των θερμικών απωλειών του κτιριακού κελύφους ακυρώνοντας της συνεισφορά τους.

Στο επόμενο γράφημα αποτυπώνεται ο βαθμός αξιοποίησης των κερδών από το κέλυφος (συνεχής γραμμή) συναρτήσει της χρονικής σταθεράς του κτιρίου,  $\tau$ , και του λόγου των κερδών προς τις απώλειες του  $\gamma_h$ . Στο ίδιο γράφημα αποτυπώνεται (με στικτή γραμμή) το ποσοστό κάλυψης των απωλειών (φορτίων θέρμανσης) που επιτυγχάνεται για τον ίδιο λόγο  $\gamma_h$  από την αξιοποίηση των κερδών, ενώ το υπολειπόμενο ποσοστό καλείται να καλύψει το σύστημα θέρμανσης.



Εικόνα 2-16. Συντελεστής αξιοποίησης κερδών  $\eta_h$  από κτιριακό κέλυφος κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης συναρτήσει του λόγου  $\gamma_h$  των κερδών προς τις απώλειες.

Όπως φαίνεται και από το γράφημα (Εικόνα 2-16), ανεξαρτήτως χρονικής σταθεράς κτιρίου  $\tau$ , όσο αυξάνεται ο λόγος  $\gamma_h$  (κέρδη/απώλειες) τόσο μειώνεται ο βαθμός αξιοποίησης  $\eta_h$  των εσωτερικών και ηλιακών κερδών από το κέλυφος. Το παραπάνω γεγονός έχει άμεσο αποτέλεσμα στην παθητική θέρμανση ενός κτιρίου. Πρακτικά η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων που προσφέρουν παθητική θέρμανση δεν είναι αναλογική με τη μείωση των φορτίων θέρμανσης αλλά ακολουθεί τις καμπύλες που αποτυπώνονται στο γράφημα (Εικόνα 2-16). Είναι δηλαδή μειούμενης απόδοσης όσο περισσότερο φορτίο καλείται να καλύψει. Όμως υποδηλώνει ότι κατά τη θερινή περίοδο τα ψυκτικά φορτία

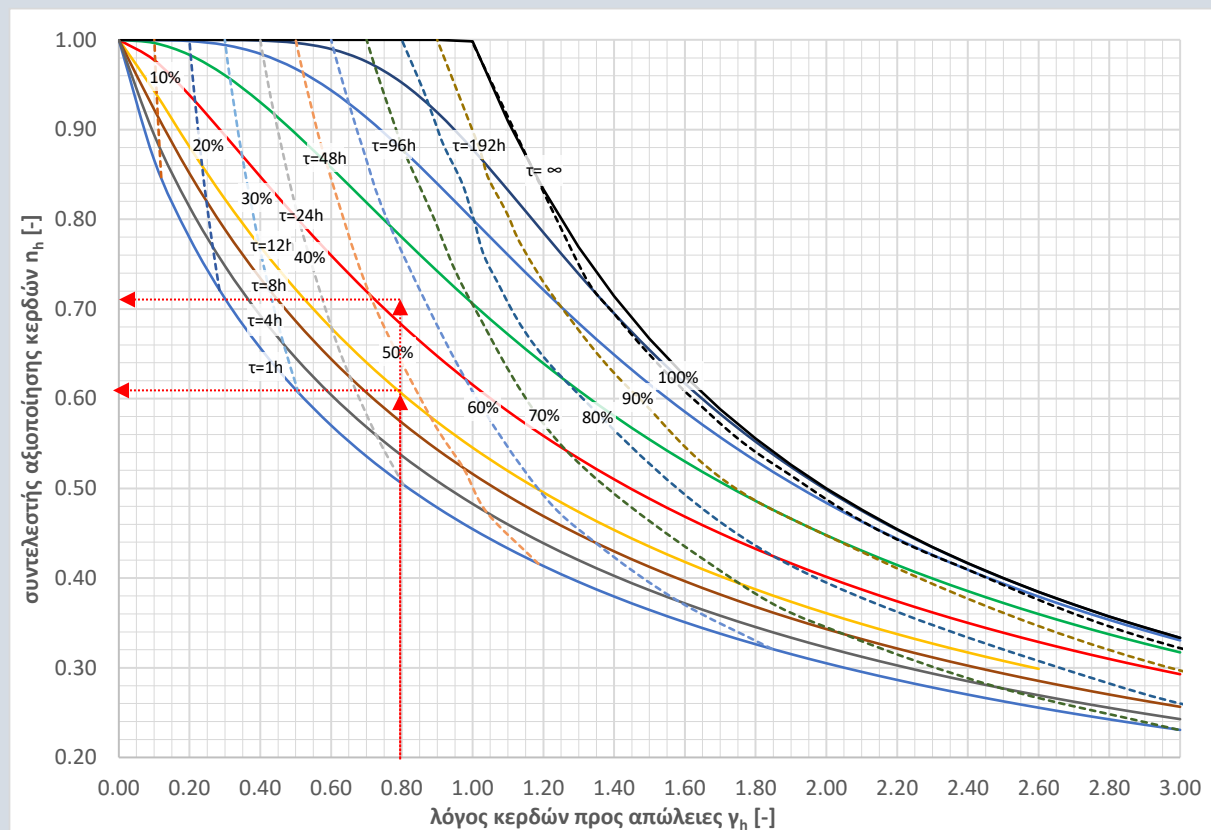
που προκύπτουν από τα ανοίγματα είναι ανάλογα με το μέγεθός τους (βλ. [ενότητα 2.4.2.2](#)). Όπως θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα (βλ. [ενότητα 2.5](#)) υπάρχει μια βέλτιστη αναλογία επιφάνειας ανοιγμάτων προς την επιφάνεια των όψεων ή την ωφέλιμη επιφάνεια η οποία ελαχιστοποιεί τα συνολικά φορτία θέρμανσης και ψύξης.

### Υπολογιστικό παράδειγμα 2.2

Κτίριο κατασκευασμένο με μεταλλικό σκελετό και ελαφριά πετάσματα έχει  $c_m=31\text{Wh/m}^2\text{K}$  (Πίνακας 2-1). Έστω ότι έχει συντελεστή θερμικών ροών τέτοιο που προκύπτει ότι η χρονική σταθερά είναι  $\tau=12\text{h}$ . Για λόγο κερδών προς απώλειες  $\gamma_h=0,8$  (π.χ. μεγάλα νότια ανοίγματα ή/και τεχνητός φωτισμός), σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αποτυπώνονται στο επόμενο γράφημα, ο βαθμός αξιοποίησης των κερδών του εκτιμάται ίσος με  $\eta_h=0,61$  ή 61%. και το ποσοστό κάλυψης των απαιτήσεων θέρμανσης από τα κέρδη (ηλιακά, τεχνητός φωτισμός κ.λπ.) θα ήταν περίπου 49%.

Το ίδιο κτίριο κατασκευασμένο με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα, τοιχοποιίες πλήρωσης οπτοπλινθοδομές έχει  $c_m=78\text{Wh/m}^2\text{K}$  (Πίνακας 2-1). Έστω ότι έχει ίδιο συντελεστή θερμικών ροών (ίδιο επίπεδο θερμομόνωσης) με το προηγούμενο. Τότε η χρονική σταθερά θα ήταν ίση με  $\tau=(78/31)\times 12=30\text{h}$ , ο βαθμός αξιοποίησης των κερδών θα ήταν πλέον  $\eta_h=0,71$  ή 71%. ενώ το ποσοστό κάλυψης των απαιτήσεων θέρμανσης από τα κέρδη (ηλιακά, τεχνητός φωτισμός κ.λπ.) θα ήταν περίπου 57%.

Τα παραπάνω πρακτικά σημαίνουν ότι για το κτίριο με τη μικρότερη χρονική σταθερά (που οφείλεται στη διαφορετική θερμοχωρητικότητα στην συγκεκριμένη περίπτωση) επιπλέον 10% (=71%-61%) των ηλιακών κερδών θα προκαλούσαν υπερθέρμανση στο εσωτερικό του με αύξηση των απωλειών του και δεν θα ήταν αξιοποιήσιμα. Σημειώνεται ότι η διαφορά στις απαιτήσεις (και τελικά στη συνολική κατανάλωση) μεταξύ των δύο κτιρίων ισούται με 8% (=57%-49%).



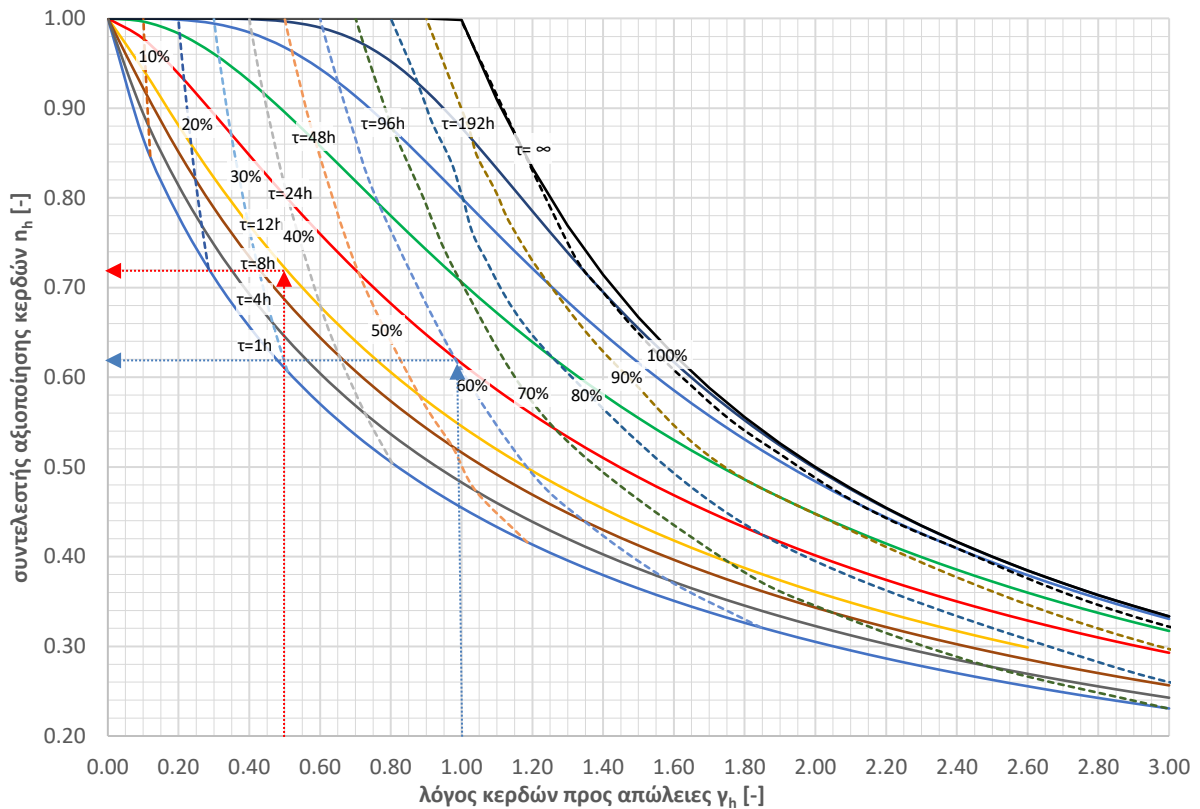


## Υπολογιστικό παράδειγμα 2.3

Κτίριο από σκυρόδεμα και οπτοπλινθοδομή χωρίς θερμομόνωση έστω ότι έχει χρονική σταθερά  $\tau=12h$  και λόγο κερδών προς απώλειες  $\gamma_h=0,5$ . Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αποτυπώνονται στο επόμενο γράφημα ο βαθμός αξιοποίησης των κερδών του εκτιμάται ίσος με  $\eta_h=0,72$  ή 72% και το ποσοστό κάλυψης των απαιτήσεων θέρμανσης από τα κέρδη (ηλιακά, τεχνητός φωτισμός κ.λπ.) είναι περίπου 36%.

Αν το κτίριο θερμομονωθεί, περιορίζοντας τις συνολικές θερμικές του απώλειες στο μισό, η χρονική σταθερά θα είναι πλέον ίση με  $\tau'= \tau/0,5=24h$  (μισές απώλειες) και ο λόγος  $\gamma'_h$  θα γίνονταν  $\gamma'_h=\gamma_h/0,5=1$  (μισές απώλειες, ίδια κέρδη). Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αποτυπώνονται στο επόμενο γράφημα, ο βαθμός αξιοποίησης των κερδών θα είναι πλέον  $\eta_h=0,62$  ή 62% και το ποσοστό κάλυψης των απαιτήσεων θέρμανσης από τα κέρδη (ηλιακά, τεχνητός φωτισμός κ.λπ.) είναι περίπου 62%.

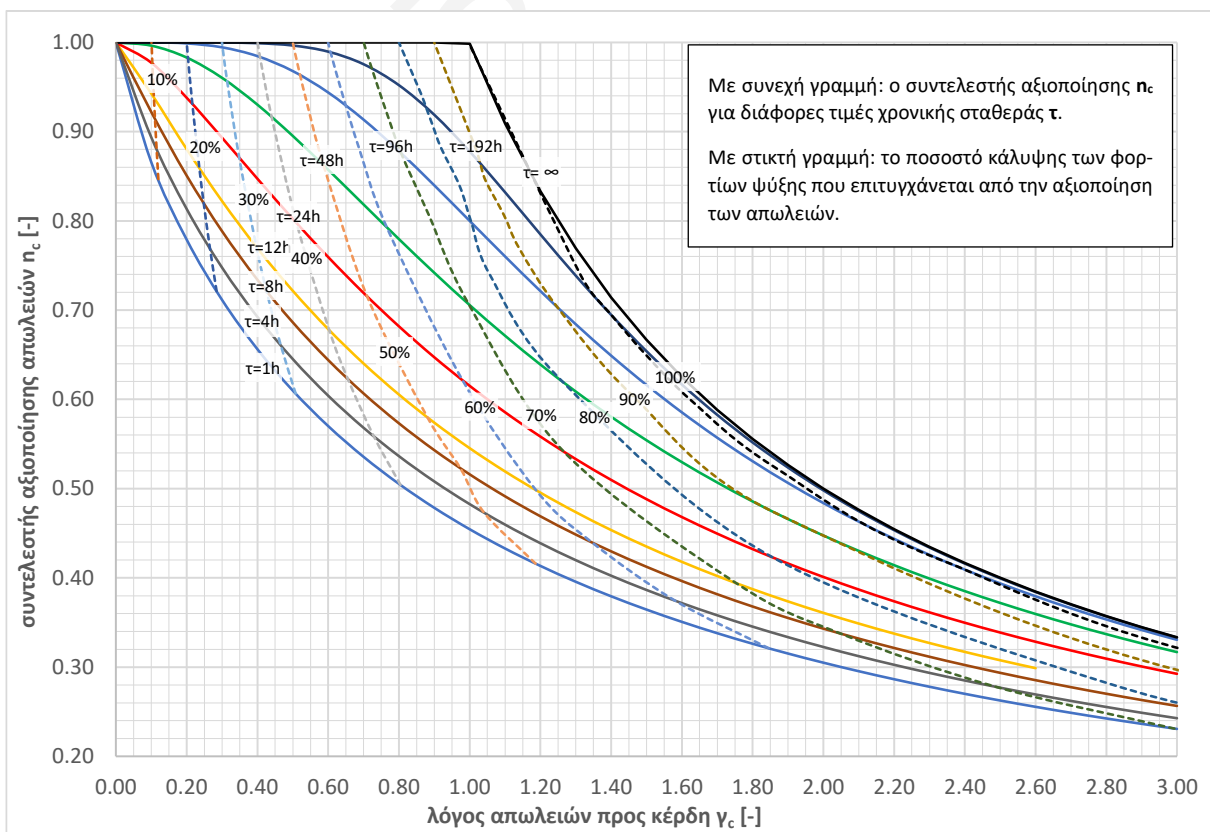
Παρατηρείται ότι ενώ οι απώλειες του κτιρίου περιορίζονται στο μισό, η κάλυψη των απαιτήσεων δεν διπλασιάζεται (62% έναντι 36%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η δυνατότητα αξιοποίησης των κερδών μειώνεται κατά 10% (62% έναντι 72%).



### 2.2.4.2. Συντελεστής αξιοποίησης απωλειών $n_c$ για την περίοδο ψύξης

Ο συντελεστής αξιοποίησης απωλειών  $n_c$  υποδεικνύει το ποσοστό των απωλειών (λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα), που μπορούν να αξιοποιηθούν κατά τη διάρκεια της περιόδου υπολογισμού και μπορεί να λάβει τιμή από 1, για πλήρη δυνατότητα εκμετάλλευσης των απωλειών, έως 0, για μηδενική. Εξαρτάται από τη χρονική σταθερά του κτιρίου  $\tau$  καθώς και από την αναλογία των θερμικών απωλειών προς τα θερμικά κέρδη  $\gamma_c$  του κτιρίου ( $\gamma_c$ =απώλειες/κέρδη βλ. [Παράρτημα Β](#)). Πρακτικά ο συντελεστής αξιοποίησης των απωλειών  $n_c$  υποδηλώνει το ποσοστό των κερδών που μπορούν να αποθηκευτούν στα αδιαφανή δομικά στοιχεία και να απορριφθούν προς το εξωτερικό περιβάλλον λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας μέσω των δομικών του στοιχείων και αερισμού μειώνοντας τα φορτία ψύξης.

Στο επόμενο γράφημα, αποτυπώνεται ο βαθμός αξιοποίησης των απωλειών από το κέλυφος (συνεχής γραμμή) συναρτήσει της χρονικής σταθεράς του κτιρίου,  $\tau$ , και του λόγου των απωλειών προς τα κέρδη του  $\gamma_c$ . Στο ίδιο γράφημα αποτυπώνεται (με στικτή γραμμή) το ποσοστό κάλυψης των ψυκτικών φορτίων που επιτυγχάνεται για τον ίδιο λόγο  $\gamma_c$  από την αξιοποίηση των απωλειών. Στην περίπτωση αρνητικών τιμών  $\gamma_c$  (όταν η μέση μηνιαία εξωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την επιθυμητή του εσωτερικού χώρου), οι ροές θερμότητας αντιστρέφονται και μετατρέπονται σε κέρδη αντί για απώλειες. Σε αυτήν την περίπτωση ο συντελεστής αξιοποίησης παραμένει ίσος με τη μονάδα (1) και τα κέρδη από τις ροές θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας προστίθενται αντί να αφαιρούνται από τα ηλιακά και εσωτερικά κέρδη.



Εικόνα 2-17. Συντελεστής αξιοποίησης απωλειών  $n_c$  από κτιριακό κέλυφος κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης συναρτήσει του λόγου  $\gamma_c$  των απωλειών προς τα κέρδη.



## 2.3. Αδιαφανή δομικά στοιχεία

Τα αδιαφανή δομικά στοιχεία αποτελούν το βασικό τμήμα του κτιριακού κελύφους που προσφέρει προστασία από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, εμποδίζουν τις θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αποτρέπουν την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του θέρους. Η εσωτερική θερμική μάζα τους λειτουργεί ως θερμική αποθήκη, στην οποία αποθηκεύεται ενέργεια, η οποία αποδίδεται στο χώρο σε διαφορετική χρονική στιγμή, αποτρέποντας τις έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του εσωτερικού αέρα μειώνοντας τα φορτία θέρμανσης και ψύξης και ταυτόχρονα βελτιώνοντας τις συνθήκες άνεσης.

### 2.3.1. Θερμομόνωση

Το μέτρο της θερμομονωτικής ικανότητας ενός δομικού στοιχείου είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$  [ $W/(m^2K)$ ], ο οποίος υποδηλώνει πόση ενέργεια διαπερνάει  $1m^2$  του δομικού στοιχείου, στη μονάδα του χρόνου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα εκατέρωθεν του ισούται με  $1^\circ C$ . Προφανώς όσο χαμηλότερος είναι ο συντελεστής  $U$  τόσο περισσότερο θερμομονωμένο είναι ένα δομικό στοιχείο. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται από την επόμενη σχέση [εξ. 2.13]:

$$U = \left( R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_g + R_{se} \right)^{-1} \quad [\text{εξ. 2.13}]$$

όπου:  $U$  [ $W/m^2K$ ]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

$R_{si}$  [ $(W/m^2K)^{-1}$ ]: η θερμική αντίσταση του στρώματος του αέρα από την εσωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου

$\sum d/\lambda$  [ $(W/m^2K)^{-1}$ ]: το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων των  $n$  στρώσεων του δομικού στοιχείου, πάχους  $d[m]$  και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  [ $W/mK$ ] η κάθε μία

$R_g$  [ $(W/m^2K)^{-1}$ ]: η θερμική αντίσταση ακίνητου στρώματος αέρα εντός κλειστού διακένου, εάν υπάρχει, που δεν είναι σε απευθείας επαφή με τον εξωτερικό αέρα

$R_{se}$  [ $(W/m^2K)^{-1}$ ]: η θερμική αντίσταση του στρώματος του αέρα από την εξωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου

Τονίζεται ότι στην περίπτωση ύπαρξης ανοιχτού διακένου αέρα (π.χ. χωνευτά κουφώματα) όλες οι στρώσεις μετά το διάκενο δεν προσφέρουν θερμομονωτική προστασία αφού στην ουσία παρακάμπτονται από τον αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται στο διάκενο και αγνοούνται στους υπολογισμούς του συντελεστή  $U$  του δομικού στοιχείου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2, 2021).

Από την [εξ. 2.13] μπορούν να προκύψουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η θέση της θερμομονωτικής στρώσης, δηλαδή εξωτερικά, εσωτερικά ή στον πυρήνα, δεν επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  του δομικού στοιχείου (αλλά επηρεάζει τη δρώσα θερμοχωρητικότητα του στοιχείου βλ. ενότητα 2.3.2)
- Η θερμική αντίσταση της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου, και συνεπώς και της θερμομονωτικής στρώσης, είναι ανάλογη του πάχους της και αντιστρόφως ανάλογη του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  του υλικού που θα επιλεγεί. Συνεπώς υλικά που παρουσιάζονται στην αγορά ως θερμομονωτικά, με χαμηλό συντελεστή  $\lambda$ , αλλά μικρό πάχος εφαρμογής, π.χ. “θερμομονωτικές” βαφές, **δεν** μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητική θερμομονωτική προστασία.

Επιπλέον η μετάδοση θερμότητας από την εξωτερική πλευρά των δομικών στοιχείων προς το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται κυρίως με συναγωγή και όχι ακτινοβολία (EN ISO 6946, 2017). Συνεπώς υλικά που λειτουργούν ως φράγματα ακτινοβολίας, όταν εφαρμοστούν από την εξωτερική πλευρά των δομικών στοιχείων έχουν πολύ μικρή επίδραση στις θερμομονωτικές ιδιότητες τους. Αντίθετα όπως αναλύεται στην **ενότητα 0** επηρεάζουν σημαντικά τα ηλιακά κέρδη των δομικών στοιχείων.

Στην (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2, 2021) δίνονται αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού, οι παραδοχές, καθώς και πίνακες με τιμές ιδιοτήτων διαφόρων υλικών που χρειάζονται για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας αδιαφανών δομικών στοιχείων. Στο επόμενο πίνακα (Πίνακας 2-2) δίνονται, για εποπτικούς λόγους, ενδεικτικές τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  διάφορων υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια.

Πίνακας 2-2: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$  υλικών που χρησιμοποιούνται στα κτίρια

υλικό	$\lambda$ [W/(m K)]
Αλουμίνιο	160
Πέτρα	1,40-3,50
Οπλισμένο σκυρόδεμα	1,50-2,50
Οπτοπλινθοδομές (διάτρητοι οπτόπλινθοι) συμπεριλαμβανομένου του συνδετικού κονιάματος	0,45-0,64
Οπτοπλινθοδομές θερμομονωτικές (π.χ. ορθότρυπα) συμπεριλαμβανομένου του συνδετικού κονιάματος	0,18-0,25
Ελαφροβαρείς	0,11-0,22
Ξύλο	0,12-0,21
Συνήθη θερμομονωτικά υλικά	0,026-0,060
Υπερ-μονωτικά υλικά (π.χ. vacuum insulation panel, silica aerogel blanket)	0,005-0,020
<b>Σημείωση:</b>	
1. για όλα τα θερμομονωτικά υλικά υπάρχει υποχρέωση δήλωσης του συντελεστή $\lambda$ μετρημένο σύμφωνα με το EN 12667: 2001,	
2. στην κατηγορία των υπερ-μονωτικών ανήκουν τα θερμομονωτικά υλικά που έχουν $\lambda$ μικρότερο από του ακίνητου αέρα ( $\lambda < 0,022$ )	
3. τα υπερμονωτικά υλικά έχουν πολύ αυξημένο κόστος αγοράς και εφαρμογής σε σχέση με τα συνήθη θερμομονωτικά υλικά και η χρήση τους προτείνεται να εξετάζεται σε ειδικές περιπτώσεις μόνο.	

Η ροή θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου για χρονική περίοδο  $t$  μπορεί να υπολογιστεί απλοποιητικά με χρήση της παρακάτω σχέσης [εξ. 2.14]:

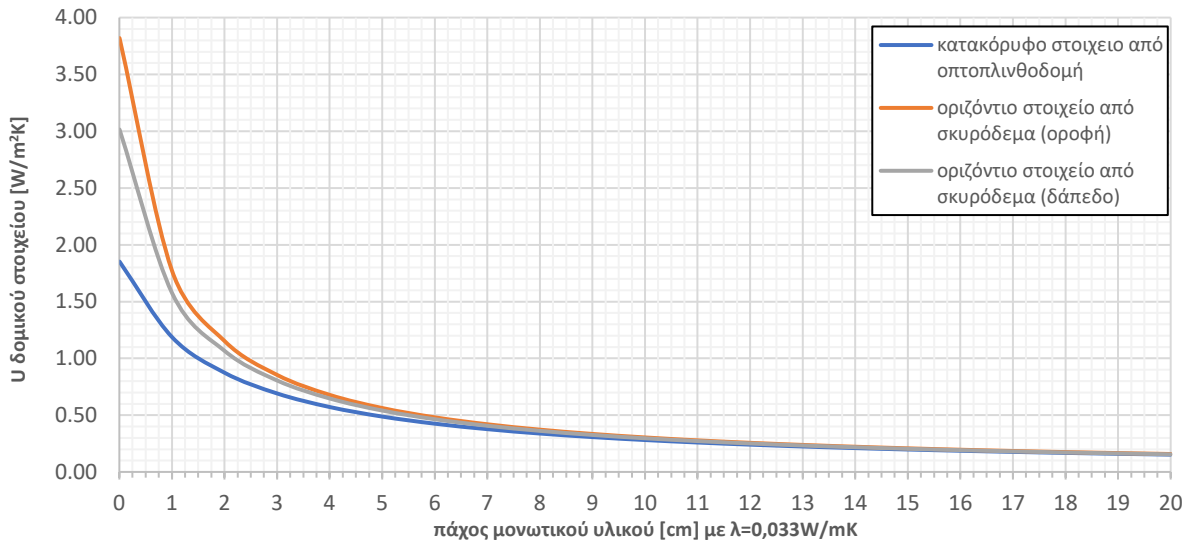
$$q_{tr} = U \cdot (T_{in} - T_{ex}) \cdot t \quad [\text{εξ. 2.14}]$$

όπου:  $q_{tr}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: η ροή θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου για περίοδο  $t$   
 $U$  [W/m<sup>2</sup>K]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου  
 $T_{in}$  [°C]: η μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα για την περίοδο υπολογισμού  $t$   
 $T_{ex}$  [°C]: η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα για την περίοδο υπολογισμού  $t$   
 $t$  [h]: η χρονική διάρκεια της περιόδου υπολογισμού

Με χρήση της [εξ. 2.14] φαίνεται ότι οι θερμικές απώλειες από ένα δομικό στοιχείο είναι ανάλογες του συντελεστή θερμοπερατότητας του και της διαφοράς θερμοκρασίας του αέρα εκατέρωθεν του

δομικού στοιχείου. Έτσι για παράδειγμα, τον μήνα Δεκέμβριο, το ίδιο δομικό στοιχείο έχει λιγότερες απώλειες για ένα κτίριο που είναι στην Αθήνα σε σχέση με ένα κτίριο που βρίσκεται στη Καστοριά.

Στην **Εικόνα 2-18** φαίνεται η σχέση του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$  με το πάχος θερμομονωτικής στρώσης, με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0,033 \text{ W/mK}$ , για συνήθεις κατασκευές εξωτερικού μπατικού τοίχου, δαπέδου στον αέρα (pillotis) και δώματος. Όπως φαίνεται η σχέση του συντελεστή θερμοπερατότητας με το πάχος της θερμομονωτικής στρώσης είναι υπερβολική, δηλαδή η τιμή του συντελεστή τείνει ασυμπτωτικά προς το μηδέν, όσο αυξάνει το πάχος του θερμομονωτικού.



Εικόνα 2-18. Συντελεστής θερμοπερατότητας για τυπικά δομικά στοιχεία συναρτήσεως του πάχους θερμομονωτικού υλικού ( $\lambda=0,033 \text{ [W/m K]}$ )

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η αύξηση του πάχους της θερμομονωτικής στρώσης να μην συνεπάγεται ανάλογη μείωση των απωλειών των δομικών στοιχείων και από μια τιμή και πάνω το κόστος για την αγορά του επιπλέον θερμομονωτικού υλικού να είναι μεγαλύτερο από το κόστος της εξοικονομούμενης ενέργειας στο κύκλο ζωής του κτιρίου. Η τιμή για την οποία συμβαίνει το παραπάνω καθορίζεται ως οικονομοτεχνικά βέλτιστη και διαφέρει ανάλογα με την κλιματική ζώνη, τη χρήση του κτιρίου αλλά και γενικότερα από τον συνολικό σχεδιασμό του. Για λόγους απλοποίησης της διαδικασίας υπολογισμού του βέλτιστου πάχους θερμομόνωσης, οι υπολογισμοί αυτοί έχουν πραγματοποιηθεί για μια σειρά από τυπικά κτίρια και τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθόρισαν τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμομονωτικής επάρκειας δομικών στοιχείων, όπως αυτά ορίζονται στον Κ.Εν.Α.Κ.

### 2.3.2. Θερμοχωρητικότητα δομικού στοιχείου

Η θερμοχωρητικότητα ενός υλικού προκύπτει ως το γινόμενο της πυκνότητας του  $\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$  με την ειδική θερμοχωρητικότητά του  $c_p \text{ [J/(kg K)}$ . Τιμές των ιδιοτήτων  $\rho$  και  $c_p$  υλικών δόμησης δίνονται στην (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2, 2021). Υψηλή θερμοχωρητικότητα έχουν τα νερό  $[4,2 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}]$  καθώς και τα πυκνά και συμπαγή υλικά όπως σκυρόδεμα  $[2,4 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}]$ , πετρώματα  $[1,5-3,0 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}]$ , οπτόπλινθοι  $[0,7-1,5 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}]$  κ.ά. και γενικά εκείνα που διαθέτουν ικανή θερμική μάζα, της τάξης των  $1,2 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$  και άνω. Πολύ χαμηλή θερμοχωρητικότητα έχει ο αέρας και τα υλικά που περιέχουν εγκλωβισμένο αέρα στη μάζα τους, όπως τα θερμομονωτικά υλικά.

Η θερμοχωρητικότητα  $k_m$  ενός δομικού στοιχείου προκύπτει από το άθροισμα της θερμοχωρητικότητας των στρώσεων των υλικών που το απαρτίζουν. Η εσωτερική ή δρώσα θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου  $k_m'$  είναι η θερμοχωρητικότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί πρακτικά για την αποθήκευση θερμότητας κατά την λειτουργία ενός κτιρίου και διαφέρει από τη συνολική

Θερμοχωρητικότητα του στοιχείου  $k_m$ . Για τους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης, θεωρούνται ως αξιοποιήσιμα τα υλικά του δομικού στοιχείου μέχρι βάθους 10cm από την εσωτερική πλευρά του ή μέχρι την στρώση θερμομόνωσης εάν αυτή είναι τοποθετημένη σε μικρότερο βάθος (π.χ. εσωτερική θερμομόνωση). Η θερμοχωρητικότητα που υπολογίζεται με τον παραπάνω τρόπο μειώνεται ακόμη περισσότερο, λόγω της αντίστασης του φιλμ του αέρα που εφάπτεται στο δομικό στοιχείο από την εσωτερική του πλευρά. Αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού της δρώσας θερμοχωρητικότητας δίνεται στο (EN ISO 13786, 2017).

Αποθήκευση θερμότητας μπορεί να γίνει όχι μόνο σε υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, αλλά και σε υλικά αλλαγής φάσης: πρόκειται για υλικά με σημείο τήξης 20-30°C (παραφίνες, ένυδρα άλατα κ.ο.κ.). Λόγω της λανθάνουσας θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης τους, μπορούν να θερμάνουν ή να ψύξουν το χώρο. Ως προς τη χρήση τους σε συνδυασμό με παθητικά συστήματα, έχει παρατηρηθεί μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας του χώρου κατά τη διάρκεια της ημέρας και μεγάλη μείωση της θερμικής ζήτησης κατά τη διάρκεια της νύχτας (Athienitis, Liu, Hawes, Banu, & Feldman, 1997).

Πίνακας 2-3: Χαρακτηριστικά τυπικών αδιαφανών δομικών στοιχείων: συντελεστής θερμοπερατότητας  $U$ , δρώσα θερμοχωρητικότητα  $k'_m$ , θερμοεισδοχή (admittance)  $\gamma$ , χρονική υστέρηση (timelag), συντελεστής μείωσης  $f$ .

Περιγραφή δομικού στοιχείου	$U$	$k'_m$		$\gamma$	Χρονική υστέρηση	$f$
	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/(m <sup>2</sup> K)]	[Wh/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[h]	[-]
<b>Κατακόρυφα δομικά στοιχεία</b>						
λιθοδομή 50cm	2,58	86	24	5,97	12,8	0,11
δρομική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εκατέρωθεν	2,48	56	16	3,92	3,5	0,82
μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εκατέρωθεν	1,72	67	19	4,24	6,2	0,59
μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εσωτερικά, εξωτερική θερμομόνωση πάχους 5cm	0,50	62	17	4,40	7,7	0,30
μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εσωτερικά, εξωτερική θερμομόνωση πάχους 10cm	0,29	61	17	4,40	8,1	0,27
μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εξωτερικά, εσωτερική θερμομόνωση πάχους 5cm	0,50	12	3	0,71	6,9	0,42
μπατική οπτοπλινθοδομή επιχρισμένη εξωτερικά, εσωτερική θερμομόνωση πάχους 10cm	0,29	9	3	0,52	7,2	0,39
οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm επιχρισμένο εκατέρωθεν	3,05	83	23	5,41	7,6	0,31
οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm επιχρισμένο εσωτερικά, εξωτερική θερμομόνωση πάχους 5cm	0,58	76	21	5,46	8,5	0,12
οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm επιχρισμένο εσωτερικά, εξωτερική θερμομόνωση πάχους 10cm	0,32	75	21	5,46	8,8	0,11
οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm επιχρισμένο εξωτερικά, εσωτερική θερμομόνωση πάχους 5cm	0,58	11	3	0,73	8,0	0,21
οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 25cm επιχρισμένο εξωτερικά, εσωτερική θερμομόνωση πάχους 10cm	0,32	8	2	0,52	8,3	0,20

Περιγραφή δομικού στοιχείου	U	k' <sub>m</sub>		γ	Χρονική υστέρηση	f
	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[kJ/(m <sup>2</sup> K)]	[Wh/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[h]	[-]
<b>Οριζόντια δομικά στοιχεία</b>						
πλάκα σκυροδέματος δώματος, επιχρισμένη εσωτερικά, στρώση ρύσεων, χωρίς θερμομόνωση	3,13	99	28	6,51	7,2	0,36
πλάκα σκυροδέματος δώματος, επιχρισμένη εσωτερικά, στρώση ρύσεων, με θερμομόνωση 5cm άνωθεν	0,57	91	25	6,54	8,9	0,14
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, εξισωτική στρώση, πλακάκι, χωρίς θερμομόνωση	2,55	66	18	4,24	7,7	0,33
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, εξισωτική στρώση, πλακάκι, θερμομόνωση 5εκ κάτωθεν	0,55	59	16	4,27	9,3	0,11
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, εξισωτική στρώση, πλακάκι, θερμομόνωση 10εκ κάτωθεν	0,31	59	16	4,27	9,6	0,10
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, διάκενο αέρα, ξύλο, χωρίς θερμομόνωση	2,89	58	16	3,99	5,2	0,49
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, διάκενο αέρα, ξύλο, θερμομόνωση 5εκ κάτωθεν	0,56	58	16	4,19	7,1	0,18
πλάκα σκυροδέματος δαπέδου, επιχρισμένη εξωτερικά, διάκενο αέρα, ξύλο, θερμομόνωση 10εκ κάτωθεν	0,31	58	16	4,20	7,4	0,16
<b>Σημείωση:</b> Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του θερμομονωτικού υλικού έχει θεωρηθεί ίσος με λ=0,033W/m <sup>2</sup> K.						



### 2.3.3. Απορροφητικότητα και ικανότητα εκπομπής

Από την ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία αδιαφανή επιφάνεια ένας μέρος της ανακλάται και ένα μέρος της απορροφάται αυξάνοντας της θερμοκρασία του δομικού στοιχείου. Η ανακλαστικότητα  $\gamma$  και η απορροφητικότητα  $\alpha$  της επιφάνειας είναι συμπληρωματικά μεγέθη και εξαρτώνται κυρίως από τη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας, δηλαδή από το χρώμα και την υφή της. Η ανακλαστικότητα στιλπνών και λείων επιφανειών πλησιάζει προς τη μονάδα, ενώ η απορροφητικότητά τους είναι αντίστοιχα μειωμένη. Αντίθετα, σκουρόχρωμες και τραχιές επιφάνειες εμφανίζουν υψηλή απορροφητικότητα και χαμηλή ανακλαστικότητα.

Από την ακτινοβολία που έχει απορροφηθεί από μία εξωτερική επιφάνεια ένα μέρος εκπέμπεται προς το εξωτερικό περιβάλλον με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας, ένα τμήμα απομακρύνεται μέσω συναγωγής ενώ ένα τμήμα εισέρχεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Η ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση της τελικής του επιφάνειας. Για τα περισσότερα δομικά υλικά ο συντελεστής εκπομπής  $\epsilon$  κυμαίνεται μεταξύ 0,80 και 0,90 ενώ χαμηλές τιμές του έχουν (~0,20) στιλπνές επιφάνειες από μέταλλο.

Οι παραπάνω ιδιότητες, δηλαδή η απορροφητικότητα  $\alpha$  και ο συντελεστής εκπομπής  $\epsilon$ , των τελικών επιφανειών του κτιριακού κελύφους προσδιορίζουν, σε συνδυασμό με τον συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$ , τα ηλιακά κέρδη των αδιαφανών δομικών στοιχείων και μπορεί να έχουν σημαντικό ρόλο, κυρίως όταν οι επιφάνειες δέχονται μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των οριζόντιων δωματίων.

Ενδεικτικές τιμές απορροφητικότητας  $\alpha$  και συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  διάφορων τυπικών τελικών επιφανειών δομικών στοιχείων δίνονται στο επόμενο πίνακα.

Πίνακας 2-4: Τυπικές τιμές απορροφητικότητας  $\alpha$  στην ηλιακή ακτινοβολία και συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  διάφορων τελικών επιφανειών δομικών στοιχείων.

Περιγραφή επιφάνειας	Απορροφητικότητα $\alpha$ [-]	Συντελεστής εκπομπής $\epsilon$ [-]
<b>Κατακόρυφα δομικά στοιχεία</b>		
Επίχρισμα ανοιχτόχρωμο (π.χ. ανοιχτό γκρι, μπεζ, κίτρινο, ροζ ή γαλάζιο)	0,40	0,80
Επίχρισμα μέτριας απόχρωσης (π.χ. γκρι, μπεζ, σκούρη ώχρα, σομόν)	0,60	0,80
Επίχρισμα σκουρόχρωμο (π.χ. σκούρο λαδί, καφέ, γκρι)	0,80	0,80
Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. φύλλα αλουμινίου)	0,20	0,80
Αδιαφανές τμήμα γυάλινης πρόσοψης (π.χ. πάνελ με επικάλυψη γυαλιού)	0,60	0,90
Φυτεμένη όψη (με αειθαλή φυτά)	0,70	0,80
<b>Οριζόντια δομικά στοιχεία (οροφές)</b>		
Πολύ σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. ασφαλτόπανα)	0,90	0,80
Σκούρες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με σχιστολιθικές πλάκες, ασφαλτικά κεραμίδια)	0,80	0,80
Ανοιχτόχρωμες επιστρώσεις στεγών ή δωματίων (π.χ. επικάλυψη με πλάκες πεζοδρομίου, ασφαλτόπανα με χαλαζιακή ψηφίδα)	0,65	0,80
Πολύ ανοιχτόχρωμες τελικές επιστρώσεις/ λευκές βαφές	0,35	0,80
Στιλπνές μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. ανακλαστικές μεταλλικές)	0,20	0,20
Γαρμπίλι	0,30	0,30
Φυτεμένο δώμα	0,70	0,80

Τα ηλιακά κέρδη των αδιαφανών δομικών αυξάνονται με την αύξηση του συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$  ενώ μειώνονται με την αύξηση του συντελεστή εκπομπής  $\varepsilon$ . Έτσι κατά την χειμερινή περίοδο, που τα ηλιακά κέρδη μειώνουν τις απαιτήσεις για θέρμανση, είναι επιθυμητός υψηλός συντελεστής  $\alpha$  και χαμηλός συντελεστής  $\varepsilon$ . Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει την περίοδο ψύξης που είναι επιθυμητός χαμηλός συντελεστής  $\alpha$  και υψηλός συντελεστής  $\varepsilon$ .

Αυτό τελικά που καθορίζει τις επιθυμητές τιμές των παραπάνω παραμέτρων προκύπτει από το ενεργειακό ισοζύγιο  $q_{sol,bal}$  του δομικού στοιχείου κατά τη διάρκεια του έτους, δηλαδή τη διαφορά των ηλιακών κερδών της περιόδου θέρμανσης  $q_{sol,h}$  από αυτά της περιόδου ψύξης  $q_c$ . Στην περίπτωση που το ενεργειακό ισοζύγιο  $q_{sol,bal}$  προκύπτει αρνητικό, τόσο ο συντελεστής απορροφητικότητας όσο και ο συντελεστής εκπομπής πρέπει να επιλεγούν όσο το δυνατόν μικρότεροι ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιβάρυνση που προκαλείται από τα ηλιακά κέρδη του δομικού στοιχείου. Το ενεργειακό ισοζύγιο δομικού στοιχείου μπορεί να εκτιμηθεί από την επόμενη σχέση:

$$q_{sol,bal} = q_{sol,h} - q_{sol,c} =$$

$$= 0,04 \cdot U \cdot [\alpha \cdot (I_h \cdot F_{sh,h} - I_c \cdot F_{sh,c}) - 0,0055 \cdot \varepsilon \cdot F_{sky} \cdot (t_h - t_c)] \quad [\text{εξ. 2.15}]$$

όπου:  $q_{sol,bal}$  [ $kWh/m^2$ ]: ετήσιο ισοζύγιο ηλιακών κερδών του δομικού στοιχείου

$q_{sol,h}$  [ $kWh/m^2$ ]: τα ηλιακά κέρδη του δομικού στοιχείου την περίοδο θέρμανσης

$q_{sol,c}$  [ $kWh/m^2$ ]: τα ηλιακά κέρδη του δομικού στοιχείου την περίοδο ψύξης

$\alpha$  [-]: η απορροφητικότητα της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$I_h$  και  $I_c$  [ $kWh$ ]: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία για όλη την περίοδο θέρμανσης και την περίοδο ψύξης αντίστοιχα στην επιφάνεια (χωρίς την επίδραση εμποδίων ή σκιάστρων)

$F_{sh,h}$ ,  $F_{sh,c}$  [-]: ο συντελεστής σκιασμού για την περίοδο θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα της επιφάνειας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 ενότητα 4.3)

$U$  [ $W/m^2K$ ]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

$\varepsilon$  [-]: ο συντελεστής εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$F_{sky}$  [-]: ο συντελεστής θάασης του ουρανού, ίσος με 1 για οριζόντια και  $\frac{1}{2}$  για κατακόρυφα δομικά στοιχεία

$t_h$ ,  $t_c$  [hours]: η διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και της περιόδου ψύξης αντίστοιχα. Για την Α και Β κλιματική ζώνη θεωρούνται  $t_h=3.984h$  και  $t_c=2.940h$ , ενώ για τη Γ και Δ ζώνη  $t_h=4.716h$  και  $t_c=2.568h$

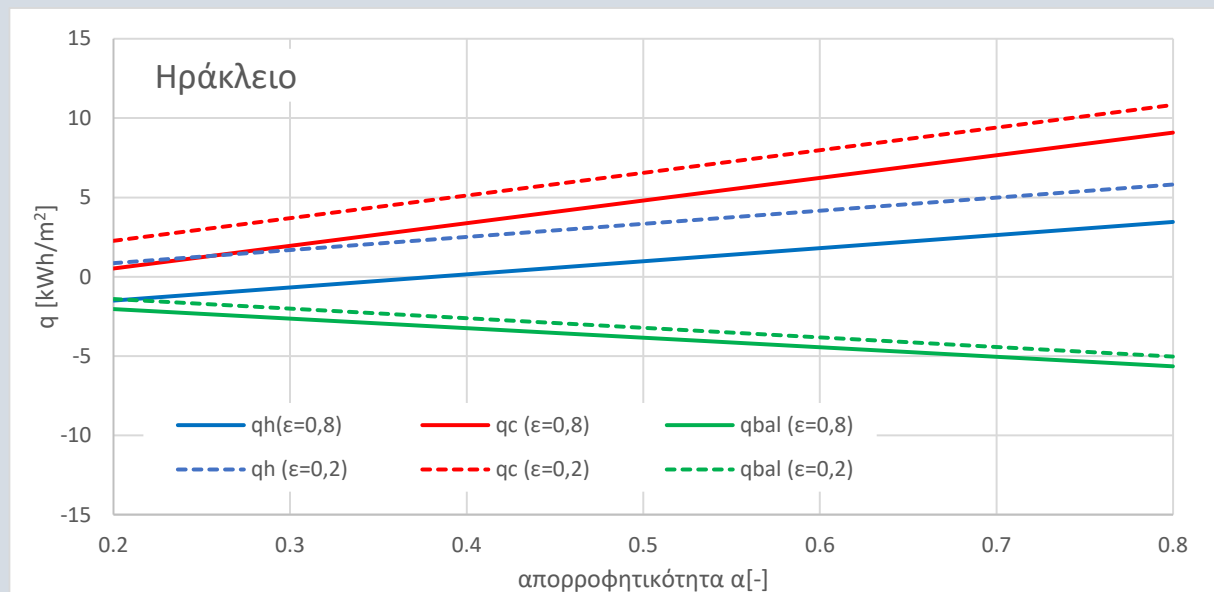
Στο **Παράρτημα Γ** δίνονται αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού των ηλιακών κερδών καθώς και του ενεργειακού ισοζυγίου αδιαφανούς δομικών στοιχείων.

Στην (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, 2021) Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 δίνονται τυπικές τιμές του συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$  (Πίνακας 3-21) και του συντελεστή εκπομπής σε θερμική ακτινοβολία  $\varepsilon$  (Πίνακα 3-22) για διάφορες επιφάνειες που συναντώνται ως τελικές επιστρώσεις των κατακόρυφων και οριζόντιων δομικών στοιχείων του περιβλήματος. Στην περίπτωση χρήσης ειδικών υλικών (π.χ. ψυχρών υλικών) δύναται να χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς διαφορετικές τιμές, εφόσον η μελέτη συνοδεύεται από το αντίστοιχο πιστοποιητικό από διαπιστευμένα εργαστήρια της Ελλάδας ή του εξωτερικού

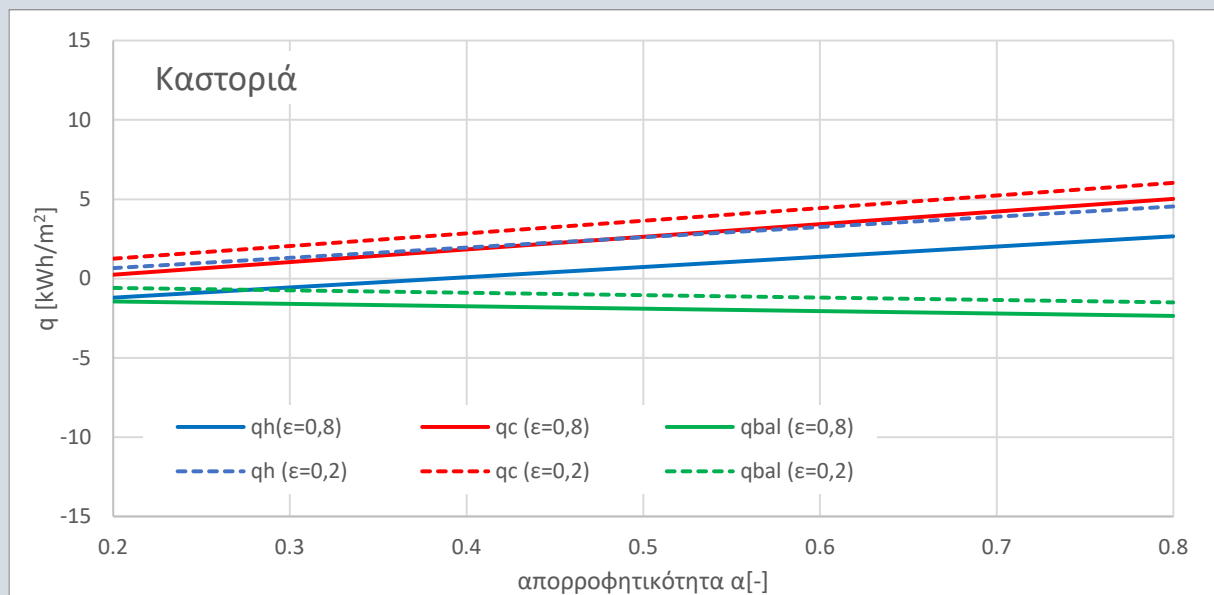
## Υπολογιστικό παράδειγμα 2.5

Να εκτιμηθεί το ενεργειακό ισοζύγιο οριζόντιου δομικού στοιχείου για κτίρια που βρίσκονται στο Ηράκλειο και την Καστοριά θερμομονωμένα με τις ελάχιστες απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για διαφορετικούς συντελεστές απορροφητικότητας και συντελεστές εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης. Να θεωρηθεί ότι η χρήση των κτιρίων είναι κατοικία και η διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και ψύξης ισούται με την μέγιστη που ορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1:2021.

Με χρήση των σχέσεων [εξ. Γ.1], [εξ. Γ.2] και [εξ. Γ.3] υπολογίστηκαν τα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ( $q_h$ ), της περιόδου ψύξης ( $q_c$ ) καθώς και η διαφορά τους ( $q_{bal}$ ) για δύο τιμές  $\epsilon$  και εύρος τιμών  $\alpha$ . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά στα επόμενα σχήματα.



Εικόνα 2-19: Ενεργειακό ισοζύγιο για την περίοδο θέρμανσης ( $q_h$ ), για την περίοδο ψύξης ( $q_c$ ) και για το σύνολο του έτους ( $q_{bal}$ ) οριζόντιου δώματος με συντελεστή  $U=0,45W/m^2K$  στο Ηράκλειο (Α κλιματική ζώνη για δύο διαφορετικούς συντελεστές εκπομπής  $\epsilon$ , συναρτήσει του συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$ ).



Εικόνα 2-20: Ενεργειακό ισοζύγιο για την περίοδο θέρμανσης ( $q_h$ ), για την περίοδο ψύξης ( $q_c$ ) και για το σύνολο του έτους ( $q_{bal}$ ) οριζόντιου δώματος με συντελεστή  $U=0,30W/m^2K$  στο Καστοριά (Δ κλιματική ζώνη), για δύο διαφορετικούς συντελεστές εκπομπής  $\epsilon$ , συναρτήσει του συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$ .

## 2.4. Διαφανή δομικά στοιχεία

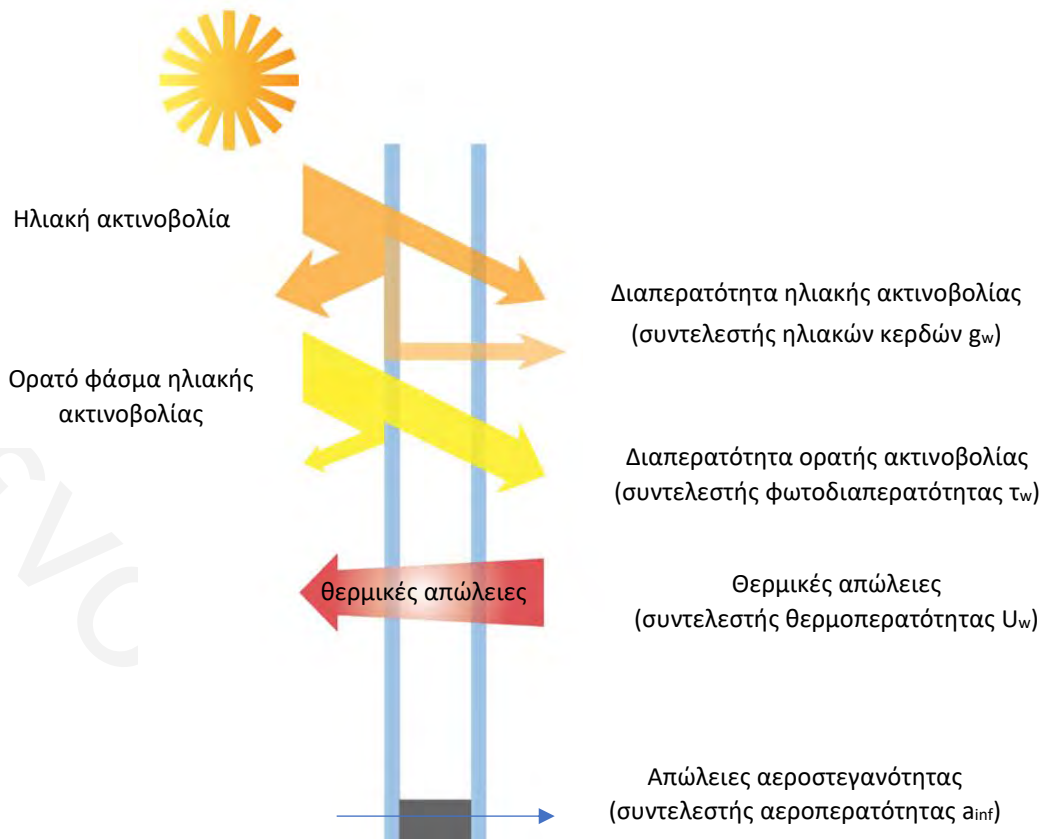
Τα διαφανή δομικά στοιχεία είναι απαραίτητα για την εξασφάλιση επαρκούς φυσικού αερισμού και φωτισμού στα κτίρια. Σε σχέση με τα αδιαφανή δομικά στοιχεία εμφανίζουν σαφώς μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, αλλά τα ηλιακά κέρδη που μπορούν να προσφέρουν στους εσωτερικούς χώρους, με τον κατάλληλο σχεδιασμό τους, όχι μόνο τις αντισταθμίζουν αλλά μπορούν και να μειώσουν τις απαιτήσεις για θέρμανση (παθητική θέρμανση). Επιπλέον, για συγκεκριμένες χρήσεις κτιρίων όπως για παράδειγμα γραφειακούς χώρους, ο σωστός σχεδιασμός των διαφανών δομικών στοιχείων μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό με άμεση επίδραση στα φορτία θέρμανσης/ ψύξης. Παράλληλα όμως, και σε κάθε τύπο κτιρίου, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα διαφανή στοιχεία μπορεί να αποτελέσουν πηγή υπερθέρμανσης και πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλη μέριμνα για τον επαρκή και ορθό σκιασμό τους.

### 2.4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά

Κάθε διαφανές δομικό στοιχείο χαρακτηρίζεται από τέσσερα μεγέθη τα οποία καθορίζουν την επίδρασή του στο ενεργειακό ισοζύγιο και τις συνθήκες στο εσωτερικό του κτιρίου, και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των κατάλληλων διαφανών δομικών στοιχείων σε ένα κτίριο. Αυτά τα μεγέθη είτε δηλώνονται στο δελτίο επιδόσεων που συνοδεύει υποχρεωτικά αυτά τα κατασκευαστικά προϊόντα ή μπορούν να προκύψουν από αυτό μετά από υπολογισμούς. Τα μεγέθη αυτά είναι:

- ο συντελεστής θερμοπερατότητας,  $U_w$  [ $W/(m^2K)$ ], που υποδηλώνει πόσο θερμομονωτικό είναι το διαφανές δομικό στοιχείο,
- ο συντελεστής αεροπερατότητας,  $a_{inf}$  [ $m^3/(h m^2)$ ], που υποδηλώνει πόσο αεροστεγανό είναι το διαφανές δομικό στοιχείο,
- ο συντελεστής ηλιακών κερδών,  $g_w$  [-], που υποδηλώνει πόσο διαπερατό είναι το διαφανές δομικό στοιχείο στην ηλιακή θερμική ακτινοβολία,
- ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας,  $\tau_w$  [-], που υποδηλώνει πόσο διαπερατό είναι το διαφανές δομικό στοιχείο στο ορατό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι απώλειες θερμοπερατότητας μπορούν να συνδυαστούν με τις απώλειες αεροπερατότητας και να προκύψουν οι συνολικές απώλειες από το διαφανές δομικό στοιχείο. Ορίζεται ως συνολικός συντελεστής θερμικών απωλειών διαφανούς δομικού στοιχείου  $U_{tot}$  [ $W/m^2K$ ] ο συντελεστής που συνδυάζει τις παραπάνω απώλειες και υπολογίζεται με χρήση του συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_w$  και αεροπερατότητας  $a_{inf}$ .



Εικόνα 2-21. Συμμετοχή του διαφανούς δομικού στοιχείου στο ενεργειακό ισοζύγιο και στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου.

#### 2.4.1.1. Συντελεστής αεροπερατότητας

Ο συντελεστής αεροπερατότητας,  $a_{inf}$ , μεταβάλλεται συναρτήσει της διαφοράς πίεσης ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον, η οποία, για συνήθεις συνθήκες λειτουργίας, λαμβάνεται ίση με 6Pa. Οι υπολογισμοί ενεργειακής απόδοσης, με βάση την (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, 2021), γίνονται με χρήση των συντελεστών αεροπερατότητας, σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας.

Τόσο τα πορτοπαράθυρα όσο και τα υαλοπετάσματα πιστοποιούνται για την αεροστεγανότητα τους, με βάση το συντελεστή αεροπερατότητας και διακρίνονται σε πέντε (5) κατηγορίες, τις κλάσεις αεροπερατότητας. Επισημαίνεται ότι στο δελτίο επιδόσεων διαφανών δομικών στοιχείων που τα συνοδεύει υποχρεωτικά, δεν δίνεται ο συντελεστής αεροπερατότητας, αλλά η κλάση αεροστεγανότητας. Στον επόμενο πίνακα δίνεται η αντιστοίχιση ανάμεσα στην κλάση αεροστεγανότητας και το συντελεστή αεροπερατότητας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, 2021).

Πίνακας 2-5: Αντιστοίχιση κλάσης αεροστεγανότητας και συντελεστής αεροπερατότητας για πιστοποιημένα προϊόντα.

Κλάση αεροπερατότητας	Συντελεστής αεροπερατότητας για πορτοπαράθυρα $a_{inf}$ [ $m^3/(h m^2)$ ]	Κλάση αεροστεγανότητας	Συντελεστής αεροπερατότητας για υαλοπετάσματα $a_{inf}$ [ $m^3/(h m^2)$ ]
Χωρίς κλάση	15,40	A1	0,18
Κλάση 1	7,7	A2	0,11
Κλάση 2	4,1	A3	0,08
Κλάση 3	1,4	A4	0,07
Κλάση 4	0,5	AE	0,06

### 2.4.1.2. Συντελεστής θερμοπερατότητας

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_w$  ενός διαφανούς δομικού στοιχείου εξαρτάται από τα τμήματα που το απαρτίζουν (πλαίσιο, υάλωση και αποστατικό τακάκι) και δίνεται στο δελτίο επιδόσεων που το συνοδεύει υποχρεωτικά. Ο συντελεστής  $U_w$  πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με το μέγιστο επιτρεπτό όριο του Κ.Εν.Α.Κ. για κάθε κλιματική ζώνη και ο υπολογισμός του  $U_w$  γίνεται βάσει της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2.

Στην περίπτωση που είναι εγκατεστημένη νυχτερινή θερμομόνωση (εξώφυλλο ή ρολό), οι θερμομονωτικές ιδιότητες του διαφανούς δομικού στοιχείου βελτιώνονται σημαντικά. Η επιπλέον θερμική αντίσταση που προσθέτει η νυχτερινή μόνωση κατά τη διάρκεια χρήσης της, λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς θερμικών ροών από το δομικό στοιχείο με χρήση ενός διορθωμένου συντελεστή θερμοπερατότητας,  $U_{w,ni}$ . Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή θερμοπερατότητας με νυχτερινή μόνωση  $U_{w,ni}$  δίνεται αναλυτικά στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1.

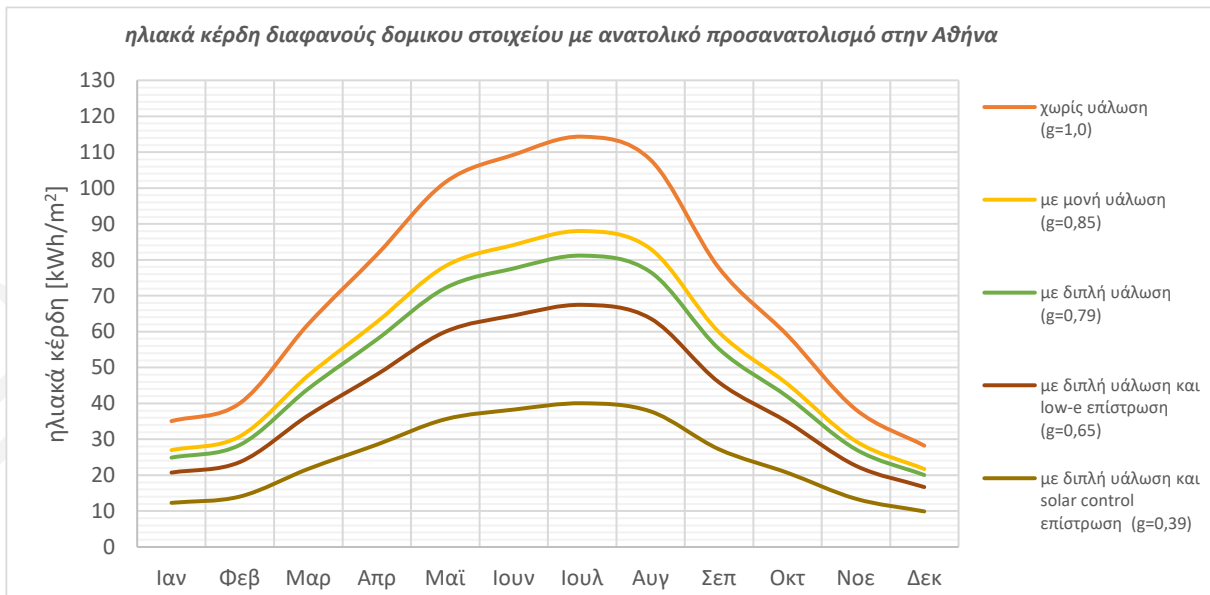
### 2.4.1.3. Συντελεστής ηλιακών κερδών

Ο συντελεστής ηλιακών κερδών,  $g_w$ , ενός διαφανούς δομικού στοιχείου εξαρτάται από τον συντελεστή ηλιακών κερδών της υάλωσης  $g_{gl}$  και το ποσοστό της υάλωσης στο διαφανές δομικό στοιχείο. Πρακτικά, ο συντελεστής ηλιακών κερδών,  $g_w$ , είναι ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από τη εσωτερική πλευρά του στοιχείου προς τη αντίστοιχη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην εξωτερική του πλευρά. Ο συντελεστής  $g_w$ , λαμβάνεται σταθερός για όλη τη διάρκεια του έτους και μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$g_w = g_{gl} \cdot (1 - F_f) = 0,90 \cdot g \cdot (1 - F_f) \quad [\text{εξ. 2.16}]$$

όπου: $g_w [-]$ :	ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του διαφανούς δομικού στοιχείου,
$F_f [-]$ :	το ποσοστό πλαισίου στο διαφανές δομικό στοιχείο, συμπεριλαμβανομένης και της επιφάνειας του κυτίου αν υπάρχει επικαθήμενο ρολό,
$g_{gl} [-]$ :	ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους της υάλωσης,
$g [-]$ :	ο συντελεστής ηλιακού κέρδους της υάλωσης σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας όπως πιστοποιείται από τον παραγωγό του (δηλώνεται στη δήλωση επίδοσης)

Στην **Εικόνα 2-22** φαίνεται γραφικά η επίδραση που έχει ο συντελεστής  $g$  στα ηλιακά κέρδη διαφανούς δομικού στοιχείου για ενδεικτικούς τύπους υαλώσεων. Η επιλογή της κατάλληλης υάλωσης και κατ' επέκταση του κατάλληλου  $g$  πρέπει να γίνεται με γνώμονα της βέλτιστη λειτουργία του διαφανούς δομικού στοιχείου (βλ. **ενότητα 2.4.2.2**). Υψηλοί συντελεστές  $g$  πρέπει να επιλέγονται σε συστήματα παθητικής θέρμανσης ενώ χαμηλοί σε συστήματα περιορισμού των ψυκτικών φορτίων. Χαρακτηριστικές τιμές  $g_g$  και  $g_w$  τυπικών υαλώσεων παρουσιάζονται στον σχετικό πίνακα (**Πίνακας 2-6**). Περισσότερα στοιχεία για τον συντελεστή  $g_w$  δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1.



Εικόνα 2-22: Επίδραση του συντελεστή ηλιακών κερδών  $g_w$  στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μέσω του διαφανούς δομικού στοιχείου

#### 2.4.1.4. Συντελεστής φωτοδιαπερατότητας

Ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας,  $\tau_w$ , ενός διαφανούς δομικού στοιχείου εξαρτάται από το συντελεστή φωτοδιαπερατότητας της υάλωσης  $\tau_g$  και το ποσοστό της υάλωσης στο διαφανές δομικό στοιχείο. Πρακτικά ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας  $\tau_w$  είναι ο λόγος του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από τη εσωτερική πλευρά του στοιχείου προς την αντίστοιχη ποσότητα ακτινοβολίας που προσπίπτει στην εξωτερική του πλευρά. Ο συντελεστής  $\tau_w$  λαμβάνεται σταθερός για όλη τη διάρκεια του έτους και μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$\tau_w = \tau_{gl} \cdot (1 - F_f) = 0,85 \cdot \tau \cdot (1 - F_f) \quad [\text{εξ. 2.17}]$$

όπου: $\tau_{gl}[-]$ :	ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας του διαφανούς δομικού στοιχείου,
$F_f[-]$ :	το ποσοστό πλαισίου στο διαφανές δομικό στοιχείο, συμπεριλαμβανομένης και της επιφάνειας του κυτίου αν υπάρχει επικαθήμενο ρολό,
$\tau_{gl}[-]$ :	ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας της υάλωσης,
$\tau[-]$ :	ο συντελεστής φωτοδιαπερατότητας της υάλωσης σε κάθετη πρόσπτωση όπως πιστοποιείται από τον παραγωγό του (δίνεται στη δήλωση επιδόσης)

Σε παλαιότερου τύπου υαλώσεις, η μείωση του  $g$  της υάλωσης που επιλέγονταν για μείωση των ψυκτικών φορτίων, συνοδεύονταν από σχεδόν ανάλογη μείωση του συντελεστή  $\tau$  αφού ο λόγος των δύο συντελεστών ήταν λίγο μεγαλύτερος από τη μονάδα ( $\tau/g \approx 1,05-1,10$ ). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του διαθέσιμου φυσικού φωτισμού και αντίστοιχη αύξηση της χρήσης του συστήματος του τεχνητού φωτισμού. Στις νέου τύπου υαλώσεις που φέρουν επιλεκτικές επιστρώσεις (solar control) αυτές έχουν ως στόχο να αποκόψουν μόνο το θερμικό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας επιτρέποντας την διέλευση του οπτικού με αποτέλεσμα ο λόγος των συντελεστών να είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας (πρακτικά  $\tau/g > 1,5$ ). Έτσι η μείωση του  $g$  έχει αρκετά μικρότερη επίδραση στο συντελεστή  $\tau$ .

Η χρήση συστημάτων υψηλού λόγου  $\tau/g$  έχει ιδιαίτερη σημασία σε χρήσεις κτιρίων που η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού έχει ιδιαίτερη βαρύτητα στην μείωση των συνολικών καταναλώσεων (π.χ. κτίρια γραφείων).

Χαρακτηριστικές τιμές  $\tau_g$  και  $\tau_w$  τυπικών υαλώσεων παρουσιάζονται στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 2-6). Περισσότερα στοιχεία για τον συντελεστή  $\tau_w$  δίνονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε.20701-1.

Πίνακας 2-6: Χαρακτηριστικά τυπικών υαλώσεων, συντελεστής θερμοπερατότητας  $U_g$  υάλωσης, συντελεστής ηλιακών κερδών  $g$  υάλωσης, συντελεστής φωτοδιαπερατότητας  $\tau$  υάλωσης, συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$  διαφανούς δομικού στοιχείου και συντελεστής φωτοδιαπερατότητας  $\tau_w$  διαφανούς δομικού στοιχείου

τύπος υάλωσης	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g$ [-]	$\tau$ [-]	$\tau/g$ [-]	$g_w$ [-]	$\tau_w$ [-]	$U_g/g$
Μονός υαλοπίνακας	5,7	0,85	0,90	1,06	0,61	0,61	6,7
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4	2,9	0,79	0,82	1,04	0,57	0,56	3,7
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4, με Αργό 90%	2,6	0,79	0,82	1,04	0,57	0,56	3,3
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4, με επίστρωση low-e	1,4	0,65	0,82	1,26	0,47	0,56	2,2
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4, με επίστρωση low-e και Αργό 90%	1,1	0,65	0,82	1,26	0,47	0,56	1,7
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4, με επίστρωση solar control	1,3	0,39	0,61	1,56	0,28	0,41	3,3
Διπλός υαλοπίνακας 4-15-4, με επίστρωση solar control και Αργό 90%	1,0	0,39	0,61	1,56	0,28	0,41	2,6
Τριπλός υαλοπίνακας 4-15-4-15-4, με επίστρωση low-e και Αργό 90%	0,6	0,54	0,75	1,39	0,39	0,51	1,1
Τριπλός υαλοπίνακας 4-15-4-15-4, με επίστρωση solar control και Αργό 90%	0,6	0,36	0,56	1,56	0,26	0,38	1,7
<b>Σημείωση:</b> Το $g_w$ και το $\tau_w$ έχουν υπολογιστεί θεωρώντας 80% ποσοστού υάλωσης στο διαφανές δομικό στοιχείο.							



### 2.4.1.5. Συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών

Οι συνολικές θερμικές απώλειες από ένα διαφανές δομικό στοιχείο, δηλαδή ο συνδυασμός των απωλειών λόγω διαφοράς θερμοκρασίας και λόγω διείσδυσης αέρα, μπορούν να υπολογιστούν με χρήση του συντελεστή συνολικών θερμικών απωλειών του διαφανούς στοιχείου  $U_{w,tot}$  που μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της επόμενης σχέσης [εξ. 2.18]:

$$U_{w,tot} = (U_{w,ni} + a_{inf} \cdot c_p \cdot \rho) = (U_{w,ni} + a_{inf} \cdot 0,337) \quad [\text{εξ. 2.18}]$$

όπου:  $U_{w,tot} [W/m^2K]$ : ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου, με χρήση νυχτερινής μόνωσης (αν υπάρχει) και αεροδιαφυγή

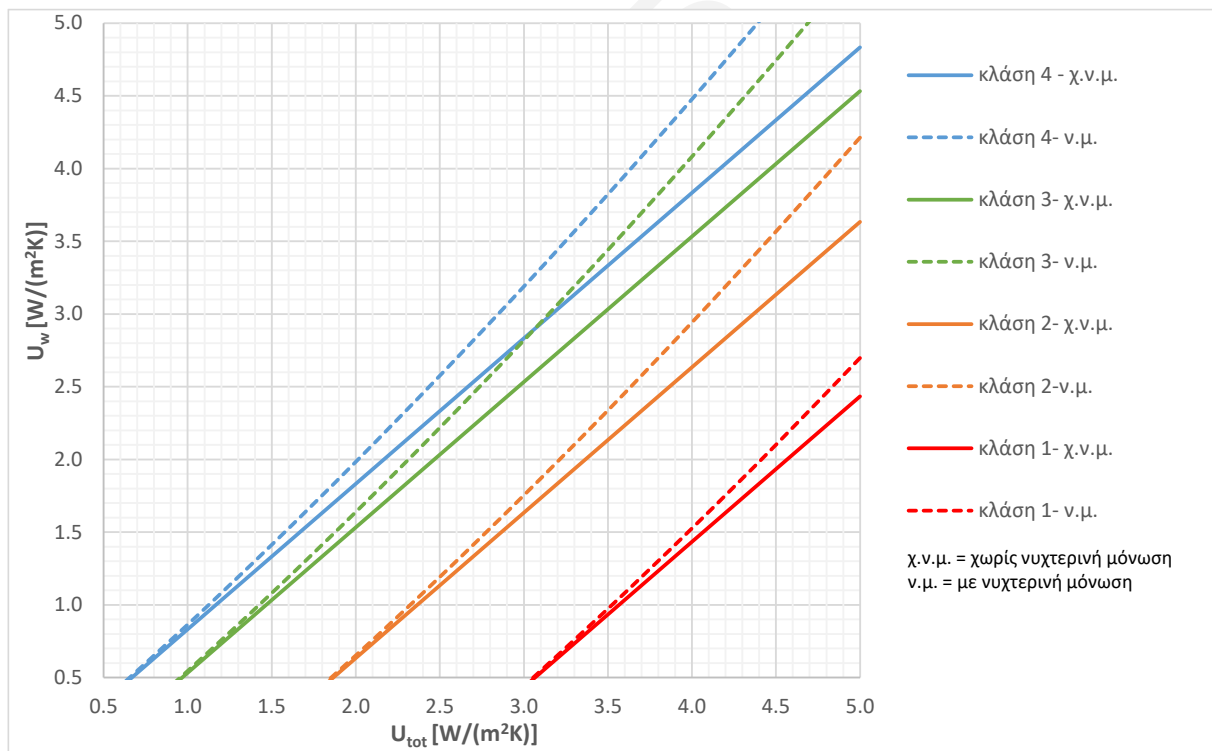
$U_{w,ni} [W/m^2K]$ : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση νυχτερινής μόνωσης, δηλ. ρολό ή εξώφυλλο. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει σύστημα νυχτερινής μόνωσης το  $U_{w,ni}$  ισούται με το  $U_w$

$a_{inf} [(m^3/h)/m^2]$ : ο συντελεστής αεροπερατότητας του διαφανούς δομικού στοιχείου

$c_p [Wh/(kg K)]$ : η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, ίση με  $0,281 Wh/(kg K)$

$\rho [kg/m^3]$ : η πυκνότητα του αέρα, στους  $20^\circ C$ , ίση με  $1,2 kg/m^3$

Οι συντελεστές θερμοπερατότητας διαφανών δομικών στοιχείων  $U_{w,ni}$  και  $U_{w,tot}$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της πραγματικής απόδοσης των διαφανών δομικών στοιχείων και την επιλογή κατάλληλων δομικών στοιχείων για κάθε περίπτωση κτιρίου ώστε να παρέχουν επαρκή θερμομόνωση. Στην **Εικόνα 2-23** παρουσιάζεται η αντιστοιχία τιμών του συντελεστή  $U_w$  με τιμές του συντελεστή  $U_{w,tot}$  για διαφανή δομικά στοιχεία με διαφορετική κλάση αεροστεγανότητας, λαμβάνοντας υπόψη και νυχτερινή μόνωση και χρησιμοποιώντας την παραπάνω σχέση [εξ. 2.18].



Εικόνα 2-23: Εκτίμηση συνολικού συντελεστή θερμικών απωλειών πορτοπαράθυρου  $U_{w,tot}$  από τον συντελεστή θερμοπερατότητας  $U_w$  και την κλάση αεροστεγανότητας και το αντίστροφο.

**Υπολογιστικό παράδειγμα 2.6**

Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αποτυπώνονται στο γράφημα (Εικόνα 2-23), ένα πορτοπαράθυρο με:

- $U_w=2,0\text{W/m}^2\text{K}$ , κλάση αεροστεγανότητας 4 και ύπαρξη συστήματος νυχτερινής μόνωσης, έχει  $U_{w,tot}=2,0\text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ
- με το ίδιο  $U_w=2,0\text{W/m}^2\text{K}$  και κλάση αεροστεγανότητας 3 και ύπαρξη συστήματος νυχτερινής μόνωσης, έχει  $U_{w,tot}=2,3\text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ χωρίς ύπαρξη συστήματος νυχτερινής μόνωσης έχει  $U_{w,tot}=2,5\text{ W/m}^2\text{K}$
- με το ίδιο  $U_w=2,0\text{W/m}^2\text{K}$  και κλάση αεροστεγανότητας 1 και ύπαρξη συστήματος νυχτερινής μόνωσης, έχει  $U_{w,tot}=4,4\text{ W/m}^2\text{K}$  ενώ χωρίς ύπαρξη συστήματος νυχτερινής μόνωσης έχει  $U_{w,tot}=4,5\text{ W/m}^2\text{K}$

Αντίστροφα, ένα πορτοπαράθυρο για να έχει συντελεστή συνολικών απωλειών:

- $U_{w,tot} = 3,0\text{ W/m}^2\text{K}$  με κλάση αεροστεγανότητας 3 πρέπει να επιλεγεί δομικό στοιχείο με  $U_w=2,5\text{ W/m}^2\text{K}$  όταν υπάρχει σύστημα νυχτερινής μόνωσης, ενώ  $U_w=2,8\text{ W/m}^2\text{K}$  όταν δεν υπάρχει
- για να έχει  $U_{w,tot}=3,0\text{ W/m}^2\text{K}$  με κλάση αεροστεγανότητας 2 πρέπει να επιλεγεί στοιχείο με  $U_w=1,8\text{ W/m}^2\text{K}$  όταν υπάρχει σύστημα νυχτερινής μόνωσης, ενώ  $U_w=1,6\text{ W/m}^2\text{K}$  όταν δεν υπάρχει.
- για να έχει  $U_{w,tot}=3,0\text{ W/m}^2\text{K}$  με κλάση αεροστεγανότητας 1 δεν υπάρχει

Από το παράδειγμα αυτό φαίνεται πως για τα διαφανή δομικά στοιχεία που είναι λιγότερο αεροστεγανά, δηλαδή έχουν υψηλότερο συντελεστή αεροπερατότητας, χρειάζεται να επιλεγεί χαμηλότερο  $U_w$  από το μέγιστο επιτρεπτό ώστε να προσφέρουν επαρκή θερμομόνωση. Για τα δομικά στοιχεία που είναι αεροστεγανά, δηλαδή έχουν χαμηλότερο συντελεστή αεροπερατότητας, θα μπορούσε ακόμη και υψηλότερο  $U_w$  να προσφέρει επαρκή θερμομόνωση, όμως σε κάθε περίπτωση πρέπει να καλύπτονται οι απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για το μέγιστο επιτρεπτό  $U_w$  σε κάθε κλιματική ζώνη.

**Τονίζεται ότι οι ελάχιστες απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ. για τα διαφανή δομικά στοιχεία καθορίζονται για το  $U_w$  και όχι για το  $U_{tot}$ .**

### 2.4.2. Ενεργειακή απόδοση διαφανών στοιχείων

Ο έλεγχος της συνεισφοράς των διαφανών δομικών στοιχείων στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων αποσκοπεί στην δυνατότητα επιλογής των βέλτιστων χαρακτηριστικών για κάθε διαφανές δομικό στοιχείο ανάλογα με τον προσανατολισμό του και το μέγεθός του αλλά και σε σχέση με χαρακτηριστικά του κτιρίου στο οποίο εντάσσεται. Η επιλογή των χαρακτηριστικών των διαφανών δομικών στοιχείων πρέπει να γίνεται πάντα έχοντας κατά νου ότι επηρεάζουν ταυτόχρονα τις απαιτήσεις για θέρμανση, για ψύξη, και σε αρκετές περιπτώσεις, και για φωτισμό του κτιρίου. Είναι ευθύνη του μελετητή να εντοπίσει την χρυσή τομή που θα βελτιστοποιεί την συμπεριφορά του δομικού στοιχείου και πάντα υπό το πρίσμα της οικονομίας της κατασκευής.

Οι θερμικές ροές λόγω διαφοράς θερμοκρασίας του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα που πραγματοποιούνται διαμέσου των διαφανών δομικών στοιχείων υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίζονται και για τα αδιαφανή δομικά στοιχεία (βλ. [εξ. 2.14]). Επιπλέον όμως τα διαφανή δομικά στοιχεία έχουν ηλιακά κέρδη τα οποία μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια της επόμενης σχέσης:

$$q_{sol} = g_w \cdot I \cdot F_{sh} \quad [\text{εξ. 2.19}]$$

όπου:  $q_{sol} [kWh/m^2]$ : τα ηλιακά κέρδη από διαφανές δομικό στοιχείο

$g_w [-]$ : ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$I [kWh]$ : η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων

$F_{sh} [-]$ : ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο υπολογισμού (βλ. ενότητα 4.2.3)

#### 2.4.2.1. Συνεισφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα

Για την περίοδο θέρμανσης το ενεργειακό ισοζύγιο ή η ροή θερμότητας  $q_h$  μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση [εξ. 2.20]. Θετικές τιμές του  $q_h$  σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερα ηλιακά κέρδη από ότι θερμικές απώλειες, με συνέπεια να μειώνονται οι απαιτήσεις του χώρου για θέρμανση (παθητική θέρμανση), ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερες θερμικές απώλειες από ότι ηλιακά κέρδη, με συνέπεια να αυξάνονται οι απαιτήσεις του χώρου για θέρμανση.

$$q_h = g_w \cdot I_h \cdot F_{sh,h} \cdot n_h - U_{w,tot} \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. 2.20}]$$

όπου:  $q_h [kWh/m^2]$ : η ροή θερμότητας διαμέσου του διαφανούς δομικού στοιχείου προς το κτίριο για την περίοδο θέρμανσης

$g_w [-]$ : ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$I_h [kWh]$ : η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο θέρμανσης (βλ. Παράρτημα Ε)

$F_{sh,h} [-]$ : ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο θέρμανσης (βλ. ενότητα 4.2.3)

$n_h [-]$ : ο βαθμός αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο θέρμανσης. Εξαρτάται από τη χρονική σταθερά του κτιρίου

καθώς και τον λόγο των κερδών προς τις απώλειες του κτιρίου θέρμανσης (βλ. ενότητα 2.2.4)

$U_{w,tot} [W/m^2K]$  : ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$\Sigma\Delta T_h [kKh]$  : το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. Παράρτημα Ε)

Όπως φαίνεται από τη σχέση [εξ. 2.20], το ισοζύγιο του διαφανούς στοιχείου  $q_h$  για την περίοδο θέρμανσης μεγαλώνει όσο μειώνεται ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών  $U_{w,tot}$ , και όσο αυξάνεται ο συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$  του διαφανούς δομικού στοιχείου. Μεγάλη επίδραση στο ισοζύγιο έχει η σκίαση του διαφανούς δομικού στοιχείου αλλά και ο γενικότερος σχεδιασμός του κτιρίου (δρώσα θερμοχωρητικότητα, επίπεδο θερμομόνωσης, αναλογία ανοιγμάτων στις όψεις) αφού αυτός καθορίζει τον βαθμό αξιοποίησης των ηλιακών κερδών (βλ. ενότητα 2.2.4.1).

Θέτοντας  $q_h > 0$  και αναδιαμορφώνοντας την [εξ. 2.20] προκύπτει η επόμενη σχέση [εξ. 2.21] από την οποία μπορούν να προσδιοριστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός διαφανούς δομικού στοιχείου που επιτυγχάνει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ή με πιο απλά λόγια να λειτουργεί ως σύστημα παθητικής θέρμανσης:

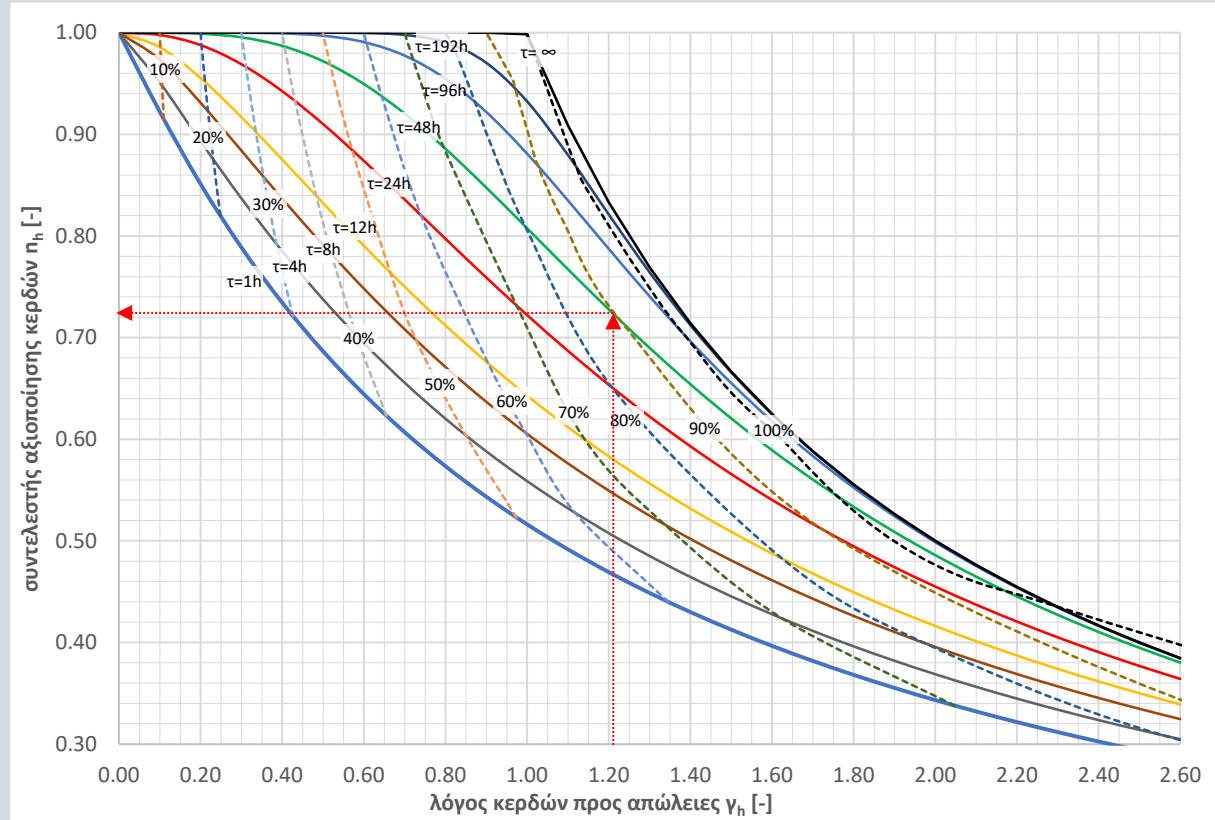
$$\frac{U_{w,tot}}{g_w} < n_h \cdot \frac{I_h}{\Sigma\Delta T_h} \cdot F_{sh,h} \quad [\text{εξ. 2.21}]$$

Ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ασκίαστα σε μια επιφάνεια για μια περίοδο προς το άθροισμα των διαφορών θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα-εξωτερικού αέρα για την ίδια περίοδο είναι χαρακτηριστικό της περιοχής και μπορεί να υπολογιστεί με τα δεδομένα της (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3, 2010) για κάθε μια από τις περιοχές που καλύπτονται. Στο Παράρτημα Ε δίνονται πινακοποιημένες τιμές του ανωτέρου λόγου για τυπικές περιόδους θέρμανσης και ψύξης όπως αυτές ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1:2022. Σημειώνεται ότι ανάλογα με το σχεδιασμό του κτιρίου, και αυτός είναι και ένας από του στόχους του βιοκλιματικού σχεδιασμού, οι περίοδοι θέρμανσης και ψύξης μπορούν να συρρικνωθούν.

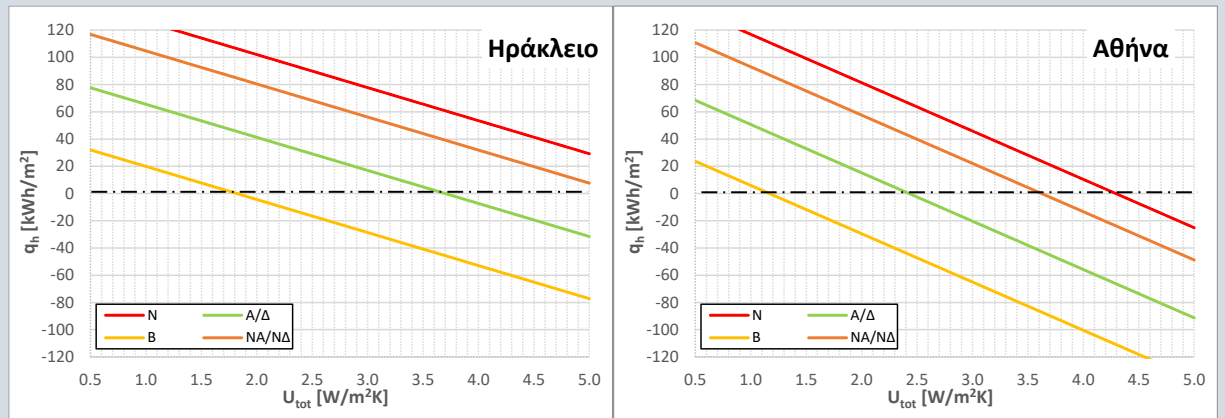
**Υπολογιστικό παράδειγμα 2.7**

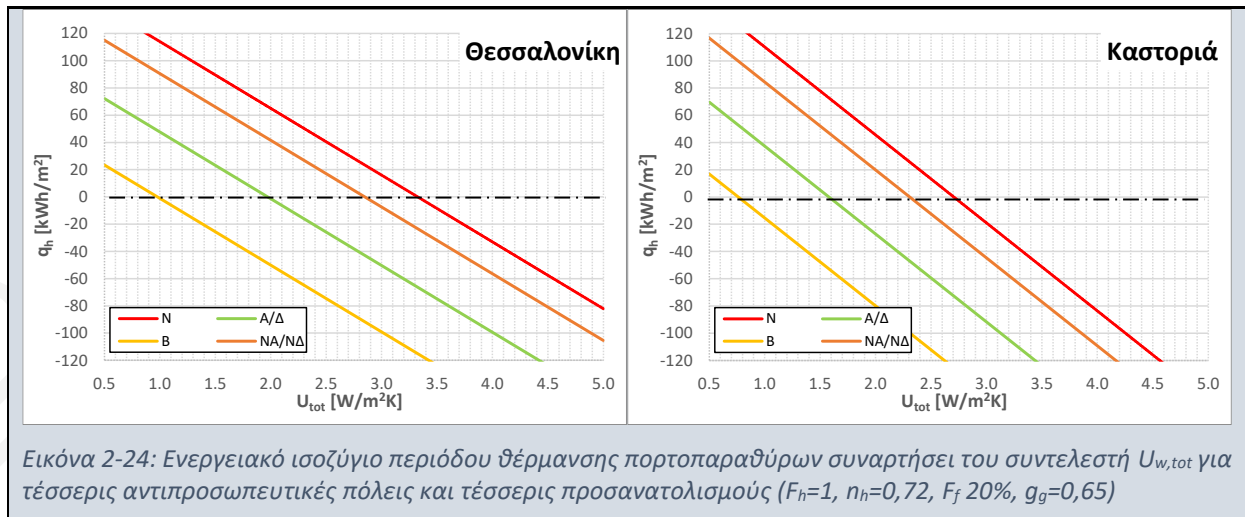
Σε κτίριο με χρονική σταθερά  $\tau=48h$  να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά διαφανούς δομικού στοιχείου που επιτυγχάνει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες θεωρώντας όταν επιλέγεται οι απαιτήσεις θέρμανσης να καλύπτονται κατά 90% από τα εσωτερικά και ηλιακά κέρδη.

Ο συντελεστής αξιοποίησης κερδών προσδιορίζεται από επόμενο γράφημα ( $\tau=48h$  και ποσοστό κάλυψης των απαιτήσεων 90%) ίσος με  $\eta_h=0,72$ .



Για τον υπολογισμό του  $q_h$  θεωρήθηκε ότι τα ανοίγματα είναι ασκίαστα ( $F_{sh,h}=1$ ) το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα είναι 20% και η υάλωση έχει συντελεστή  $g=0,65$  (διπλή υάλωση με επιστρωση χαμηλής εκπομπής). Στα επόμενα γραφήματα δίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης  $q_h$  για διαφανή δομικά στοιχεία σε τέσσερις χαρακτηριστικές πόλεις, για τέσσερις προσανατολισμούς, συναρτήσει του  $U_{tot}$ .





### 2.4.2.2. Συνεισφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια του θέρους

Για την περίοδο ψύξης το ενεργειακό ισοζύγιο ή η ροή θερμότητας  $q_h$  μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση [εξ. 2.22]. Θετικές τιμές του  $q_c$  σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερα ηλιακά κέρδη από ότι θερμικές απώλειες, με συνέπεια να αυξάνονται οι απαιτήσεις του χώρου για ψύξη, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερες θερμικές απώλειες από ότι ηλιακά κέρδη, με συνέπεια να μειώνονται οι απαιτήσεις του χώρου για ψύξη. Για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, τα διαφανή δομικά στοιχεία σε όλες τις περιπτώσεις κατά την περίοδο ψύξης παρουσιάζουν θετικές τιμές ενεργειακού ισοζυγίου δηλαδή αυξάνουν τις απαιτήσεις για ψύξη του χώρου στον οποίο βρίσκονται.

$$q_c = g_w \cdot I_c \cdot F_{sh,c} - U_{w,tot} \cdot \Sigma \Delta T_c \cdot n_c \quad [\text{εξ. 2.22}]$$

$q_c$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	τα κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο ψύξης
$g_w$ [-]:	ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$I_c$ [kWh]:	η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο ψύξης
$F_{sh,c}$ [-]:	ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο ψύξης
$U_{w,tot}$ [W/m <sup>2</sup> K]:	ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$\Sigma \Delta T_c$ [kKh ]:	το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου ψύξης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. <a href="#">Παράρτημα Ε</a> )
$n_c$ [%]:	συντελεστής αξιοποίησης των θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο υπολογισμού. Εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του κτιρίου καθώς και τον λόγο των απωλειών προς τα κέρδη του κτιρίου.

Όπως φαίνεται από τη σχέση [εξ. 2.22], το ισοζύγιο του διαφανούς στοιχείου  $q_c$  για την περίοδο ψύξης μεγαλώνει όσο μειώνεται ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών  $U_{w,tot}$ , και όσο αυξάνεται ο συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$  του διαφανούς δομικού στοιχείου. Μεγάλη επίδραση στο ισοζύγιο έχει η σκίαση του διαφανούς δομικού στοιχείου αλλά και ο γενικότερος σχεδιασμός του κτιρίου αφού αυτός καθορίζει τον βαθμό αξιοποίησης των ηλιακών απωλειών.

### 2.4.2.3. Συνεισφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις για φωτισμό

Όσον αφορά την κατανάλωση φωτισμού, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω της αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού μπορεί να υπολογιστεί από την [εξ. 2.23]. Σημειώνεται ότι για τα κτίρια κατοικίας η κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό θεωρείται αρκετά μικρή οπότε με βάση τον Κ.Εν.Α.Κ. αγνοείται στους υπολογισμούς. Αντίθετα στις υπόλοιπες χρήσεις κτιρίων λαμβάνεται υπόψη.

$$q_l = F_{DZ} \cdot p \cdot (1 - F_{DS}) \cdot t_D \quad [\text{εξ. 2.23}]$$

όπου:	$q_l$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό που οφείλεται στην ύπαρξη του διαφανούς δομικού στοιχείου
	$F_{DZ}$ [%]:	το ποσοστό του χώρου ΦΦ
	$p$ [W/m <sup>2</sup> ]:	η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού
	$F_{DS}$ [-]:	ο συντελεστής μείωσης κατανάλωσης λόγω αξιοποίησης ΦΦ.
	$t_D$ [kh]:	οι ετήσιες ώρες λειτουργίας του χώρου κατά τις οποίες υπάρχει διαθέσιμος φυσικός φωτισμός



#### 2.4.2.4. Συνεισφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις κατά το σύνολο του έτους

Για το σύνολο του έτους, το ισοζύγιο ηλιακών κερδών  $q_{sol,t}$ , μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση [εξ. 2.24]. Θετικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερα ηλιακά κέρδη κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου από ότι τη θερινή περίοδο. Με βάση τη σχέση [εξ. 2.24] προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση που το συνολικό ισοζύγιο ηλιακών κερδών,  $q_{sol,t}$ , είναι θετικό, δηλαδή το διαφανές δομικό στοιχείο μειώνει περισσότερο τα θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια του χειμώνα από ότι αυξάνει τα ψυκτικά φορτία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ο συντελεστής ηλιακών κερδών,  $g_w$ , πρέπει να αυξηθεί για να προσφέρει περισσότερα ηλιακά κέρδη (επιλογή low-e επίστρωσης).
- Στην περίπτωση που το συνολικό ισοζύγιο,  $q_{sol,t}$ , είναι αρνητικό, δηλαδή το διαφανές δομικό στοιχείο μειώνει λιγότερο τα θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια του χειμώνα από ότι αυξάνει τα ψυκτικά φορτία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ο συντελεστής ηλιακών κερδών,  $g_w$ , πρέπει να μειωθεί, ώστε να προσφέρει μεγαλύτερη ηλιοπροστασία (επιλογή solar control επίστρωσης).

$$q_{sol,t} = q_{sol,h} - q_{sol,c} = g_w (I_h \cdot F_{sh,h} \cdot n_h - I_c \cdot F_{sh,c}) \quad [\text{εξ. 2.24}]$$

όπου:  $q_{sol,t}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: το ετήσιο ισοζύγιο ηλιακών κερδών ενός διαφανούς δομικού στοιχείου

$q_{sol,h}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: τα ηλιακά κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο θέρμανσης

$q_{sol,c}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: τα ηλιακά κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο ψύξης

$g_w$  [-]: ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$I_h$  [kWh]: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο θέρμανσης

$F_{sh,h}$  [-]: ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο θέρμανσης

$n_h$  [%]: συντελεστής αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο θέρμανσης. Εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του κτιρίου καθώς και τον λόγο των κερδών προς τις απώλειες του κτιρίου.

$I_c$  [kWh]: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο ψύξης

$F_{sh,c}$  [-]: ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο ψύξης

Θέτοντας  $q_{sol,t} > 0$  και αναδιαμορφώνοντας την [εξ. 2.24] προκύπτει η επόμενη σχέση [εξ. 2.25] από την οποία μπορούν να προσδιοριστούν οι συνθήκες για την επιλογή υψηλού  $g_w$ . Αν ισχύει η συνθήκη που περιγράφεται από την [εξ. 2.25] προτείνεται η επιλογή υψηλού  $g_w$  ενώ αν δεν ισχύει η επιλογή χαμηλού  $g_w$ :

$$\frac{I_h \cdot F_{sh,h}}{I_c \cdot F_{sh,c}} \cdot n_h > 1 \Rightarrow R_{sh} \cdot n_h > 1 \quad [\text{εξ. 2.25}]$$

όπου:  $R_{sh}$  [-]: ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε μια επιφάνεια στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης (βλ. ενότητα 2.1.2)

$n_h$  [-]: ο συντελεστής αξιοποίησης κερδών (βλ. ενότητα 2.2.4.1)

## Υπολογιστικό παράδειγμα 2.8

α) Για άνοιγμα που διαθέτει πρόβολο με γωνία σκιασμού  $30^\circ$  να προσδιορισθεί για την περιοχή της Αθήνας αν πρέπει να επιλεγεί υάλωση υψηλού ή χαμηλού συντελεστή  $g_w$ .

Με χρήση του πίνακα E.2 προσδιορίζεται ο λόγος  $R$  της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορους προσανατολισμούς. Με τη βοήθεια του γραφήματος που δίνεται στην Εικόνα 2-8 προσδιορίστηκε ο λόγος  $f_{sh}$  για γωνία οριζόντιου σκιάστρου  $30^\circ$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα.

	νότιος	νοτ.ανατ.	ανατολικός	βορ.ανατ.	βόρειος
$R$	1.37	0.98	0.63	0.46	0.51
$f_{sh}$	1.20	1.13	1.07	0.99	0.97
$R \times f_{sh}$	1.65	1.11	0.68	0.45	0.50
$a_h=1/(R \times f_{sh})$	0.61	0.90	1.47	2.22	2.01

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, για νότιο προσανατολισμό και όταν υπάρχει οριζόντιο σκιάστρο με γωνία σκιασμού  $30^\circ$  προτείνεται η χρήση υψηλού  $g_w$  όταν το κτίριο έχει συντελεστή αξιοποίησης ηλιακών κερδών  $n_h > 0,61$ . Για νότιοανατολικο/ νότιοδυτικό προσανατολισμό το ίδιο ισχύει όταν ο συντελεστής  $n_h > 0,90$ . Για τους υπόλοιπους προσανατολισμούς, και αφού δεν είναι εφικτή η επίτευξη  $n_h > 1$ , προτείνεται η χρήση μικρού  $g_w$  ούτως ώστε να περιορισθούν τα ηλιακά κέρδη κατά την περίοδο ψύξης.

β) Για άνοιγμα που διαθέτει πρόβολο με γωνία σκιασμού  $40^\circ$  να προσδιορισθεί για την περιοχή της Αθήνας αν πρέπει να επιλεγεί υάλωση υψηλού ή χαμηλού συντελεστή  $g_w$ .

Με χρήση πίνακα E.2 προσδιορίζεται ο λόγος  $R$  της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορους προσανατολισμούς. Με τη βοήθεια του γραφήματος που δίνεται στην Εικόνα 2-8 προσδιορίστηκε ο λόγος  $f_{sh}$  για γωνία οριζόντιου σκιάστρου  $40^\circ$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα.

	νότιος	νοτ.ανατ.	ανατολικός	βορ.ανατ.	βόρειος
$R$	1.37	0.98	0.63	0.46	0.51
$f_{sh}$	1.43	1.27	1.17	1.00	0.95
$R \times f_{sh}$	1.96	1.24	0.74	0.46	0.49
$a_h=1/(R \times f_{sh})$	0.51	0.80	1.35	2.18	2.06

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, για νότιο προσανατολισμό και όταν υπάρχει οριζόντιο σκιάστρο με γωνία σκιασμού  $40^\circ$  προτείνεται η χρήση υψηλού  $g_w$  όταν το κτίριο έχει συντελεστή αξιοποίησης ηλιακών κερδών  $n_h > 0,51$  (αντί για  $n_h > 0,61$  που ίσχυε για γωνία σκιασμού  $30^\circ$ ). Για νότιοανατολικο/ νότιοδυτικό προσανατολισμό το ίδιο ισχύει όταν ο συντελεστής  $n_h > 0,80$  (αντί για  $0,90$  που ίσχυε για γωνία σκιασμού  $30^\circ$ ). Για τους υπόλοιπους προσανατολισμούς, και αφού εξακολουθεί να μην είναι εφικτή η επίτευξη  $n_h > 1$ , προτείνεται η χρήση μικρού  $g_w$ , ούτως ώστε να περιορισθούν τα ηλιακά κέρδη κατά την περίοδο ψύξης.

γ) Για άνοιγμα που σκιάζεται από οριζόντιο εμπόδιο με γωνία σκιασμού  $20^\circ$  και διαθέτει που διαθέτει πρόβολο με γωνία σκιασμού  $40^\circ$  να προσδιορισθεί για την περιοχή της Αθήνας αν πρέπει να επιλεγεί υάλωση υψηλού ή χαμηλού συντελεστή  $g_w$ .

Με χρήση του πίνακα X προσδιορίζεται ο λόγος  $R$  της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορους προσανατολισμούς. Με τη βοήθεια του γραφήματος που δίνεται στην Εικόνα 2-8 προσδιορίστηκε ο λόγος  $f_{sh,ov}$  για γωνία οριζόντιου σκιάστρου  $40^\circ$  ενώ με τη βοήθεια του γραφήματος που δίνεται στην Εικόνα 2-10 προσδιορίστηκε ο λόγος  $f_{sh,hor}$  για γωνία οριζόντιου εμποδίου  $20^\circ$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα.

	νότιος	νοτ.ανατ.	ανατολικός	βορ.ανατ.	βόρειος
$R$	1.37	0.98	0.63	0.46	0.51
$f_{sh,hor}$	0.85	0.90	0.90	1.07	1.10
$f_{sh,ov}$	1.43	1.27	1.17	1.00	0.95
$f_{sh}=f_{sh,hor} \times f_{sh,ov}$	1.21	1.14	1.05	1.08	1.05
$R \times f_{sh}$	1.66	1.12	0.66	0.49	0.54
$a_h=1/(R \times f_{sh})$	0.60	0.89	1.51	2.04	1.86

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, για νότιο προσανατολισμό προτείνεται η χρήση υψηλού  $g_w$  όταν το κτίριο έχει συντελεστή αξιοποίησης ηλιακών κερδών  $n_h > 0,60$  ενώ για νοτιοανατολικο/ νοτιοδυτικό προσανατολισμό το ίδιο ισχύει όταν ο συντελεστής  $n_h > 0,89$ . Για τους υπόλοιπους προσανατολισμούς, και αφού εξακολουθεί να μην είναι εφικτή η επίτευξη  $n_h > 1$ , προτείνεται η χρήση μικρού  $g_w$  ούτως ώστε να περιορισθούν τα ηλιακά κέρδη κατά την περίοδο ψύξης.

## 2.5. Αναλογία ανοιγμάτων

Η αναλογία των ανοιγμάτων στις όψεις (**WWR**) ή στην ωφέλιμη επιφάνεια (**WFR**) έχει μεγάλη επίδραση στις θερμικές απώλειες των κτιρίων, στα ηλιακά κέρδη και στο φυσικό φωτισμό των κτιρίων. Όπως αναλύεται στην [ενότητα 5.4](#), η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων δεν είναι ανάλογη με την μείωση της κατανάλωσης για φωτισμό και πάνω από κάποιο όριο δεν επιφέρει περαιτέρω μείωση. Με παρόμοιο τρόπο και στην παθητική θέρμανση, η αύξηση του μεγέθους των παθητικών ανοιγμάτων σε σχέση με την ωφέλιμη επιφάνεια, επιφέρει μια συνεχή μείωση στην αποδοτικότητα τους (βλ. [ενότητα 2.2.4.1](#)) αφού αυξάνει το λόγο  $\gamma_h$  (λόγος κερδών προς απώλειες) η οποία επιφέρει μείωση του συντελεστή αξιοποίησης των κερδών  $\eta_h$ . Παράλληλα όμως η επίδραση του μεγέθους των ανοιγμάτων είναι σχεδόν ανάλογη με τα ψυκτικά φορτία (όσο αυξάνει η αναλογία τόσο αυξάνουν τα φορτία ψύξης). Συνδυάζοντας τα παραπάνω προκύπτει τελικά ότι υπάρχει μια βέλτιστη αναλογία ανοιγμάτων, στην οποία η συνολική απαίτηση του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη ελαχιστοποιείται.

Για χρήσεις κτιρίων στις οποίες η συνεισφορά του φυσικού φωτισμού δεν έχει μεγάλη επίδραση στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, όπως για παράδειγμα σε κατοικίες, μπορεί να ισχύουν τρεις διαφορετικές συνθήκες για τα διαφανή δομικά στοιχεία:

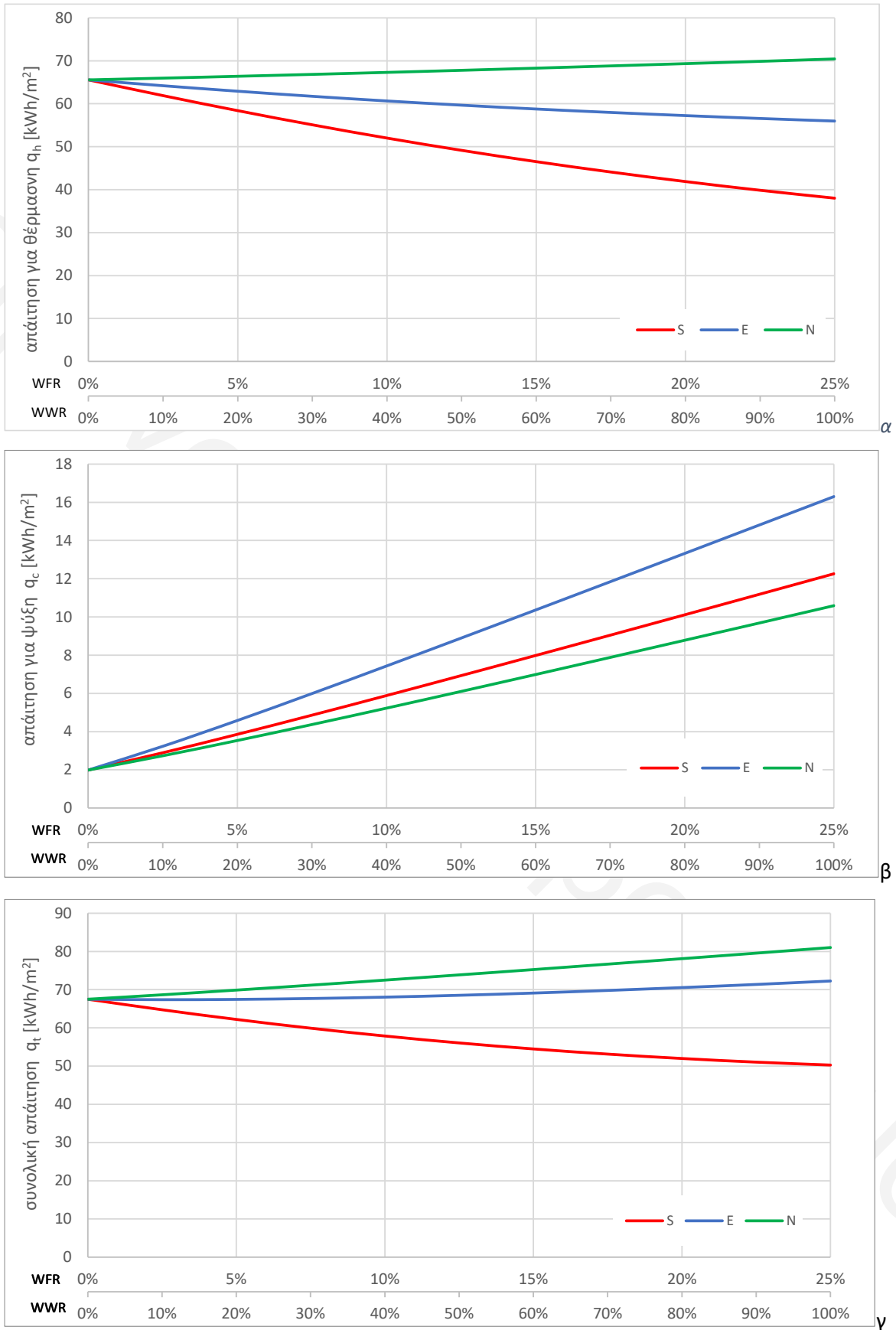
1. Να συνεισφέρουν κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ( $q_h > 0$ ) και μάλιστα περισσότερο από ότι επιβαρύνουν κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης ( $q_h > q_c$ ).
2. Να συνεισφέρουν κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ( $q_h > 0$ ), αλλά λιγότερο από ότι επιβαρύνουν κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης ( $q_h < q_c$ ).
3. Να επιβαρύνουν τόσο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης ( $q_h < 0$ ) όσο και κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης.

Στη δεύτερη και στην τρίτη περίπτωση, είναι προτιμότερο η επιφάνεια των διαφανών δομικών στοιχείων να είναι περιορισμένη και να καθορίζεται από άλλες παραμέτρους εκτός των ενεργειακών. Επιπλέον, σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει ο συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$  να είναι χαμηλός και προτείνεται η υάλωση να είναι τύπου solar control.

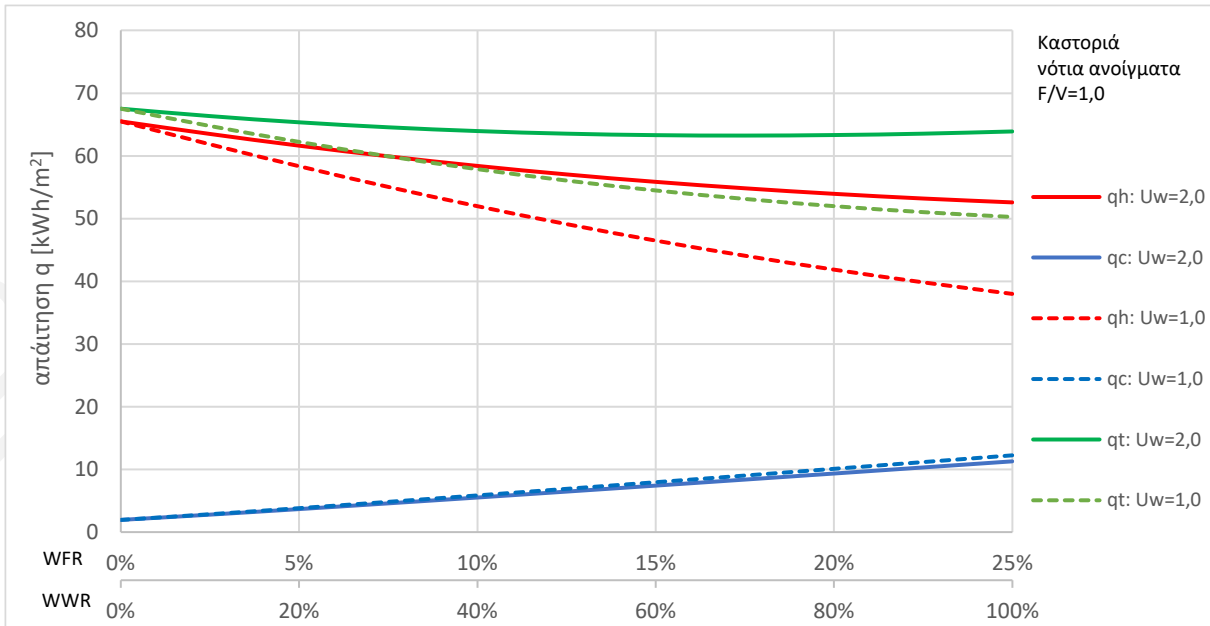
Όπως φαίνεται στα επόμενα γραφήματα ([Εικόνα 2-25](#)):

- για τα βόρεια, διαφανή δομικά στοιχεία, τα οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφανίζουν  $q_h < 0$ , όσο αυξάνει η αναλογία WFR, αυξάνονται και οι απαιτήσεις για θέρμανση και οι συνολικές απαιτήσεις.
- για τα ανατολικά, διαφανή δομικά στοιχεία (και για τα δυτικά εξαιτίας της αντίστοιχης ηλιακής γεωμετρίας), τα οποία, στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφανίζουν  $q_h > 0$  αλλά  $q_h < q_c$ , όσο αυξάνει η αναλογία WFR, μειώνονται και οι απαιτήσεις για θέρμανση, αλλά αυξάνονται οι συνολικές απαιτήσεις λόγω της αύξησης των απαιτήσεων για ψύξη.
- για τα νότια, διαφανή δομικά στοιχεία, τα οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση εμφανίζουν  $q_h > 0$  και  $q_h > q_c$ , όσο αυξάνει η αναλογία WFR, μειώνονται και οι απαιτήσεις για θέρμανση και οι συνολικές απαιτήσεις με μικρότερο όμως ρυθμό μέχρι κάποιου σημείου που αρχίζουν να αυξάνουν (βέλτιστη αναλογία WFR).

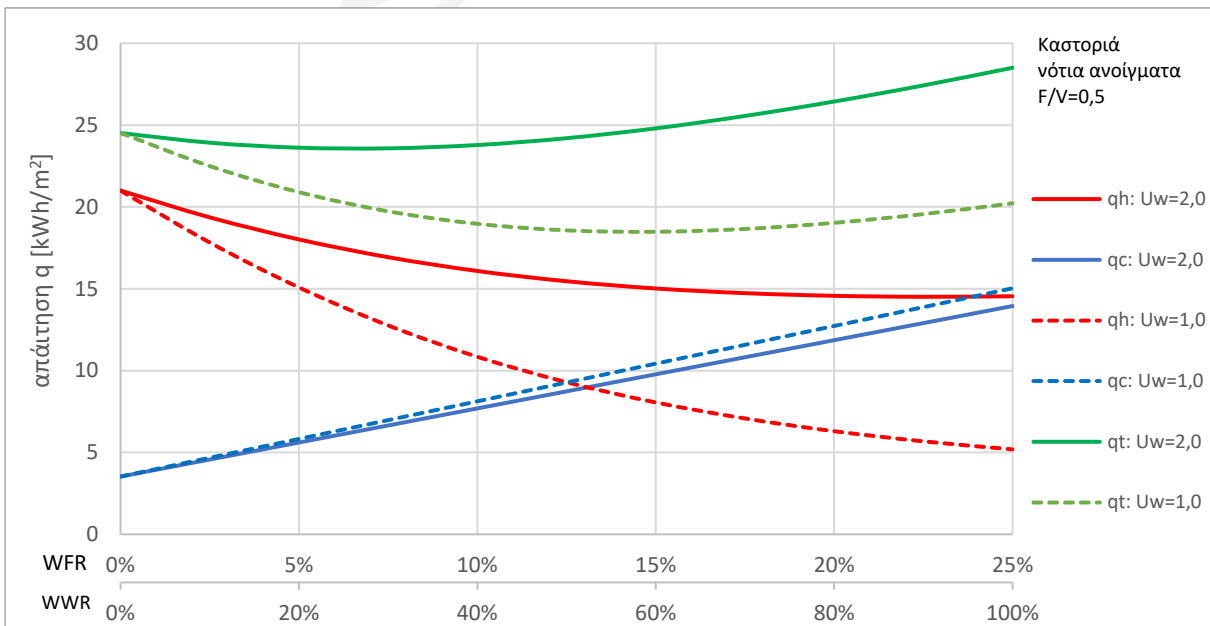
Η παραπάνω συμπεριφορά διαφέρει ανάλογα με την περιοχή (κλιματική ζώνη), τον δείκτη συμπαγούς μορφής  $F/V$ , τον συντελεστή απωλειών  $U_w$  των διαφανών δομικών στοιχείων αλλά και το σκιασμό. Ενδεικτικά αποτελέσματα για διαφορετικούς δείκτες  $F/V$  και διαφορετικούς συντελεστές  $U_w$  παρουσιάζονται παρακάτω για δύο διαφορετικές περιοχές την Καστοριά ([Εικόνα 2-26](#) και [Εικόνα 2-27](#)) και το Ηράκλειο ([Εικόνα 2-28](#) και [Εικόνα 2-29](#)).



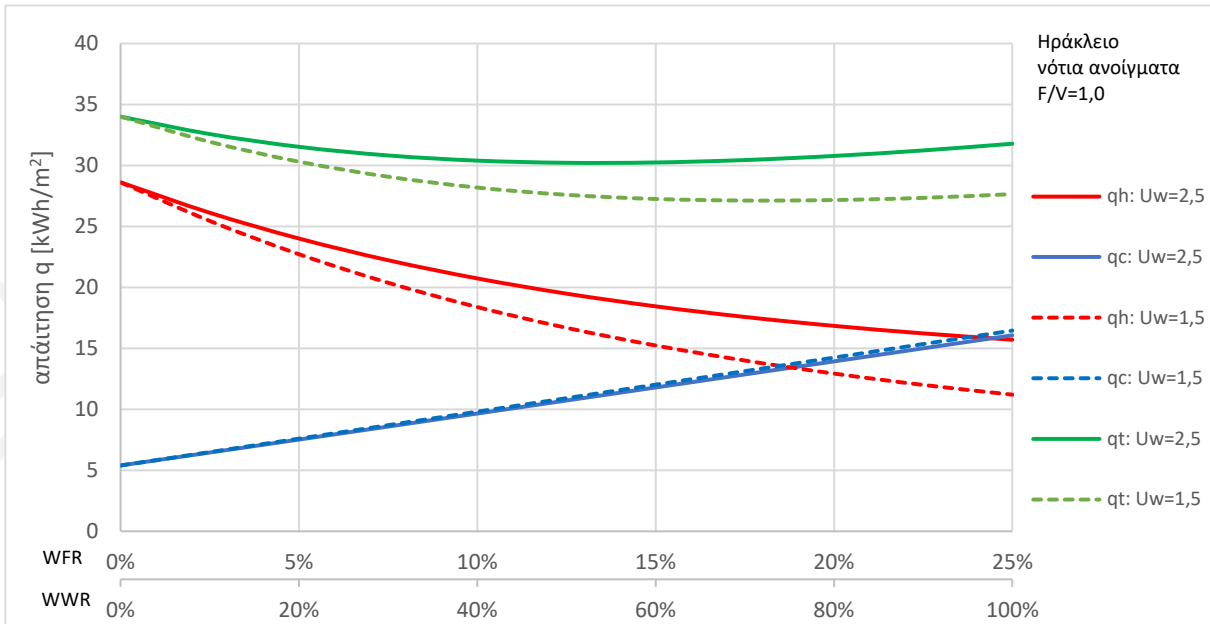
Εικόνα 2-25: Επίδραση της αναλογίας επιφάνειας ανοιγμάτων προς την ωφέλιμη επιφάνεια (WFR), για διαφορετικούς προσανατολισμούς (νότιο, ανατολικό, βόρειο), για κτίριο στην Καστοριά θερμομονωμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., στις απαιτήσεις (α) για θέρμανση, (β) για ψύξη και (γ) στις συνολικές απαιτήσεις.



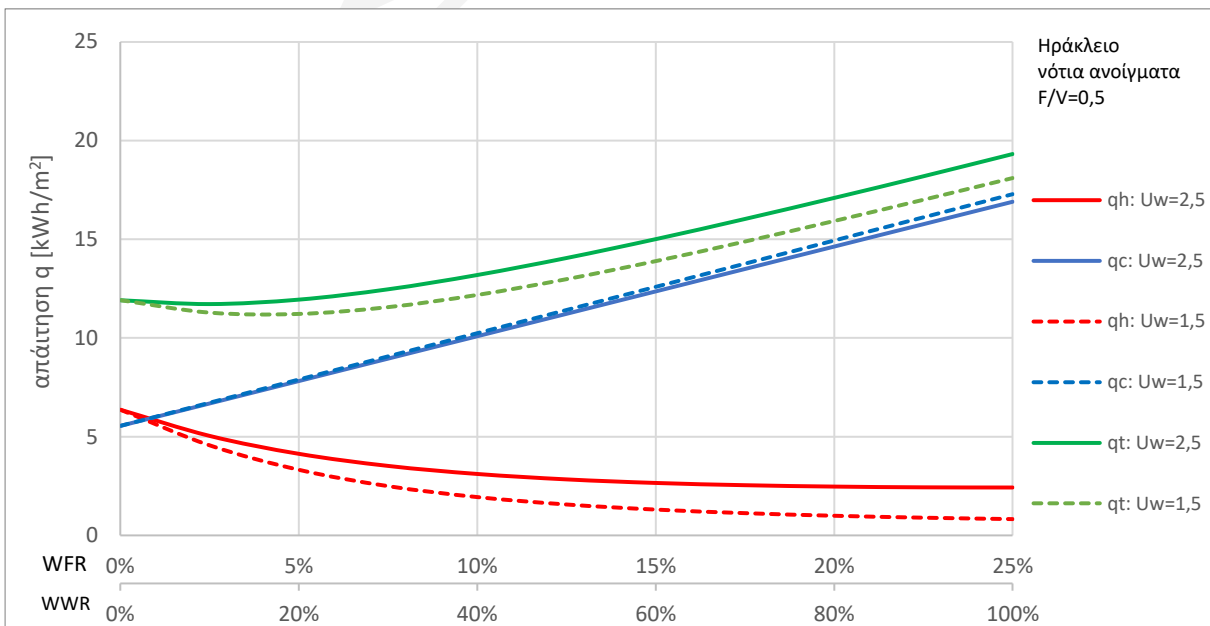
Εικόνα 2-26: Επίδραση της αναλογίας επιφάνειας ανοιγμάτων προς την ωφέλιμη επιφάνεια (WFR), για νότια ανοίγματα, για κτίριο με λόγο  $F/V=1,0$  στην Καστοριά θερμομονωμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., στις απαιτήσεις για θέρμανση  $q_h$ , για ψύξη  $q_c$  και στις συνολικές απαιτήσεις  $q_t$ .



Εικόνα 2-27: Επίδραση της αναλογίας επιφάνειας ανοιγμάτων προς την ωφέλιμη επιφάνεια (WFR), για νότια ανοίγματα, για κτίριο με λόγο  $F/V=0,5$  στην Καστοριά θερμομονωμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., στις απαιτήσεις για θέρμανση  $q_h$ , για ψύξη  $q_c$  και στις συνολικές απαιτήσεις  $q_t$ .



Εικόνα 2-28: Επίδραση της αναλογίας επιφάνειας ανοιγμάτων προς την ωφέλιμη επιφάνεια (WFR), για νότια ανοίγματα, για κτίριο με λόγο  $F/V=1,0$  στο Ηράκλειο θερμομονωμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., στις απαιτήσεις για θέρμανση  $q_h$ , για ψύξη  $q_c$  και στις συνολικές απαιτήσεις  $q_t$ .



Εικόνα 2-29: Επίδραση της αναλογίας επιφάνειας ανοιγμάτων προς την ωφέλιμη επιφάνεια (WFR), για νότια ανοίγματα, για κτίριο με λόγο  $F/V=0,5$  στο Ηράκλειο θερμομονωμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κ.Εν.Α.Κ., στις απαιτήσεις για θέρμανση  $q_h$ , για ψύξη  $q_c$  και στις συνολικές απαιτήσεις  $q_t$ .

### 3. Παθητική θέρμανση

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης έχουν ως στόχο τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση με συμβατικές πηγές ενέργειας, μέσω της παραγωγής θερμικής ενέργειας από το ίδιο το κέλυφος του κτιρίου. Για αυτό το λόγο μπορούν να αποδώσουν μόνο αν τοποθετούνται σε μη σκιαζόμενες τη χειμερινή περίοδο νότιες επιφάνειες (με απόκλιση έως  $\pm 30^\circ$ ), όπως αναφέρεται και στο σχετικό άρθρο του Κ.Εν.Α.Κ. (2017)(Άρθρο 11, παράγραφος 2.6).

Τόσο στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική, όσο και στη σύγχρονη, βιοκλιματική αρχιτεκτονική, η βασική αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου: η συλλογή δηλαδή της ηλιακής ενέργειας μέσω διαφανών, νότια προσανατολισμένων επιφανειών, που είναι διαπερατές στη μικρού μήκους (ηλιακή) ακτινοβολία, αλλά αδιαπέρατες από τη μεγάλου μήκους (θερμική) ακτινοβολία. Η θερμότητα που εγκλωβίζεται στο παθητικό σύστημα, είτε αποθηκεύεται απ' ευθείας σε αυτό είτε σε άλλα δομικά στοιχεία, θερμαίνοντας τα στοιχεία του κτιρίου καθώς και τους χώρους του. Ακολουθώντας αυτή την αρχή, μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν μια πληθώρα από συστήματα, όπως τα απλά νότια ανοίγματα (άμεσο κέρδος), τα θερμοκήπια, οι τοίχοι μάζας, οι τοίχοι νερού, οι τοίχοι Trombe, οι αδιαφανείς τοίχοι με διαφανή θερμομόνωση (έμμεσου κέρδους), το θερμοσιφωνικό πανέλο (απομονωμένου κέρδους) και με την πρόοδο της τεχνολογίας των δομικών υλικών να ξεπηδήσουν και νέα συστήματα.

Η απόδοση ενός παθητικού συστήματος εξαρτάται από τη γεωμετρία και τα υλικά του, τη σχέση του με το εξωτερικό και το εσωτερικό περιβάλλον καθώς και από τη θερμοχωρητικότητα των δομικών υλικών είτε στο χώρο που βρίσκεται το παθητικό σύστημα είτε στο ίδιο το σύστημα.

Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης αναλύονται εκτενώς στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία. Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται πληροφορίες και κατευθύνσεις σχεδιασμού σε σχέση με την απόδοσή τους, βάσει των σημερινών τεχνολογιών και τάσεων στα δομικά υλικά για τα κλιματικά δεδομένα του Ελλαδικού χώρου.

#### 3.1. Τεχνικές παθητικής θέρμανσης

Οι τεχνικές για την παθητική θέρμανση των κτιρίων βασίζονται:

- στη συλλογή ηλιακών κερδών για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων,
- την αποθήκευση της συλλεχθείσας ενέργειας σε δομικά υλικά με ικανή θερμοχωρητικότητα και
- την προστασία από απώλειες θερμότητας μέσω του θερμικά θωρακισμένου κελύφους.

Τα υλικά συλλογής των ηλιακών κερδών είναι διαφανή υλικά (υαλοπίνακες, σκληρά πλαστικά -ακριλικά, πολυεστερικά, πολυκαρβονικά και διαφανής θερμομόνωση). Τον πιο σημαντικό ρόλο στην απόδοσή τους παίζει συντελεστής ηλιακών κερδών ( $g$ ) του διαφανούς τμήματος, όσο πιο μεγάλος είναι, τόσο μεγαλύτερη απόδοση έχουν ενώ σημαντικό ρόλο παίζει επίσης το ποσοστό του πλαισίου, αν έχουν πλαίσιο, καθώς όσο μεγαλώνει, μειώνει σημαντικά την ενεργή συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος με αντίστοιχη μείωση του συντελεστή ηλιακών κερδών του δομικού στοιχείου ( $g_w$ ). Τέλος, η θερμομονωτική ικανότητα του συστήματος ( $U$ ) είναι αρκετά σημαντική ως προς τα καθαρά κέρδη που μπορεί να συλλέξει μια επιφάνεια, όχι όμως εξίσου σημαντική με την ικανότητά τους να λαμβάνουν ηλιακά κέρδη ( $g$ ).

Σημαντικό ρόλο στη συλλογή των ηλιακών κερδών παίζει επίσης η απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία ( $\alpha$ ) της αδιαφανούς επιφάνειας (βλ. ΤΟΤΕΕ 20701-1:2022, Πίνακας 3-3), στην οποία



προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία: όσο πιο μεγάλη είναι, τόσο πιο αποδοτικό είναι το σύστημα. Για αυτό, οι επιφάνειες είτε των παθητικών συστημάτων είτε του εσωτερικού του κτιρίου όπου προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να είναι όσο πιο σκουρόχρωμες γίνεται: μαύρες ή σκούρων αποχρώσεων όλου του φάσματος των χρωμάτων, ώστε να αυξάνει η απόδοση του συστήματος ως προς τη συλλογή των ηλιακών κερδών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμότητας είναι υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Συνήθως είναι οικοδομικά υλικά του κελύφους, των εσωτερικών τοιχοποιιών καθώς και του φέροντα οργανισμού. Το υλικό με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα στη φύση είναι το νερό, ενώ συνήθη δομικά στοιχεία με μεγάλη θερμοχωρητικότητα είναι η πέτρα, το σκυρόδεμα, ο πηλός, οι οπτόπλινθοι. Υλικά χαμηλής θερμοχωρητικότητας είναι το ξύλο, η γυψοσανίδα και τα θερμομονωτικά υλικά. Καθώς η θερμοχωρητικότητα της θερμομόνωσης είναι αμελητέα, όταν τοποθετείται εσωτερικά, οποιοδήποτε δομικό στοιχείο παύει να λειτουργεί ως στοιχείο αποθήκευσης της θερμότητας. (βλέπε [ενότητα 2.3.2](#))

Τέλος, τα ηλιακά κέρδη που συλλέγει το όποιο παθητικό σύστημα, δεν μπορούν να αξιοποιηθούν επαρκώς στο κτίριο, εάν δεν έχει ικανή θερμομονωτική επάρκεια. Η αυξημένη θερμομονωτική επάρκεια ενός κτιρίου είναι πλέον απαίτηση από το 2010 και τη θέσπιση του Κ.Εν.Α.Κ. Σημαντικό είναι κατά την κατασκευή να μειώνονται τόσο οι θερμογέφυρες όσο και η αεροπερατότητα, ώστε και στην πράξη το κτίριο να είναι θερμικώς θωρακισμένο, επομένως τα παθητικά συστήματα που τοποθετούνται να αποδίδουν στο μέγιστο.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο για την επιτυχία τους είναι κατά πόσο απαιτούν την ενεργή συμμετοχή του χρήστη για τη λειτουργία τους. Η μη σωστή χρήση παθητικών συστημάτων κατά τη λειτουργία τους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της απόδοσής τους (Paradopoulos, Chrysomallidou, & Paradopoulos, 1992) και σε απαξίωσή τους. Είναι σημαντικό να επιλέγονται είτε συστήματα απλά στη χρήση είτε, σε περίπτωση που απαιτούν την ενεργό συμμετοχή του χρήστη, να συνδυάζονται με αυτοματισμούς, ώστε να μην αστοχούν (Αλεξανδρή 2009). Στον πίνακα που ακολουθεί ([Πίνακας 3-1](#)) δίνονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε παθητικού συστήματος θέρμανσης, ως προς τη λειτουργικότητά του.

Πίνακας 3-1 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των διαφόρων τεχνικών παθητικής θέρμανσης

Μέθοδοι παθητικής θέρμανσης	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ηλιακά κέρδη	Νότια ανοίγματα	Εύκολα στη χρήση / Δεν απαιτεί ενεργή συμμετοχή του χρήστη. Χρησιμοποιούνται και για φυσικό φωτισμό. Σύνηθες δομικό στοιχείο. Μπορούν να αποτελέσουν ενδιαφέροντα στοιχεία στην αρχιτεκτονική σύνθεση. Η νυχτερινή θερμομόνωση με τη χρήση παντζουριών μπορεί να γίνει εύκολα από τους χρήστες.	Χρειάζεται ηλιοπροστασία τη θερινή περίοδο Μεγάλες επιφάνειες μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση. Πρέπει να συνδυάζονται με χώρους με θερμοχωρητικότητα.
	Ηλιακός χώρος	Ενδιαφέρον αρχιτεκτονικό στοιχείο. Δημιουργία ενδιάμεσου χώρου διαμονής, που μπορεί να είναι πολύ ευχάριστος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για σιτιστική επάρκεια.	Χρειάζεται ηλιοπροστασία και αερισμό τη θερινή περίοδο. Χρειάζεται προσεκτική διαστασιολόγηση για να αποδώσει.
	Τοίχος μάζας	Δεν χρειάζεται ο χώρος όπου τοποθετείται να έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα.	Χρειάζεται ηλιοπροστασία και αερισμό τη θερινή περίοδο. Χρειάζεται κινητή θερμομόνωση τη χειμερινή περίοδο. Απαιτεί τη συμμετοχή του χρήστη. Χρειάζεται καλό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό για να εναρμονίζεται με το υπόλοιπο κέλυφος.
	Τοίχος Trombe	Δεν χρειάζεται ο χώρος όπου τοποθετείται να έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Πιο αποδοτικός από τον τοίχο μάζας.	Χρειάζεται ηλιοπροστασία και αερισμό τη θερινή περίοδο. Χρειάζεται κινητή θερμομόνωση τη χειμερινή περίοδο και τη μετακίνηση των θυρίδων του. Απαιτεί ενεργή συμμετοχή του χρήστη. Χρειάζεται καλό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό για να εναρμονίζεται με το υπόλοιπο κέλυφος. Εκφυλίζεται εύκολα σε τοίχο μάζας.
	Τοιχοποιία με διαφανή θερμομόνωση	Δεν χρειάζεται ο χώρος όπου τοποθετείται να έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Ενδιαφέρον αρχιτεκτονικό στοιχείο. Δεν απαιτεί ενεργή συμμετοχή του χρήστη.	Χρειάζεται ηλιοπροστασία τη θερινή περίοδο. Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός για να εναρμονιστεί με το υπόλοιπο κέλυφος.
	Ηλιακός συλλέκτης θέρμανσης αέρα	Αποσπώμενο στοιχείο. Μπορεί να τοποθετείται ανεξαρτήτως προσανατολισμού του κτιρίου.	Χρειάζεται αποκοπή και αποθήκευση τη θερινή περίοδο. Απαιτεί τη συμμετοχή του χρήστη.

Μέθοδοι παθητικής θέρμανσης	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
	(Αεροσυλλέκτης)	Με τη χρήση ανεμιστήρων και αγωγών, μπορεί να τοποθετηθεί και στα δώματα. Ικανοποιητική απόδοση σε χώρους διακοπτόμενης λειτουργίας.	Χρειάζεται καλό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό για να εναρμονίζεται με το υπόλοιπο κέλυφος.
Προστασία από απώλειες	Περιορισμός απωλειών από το κέλυφος	Ήδη προαπαιτούμενο στον Κ.Εν.Α.Κ. Μειώνει την ενεργειακή ζήτηση για θέρμανση και ψύξη. Βελτιώνει τις συνθήκες θερμικής άνεσης.	Αύξηση κόστους κατασκευής. Αναλόγως με το θερμομονωτικό υλικό και τον τύπο ανοιγμάτων που επιλέγονται και το πώς τοποθετείται, εξαρτάται το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ο χρόνος ζωής και η απόδοσή του συστήματος. Αναλόγως με το υλικό, μπορεί να παρατηρηθεί υγροποίηση στο εσωτερικό, σε ακραίες καιρικές συνθήκες, αν δεν υπάρχει καλός αερισμός.
	Κινητά προστατευτικά στοιχεία ανοιγμάτων	Εύκολα στη χρήση (υπάρχουν ήδη στην Ελληνική αρχιτεκτονική και χρησιμοποιούνται από τους χρήστες)	Κόστος συντήρησης / επισκευής.

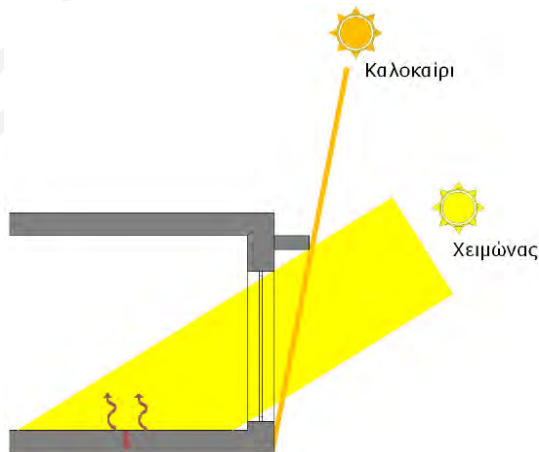
### 3.2. Σύστημα άμεσου κέρδους

#### 3.2.1. Νότια ανοίγματα

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση των κτηρίων είναι μέσω των νότια προσανατολισμένων διαφανών ανοιγμάτων του κτιρίου (με απόκλιση έως  $\pm 30^\circ$ ), με μικρή έως ανύπαρκτη συμμετοχή του χρήστη. Στην περίπτωση αυτή, τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία λειτουργούν ως αποθήκες και διανομείς της θερμότητας.

Η συλλογή ηλιακών κερδών από το σύστημα άμεσου κέρδους ακολουθεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου: η μικρού μήκους κύματος (ηλιακή) ακτινοβολία διαπερνά τη διαφανή επιφάνεια του ανοιγματος. Προσπίπτει σε δομικές επιφάνειες, όπου αποθηκεύεται ως θερμότητα. Οι δομικές επιφάνειες που θερμαίνονται, θερμαίνουν με τη σειρά τους, μέσω συναγωγής, τον εσωτερικό αέρα (Εικόνα 3-1). Παράλληλα, η αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών συνεισφέρει στη θερμική άνεση των χρηστών στους εσωτερικούς χώρους τον χειμώνα. Αν οι επιφάνειες στις οποίες προσπίπτει άμεσα η ηλιακή ακτινοβολία είναι σκουρόχρωμες (έχουν δηλαδή μεγάλη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία), αυξάνεται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως αυξάνεται και η απόδοση του συστήματος παθητικής θέρμανσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι επιφάνειες άμεσης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τα δάπεδα, όμως είναι δυνατόν και κάποιες τοιχοποιίες να δέχονται άμεση ηλιακή ακτινοβολία τον χειμώνα. Καθώς ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει έπιπλα, χαλιά κ.α. στα δάπεδα καλό είναι να αποφεύγουμε να τα θεωρούμε συλλεκτικές επιφάνειες. Σε περίπτωση που κάποια τοιχοποιία του χώρου δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία τη χειμερινή περίοδο (κάτι που μπορούμε να ελέγξουμε εύκολα, βάσει της μεθοδολογίας που προτείνεται στην ενότητα 4.2.2), καλό είναι να ενισχύουμε την απορροφητικότητά της στην ηλιακή ακτινοβολία, με σκουρόχρωμες αποχρώσεις.

Καθώς στην περίπτωση συστημάτων άμεσου κέρδους, η αποθήκευση της θερμότητας γίνεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, κι όχι στο ίδιο το σύστημα, είναι σημαντικό να επιλέγονται δομικά στοιχεία με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, προς αξιοποίηση των ηλιακών απολαβών κατά τις νυχτερινές ώρες όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Τα δομικά στοιχεία που χρησιμεύουν για την αποθήκευση της θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία μπορούν να αντικατασταθούν με υλικά αλλαγής φάσης, για μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης και έκλυσης της θερμότητας. Σύμφωνα με μελέτη που έγινε στο Winsconsin εκτιμήθηκε ότι η χρήση υλικών αλλαγής φάσης οδήγησε σε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 15% (Peirro, Kauranen, & Lund, 1991).



Εικόνα 3-1. Αρχή λειτουργίας συστήματος άμεσου κέρδους

Πέραν των χαρακτηριστικών των ανοιγμάτων ως προς την απόδοσή τους (βλ. [ενότητα 2.2 / 2.4.2](#)), είναι σημαντικό να τοποθετείται και κινητή, νυχτερινή θερμομόνωση σε αυτά (π.χ. θερμομονωτικά εξώφυλλα - παντζούρια<sup>3</sup>, βαριές, εσωτερικές κουρτίνες κ.α.), ώστε να αποφεύγονται τόσο οι νυχτερινές θερμικές απώλειες από αυτά, όσο και η επιδείνωση της αίσθησης θερμικής άνεσης καθώς και η υγραποίηση στην επιφάνειά τους, λόγω των χαμηλών επιφανειακών τους θερμοκρασιών, όταν δεν λαμβάνουν ηλιακά κέρδη. Η επιδείνωση της αίσθησης θερμικής άνεσης μπορεί να προκαλέσει σπατάλη ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που η επιφάνεια του άμεσου κέρδους είναι αρκετά μεγάλη: ο χρήστης μπορεί να ανεβάσει το θερμοστάτη, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται περισσότερο ο αέρας του κτιρίου, σπαταλώντας ενέργεια, χωρίς όμως να βελτιώνεται η αίσθηση θερμικής άνεσης, καθώς η επιφανειακή θερμοκρασία της διαφανούς επιφάνειας δεν βελτιώνεται.

Εκτός αυτού, πρέπει να είναι εφοδιασμένα με επαρκές ηλιοπροστατευτικό σύστημα για την αποφυγή της υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο. Κατάλληλα διαστασιολογημένοι οριζόντιοι πρόβολοι σκιάζουν επαρκώς τις νότιες επιφάνειες (βλ. [ενότητα 4.2](#)), ενώ ο εξοπλισμός των νότιων όψεων με κινητά σκίαστρα (π.χ. τέντες ή ακόμα και με παντζούρια, ιδιαίτερα με περιστρεφόμενες περσίδες, που επιτρέπουν τη διείσδυση του φωτός, αλλά αποτρέπουν εκείνη της ηλιακής ακτινοβολίας) είναι επίσης αποδοτικός.

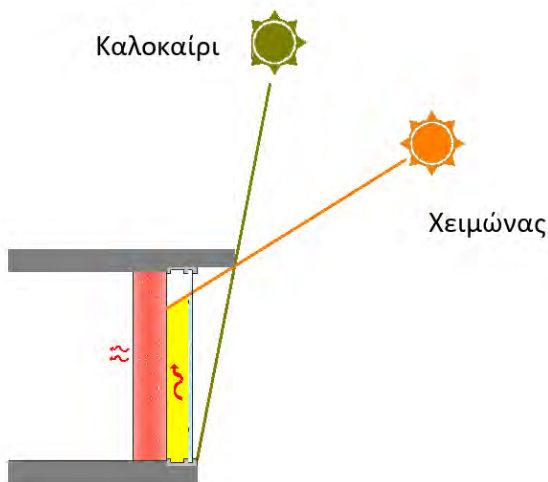
<sup>3</sup>Τα παντζούρια είναι αποδεκτά από τον τυπικό χρήστη των κτιρίων του Ελλαδικού χώρου: στις περισσότερες περιπτώσεις, στις κατοικίες, οι χρήστες τα κλείνουν σε καθημερινή βάση τη νυχτερινή περίοδο, τόσο για θερμική προστασία όσο και για ασφάλεια. Η χρήση τους λοιπόν σε καθημερινή βάση για τη θερμική προστασία των ανοιγμάτων είναι δεδομένη.

### 3.3. Συστήματα έμμεσου κέρδους

#### 3.3.1. Τοίχος θερμικής μάζας

Οι τοίχοι μάζας είναι νότια προσανατολισμένοι τοίχοι, που χαρακτηρίζονται από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας, με προσαρμοσμένη μπροστά από το αδιαφανές τους τμήμα, μια διαφανή επιφάνεια σε απόσταση περίπου 10-15cm από τον αδιαφανή τοίχο. Η μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τη διαφανή επιφάνεια, εγκλωβίζεται ως μεγάλου μήκους κύματος (θερμική) ακτινοβολία στο διάκενο μεταξύ αδιαφανούς και διαφανούς επιφάνειας, θερμαίνοντας έτσι τη μάζα του αδιαφανούς στοιχείου του τοίχου μάζας, όπου αποθηκεύεται και αποδίδεται στο εσωτερικό του κτιρίου με συναγωγή και ακτινοβολία (Εικόνα 3-2). Η εξωτερική επιφάνεια του αδιαφανούς μέρους του στοιχείου πρέπει να έχει μεγάλη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (να είναι σκουρόχρωμη), προκειμένου να αποδίδει το σύστημα.

Για την καλή απόδοση του στοιχείου, το βάθος του θερμαινόμενου χώρου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6,0 m, ώστε να είναι αποτελεσματική η θέρμανση του χώρου με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον θερμό τοίχο.



Εικόνα 3-2. Αρχή λειτουργίας τοίχου μάζας

Η απόδοση των θερμικών του κερδών στο κτίριο εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του δομικού υλικού του τοίχου: όσο πιο μεγάλη είναι, τόσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος υστέρησης. Έτσι, πολύ συχνά συνδυάζεται με άμεσο κέρδος, που αποδίδει άμεσα τα θερμικά κέρδη την περίοδο της ηλιοφάνειας, ενώ ο τοίχος μάζας τα αποδίδει με μια χρονική υστέρηση, που μπορεί να φτάσει και τη νυχτερινή περίοδο (DeKay & Brown, 2014). Ανάλογα με τη χρονική υστέρηση που θέλει κανείς να δημιουργηθεί, επιλέγεται το πάχος του τοίχου μάζας: σε κτίριο τριτογενούς τομέα έχει κατασκευαστεί από μικρού πάχους οπτοπλινθοδομή (δρομικό τοίχο), ώστε να αποδίδονται τα θερμικά κέρδη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κτιρίου (Lechner, 2014).

Όπως προαναφέρθηκε, το νερό είναι το στοιχείο με τη μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα στη φύση. Προς βελτίωση του συστήματος, το αδιαφανές μέρος του τοίχου μάζας μπορεί να αντικατασταθεί με σκουρόχρωμα δοχεία νερού (γνωστοί ως «τοίχοι νερού» και ως «πάγκοι νερού», σε περιπτώσεις που δεν καταλαμβάνουν το ύψος ολόκληρου του τοίχου). Τα δοχεία αυτά μπορούν να απομακρύνονται τη θερινή περίοδο, με αποτέλεσμα ο τοίχος μάζας να λειτουργεί ως απλά άμεσο κέρδος, με πολύ μικρότερες πιθανότητες υπερθέρμανσης, ιδιαίτερα όταν το διαφανές στοιχείο είναι ανοιγόμενο και μπορεί να συμβάλει σε διαμπερή, νυχτερινό αερισμό.

Καθώς πρόκειται για ένα αμόνωτο τοίχο, ιδιαίτερα στα ψυχρά κλίματα, οι απώλειές του υπερβαίνουν συχνά τα ηλιακά του κέρδη, με αποτέλεσμα τα καθαρά του κέρδη να είναι αρνητικά τη χειμερινή περίοδο. Για αυτό το λόγο, μπορεί τελικά να λειτουργεί αρνητικά στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου (Schreck, Hillmann, & Nagel, 1989). Η νυχτερινή, κινητή θερμομόνωση είναι απαραίτητη, ιδιαίτερα στις ψυχρότερες περιοχές, με τον κίνδυνο όμως να την απορρίπτει ο χρήστης, ακόμα κι αν πρόκειται για απλό, θερμομονωτικό παντζούρι. Καθώς δεν πρόκειται για άνοιγμα, ο χρήστης μπορεί να αμελεί την ορθή διαχείρισή του. Για αυτό το λόγο η χρήση αυτοματισμών κρίνεται σημαντική για τη λειτουργία του συστήματος. Επίσης για να βελτιωθεί η απόδοσή του, ο τοίχος πρέπει να θερμομονωθεί στην επαφή του με όλα τα δομικά στοιχεία με τα οποία εφάπτεται, για να περιοριστούν οι θερμογέφυρες.

Την περίοδο ψύξης, το σύστημα θα πρέπει να αδρανοποιείται: πρέπει να σκιάζεται εξωτερικά (όχι μόνο με οριζόντιο πρόβολο, αλλά και με κατακόρυφο στοιχείο, για αποφυγή και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας). Επίσης θα πρέπει να ανοίγουν τμήματα του υαλοστασίου (ανοιγόμενοι φεγγίτες στο επάνω και κάτω τμήμα του υαλοστασίου) για να επιτρέπεται η διαφυγή του θερμού αέρα στο διάκενο προς το εξωτερικό περιβάλλον, προς αποφυγή της υπερθέρμανσης τόσο του συστήματος όσο και του παρακείμενου χώρου του.

### 3.3.2. Τοίχος Trombe

Ο τοίχος Trombe είναι μια εξέλιξη του τοίχου μάζας. Η διαφοροποίησή του έγκειται στην τοποθέτηση θυρίδων στο κάτω και στο πάνω μέρος του, η οποία αυξάνει την απόδοσή του. Ο ψυχρός αέρας από το εσωτερικό του κτιρίου εισέρχεται από τις κάτω θυρίδες στο διάκενο, όπου θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και εισέρχεται εκ νέου θερμότερος από τις άνω θυρίδες στο εσωτερικό του κτιρίου, με αποτέλεσμα να θερμαίνει τους εσωτερικούς χώρους τις χειμερινές μέρες με ηλιοφάνεια. Με αυτό τον τρόπο, εκτός από συναγωγή και ακτινοβολία, ο τοίχος Trombe θερμαίνει και με την άμεση διείσδυση θερμού αέρα στο χώρο (Εικόνα 3-3). Εμπνευστής του είναι ο E.S. Morse, το 1881 (Xudong & Xiaoli, 2019). Έγινε όμως γνωστός από τους F. Trombe και J. Michel το 1966 (Lechner, 2014). Τόσο η εμπνευσή του, όσο και η εφαρμογή του έγινε σε περιόδους που η τεχνολογία των θερμομονωτικών υλικών και των υαλοπινάκων ήταν περιορισμένη ήταν ένα πολύ πιο αποδοτικό σύστημα για θέρμανση από το κτιριακό κέλυφος σε σχέση με έναν αμόνωτο τοίχο από οποιοδήποτε υλικό.

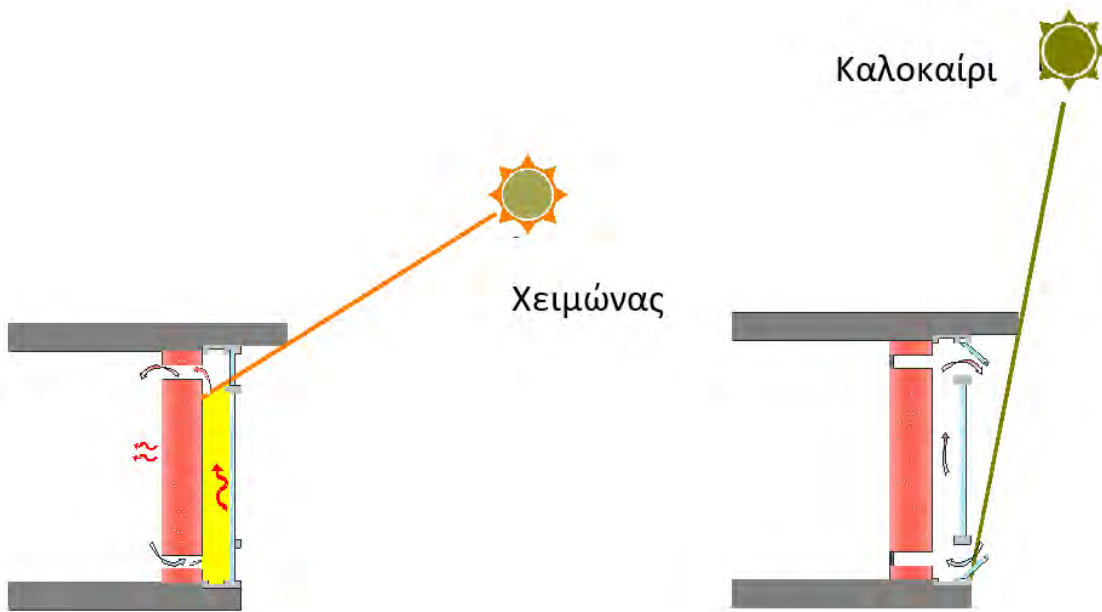
Οι θυρίδες τοποθετούνται κατά μήκος όλου του τοίχου και όσο το δυνατόν πιο κοντά στην οροφή και στο δάπεδο. Η απόσταση μεταξύ των επάνω και κάτω θυρίδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2,0 m και η συνολική επιφάνεια των θυρίδων να μην υπολείπεται του 2% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου. Οι θυρίδες του τοίχου Trombe πρέπει να ανοίγουν κατά τη διάρκεια της μέρας, για να υποδέχεται το κτίριο τα ηλιακά κέρδη και να κλείνουν κατά τη διάρκεια της νύχτας, προς αποφυγή απωλειών από το κτίριο προς το σύστημα. Αν γίνεται χειροκίνητα, απαιτεί την ενεργή συμμετοχή του χρήστη, κάτι που μπορεί να τον εκφυλίζει τελικά σε τοίχο μάζας και από τους πιο ενθουσιώδεις χρήστες (Alexandri, 2007). Για τη μέγιστη απόδοσή του, είναι καλό η λειτουργία αυτή να συνδυάζεται με αυτοματισμούς είτε με χρονομετρητή είτε με θερμική ή οπτική διέγερση (όταν μειωθεί η εξωτερική θερμοκρασία ή το επίπεδο φωτισμού). Τα τελευταία χρόνια, έχουν κατασκευαστεί και παραλλαγές του τοίχου Trombe, με ενδιαφέρον αισθητικό αποτέλεσμα<sup>4</sup>.

Είναι σημαντικό επίσης, τη θερινή περίοδο, να σκιάζεται τόσο από την άμεση όσο κι από τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να μην υπερθερμαίνεται. Οι θυρίδες του πρέπει επίσης να κλείνουν την

<sup>4</sup> Βλ. για παράδειγμα το Nature & Environment Learning Centre, Bureau SLA, κτίριο του 2015 στο Amsterdam (εικόνες και περισσότερες πληροφορίες: <https://www.archdaily.com/778961/nature-and-environment-learning-centre-bureau-sla> )

περίοδο αυτή. Παράλληλα, τα υαλοστάσιά του πρέπει να είναι εξοπλισμένα με ανοιγόμενους φεγγίτες στο πάνω και το κάτω μέρος, που να μένουν ανοιχτοί το καλοκαίρι, ώστε να απάγεται η θερμότητα από την εξωτερική του επιφάνεια, αδρανοποιώντας τη λειτουργία του θερμοκηπίου στο διάκενο (Εικόνα 3-3).

Παραλλαγές του τοίχου Trombe, με τοποθέτηση θερμομόνωσης εξωτερικά του αδιαφανούς στοιχείου και μεταλλική, σκούρα επικάλυψή του, έχουν βελτιώσει κατά 56% την απόδοσή του σε ψυχρά κλίματα (Sadineni, Madala, & Boehm, 2011), αναιρώντας όμως την άμεση θερμοχωρητικότητα του στοιχείου (μεταθέτοντάς την εξολοκλήρου στο κτιριακό κέλυφος) και τη μετάδοση θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Παράλληλα, με αυτό τον τρόπο, αποφεύγεται και η υπερθέρμανση του συστήματος και του κτιρίου τη θερινή περίοδο, με το κλείσιμο των θυρίδων και την εξωτερική του σκίαση.



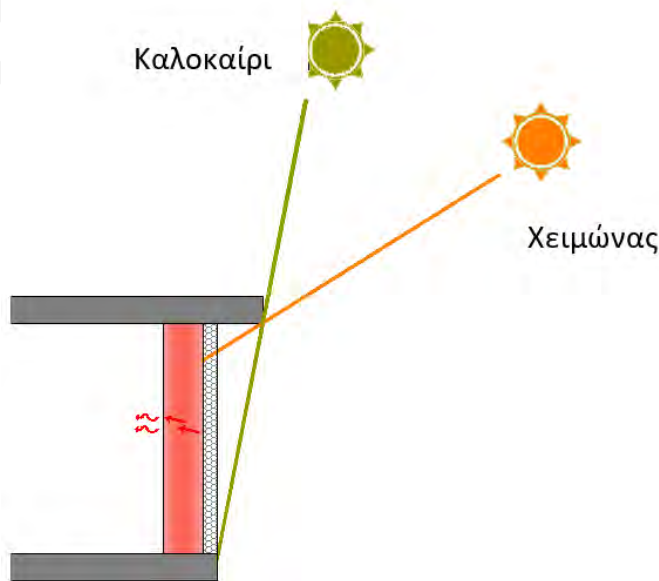
Εικόνα 3-3. Χειμερινή και θερινή αρχή λειτουργίας τοίχου Trombe



Εικόνα 3-4. Εξωτερική όψη τοίχου Trombe, με τρεις άνω και κάτω θυρίδες κλειστές και αποσπώμενους υαλοπίνακες για αποφυγή υπερθέρμανσης τη θερινή περίοδο (Alexandri, 2007).

### 3.3.3. Αδιαφανής τοιχοποιία με διαφανή θερμομόνωση

Πρόκειται για τοίχο νότιου προσανατολισμού, με απόκλιση έως  $\pm 30^\circ$ , με υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας (συνήθως σπτόπλινθοι, ή σκυρόδεμα), εξωτερικά του οποίου τοποθετείται διαφανής θερμομόνωση χωρίς επίχρισμα (Εικόνα 3-5). Η εξωτερική παρειά του τοίχου βάφεται με σκούρο χρώμα. Ουσιαστικά πρόκειται για τοίχο μάζας, ο οποίος όμως θερμομονώνεται. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται μεν ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς θερμομονωτικού υλικού (μικρότερος σε σχέση με εκείνον του υαλοπίνακα), αλλά καθώς ο τοίχος είναι πλέον θερμομονωμένος, αυξάνουν τα καθαρά κέρδη, σε σχέση με τον τοίχο μάζας.



Εικόνα 3-5. Αρχή λειτουργίας αδιαφανούς τοιχοποιίας με διαφανή θερμομόνωση.

Η διαφανής θερμομόνωση (TIM – Transparent Insulation Material) είναι ημιδιαφανές θερμομονωτικό υλικό, συνήθως κυψελωτής δομής, κυρίως πολυκαρβονικής, εστερικής προέλευσης ή αερογέλες, στις κυψέλες του οποίου βρίσκεται εγκλωβισμένος αέρας. Λόγω της δομής του επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία και το φυσικό φως να εισέλθει στο εσωτερικό του χώρου, παράλληλα όμως μειώνει τις θερμικές απώλειες. Οι θερμικές και οπτικές του ιδιότητες εξαρτώνται από την ομοιομορφία και την ποιότητα των κυψελών (Wong & Eames, 2015). Αναλόγως με τη δομή του θερμομονωτικού, την τοποθέτηση των κυψελών σε σχέση με τη διατομή του τοίχου, η πυκνότητά τους ποικίλει από  $20 \text{ kg/m}^3$  έως  $150 \text{ kg/m}^3$  (Sun, Wilson, & Wu, 2018), ενώ η διαπερατότητα της διαφανούς θερμομόνωσης στο ορατό φως κυμαίνεται από 0,73 έως 0,82 (Platzer & Goetzberger, 1996) (Kerschberger & Binder, 2006). Οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας κυμαίνονται από  $0,055 \text{ W/mK}$  έως  $0,070 \text{ W/mK}$  (Sun, Wilson, & Wu, 2018). Η εξέλιξη της τεχνολογίας των αεροτζέλ, με το χαμηλό συντελεστή αγωγιμότητας που τα χαρακτηρίζει ( $0,005 \sim 0,020 \text{ W/mK}$ ), έχει στρέψει την έρευνα της τεχνολογίας των TIM προς αυτά (ibid).

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται ηλιακά κέρδη, μικρότερα σε σχέση με τα ηλιακά κέρδη καθαρού τζαμιού, με πολύ μικρότερες όμως θερμικές απώλειες. Παράλληλα δημιουργούνται ενδιαφέροντα κελυφη, ανάλογα με τη χρήση του υλικού<sup>5</sup>.

Η τοιχοποιία με διαφανή θερμομόνωση έχει μεγάλη απόδοση που εξαρτάται από τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά της (συντελεστής θερμοπερατότητας, συντελεστής ηλιακών κερδών), ενώ δεν απαιτεί αυτοματισμούς ή τη συμμετοχή του χρήστη για την ορθή θερμική λειτουργία του συστήματος.

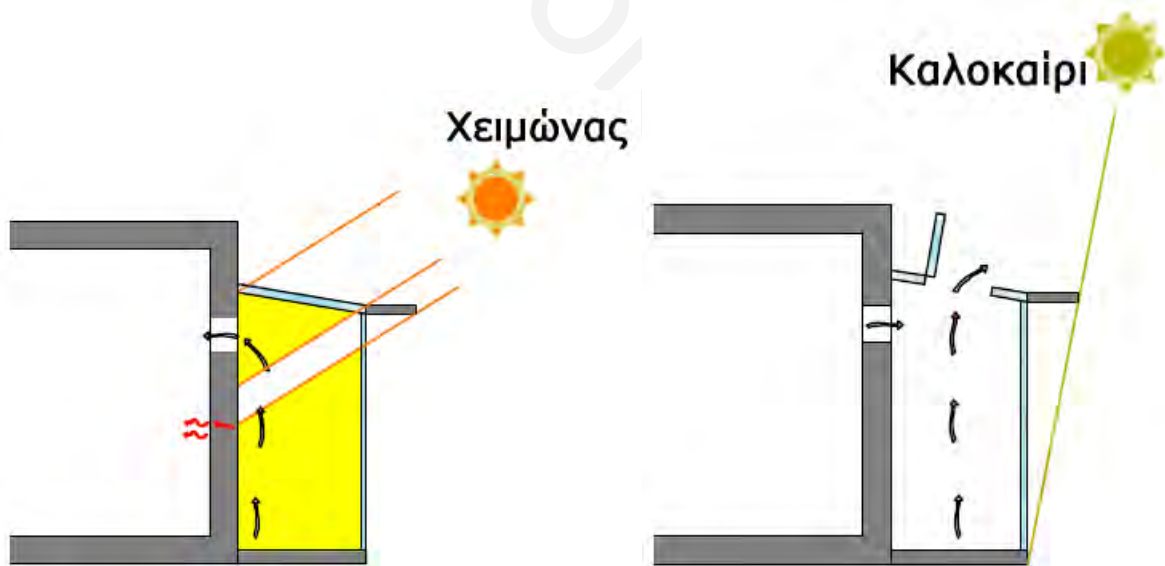
<sup>5</sup> Βλ. για παράδειγμα <https://www.burohappold.com/projects/advanced-manufacturing-research-centre-amrc/>



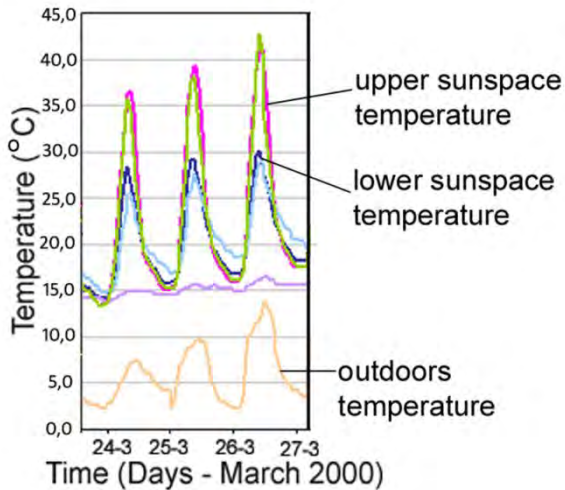
Τη θερινή περίοδο πρέπει οπωσδήποτε να σκιάζεται εξωτερικά, τόσο από την άμεση όσο κι από τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, προκειμένου να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που δεν έχει διαδοθεί τόσο ως παθητικό σύστημα θέρμανσης όσο τα προαναφερθέντα: η τεχνολογία της ωρίμασε σε μια περίοδο, όπου η ζήτηση για ψύξη αυξανόταν. Έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές για την προστασία τη θερινή περίοδο, όπως μηχανοκίνητη εξωτερική σκίαση, εξαναγκασμένος αερισμός και η προσθήκη φασματικών επιλεκτικών ή θερμοτροπικών στρωμάτων (Sun, Wilson, & Wu, 2018). Ως προς τη χειμερινή της λειτουργία, δεν χρειάζεται νυχτερινή θερμική προστασία, κάτι που της δίνει πλεονέκτημα ως προς την απλότητα της χρήσης σε σχέση με τα προαναφερθέντα αδιαφανή παθητικά συστήματα θέρμανσης.

### 3.3.4. Ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο ή αλλιώς ηλιακός χώρος (ή στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική "λιακωτό") είναι ένας μη θερμαινόμενος χώρος, σε επαφή με το κτίριο, με διαφανή νότια επιφάνεια ( $\pm 30^\circ$ ), κατακόρυφα ή με κλίση (η βέλτιστη κλίση του είναι μεταξύ  $\phi$  και  $\phi+15^\circ$ , όπου  $\phi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου), ώστε να έχει κάθετη πρόσπτωση σε αυτή η χειμερινή ηλιακή ακτινοβολία, για τη βελτιστοποίηση της συλλογής ηλιακών κερδών (Εικόνα 3-6). Χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες τις ηλιόλουστες μέρες και έντονη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση: ο θερμός αέρας, όντας πιο ελαφρύς, ανέρχεται στο άνω μέρος του χώρου (Εικόνα 3-7). Χάρη σε αυτό το φαινόμενο, αν τοποθετηθούν φεγγίτες ή αεραγωγοί στο άνω μέρος του θερμοκηπίου μπορούν να οδηγούν το θερμό αέρα απ' ευθείας στο εσωτερικό του κτιρίου, αυξάνοντας την απόδοση του θερμοκηπίου και μειώνοντας αισθητά τη θερμική ζήτηση του κτιρίου. Αν οι αεραγωγοί εξοπλισθούν και με ανεμιστήρες, τότε ο θερμός αέρας μπορεί να μεταφερθεί και σε χώρους που δεν εφάπτονται με το θερμοκήπιο. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν και στην ενότητα 3.1, η λειτουργία αυτή είναι καλό να συνδυάζεται με αυτοματισμούς.



Εικόνα 3-6. Αρχή λειτουργίας θερμοκηπίου, τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο



Εικόνα 3-7. Θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση σε θερμοκήπιο στη Χίο (Alexandri, 2007).

Το στοιχείο (ή τα στοιχεία, ανάλογα με τη γεωμετρική του σχέση με το υπόλοιπο κτίριο) που διαχωρίζει τον ηλιακό χώρο είναι συνήθως ένας τοίχος μεγάλης θερμοχωρητικότητας, στον οποίο αποθηκεύεται η θερμότητα που παράγεται στο θερμοκήπιο και διαχέεται από εκεί στη θερμαινόμενη ζώνη. Συχνά ο τοίχος αυτός είναι αμόνωντος, παρουσιάζοντας όμως σημαντικές απώλειες θερμότητας τις νυχτερινές ώρες και θερμομονωτική ανεπάρκεια την περίοδο ψύξης. Για τα κλιματικά χαρακτηριστικά του ελλαδικού χώρου, είναι καλό αυτός ο τοίχος είτε να είναι θερμομονωμένος είτε να εξοπλίζεται με κινητή θερμομόνωση για τη νύχτα και το καλοκαίρι.

Το διαχωριστικό στοιχείο ή μέρος του μπορεί να είναι επίσης και υάλινη επιφάνεια. Σε αυτή την περίπτωση η επιφάνεια αυτή λειτουργεί ως σύστημα άμεσου κέρδους: η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να διέρχεται άμεσα στη θερμαινόμενη ζώνη, συμβάλλοντας επίσης και στο φυσικό φωτισμό.

Το θερμοκήπιο λειτουργεί επίσης και ως χώρος ανάσχεσης μεταξύ του κτιρίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, βελτιώνοντας τη θερμική θωράκιση της θερμαινόμενης ζώνης.

Οι επιφάνειες του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό περιβάλλον πρέπει να είναι πολύ καλά θερμομονωμένες, προς βελτίωση της απόδοσής του. Σε περίπτωση που είναι διαφανείς και οι υπόλοιπες εξωτερικές επιφάνειες του θερμοκηπίου, θα πρέπει ο υαλοπίνακάς τους να έχει πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, ώστε να περιορίζονται οι απώλειες από αυτές και να αυξάνεται η απόδοση του συστήματος.

Θερμοκήπιο μπορεί να θεωρηθεί και το αίθριο ενός κτιρίου, ιδιαίτερα όταν σκεπάζεται με διαφανή επιφάνεια, χωρίς όμως να επιτυγχάνει την απόδοση ενός νότια προσανατολισμένου θερμοκηπίου, αλλά με τα ευεργετικά οφέλη του αερισμού και του φυσικού φωτισμού που μπορεί να διαθέσει ως αίθριο. Είναι ευκόλως κατανοητό ότι δεν μπορεί να έχει την ίδια απόδοση με ένα θερμοκήπιο (εκτός αν αποτελείται από νότια προσανατολισμένους φεγγίτες), ενώ ελλοχεύει ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης από αυτό τη θερινή περίοδο, αν δεν διαθέτει επαρκή εξωτερική σκίαση και αερισμό.

Γενικά, ο σκιασμός των διαφανών επιφανειών και ο αερισμός του θερμοκηπίου πρέπει να επιτυγχάνεται για οποιοδήποτε σχεδιασμό θερμοκηπίου: κατά τη θερινή περίοδο, ολόκληρη η διαφανής επιφάνεια του θερμοκηπίου ή μέρος της (ιδιαίτερα στο άνω μέρος, σε συνδυασμό είτε με το κάτω μέρος της συλλεκτικής επιφάνειας ή σε συνδυασμό με άλλα ανοίγματα του θερμοκηπίου) πρέπει να ανοίγει, ώστε να απάγεται ο θερμός αέρας προς τα έξω. Η ηλιοπροστασία των διαφανών επιφανειών που απομένουν είναι απαραίτητη. Σε περίπτωση που οι συλλεκτικές επιφάνειες βρίσκονται υπό κλίση, ο σκιασμός τους είναι πιο δύσκολος, σε σχέση με τις κατακόρυφες, όπου επιτυγχάνεται εύκολα σκιασμός με ένα οριζόντιο πρόβολο. Σε περίπτωση επιφανειών με κλίση, πρέπει να προβλέπεται κινητό σκίαστρο, με την ίδια κλίση, που να τις σκιάζει πλήρως τη θερινή περίοδο.

Γενικά, η απόδοση του θερμοκηπίου αυξάνει όσο πιο καλά θερμομονωμένο είναι το κέλυφός του κι όταν οι διαφανείς συλλεκτικές επιφάνειες έχουν νότιο προσανατολισμό. Μικρή κλίση της συλλεκτικής επιφάνειας αυξάνει την απόδοση του συστήματος, αλλά, όπως προαναφέρθηκε, δυσχεραίνει το σκιασμό της τη θερινή περίοδο. Οι επιφάνειες του θερμοκηπίου πάνω στις οποίες προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία (δάπεδα, τοίχοι) πρέπει να είναι σκουρόχρωμες, καθώς όσο πιο αυξημένη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία έχουν, τόσο πιο πολύ αυξάνει η απόδοση του συστήματος, ενώ μειώνεται η συνολική ζήτηση του κτιρίου για θέρμανση και ψύξη όταν η διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ θερμοκηπίου και κτιρίου είναι θερμομονωμένη. Αν η μετάδοση της θερμότητας από το θερμοκήπιο προς τη θερμαινόμενη ζώνη γίνεται και με τη μεταφορά μάζας αέρα από τα ανώτατα σημεία του, η απόδοση του συστήματος αυξάνει κατακόρυφα. Όσον αφορά τη γεωμετρία του θερμοκηπίου, γενικά, όσο πιο μακρόστενο είναι το σχήμα του, τόσο αυξάνει η απόδοση του συστήματος.

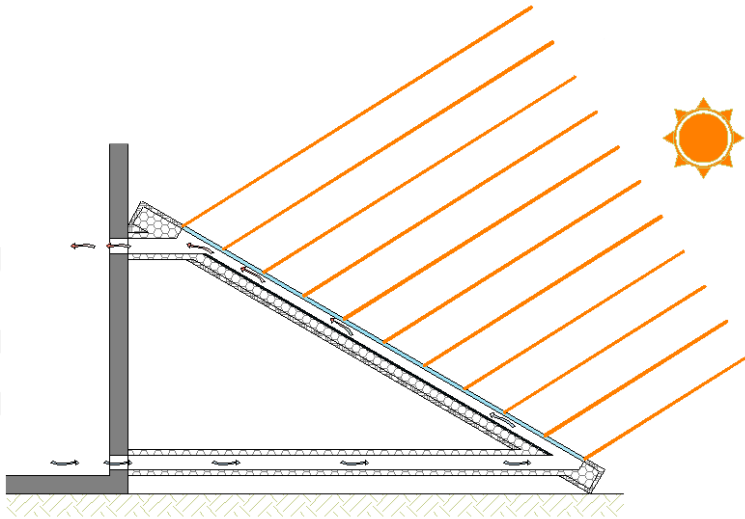
Εκτός από χώρο παραγωγής παθητικής θέρμανσης, το θερμοκήπιο μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη: μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προστατευμένος ημιυπαίθριος χώρος τη χειμερινή περίοδο, προς απόλαυση των ηλιακών κερδών, ως χώρος καλλιέργειας φυτών και παραγωγής τροφής, κάτι πολύ χρήσιμο για τη σιτιστική επάρκεια των κατοικιών (Reynolds, 1993) και γενικά των κτιρίων των πόλεων (Cortellesi, 2017), ιδιαίτερα σε περιόδους πανδημιών ή άλλων δυσμενών συνθηκών ή απλά για να μειωθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ενοίκων.

### 3.4. Συστήματα απομονωμένου κέρδους

#### 3.4.1. Θερμοσιφωνικό πανέλο ή ηλιακός συλλέκτης θέρμανσης αέρα (αεροσυλλέκτης)

Το θερμοσιφωνικό πανέλο είναι συλλέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος δεν διαθέτει θερμική μάζα. Προσαρτάται στη νότια όψη του κελύφους. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί και στο δώμα: στην περίπτωση αυτή δεν χρειάζεται το ίδιο το κτίριο να έχει νότιο προσανατολισμό, αρκεί να έχει ανεμπόδιστο ηλιασμό ο νότιο προσανατολισμένος συλλέκτης και οι αγωγοί του να είναι εξοπλισμένοι με ανεμιστήρες, ώστε ο θερμός αέρας να κατεβαίνει προς το κτίριο.

Επειδή απομονώνεται θερμικά από το κτήριο, ανήκει στην κατηγορία των παθητικών ηλιακών συστημάτων του «απομονωμένου κέρδους». Η θερμότητα που συλλέγεται από αυτό αποθηκεύεται είτε στα δομικά στοιχεία του κτηρίου είτε σε υποδαπέδια αποθήκη θερμότητας (π.χ. σύστημα rock bed). Έχει νότιο προσανατολισμό, με απόκλιση έως  $\pm 30^\circ$  από το νότο και κλίση είτε κατακόρυφη, είτε υπό γωνία, με βέλτιστη κλίση μεταξύ  $\phi$  και  $\phi + 15^\circ$ , όπου  $\phi$  το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Χαρακτηριστικό είναι ότι επειδή απομονώνεται εύκολα από το κτήριο δεν απαιτούνται στοιχεία ηλιοπροστασίας και επίσης μπορεί να αξιοποιηθεί η βέλτιστη κλίση για τη χειμερινή δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς επιπτώσεις υπερθέρμανσης. Αποτελείται από υαλοπίνακα, τοποθετημένο σε μικρή απόσταση (2-5cm) μπροστά από μεταλλική επιφάνεια, σκούρου χρώματος (μαύρου) και το όλο σύστημα θερμομονώνεται. Συνδέεται με το κτήριο με θυρίδες εισροής και εκροής του αέρα του εσωτερικού χώρου προς και από το πανέλο. Οι θυρίδες αυτές τοποθετούνται καθ' όλο το πλάτος του πανέλου, με διάμετρο 20-30cm. Ο χώρος θερμαίνεται μέσω του φαινομένου του θερμοσιφωνισμού: ο ψυχρός αέρας από το εσωτερικό του κτηρίου εισέρχεται στο κατώτερο μέρος του θερμοσιφωνικού πανέλου από την κατώτατη θυρίδα του όπου θερμαίνεται, ανέρχεται ως ελαφρότερος και εξέρχεται στον εσωτερικό χώρο από την ανώτατη θυρίδα του (Εικόνα 3-8).



Εικόνα 3-8. Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού πανέλου

Η απόδοση του θερμοσιφωνικού πανέλου αυξάνεται με τη χρήση διπλών υαλοπινάκων στο συλλέκτη, σε σχέση με απλούς υαλοπίνακες, ιδιαίτερα για τα πιο ψυχρά κλίματα. Το βέλτιστο μήκος του συλλέκτη έχει εκτιμηθεί στα 3m (Norton & Probert, 1984).

Το θερμοσιφωνικό πανέλο ενδείκνυται για χώρους που χρειάζονται άμεση απόδοση θερμότητας από τα ηλιακά κέρδη, όπως διακοπτόμενης λειτουργίας (χώρους γραφείων, σχολικές αίθουσες κ.α.). Το πλεονέκτημά του, σε σχέση με τα συστήματα άμεσου κέρδους που, επίσης, αποδίδει άμεσα θερμότητα στο χώρο, είναι ότι αποφεύγεται η θάμβωση από μεγάλους υαλοπίνακες, η υπερθέρμανση τη θερινή περίοδο, καθώς κι οι αυξημένες απώλειες θερμότητας τη νύχτα. Εκτός αυτού, τη θερινή περίοδο, μπορεί να αποκόπτεται θερμικά από το κτίριο με κλείσιμο των θυρίδων, με σκίαση του πανέλου ή με άνοιγμα του υαλοπίνακα στο ανώτατο και κατώτερο μέρος του, αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του χώρου.

Το κλείσιμο των θυρίδων είναι επίσης πολύ σημαντικό τη νυχτερινή περίοδο, προς αποφυγή θερμικών απωλειών. Κάτι τέτοιο καθιστά την εφαρμογή συστήματος αυτοματισμών σχεδόν επιτακτική, προς αποφυγή δυσλειτουργίας του συστήματος από αμέλεια των χρηστών.

Σε περίπτωση που τοποθετείται κεκλιμένα, το θερμοσιφωνικό πανέλο έχει καλύτερη απόδοση αλλά χρειάζεται περισσότερο ελεύθερο χώρο. Προσαρτημένο κατακόρυφα στον τοίχο μπορεί να εναρμονισθεί αισθητικά με το κτίριο πιο εύκολα.

### 3.5. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων θέρμανσης

Στην ενότητα αυτή γίνεται σύγκριση της απόδοσης των παθητικών συστημάτων που προσαρμόζονται άμεσα στη νότια όψη των κτιρίων, δηλαδή των νότιων ανοιγμάτων (άμεσου κέρδους), του τοίχου μάζας, του τοίχου Trombe και του αδιαφανούς τοίχου με διαφανή θερμομόνωση. Η απόδοσή τους εξετάζεται ως προς τα καθαρά ηλιακά κέρδη, αφαιρώντας τις απώλειες λόγω θερμοδιαφυγής από την επιφάνειά τους, και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι τυχούσες θερμογέφυρες λόγω κατασκευαστικών λεπτομερειών ή οι απώλειες από την αεροπερατότητα του κτιρίου. Η καθαρή θερμική ενέργεια που συλλέγεται από τις επιφάνειες αυτές και αποδίδεται στο χώρο εκφράζεται ανά μέτρο επιφάνειας της συλλεκτικής επιφάνειας. Μεταβάλλοντας παραμετρικά τις ιδιότητές των υλικών που επηρεάζουν την απόδοση του κάθε συστήματος, γίνεται μια παραμετροποίηση των καθαρών κερδών ανά κλιματική ζώνη, προς απευθείας σύγκριση της απόδοσης των τεσσάρων αυτών συστημάτων. Ο υπολογισμός

βασίζεται στο πρότυπο (CEN/ISO/TR 52016-2, 2017). Ιδιαίτερα για τους τοίχους μάζας και Trombe, υιοθετήθηκαν οι διορθώσεις που έχουν επισημανθεί από τους Ruiz-Pardo et al (2010), ενώ η παροχή όγκου εντός του διάκενου, υπολογίστηκε βάσει της σχέσης που προτείνεται και από τους Briga-Sá et al (2014).

Στόχος της ενότητας αυτής είναι να δώσει μια εικόνα στους μελετητές σχετικά με την απόδοση των συστημάτων αυτών, ώστε να βρίσκονται σε θέση να επιλέγουν το κατάλληλο για το σχεδιασμό τους σύστημα, αναλόγως με την κλιματική ζώνη που βρίσκονται. Η συγκριτική απόδοση των παθητικών συστημάτων ως προς τα καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για το άμεσο κέρδος, τον τοίχο μάζας, τον τοίχο Trombe και το διαφανή τοίχο με την αδιαφανή θερμομόνωση φαίνεται στους σχετικούς πίνακες (Πίνακας 3-2, Πίνακας 3-3, Πίνακας 3-4, Πίνακας 3-5 και Πίνακας 3-6). Για τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα, των οποίων η απόδοση εξαρτάται και από τη γεωμετρία τους κι από τη γεωμετρική σχέση τους με το χώρο που βρίσκονται, συστήνεται αναλυτική, παραμετρική ενεργειακή μελέτη, πριν παρθούν οι τελικές σχεδιαστικές και κατασκευαστικές αποφάσεις.

Για τα νότια ανοίγματα που είναι παθητικά συστήματα άμεσου κέρδους, όσο πιο χαμηλός είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) του συστήματος, τόσο πιο αποδοτικό είναι, δεδομένου ότι διατηρείται σε υψηλά επίπεδα ο συντελεστής ηλιακών κερδών (g) του υαλοπίνακα. Αν όμως, προκειμένου να μειωθεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας, χρησιμοποιούνται τεχνικές που μειώνουν το συντελεστή ηλιακών κερδών, τότε τελικά, μειώνεται αντί να αυξάνεται η απόδοση του συστήματος του άμεσου κέρδους, ιδιαίτερα στις πιο θερμές ζώνες. Σε περιπτώσεις πολύ χαμηλού συντελεστή ηλιακών κερδών, το σύστημα παρουσιάζει κάποιους μήνες μεγαλύτερες απώλειες σε σχέση με τα ηλιακά κέρδη, οι οποίες επιδεινώνονται, όσο πιο ψυχρή είναι η κλιματική ζώνη, δρώντας τελικά αρνητικά στο θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου. Ομοίως, όσο αυξάνει το ποσοστό του πλαισίου (μειώνοντας έτσι τη συλλεκτική επιφάνεια του συστήματος), μειώνεται η απόδοσή του συστήματος κατακόρυφα και στις τέσσερις κλιματικές ζώνες. Συμπερασματικά, ως προς τη λειτουργία παθητικής θέρμανσης από το άμεσο κέρδος για τα κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας, θα πρέπει να δίνεται βαρύτητα στα εξής:

- **Χαμηλός συντελεστής θερμοπερατότητας του συστήματος και υψηλό συντελεστή ηλιακών κερδών:** Καλό θα είναι στα ανοίγματα του νότιου προσανατολισμού, που δεν σκιαζονται τη χειμερινή περίοδο, να διαφοροποιούνται οι υαλοπίνακες, σε σχέση με τους υπόλοιπους προσανατολισμούς, ώστε να μεγιστοποιούνται τα καθαρά ηλιακά κέρδη, με την **επιλογή υαλοπινάκων με υψηλό συντελεστή ηλιακών κερδών.**
- **Μικρό ποσοστό πλαισίου:** Στο νότιο προσανατολισμό, αν ο σχεδιασμός στοχεύει στη θέρμανση του χώρου, καλό είναι να μεγιστοποιείται η συλλεκτική επιφάνεια του υαλοστασίου, με τη μείωση του πλαισίου του ανοίγματος.

Ο τοίχος μάζας έχει τα χαμηλότερα καθαρά κέρδη σε σχέση με όλα τα εξεταζόμενα παθητικά συστήματα και στις τέσσερις κλιματικές ζώνες. Ιδιαίτερα στις κλιματικές ζώνες Γ και Δ, οι απώλειες υπερτερούν των ηλιακών κερδών, με αποτέλεσμα να δρα τελικά αρνητικά στο συνολικό ισοζύγιο του κτιρίου για τους περισσότερους μήνες της θέρμανσης. Γενικά, όταν διαστασιολογείται, θα πρέπει όχι μόνο η εξωτερική επιφάνεια του αδιαφανούς στοιχείου να είναι όσο πιο σκουρόχρωμη γίνεται, αλλά παράλληλα, ο συντελεστής ηλιακών κερδών της διαφανούς επιφάνειας να μην είναι ιδιαίτερα χαμηλός: όπως φαίνεται και στους πίνακες (Πίνακας 3-2, Πίνακας 3-3, Πίνακας 3-4, Πίνακας 3-5 και Πίνακας 3-6), χαμηλός συντελεστής ηλιακών κερδών, χαμηλώνει την απόδοση του τοίχου μάζας εφάμιλλα με τη χαμηλή απορροφητικότητα του αδιαφανούς στοιχείου. Έτσι, μπορεί ένας υαλοπίνακας χαμηλού συντελεστή θερμοπερατότητας, με αντίστοιχα χαμηλό συντελεστή ηλιακών κερδών να μειώσει την απόδοση του συστήματος περισσότερο, σε σχέση με έναν υαλοπίνακα, με υψηλότερο συντελεστή θερμοπερατότητας, αλλά υψηλότερο συντελεστή ηλιακών κερδών.

Ο τοίχος Trombe είναι πολύ πιο αποδοτικός από τον τοίχο μάζας για τα κλιματικά δεδομένα του Ελλαδικού χώρου. Κατάλληλα διαστασιολογημένος είναι αποδοτικότερος από το άμεσο κέρδος για τα χαρακτηριστικά και των τεσσάρων κλιματικών ζωνών. Όπως και στο άμεσο κέρδος, έτσι και στους τοίχους μάζας και Trombe παίζει σημαντικό ρόλο στα καθαρά κέρδη ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα (όσο πιο χαμηλός, τόσο μεγαλύτερα τα καθαρά κέρδη), σε συνδυασμό όμως με το συντελεστή ηλιακών κερδών του (όσο πιο υψηλός, τόσο μεγαλύτερα τα θερμικά κέρδη). Το χρώμα της εξωτερικής αδιαφανούς επιφάνειας παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην απόδοση του συστήματος: όσο πιο σκουρόχρωμο (μεγαλύτερη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία), τόσο αυξάνει η απόδοσή του. Ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις εκφυλίζουν το σύστημα σε αμόνωτη τοιχοποιία με υαλοστάσιο, με ασήμαντα καθαρά κέρδη ή με περισσότερες απώλειες από τα ηλιακά του κέρδη. Ως προς το αδιαφανές τμήμα των στοιχείων αυτών, τα υλικά με μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα (λιθοδομή, οπτοπλινθοδομή) έχουν λίγο καλύτερη απόδοση, ιδιαίτερα στις πιο ψυχρές ζώνες, χωρίς να επηρεάζουν όμως τόσο σημαντικά. Τέλος, η επιφάνεια των θυρίδων του τοίχου Trombe δεν έχει τόσο μεγάλη επιρροή στα καθαρά ηλιακά κέρδη, όσο οι υπόλοιπες παράμετροι. Συνοψίζοντας, τα συστήματα αδιαφανούς τοιχοποιίας με υαλοπίνακα, πρέπει να χαρακτηρίζονται από τα εξής:

- **Σκουρόχρωμη εξωτερική επιφάνεια** (μεγάλο συντελεστή απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία),
- **Χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας υαλοπινάκων**, όμως με **υψηλό συντελεστή ηλιακών κερδών**,
- **Αποφυγή του τοίχου μάζας και προτίμηση του τοίχου Trombe**, με τους αντίστοιχους αυτοματισμούς για την ορθή λειτουργία του συστήματος.

Τέλος, η αδιαφανής τοιχοποιία με τη διαφανή θερμομόνωση, βάσει της υφιστάμενης τεχνολογίας, και στις τέσσερις κλιματικές ζώνες, έχει, σε γενικές γραμμές, αρκετά μεγαλύτερη απόδοση από τους τοίχους μάζας και Trombe καθώς και από το άμεσο κέρδος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενώ ο συντελεστής ηλιακών κερδών είναι χαμηλότερος από εκείνον του υαλοπίνακα μπορεί να επιτυγχάνεται πολύ χαμηλότερος συντελεστής θερμοπερατότητας. Η απόδοση του συστήματος επηρεάζεται επίσης από την εξωτερική επιφάνεια του αδιαφανούς στοιχείου: όσο πιο σκουρόχρωμη, τόσο μεγαλύτερη η απόδοση. Πιο ανοιχτόχρωμες επιφάνειες έχουν πολύ χαμηλότερα καθαρά κέρδη, χωρίς όμως να υπερτερούν οι απώλειες των ηλιακών κερδών σε καμιά από τις κλιματικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου. Αν αποφασισθεί η χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας, θα πρέπει να ελεγχθούν τα εξής:

- Χρήση διαφανούς θερμομονωτικού υλικού με όσο **υψηλότερο συντελεστή ηλιακών κερδών** γίνεται, σε συνδυασμό με **χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας**
- **Σκουρόχρωμη εξωτερική επιφάνεια αδιαφανούς στοιχείου** (μεγάλο συντελεστή απορροφητικότητας στην ηλιακή ακτινοβολία).

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 3-2, Πίνακας 3-3, Πίνακας 3-4, Πίνακας 3-5 και Πίνακας 3-6), παρουσιάζεται συγκριτικά η απόδοση παθητικών συστημάτων άμεσου κέρδους, τοίχου Trombe, τοίχου μάζας και αδιαφανούς τοίχου με διαφανή θερμομόνωση με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες των δομικών στοιχείων. Η απόδοση υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια (δηλαδή τα ηλιακά κέρδη μείον τις απώλειες), βάσει του προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017, για όλες τις κλιματικές ζώνες. Επισημαίνεται ότι και στις τέσσερις κλιματικές ζώνες παρατηρήθηκε η τάση τα ηλιακά κέρδη να είναι μεγαλύτερα κατά την περίοδο μεταξύ Οκτώβριου και Δεκέμβριου, σε σχέση με την περίοδο μεταξύ Ιανουαρίου και Μάρτιου, επειδή, βάσει των κλιματικών δεδομένων της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3:2010 (Παράρτημα Β), η ηλιακή ακτινοβολία σε νότια προσανατολισμένο, κατακόρυφο επίπεδο είναι μεγαλύτερη τους μήνες Οκτώβριο – Δεκέμβριο, σε σχέση με τους μήνες Ιανουάριο – Μάρτιο.

Πίνακας 3-2. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων για όλες τις κλιματικές ζώνες (μέσα ετήσια καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια βάσει προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017).

Τεχνικά χαρακτηριστικά										Ετήσια καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )																	
Τύπος παθητικού συστήματος	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαισίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ														
Άμεσο κέρδος	2.800	0.60	10%	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	224.4	210.5	178.8	159.9														
	2.600									229.9	217.2	189.4	173.5														
	2.400									235.4	224.0	200.0	187.1														
	2.200									241.0	230.7	210.6	200.7														
	1.000	0.40								173.6	176.2	165.1	165.6														
	0.500									187.4	186.2	191.7	199.6														
	5.700									184.4	153.7	68.7	9.3														
	2.800									190.8	183.4	163.7	161.8														
	2.800	0.60	10%							20%	157.3	149.6	127.3	122.9													
										30%	123.7	115.7	354.0	83.9													
										40%	90.2	81.9	90.9	45.0													
										50%	56.7	48.0	54.6	6.0													
										60%	23.1	14.2	-18.1	-32.9													
										70%	174.1	166.5	145.5	142.3													
2.800				0.50	10%	123.7	115.7	90.9	83.9																		
						0.40	73.4	65.0	36.4	25.5																	
						0.30	23.1	14.2	-18.1	-32.9																	
						0.20	-27.2	-36.6	-72.7	-91.3																	
0.10																											
Τεχνικά χαρακτηριστικά										Ετήσια καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )																	
Τύπος παθητικού συστήματος	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαισίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ														
Τάφος Trombe	2.800	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		344.9	338.6	317.8	317.2														
					Λιθοδομή 50cm	1.998				298.8	298.1	291.0	300.3														
					Ομοπλινθοδομή 50cm	1.101				213.5	216.7	218.2	232.7														
					Οπτοπλινθοδομή	1.622				269.8	271.1	268.5	280.8														
	2.800	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		342.8	336.7	316.4	315.9														
										10	3	343.6	337.4	316.9	316.4												
										20	3	346.6	340.3	319.0	318.4												
										40	3	349.0	342.4	320.5	319.9												
										50	3	376.1	363.4	336.3	327.7												
										2.000	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		264.0	250.3	216.5	199.3					
										1.000	0.40								294.3	280.9	249.4	234.6					
										0.500	0.40								273.6	265.6	238.7	231.0					
										0.50	202.4								192.6	159.7	144.7						
										2.800	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		131.2	119.6	80.6	58.4					
60.0	46.5	1.6	-27.8																								
293.2	285.7	260.4	254.7																								
199.3	189.4	156.2	140.9																								
105.4	93.1	51.9	27.2																								
58.5	44.9	-0.2	-29.7																								
Τοίχος μάζας	2.600	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.915				56.3	42.6	-0.2	-29.9														
					Λιθοδομή 50cm	1.998				58.1	49.9	23.2	6.0														
					Ομοπλινθοδομή 50cm	1.101				48.2	44.9	32.8	26.4														
					Οπτοπλινθοδομή	1.622				55.8	49.7	29.4	17.0														
	2.800	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916				66.8	50.9	6.0	-26.5														
										1.000	0.40	32.1	15.9	-31.6	-66.9												
										0.500	0.40	42.9	26.7	-19.8	-54.3												
										0.50	33.5	19.3	-25.8	-57.9													
										0.40	10.7	-4.1	-51.4	-85.8													
										0.30	-12.1	-27.4	-77.0	-113.7													
										0.20	-34.9	-50.8	-102.6	-141.6													
										0.20	39.8	25.7	-18.8	-50.2													
										0.60	9.7	-5.1	-52.6	-87.0													
										-20.4	-35.9	-86.3	-123.8														
-35.4	-51.3	-103.2	-142.2																								
Αδιαφανές στοιχείο με διαφανή θερμομόνωση	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαισίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ζώνη Α	Ζώνη Β	Ζώνη Γ	Ζώνη Δ														
														0.59	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επικρισμένο από τη μία επιφάνεια	0.688					6	423.1	423.5	439.2	463.5	
																						8	320.3	320.6	332.1	366.0	
																						10	331.0	331.9	345.8	377.0	
																						6	356.1	356.5	369.6	390.1	
														0.43	Μαύρο α=0.91	Οπτοπλινθοδομή 20cm, επικρισμένη	0.444						8	279.1	279.4	289.4	326.4
																							10	295.1	296.0	308.4	341.8
																							6	310.9	263.5	268.4	297.6
																							8	228.8	191.4	195.8	217.1
														0.43	Μαύρο α=0.91	Οπτοπλινθοδομή 20cm, επικρισμένη	0.494						6	146.8	119.4	123.2	136.7
																								105.7	83.3	86.9	96.5
																								146.8	119.4	123.2	136.7
																								105.7	83.3	86.9	96.5

\* Συνολικό για τα αδιαφανή στοιχεία με διαφανή θερμομόνωση

Πίνακας 3-3. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων για την κλιματική ζώνη Α (καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια βάσει προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017)

Ζώνη Α Ηράκλειο	Τεχνικά χαρακτηριστικά										Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )						Συνολικά κέρδη περ.θερ.	
	Υ ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαίσιου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	Υ αδιαφανούς στοιχείου* (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαε	Νοε	Δεκ	Έτος	
Τύπος παθητικού συστήματος	2.800	0.60	10%						30.7	29.3	37.3	41.0	49.8	36.3	224.4			
	2.600								32.0	30.4	38.3	41.6	50.3	37.3	229.9			
	2.400	0.40	10%						33.2	31.6	39.3	42.2	50.8	38.3	235.4			
	2.200								34.5	32.7	40.4	42.7	51.4	39.3	241.0			
	1.000								25.9	24.5	29.4	29.9	35.5	28.5	173.6			
	0.500								28.9	27.4	32.0	31.3	36.8	31.0	187.4			
	5.700	0.68							19.2	18.7	29.1	39.1	49.6	28.6	184.4			
	Άμεσο κέρδος	2.800	0.60	20%						25.4	24.2	31.5	35.5	43.4	30.7	190.8		
				30%							20.1	19.2	25.7	30.1	37.0	25.2	157.3	
				40%							14.7	14.2	20.0	24.6	30.7	19.6	123.7	
50%									9.4	9.1	14.2	19.2	24.3	14.0	90.2			
60%									4.0	4.1	8.5	13.7	18.0	8.4	56.7			
70%									-1.3	-1.0	2.7	8.2	11.6	2.8	23.1			
2.800	0.50								22.7	21.7	28.6	32.8	40.2	28.0	174.1			
	0.40								14.7	14.2	20.0	24.6	30.7	19.6	123.7			
	0.30								6.7	6.6	11.3	16.4	21.1	11.2	73.4			
	0.20								-1.3	-1.0	2.7	8.2	11.6	2.8	23.1			
0.10								-9.3	-8.5	-5.9	0.1	2.1	-5.5	-27.2				
Ζώνη Α Ηράκλειο	Τεχνικά χαρακτηριστικά										Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )						Συνολικά κέρδη περ.θερ.	
Υ ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαίσιου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	Υ αδιαφανούς στοιχείου* (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαε	Νοε	Δεκ	Έτος		
Τύπος παθητικού συστήματος με διαφανή θερμάνωση	0.59	0.43	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επηχρισμένο από τη μία επιφάνεια	0.688	6			70.7	60.4	63.8	57.0	87.5	83.7	423.1			
									53.5	45.7	48.3	43.2	66.3	63.3	320.3			
	0.59	0.43	Μαύρο α=0.91	Οπτοπληθοδομή 20cm, επηχρισμένη	0.444	10			55.5	47.4	50.0	44.5	68.2	65.4	331.0			
									59.5	50.8	53.7	48.0	73.7	70.4	356.1			
	0.43	0.43	Μαύρο α=0.91	Οπτοπληθοδομή 20cm, επηχρισμένη	0.470	8			46.6	39.8	42.1	37.6	57.8	55.2	279.1			
									49.5	42.3	44.6	39.7	60.8	58.3	295.1			
0.43	0.43	Μαύρο α=0.91	Οπτοπληθοδομή 20cm, επηχρισμένη	0.396	10			51.9	44.2	46.8	41.9	64.5	61.5	310.9				
								37.9	32.3	34.3	31.0	48.0	45.4	228.8				
									24.0	20.3	21.8	20.0	31.4	29.2	146.8			
									17.1	14.4	15.5	14.6	23.1	21.1	105.7			

\* Συνολικά για τα αδιαφανή στοιχεία με διαφανή θερμομόνωση  
Λευκό α=0.30

(συνεχίζεται)



(Πίνακας 3-3 συνέχεια)

Ζώνη Α Ηράκλειο	Τύπος παθητικού συστήματος	Τεχνικά χαρακτηριστικά						Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )						Συνολικά κέρδη περ.θερ.		
		U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	Ποσοστό πλασιού	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοχείου * (W/m <sup>2</sup> Κ)	Διάμετρος Θυρίδων (cm)	Αριθμός Θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμωμόωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαε	Δεκ	Έτος
Τόπος Trombe	U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm Οπισπλινθοδομή 50cm Οπισπλινθοδομή 20cm	2.916	30	3		54.0	45.1	49.8	48.6	78.3	69.2	344.9
										47.5	39.8	43.5	41.7	66.5	59.8	298.8
										34.0	28.6	31.2	29.7	47.3	42.7	213.5
										43.0	36.2	39.4	37.5	59.7	53.9	269.8
										53.7	44.9	49.5	48.2	77.7	68.8	342.8
										53.8	45.0	49.6	48.4	77.9	68.9	343.6
										54.2	45.2	50.0	48.9	78.8	69.6	346.6
										54.5	45.5	50.3	49.2	79.5	70.1	349.0
										59.3	49.7	54.6	52.7	84.5	75.3	376.1
										40.4	33.5	37.5	37.8	61.7	53.2	264.0
										45.5	37.9	42.2	41.9	67.8	59.1	294.3
										41.9	34.7	38.9	39.1	63.9	55.2	273.6
29.8	24.4	28.0	29.6	49.5	41.1	202.4										
17.7	14.0	17.2	20.1	35.1	27.1	131.2										
5.7	3.6	6.3	10.6	20.8	13.1	60.0										
45.2	37.6	41.9	41.7	67.9	59.0	293.2										
29.3	23.9	27.6	29.1	48.9	40.5	199.3										
13.4	10.2	13.2	16.6	29.9	22.0	105.4										
5.4	3.4	6.1	10.4	20.4	12.8	58.5										
4.2	2.9	9.0	13.8	17.8	8.6	56.3										
6.0	4.8	9.6	12.6	15.9	9.2	58.1										
6.0	5.0	8.1	9.5	11.8	7.8	48.2										
6.3	5.1	9.3	11.6	14.5	9.0	55.8										
5.9	4.5	10.8	15.5	19.8	10.4	66.8										
0.3	-0.5	4.7	9.9	13.2	4.5	32.1										
2.0	1.1	6.6	11.6	15.2	6.4	42.9										
0.5	-0.3	5.0	10.1	13.5	4.8	33.5										
-3.2	-3.6	1.0	6.4	9.3	0.9	10.7										
-6.9	-6.9	-3.0	2.8	5.0	-3.0	-12.1										
-10.7	-10.2	-7.0	-0.9	0.7	-6.9	-34.9										
1.5	0.6	6.1	11.1	14.7	5.8	39.8										
-3.4	-3.8	0.8	6.3	9.1	0.7	9.7										
-8.3	-8.1	-4.5	1.4	3.4	-4.4	-20.4										
-10.7	-10.2	-7.1	-1.0	0.6	-6.9	-35.4										
Τόπος Μάλτας	U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm Οπισπλινθοδομή 50cm Οπισπλινθοδομή 20cm	2.915	30	3		4.2	2.9	9.0	13.8	17.8	8.6	56.3
										6.0	4.8	9.6	12.6	15.9	9.2	58.1
										6.0	5.0	8.1	9.5	11.8	7.8	48.2
										6.3	5.1	9.3	11.6	14.5	9.0	55.8
										5.9	4.5	10.8	15.5	19.8	10.4	66.8
										0.3	-0.5	4.7	9.9	13.2	4.5	32.1
										2.0	1.1	6.6	11.6	15.2	6.4	42.9
										0.5	-0.3	5.0	10.1	13.5	4.8	33.5
										-3.2	-3.6	1.0	6.4	9.3	0.9	10.7
										-6.9	-6.9	-3.0	2.8	5.0	-3.0	-12.1
										-10.7	-10.2	-7.0	-0.9	0.7	-6.9	-34.9
										1.5	0.6	6.1	11.1	14.7	5.8	39.8
-3.4	-3.8	0.8	6.3	9.1	0.7	9.7										
-8.3	-8.1	-4.5	1.4	3.4	-4.4	-20.4										
-10.7	-10.2	-7.1	-1.0	0.6	-6.9	-35.4										

Πίνακας 3-4. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων για την κλιματική ζώνη Β (καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια βάσει προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017).

Ζώνη Β Αθήνα	Τεχνικά χαρακτηριστικά							Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )					Συνολικά κέρδη περ.Θε.ρ.												
	Υπόλοιπο παθητικού συστήματος	Υ ανόλιματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαταίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ		Μαρ	Απρ	Μαε	Νοε	Δεκ	Έτος						
Ζώνη Β Αθήνα	Τύπος παθητικού συστήματος	2.800	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	0.688	6	10	30.2	28.3	34.2	38.9	45.5	33.3	210.5									
																	2.600	0.60	31.7	29.7	35.4	39.6	46.2	34.6	217.2
																	2.400	0.60	33.2	31.1	36.7	40.2	47.0	35.8	224.0
																	2.200	0.60	34.7	32.4	37.9	40.9	47.7	37.1	230.7
																	1.000	0.40	28.2	26.2	29.3	29.4	34.2	28.9	176.2
																	0.500	0.68	30.4	28.3	31.2	30.4	35.3	30.7	186.2
																	5.700	0.68	15.3	14.8	23.4	35.9	42.5	22.0	153.7
																	2.600	0.60	20.3	19.1	24.0	28.9	33.9	23.3	149.6
																	2.600	0.60	14.6	13.8	18.3	23.5	27.7	17.6	115.7
																	2.600	0.60	8.9	8.6	12.6	18.2	21.5	12.0	81.9
Ζώνη Β Αθήνα	Τύπος παθητικού συστήματος	2.600	0.50	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	0.444	6	10	30.2	28.3	34.2	38.9	45.5	33.3	210.5									
																	2.600	0.40	31.7	29.7	35.4	39.6	46.2	34.6	217.2
																	2.600	0.30	32.2	30.2	36.2	40.2	47.0	35.8	224.0
																	2.600	0.20	32.7	30.7	36.7	40.7	47.7	36.5	226.7
																	2.600	0.10	33.2	31.2	37.2	41.2	48.4	37.2	233.4
																	2.600	0.43	33.7	31.7	37.7	41.7	48.9	37.7	236.1
																	2.600	0.43	34.2	32.2	38.2	42.2	49.4	38.2	238.8
																	2.600	0.43	34.7	32.7	38.7	42.7	49.9	38.7	241.5
																	2.600	0.43	35.2	33.2	39.2	43.2	50.4	39.2	244.2
																	2.600	0.43	35.7	33.7	39.7	43.7	50.9	39.7	246.9
Αδιαφανές στοιχείο με διαφανή στοίχιση	0.43	0.43	0.43	Σκυρόδεμα α=0.80 Μέτρια απορροφηση α=0.60 Ανοχτόχρωμο α=0.40 Λευκό α=0.30	Οπτοπλάνοδο μη 20cm, επιχρισμένη	0.470	8	10	30.2	28.3	34.2	38.9	45.5	33.3	210.5										
																0.444	10	33.3	31.3	37.3	41.3	48.3	37.3	233.4	
* Συνολικό για τα αδιαφανή στοιχεία με διαφανή θερμομόνωση																									

(συνεχίζεται)

(Πίνακας 3-4 συνέχεια)

Ζώνη Β Αθήνα	Τύπος παθητικού συστήματος	Τεχνικά χαρακτηριστικά						Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκακή επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )						Συνολικά κέρδη περ.θερ.		
		U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	Ποσοστό πλαιοσι	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> Κ)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμμόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ		Μαε	Νοε
Τίχλος Trombe	U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		56.1	45.8	47.5	47.1	74.4	67.7	338.6
										50.2	41.2	42.3	40.9	64.0	59.4	298.1
										36.7	30.2	30.9	29.5	46.1	43.2	216.7
										45.9	37.7	38.6	37.0	57.8	54.0	271.1
										55.9	45.6	47.2	46.8	73.9	67.3	336.7
										56.0	45.7	47.3	46.9	74.1	67.5	337.4
										56.3	46.0	47.7	47.4	74.9	68.0	340.3
										56.6	46.2	47.9	47.8	75.5	68.5	342.4
										60.6	49.6	51.2	50.3	79.1	72.5	363.4
										40.4	32.6	34.4	35.7	57.0	50.2	250.3
										45.8	37.2	39.0	39.7	62.9	56.2	280.9
										43.0	34.8	36.6	37.7	60.2	53.3	265.6
30.0	23.8	25.7	28.3	46.0	38.9	192.6										
16.9	12.7	14.8	18.8	31.8	24.5	119.6										
3.8	1.7	3.8	9.4	17.6	10.1	46.5										
46.6	37.8	39.6	40.3	64.1	57.3	285.7										
29.4	23.3	25.2	27.9	45.4	38.3	189.4										
12.1	8.7	10.8	15.4	26.7	19.3	93.1										
3.5	1.5	3.6	9.2	17.3	9.8	44.9										
2.2	1.0	6.5	12.6	14.8	5.6	42.6										
5.0	3.7	8.0	11.8	13.9	7.4	49.9										
5.8	4.7	7.4	9.2	10.8	7.0	44.9										
5.7	4.4	8.1	11.1	12.9	7.5	49.7										
3.6	2.2	7.9	13.9	16.3	7.0	50.9										
-2.4	-3.0	1.9	8.4	9.9	1.0	15.9										
-0.6	-1.4	3.8	10.1	11.8	2.9	26.7										
-1.8	-2.5	2.5	8.9	10.6	1.6	19.3										
-5.9	-6.0	-1.5	5.3	6.3	-2.3	-4.1										
-9.9	-9.5	-5.5	1.7	2.1	-6.3	-27.4										
-13.9	-13.0	-9.6	-2.0	-2.1	-10.3	-50.8										
-0.7	-1.5	3.6	9.9	11.7	2.7	25.7										
-6.0	-6.1	-1.7	5.1	6.2	-2.5	-5.1										
-11.3	-10.7	-7.0	0.3	0.6	-7.8	-35.9										
-14.0	-13.0	-9.7	-2.1	-2.2	-10.4	-51.3										
Τίχλος μάζας	U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.915	30	3		56.1	45.8	47.5	47.1	74.4	67.7	338.6
										50.2	41.2	42.3	40.9	64.0	59.4	298.1
										36.7	30.2	30.9	29.5	46.1	43.2	216.7
										45.9	37.7	38.6	37.0	57.8	54.0	271.1
										55.9	45.6	47.2	46.8	73.9	67.3	336.7
										56.0	45.7	47.3	46.9	74.1	67.5	337.4
										56.3	46.0	47.7	47.4	74.9	68.0	340.3
										56.6	46.2	47.9	47.8	75.5	68.5	342.4
										60.6	49.6	51.2	50.3	79.1	72.5	363.4
										40.4	32.6	34.4	35.7	57.0	50.2	250.3
										45.8	37.2	39.0	39.7	62.9	56.2	280.9
										43.0	34.8	36.6	37.7	60.2	53.3	265.6
30.0	23.8	25.7	28.3	46.0	38.9	192.6										
16.9	12.7	14.8	18.8	31.8	24.5	119.6										
3.8	1.7	3.8	9.4	17.6	10.1	46.5										
46.6	37.8	39.6	40.3	64.1	57.3	285.7										
29.4	23.3	25.2	27.9	45.4	38.3	189.4										
12.1	8.7	10.8	15.4	26.7	19.3	93.1										
3.5	1.5	3.6	9.2	17.3	9.8	44.9										
2.2	1.0	6.5	12.6	14.8	5.6	42.6										
5.0	3.7	8.0	11.8	13.9	7.4	49.9										
5.8	4.7	7.4	9.2	10.8	7.0	44.9										
5.7	4.4	8.1	11.1	12.9	7.5	49.7										
3.6	2.2	7.9	13.9	16.3	7.0	50.9										
-2.4	-3.0	1.9	8.4	9.9	1.0	15.9										
-0.6	-1.4	3.8	10.1	11.8	2.9	26.7										
-1.8	-2.5	2.5	8.9	10.6	1.6	19.3										
-5.9	-6.0	-1.5	5.3	6.3	-2.3	-4.1										
-9.9	-9.5	-5.5	1.7	2.1	-6.3	-27.4										
-13.9	-13.0	-9.6	-2.0	-2.1	-10.3	-50.8										
-0.7	-1.5	3.6	9.9	11.7	2.7	25.7										
-6.0	-6.1	-1.7	5.1	6.2	-2.5	-5.1										
-11.3	-10.7	-7.0	0.3	0.6	-7.8	-35.9										
-14.0	-13.0	-9.7	-2.1	-2.2	-10.4	-51.3										
Τίχλος μάζας	U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> Κ)	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		56.1	45.8	47.5	47.1	74.4	67.7	338.6
										50.2	41.2	42.3	40.9	64.0	59.4	298.1
										36.7	30.2	30.9	29.5	46.1	43.2	216.7
										45.9	37.7	38.6	37.0	57.8	54.0	271.1
										55.9	45.6	47.2	46.8	73.9	67.3	336.7
										56.0	45.7	47.3	46.9	74.1	67.5	337.4
										56.3	46.0	47.7	47.4	74.9	68.0	340.3
										56.6	46.2	47.9	47.8	75.5	68.5	342.4
										60.6	49.6	51.2	50.3	79.1	72.5	363.4
										40.4	32.6	34.4	35.7	57.0	50.2	250.3
										45.8	37.2	39.0	39.7	62.9	56.2	280.9
										43.0	34.8	36.6	37.7	60.2	53.3	265.6
30.0	23.8	25.7	28.3	46.0	38.9	192.6										
16.9	12.7	14.8	18.8	31.8	24.5	119.6										
3.8	1.7	3.8	9.4	17.6	10.1	46.5										
46.6	37.8	39.6	40.3	64.1	57.3	285.7										
29.4	23.3	25.2	27.9	45.4	38.3	189.4										
12.1	8.7	10.8	15.4	26.7	19.3	93.1										
3.5	1.5	3.6	9.2	17.3	9.8	44.9										
2.2	1.0	6.5	12.6	14.8	5.6	42.6										
5.0	3.7	8.0	11.8	13.9	7.4	49.9										
5.8	4.7	7.4	9.2	10.8	7.0	44.9										
5.7	4.4	8.1	11.1	12.9	7.5	49.7										
3.6	2.2	7.9	13.9	16.3	7.0	50.9										
-2.4	-3.0	1.9	8.4	9.9	1.0	15.9										
-0.6	-1.4	3.8	10.1	11.8	2.9	26.7										
-1.8	-2.5	2.5	8.9	10.6	1.6	19.3										
-5.9	-6.0	-1.5	5.3	6.3	-2.3	-4.1										
-9.9	-9.5	-5.5	1.7	2.1	-6.3	-27.4										
-13.9	-13.0	-9.6	-2.0	-2.1	-10.3	-50.8										
-0.7	-1.5	3.6	9.9	11.7	2.7	25.7										
-6.0	-6.1	-1.7	5.1	6.2	-2.5	-5.1										
-11.3	-10.7	-7.0	0.3	0.6	-7.8	-35.9										
-14.0	-13.0	-9.7	-2.1	-2.2	-10.4	-51.3										

Πίνακας 3-5. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων για την κλιματική ζώνη Γ (καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια βάσει προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017).

Ζώνη Γ Θεσσαλονίκη	Τεχνικά χαρακτηριστικά										Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )					Συνολικά κέρδη περ. θερ.	
	Υποείδος παθητικού συστήματος	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	Υ αδιαφανούς στοιχείου* (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαρ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος	
Αλεσκέδος	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	Ποσοστό πλαστίου	g διαφανούς επιφάνειας	0.60	10%	0.60	0.60	14.4	16.1	24.7	33.9	44.8	28.2	16.8	178.8		
								16.7	18.0	26.3	34.8	45.4	29.5	18.8	189.4		
								18.9	19.9	27.9	35.7	46.0	30.9	20.8	200.0		
								21.2	21.8	29.5	36.6	46.7	32.2	22.8	210.6		
								19.4	18.9	23.4	26.5	32.5	24.6	19.9	165.1		
								25.0	23.7	27.3	28.7	34.1	28.0	24.9	191.7		
								12.1	-5.8	7.9	27.0	43.0	15.0	-6.3	68.7		
								13.8	15.1	22.7	30.5	40.1	25.7	15.8	163.7		
								8.7	10.4	17.4	25.3	34.2	20.4	10.8	127.3		
								45.4	38.3	42.7	45.6	69.4	58.1	54.5	354.0		
Αλεσκέδος	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	Ποσοστό πλαστίου	g διαφανούς επιφάνειας	0.60	10%	0.60	0.60	3.6	5.6	12.2	20.2	28.2	15.2	5.8	90.9		
								-1.5	0.9	7.0	15.0	22.3	10.0	0.8	54.6		
								-11.7	-8.6	-3.4	4.7	10.4	-0.4	-9.1	-18.1		
								11.3	12.7	20.1	27.9	37.1	23.1	13.3	145.5		
								3.6	5.6	12.2	20.2	28.2	15.2	5.8	90.9		
								-4.0	-1.5	4.4	12.4	19.3	7.4	-1.6	36.4		
								-11.7	-8.6	-3.4	4.7	10.4	-0.4	-9.1	-18.1		
								-19.3	-13.7	-11.3	-3.0	1.5	-8.3	-16.6	-72.7		
								2.400	0.50	0.40	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43		
								2.400	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
Αδιαφανές στοιχείο με διαφανή θέρμανση	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	Ποσοστό πλαστίου	g διαφανούς επιφάνειας	0.43	10%	0.43	0.43	63.9	53.9	55.6	52.6	73.7	68.7	70.8	439.2		
								48.2	40.7	42.0	39.8	55.8	52.0	53.9	332.1		
								50.6	42.7	43.9	41.3	57.5	53.9	55.9	345.8		
								53.7	45.4	46.8	44.3	62.0	57.8	59.6	369.6		
								42.0	35.5	36.6	34.7	48.7	45.3	46.6	289.4		
								45.1	38.1	39.1	36.8	51.3	48.1	49.8	308.4		
								39.1	33.0	34.0	32.1	44.9	41.9	43.3	268.4		
								28.2	23.8	24.7	23.6	33.3	30.7	31.4	195.8		
								17.2	14.6	15.4	15.1	21.8	19.6	123.2			
								11.8	9.9	10.7	10.9	16.0	14.0	13.6	86.9		

\* Συνολικό για τα αδιαφανή στοιχεία με διαφανή θερμομόνωση

(συνεχίζεται)

(Πίνακας 3-5 συνέχεια)

Ζώνη Γ Θεσσαλονίκη	Τεχνικά χαρακτηριστικά						Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )						Συνολικά κέρδη περ. θερ.				
	U ανοίγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαστίσιου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στο χείλι* (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμομόνωσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ		Απρ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Τύπος παθητικού συστήματος	2.400	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm Ομοπλευθοδομή 50cm Οριζοντιοδομή 20cm	2.916	30	3		38.1	32.2	37.5	42.5	66.6	53.2	47.7	317.8
										36.9	31.2	35.0	37.8	57.6	47.8	44.5	291.0
										28.4	24.1	26.5	27.9	42.0	35.6	33.7	218.2
										34.7	29.3	32.5	34.6	52.2	43.9	41.4	268.5
										38.0	32.2	37.4	42.3	66.1	52.9	47.5	316.4
										38.0	32.2	37.4	42.4	66.3	53.0	47.6	316.9
	2.000	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		38.1	32.3	37.6	42.8	67.0	53.5	47.8	319.0
										38.2	32.3	37.8	43.0	67.5	53.8	48.0	320.5
										40.9	34.7	39.9	44.7	69.4	56.0	50.7	396.3
										23.0	19.5	24.6	30.7	50.1	37.5	31.1	216.5
										27.9	23.7	28.8	34.5	55.3	42.6	36.5	249.4
										26.2	22.2	27.3	33.3	54.0	41.0	34.7	238.7
2.400	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916	30	3		14.3	12.1	17.2	24.0	41.4	28.9	21.8	159.7	
									2.4	2.1	7.1	14.8	28.8	16.7	8.9	80.6	
									-9.5	-8.0	-3.1	5.5	16.2	4.5	-4.0	1.6	
									29.4	24.9	30.1	35.8	57.4	44.4	38.3	260.4	
									13.7	11.7	16.8	23.6	40.8	28.3	21.3	156.2	
									-2.0	-1.6	3.4	11.4	24.2	12.3	4.2	51.9	
Τύπος μάζας	2.400	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm Ομοπλευθοδομή 50cm Οριζοντιοδομή 20cm	2.915			-10.8	-8.5	-0.5	8.7	16.7	2.2	-7.9	-0.2	
									-4.1	-3.0	3.0	9.2	15.3	4.8	-2.1	23.2	
									0.6	0.8	4.6	7.9	11.8	5.5	1.6	32.8	
									-1.8	-1.1	4.0	9.0	14.2	5.4	-0.3	29.4	
									-9.9	-7.7	0.4	9.5	17.7	3.1	-7.0	6.0	
									-15.3	-12.4	-5.1	4.3	11.4	-2.2	-12.2	-31.6	
	2.000	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916			-13.6	-10.9	-3.4	5.9	13.3	-0.6	-10.6	-19.8	
									-14.5	-11.7	-4.3	5.1	12.4	-1.4	-11.4	-25.8	
									-18.1	-14.9	-8.0	1.5	8.1	-5.0	-15.0	-51.4	
									-21.8	-18.1	-11.8	-2.1	3.9	-8.7	-18.6	-77.0	
									-25.4	-21.2	-15.5	-5.6	-0.4	-12.3	-22.1	-102.6	
									-13.5	-10.8	-3.3	6.1	13.6	-0.4	-10.5	-18.8	
2.400	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια	2.916			-18.3	-15.0	-8.2	1.4	8.0	-5.2	-15.2	-52.6		
								-23.1	-19.2	-13.1	-3.4	2.3	-10.0	-19.9	-86.3		
								-25.5	-21.3	-15.6	-5.7	-0.5	-12.4	-22.2	-103.2		

Πίνακας 3-6. Συγκριτική απόδοση παθητικών συστημάτων για την κλιματική ζώνη Δ (καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια βάσει προτύπου CEN/ISO/TR 52016-2:2017).

Ζώνη Δ Κατάλληλη	Τεχνικά χαρακτηριστικά										Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )												Συνολικά κέρδη περ. θερ.	
	Υπονόμισμα (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλασίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμολόνωσης (cm)	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαρ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετος						
Τύπος παθητικού συστήματος	2.800	0.60	10%						14.1	13.3	23.0	28.4	42.8	25.2	13.2	159.9								
									16.8	15.6	25.0	29.7	43.8	27.0	15.7	173.5								
	2.200	0.40	10%							22.2	20.2	29.0	32.3	45.9	30.6	20.6	200.7							
										21.1	18.9	24.1	24.5	33.0	24.5	19.4	165.6							
	0.500	0.68								27.8	24.8	29.1	27.7	35.6	29.0	25.6	199.6							
										-18.1	-14.4	0.5	16.0	35.4	6.0	-16.0	9.3							
	Άμεσο κέρδος	2.200	0.60	20%						16.4	15.1	23.3	27.1	39.5	25.0	15.3	161.8							
										10.7	10.0	17.6	22.0	33.1	19.4	10.0	122.9							
										4.9	4.9	11.9	16.8	26.8	13.8	4.7	83.9							
										-0.8	-0.2	6.2	11.6	20.4	8.2	-0.6	45.0							
-6.6										-5.3	0.5	6.5	14.1	2.7	-5.8	6.0								
2.200	0.30	10%							13.6	12.6	20.5	24.5	36.3	22.2	12.6	142.3								
									4.9	4.9	11.9	16.8	26.8	13.8	4.7	83.9								
									-3.7	-2.7	3.4	9.1	17.2	5.4	-3.2	25.5								
									-12.4	-10.4	-5.2	1.3	7.7	-2.9	-11.1	-32.9								
0.10									-21.0	-18.0	-13.7	-6.4	-1.8	-11.3	-19.0	-91.3								

Ζώνη Δ Κατάλληλη	Τεχνικά χαρακτηριστικά										Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκτική επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )												Συνολικά κέρδη περ. θερ.	
	Υπονόμισμα (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλασίου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμολόνωσης (cm)	Jan	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαρ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ετος						
Τύπος παθητικού συστήματος	0.59	0.43							6	71.6	57.1	59.7	51.3	77.7	72.2	75.9	463.5							
									10	56.8	45.4	47.3	40.4	60.8	56.9	58.5	60.4	377.0						
	0.59	0.43								6	58.7	47.0	48.8	41.5	62.1	58.5	60.4	377.0						
										10	60.3	48.0	50.3	43.2	65.4	60.8	62.2	390.1						
	0.43	0.43								10	50.7	40.5	42.2	36.0	54.2	50.7	52.2	326.4						
										12	53.3	42.6	44.3	37.7	56.3	53.0	54.7	341.8						
	0.43	0.43								12	46.2	36.9	38.5	32.8	49.3	46.2	47.6	297.6						
										33.5	26.7	28.0	24.0	36.5	33.9	34.6	217.1							
	0.10									20.7	16.4	17.4	15.3	23.7	21.5	21.6	136.7							
										14.4	11.3	12.2	10.9	17.3	15.3	15.1	96.5							

\* Συνολικό για τα αδιαφανή στοιχεία με διαφανή θερμολόνωση

(συνεχίζεται)

(Πίνακας 3-6 συνέχεια)

Ζώνη Δ Κατάλη	Υπονομιμα παθητικού συστήματος	Τεχνικά χαρακτηριστικά						Μέσα μηνιαία καθαρά κέρδη ανά συλλεκακή επιφάνεια για την περίοδο θέρμανσης (kWh/m <sup>2</sup> )												Συνολικά κέρδη περ. θερ.
		U ανοιγματος (W/m <sup>2</sup> K)	g διαφανούς επιφάνειας	Ποσοστό πλαταίσου	Χρώμα εξωτερικής επιφάνειας & απορροφητικότητα α	Υλικό & πάχος	U αδιαφανούς στοιχείου * (W/m <sup>2</sup> K)	Διάμετρος θυρίδων (cm)	Αριθμός θυρίδων (στο κάτω μέρος)	Πάχος διαφανούς θερμωμούσης (cm)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Οκτ	Νοε	Δεκ			
Τύπος παθητικού συστήματος	2.200	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm	2.916	30	3		42.2	31.7	38.0	37.8	67.2	53.1	47.3	317.2			
										42.0	32.1	36.8	35.0	59.5	49.2	45.7	300.3			
										33.4	25.8	28.9	26.8	44.4	37.7	35.8	232.7			
										39.8	30.7	34.6	32.5	54.5	45.7	43.0	280.8			
										42.1	31.6	37.8	37.6	66.8	52.8	47.1	315.9			
										42.2	31.6	37.9	37.7	66.9	52.9	47.2	316.4			
										42.3	31.7	38.1	38.0	67.6	53.3	47.4	318.4			
										42.4	31.8	38.2	38.2	68.1	53.6	47.6	319.9			
										43.9	33.0	39.3	39.0	68.8	54.7	49.0	327.7			
										23.6	16.8	22.6	25.0	48.2	34.9	28.2	195.3			
										29.2	21.3	27.3	28.9	53.8	40.3	33.9	234.6			
										28.5	20.7	26.7	28.4	53.5	39.8	33.3	231.0			
14.9	9.7	15.4	19.0	39.8	26.6	19.4	144.7													
1.2	-1.3	4.1	9.6	26.0	13.4	5.5	58.4													
-12.5	-12.3	-7.1	0.1	12.3	0.1	-8.4	-27.8													
32.3	23.7	29.8	31.0	57.2	43.5	37.2	254.7													
14.3	9.2	14.9	18.6	39.1	26.0	18.8	140.9													
-3.8	-5.3	0.1	6.1	21.1	8.6	0.4	27.2													
-12.8	-12.6	-7.4	-0.1	12.0	-0.2	-8.7	-29.7													
Τύπος μέγας	2.200	0.60	10%	Μαύρο α=0.91	Σκυρόδεμα 15cm, επιχρισμένο από τη μία επιφάνεια Λιθοδομή 50cm	2.915	30	3		-14.0	-13.0	-4.3	3.4	12.9	-2.4	-12.6	-29.9			
										-5.6	-5.6	1.0	5.8	13.3	2.1	-5.0	6.0			
										0.4	-0.2	4.0	6.2	11.2	4.4	0.4	26.4			
										-2.7	-3.0	2.6	6.3	12.8	3.4	-2.4	17.0			
										-13.5	-12.5	-3.8	3.9	13.5	-1.9	-12.2	-26.5			
										-19.6	-17.6	-9.8	-1.4	6.7	-7.6	-17.7	-66.9			
										-17.7	-16.0	-7.9	0.3	8.8	-5.8	-16.0	-54.3			
										-18.2	-16.5	-8.5	-0.2	8.3	-6.3	-16.5	-57.9			
										-22.4	-19.9	-12.6	-3.9	3.6	-10.2	-20.3	-85.8			
										-26.6	-23.4	-16.8	-7.5	-1.0	-14.2	-24.2	-113.7			
										-30.8	-26.9	-20.9	-11.2	-5.7	-18.1	-28.0	-141.6			
										-17.1	-15.5	-7.3	0.8	9.5	-5.2	-15.4	-50.2			
-22.6	-20.1	-12.8	-4.0	3.4	-10.4	-20.5	-87.0													
-28.1	-24.7	-18.3	-8.8	-2.7	-15.6	-25.6	-123.8													
-30.9	-27.0	-21.0	-11.2	-5.8	-18.2	-28.1	-142.2													

## 4. Φυσικός δροσισμός

### 4.1. Τεχνικές φυσικού δροσισμού

Οι τεχνικές για τον φυσικό δροσισμό κτιρίων βασίζονται στην προστασία από τα ηλιακά κέρδη, την προστασία του κελύφους από την εξωτερική θερμοκρασία, τη συγκράτηση θερμότητας στη θερμική μάζα των δομικών στοιχείων καθώς και την αποβολή της μέσω αερισμού και μέσω ακτινοβολίας.

Πίνακας 4-1 Τεχνικές φυσικού δροσισμού

Μέθοδοι φυσικού δροσισμού	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Προστασία ανοιγμάτων και κελύφους από την ηλιακή ακτινοβολία	Συστήματα σκίασης	Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης ηλιακών κερδών	Απαιτείται προσεκτικός υπολογισμός και σχεδιασμός για να μην αποκόπτεται ο χειμερινός ηλιασμός Τα κινητά συστήματα απαιτούν τη συμμετοχή του χρήστη ή αυτοματισμούς Περιορισμός του φυσικού φωτισμού
	Χαμηλή διαπερατότητα υαλοστασίων	Μείωση του φορτίου ψύξης	Αν τοποθετηθεί σε νότιο προσανατολισμό, μπορεί να μειώσει τα χειμερινά ηλιακά κέρδη Δυσμενής επίπτωση στην επάρκεια φυσικού φωτισμού
	Χαμηλή απορροφητικότητα επιφανειών κελύφους (χρώμα και υφή)	Μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών Βελτιώνει τόσο το εσωκλίμα του κτιρίου όσο και το μικροκλίμα του περιβάλλοντα χώρου	Ανάγκη συντήρησης
Προστασία από την εξωτερική θερμοκρασία	Θερμομόνωση	Αισθητή μείωση της ζήτησης για ψύξη	Εγκλωβισμός εσωτερικών κερδών
Συγκράτηση θερμότητας στα δομικά στοιχεία	Εκτεθειμένες επιφάνειες στοιχείων υψηλής θερμοχωρητικότητας	Μείωση ψυκτικού φορτίου την ώρα αιχμής, λόγω χρονικής υστέρησης	Απαιτούνται στοιχεία με εμφανή υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας Μη αποτελεσματική σε περίπτωση που καλυφθεί από άλλα αντικείμενα ή υλικά Αρνητικές επιπτώσεις στον περιβάλλοντα χώρο σε περίπτωση που δεν έχει τοποθετηθεί εξωτερικά η θερμομόνωση



Μέθοδοι φυσικού δροσισμού	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εξάτμιση	Υδάτινα στοιχεία	Αποτελεσματική σε ξηρά κλίματα Εύκολη τεχνολογία	Δε λειτουργούν σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία τη θερινή περίοδο
Εξατμισοδιαπνοή	Φυτεύσεις	Αισθητή μείωση θερμοκρασίας τη θερινή περίοδο στον περιβάλλοντα χώρο με άμεσο αποτέλεσμα στη ζήτηση για ψύξη	Ανάγκη συντήρησης
Αποβολή θερμότητας με αερισμό και ακτινοβολία	Διαμπερής αερισμός	Άμεση απαγωγή θερμότητας από δομικά στοιχεία Βελτίωση της θερμικής άνεσης των χρηστών με την ενίσχυση της ροής αέρα	Απαιτούνται διαμπερή ανοίγματα Αν συμβαίνει κατά τη διάρκεια υψηλών θερμοκρασιών, μπορεί να αυξήσει τη ζήτηση σε φορτίο ψύξης
	Μονόπλευρος αερισμός	Εφαρμόσιμος σε οποιονδήποτε χώρο	Χαμηλή αποδοτικότητα στη μείωση των φορτίων ψύξης
	Ελκυσμός	Αποτελεσματικός τρόπος απαγωγής θερμού αέρα από το κτίριο Δεν εξαρτάται από υψηλές ταχύτητες ανέμου	Απαιτούνται επιπλέον ανοίγματα στην οροφή ή σε μεγάλο ύψος στις κατακόρυφες επιφάνειες του κελύφους
	Ηλιακή καμινάδα Καμινάδα αερισμού	Δυνατότητα ελκυσμού χωρίς εξάρτηση από τα ανοίγματα του κελύφους	Κατάληψη ωφέλιμου χώρου με αγωγό
	Διπλό αεριζόμενο κέλυφος	Συνδυασμός ηλιοπροστασίας και αερισμού Προστασία εσωτερικού κελύφους από κλιματικές επιδράσεις Δυνατότητα για αρχιτεκτονικές συνθέσεις	Απαιτούνται είτε αυτοματισμοί είτε συμμετοχή του χρήστη Απαιτείται επιπλέον χώρος και μεγάλο συνολικό πάχος του κελύφους
	Νυχτερινός αερισμός	Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης του ψυκτικού φορτίου μέσω αερισμού	Χρειάζεται συνδυασμός με συστήματα ασφαλείας Δεν λειτουργεί σε περίπτωση θερμικής αναστροφής Δεν είναι αποτελεσματικός σε περιπτώσεις υψηλής έντασης θερμικής νήσου τη νύχτα
	Νυχτερινή ακτινοβολία	Αποτελεσματικό για δομικά στοιχεία με υψηλό ποσοστό θέασης του ουρανού	Απαιτείται κινητή θερμομόωση Αποτελεσματική μόνο για χώρους σε επαφή με την οροφή του κτιρίου Δεν είναι αποτελεσματική σε περίπτωση νεφοσκεπούς ουρανού και υψηλής υγρασίας

## 4.2. Ηλιοπροστασία

### 4.2.1. Συστήματα ηλιοπροστασίας

Η επιλογή κατάλληλων συστημάτων ηλιοπροστασίας, οριζόντιων ή κατακόρυφων, σταθερών ή κινητών, διαφέρει, ανάλογα με τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων (Εικόνα 4-1). Η ηλιοπροστασία ανοιγμάτων με νότιο προσανατολισμό επιτυγχάνεται ικανοποιητικά με οριζόντια στεγάστρα πάνω από τα ανοίγματα, τα οποία εμποδίζουν την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και επιτρέπουν την έκθεση των ανοιγμάτων στον ήλιο τον χειμώνα. Το κατάλληλο μέγεθος του στεγάστρου εξαρτάται από το ύψος του ανοίγματος, όσο πιο ψηλό τόσο μακρύτερος πρόβολος χρειάζεται. Εναλλακτικά συστήματα είναι οι οριζόντιες περσίδες μπροστά από το άνοιγμα, οι αποστάσεις μεταξύ των οποίων εξαρτώνται από το πλάτος τους (όσο μεγαλύτερο το πλάτος των περσίδων, τόσο μεγαλύτερη μπορεί να είναι η απόσταση μεταξύ τους). Η ηλιοπροστασία των ανατολικών και δυτικών ανοιγμάτων και των ανοιγμάτων με ενδιάμεσο προσανατολισμό, επιτυγχάνεται με συνδυασμό οριζόντιων και κατακόρυφων σκιάστρων, λόγω της μικρής γωνίας ύψους του ήλιου τις πρωινές και απογευματινές ώρες<sup>6</sup>. Τα κατακόρυφα σκιάστρα μπορεί να τοποθετούνται κάθετα στην επιφάνεια του ανοίγματος ή με κλίση προς το νότο. Κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, ανάλογα με την διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι επιθυμητή είτε η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων είτε η αξιοποίηση των ηλιακών κερδών. Τα κινητά συστήματα ηλιοπροστασίας προσφέρουν την επιθυμητή ευελιξία ρυθμίσεων για την προσαρμογή στις ανάγκες σκίασης κατά τη διάρκεια της ημέρας ή του έτους ανάλογα με τη θέση του ήλιου, όμως χρειάζονται την παρέμβαση των χρηστών ή τη χρήση αυτοματισμών και έχουν αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης.

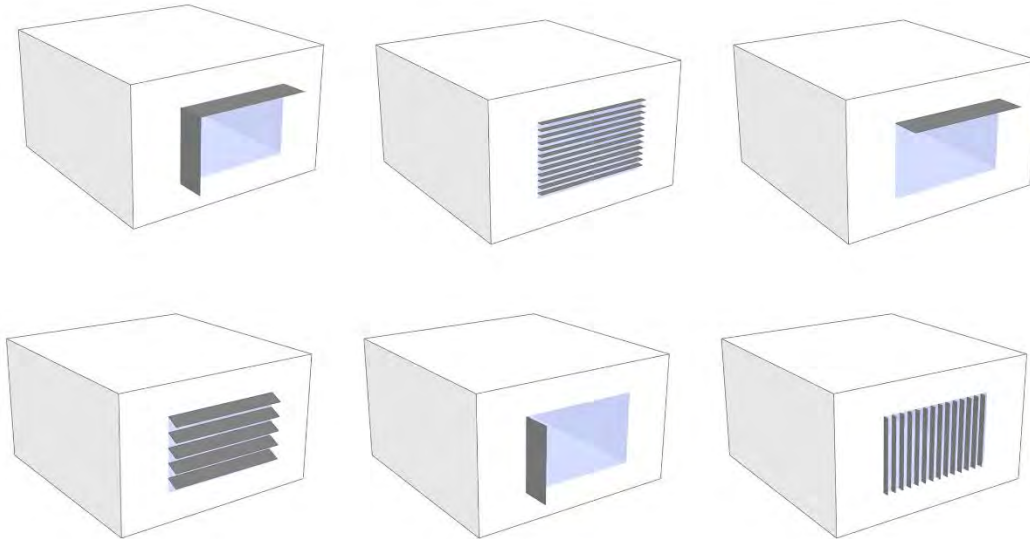
Τα συστήματα ηλιοπροστασίας των ανοιγμάτων μπορούν να διαχωριστούν σε οριζόντια σκιάδια, κατακόρυφα σκιάδια, σκιάδια υπό γωνία, κινητά σκιάδια και περιστρεφόμενες περσίδες. Το πλάτος των σκιάδιων και οι αποστάσεις μεταξύ τους καθορίζουν τις γωνίες σκίασμού (βλ. Εικόνα 4-3).

- Σταθεροί οριζόντιοι πρόβολοι προσφέρουν σταθερή ηλιοπροστασία τις ώρες της ημέρας κατά τις οποίες το ύψος ηλίου είναι μεγάλο, ενώ επιτρέπουν τον ηλιασμό των ανοιγμάτων όταν η γωνία ύψους του ήλιου είναι χαμηλή.
- Σταθερά κατακόρυφα σκιάδια και πλευρικές προεξοχές προσφέρουν ηλιοπροστασία σε ανοίγματα που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία τις ώρες κατά τις οποίες η γωνία ύψους ηλίου είναι χαμηλή και οι οριζόντιοι πρόβολοι δεν επαρκούν για να την εμποδίσουν. Αυτές είναι οι πρωινές και απογευματινές ώρες της θερινής περιόδου για τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα, αντίστοιχα.
- Κινητά σκιάδια και τέντες μπορούν να προσφέρουν πλήρη ηλιοπροστασία κατά τις ώρες που απαιτείται σκίαση και αναιρούνται για να επιτρέπουν αερισμό, φωτισμό και ηλιακά κέρδη, όταν είναι επιθυμητά.

<sup>6</sup> Εδώ πρέπει να αποσαφηνισθεί μια παρανόηση που υπάρχει για τα ανατολικά και δυτικά συστήματα στον Ελλαδικό χώρο, ότι μπορούν να σκιαστούν μόνο από κατακόρυφα σκιάστρα. Η θεώρηση αυτή προέρχεται από βιβλιογραφία για βορειότερες περιοχές, στις οποίες τα ηλιακά ύψη είναι χαμηλότερα. Στην Ελλάδα, το ηλιακό ύψος είναι αρκετά χαμηλό τις πρώτες και τις τελευταίες ώρες της ημέρας τις υπόλοιπες όμως πρωινές και απογευματινές ώρες είναι σχετικά υψηλό, με αποτέλεσμα να χρειάζεται συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων σκιάστρων για να σκιαστούν επαρκώς τα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα. Για περισσότερη ανάλυση, βλ. ενότητα 4.2.2 και 4.2.3

- Περιστρεφόμενες περσίδες μεταβάλλουν τη γωνία σκιασμού, ανάλογα με τις απαιτήσεις ηλιοπροστασίας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους.

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ηλιοπροστασίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις σκίασης ή ηλιασμού και από τον προσανατολισμό του ανοίγματος και αποτυπώνεται στους συντελεστές σκίασης που παρουσιάζονται στην [ενότητα 4.2.3](#).



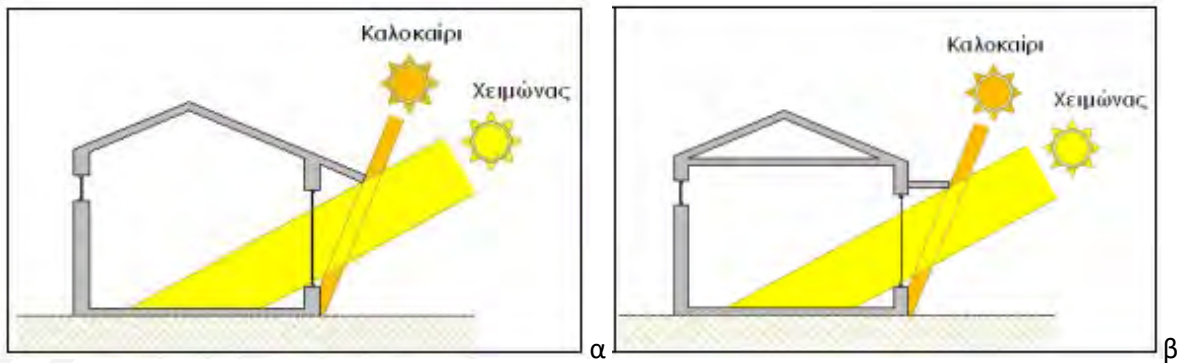
Εικόνα 4-1. Παραδείγματα διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας: οριζόντιοι πρόβολοι, οριζόντιες περσίδες, πλευρικές προεξοχές, κατακόρυφες περσίδες, κεκλιμένες περσίδες,

#### 4.2.2. Σχεδιασμός συστήματος ηλιοπροστασίας

Για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό του συστήματος ηλιοπροστασίας χρειάζεται να προσδιοριστεί ο στόχος σκίασης, ανάλογα με τη χρήση και την περίοδο λειτουργίας του κτιρίου. Η επιδίωξη ηλιοπροστασίας μπορεί να διαφοροποιηθεί σε δύο βασικές περιπτώσεις:

- Η πρώτη αφορά στην ανάγκη σκίασης για δροσισμό κατά την περίοδο ψύξης, σε περίπτωση εποχιακής χρήσης κτιρίου μόνο κατά τη θερινή περίοδο ή κτιρίου χωρίς απαιτήσεις θέρμανσης ή προσανατολισμού ανοίγματος που δεν επιτρέπει ηλιακά κέρδη τον χειμώνα. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων σκίασης χρειάζεται να επιτευχθεί χαμηλός συντελεστής σκίασης κατά την περίοδο ψύξης.
- Η δεύτερη αφορά στην ανάγκη σκίασης για δροσισμό κατά την περίοδο ψύξης και ανεμπόδιστο ηλιασμό κατά την περίοδο θέρμανσης, σε περίπτωση ετήσιας λειτουργίας του κτιρίου, με ανάγκες ψύξης και θέρμανσης, σε συνδυασμό με προσανατολισμό ανοιγμάτων κατάλληλο για την εκμετάλλευση ηλιακών κερδών. Για την κάλυψη αυτών των απαιτήσεων σκίασης και ηλιασμού χρειάζεται να επιτευχθεί χαμηλός συντελεστής σκίασης κατά την περίοδο ψύξης, σε συνδυασμό με υψηλό συντελεστή σκίασης κατά την περίοδο θέρμανσης.

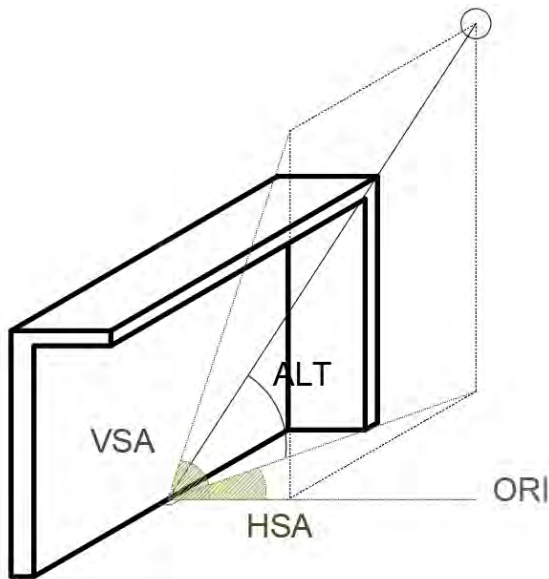
Ένα παράδειγμα της ημερήσιας διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ανεμπόδιστο άνοιγμα κατά το χειμερινό και το θερινό ηλιοστάσιο, και της επίδρασης στεγάστρων διαφορετικού μεγέθους παρουσιάζεται στην [ενότητα 4.2.4](#).



Εικόνα 4-2. Η εφαρμογή προβόλου κατάλληλου μήκους, είτε κεκλιμένου (α) ή οριζώντιου (β), σε ένα νότια προσανατολισμένο άνοιγμα μπορεί να εξασφαλίσει πλήρη σκίασμό τη θερινή περίοδο και απρόσκοπτο ηλιασμό κατά τη χειμερινή περίοδο.

Για τον σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση του συστήματος ηλιοπροστασίας ώστε να καλύπτει τις εποχιακές απαιτήσεις σκίασης ή και ηλιασμού του κτιρίου, ή ειδικότερες απαιτήσεις για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, χρειάζεται να υπολογιστούν οι γωνίες σκίασης, οι διαστάσεις των σκιαδίων και οι αποστάσεις μεταξύ τους, ανάλογα με τον τύπο του κάθε συστήματος. Η διαδικασία περιλαμβάνει τρία στάδια:

- Υπολογισμός γωνιών αζιμουθίου και ύψους ηλίου για τις ώρες μεταξύ των οποίων απαιτείται ηλιοπροστασία, από τα κατάλληλα ηλιακά διαγράμματα για το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης.
- Υπολογισμός οριζόντιων γωνιών σκίασης HSA και κατακόρυφων γωνιών σκίασης VSA, ανάλογα με τις γωνίες αζιμουθίου και ύψους ηλίου και τον προσανατολισμό του ανοίγματος. Οι γωνίες HSA και VSA παρουσιάζονται γραφικά στην [Εικόνα 4-3](#) και υπολογίζονται από τις σχέσεις [\[εξ. 4.1\]](#) και [\[εξ. 4.2\]](#) αντίστοιχα. Η οριζόντια γωνία σκίασης HSA (σε μοίρες) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του αζιμούθιου της επιφάνειας (ORI) και του ηλιακού αζιμούθιου (AZI). Η κατακόρυφη γωνία σκίασης VSA (σε μοίρες) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε σχέση με το επίπεδο της επιφάνειάς μας και το οριζόντιο επίπεδο και εξαρτάται από το ύψος του ήλιου (ALT) και την οριζόντια γωνία σκίασης (HSA). Ο [Πίνακας 4-2](#) περιλαμβάνει τον υπολογισμό των γωνιών HSA και VSA για διαφορετικούς προσανατολισμούς επιφανειών σε τέσσερις πόλεις τις Ελλάδας.
- Επιλογή συστήματος ηλιοπροστασίας και διαστασιολόγησή του ώστε να καλύπτει τις γωνίες σκίασης HSA και VSA σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Οι πρόβολοι, οριζόντιες περσίδες, κεκλιμένες περσίδες σε οριζόντιο άξονα κτλ. υπολογίζονται (μήκος και αποστάσεις) με βάση την κατακόρυφη γωνία σκίασης (VSA). Οι πλευρικές προεξοχές, κατακόρυφες περσίδες, κεκλιμένες περσίδες σε κατακόρυφο άξονα κτλ. υπολογίζονται με βάση την οριζόντια γωνία σκίασης (HSA).



Εικόνα 4-3. Προσδιορισμός οριζόντιας γωνίας σκιασμού ανοίγματος (HSA) και κατακόρυφης γωνίας σκιασμού ανοίγματος (VSA) με βάση τις γωνίες αζιμουθίου (AZI) και ύψους ηλίου (ALT) και τον προσανατολισμό του ανοίγματος (ORI). Πηγή: απόδοση από Szokolay (2007)

Η οριζόντια γωνία σκίασης (HSA) προκύπτει από τη σχέση:

$$HSA = |AZI - ORI| \leq 90^\circ \quad [\text{εξ. 4.1}]$$

όπου:  $HSA[^\circ]$ : η οριζόντια γωνία σκίασης

$ORI[^\circ]$ : ο προσανατολισμός (αζιμούθιο) της επιφάνειας, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού που περνά από το επίπεδο αναφοράς και την προβολή σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί του επιπέδου

$AZI[^\circ]$ : το ηλιακό αζιμούθιο (βλ. ενότητα 1.3.3.1)

Όταν  $|AZI - ORI| > 90^\circ$ , ο ήλιος δεν «βλέπει» τη συγκεκριμένη επιφάνεια, τη συγκεκριμένη ώρα και μέρα του χρόνου.

Η κατακόρυφη γωνία σκίασης (VSA) προκύπτει από τη σχέση:

$$VSA = \arctan \left[ \frac{\tan(ALT)}{\cos(HSA)} \right] \quad [\text{εξ. 4.2}]$$

Όπου:  $VSA[^\circ]$ : η κατακόρυφη γωνία σκίασης

$ALT[^\circ]$ : το ηλιακό ύψος (βλ. ενότητα 1.3.3.1)

$HSA[^\circ]$ : η οριζόντια γωνία σκίασης (βλ. [εξ. 4.1])

Οι τιμές των γωνιών HSA και VSA όπως υπολογίστηκαν από τις παραπάνω σχέσεις ([εξ. 4.1] και [εξ. 4.2]) και για επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό (BA, A, NA, N, ΝΔ, Δ και ΒΔ) σε τέσσερις πόλεις τις Ελλάδας για διάφορες ώρες της 21<sup>ης</sup> Ιουλίου παρουσιάζονται συνολικά στον σχετικό πίνακα (Πίνακας 4-2).

**Υπολογιστικό παράδειγμα**

Υπολογισμός σκιασμού ενός ανοίγματος από υφιστάμενο γειτονικό εμπόδιο και υφιστάμενο σκιάδιο

Για παράδειγμα, για γεωγραφικό πλάτος 38°B (Αθήνα), στις 12:00 το μεσημέρι, το ύψος του ήλιου τον Ιούνιο είναι ALT=77° και το Δεκέμβριο ALT=29°, ενώ το ηλιακό αζιμούθιο είναι AZI=-25° για το Ιούνιο και AZI=-7°, όπως φαίνεται από το αντίστοιχο ηλιακό διάγραμμα (Εικόνα 4-4). Επισημαίνεται ότι στο συγκεκριμένο διάγραμμα λαμβάνεται υπόψη η παραδοχή μέτρησης του αζιμουθίου με αφετηρία τον Νότο (βλ. **Παράρτημα Ε**). Για ένα επίπεδο με απόκλιση 10° από το νότο προς τη δύση (ORI=10°), η οριζόντια και η κατακόρυφη γωνία σκίασης στις 12:00 το μεσημέρι, είναι αντίστοιχα:

Για τον Ιούνιο:

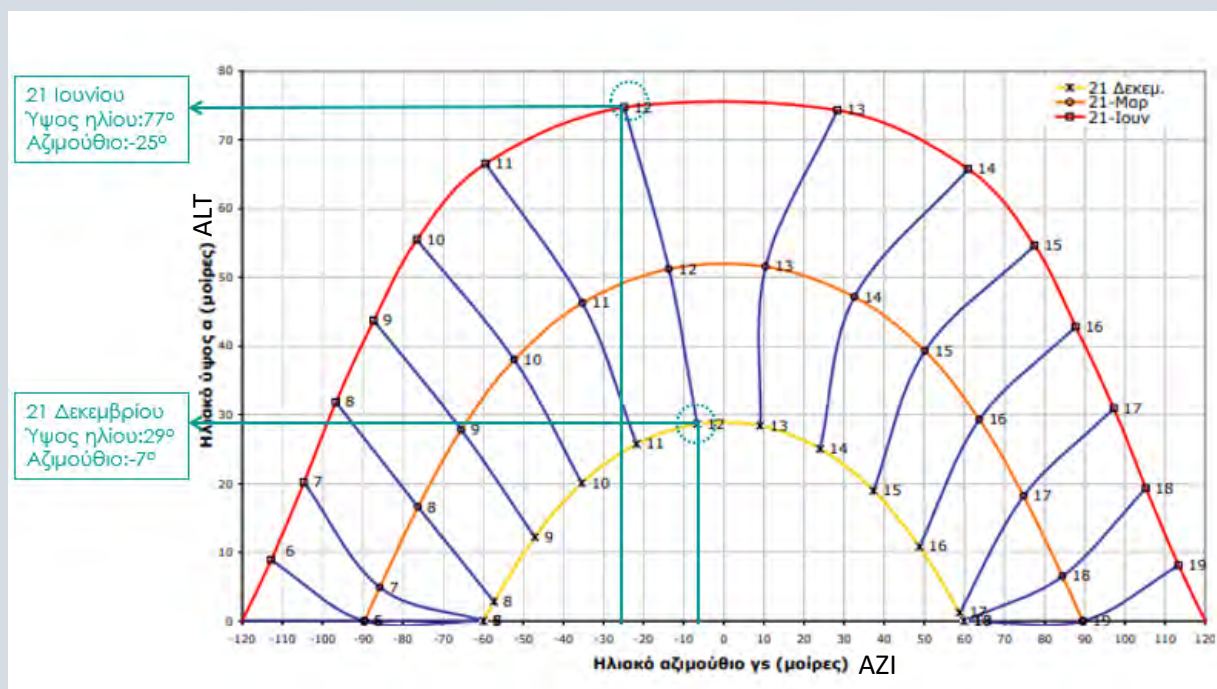
$$HSA = |-25^\circ - 10^\circ| = 35^\circ \quad VSA = \arctan \left[ \frac{\tan(77^\circ)}{\cos(10^\circ)} \right] = 77.19^\circ$$

$$VSA = \arctan \left[ \frac{\tan(77^\circ)}{\cos(35^\circ)} \right] = 79^\circ$$

Για το Δεκέμβριο:

$$HSA = |-7^\circ - 10^\circ| = 17^\circ \quad VSA = \arctan \left[ \frac{\tan(29^\circ)}{\cos(10^\circ)} \right] = 29.37^\circ$$

$$VSA = \arctan \left[ \frac{\tan(29^\circ)}{\cos(17^\circ)} \right] = 30^\circ$$



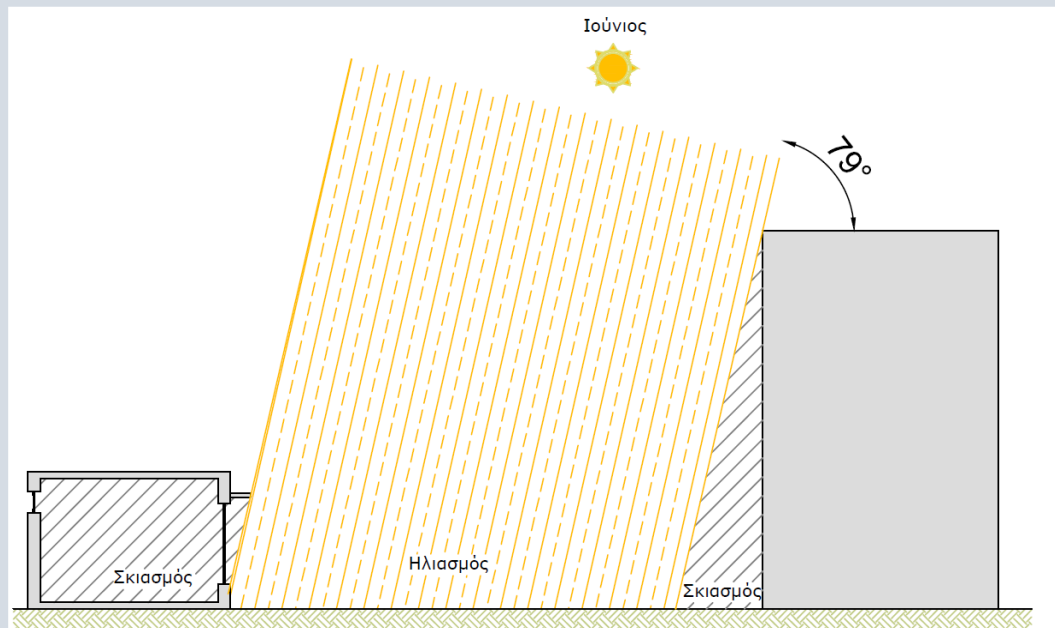
Εικόνα 4-4. Ύψος ηλίου και αζιμούθιο για Ιούνιο και Δεκέμβριο στις 12:00 για γεωγραφικό πλάτος 38° B

Γνωρίζοντας την κατακόρυφη γωνία σκίασης, μπορεί εύκολα να οριστεί ο σκιασμός των επιφανειών του κτιρίου ή/και των στοιχείων του, από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Έχοντας υπολογίσει τις γωνίες HSA και VSA, μπορούμε γραφικά, σε τομή του κτιρίου και του περιβάλλοντος χώρου του να υπολογίσουμε τον σκιασμό. Για παράδειγμα, για μια επιφάνεια κτιρίου με N-ΝΔ προσανατολισμό (ORI=10°) μπορεί να ορισθεί σχηματικά η σκίαση της επιφάνειας, το μεσημέρι, τόσο από γειτονικά εμπόδια, όσο και από τις αρχιτεκτονικές προεξοχές για τον Ιούνιο και το

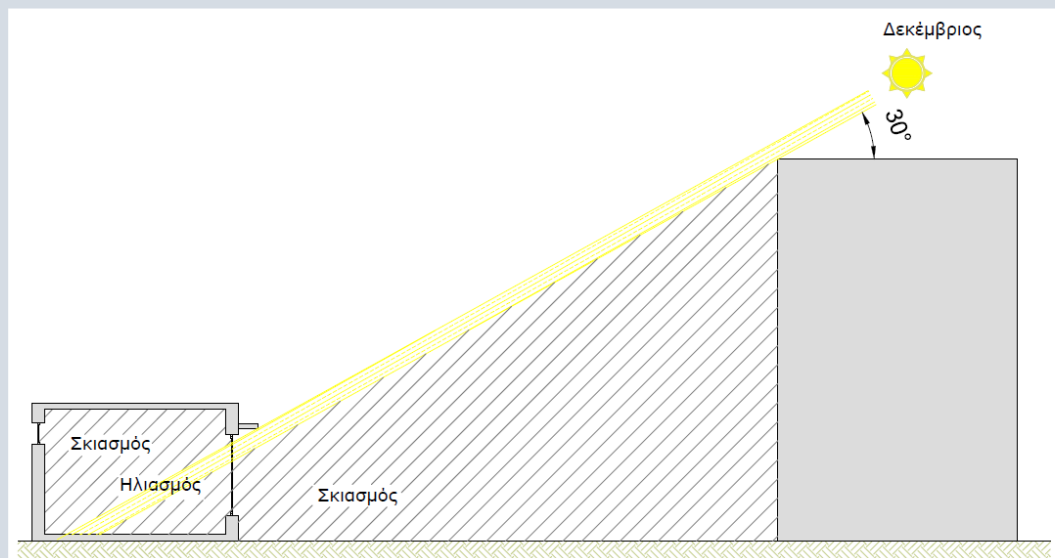
Δεκέμβριο αντίστοιχα, με βάση τις γωνίες HSA και VSA που υπολογίσθηκαν παραπάνω (Εικόνα 4-5 και Εικόνα 4-6).

Παρατηρείται ότι τον Ιούνιο, που ο ήλιος βρίσκεται ψηλά, η νότια - νοτιοδυτική επιφάνεια του κτιρίου μπορεί να σκιασθεί κυρίως από οριζόντιες προεξοχές. Το Δεκέμβριο, που ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά, τα ψηλά γειτονικά εμπόδια μπορεί να εμποδίσουν τον ηλιασμό της επιφάνειας του κτιρίου σε μεγάλο βαθμό.

Ο χειμερινός ηλιασμός του κτιρίου είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη κατά τη χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο. Για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων ηλιοπροστασίας που προσφέρουν σκίασμα στα ανοίγματα τη θερινή περίοδο, λαμβάνεται υπόψη ο θερινός ηλιασμός.

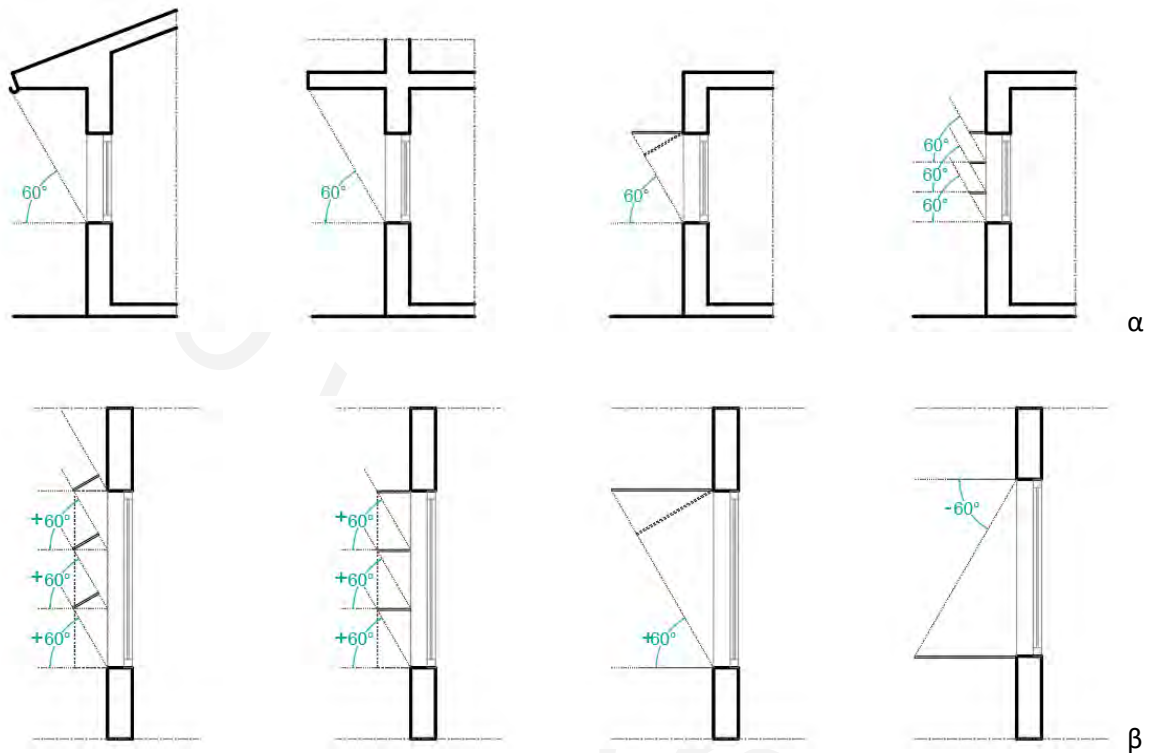


Εικόνα 4-5. Ηλιασμός και σκίασμος κτιρίου από τον περιβάλλοντα χώρο και από προεξοχές, για νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με  $10^\circ$  απόκλιση προς τη Δύση, στις 12:00 το μεσημέρι τον Ιούνιο, για γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ B$



Εικόνα 4-6. Ηλιασμός και σκίασμος κτιρίου από τον περιβάλλοντα χώρο και από προεξοχές, για νότια προσανατολισμένη επιφάνεια με  $10^\circ$  απόκλιση προς τη Δύση, στις 12:00 το μεσημέρι το Δεκέμβριο, για γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ B$

Για τον υπολογισμό του μήκους των σκιαδίων που απαιτούνται για την πλήρη σκίαση ενός ανοίγματος σε ορισμένη χρονική στιγμή χρησιμοποιείται, για την περίπτωση οριζόντιων σκιαδίων, η γωνία VSA και το σχέδιο τομής του ανοίγματος, ενώ για την περίπτωση κατακόρυφων σκιαδίων, η γωνία HSA και το σχέδιο κάτοψης του ανοίγματος.



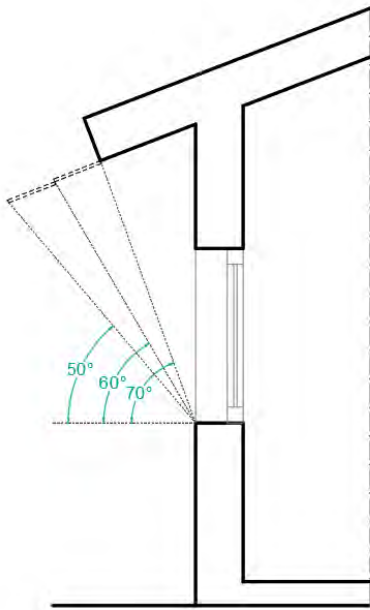
Εικόνα 4-7. α. Προσδιορισμός διαστάσεων διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας (οριζόντιου προβόλου και οριζόντιων περσίδων) με βάση την ίδια γωνία VSA και β. Προσδιορισμός διαστάσεων διαφορετικών συστημάτων ηλιοπροστασίας (πλευρικών κατακόρυφων σκιαδίων και κατακόρυφων περσίδων τοποθετημένων κάθιστα ή υπό γωνία με την επιφάνεια του ανοίγματος) με βάση την ίδια γωνία HSA. Πηγή: απόδοση από Szokolay (2007)

- Το απαιτούμενο μήκος οριζοντίου προβόλου υπολογίζεται σχεδιάζοντας την ευθεία που διέρχεται από το κατώτερο όριο του ανοίγματος και σχηματίζει την ορισμένη γωνία VSA με το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από αυτό το όριο (όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4-7α](#)).
- Οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ πολλαπλών οριζόντιων σκιαδίων σταθερού μήκους (περσίδες) υπολογίζονται σχεδιάζοντας την ευθεία που συνδέει την εξωτερική πλευρά του ανώτατου σκιαδίου με την εσωτερική πλευρά του αμέσως επόμενου σκιαδίου κάτω από το πρώτο, ώστε να σχηματίζει την ορισμένη γωνία VSA με το οριζόντιο επίπεδο, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4-7α](#), και στη συνέχεια σχεδιάζονται τα επόμενα σκιαδία με την ίδια απόσταση. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται και οι αποστάσεις των κεκλιμένων οριζόντιων περσίδων.
- Το απαιτούμενο μήκος κατακόρυφου πλευρικού σκιαδίου που βρίσκεται στο άκρο ενός ανοίγματος υπολογίζεται σχεδιάζοντας την ευθεία που διέρχεται από το απέναντι άκρο του ανοίγματος

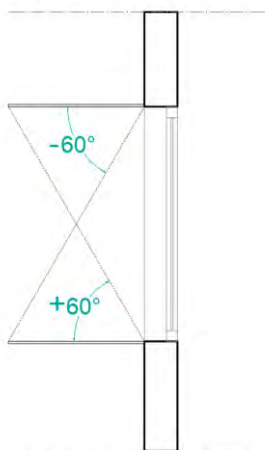


ώστε να σχηματίζει την ορισμένη γωνία HSA με το κατακόρυφο επίπεδο κάθετο στο άνοιγμα, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4-7β](#).

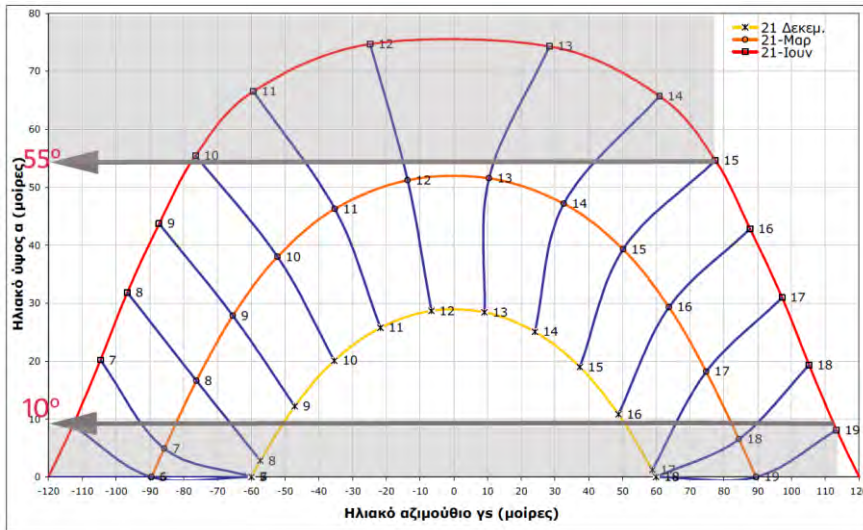
- Οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ πολλαπλών κατακόρυφων σκιαδίων σταθερού μήκους (περσίδες) υπολογίζονται σχεδιάζοντας την ευθεία που συνδέει την εξωτερική πλευρά του πρώτου σκιαδίου με την εσωτερική πλευρά του αμέσως επόμενου σκιαδίου, ώστε να σχηματίζει την ορισμένη γωνία HSA με το κατακόρυφο επίπεδο κάθετο στο άνοιγμα όπως φαίνεται στην [Εικόνα 4-7β](#) και στη συνέχεια σχεδιάζονται τα επόμενα σκιαδία με την ίδια απόσταση. Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται οι αποστάσεις των κατακόρυφων σκιαδίων, τοποθετημένων υπό γωνία.



*Εικόνα 4-8. Ενδεικτικός προσδιορισμός του απαιτούμενου μήκους σταθερού κεκλιμένου προβόλου ώστε να σκιάζει το άνοιγμα όταν η κατακόρυφη γωνία σκίασης VSA είναι  $70^\circ$  και του μήκους μιας κινητής επέκτασης του προβόλου ώστε να σκιάζει το άνοιγμα όταν η γωνία VSA είναι  $50^\circ$  ή  $60^\circ$  Πηγή: απόδοση από Szokolay (2007)*



*Εικόνα 4-9. Ενδεικτικός προσδιορισμός του απαιτούμενου μήκους πλευρικών κατακόρυφων σκιαδίων ώστε να σκιάζουν το άνοιγμα όταν η οριζόντια γωνία σκίασης HSA είναι  $60^\circ$  ή  $-60^\circ$  Πηγή: απόδοση από Szokolay (2007)*



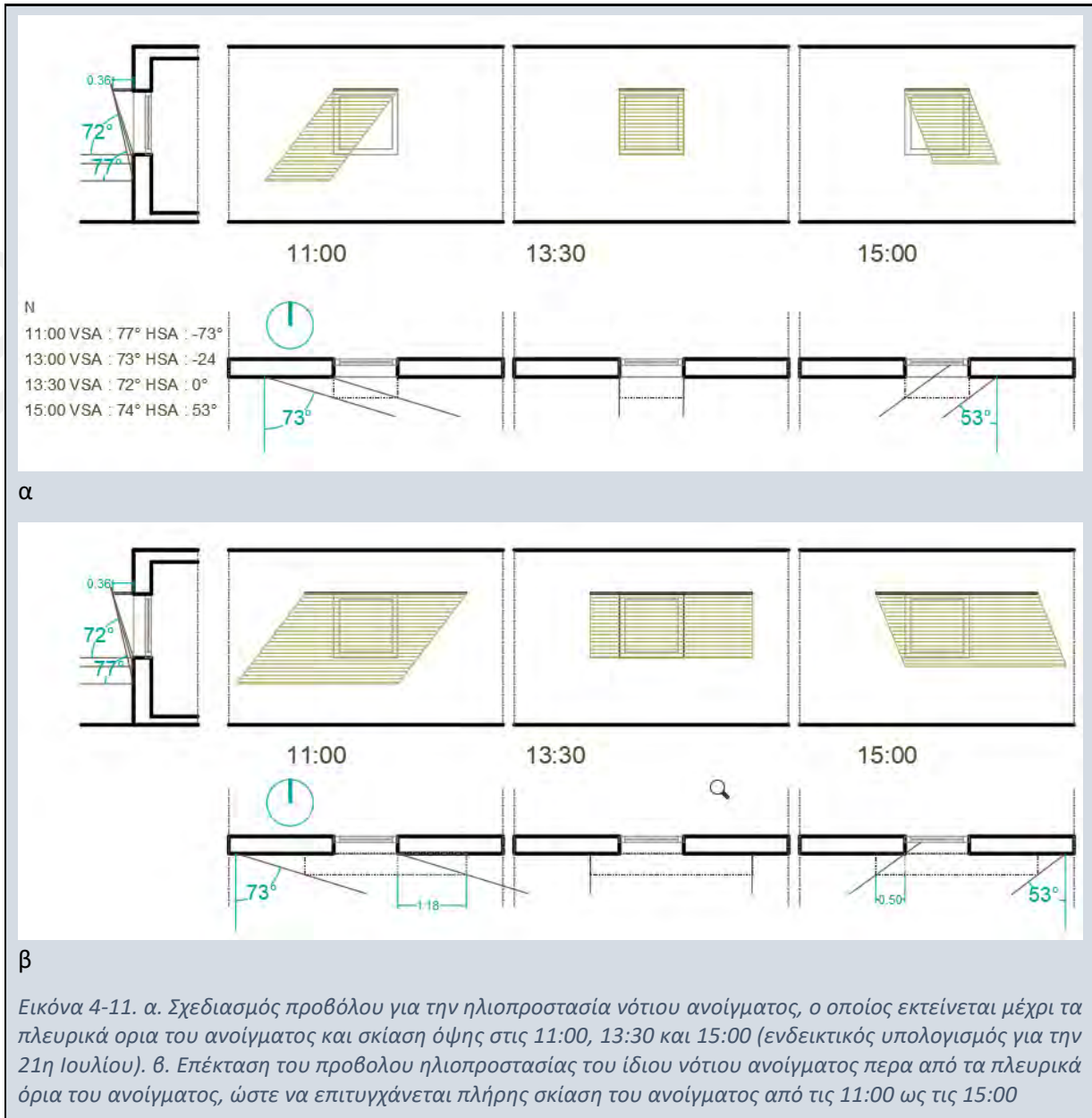
Εικόνα 4-10. Ηλιακά ύψη για το πρωί και για το απόγευμα του Ιουνίου, για γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  Β (Αθήνα)

Για τις περιοχές της Ελλάδας, τις πρωινές και απογευματινές ώρες της θερινής περιόδου, όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στα ανατολικά και δυτικά ανοίγματα αντίστοιχα, η γωνία ύψους ηλίου κυμαίνεται περίπου μεταξύ  $10^\circ$  και  $55^\circ$  το πρωί (7:00-10:00) και το απόγευμα (15:00-19:00) (Εικόνα 4-10), με αποτέλεσμα να απαιτούνται είτε δυσανάλογα επιμήκεις πρόβολοι (συνήθως μη εφικτοί) ή συνδυασμοί οριζόντιων και κατακόρυφων σκιαδίων για την επαρκή ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων αυτές τις ώρες. Επίσης η επέκταση των οριζόντιων προβόλων ή σκιαδίων πέρα από τα πλευρικά όρια ενός ανοίγματος μπορεί να διευρύνει την περίοδο πλήρους σκίασης του ανοίγματος, καλύπτοντας μεγαλύτερο εύρος γωνιών σκίασης. Ένας οριζόντιος πρόβολος που καλύπτει ακριβώς το πλάτος ενός ανοίγματος, μέχρι τα πλευρικά όριά του (Εικόνα 4-11α), μπορεί να υπολογιστεί με βάση την κατακόρυφη γωνία σκίασης (VSA) ώστε να σκιάζει πλήρως το άνοιγμα όταν η γωνία αζιμουθίου συμπίπτει με τον προσανατολισμό του ανοίγματος (HSA=0). Σε περίπτωση που ο πρόβολος επεκταθεί πέρα από τα πλευρικά όρια του ανοίγματος μπορεί να προσφέρει πλήρη σκίαση και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (HSA<0 και HSA>0), όπως φαίνεται στο παράδειγμα στην Εικόνα 4-11β.

#### Υπολογιστικό παράδειγμα

Υπολογισμός επέκτασης οριζόντιου προβόλου για την πλήρη σκίαση ανοίγματος σε ορισμένο χρονικό διάστημα

Για τον υπολογισμό της επέκτασης του προβόλου γραφικά, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα (Εικόνα 4-11), χρησιμοποιείται η οριζόντια γωνία σκίασης στο σχέδιο κάτοψης του ανοίγματος και συγκεκριμένα σχεδιάζεται η ευθεία που διέρχεται από κάθε άκρο του ανοίγματος με τη διεύθυνση της γωνίας HSA την ώρα της ημέρας κατά την οποία απαιτείται η πλήρης σκίαση (πχ για τις 11:00 και για τις 15:00), και επεκτείνεται η προβολή του οριζόντιου σκιάστρου μέχρι το σημείο τομής με την παραπάνω ευθεία. Η απαιτούμενη επέκταση του σκιάστρου για κάθε μία πλευρά του ανοίγματος καθορίζεται με βάση τη γωνία σκίασης για διαφορετικές ώρες (πχ πρωί και απόγευμα) και οι ώρες που λαμβάνονται υπόψη καθορίζουν το χρονικό εύρος της πλήρους σκίασης του ανοίγματος. Για την γραφική απεικόνιση της σκίασης του ανοίγματος στο κατακόρυφο επίπεδο (τομή) χρησιμοποιείται η ευθεία που διέρχεται από το εξωτερικό άκρο του σκιάστρου με τη διεύθυνση της κατακόρυφης γωνίας σκίασης (VSA) για την συγκεκριμένη ώρα.





Πίνακας 4-2 Υπολογισμός γωνιών HSA και VSA για ανοίγματα διαφορετικού προσανατολισμού σε χαρακτηριστικές ώρες της 21<sup>ης</sup> Ιουλίου, για την περιοχή της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης της Κοζάνης και του Ηρακλείου.

Ημερα: 21-Ιουλ Γεωγραφικό πλάτος, μήκος: 35.3338, 25.183A Πολη: Ηράκλειο			BA	A	NA	N	NA	Δ	BA			
			45	90	135	180	225	270	315			
Ωρα	Υψος Ηλίου (ALT)	Αζιμούθιο (AZI)	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA
7:00:00	6.65	69.68	24.7	7.3	-20.3	7.1	-65.3	15.6				
9:00:00	30.47	85.53	40.5	37.7	-4.5	30.5	-49.5	42.2	-94.5			
11:00:00	54.73	105.32	60.3	70.7	15.3	55.7	-29.7	58.4	-74.7	79.4	-119.7	
13:00:00	73.97	157.62	112.6		67.6	83.8	22.6	75.1	-22.4	75.1	-67.4	83.7
13:30:00	75	180.22			90.2		45.2	79.3	0.2	75.0	-44.8	79.2
15:00:00	64.43	240.3					105.3		60.3	76.7	15.3	65.2
17:00:00	40.93	267.03							87.0	86.6	42.0	49.4
19:00:00	16.64	283.4							103.4		58.4	29.7
Ημερα: 21-Ιουλ Γεωγραφικό πλάτος, μήκος: 38.050, 23.666 Πολη: Αθήνα			BA	A	NA	N	NA	Δ	BA			
			45	90	135	180	225	270	315			
Ωρα	Υψος Ηλίου (ALT)	Αζιμούθιο (AZI)	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA
7:00:00	6.46	69.12	24.1	7.1	-20.9	6.9	-65.9	15.5				
9:00:00	29.45	86.24	41.2	36.9	-3.8	29.5	-48.8	40.6	-93.8			
11:00:00	52.8	107.5	62.5	70.7	17.5	54.1	-27.5	56.0	-72.5	77.1	-117.5	
13:00:00	70.99	156.52	111.5		66.5	82.2	21.5	72.2	-23.5	72.5	-68.5	82.8
13:30:00	72.28	180.14			90.1		45.1	77.3	0.1	72.3	-44.9	77.2
15:00:00	63.96	233.3					98.3		53.3	73.7	8.3	64.2
17:00:00	41.92	263.65							83.7	83.0	38.7	49.0
19:00:00	18.42	281.74							101.7		56.7	31.3
Ημερα: 21-Ιουλ Γεωγραφικό πλάτος, μήκος: 40.516, 22.966 Πολη: Θεσσαλονίκη			BA	A	NA	N	NA	Δ	BA			
			45	90	135	180	225	270	315			
Ωρα	Υψος Ηλίου (ALT)	Αζιμούθιο (AZI)	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA
7:00:00	6.84	68.96	24.0	7.5	-21.0	7.3	-66.0	16.5				
9:00:00	29.05	87.19	42.2	36.9	-2.8	29.1	-47.8	39.6	-92.8			
11:00:00	51.5	109.84	64.8	71.3	19.8	53.2	-25.2	54.2	-70.2	74.9	-115.2	
13:00:00	68.51	157.34	112.3		67.3	81.4	22.3	70.0	-22.7	70.0	-67.7	81.5
13:30:00	69.81	180.26			90.3		45.3	75.5	0.3	69.8	-44.7	75.4
15:00:00	62.82	228.36					93.4		48.4	71.2	3.4	62.9
17:00:00	42.13	260.94							80.9	80.1	35.9	48.2
19:00:00	19.42	280.5							100.5		55.5	31.9
Ημερα: 21-Ιουλ Γεωγραφικό πλάτος, μήκος: 40.3, 21.783 Πολη: Κοζάνη			BA	A	NA	N	NA	Δ	BA			
			45	90	135	180	225	270	315			
Ωρα	Υψος Ηλίου (ALT)	Αζιμούθιο (AZI)	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA	HSA	VSA
7:00:00	5.92	68.21	23.2	6.4	-21.8	6.4	-66.8	14.7				
9:00:00	28.14	86.33	41.3	35.5	-3.7	28.2	-48.7	39.0	-93.7			
11:00:00	50.72	108.45	63.5	69.9	18.5	52.2	-26.6	53.8	-71.6	75.5	-116.6	
13:00:00	68.34	154.28	109.3		64.3	80.2	19.3	69.5	-25.7	70.3	-70.7	82.5
13:30:00	70.03	180.44			90.4		45.4	75.7	0.4	70.0	-44.6	75.5
15:00:00	63.63	226.7					91.7		46.7	71.2	1.7	63.6
17:00:00	43.05	260.23							80.2	79.7	35.2	48.8
19:00:00	20.27	279.87							99.9		54.9	32.7

### 4.2.3. Συντελεστές σκίασης

Ο συντελεστής σκίασης χαρακτηρίζει το λόγο της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα άνοιγμα με σύστημα ηλιοπροστασίας προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο ίδιο άνοιγμα χωρίς σύστημα ηλιοπροστασίας (βλ. και ΤΟΤΕΕ 20701-1: 2022, ενότητα 4.3).

Οι τιμές των συντελεστών σκίασης που προκύπτουν από την εφαρμογή τριών τύπων συστημάτων ηλιοπροστασίας για ανοίγματα διαφορετικού προσανατολισμού δίνονται στους σχετικούς πίνακες (Πίνακας 4-3, Πίνακας 4-4, Πίνακας 4-5).

Πίνακας 4-3 Συντελεστές σκίασης ( $F_{sh}$ ) ανοιγμάτων από σύστημα ηλιοπροστασίας με συνδυασμό σταθερών οριζόντιων και κατακόρυφων σκιαδίων πλάτους 0,40μ.

τύπος συστήματος ηλιοπροστασίας	πλάτος σκιαδίου (μ)	γωνία σκίασης (°)	περίοδος	Βόρειος προσανατολισμός	Βορειοανατολικός προσανατολισμός	Ανατολικός προσανατολισμός	Νοτιοανατολικός προσανατολισμός	Νότιος προσανατολισμός	Νοτιοδυτικός προσανατολισμός	Δυτικός προσανατολισμός	Βορειοδυτικός προσανατολισμός
συνδυασμός	0.4	30	θερμάνσης	0.39	0.36	0.32	0.40	0.37	0.42	0.34	0.35
			ψύξης	0.37	0.32	0.38	0.30	0.25	0.29	0.39	0.33
συνδυασμός	0.4	35	θερμάνσης	0.35	0.33	0.29	0.37	0.32	0.38	0.28	0.33
			ψύξης	0.34	0.29	0.35	0.25	0.22	0.25	0.34	0.29
συνδυασμός	0.4	40	θερμάνσης	0.29	0.27	0.23	0.30	0.24	0.30	0.21	0.26
			ψύξης	0.28	0.24	0.28	0.19	0.17	0.19	0.27	0.23
συνδυασμός	0.4	45	θερμάνσης	0.26	0.24	0.19	0.25	0.19	0.26	0.18	0.24
			ψύξης	0.27	0.21	0.24	0.16	0.15	0.16	0.24	0.21
συνδυασμός	0.4	50	θερμάνσης	0.21	0.20	0.15	0.20	0.14	0.21	0.14	0.19
			ψύξης	0.22	0.17	0.19	0.12	0.11	0.12	0.19	0.17
συνδυασμός	0.4	55	θερμάνσης	0.17	0.16	0.11	0.15	0.09	0.16	0.11	0.15
			ψύξης	0.17	0.13	0.14	0.09	0.09	0.09	0.14	0.13
συνδυασμός	0.4	60	θερμάνσης	0.12	0.11	0.08	0.11	0.05	0.11	0.08	0.12
			ψύξης	0.12	0.09	0.10	0.06	0.07	0.06	0.10	0.09

Πίνακας 4-4 Συντελεστές σκίασης ( $F_{sh}$ ) ανοιγμάτων από σύστημα ηλιοπροστασίας οριζόντιων σκιαδίων, πλάτους 0,40μ.

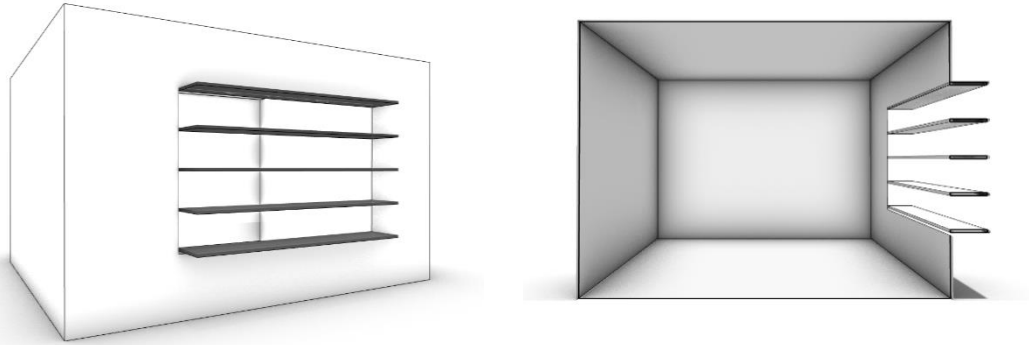
τύπος συστήματος ηλιοπροστασίας	πλάτος σκιαδίου (μ)	γωνία σκίασης (°)	περίοδος	Βόρειος προσανατολισμός	Βορειοανατολικός προσανατολισμός	Ανατολικός προσανατολισμός	Νοτιοανατολικός προσανατολισμός	Νότιος προσανατολισμός	Νοτιοδυτικός προσανατολισμός	Δυτικός προσανατολισμός	Βορειοδυτικός προσανατολισμός
οριζόντια σκιάδια	0.4	30	θερμάνσης	0.65	0.64	0.62	0.60	0.58	0.60	0.62	0.64
			ψύξης	0.66	0.61	0.56	0.49	0.45	0.48	0.56	0.61
οριζόντια σκιάδια	0.4	35	θερμάνσης	0.63	0.63	0.61	0.58	0.57	0.58	0.60	0.63
			ψύξης	0.65	0.60	0.54	0.46	0.43	0.45	0.54	0.60
οριζόντια σκιάδια	0.4	40	θερμάνσης	0.53	0.52	0.51	0.48	0.46	0.48	0.51	0.52
			ψύξης	0.53	0.49	0.44	0.36	0.34	0.36	0.44	0.48
οριζόντια σκιάδια	0.4	45	θερμάνσης	0.58	0.57	0.52	0.46	0.44	0.46	0.51	0.56
			ψύξης	0.61	0.53	0.45	0.37	0.37	0.37	0.45	0.52
οριζόντια σκιάδια	0.4	50	θερμάνσης	0.50	0.49	0.44	0.37	0.36	0.38	0.44	0.49
			ψύξης	0.52	0.45	0.37	0.29	0.29	0.29	0.37	0.45
οριζόντια σκιάδια	0.4	55	θερμάνσης	0.45	0.44	0.38	0.31	0.28	0.31	0.37	0.43
			ψύξης	0.46	0.39	0.31	0.25	0.26	0.25	0.31	0.39
οριζόντια σκιάδια	0.4	60	θερμάνσης	0.35	0.34	0.30	0.24	0.20	0.24	0.30	0.34
			ψύξης	0.35	0.30	0.24	0.19	0.20	0.19	0.24	0.30

Πίνακας 4-5 Συντελεστές σκίασης ( $F_{sh}$ ) ανοιγμάτων από σύστημα ηλιοπροστασίας κατακόρυφων σκιαδίων, πλάτους 0,40μ.

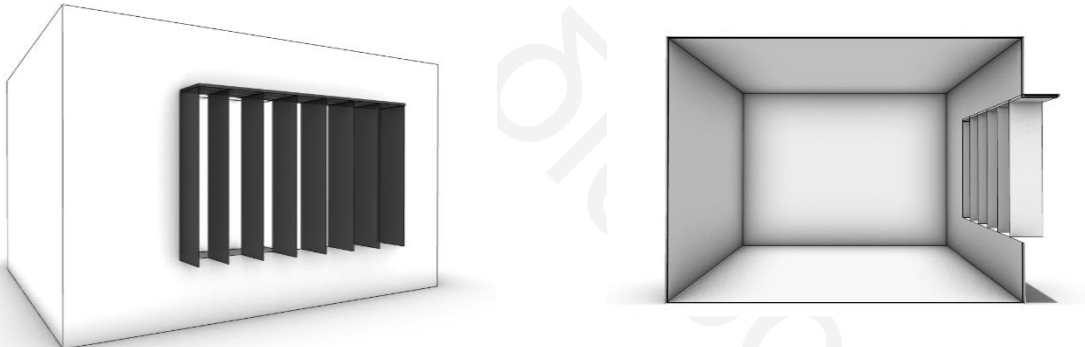
τύπος συστήματος ηλιοπροστασίας	πλάτος σκιαδίου (μ)	γωνία σκίασης (°)	περίοδος	Βόρειος προσανατολισμός	Βορειοανατολικός προσανατολισμός	Ανατολικός προσανατολισμός	Νοτιοανατολικός προσανατολισμός	Νότιος προσανατολισμός	Νοτιοδυτικός προσανατολισμός	Δυτικός προσανατολισμός	Βορειοδυτικός προσανατολισμός
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	30	θερμάνσης	0.51	0.48	0.43	0.56	0.55	0.59	0.44	0.51
			ψύξης	0.49	0.44	0.55	0.50	0.41	0.49	0.56	0.46
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	35	θερμάνσης	0.47	0.46	0.40	0.52	0.50	0.54	0.38	0.45
			ψύξης	0.46	0.41	0.53	0.46	0.38	0.46	0.52	0.41
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	40	θερμάνσης	0.44	0.42	0.35	0.49	0.45	0.50	0.33	0.42
			ψύξης	0.44	0.37	0.50	0.42	0.35	0.42	0.49	0.37
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	45	θερμάνσης	0.39	0.37	0.29	0.44	0.40	0.46	0.28	0.36
			ψύξης	0.38	0.31	0.45	0.37	0.31	0.37	0.45	0.31
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	50	θερμάνσης	0.35	0.34	0.25	0.39	0.36	0.42	0.24	0.33
			ψύξης	0.34	0.27	0.41	0.33	0.27	0.33	0.41	0.27
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	55	θερμάνσης	0.31	0.30	0.22	0.35	0.31	0.38	0.21	0.30
			ψύξης	0.31	0.24	0.37	0.29	0.24	0.29	0.37	0.24
κατακόρυφα σκιάδια	0.4	60	θερμάνσης	0.28	0.26	0.18	0.31	0.26	0.33	0.17	0.26
			ψύξης	0.28	0.21	0.33	0.25	0.21	0.25	0.33	0.21

Ενδεικτικά παραδείγματα των τριών τύπων ηλιοπροστασίας, οριζόντιες περσίδες, κατακόρυφες περσίδες και συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων σκιαδίων, φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 4-13, Εικόνα 4-14, Εικόνα 4-15). Ο υπολογισμός των συντελεστών σκίασης από τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια καθορισμένου ανοίγματος λόγω συστήματος ηλιοπροστασίας, έγινε μέσω δυναμικής προσομοίωσης και λήφθηκαν υπόψη:

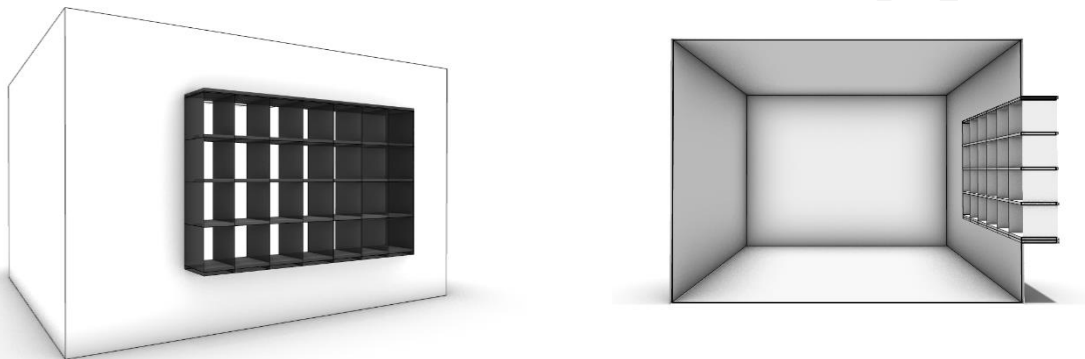
- Προσανατολισμός ανοίγματος: Βόρειος, Βορειοανατολικός, Ανατολικός, Νοτιοανατολικός, Νότιος, Νοτιοδυτικός, Δυτικός και Βορειοδυτικός
- Πλάτος σκιαδίων: 0,20m, 0,40m, 0,60m
- Γωνία σκιασμού (HSA, VSA): 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°
- Περίοδος θέρμανσης: από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο
- Περίοδος ψύξης: Από Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο



Εικόνα 4-13 Οριζόντια σκιάδια πλάτους 0.40m που σχηματίζουν γωνία σκιασμού (VSA) 45°



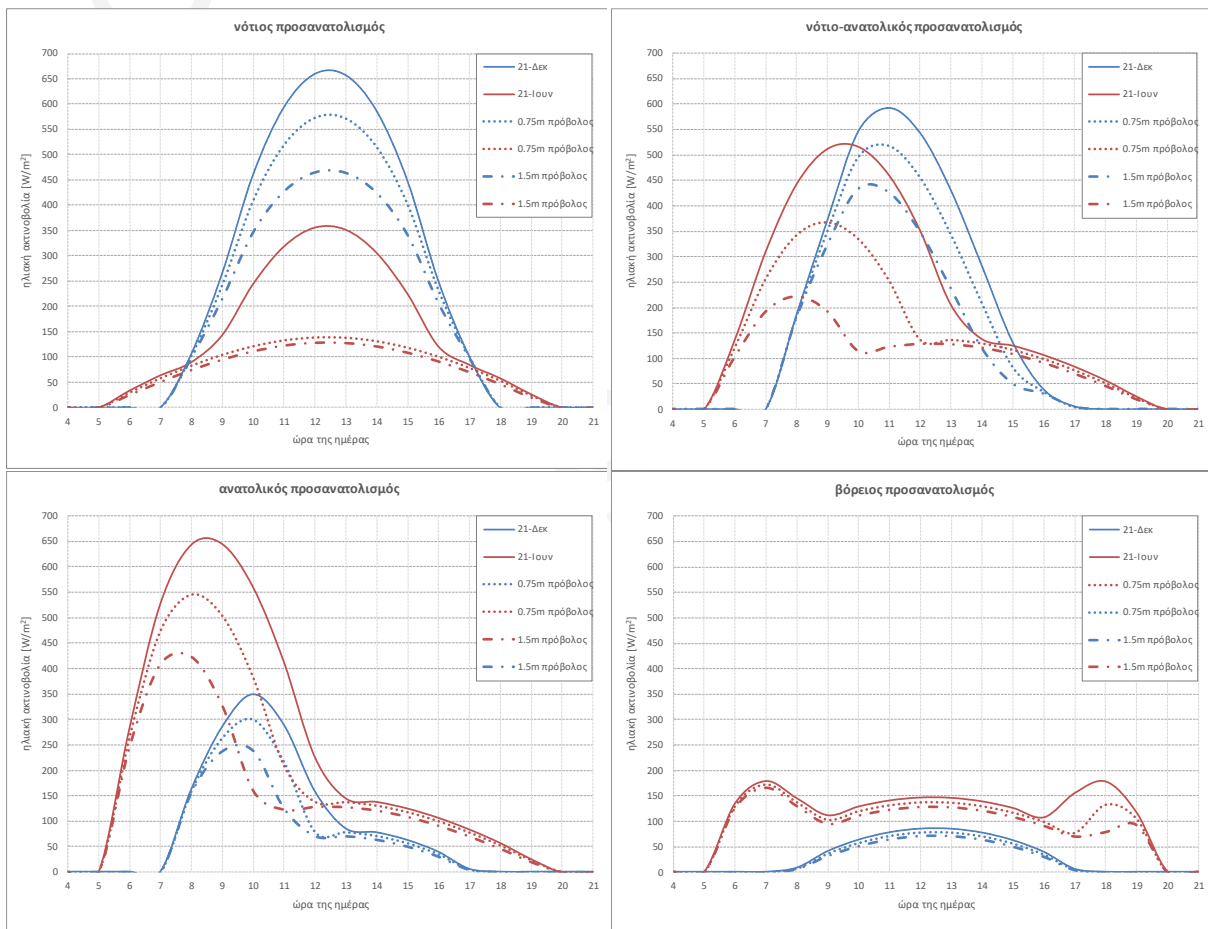
Εικόνα 4-14 Κατακόρυφα σκιάδια πλάτους 0.40m που σχηματίζουν γωνία σκιασμού (HSA) 45°



Εικόνα 4-15 Συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων σκιαδίων που σχηματίζουν γωνίες σκιασμού (HSA & VSA) 45°

#### 4.2.4. Ηλιοπροστασία ανοιγμάτων και ενεργειακό ισοζύγιο

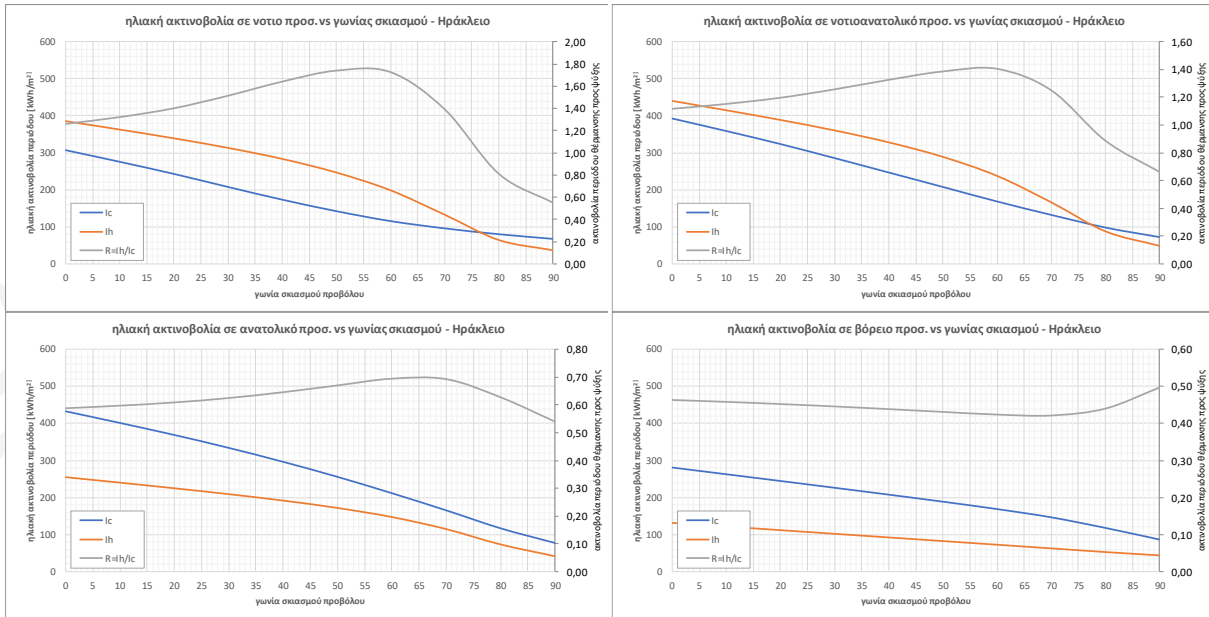
Στα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό, η χρήση οριζόντιων σκιάστρων, δίνει τη δυνατότητα σημαντικής μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη θερινή περίοδο, με πολύ μικρότερη μείωση κατά τη χειμερινή περίοδο. Στην **Εικόνα 4-16**, στα διαγράμματα ωριαίας διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε άνοιγμα σε γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  (Αθήνα), φαίνεται πως με πρόβολο μήκους 0,75m και τυπικό ύψος ορόφου 3m, η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του ανοίγματος ύψους 2m περιορίζεται δραστικά την 21<sup>η</sup> Ιουνίου ενώ αντίθετα η μείωση της κατά την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου είναι πολύ μικρότερη. Περαιτέρω αύξηση του μήκους του προβόλου σε 1,50m, φαίνεται πως δεν έχει επίδραση την 21<sup>η</sup> Ιουνίου, ενώ αντίθετα μειώνει και άλλο την διαθέσιμη ακτινοβολία την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου.



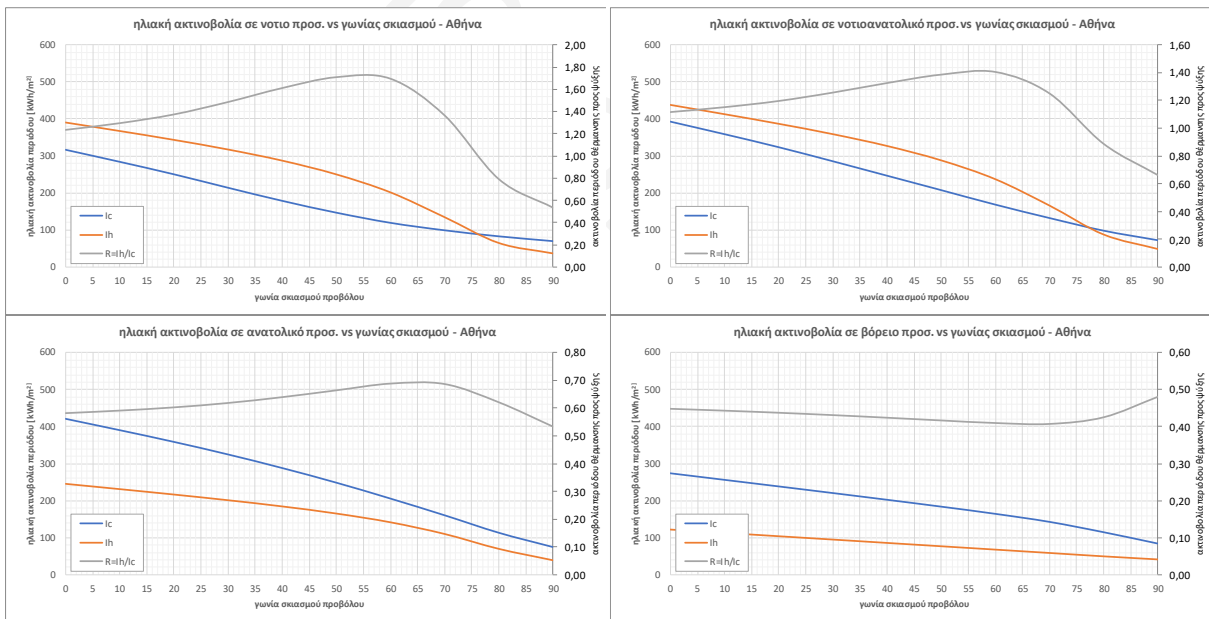
Εικόνα 4-16: Ωριαία διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού, την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου και την 21<sup>η</sup> Ιουνίου, για επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό (N, NA, A και B) και ένδειξη της επίδρασης δύο συστημάτων ηλιοπροστασίας για γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  (Αθήνα).

Στις επόμενες εικόνες (**Εικόνα 4-17 - Εικόνα 4-20**) δίνεται το σύνολο της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και της περιόδου ψύξης καθώς και του λόγου  $R_{sh}$  (βλ. **ενότητα 2.1.2**) για επιφάνειες με νότιο, νοτιοανατολικό, ανατολικό/δυτικό και βόρειο προσανατολισμό, για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις στις κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, ως συνάρτηση της γωνίας σκιασμού από πρόβολο.

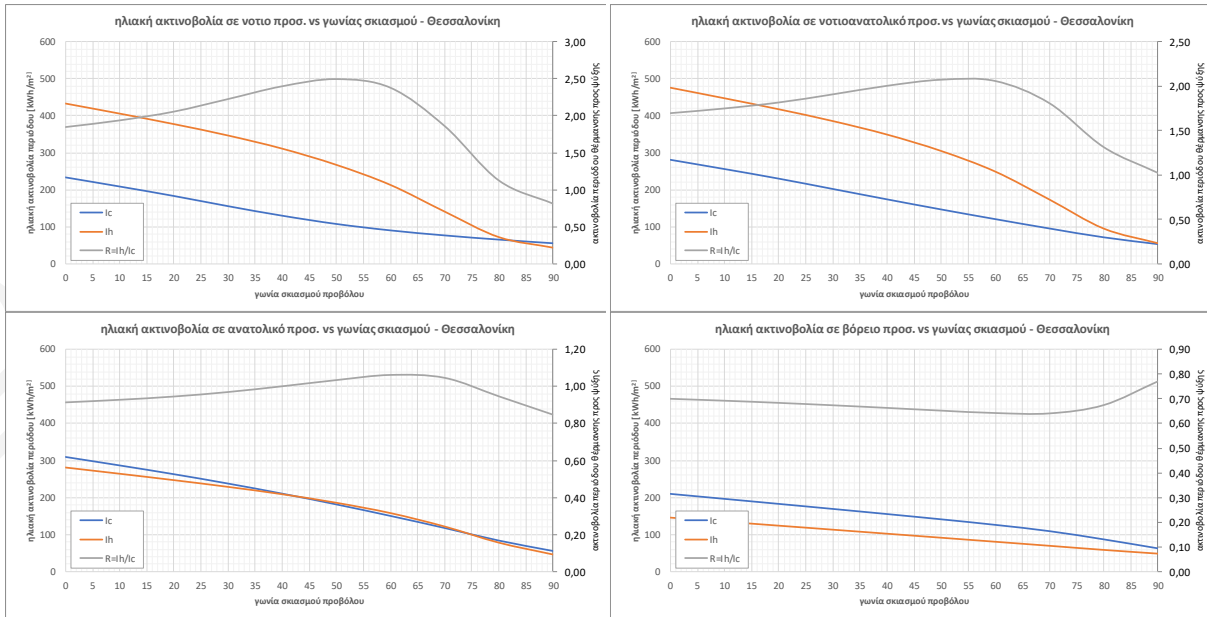




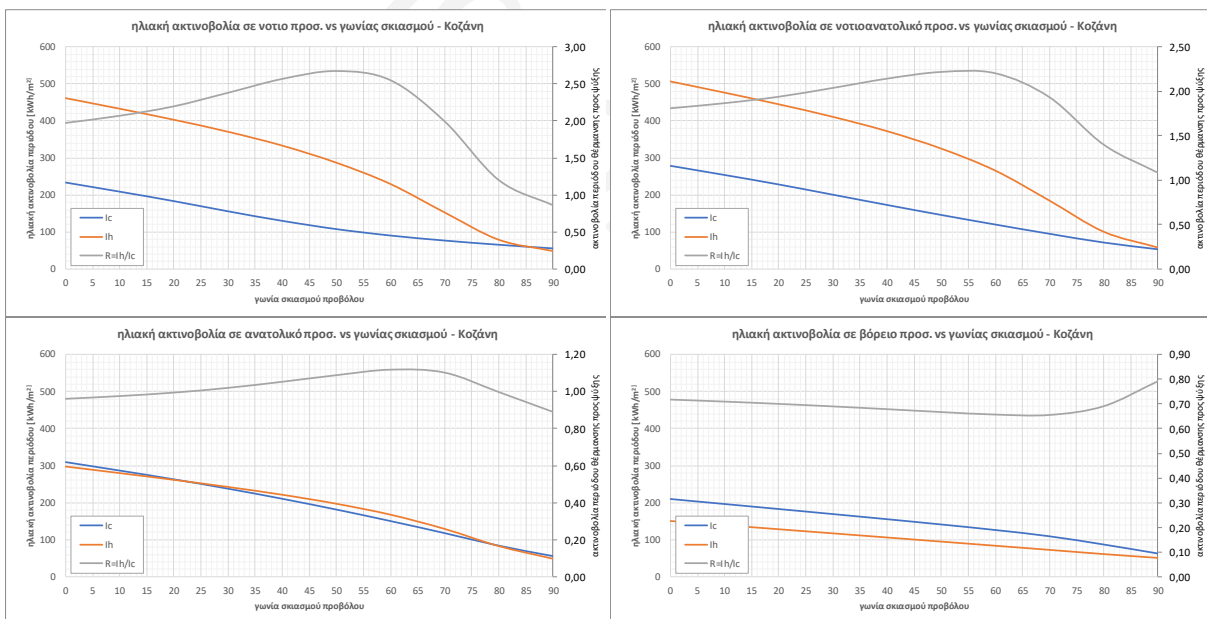
Εικόνα 4-17: Διακύμανση της συνολικής διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης  $I_h$ , κατά την περίοδο ψύξης  $I_c$ , και του λόγου  $R_{sh}$  σε επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό, σε σχέση με τη γωνία σκιασμού (όπως ορίζεται στην 20701-1) που προκύπτει από πρόβολο, στο Ηράκλειο



Εικόνα 4-18 Διακύμανση της συνολικής διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης  $I_h$ , κατά την περίοδο ψύξης  $I_c$ , και του λόγου  $R_{sh}$  σε επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό, σε σχέση με τη γωνία σκιασμού (όπως ορίζεται στην 20701-1) που προκύπτει από πρόβολο, στην Αθήνα.



Εικόνα 4-19: Διακύμανση της συνολικής διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης  $I_h$ , κατά την περίοδο ψύξης  $I_c$ , και του λόγου  $R_{sh}$  σε επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό, σε σχέση με τη γωνία σκίασμού (όπως ορίζεται στην 20701-1) που προκύπτει από πρόβολο, Θεσσαλονίκη.



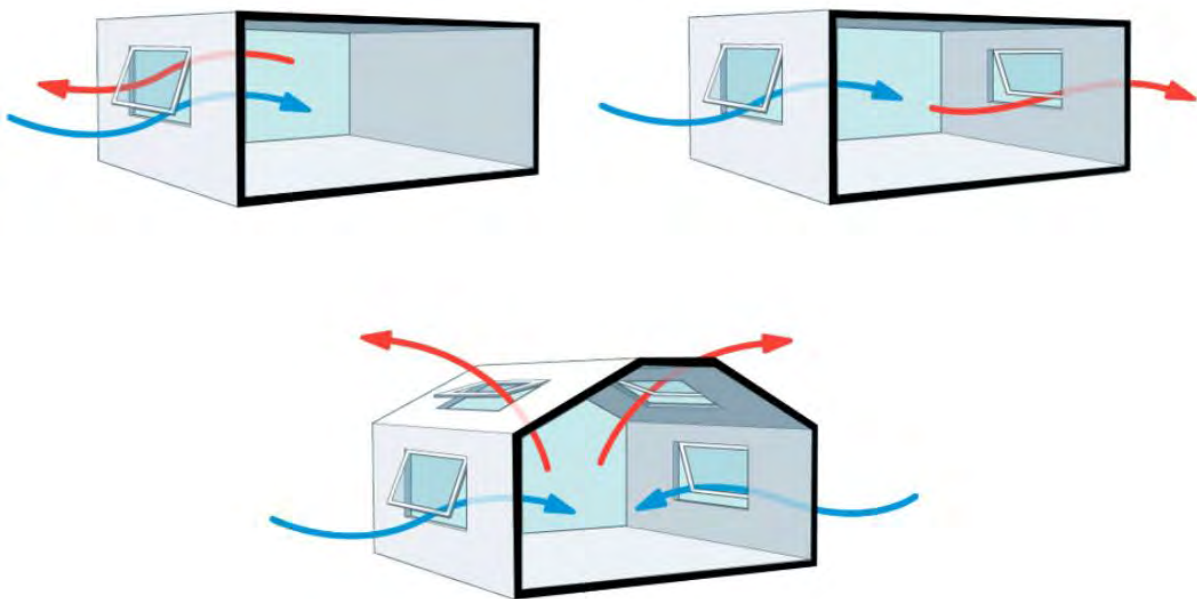
Εικόνα 4-20: Διακύμανση της συνολικής διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης  $I_h$ , κατά την περίοδο ψύξης  $I_c$ , και του λόγου  $R_{sh}$  σε επιφάνειες με διαφορετικό προσανατολισμό, σε σχέση με τη γωνία σκίασμού (όπως ορίζεται στην 20701-1) που προκύπτει από πρόβολο, Κοζάνη.

### 4.3. Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός μπορεί να αξιοποιηθεί για την ανανέωση του εσωτερικού αέρα, την απομάκρυνση ρυπογόνων στοιχείων, τον έλεγχο υγρασίας, αλλά και τη διεύρυνση της ζώνης θερμικής άνεσης, καθώς και το δροσισμό των δομικών στοιχείων του κτιρίου. Ο σωστός σχεδιασμός για την επίτευξη φυσικού αερισμού μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκος, καθώς επηρεάζεται από το κλίμα της περιοχής, την τοποθέτηση των ανοιγμάτων στο κτίριο, τη χωροθέτηση των δωματίων και τη γενικότερη μορφολογία του κτιρίου. Για την σωστή κατανόηση της συμπεριφοράς του φυσικού αερισμού, είναι σημαντικό να αναλυθούν οι δύο βασικοί τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται το φαινόμενο του φυσικού αερισμού σε ένα κτίριο:

- Λόγω ανεμοπίεσης (wind driven), ο οποίος βασίζεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ δύο πλευρών του κτιρίου, η οποία ωθεί τη μετακίνηση αέρα από την πλευρά υψηλής πίεσης προς την πλευρά χαμηλής πίεσης.
- Λόγω ελκυσμού (buoyancy driven), ο οποίος βασίζεται στη μετακίνηση θερμής μάζας αέρα προς τα άνω με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι προϋποθέσεις (απελευθερώνεται χώρος) για να εισέλθει εξωτερικός αέρας στο κτίριο.

Κατανοώντας τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί ο φυσικός αερισμός, μπορεί να επηρεαστεί η τοποθέτηση και διαστασιολόγηση των ανοιγμάτων, αναλόγως με τα επιθυμητά επίπεδα φυσικού αερισμού. Η **Εικόνα 4-21** δείχνει τους πιο συνήθεις τρόπους φυσικού αερισμού.



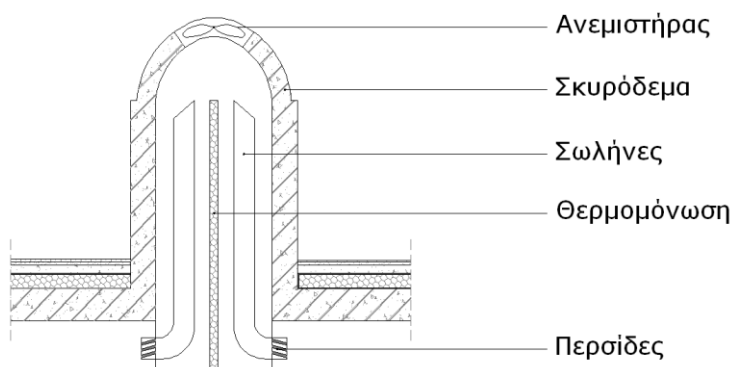
Εικόνα 4-21 Στρατηγικές αερισμού

Η επίδραση των ανοιγμάτων στο φυσικό αερισμό των κτιρίων εξαρτάται από τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων σε σχέση με τους επικρατούντες ανέμους, τη συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων στις προσήνεμες και υπήνεμες πλευρές του κτιρίου, το ύψος της ποδιάς των ανοιγμάτων και τα διαχωριστικά στοιχεία των εσωτερικών χώρων. Η χωροθέτηση ανοιγμάτων στην προσήνεμη και στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου όταν αυτές είναι κάθετες στη ροή του ανέμου εξασφαλίζει επαρκή διαμερή αερισμό. Η χωροθέτηση των ανοιγμάτων σε επιφάνεια του κελύφους με απόκλιση από τη διεύθυνση

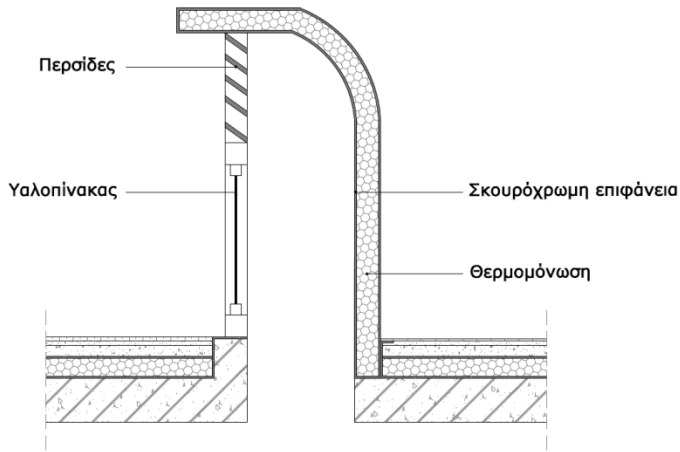
του ανέμου εξασφαλίζει ικανοποιητικό αερισμό ακόμη και με τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου του αέρα στην ίδια πλευρά (μονόπλευρος αερισμός). Ανοίγματα εξόδου κοντά στην οροφή διευκολύνουν την ροή αέρα λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ακόμη και με χαμηλές ταχύτητες ανέμου (ελκυσμός). Τα ανοίγματα για νυχτερινό αερισμό χωροθετούνται σε σημεία όπου μπορούν να παραμένουν ανοιχτά την νύχτα με ασφάλεια. Η αποτελεσματικότητα του νυχτερινού αερισμού για τον δροσισμό των κτιρίων εξαρτάται από το συνδυασμό των ανοιγμάτων με εκτεθειμένα δομικά στοιχεία υψηλής θερμοχωρητικότητας (εκτεθειμένη θερμική μάζα).

Ο κατακόρυφος αερισμός θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματικός στον παθητικό δροσισμό, καθώς εξασφαλίζει την απαγωγή των πιο θερμών αέριων μαζών από το εσωτερικό του κτιρίου και την αντικατάστασή τους με πιο ψυχρές (εφόσον υπάρχουν). Η τοποθέτηση ανοιγόμενων φεγγιτών, είτε πάνω από τα ανοίγματα (χαρακτηριστικό της παραδοσιακής Αθηναϊκής αρχιτεκτονικής) είτε ως ξεχωριστά στοιχεία στο κέλυφος, βοηθά στον ελκυσμό και την απαγωγή του θερμού αέρα από το κτίριο. Ο κατακόρυφος αερισμός μπορεί να ενισχυθεί με διατάξεις όπως πύργοι ψύξης: πρόκειται για αεραγωγούς, που διατρέχουν το κτίριο και καταλήγουν σε πύργους στο ανώτατο σημείο του κτιρίου, για απαγωγή του πιο θερμού αέρα από εκεί (Εικόνα 4-22). Ο θερμός αέρας, ως ελαφρύτερος, ανέρχεται στον πύργο και απάγεται από το κτίριο μέσω του ανοίγματος στο ανώτατο επίπεδο (φαινόμενο καμινάδας). Μετεξέλιξη του πύργου ψύξης είναι και η ηλιακή καμινάδα (Εικόνα 4-23): Στον πύργο ψύξης τοποθετείται υαλοπίνακας με προσανατολισμό που να δέχεται ανεμπόδιστα ηλιακή ακτινοβολία τη θερινή περίοδο. Η επιφάνεια στο πίσω μέρος του βάφεται μαύρη, αναπτύσσοντας μεγάλες θερμοκρασίες στην περιοχή της απόληξης, το καλοκαίρι. Η διαφορά θερμοκρασίας προκαλεί διαφορά πίεσης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ταχύτητα του αέρα στον πύργο κι έτσι ταχύτερη απαγωγή του θερμού αέρα από το κτίριο.

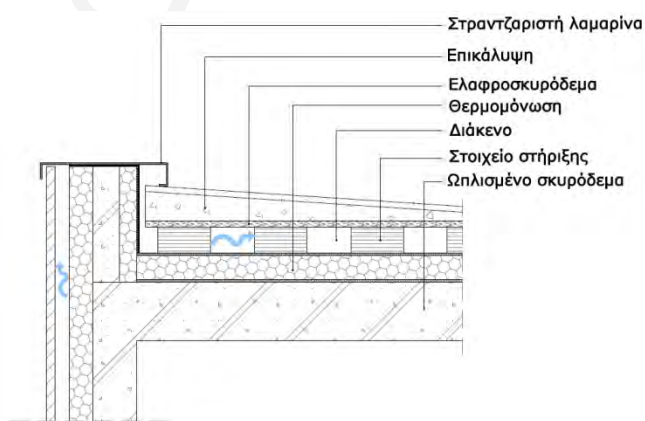
Το αεριζόμενο κέλυφος μειώνει επίσης σημαντικά τα φορτία ψύξης του κτιρίου. Δημιουργώντας ένα χώρο ανάσχεσης (έναν ενδιάμεσο χώρο) μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του εσωτερικού κτιρίου, προστατεύει το κτιριακό κέλυφος από καταπονήσεις από υψηλές θερμοκρασίες και την ηλιακή ακτινοβολία. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνουν τα δώματα είναι ιδιαίτερα μεγάλη τη θερινή περίοδο, η κατασκευαστική λύση του αεριζόμενου δώματος μπορεί να προσδώσει προστασία της κατασκευής και του εσωτερικού χώρου από τα φορτία αυτά (Εικόνα 4-24).



Εικόνα 4-22. Σχηματική αναπαράσταση πύργου ψύξης.



Εικόνα 4-23. Σχηματική αναπαράσταση ηλιακής καμινάδας



Εικόνα 4-24. Σχηματική λειτουργία αεριζόμενου δώματος

#### 4.3.1. Είδη ανοιγμάτων και εμβαδόν αερισμού

Το εμβαδόν αερισμού ενός πορτοπαραθύρου ορίζεται ως η γεωμετρική επιφάνεια εισόδου του αέρα, που δημιουργείται όταν το πορτοπαραθύρο ανοίγει. Είναι διαφορετικό από το συνολικό εμβαδόν του πορτοπαραθύρου και εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο που ανοίγει το πορτοπαραθύρου. Ενδεικτικά, κάποιος από τους πιο συνηθισμένους τρόπους ανοίγματος ενός πορτοπαραθύρου παρουσιάζονται στην [Εικόνα 4-25](#).

Ανοιγόμενο	Με ανάκλιση	Περιστρεφόμενα	Συρόμενα

Εικόνα 4-25 Τρόποι λειτουργίας ανοιγμάτων.

Η παρακάτω σχέση [εξ. 4.3] μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του εμβαδού αερισμού για ένα πορτοπαράθυρο. Αυτή η σχέση είναι σημαντική για τον υπολογισμό του αερισμού ενός κτιρίου, όπως φαίνεται στις παρακάτω ενότητες.

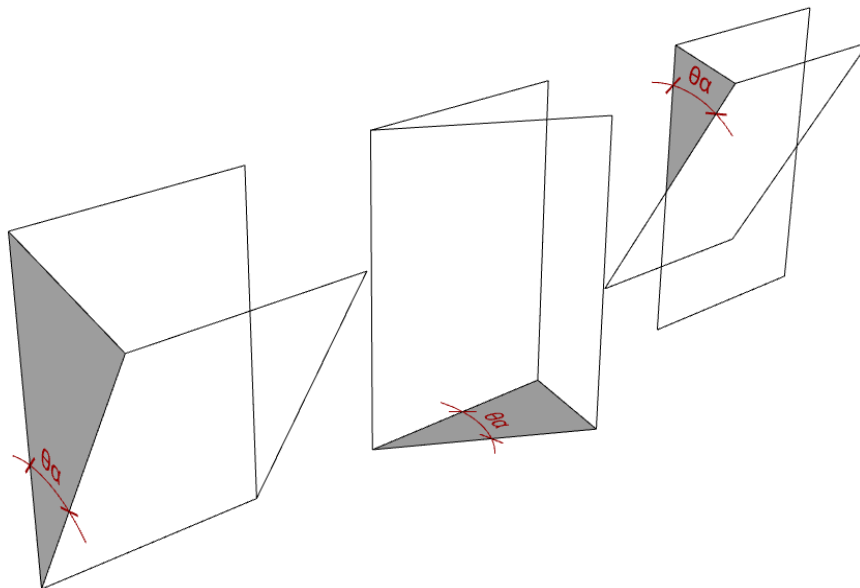
$$A_t = A_w \cdot k \cdot m \quad [\text{εξ. 4.3}]$$

όπου:  $A_t [m^2]$ : εμβαδόν αερισμού  
 $A_w [m^2]$ : εμβαδόν πορτοπαράθυρου  
 $k [-]$ : συντελεστής ανοίγματος αερισμού (Πίνακας 4-6)  
 $m [\%]$ : ποσοστό ανοίγματος ([εξ. 4.4] και Εικόνα 4-25)

Καθώς κάθε τρόπος ανοίγματος δημιουργεί και διαφορετικές επιφάνειες αερισμού, ο Πίνακας 4-6 περιέχει τις τιμές του συντελεστή ανοίγματος αερισμού ( $k$ ), που αντιστοιχούν στην γωνία ανοίγματος ( $\theta_\alpha$ ). Η γωνία ανοίγματος ( $\theta_\alpha$ ) παρουσιάζεται στην Εικόνα 4-26, για κάθε είδος πορτοπαράθυρου.

Πίνακας 4-6. Τιμές συντελεστή ανοίγματος αερισμού  $k$

Είδος πορτοπαράθυρου	Γωνία ανοίγματος ( $\theta_\alpha$ )							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	90°	180°
Ανοιγόμενο Με ανάκλιση Περιστρεφόμενο	0,08	0,17	0,26	0,34	0,43	0,50	-	-
Πλήρως ανοιγόμενο (90°) Πλήρως περιστρεφόμενο (90°) Συρόμενο - χωνευτό	-	-	-	-	-	-	1,00	-
Συρόμενο- επάλληλο	-	-	-	-	-	-	-	0,50



Εικόνα 4-26 Ένδειξη γωνίας ανοίγματος,  $\theta_\alpha$  για πορτοπαράθυρα με λειτουργία ανάκλισης, ανοιγόμενα σε κατακόρυφο άξονα και περιστρεφόμενα

Τέλος, ο υπολογισμός του ποσοστού  $m$  του ανοιγόμενου τμήματος του πορτοπαραθύρου επί του συνολικού εμβαδού του ανοίγματος υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$m = \frac{w_{op} \cdot h_{op}}{w_w \cdot h_w} \cdot 100 \quad [\text{εξ. 4.4}]$$

όπου:  $m$  [%]: ποσοστό του ανοιγόμενου τμήματος του πορτοπαραθύρου επί του συνολικού εμβαδού του πορτοπαραθύρου

$w_{op}$  [m]: πλάτος ανοιγόμενου τμήματος πορτοπαραθύρου

$h_{op}$  [m]: ύψος ανοιγόμενου τμήματος πορτοπαραθύρου

$w_w$  [m]: συνολικό πλάτος πορτοπαραθύρου

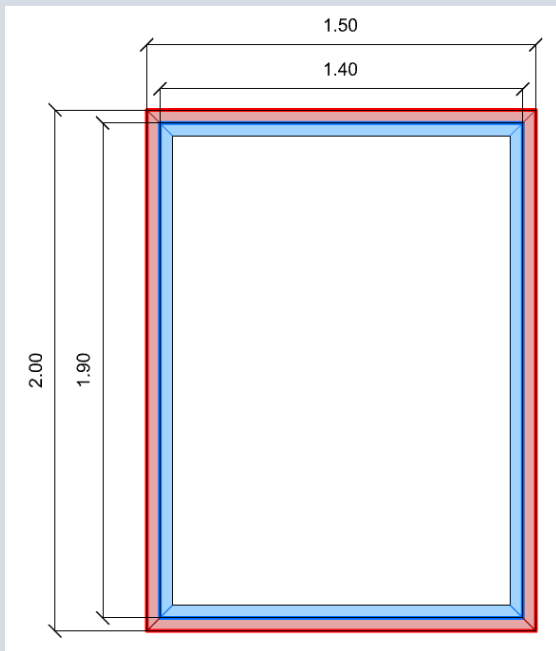
$h_w$  [m]: συνολικό ύψος πορτοπαραθύρου

### Υπολογιστικό παράδειγμα

Υπολογισμός μεταβλητής  $m$ , ανοιγόμενου πορτοπαραθύρου

Το παρακάτω παράδειγμα υποδεικνύει τον τρόπο υπολογισμού για ένα τυπικό παράθυρο. Στην [Εικόνα 4-27](#), με κόκκινη γραμμή σηματοδοτείται το σταθερό μέρος του κουφώματος ενώ με μπλε γραμμή το ανοιγόμενο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβλητή  $m$  υπολογίζεται, λαμβάνοντας τις παρακάτω διαστάσεις:

$$m = \frac{1,40 \times 1,90}{1,50 \times 2,00} = 0,89$$



Εικόνα 4-27 Ένδειξη σταθερού (κόκκινο) και ανοιγόμενου (μπλε) τμήματος του κουφώματος για τον υπολογισμό της μεταβλητής  $m$

#### 4.3.2. Υπολογισμός αερισμού για κτιριακή μονάδα

Η παρακάτω σχέση [εξ. 4.5] (CIBSE, 2018) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ροής του αέρα σε ένα σενάριο διαμπερούς αερισμού για ένα ολόκληρο κτίριο. Χρησιμεύει για να υπολογιστούν οι απαραίτητες επιφάνειες ανοιγμάτων που θα εξασφαλίσουν επαρκή αερισμό, σύμφωνα με τα επίπεδα που προδιαγράφονται στην TOTEE 20701-1.

$$q_{vb} = C_d \cdot A_t \cdot \left( \frac{2 \cdot \Delta\theta \cdot h_m \cdot g}{\theta_m + 273} \right)^{0,5} \quad [\text{εξ. 4.5}]$$

όπου: $q_{vb} [m^3/s]$ :	η ροή αέρα
$C_d [-]$ :	ο συντελεστής παροχής αερισμού (0,60 για διαμπερή αερισμό)
$A_t [m^2]$ :	η συνολική επιφάνεια αερισμού όλων των ανοιγόμενων παραθύρων (άθροισμα δηλαδή, των επιφανειών που προκύπτουν από την [εξ. 4.3] για όλα τα ανοίγματα)
$\Delta\theta [^\circ C]$ :	η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας
$h_m [m]$ :	το μέσο ύψος των ανοιγμάτων
$g [m/s^2]$ :	η επιτάχυνση της βαρύτητας (ίση με $9,81 m/s^2$ )
$\theta_m [^\circ C]$ :	η μέση τιμή της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας

Ο Πίνακας 4-7 είναι ενδεικτικός για τον όγκο αερισμού μιας κατοικίας  $120 m^2$ , με τυπικό ύψος ορόφου 3m, για διάφορες τιμές του λόγου της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς την επιφάνεια του δαπέδου (Window to Floor Ratio, WFR). Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας για την επίτευξη του ημερήσιου απαιτούμενου αερισμού για χρήση κατοικίας, όπως ορίζεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1 ( $0,75 m^3/h/m^2$ ).

Πίνακας 4-7 Ενδεικτικές τιμές διαμπερούς αερισμού για μια ενδεικτική κατοικία  $120m^2$  και εκτιμώμενος χρόνος πλήρους ανανέωσης αέρα όπως ορίζεται στην TOTEE 20701-1 ( $0.75 m^3/hr/m^2$ ).

Τύπος πορτοπαραθύρου	WFR	$m^3/s$	$m^3/s/m^2$	Εκτιμώμενος χρόνος (min)
Συρόμενη-επάλληλη μπαλκονόπορτα ( $k=0,5$ )	20%	0,75	0,01	24
	30%	1,12	0,01	16
	40%	1,49	0,02	12
	50%	1,86	0,02	10
Ανοιγόμενη μπαλκονόπορτα ( $k=1,0$ )	20%	1,49	0,02	12
	30%	2,24	0,03	8
	40%	2,98	0,04	6
	50%	3,73	0,05	5
Συρόμενο - επάλληλο παράθυρο ( $k=0,5$ )	20%	0,63	0,01	29
	30%	0,94	0,01	19
	40%	1,26	0,02	14
	50%	1,57	0,02	11
Ανοιγόμενο παράθυρο ( $k=1,0$ )	20%	1,26	0,02	14
	30%	1,89	0,02	10
	40%	2,52	0,03	7
	50%	3,15	0,04	6



### 4.3.3. Υπολογισμός αερισμού για δωμάτιο

Η παρακάτω εξίσωση [εξ. 4.6] (CIBSE, 2018) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ροής του αέρα σε ένα σενάριο μονόπλευρου αερισμού για ένα μεμονωμένο δωμάτιο. Χρησιμεύει για να υπολογιστούν οι απαραίτητες επιφάνειες παραθύρων που θα εξασφαλίσουν επαρκή αερισμό, σύμφωνα με τα επίπεδα που προδιαγράφονται στην TOTEE 20701-1.

$$q_v = C_d \cdot (A_t/3) \cdot \left( \frac{\Delta\theta \cdot h_m \cdot g}{\theta_m + 273} \right)^{0,5} \quad [\text{εξ. 4.6}]$$

όπου: $q_{vb} [m^3/s]$ :	η ροή αέρα
$C_d [-]$ :	ο συντελεστής παροχής αερισμού (0,25 για μονόπλευρο αερισμό)
$A_t [m^2]$ :	η συνολική επιφάνεια αερισμού όλων των ανοιγόμενων παραθύρων (άθροισμα δηλαδή, των επιφανειών που προκύπτουν από την [εξ. 4.3] για όλα τα ανοίγματα)
$h_m [m]$ :	το μέσο ύψος των ανοιγμάτων
$\Delta\theta [^\circ C]$ :	η διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας
$g [m/s^2]$ :	η επιτάχυνση της βαρύτητας (ίση με $9,81 m/s^2$ )
$\theta_m [^\circ C]$ :	η μέση τιμή της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας

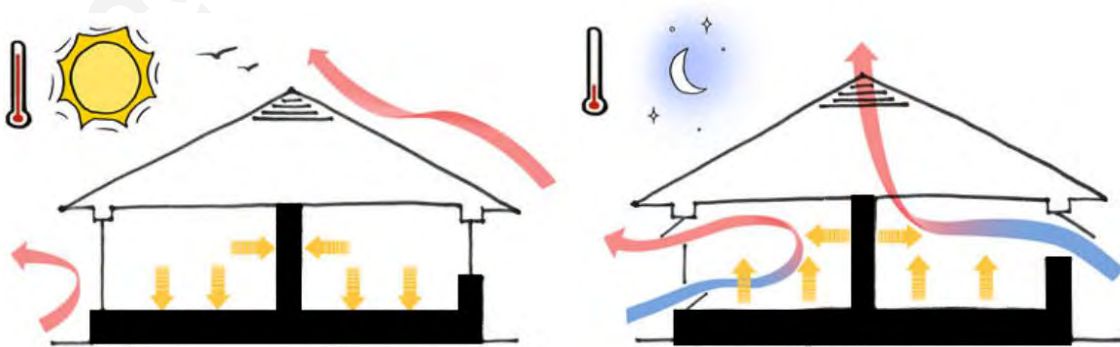
Ο Πίνακας 4-8 είναι ενδεικτικός για τον όγκο αερισμού ενός δωματίου  $10 m^2$  για διάφορες τιμές του λόγου της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς την επιφάνεια του δαπέδου WFR. Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται ο απαιτούμενος χρόνος για την επίτευξη του ημερήσιου αερισμού για χρήση κατοικίας, όπως ορίζεται στην TOTEE 20701-1 – ( $0.75 m^3/hr/m^2$ ).

Πίνακας 4-8 Ενδεικτικές τιμές μονόπλευρου για ένα ενδεικτικό δωμάτιο κατοικίας  $10m^2$  και εκτιμώμενος χρόνος πλήρους ανανέωσης αέρα, όπως ορίζεται στην TOTEE 20701-1 – ( $0.75 m^3/hr/m^2$ ).

Τύπος πορτοπαραθύρου	WFR	$m^3/s$	$m^3/s/m^2$	Εκτιμώμενος χρόνος (min)
Συρόμενη μπαλκονόπορτα ( $k=0,5$ )	20%	0,07	0,007	31
	30%	0,11	0,011	20
	40%	0,15	0,015	15
	50%	0,18	0,018	12
Ανοιγόμενη μπαλκονόπορτα ( $k=1,0$ )	20%	0,15	0,015	15
	30%	0,22	0,022	10
	40%	0,29	0,029	8
	50%	0,37	0,037	6
Συρόμενο παράθυρο ( $k=0,5$ )	20%	0,06	0,006	36
	30%	0,09	0,009	24
	40%	0,12	0,012	18
	50%	0,15	0,015	15
Ανοιγόμενο παράθυρο ( $k=1,0$ )	20%	0,12	0,012	18
	30%	0,19	0,019	12
	40%	0,25	0,025	9
	50%	0,31	0,031	7

#### 4.3.4. Νυχτερινός αερισμός

Η συγκεκριμένη στρατηγική σχεδιασμού έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα σε κτίρια με εκτεθειμένη θερμική μάζα δομικών στοιχείων υψηλής θερμοχωρητικότητας. Ουσιαστικά, με την εφαρμογή νυχτερινού αερισμού, τα δομικά στοιχεία ψύχονται τη νύχτα, καθώς η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί σε αυτά απάγεται με τη ροή αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία τους, ώστε την επόμενη μέρα τα στοιχεία να έχουν περισσότερη αποθεματική ικανότητα να απορροφήσουν θερμότητα από πηγές που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της επόμενης μέρας. Με αυτό τον τρόπο, η εσωτερική θερμοκρασία στην αρχή της ημέρας είναι σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με την κατάσταση που θα επικρατούσε χωρίς την εφαρμογή νυχτερινού αερισμού.



Εικόνα 4-28 Νυχτερινός αερισμός (πηγή: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/simplecontent/content/night-purge-ventilation.html>)

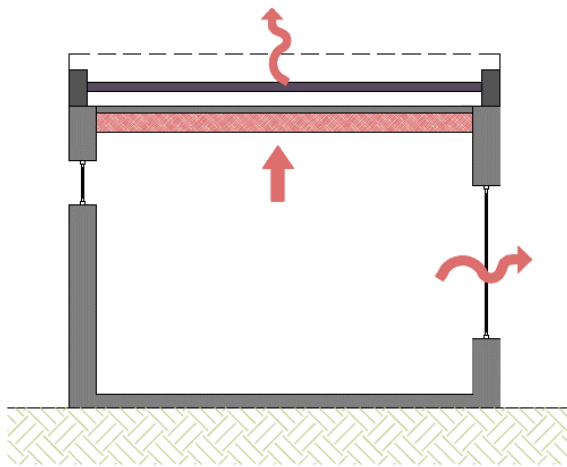
Ο νυχτερινός αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας. Αυτό ισχύει καθώς κατά τη διάρκεια της ημέρας ο φυσικός αερισμός είναι αναποτελεσματικός για δροσισμό, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, ενώ την νύχτα όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι αρκετά χαμηλότερη, το κτίριο μπορεί να επωφεληθεί από τον παθητικό δροσισμό που του προσφέρει ο διαμπερής, νυχτερινός αερισμός.

#### 4.4. Δροσισμός με ακτινοβολία

Ο δροσισμός με ακτινοβολία αφορά το δροσισμό του κτιρίου μέσω μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία προς τον ουρανό. Γίνεται κυρίως από την οροφή του κτιρίου έτσι είναι αποτελεσματικός μόνο για τον ανώτερο όροφο, ενώ οικονομοτεχνικώς ενδείκνυται κυρίως για μονώροφα κτίρια. Για να αποδώσει και σε άλλους ορόφους, χρειάζεται να συνδυασθεί με ψυκτικά πάνελ, αποκτώντας υβριδικό χαρακτήρα.

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην ανταλλαγή θερμότητας με ακτινοβολία της (συνήθως οριζόντιας) επιφάνειας του κτιρίου με το νυχτερινό ουρανό, ο οποίος, όταν είναι καθαρός έχει χαμηλή θεωρητική θερμοκρασία (της τάξης των  $-50^{\circ}\text{C}$ ). Ένα σύστημα δροσισμού με ακτινοβολία (π.χ. [Εικόνα 4-29](#)) στηρίζεται σε θερμομόνωση του ρευστού μεταφοράς θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας (ώστε να μην υπερθερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία), στην ανεμπόδιση θέα του συστήματος του ακτινοβολητή προς το νυχτερινό ουρανό, καθώς και στην «αποθήκευση» των χαμηλών θερμοκρασιών στο κτιριακό κέλυφος (μέσω κινητής θερμομόνωσης), για απολαβή τους κατά τη διάρκεια

της ημέρας.<sup>7</sup> Το σύστημα όμως δεν αποδίδει καλά όταν ο νυχτερινός ουρανός είναι νεφοσκεπής καθώς κι όταν η υγρασία στην ατμόσφαιρα είναι αυξημένη.

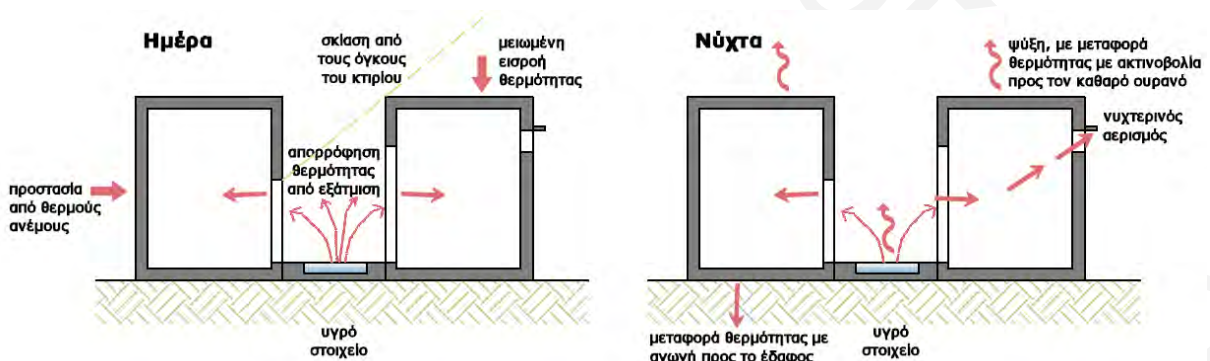


Εικόνα 4-29. Σύστημα ακτινοβολητή σε δώμα

#### 4.5. Δροσισμός με εξάτμιση

Ο δροσισμός με εξάτμιση μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά σε ξηρά κλίματα (σχετική υγρασία χαμηλότερη από 30% κατά τη διάρκεια του μεσημεριού). Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης· δηλαδή στην απορρόφηση ενέργειας για την αλλαγή φάσης του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί με στοιχεία κινούμενου νερού (π.χ. σιντριβάνια, ανεμιστήρες με νερό κοκ) ή με την τοποθέτηση στοιχείων νερού σε περιοχές με σχετικά μεγάλη ταχύτητα κίνησης αέρα (χαρακτηριστικά τοποθετούνται στοιχεία νερού σε πύργους ψύξης σε ξηρά και θερμά κλίματα).

Ο δροσισμός με εξάτμιση δουλεύει επίσης με μεγάλη επιτυχία στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου, καθώς και σε αίθρια και ημιυπαίθριους χώρους, με στοιχεία νερού, όπως σιντριβάνια, λίμνες, πισίνες κοκ. Σε συνδυασμό με νυχτερινό αερισμό και με ακτινοβολία προς τον καθαρό, νυχτερινό ουρανό, μπορεί να μειώσει αποδοτικά την εσωτερική θερμοκρασία (Εικόνα 4-30).

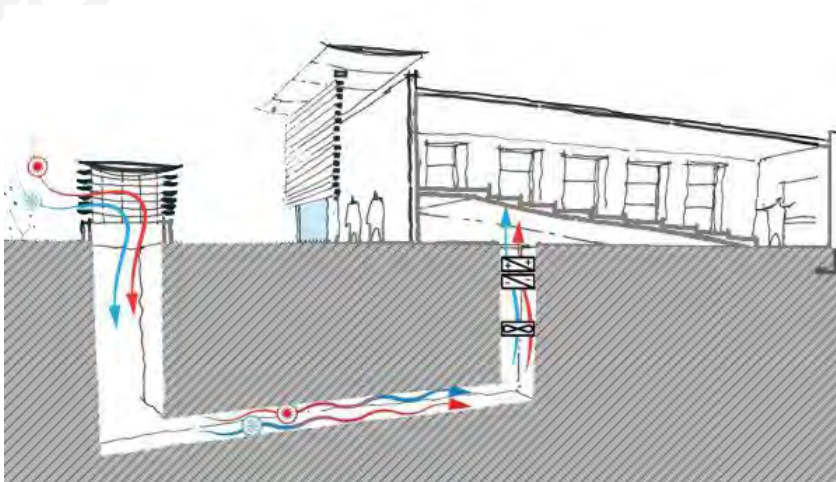


Εικόνα 4-30. Δροσισμός με εξάτμιση, μέσω υγρού στοιχείου σε αίθριο κτιρίου, με συνδυασμό αποβολής θερμότητας με ακτινοβολία, εξάτμιση και αερισμού τη νύχτα

<sup>7</sup> Βλ. παραδείγματα και στο Roof cooling techniques: a design handbook (Yannas, Erell, & Molina, 2006)

#### 4.6. Δροσισμός μέσω του εδάφους

Το έδαφος χαρακτηρίζεται από σχετικά σταθερή θερμοκρασία τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και του χειμώνα, με θερμοκρασίες της τάξης των 20-23°C. Έτσι, ημιυπόσκαφα κτίρια μπορεί να παρουσιάζουν συνθήκες θερμικής άνεση με μικρές ανάγκες σε θέρμανση ή ψύξη. Σε νεόδμητα κτίρια μπορεί να τοποθετηθεί σύστημα σωληνώσεων, με κατάλληλο συνολικό μήκος, ώστε το έδαφος να λειτουργήσει ως εναλλάκτης θερμότητας, είτε σε οριζόντια διάταξη και μικρό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη και μεγάλο βάθος. Χαρακτηριστικό και σχετικά απλό τέτοιο σύστημα είναι το *puit canadien*<sup>8</sup>: περιμετρικά του υπογείου ενός κτιρίου, τοποθετείται αγωγός στον οποίο εισέρχεται ο εξωτερικός αέρας, ψύχεται στο έδαφος και εισέρχεται δροσερός στο κτίριο, είτε άμεσα είτε μέσω εναλλάκτη (Εικόνα 4-31).



Εικόνα 4-31. Σχηματική λειτουργία *puit canadien*

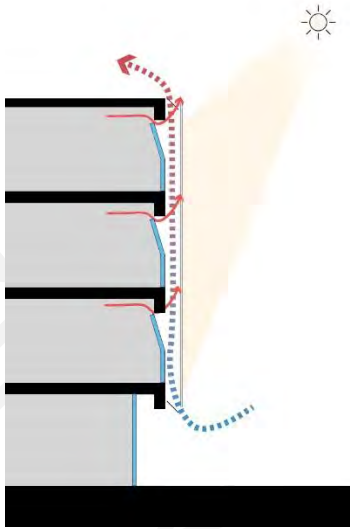
#### 4.7. Διπλό κέλυφος

Το διπλό κέλυφος, όπως φανερώνει και το όνομά του, αφορά τεχνική που εφαρμόζει δύο κελύφη στο εξωτερικό του κτιρίου, συνήθως από γυαλί. Ο ενδιάμεσος χώρος που ορίζεται μεταξύ αυτών των δύο κελυφών, δρα ως προστατευτικός χώρος μεταξύ του εσωτερικού του κτιρίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο ενδιάμεσος αυτός χώρος μπορεί να κυμαίνεται από 20cm έως μερικά μέτρα. Λειτουργεί ως προστατευτικός χώρος έναντι ακραίων θερμοκρασιών, ήχων και γενικά ανεπιθύμητων στοιχείων του άμεσου περιβάλλοντος του κτιρίου.<sup>9</sup>

Ο αέρας στον ενδιάμεσο χώρο μπορεί να κινείται είτε με φυσικό ελκυσμό ή μηχανοκίνητα. Ιδιαίτερα στην πρώτη περίπτωση, είναι αναγκαία η ύπαρξη θυρίδων στην βάση του ανοίγματος για την είσοδο φρέσκου αέρα και στην κορυφή του για την απαγωγή του ζεστού αέρα. Για το Ελλαδικό κλίμα, πρέπει να εξοπλίζεται και με συστήματα σκιασμού στον ενδιάμεσο χώρο, προς αποφυγή φαινομένων υπερθέρμανσης ή θάμβωσης στον κύριο χώρο του κτιρίου.

<sup>8</sup> Βλ. και στο *Le puit canadien* (Herzog, 2008)

<sup>9</sup> Βλ και στο <https://www.archdaily.com/922897/how-do-double-skin-facades-work> )



Εικόνα 4-32. Ενδεικτική τομή διπλού κελύφους

## 5. Φυσικός φωτισμός

### 5.1. Τεχνικές βελτίωσης φυσικού φωτισμού

Οι τεχνικές για τη βελτίωση του φυσικού φωτισμού βασίζονται στο σχήμα του κτιρίου, τη θέση των ανοιγμάτων, τα υλικά υαλοπινάκων, επιφανειών και περιβάλλοντα χώρου, καθώς και σε πρόσθετα συστήματα ενίσχυσης και παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5-1. Τεχνικές ενίσχυσης φυσικού φωτισμού

Τεχνικές ενίσχυσης φυσικού φωτισμού	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Σχήμα κτιρίου	Επιμήκης κάτοψη	Αύξηση του ποσοστού της περιμετρικής περιοχής	Αύξηση περιμέτρου με πιθανή αύξηση του εμβαδού των υαλοπινάκων
	Αίθριο	Αύξηση περιμετρικών περιοχών γιατί έτσι και οι χώροι που γειτνιάζουν με το αίθριο έχουν πρόσβαση σε φυσικό φως	Αυξημένο κόστος για την δημιουργία του αίθριου. Χρειάζεται προσοχή στην λειτουργία των κλειστών αιθρίων κατά την διάρκεια των θερινών μηνών
Θέσεις ανοιγμάτων	Αμφίπλευρα ανοίγματα	Αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού αλλά και της ομοιομορφίας	
	Πλευρικά ανοίγματα	Η πλέον κοινή σχεδιαστική προσέγγιση. Με βορεινό προσανατολισμό επιτυγχάνονται πιο σταθερές συνθήκες. Το οριζόντια ανοίγματα επιτυγχάνουν καλύτερη ομοιομορφία σε σχέση με τα κάθετα	Χρειάζεται να προσεχθεί το μέγεθος. Ανοίγματα που βρίσκονται σε ύψος μικρότερο από την επιφάνεια εργασίας (0.8 μ) συνεισφέρουν πολύ λίγο στην αύξηση των επιπέδων φ. φωτισμού. Ανομοιόμορφη κατανομή
	Ανοίγματα οροφής	Αυξημένη ομοιομορφία στην κατανομή του φ. φωτισμού	Χρειάζεται να προσεχθούν τα ηλιακά κέρδη, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες
	Διαφανείς τοίχοι και οροφές	Θέα, αυξημένα επίπεδα φ. φωτισμού	Χρειάζεται μεγάλη προσοχή στον περιορισμό των ηλιακών κερδών, ιδίως στους θερινούς μήνες
Υλικά υαλοπινάκων	Διαπερατότητα υαλοπινάκων	Η διαπερατότητα που επιλέγεται σχετίζεται με το μέγεθος του υαλοπίνακα. Ενδιαφέρουν υαλοπίνακες με αυξημένες τιμές διαπερατότητας και μικρές του συντελεστή ηλιακών κερδών	Η επιλογή πολύ σκούρων υαλοπινάκων επιδρά δυσμενώς στα επίπεδα φωτισμού. Προσοχή χρειάζεται και στο χρώμα
	Πρισματικοί υαλοπίνακες	Κατευθύνουν άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην οροφή συνεπώς επιτυγχάνεται καλύτερη ομοιομορφία	Συνήθως τοποθετείται σε φεγγίτη γιατί είναι προβληματική η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Συνήθως τοποθετείται στο διάκενο κάποιου διπλού υαλοπίνακα
	Υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λείζερ	Κατευθύνουν άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην οροφή συνεπώς επιτυγχάνεται καλύτερη ομοιομορφία	Όπως παραπάνω αν και σε αυτή την περίπτωση η οπτική επαφή είναι πολύ καλύτερη
	Ολογραφικοί υαλοπίνακες	Κατευθύνουν άμεση ηλιακή ακτινοβολία στην οροφή	Συνήθως τοποθετείται σε φεγγίτη γιατί είναι προβληματική η οπτική επαφή με το

Τεχνικές ενίσχυσης φυσικού φωτισμού	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
		συνεπώς επιτυγχάνεται καλύτερη ομοιομορφία	εξωτερικό περιβάλλον. Χρειάζεται προσοχή στην ποιότητα κατασκευής (εμφάνιση έγχρωμων ζωνών στην οροφή)
Υλικά εσωτερικών επιφανειών	Υψηλή ανακλαστικότητα	Αύξηση επιπέδων φυσικού φωτισμού	-
Υλικά συστημάτων ηλιοπροστασίας	Υψηλή ανακλαστικότητα	Ανακατεύθυνση φωτεινής ροής στον οροφή. Επίτευξη καλύτερης ομοιομορφίας, μείωση θάμβωσης	Χρειάζεται προσοχή στην λειτουργία τους ώστε να μην δημιουργηθούν ενοχλητικές ανακλάσεις (θάμβωση)
Περιβάλλον χώρος	Υψηλή ανακλαστικότητα	Αυξημένα επίπεδα φυσικού φωτισμού	Μεγάλη πιθανότητα για θάμβωση δυσφορίας (ανάλογα φυσικά με την έκταση των εξωτερικών εμποδίων)
Πρόσθετα συστήματα	Ράφια φωτισμού	Αύξηση ομοιομορφίας με ταυτόχρονη σκίαση	Χρήσιμα σε νότιο προσανατολισμό. Συνήθως το εξωτερικό ράφι συνοδεύεται και από εσωτερικό ώστε να περιοριστούν τα ηλιακά ίχνη τους χειμερινούς μήνες
	Φωτοσωλήνες	Αύξηση επιπέδων φωτισμού σε περιοχές που δεν έχουν πρόσβαση σε ανοίγματα	Η απόδοση εξαρτάται από το μήκος. Χρειάζεται επίσης προσοχή στην τοποθέτηση.

## 5.2. Εξέλιξη απαιτήσεων φυσικού φωτισμού στα κτίρια

Υπήρξαν εποχές στις οποίες το κέλυφος του κτιρίου αποτελούσε το κύριο μηχανισμό ρύθμισης των συνθηκών άνεσης στο εσωτερικό. Η επίδραση του σχεδιασμού των ανοιγμάτων στην επάρκεια των επιπέδων φυσικού φωτισμού (δηλ. την κύρια πηγή φωτισμού) ήταν καθοριστική γιατί ταυτόχρονα έπρεπε να ρυθμιστεί και η δυνατότητα για φυσικό αερισμό. Ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου η κατάλληλη χρήση του φυσικού φωτισμού λόγω θέσης και διαστάσεων ανοιγμάτων είχε, και έχει, καταλυτική επίδραση στην εμπειρία του χώρου. Οι περιμετρικές ζώνες των κτιρίων αποτελούσαν και τις κύριες περιοχές δραστηριότητας εντός αυτών. Η διαθεσιμότητα τεχνολογίας, αερισμού και φωτισμού, επέτρεψε την διεύρυνση των προαναφερθέντων περιοχών αφού πλέον η παροχή φωτισμού δεν εξαρτιόταν από την γεινίαση με το εξωτερικό περιβάλλον. Την δεκαετία του '50 η εκτεταμένη χρήση των αποδοτικών λαμπτήρων φθορισμού και η σχετικά εύκολη επίτευξη υψηλών επιπέδων φωτισμού υποβάθμισε την σπουδαιότητα χρήσης του φυσικού φωτισμού. Μαζί με την ολοένα και αυξανόμενη χρήση του κλιματισμού αποσύνδεσε περαιτέρω το εσωτερικό των εργασιακών χώρων με το εξωτερικό περιβάλλον. Έτσι, παρόλη την αύξηση της διαφάνειας της πρόσοψης, με τη δυνατότητα κατασκευής υαλοπετασμάτων μεγάλων διαστάσεων, η επικράτηση εργασιακών χώρων ανοικτής κάτοψης διεύρυνε τις περιοχές που ο φυσικός φωτισμός ήταν ανεπαρκής. Όμως αυτό δεν αποτελούσε πρόβλημα, αφού πλέον η χρήση του τεχνητού φωτισμού επέτρεπε τον φωτισμό όλων των περιοχών που βρισκόταν στον πυρήνα του κτιρίου.

Η ενεργειακή κρίση την δεκαετία του 70 ανέδειξε την πολυπλοκότητα των περιβαλλοντικών προβλημάτων, με αποτέλεσμα, η ενεργειακή βελτιστοποίηση των κτιρίων να γίνεται ένα όλο και πιο σημαντικό ζήτημα. Σε αυτό το σημείο ο φυσικός φωτισμός επανέρχεται στο προσκήνιο αφού με τη χρήση του θα μπορούσε να εξοικονομηθεί ενέργεια όχι μόνο από τον περιορισμό της χρήσης του ηλεκτροφωτισμού αλλά και από την πιθανή μείωση των αναγκών θέρμανσης και ψύξης με δεδομένο ότι η φωτεινή δραστηριότητα ( $lm/W$ ) των λαμπτήρων της εποχής ήταν σε γενικές γραμμές μικρότερη από αυτή του φυσικού φωτισμού. Είναι προφανές ότι οι σχεδιαστικές επιλογές άρχισαν να γίνονται

ελαφρώς πιο πολύπλοκες αφού είναι πλέον αναγκαία η εξισορρόπηση ανταγωνιστικών παραμέτρων (π.χ. επάρκεια φυσικού φωτισμού- περιορισμός ηλιακών κερδών).

Τη δεκαετία του '80 η είσοδος του προσωπικού υπολογιστή στον εργασιακό χώρο προκάλεσε μια σημαντική αλλαγή. Η επιφάνεια εργασίας δεν είναι πια οριζόντια αλλά κατακόρυφη (οθόνη) με ότι αυτό συνεπάγεται για την θέση του κεφαλιού. Με τη συγκεκριμένη αλλαγή, η πρόσοψη αρχίζει να έχει ένα σημαντικό ρόλο σε ζητήματα θάμβωσης γιατί καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος του οπτικού πεδίου. Προς το τέλος της δεκαετίας η επίδραση του φωτισμού στον ανθρώπινους βιολογικούς ρυθμούς αρχίζει να συζητείται, αλλά λόγω των τεχνικών σχεδιασμού του φωτισμού για την επίτευξη π.χ. συγκεκριμένων τιμών ομοιομορφίας, αναπτύχθηκε η αίσθηση ότι ο φυσικός φωτισμός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα, συνεπώς υποβαθμίστηκε και η σπουδαιότητά του στο εσωτερικό περιβάλλον των εργασιακών χώρων. Η πρόσοψη εξακολουθεί να παραμένει σαν ένα είδος κλειστού «κλιματικού συνόρου» και η ενεργειακή εξοικονόμηση να προέρχεται από τη σωστή διαστασιολόγηση/σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης/αερισμού και φωτισμού.

Από τη δεκαετία του 1990, η τάση για αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων γραφείων εντάθηκε στην αγορά ακινήτων μαζί με το αυξημένο ενδιαφέρον για την υγεία και άνεση των εργαζομένων. Με δεδομένο το γεγονός ότι οι εργαζόμενοι αποτελούν την πλέον σημαντική παράμετρο, η βελτίωση των συνθηκών άνεσης έγινε το μέσο και για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας σε γραφεία. Η ανάπτυξη προσαρμοστικών (αντί στατικών) μοντέλων θερμικής άνεσης με τη δυνατότητα φυσικού αερισμού άλλαξε την αντίληψη για τον σχεδιασμό των προσόψεων, επιτρέποντας μια «χαλάρωση» των απαιτήσεων, αναδεικνύοντας τη σημασία της προσαρμογής. Η αλλαγή αυτή ενθαρρύνεται επίσης από την υιοθέτηση περιβαλλοντικών δεσμεύσεων, καθώς και από τους κανονισμούς για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με στόχο να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας και να μειωθεί η επίδραση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Συνεπώς αντί τώρα η πρόσοψη να θεωρείται μια ασπίδα προστασίας από το εξωτερικό περιβάλλον γίνεται μηχανισμός δυναμικής αλληλεπίδρασης με αυτό. Η ανάπτυξη συστημάτων ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών ανάλογα με την παροχή φυσικού φωτισμού από τα ανοίγματα, μπορεί να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση για φωτισμό καθώς και τα φορτία αιχμής κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Η ωριμότητα αυτής της τεχνολογίας μαζί με τη βελτίωση των ιδιοτήτων των υαλοπινάκων επέτρεψε ξανά τη χρήση μεγάλων διαφανών επιφανειών με τον φυσικό φωτισμό να αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο της στρατηγικής μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα παραπάνω, κανονισμοί και τεχνολογία, όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας έχουν ήδη διαμορφώσει ένα πλαίσιο σχεδιασμού που λίγο ως πολύ ακολουθείται σήμερα.

### 5.3. Εκτίμηση διαθεσιμότητας φυσικού φωτισμού στα κτίρια

Για να εκτιμηθεί η επίδραση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού στην διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων υπάρχουν διαθέσιμες διάφορες προσεγγίσεις από απλές εξισώσεις μέχρι υπολογιστικές διαδικασίες. Σε γενικές γραμμές, έχουν σαν στόχο την εκτίμηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων (είτε με εκτίμηση της πιθανότητας υπέρβασης μιας συγκεκριμένης τιμής είτε σε ωριαία βάση για ένα έτος).

#### 5.3.1. Παράγοντας φυσικού φωτισμού

Ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού (ΠΦΦ) ή Daylight Factor (DF) είναι ένας από τους παλαιότερους και πλέον χρησιμοποιούμενους δείκτες. Ορίζεται ως ο λόγος της τιμής φωτισμού στο εσωτερικό κάποιου χώρου προς την αντίστοιχη τιμή του οριζόντιου φωτισμού στο εξωτερικό υπό την προϋπόθεση



ότι ο ουρανός είναι πλήρως νεφοσκεπής και φυσικά χωρίς την ύπαρξη σημαντικών εμποδίων τα οποία μειώνουν την τιμή του εξωτερικού φωτισμού.

$$\text{ΠΦΦ} = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \cdot 100 \quad [\text{εξ. 5.1}]$$

όπου: ΠΦΦ [%]: ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού

$E_{int}[lx]$  : η τιμή του φωτισμού στον εσωτερικό χώρο

$E_{ext}[lx]$  : η τιμή του οριζόντιου φωτισμού στον εξωτερικό χώρο, σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού και χωρίς σημαντικά εμπόδια θέασης του ουρανού

Λόγω της αζιμουθιακής συμμετρίας της κατανομής λαμπρότητας στον ουρανό οι τιμές του ΠΦΦ δεν εξαρτώνται από τον προσανατολισμό του χώρου καθώς επίσης και από τον χρόνο. Επειδή ο ΠΦΦ είναι ένα πηλίκο, η επίτευξη κάποιας συγκεκριμένης τιμής φωτισμού στο εσωτερικό εξαρτάται από την τιμή φωτισμού που επιτυγχάνεται στο εξωτερικό και η οποία προφανώς είναι διαφορετική ανά περιοχή.

#### Υπολογιστικό παράδειγμα

Υπολογισμός απαιτούμενης τιμής φωτισμού στον εξωτερικό χώρο για την κάλυψη των απαιτήσεων φωτισμού στον εσωτερικό χώρο

Αν η επιθυμητή τιμή στο εσωτερικό  $E_{int}$  είναι 500 lx, και ο Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού ΠΦΦ είναι 2% τότε η τιμή φωτισμού στον εξωτερικό χώρο  $E_{ext}$  πρέπει να είναι

$$E_{ext} = \frac{E_{int}}{\text{ΠΦΦ}} = \frac{500 \text{ lx}}{2\%} = 1000 \text{ lx}$$

### 5.3.2. Αυτονομία φυσικού φωτισμού

Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν τα επίπεδα φωτισμού σε τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων με αρκετά καλή προσέγγιση των φωτομετρικών ιδιοτήτων των επιφανειών τους. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ωριαία βάση για το τυπικό μετεωρολογικό έτος της περιοχής (Climate Based Daylight Modelling) συνεπώς λαμβάνονται υπόψη διάφοροι τύποι ουρανού (όχι μόνο ο νεφοσκεπής όπως στην επίπτωση υπολογισμού του ΠΦΦ) καθώς επίσης και η παρουσία του ήλιου. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε με την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία να παραχθούν δείκτες χρήσιμοι στον σχεδιασμό. Ένας τέτοιος δείκτης είναι η Αυτονομία Φυσικού Φωτισμού ή Daylight Autonomy (DA), η οποία ορίζεται ως το ποσοστό των ωρών στο έτος στο οποίο η τιμή φωτισμού σε κάποιο σημείο του χώρου είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή σχεδιασμού (π.χ. 500 lx).

## 5.4. Γενικές αρχές σχεδιασμού

Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη «συνταγή» για τον σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού λόγω του γεγονότος ότι εμπλέκεται με την αρχική/βασική αρχιτεκτονική σύνθεση και αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο του ενεργειακού σχεδιασμού.

Ανάμεσα σε διάφορες φωτεινές πηγές, είναι γνωστή η προτίμηση στον φυσικό φωτισμό κυρίως λόγω της επίδρασης που έχει στους χρήστες σε ψυχολογικό επίπεδο. Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά που τον συνοδεύουν είναι η επίτευξη υψηλών τιμών φωτεινότητας (ανάλογα και με την ανακλαστικότητα των επιφανειών) και το οπτικό ενδιαφέρον. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο φυσικός φωτισμός πέραν της επίδρασης που έχει στην απόδοση επηρεάζει επίσης και την διάθεση αφού συνοδεύεται από θέα και μια δυναμική μεταβολή στη διάρκεια της ημέρας. Έτσι δημιουργείται η αίσθηση της απρόσμενης αλλαγής στις εσωτερικές συνθήκες σε αντίθεση με τον φωτισμό από το τεχνητό σύστημα ο οποίος είναι «σταθερός» χρονικά.

Υπάρχουν ανάγκες που πρέπει να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα και είναι πολλές φορές ανταγωνιστικές μεταξύ τους π.χ. επάρκεια φυσικού φωτισμού και σκίασης ή και απαιτήσεις που έχουν άμεση σχέση με το κόστος των διαφανών τμημάτων της πρόσοψης. Η αρχική σχεδιαστική ιδέα πρέπει να συμβιβάζει την εξαιρετική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος με το χαμηλό κόστος ικανοποιώντας ταυτόχρονα κάποιες εύκολα ή δύσκολα μετρήσιμες παραμέτρους (κατανομές φωτεινότητας, αντιθέσεις κλπ.) οι οποίες καθορίζονται από πρότυπα ή σχεδιαστικές πρακτικές, καθώς και παραμέτρους που σχετίζονται με την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, το ενδιαφέρον της θέας, την ευκρίνεια της χωρικής πληροφορίας.

Η στρατηγική χρήσης του φυσικού φωτισμού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις αποφάσεις που σχετίζονται με τον προσανατολισμό του κτιρίου, την κάτοψη και τις προσόψεις του. Σε γενικές γραμμές η εξέλιξη της ανάλυσης για τον φυσικό φωτισμό βασίζεται στα στάδια που σημειώνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5-2).

Πίνακας 5-2. Στάδια ανάλυσης σχεδιασμού για τον φυσικό φωτισμό

	Στάδια	Παράμετροι
1	Διαθεσιμότητα φυσικού φωτισμού / απαιτήσεις φυσικού φωτισμού	Κλιματική περιοχή, χαρακτηριστικά αστικού περιβάλλοντος, χρήση κτιρίου
2	Κάτοψη / διαμερισματοποίηση	Περιμετρική ζώνη, προσανατολισμός, αίθρια
3	Μέγεθος, ιδιότητες και θέση υαλοπινάκων	Επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (θέρμανση/ψύξη), οπτική άνεση
4	Σχεδιασμός σκίασης ή/και συστημάτων φυσικού φωτισμού	Προσανατολισμός ανοιγμάτων, χρήση κτιρίου, περίοδος χρήσης
5	Χρήση συστήματος ρύθμισης της φωτεινής ροής των φωτιστικών με αισθητήρα φωτισμού	Εξοικονόμηση

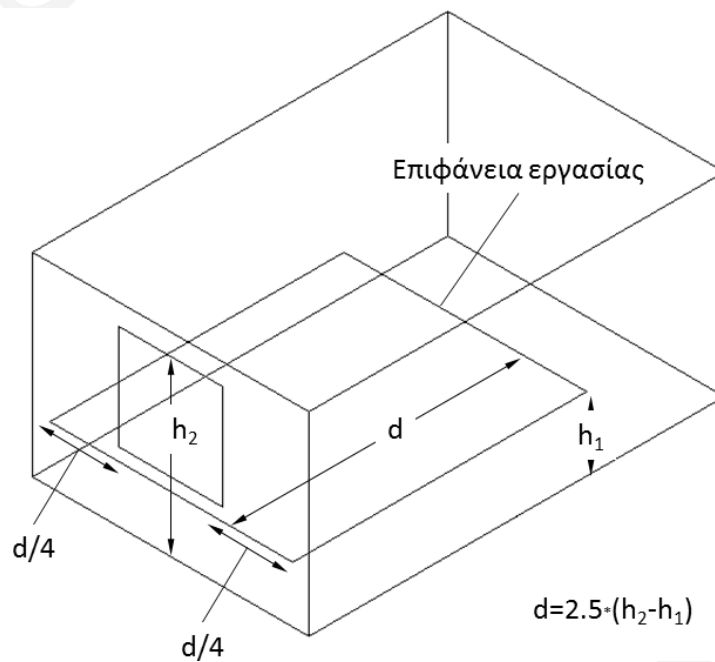
Μια από τις μεγάλες προκλήσεις είναι η εξασφάλιση φυσικού φωτισμού, στο μέτρο του δυνατού, στο εσωτερικό χώρων που βρίσκονται σε πυκνό αστικό περιβάλλον. Η αστική γεωμετρία επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό της διαθεσιμότητα του φυσικού φωτισμού ιδίως σε χώρους που βρίσκονται κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Χρήσιμη μέθοδος για την επίδραση των εξωτερικών εμποδίων είναι η εκτίμηση της περιοχής της επιφάνειας εργασίας η οποία δεν έχει «οπτική» σύνδεση με τμήματα του ουρανού. Είναι ενδιαφέρουσα η επίδραση του ύψους πρεκίου στην έκταση της προαναφερθείσας

περιοχής. Η αύξηση του οδηγεί σε αύξηση της περιοχής του κτιρίου που μπορεί να εκμεταλλευθεί τον φυσικό φωτισμό.

Ανοίγματα σε επαφή με αστικό περιβάλλον, δέχονται φωτισμό από ουρανό/ήλιο αλλά και από τις εξωτερικές επιφάνειες λόγω ανάκλασης. Σε συνθήκες νεφοσκεπούς ουρανού οι απέναντι επιφάνειες των κτιρίων έχουν μικρότερη λαμπρότητα από την περιοχή του ουρανού που καλύπτουν ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε αίθριες συνθήκες με παρουσία ήλιου. Στην τελευταία περίπτωση είναι δυνατό, οι απέναντι προσόψεις (ανάλογα με την ανακλαστικότητα τους) να είναι σημαντικοί παροχείς φυσικού φωτισμού ο οποίος πιθανόν να συνοδεύεται από θάμβωση.

#### 5.4.1. Μορφολογία κτιρίου

Η κάτοψη του κτιρίου μαζί με την εσωτερική διαρρύθμιση καθορίζει και την περιοχή που μπορεί να εκμεταλλευθεί το φυσικό φως (Ζώνη Φυσικού Φωτισμού, ΖΦΦ). Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 15193-1 καθορίζει την ζώνη εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού για πλευρικό άνοιγμα με τον τρόπο που φαίνεται στην [Εικόνα 5-1](#).



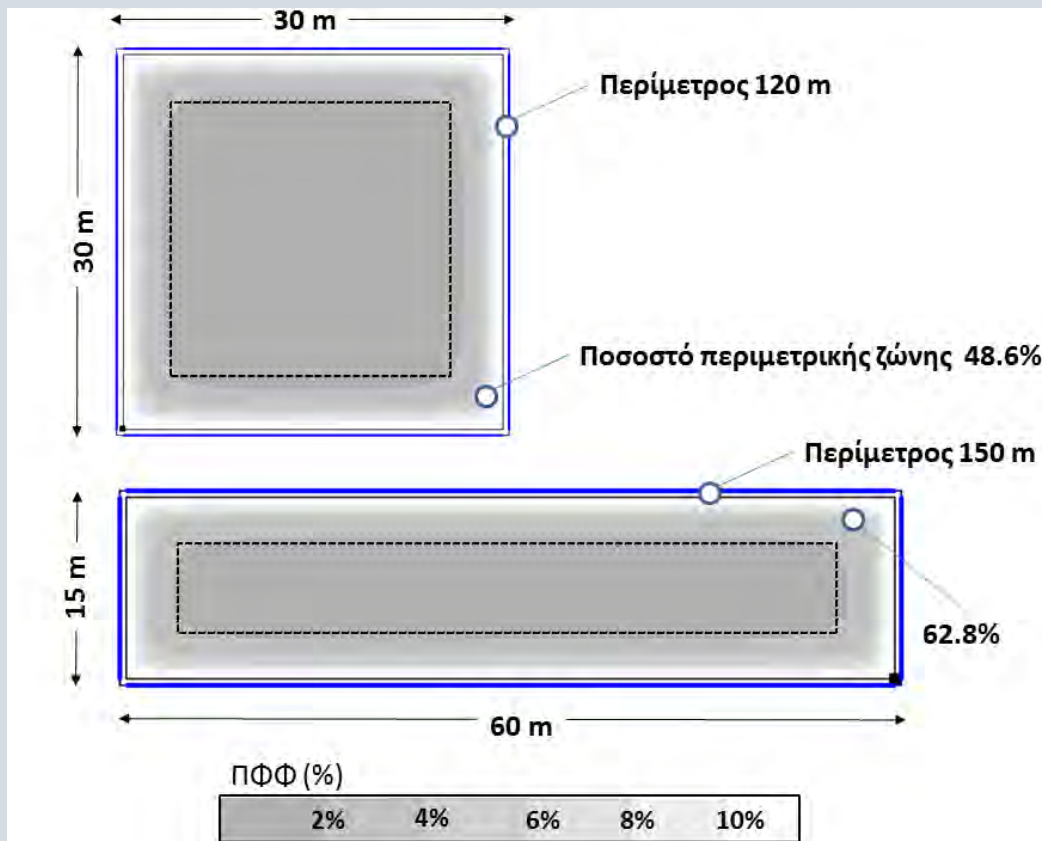
Εικόνα 5-1. Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193-1:2017.

Το συνολικό ποσοστό της ΖΦΦ σε σχέση με την επιφάνεια του δαπέδου μεταβάλλεται με το σχήμα του κτιρίου. Η «επιμήκυνση» της κάτοψης με συνεπακόλουθο της αύξηση της περιμέτρου οδηγεί σε αύξηση της έκτασης της ΖΦΦ. Όπως έχει αναφερθεί η ΖΦΦ επιδρά σε σημαντικό βαθμό στην εξοικονόμηση ενέργειας από το σύστημα ηλεκτροφωτισμού όταν συνδέεται με χώρους οι οποίοι χρησιμοποιούνται συχνά στο ωράριο λειτουργίας. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, οι συγκεκριμένοι χώροι τοποθετούνται στην περίμετρο αφήνοντας στον πυρήνα του κτιρίου τις βοηθητικές χρήσεις.

**Υπολογιστικό παράδειγμα**

Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193-1:2017 σε δυο διαφορετικές κατόψεις ίδιου εμβαδού

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 5-2) παρουσιάζεται η έκταση της περιμετρικής ζώνης (όπως αυτή υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 15193-1) για δυο διαφορετικές κατόψεις ίδιου εμβαδού. Στον υπολογισμό έχει θεωρηθεί ύψος πρεκίου στα ανοίγματα 2,5 m οπότε το βάθος της ΖΦΦ είναι 4,25 m από την πρόσοψη.



Εικόνα 5-2. Η επίδραση του σχήματος της κάτοψης είναι καθοριστικής σημασίας για το μέγεθος της ΖΦΦ (καθώς επίσης και για το μήκος της περιμέτρου). Εκτίμηση βάθους και πλάτους ΖΦΦ κατά EN 15193-1:2017.

**5.4.2. Προσανατολισμός**

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει αναφορά στον προσανατολισμό του κτιρίου ο οποίος επηρεάζει σημαντικά το συνολικό ενεργειακό του ισοζύγιο. Η «επιμήκυνση» της κάτοψης προφανώς αυξάνει τη δυνατότητα εξοικονόμησης από τον περιορισμό χρήσης του συστήματος ηλεκτροφωτισμού αλλά θα πρέπει να είναι συμβατή και με τις ανάγκες για περιορισμό των ηλιακών κερδών κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών. Στις προσόψεις με νότιο προσανατολισμό επιτυγχάνεται πιο εύκολα η ισορροπία ανάμεσα στην επάρκεια φυσικού φωτισμού και την ικανοποιητική αποκοπή ηλιακών κερδών λόγω του ύψους του ήλιου ιδίως την χρονική περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου. Στις ανατολικού και κυρίως δυτικού προσανατολισμού προσόψεις (ανάλογα και με το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου) η σκίαση αποτελεί καθοριστική επιλογή η οποία επηρεάζει και την επάρκεια φυσικού φωτισμού. Η βορεινή

πρόσοψη δεν εμφανίζει τα προβλήματα ρύθμισης των ηλιακών κερδών όπως η νότια και είναι παροχέας σταθερού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η διαφοροποίηση των ιδιοτήτων των υαλοπινάκων ανά προσανατολισμό μπορεί να συνεισφέρει σε σημαντική ρύθμιση των ηλιακών κερδών με ταυτόχρονη παροχή φυσικού φωτισμού (δηλ. αυξημένη διαπερατότητα στο ορατό τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας).

### 5.4.3. Κατακόρυφα ανοίγματα

Τα επίπεδα φυσικού φωτισμού καθώς και η κατανομή τους καθορίζονται πέραν των κλιματικών παραμέτρων από το μέγεθος, τη θέση και τον προσανατολισμό των ανοιγμάτων, τον τύπο του υαλοπίνακα και τα πιθανά συστήματα σκίασης. Επιπρόσθετα από την γεωμετρία του χώρου και την ανακλαστικότητα των επιφανειών που τον απαρτίζουν. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επάρκεια του φυσικού φωτισμού θα πρέπει να συνοδεύεται από ταυτόχρονη ικανοποίηση και επιπρόσθετων απαιτήσεων όπως π.χ. η ρύθμιση των ηλιακών κερδών, θάμβωσης. Συνεπώς η στρατηγική διαστασιολόγησης των ανοιγμάτων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό :

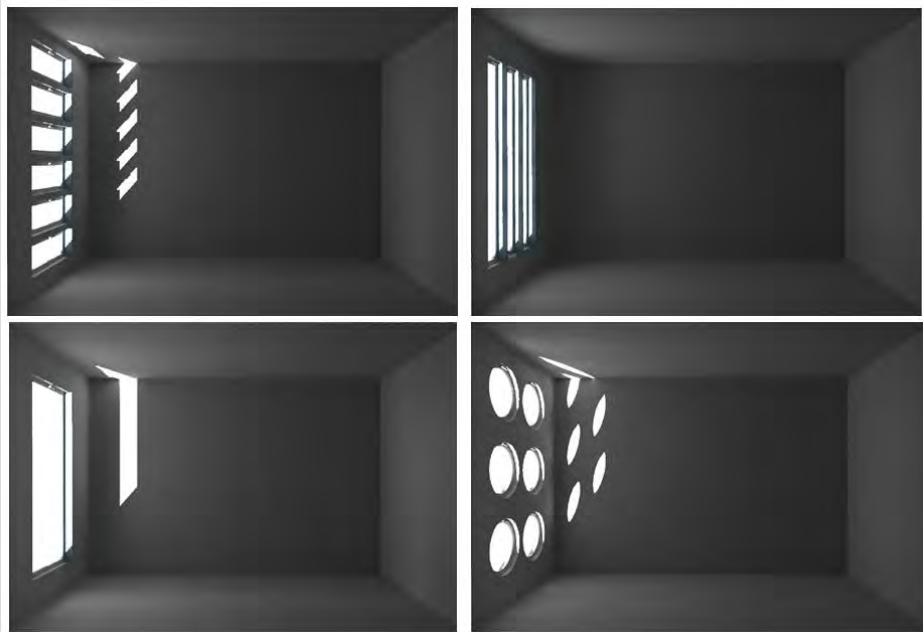
- Βορεινά ανοίγματα: ελάχιστα ηλιακά κέρδη, σχετική σταθερότητα στην παροχή διάχυτου φωτισμού, γενικά μικρές τιμές φυσικού φωτισμού που εξαρτάται από το μέγεθος των ανοιγμάτων, θερμικές απώλειες για τους χώρους.
- Νότια ανοίγματα: ηλιακά κέρδη, «δυναμικά» χαρακτηριστικά του φυσικού φωτισμού λόγω της πιθανής παρουσίας ηλιακών ιχνών. Η χρήση σκίασης πιθανόν να τροποποιήσει τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.
- Δυτικά, ανατολικά ανοίγματα: χαμηλή θέση ήλιου, είσοδος ηλιακών ακτίνων, τα ανοίγματα χρειάζονται τη σχετική ηλιοπροστασία (μείωση φορτίων αιχμής για ψύξη).

Η επέκταση του ανοίγματος προς το δάπεδο και κάτω από την επιφάνεια εργασίας δεν προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την αύξηση των επιπέδων φωτισμού. Αν ο σκοπός είναι η αύξηση των επιπέδων φυσικού φωτισμού, έχει σημασία ο τρόπος με τον οποίο θα «συνδεθεί» αυτή με την αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος. Σε γενικές γραμμές η σημαντική αύξηση του μεγέθους του ανοίγματος που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια εργασίας (~0,8m) συνοδεύεται συνήθως και από σημαντική αύξηση των επιπέδων φωτισμού κάτι που δεν παρατηρείται στην περίπτωση που το άνοιγμα επεκτείνεται με μείωση του ύψους της ποδιάς του.

Η επέκταση του ανοίγματος με την μείωση της ποδιάς δημιουργεί και ένα επιπρόσθετο πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπισθεί και είναι η σκίαση αυτού του τμήματος. Αν π.χ. είχε υιοθετηθεί πρόβολος τώρα το μήκος του θα πρέπει να αυξηθεί για να αντιμετωπισθεί το μεγαλύτερο ύψος του ανοίγματος ενώ πολλές φορές η συγκεκριμένη αύξηση δεν είναι εφικτή.

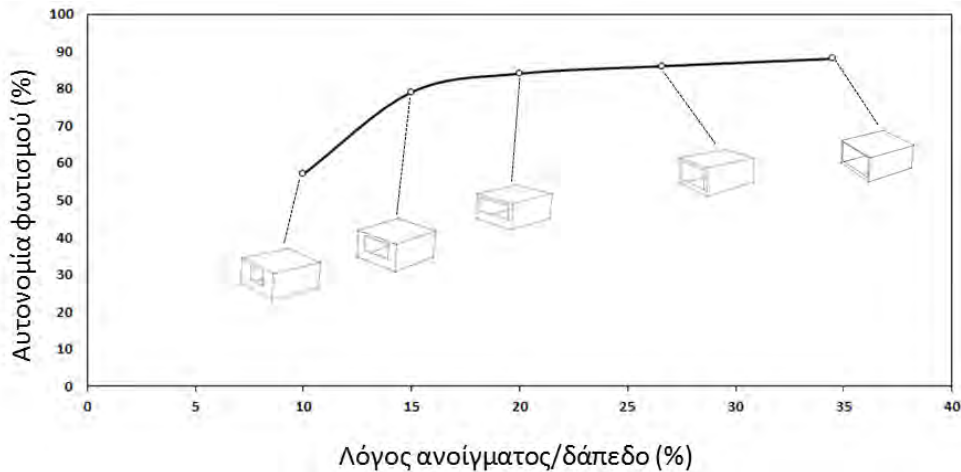
**Παράδειγμα***Χειρισμός φωτισμού με διαφοροποίηση της γεωμετρίας των ανοιγμάτων*

Στην [Εικόνα 5-3](#) παρουσιάζεται ο διαφορετικός χειρισμός του άμεσου ηλιακού φωτισμού λόγω της διαφοροποίησης της γεωμετρίας των ανοιγμάτων. Είναι σημαντική η εξής παρατήρηση. Μικρότερων διαστάσεων ανοίγματα μετατρέπουν το πάχος του τοίχου σε πολύ καλής απόδοσης σύστημα σκίασης ιδίως δε αν ο υαλοπίνακας τοποθετηθεί στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου (πάνω αριστερή εικόνα στην οποία δεν υπάρχουν ηλιακά ίχνη στο εσωτερικό).



*Εικόνα 5-3. Επίδραση διαφορετικής γεωμετρίας ανοιγμάτων στην κατανομή του άμεσου ηλιακού φωτισμού.*

Συνήθως οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με την παρουσία του συστήματος σκίασης. Αν χρειαστεί να αυξηθεί σε κάποιο βαθμό η επιφάνεια του ανοίγματος είναι προφανές ότι πρέπει να τροποποιηθεί και το σύστημα σκίασης ώστε να ικανοποιεί κάποια συγκεκριμένη απαίτηση. Η συνεχής αύξηση του ανοίγματος οδηγεί σε μεγαλύτερη είσοδο φωτεινής ροής αλλά αυτό συνοδεύεται και από ηλιακά κέρδη. Επειδή τα συνιστώμενα επίπεδα φωτισμού για διάφορους χώρους αποφασίζονται στα αρχικά στάδια της ανάλυσης (π.χ. 500 lx στις επιφάνειες εργασίας τυπικών χώρων γραφείου) τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας από το σύστημα φωτισμού ρυθμίζονται ώστε να είναι σε θέση να παρέχουν αυτή την τιμή. Δηλαδή σε σύστημα συνεχούς ρύθμισης της φωτεινής ροής των λαμπτήρων (dimming), η κατανάλωση ενέργειας σε αυτό μειώνεται όσο αυξάνονται τα επίπεδα φυσικού φωτισμού και ελαχιστοποιείται όταν επιτευχθούν τιμές π.χ. > 500 lx. Συνεπώς από αυτή την τιμή και πάνω δεν υπάρχουν πρόσθετα ενεργειακά οφέλη από τη μείωση της κατανάλωσης του ηλεκτροφωτισμού. Συνοπτικά, η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων σε σχέση με την επιφάνεια του χώρου αυξάνει την κατανάλωση ηλεκτρισμού για ψύξη ενώ μειώνει την κατανάλωση ηλεκτροφωτισμού μέχρι ενός σημείου. Το γεγονός αυτό παρουσιάζεται στην [Εικόνα 5-6](#).



Εικόνα 5-4. Αυτονομία φυσικού φωτισμού σε σχέση με τον λόγο επιφάνειας ανοίγματος προς επιφάνεια δαπέδου. Μετά από σταδιακή αύξηση της επιφάνειας του ανοίγματος παρατηρείται «Κορεσμός» όσον αφορά την εξοικονόμηση από τον φυσικό φωτισμό (εννοείται στην συγκεκριμένη περίπτωση η εξοικονόμηση από τον περιορισμό της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροφωτισμού).

#### 5.4.4. Οριζόντια ανοίγματα

Σε νεφροσκεπείς συνθήκες, ο φωτισμός σε οριζόντιο επίπεδο είναι πολλαπλάσιος από τον φωτισμό σε κατακόρυφο επίπεδο συνεπώς η παρεχόμενη ροή από οριζόντια ανοίγματα είναι μεγαλύτερη. Όμως τα οριζόντια ανοίγματα δέχονται σημαντικά αυξημένη άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών και αυτό έχει σαν συνέπεια – στην περιοχή της Ελλάδας – η διαστασιολόγηση και η σκίασή τους να χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή. Η χρήση τους επιτρέπει την επίτευξη μεγαλύτερων τιμών ομοιομορφίας (σε σχέση με τα κατακόρυφα) ενώ σε μερικές περιπτώσεις, ο σχεδιασμός κάποιου συστήματος ελέγχου επιτρέπει τη ρύθμιση της φωτεινής ροής που εισέρχεται από αυτά.

#### 5.4.5. Γεωμετρία χώρου

Η ανισοκατανομή του φυσικού φωτισμού σε χώρους με κατακόρυφα ανοίγματα είναι εγγενές χαρακτηριστικό του. Συνεπώς είναι δύσκολο μόνο με τη χρήση πλευρικών ανοιγμάτων σε κάποιο χώρο να επιτευχθεί ομοιομορφία (δηλ. ο λόγος  $E_{min}/E_{mean}$ ) ίδια με αυτή που απαιτείται στον σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτροφωτισμού (και ίσως μη επιθυμητή).

Η βελτίωση της ομοιομορφίας μπορεί να επιτευχθεί:

- Με μείωση του βάθους του χώρου. Με αυτό τον τρόπο «αυξάνεται» η ελάχιστη τιμή  $E_{min}$ . Μια πρακτική προσέγγιση είναι η εφαρμογή του τύπου του Lynes, για την αποφυγή σχεδιασμού χώρων με μεγάλο βάθος. Η συνθήκη αυτή περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} \leq \frac{2}{(1-r)} \quad [\text{εξ. 5.2}]$$

όπου:  $L [m]$ : το μήκος του πρεκίου

$W [m]$ : το πλάτος του πρεκίου

$H_w [m]$ : ύψος του πρεκίου από το δάπεδο του χώρου

$r [-]$ : η μέση ανακλαστικότητα των επιφανειών στο πίσω μισό μέρος του χώρου

Η μέση ανακλαστικότητα των επιφανειών υπολογίζεται με τη βοήθεια της επόμενης σχέσης:

$$r = \frac{r_1 \cdot A_1 + r_2 \cdot A_2 + \dots + r_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad [\text{εξ. 5.3}]$$

όπου:  $r_1[-]$ : η ανακλαστικότητα της επιφάνειας 1

$A_1[m^2]$ : το εμβαδόν της επιφάνειας 1

$r_n[-]$ : η ανακλαστικότητα της επιφάνειας  $n$

$A_n[m^2]$ : το εμβαδόν της επιφάνειας  $n$

Η επίδραση του παραπάνω τύπου είναι να διατηρηθεί ο λόγος της στάθμης φυσικού φωτισμού στο εμπρός μισό τμήμα του δωματίου προς τη στάθμη φωτισμού το πίσω μισό τμήμα του δωματίου μικρότερος από 3.

- Με συστήματα ηλιοπροστασίας. Η σκίαση επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την κατανομή του φυσικού φωτισμού. Ενδιαφέρει γενικά η υιοθέτηση συστημάτων σκίασης που και να παρέχουν επαρκή έλεγχο των ηλιακών κερδών χωρίς να επιβαρύνουν δυσμενώς την ομοιομορφία. Για παράδειγμα, η χρήση προβόλου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των επιπέδων φωτισμού πολύ περισσότερο κοντά στο άνοιγμα από ότι σε σημεία μακριά από αυτό.
- Με οριζόντια ανοίγματα (ανοίγματα οροφής). Τα οριζόντια ανοίγματα συμβάλλουν περισσότερο στην αύξηση της ομοιομορφίας, χρειάζεται όμως προσοχή στη σκίαση τους.
- Με τη δημιουργία κλίσης στην οροφή του χώρου. Η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει την αύξηση του ύψους των φεγγιτών και με αυτό τον τρόπο και το βάθος της περιμετρικής ζώνης.
- Με εναλλαγή μικρών οριζόντιων ανοιγμάτων. Η ομοιόμορφη κατανομή φωτισμού τροποποιείται σημαντικά όταν αντί ενός συνεχούς οριζόντιου ανοίγματος χρησιμοποιείται μια σειρά από μικρότερα δημιουργώντας αντιθέσεις. Ο συνδυασμός ανοίγματος με π.χ. γραφεία ενδείκνυται σε αυτή την περίπτωση.
- Με αμφίπλευρο φωτισμό. Συνήθως η χρήση φεγγιτών στον τοίχο απέναντι από το κύριο άνοιγμα μέσω των οποίων μεταφέρεται φυσικό φως από γειτονικό χώρο π.χ. αίθριο ή διάδρομο βελτιώνει την ομοιομορφία σημαντικά. Οι φεγγίτες μπορούν να βοηθήσουν και στην διεύρυνση της περιμετρικής ζώνης όπως έχει παρουσιασθεί και σε προηγούμενη παράγραφο αλλά και να αυξήσουν την ομοιομορφία.
- Με αύξηση ανακλαστικότητας. Η αύξηση της ανακλαστικότητας προφανώς συμβάλλει στην αύξηση του φωτισμού που οφείλεται στις εσωτερικές ανακλάσεις.

#### 5.4.6. Υαλοπίνακες

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου υαλοπινάκων είναι καθοριστικής σημασίας για το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου και επηρεάζει σημαντικά την θερμική και οπτική άνεση. Η διαδικασία επιλογής θα πρέπει να ικανοποιήσει ανταγωνιστικές παραμέτρους (π.χ. επάρκεια σε φυσικό φωτισμό και ταυτόχρονα περιορισμό ηλιακών κερδών) και θα πρέπει επίσης να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με το σύστημα σκίασης. Η προτεινόμενη σχεδιαστική προσέγγιση εδώ είναι η δημιουργία ενός κελύφους που αποτελείται από διαδοχικά επίπεδα (εξωτερική σκίαση, υαλοπίνακας, εσωτερική σκίαση) και προσφέρει τη δυνατότητα να ρυθμιστούν, εκτός από τις ενεργειακές παραμέτρους, και οι παράμετροι που συνδέονται με την ιδιωτικότητα, την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και την αντιμετώπιση της θάμβωσης.



Σήμερα οι διαθέσιμοι υαλοπίνακες μπορούν να ικανοποιήσουν ένα τεράστιο εύρος πιθανών επιλογών. Τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να ρυθμιστούν με:

- Την τροποποίηση των ιδιοτήτων τους με την βοήθεια χημικής επεξεργασίας (έγχρωμοι υαλοπίνακες).
- Την χρήση ειδικών επιστρώσεων. Υπάρχουν ανακλαστικές επιστρώσεις με σκοπό να ελαττώσουν τα ηλιακά κέρδη, επιστρώσεις με μικρό συντελεστή εκπνεμτικότητας (low-e) που περιορίζουν τη διάδοση υπέρυθρης ακτινοβολίας και επιστρώσεις που εμφανίζουν ισχυρή φασματική επιλεκτικότητα. Η χρήση των τελευταίων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις που χρειάζεται να διατηρηθεί υψηλή τιμή στη διαπερατότητα στο ορατό φως (δηλ. πρακτικά να εξοικονομηθεί ενέργεια με τη χρήση του φυσικού φωτισμού) αλλά ταυτόχρονα να μειωθούν και τα ηλιακά κέρδη
- Την δυναμική μεταβολή της διαπερατότητας τους (ηλεκτροχρωμικοί, αεριοχρωμικοί, υγρών κρυστάλλων κ.λπ.) με μια μικρή δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας.

Προφανώς η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού εξαρτάται από την διαπερατότητα του υαλοπίνακα. Με τους έγχρωμους υαλοπίνακες η μείωση του συντελεστή ηλιακών κερδών συνοδεύεται με μείωση της διαπερατότητας. Σήμερα είναι ζητούμενη η κατασκευή υαλοπινάκων με κάποια φασματική επιλεκτικότητα γεγονός που επιτρέπει και την χρήση φυσικού φωτισμού αλλά και την μείωση των ηλιακών κερδών. Ο λόγος  $\tau/g$ , δηλαδή του συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  στο ορατό φως προς τον συντελεστή ηλιακών κερδών  $g$  είναι ενδεικτικός για την φασματική επιλεκτικότητα του υαλοπίνακα (Πίνακας 5-3). Με υψηλές τιμές του παραπάνω λόγου επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και η σχετική μείωση των ηλιακών κερδών αλλά και η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού.

Πίνακας 5-3. Τυπικά χαρακτηριστικά έγχρωμων υαλοπινάκων πάχους 6mm.

Τύπος υαλοπίνακα	Διαπερατότητα στο ορατό φάσμα ( $\tau$ )	Συντελεστής ηλιακών κερδών ( $g$ )	Λόγος $\tau/g$
Διαφανής	0,884	0,817	1,08
Πράσινου χρώματος	0,754	0,600	1,25
Μπλε χρώματος	0,574	0,581	0,98
Γκρι χρώματος	0,437	0,604	0,72

## 5.5. Συστήματα φυσικού φωτισμού

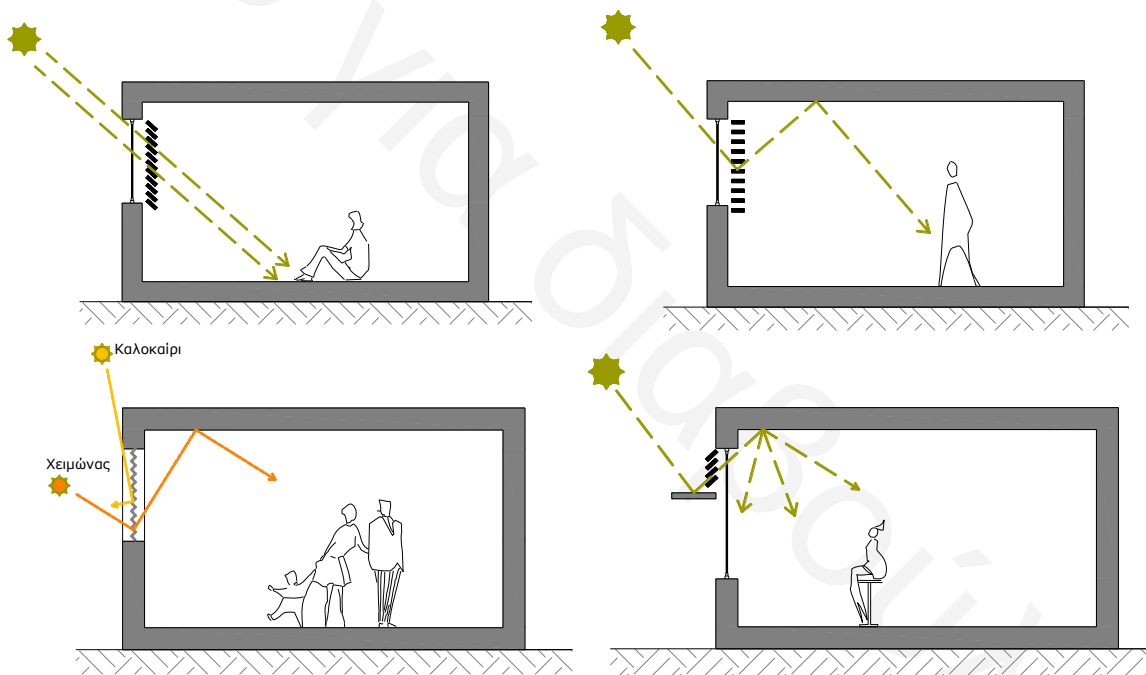
Ο στόχος της χρήσης αυτών των συστημάτων είναι:

- η αύξηση των επίπεδων φυσικού φωτισμού σε περιοχές μακριά από τα ανοίγματα
- η βελτίωση της ομοιομορφίας κατανομής του φυσικού φωτισμού
- η βελτίωση της οπτικής άνεσης,
- η παροχή σκίασης, αν είναι δυνατόν εποχικά επιλεκτικής,
- η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον.

### 5.5.1. Περίδες

Η πλέον συνήθης μορφή περισίδων είναι τα βενετικά στόρια. Εδώ η προσπάθεια μείωσης της ηλιακών κερδών οδηγεί συνήθως σε σημαντική μείωση της οπτικής επαφής με το εξωτερικό περιβάλλον. Η χρήση διάτρησης βελτιώνει αυτή την κατάσταση, έτσι ώστε, ακόμη και αν είναι κλειστές οι περισίδες, διατηρείται η οπτική επαφή.

Αυτό που έχει ενδιαφέρον είναι ο σχεδιασμός περισίδων οι οποίες μαζί με τις παραπάνω παρατηρήσεις ανακατευθύνουν σημαντική ποσότητα φωτισμού στην οροφή παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μια εποχική επιλεκτικότητα (δηλ. μεγαλύτερη είσοδο ηλιακής ενέργειας τον χειμώνα από το καλοκαίρι). Η προαναφερθείσα απαίτηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση στατικών ανακλαστικών περισίδων και συγκεκριμένου προφίλ (καμπύλη τομής). Η χρήση ανακλαστικών περισίδων για καλύτερο έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας προϋποθέτει και μια σχετική προστασία τους για την αποφυγή μείωσης της απόδοσης τους. Η πλέον τυπική λύση είναι η τοποθέτησή τους σε διπλό υαλοπίνακα. Αυτή η διευθέτηση παρουσιάζει το πλεονέκτημα της ρύθμισης του συντελεστή ηλιακών κερδών και της διαπερατότητας στο ορατό ανάλογα με την επιλογή του υαλοπίνακα. Σε πολλές περιπτώσεις δε, η γεωμετρία του συστήματος μπορεί να τροποποιηθεί πριν τοποθετηθεί στο διάκενο, ικανοποιώντας διαφορετικές απαιτήσεις.



Εικόνα 5-5. Σχηματική λειτουργία περισίδων

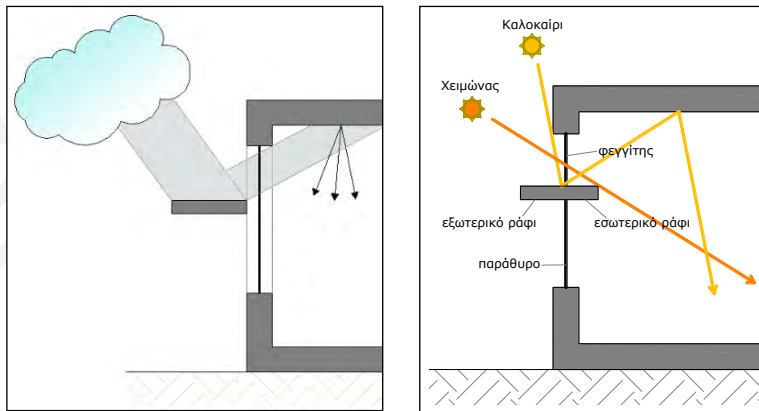
### 5.5.2. Ράφι φωτισμού

Το ράφι φωτισμού είναι από τα πλέον απλά συστήματα διαχείρισης του φυσικού φωτισμού. Διαχωρίζει το άνοιγμα σε δύο τμήματα:

- α. αυτό που θεωρείται ως παροχέας θέας (χαμηλότερο τμήμα) και
- β. αυτό που είναι παροχέας φωτισμού (ψηλότερο τμήμα, φεγγίτης).

Ταυτόχρονα μπορεί, με χρήση προβόλου ενδιάμεσα, να παρέχει σκίαση στο χαμηλότερο τμήμα. Τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι αυξημένης ανακλαστικότητας. Μπορεί να ανακλούν κατοπτρικά ή διαχυτικά με την πρώτη περίπτωση να έχει καλύτερη απόδοση όμως θα πρέπει να προσεχθεί όσον αφορά τα θέματα των ανακλάσεων στην οροφή αλλά και πιθανών προβλημάτων

θάμβωσης λόγω ακριβώς αυτών των ανακλάσεων. Γενικά, η απόδοση των ραφιών είναι καλύτερη όταν τοποθετούνται σε χώρους νότιου προσανατολισμού στους οποίους υπάρχουν εξωτερικά εμπόδια. Η διαστασιολόγηση τους εξαρτάται από τις διαστάσεις του φεγγίτη, το ύψος της οροφής και τη διαμόρφωση του χώρου.

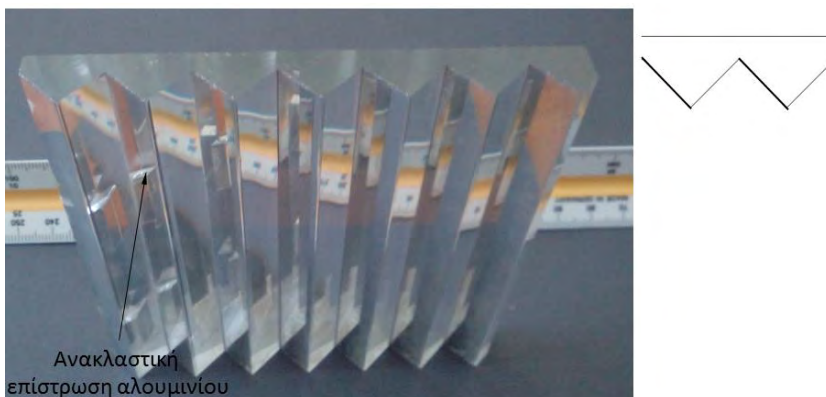


Εικόνα 5-6. Σχηματική λειτουργία ραφιών φωτισμού

### 5.5.3. Πρισματικοί ακρυλικοί υαλοπίνακες

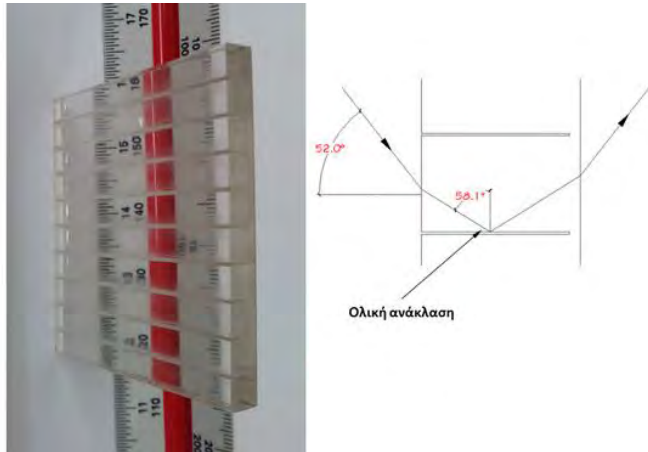
Οι πρισματικοί ακρυλικοί υαλοπίνακες σήμερα αποτελούν πια συμβατική λύση για την σκίαση αφού με κατάλληλο προσανατολισμό μπορούν να αποτρέψουν την είσοδο ηλιακών ακτίνων. Για μέγιστη ηλιοπροστασία θα πρέπει η κλίση τους να ρυθμίζεται ανάλογα με το ύψος του ήλιου ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης για την απόρριψη των ηλιακών ακτίνων. Προφανώς η διαπερατότητα στην διάχυτη ακτινοβολία είναι αυξημένη. Τυπικές τιμές για τον συντελεστή ηλιακών κερδών  $g$  είναι περίπου 0,15 (δηλ. 15%) ενώ η διαπερατότητα  $\tau$  στο ορατό φως (διάχυτη ακτινοβολία) φτάνει μέχρι 0,43 (43%). Οι πρισματικοί υαλοπίνακες εμποδίζουν την θέρμανση και έτσι συνήθως τοποθετούνται σχετικά ψηλά (φεγγίτες) είτε στο διάκενο διπλών υαλοπινάκων (επιπρόσθετη προστασία) είτε σε σύστημα σκίασης.

Οι ασύμμετροι πρισματικοί υαλοπίνακες (δηλ. αυτοί των οποίων τα στοιχειώδη πρίσματα δεν έχουν όμοιες πλευρές) χρησιμοποιούνται και για αλλαγή της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων (συνήθως προς την οροφή) με αποτέλεσμα βελτίωση των συνθηκών οπτικής άνεσης. Η λειτουργία τους βασίζεται σε μια απλή αρχή: τον σχεδιασμό πρισμάτων τα οποία επιτρέπουν την είσοδο ηλιακών ακτίνων όταν η γωνία πρόσπτωσης στον υαλοπίνακα είναι π.χ. μικρότερη από κάποια τιμή και την απόρριψή τους όταν η γωνία ξεπεράσει αυτή την τιμή.

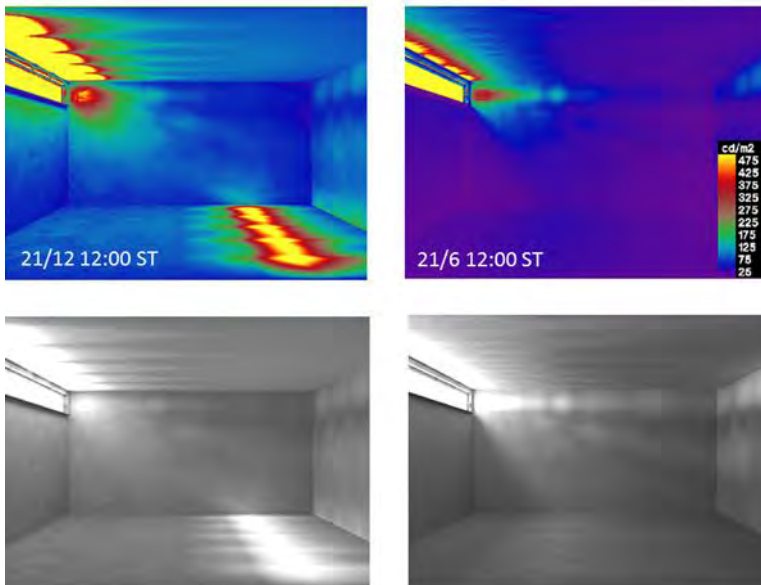


Εικόνα 5-7. Πρισματικός συμμετρικός υαλοπίνακας (υλικό PMMA) με ανακλαστική επίστρωση.

Η ίδια αρχή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ένα απλούστερο γεωμετρικά σύστημα. Σε φύλλο ακρυλικού πραγματοποιούνται τομές (laser cut panel) όπως παρουσιάζεται στην [Εικόνα 5-8](#). Και σε αυτό το σύστημα ο στόχος είναι η αλλαγή στην κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων προς την οροφή και σε μεγάλη – κατά το δυνατό – απόσταση από το άνοιγμα. Στην [Εικόνα 5-9](#) παρουσιάζεται η συμπεριφορά αυτού του πάνελ όταν τοποθετηθεί σε φεγγίτη νότιου προσανατολισμού.



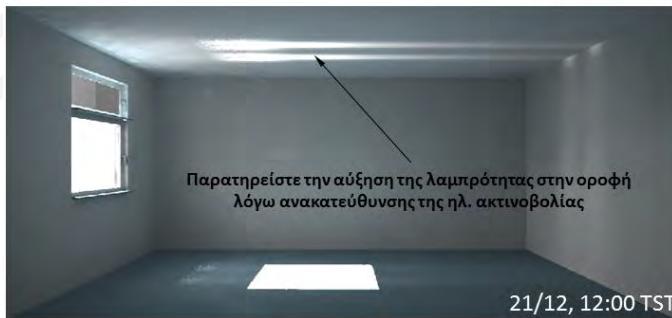
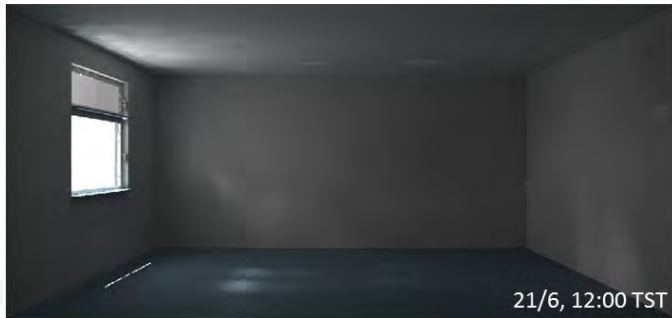
Εικόνα 5-8. Ακρυλικό υλικό με τομές από laser cutter.



Εικόνα 5-9. Νότιο άνοιγμα με ακρυλικό υλικό με τομές από laser cutter, σε χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Παρατηρείται αύξηση της λαμπρότητας της οροφής.

#### 5.5.4. Ολογραφικά υμένα

Κατασκευάζονται με φωτογραφική επεξεργασία διχρωμικής ζελατίνας. Η τοποθέτησή τους (κόλληση) σε υαλοπίνακες (laminated) επιτρέπει την χρήση στο κτιριακό περιβάλλον. Μπορούν να αλλάξουν κατεύθυνση στις ηλιακές ακτίνες ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης επιρεάζοντας δυσμενώς την οπτική οπαφή με το περιβάλλον.



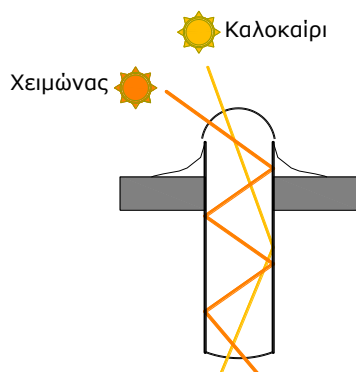
Εικόνα 5-10. Συνθετικές εικόνες με την κατανομή λαμπρότητας σε δωμάτιο νότιου προσανατολισμού στην Αθήνα. Ολογραφικό υμένιο έχει τοποθετηθεί στον φεγγίτη. Η αλλαγή θέσης του ήλιου τροποποιεί και την κατανομή λαμπρότητας. Παρατηρείται αύξηση της λαμπρότητας της οροφής.

### 5.5.5. Φωτοσωλήνες

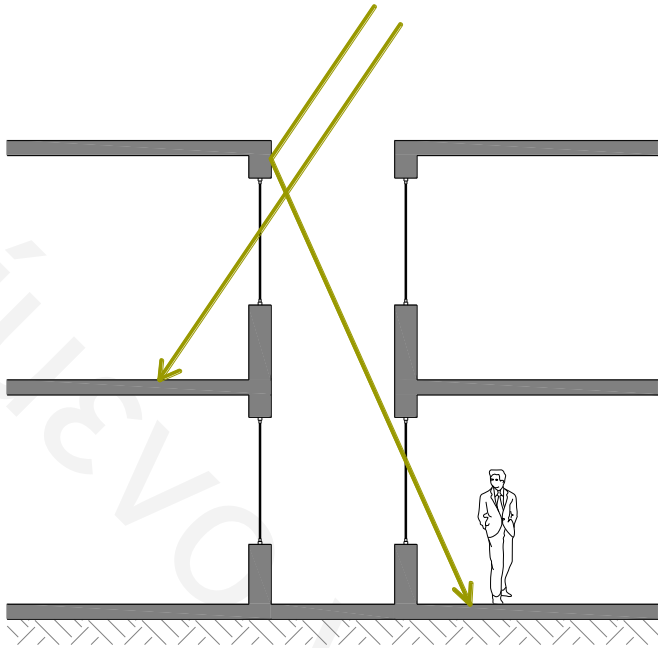
Ο φωτοσωλήνας είναι μια σχετικά απλή κατασκευή, η οποία εισάγει φως από την οροφή σε σκοτεινά σημεία των κτιρίων ακόμα και σε χαμηλότερους ορόφους (light ducts ή sun ducts ή light wells ή light pipes). Πρόκειται για αγωγό, επιστρωμένο στο εσωτερικό του με υλικό μεγάλης ανακλαστικότητας - όπως καθρέφτες, ελάσματα από αλουμίνιο ή βαμμένο με πολύ στιλπνά χρώματα, που φέρει διαφανή καλύμματα στα δύο άκρα του. Συνήθως οι διαστάσεις του είναι μικρές, με διαμέτρους από περίπου 0.3 m μέχρι ~ 0.8 m (Εικόνα 5-11). Ο φωτοσωλήνας μπορεί να είναι είτε ενιαίος κατακόρυφος είτε να αποτελείται από τμήματα υπό κλίση.

Η απόδοσή του εξαρτάται από την ένταση φωτισμού στο επίπεδο του φωτοσωλήνα εξωτερικά, το ύψος του ήλιου, την ανακλαστικότητα του υλικού στο εσωτερικό του σωλήνα, την ύπαρξη ή όχι γωνιών στο φωτοσωλήνα και από το λόγο του μήκους του προς τη διάμετρό του. Για αυξημένη απόδοση το μήκος του δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10m (Lechner, 2014) δεδομένου ότι όσο αυξάνει το μήκος, μειώνεται σημαντικά η ένταση του φωτισμού.

Υπό αυτή την λογική, με επίστρωση των τοιχίων των σκοτεινών φωταγωγών πολλών υφιστάμενων κτιρίων με υλικά μεγάλης ανακλαστικότητας, όπως εκείνα που χρησιμοποιούνται στους φωτοσωλήνες, μπορούν να μεταλλαχθούν σε πραγματικά κανάλια φωτισμού, προσφέροντας έμμεσο, φυσικό φωτισμό σε χώρους που δεν έχουν άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον (Εικόνα 5-12).



Εικόνα 5-11. Αρχή λειτουργίας φωτοσωλήνα



Εικόνα 5-12. Διαγραμματική απεικόνιση φωταγωγού. Με διαδοχικές ανακλάσεις, ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός μπορεί να φτάσει στους χαμηλούς ορόφους.

## 6. Μικροκλίμα

### 6.1. Τεχνικές βελτίωσης μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου

Οι βασικές αρχές που επηρεάζουν τις θερμικές ισορροπίες στον πλανήτη και αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια (κλιματικές συνθήκες, γεωμετρία, υδροθερμικές και οπτικές ιδιότητες υλικών), επηρεάζουν και το μικροκλίμα που διαμορφώνεται γύρω από τα κτίρια. Έτσι, όταν σχεδιάζεται με βιοκλιματικά κριτήρια είτε ο αστικός χώρος είτε ο περιβάλλον χώρος ενός κτιρίου, λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Προσανατολισμός και γεωμετρία κτιριακών όγκων, σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματικές συνθήκες.
- Επιφανειακά υλικά (ανακλαστικότητα, ικανότητα εκπομπής, θερμοχωρητικότητα και πορώδους σύσταση), ανάλογα με το κλίμα της περιοχής.
- Φύτευση, που προσφέρει εξατμισοδιαπνοή, σκίαση καθώς και διοχέτευση των ανέμων, ιδιαίτερα ευεργετικές ιδιότητες από θερμική άποψη, πέραν των υπόλοιπων θετικών επιρροών (σε επίπεδο αισθητικό, κοινωνικό, ψυχολογικό κ.α.).

Η βελτίωση του μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου μπορεί να επιτευχθεί

- Με τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών ή της εξατμησης υγρασίας από υδάτινα στοιχεία και το φυσικό έδαφος (και συνοδεύεται από αύξηση της σχετικής υγρασίας).
- Με τη μείωση των επιφανειακών θερμοκρασιών, είτε μέσω της μείωσης της απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας των επιφανειακών υλικών, είτε μέσω της ηλιοπροστασίας των εξωτερικών επιφανειών από τα φυλλώματα των φυτών ή άλλα σκίαστρα μπορεί να έχει ευεργετική επίδραση στη μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου.
- Με τη διευθέτηση του ανέμου στους υπαίθριους χώρους και σε σχέση με το κέλυφος του κτιρίου από δέντρα, πράσινους φράκτες ή άλλους ανεμοφράκτες μπορεί να φέρει θετικά αποτελέσματα τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη ενός κτιρίου.

Πίνακας 6-1 Τεχνικές βελτίωσης του μικροκλίματος στο περιβάλλον του κτιρίου

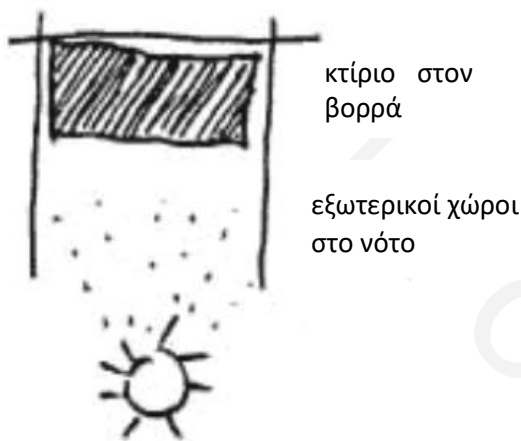
Διαχείριση μικροκλίματος	Επιλογές σχεδιασμού	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εξατμισοδιαπνοή Εξάτμιση	Φύτευση στο δώμα Φύτευση στην όψη Φύτευση υπαίθριου χώρου	Μεγάλη αποτελεσματικότητα Βελτίωση ποιότητας αέρα	Τεχνικές απαιτήσεις κατασκευής Απαιτήσεις συντήρησης
	Υδατοπερατά δάπεδα	Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα Αποφόρτιση δικτύων αποχέτευσης ομβρίων υδάτων	Τεχνικές απαιτήσεις κατασκευής Απαιτήσεις συντήρησης
	Υδάτινα στοιχεία	Υψηλός ρυθμός εξάτμισης στην περίπτωση σταγονιδίων Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας στην περίπτωση υδάτινων επιφανειών	Τεχνικές απαιτήσεις κατασκευής Απαιτήσεις συντήρησης
Ακτινοβολία	Ψυχρά υλικά εξωτερικών δαπέδων	Μείωση θερμοκρασίας περιβάλλοντος	Μείωση αποδοτικότητας με το πέρασμα του χρόνου Επιδείνωση θερμικής άνεσης πεζών σε περίπτωση έντονης ηλιακής ακτινοβολίας
Ηλιοπροστασία	Στέγαστρα Φύτευση δέντρων Στοές Ημιυπαίθριοι χώροι	Μεγάλη αποτελεσματικότητα δροσισμού στη διάρκεια της ημέρας Προστασία από τη βροχή Μείωση φαινομένων θάμβωσης Βελτίωση οπτικής άνεσης	Εμπόδιο αποβολής θερμότητας τη νύχτα
Ανεμοπροστασία	Δεντροστοιχίες Φράκτες φύτευσης Ανεμοφράκτες	Βελτίωση θερμικής άνεσης τον χειμώνα	Οπτικά εμπόδια Εμπόδια διέλευσης
Ηχοπροστασία	Φυτεύσεις Ηχοαπορροφητικές διατάξεις	Βελτίωση ακουστικής άνεσης	Τεχνικές απαιτήσεις κατασκευής Απαιτήσεις συντήρησης



### 6.1.1. Προσανατολισμός κτιρίου και θέση του στο οικόπεδο

Όσο μικρότερη είναι η απόκλιση του κτιρίου από τον νότιο προσανατολισμό (έως  $30^\circ$ ), τόσο πιο αποτελεσματικά μπορεί να γίνει η αξιοποίηση των χειμερινών ηλιακών κερδών από τα νότια ανοίγματα του κτιρίου και τα παθητικά ηλιακά συστήματα. Είναι σημαντικό, τη χειμερινή περίοδο, όταν ο ήλιος κινείται χαμηλά στο στερέωμα, η νότια πλευρά του κτιρίου να μη σκιάζεται από γειτονικά εμπόδια. Σε περίπτωση που δεν μπορεί να αποφευχθεί η σκίαση, ουσιαστικά δεν υπάρχουν ιδιαίτερα ηλιακά κέρδη από το νότο και η νότια πλευρά μπορεί να παρέχει έως και ασήμαντα ηλιακά κέρδη.

Είναι ιδιαίτερα σημαντική η τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, με τέτοιο τρόπο, ώστε η νότια πλευρά να είναι όσο πιο εκτεθειμένη γίνεται. Όσο πιο βόρεια τοποθετούμε λοιπόν το κτίριο στο οικόπεδό μας, σε ηλιαζόμενη περιοχή του οικοπέδου, τόσο πιο πολύ του εξασφαλίζουμε χειμερινό ηλιασμό. Αν πάλι, σχεδιάζουμε ένα κτίριο για θερινή λειτουργία (π.χ. ξενοδοχείο εποχιακής λειτουργίας), τότε η στρατηγική σχεδιασμού αντιστρέφεται: τόσο ο περιβάλλοντας χώρος του, όσο και οι κύριοι χώροι του κτιρίου πρέπει να ηλιοπροστατεύονται είτε από τους γύρω όγκους είτε από τη διαμόρφωση του περιβάλλοντα χώρου και τη στροφή του κτιρίου προς το βορρά.



Εικόνα 6-1. Τοποθέτηση κτιρίου στο οικόπεδο για μεγιστοποίηση ηλιακών κερδών

Ένας άλλος, πολύ σημαντικός παράγοντας για το ελλαδικό κλίμα, είναι η τοποθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο σε τέτοια θέση, ώστε από τη μία να προστατεύεται από τους χειμερινούς ανέμους, αλλά από την άλλη να γίνεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη εκμετάλλευση των θερινών ανέμων (ιδιαίτερα των νυχτερινών) για απαγωγή της θερμότητας από το κτίριο τη θερινή περίοδο.

Η βλάστηση στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου μπορεί να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος, στην προστασία από τους χειμερινούς ανέμους με τη διάταξη φύτευσης αειθαλών δένδρων και θάμνων από την πλευρά των χειμερινών ανέμων, καθώς και φύτευση φυλλοβόλων δένδρων μπροστά από τις νότιες όψεις, ώστε να σκιάζονται τα νότια ανοίγματα τη θερινή περίοδο, αλλά να επιτρέπεται η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας τη χειμερινή περίοδο.

Φυσικά, θέματα όπως η θέα, οι πολεοδομικές διατάξεις, η σχέση του κτιρίου με το δρόμο αποτελούν επίσης καθοριστικούς παράγοντες στον προσανατολισμό του κτιρίου και τη θέση του στο οικόπεδο.

### 6.1.2. Επίδραση υλικών στο μικροκλίμα

Οι ιδιότητες των υλικών που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του μικροκλίματος είναι η ανακλαστικότητα, η ικανότητα εκπομπής, η θερμοχωρητικότητα καθώς και η υδατοπερατότητά τους. Γενικά πρόκειται για τις ιδιότητες που καθορίζουν το πώς το υλικό απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία,

αποθηκεύει και εκπέμπει τη θερμότητα και το κατά πόσο απορροφά νερό, ώστε να ψύχεται από την εξάτμιση. Είναι προφανές ότι για ψυχρές περιοχές, σκουρόχρωμες επιφάνειες στις όψεις των κτιρίων και στα υλικά του περιβάλλοντος χώρου λειτουργούν ευεργετικά, προκειμένου να θερμαίνεται η περιοχή. Για το ελλαδικό κλίμα όμως, που χαρακτηρίζεται από θερμά καλοκαίρια που τείνουν να γίνονται όλο και θερμότερα, είναι απαραίτητο στον αστικό σχεδιασμό να χρησιμοποιούνται υλικά που είναι ικανά να μειώσουν τις αστικές θερμοκρασίες.

#### 6.1.2.1. Θερμοχωρητικότητα υλικών στους εξωτερικούς χώρους

Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι αυξημένη ένταση θερμικής νήσου στις ελλαδικές πόλεις εμφανίζεται κυρίως τις νυχτερινές ώρες κι όχι κατά τη διάρκεια της ημέρας (Daglis, και συν., 2010) (Giannaros, Melas, Daglis, Keramitsoglou, & Kourtidis, 2013), γεγονός που αναδεικνύει τη σπουδαιότητα της θερμοχωρητικότητας των υλικών και στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου. Κι ενώ στο εσωτερικό του κτιρίου, προσπαθούμε να αυξάνουμε τη θερμοχωρητικότητά του, στο εξωτερικό προσπαθούμε να τη μειώνουμε, προκειμένου, με το νυχτερινό αερισμό να απάγονται ικανά ποσά θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου, ώστε να ψύχεται ικανοποιητικά.

Εκτός της επιλογής υλικών με χαμηλή απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, είναι σημαντικό να δίνεται μέριμνα για μείωση της άσκοπης χρήσης υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα στους κοινόχρηστους χώρους και στις εξωτερικές επιφάνειες κτιρίων, τη σκίαση και την αύξηση της βλάστησης και του υγρού στοιχείου, τόσο σε επίπεδο κτιρίων, όσο και σε επίπεδο κοινόχρηστων χώρων, ώστε να μειώνεται η εκτεθειμένη επιφάνεια με μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Η εξωτερική θερμομόνωση του κτιριακού αποθέματος καθώς και των νέων κτιρίων, αν γίνει σε μεγάλη κλίμακα, μπορεί να βοηθήσει αποτελεσματικά όχι μόνο στην κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου, αλλά και στη μείωση της θερμοχωρητικότητας του δομημένου περιβάλλοντος και της νυχτερινής έντασης της θερμικής νήσου, με αποτέλεσμα τον πιο αποτελεσματικό νυχτερινό δροσισμό των κτιρίων (κι έτσι περαιτέρω μείωση του ψυκτικού φορτίου) και παράλληλα τη βελτίωση της αίσθησης θερμικής άνεσης στον κοινόχρηστο, αστικό χώρο. Η άσκοπη χρήση υλικών μεγάλης θερμοχωρητικότητας στον αστικό εξοπλισμό (π.χ. καθιστικά από σκυρόδεμα) καλό είναι να αποφεύγεται και να αντικαθίσταται από υλικά μικρότερης θερμοχωρητικότητας (π.χ. ξύλο).

#### 6.1.2.2. Υλικά αστικού σχεδιασμού και ψυχρά υλικά

Αναλόγως με τις τιμές των θερμικών τους ιδιοτήτων, αρκετά υλικά διαμόρφωσης αστικών επιφανειών, χαρακτηρίζονται ως «ψυχρά». Με τον όρο «ψυχρά υλικά» νοούνται υλικά που δεν απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και ταυτόχρονα επιτρέπουν την έντονη αποβολή θερμότητας που έχουν αποθηκευτεί στη μάζα των υλικών που επικαλύπτουν. Πρόκειται δηλαδή για υλικά με υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και υψηλό συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Εφαρμόζονται είτε σε επιφάνειες κτιρίων (επικαλύψεις, επιχρίσματα) είτε στις υπόλοιπες επιφάνειες του δομημένου περιβάλλοντος (πεζοδρόμια, δρόμοι, πλατείες, χώροι στάθμευσης κ.ο.κ.). Λόγω του γεγονότος ότι απορροφούν μικρότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και αποθηκεύουν μικρότερα ποσά θερμότητας, με την εφαρμογή τους εξασφαλίζονται χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες στο δομημένο χώρο, σε σχέση με άλλα επιφανειακά υλικά. Οι επιφανειακές θερμοκρασίες των ψυχρών υλικών συνήθως δεν ξεπερνούν τους 50°C, ενώ για συνήθη δομικά υλικά οι επιφανειακές θερμοκρασίες τη θερινή περίοδο μπορεί να φτάσουν και τους 90°C (Gartland, 2008). Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα ψυχρά επιφανειακά υλικά είναι το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου μειώνεται η ανακλαστικότητά τους (γήρανση του υλικού, επικάθηση σκόνης κ.ο.κ.). Αναλόγως με τη φύση του υλικού, τη χρήση και τη συντήρησή του, η μείωση αυτή μπορεί να κυμαίνεται από 0% έως 30% (CRRC - Cool Roof Rating Council, 2010).

Αναλόγως με το πού τοποθετείται το ψυχρό υλικό, έχουν θεσπισθεί όρια ως προς την ανακλαστικότητα και το συντελεστή εκπομπής του. Στις οροφές με χαμηλή κλίση, σύμφωνα με αμερικάνικα πρότυπα, η ανακλαστικότητα του επιφανειακού υλικού της οροφής πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,65, σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (E.P.A.) (Hogan, K. et al, 2008). Για οροφές με μεγάλη κλίση, οι αποδεκτές τιμές κυμαίνονται από 0,25 έως 0,70, αναλόγως με το χρώμα των κεραμιδιών (Hogan, K. et al, 2008). Όσον αφορά το συντελεστή εκπομπής, για τα περισσότερα δομικά υλικά, είναι μεγαλύτερος από 0,85, εκτός από τις μεταλλικές επιφάνειες (με συντελεστή εκπομπής της τάξης 0,20 – 0,60). Στην Ελληνική Π.Ε.Τ.Ε.Π. για την εφαρμογή ψυχρών υλικών προτείνονται για τις οροφές ως ψυχρά υλικά τα υλικά με ανακλαστικότητα μεγαλύτερη του 0,65 και με παραμένονσα ανακλαστικότητα μετά την έκθεση τριών ετών μεγαλύτερη από 0,50 (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2010).

Σε αστικά περιβάλλοντα, λόγω της πυκνής δόμησης, ο συντελεστής εκπομπής των υλικών σε επίπεδο δρόμου δεν παίζει τόσο μεγάλο ρόλο, λόγω της μικρής τους θέασης προς τον ουρανό (Grimmond, Cleugh, & Oke, 1991). Η σκίαση και η ανακλαστικότητά τους στην ηλιακή ακτινοβολία παίζουν το σημαντικότερο ρόλο στην ελάττωση των θερμοκρασιών τους τη θερινή περίοδο. Σύμφωνα με την ισχύουσα ΠΕΤΕΠ, προτείνεται η ανακλαστικότητά τους να είναι τουλάχιστον 0,60 για έγχρωμα επιφανειακά υλικά και τουλάχιστον 0,75 για υλικά λευκού χρώματος (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2010).

Στο επίπεδο του δρόμου, εκτός από την αυξημένη ανακλαστικότητα, αυξάνοντας και την υδατοπερατότητα του υλικού μπορεί να μειωθούν σε ικανοποιητικό βαθμό οι επιφανειακές θερμοκρασίες και η θερμοκρασία αέρα, καθώς μέσω της εξάτμισης του νερού τις θερμές ημέρες, απορροφάται αποθηκευμένη θερμότητα από το δομικό υλικό. Είναι πολύ θετικό, τόσο από θερμικής πλευράς, όσο κι από πλευράς εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και παράλληλης αποφόρτισης του δικτύου ομβρίων καθώς και διατήρησης της βιοποικιλότητας στο δομημένο περιβάλλον σε μονοπάτια, θέσεις στάθμευσης κ.ο.κ. να τοποθετούνται διάτρητα υλικά (διάτρητες πλάκες, κυβόλιθοι με οπές κοκ). Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης τοπικής χαμηλής χλωρίδας στο χώμα μεταξύ των οπών καθώς και η απορρόφηση του νερού. Επίσης, αντί για ενιαίες επιφάνειες στο επίπεδο του δρόμου, για τους ίδιους λόγους υδατοπερατότητας, καλό είναι να προτιμώνται πλάκες που επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού και την ανάπτυξη βλάστησης στους αρμούς ή τουλάχιστον να χρησιμοποιείται υδατοπερατή στρώση αδρανών, όπου είναι αναγκαία η συνεχόμενη κάλυψη του δρόμου (Βλαστός & Μπιρμπίλη, 2001). Η χρήση συμπυκνωμένου χώματος, είτε στη φυσική του κατάσταση, είτε με σταθεροποιητές αδρανών (κατά προτίμηση φυσικής προέλευσης), εκτός από αυξημένη ανακλαστικότητα σε σχέση με τις ασφατικές επικαλύψεις έχουν επίσης και αυξημένη υδατοπερατότητα, μειώνοντας τις αστικές θερμοκρασίες όπου εφαρμόζονται (πεζόδρομοι, ποδηλατόδρομοι, αθλητικές εγκαταστάσεις, κηπευτικές επιφάνειες κ.ο.κ.).

Σε κάθε περίπτωση εφαρμογής ψυχρών υλικών τόσο σε κατακόρυφες όσο και σε οριζόντιες επιφάνειες πρέπει να δίνεται προσοχή τόσο στην οπτική όσο και στη θερμική όχληση που μπορεί να προκαλέσουν στα γύρω κτίρια και τον περιβάλλοντα χώρο τους. Μεγάλες λευκές επιφάνειες στην πυκνή αστική δόμηση μπορεί να προκαλέσουν θάμβωση στον περιβάλλοντα χώρο και στα γύρω κτίρια, κάτι που μπορεί να προβεί επικίνδυνο, σε περίπτωση δρόμων υψηλής κυκλοφορίας. Συνδυασμός ψυχρών υλικών με κατάλληλους όγκους φύτευσης για σκίαση, εναλλαγή ανοιχτών χρωματισμών και εξατμισοδιαπνοή λειτουργούν πολύ θετικά στη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος τη θερινή περίοδο.

Όσον αφορά την ασφάλτο, πρόκειται για υλικό του δομημένου χώρου που παρουσιάζει πολύ χαμηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς αυξημένα ηλιακά κέρδη, τα οποία επιδρούν αρνητικά τη θερινή περίοδο. Οι σκουρόχρωμοι δρόμοι με ασφατική επικάλυψη χαρακτηρίζονται από ανακλαστικότητα της τάξης του 0,05-0,10. Με τη χρησιμοποίηση ανοιχτόχρωμων αδρανών στο μείγμα ασφάλτου – σκυροδέματος, η ανακλαστικότητα μπορεί να αυξηθεί στο 0,15-0,20. Χρήση κυβόλιθων στο κέντρο της πόλης, αντί για ασφάλτο, μπορεί να αυξάνει την ανακλαστικότητα του

δρόμου, αλλά μπορεί επίσης να συμβάλει στην ακουστική όχληση. Ικανός σκιασμός του δρόμου τη θερινή περίοδο μπορεί να βελτιώσει τις μικροκλιματικές συνθήκες, μειώνοντας την επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια υψηλής απορροφητικότητας.

### 6.1.3. Βλάστηση, πράσινη υποδομή και πόλεις

Η πράσινη υποδομή (Π.Υ.) ορίζεται ως η σχεδιασμένη ή φυσική βλάστηση που βρίσκεται στον αστικό χώρο (Norton, και συν., 2014). Υπό αυτό τον ορισμό, η Π.Υ. μπορεί να περιλαμβάνει κοινόχρηστα πάρκα, χώρους αναψυχής, πάρκα τσέπης, ιδιωτικούς ή κοινόχρηστους κήπους, φυτεύσεις πεζοδρομίων ή πλατειών (παρτέρια και δενδροστοιχίες), ιδιωτικούς ή κοινόχρηστους κήπους βροχής, ιδιωτικά ή δημόσια φυτεμένα δώματα και φυτεμένοι τοίχοι (τα δύο τελευταία εξετάζονται αναλυτικά στην [ενότητα 6.2](#)). Ένας πιο αυστηρός ορισμός όμως, θέτει την ικανή συνθήκη για να θεωρηθεί η αστική βλάστηση ως πράσινη υποδομή όταν είναι «ένα δίκτυο πράσινων στοιχείων που είναι διασυνδεδεμένα, συνεπώς φέρνουν πρόσθετα οφέλη και είναι πιο ανθεκτικά» (European Environmental Agency, 2011). Επομένως, προκειμένου το αστικό πράσινο να θεωρηθεί πράσινη υποδομή, θα πρέπει να δημιουργεί διασύνδεση, τόσο μεταξύ των χώρων πρασίνου, όσο και των πληθυσμών οικοσυστημάτων που αναπτύσσονται σε αυτά, με αποτέλεσμα την ουσιαστική ενίσχυση της βιοποικιλότητας στην πόλη. Η διασύνδεση αφορά όχι μόνο τη φύτευση στον κοινόχρηστο, δημόσιο χώρο (με τη συχνότερη σχεδιαστική λύση των παρτεριών ή δενδροστοιχιών), αλλά και στον αστικό εξοπλισμό (π.χ. φύτευση στεγάστρων στάσεων λεωφορείων) καθώς και στον ιδιωτικό, όπως φύτευση στις όψεις και τα δώματα ή τα μπαλκόνια των κτιρίων καθώς και σε ιδιωτικούς, ακάλυπτους χώρους. Έτσι συνεχείς φυτεύσεις, τόσο στο επίπεδο του δρόμου, όσο και καθ' ύψος, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ενδιαιτήματα πουλιών και ωφέλιμων εντόμων, εμπλουτίζοντας τα αστικά οικοσυστήματα, τις συνέργειες μεταξύ τους κι έτσι την «ανθεκτικότητά» τους, μπορούν να θεωρηθούν Πράσινες Υποδομές.

Γενικά, η βλάστηση είναι ένα ζωντανό υλικό (οργανισμός) που:

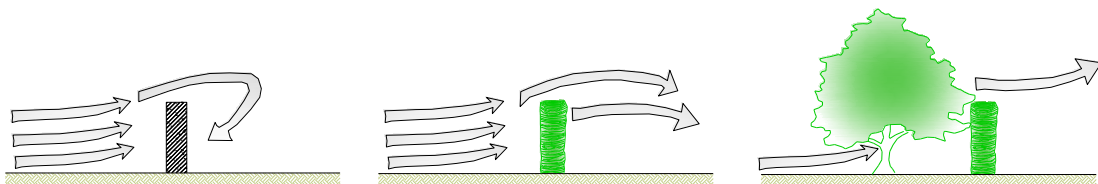
- Εκπνέει υδρατμούς στον αέρα (εξατμισοδιαπνοή), ώστε να διατηρεί το μικροκλίμα γύρω της σε αποδεκτές για εκείνη - και για τους ανθρώπους - θερμοκρασίες.
- Τα περισσότερα είδη της, έχουν αισθητήρια ικανά να ρυθμίζουν αυτή τη λειτουργία.
- Δεν αυξάνει σημαντικά την επιφανειακή της θερμοκρασία, στο βαθμό των δομικών υλικών το καλοκαίρι.
- Σκιάζει τις αστικές επιφάνειες.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η βλάστηση έχει χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τα περισσότερα δομικά υλικά κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών, λόγω του γεγονότος ότι το φύλλο, ως ζωντανό υλικό, ανταποκρίνεται στις μεταβολές των καιρικών συνθηκών. Η επιφανειακή του θερμοκρασία δεν απέχει πολύ από τη θερμοκρασία αέρα, κι έτσι μπορεί να είναι κατά 20-35°C χαμηλότερη από ό,τι εκείνη των περισσότερων δομικών υλικών στο αστικό περιβάλλον (Scudo, Dessi, & Rogora, 2004). Τα φυτά, όντας ζωντανοί οργανισμοί, διατηρούν τη θερμοκρασία τους σε ένα εύρος που τους επιτρέπει να επιζήσουν, το οποίο κυμαίνεται από 5 έως 40°C για τα περισσότερα είδη (Gates, 1980). Με την εξατμισοδιαπνοή το φυτό καταφέρνει να μετατρέπει τα μόρια του νερού σε ατμό, καταναλώνοντας ηλιακή ενέργεια, κι ως ένα σημείο ενέργεια από τη θερμοκρασία του αέρα. Μ' αυτόν τον τρόπο τα φυτά διατηρούν τη θερμοκρασία τους σε επιθυμητά για την επιβίωσή τους επίπεδα. Αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι πιο κοντά στα επίπεδα θερμοκρασίας που χαρακτηρίζονται ως θερμικώς άνετα για την ανθρώπινη ζωή από ό,τι τα αυξημένα επίπεδα επιφανειακών θερμοκρασιών των δομικών υλικών.

Εκ πρώτης όψεως, η γενική έλλειψη βλάστησης στις υπάρχουσες πόλεις είναι ένας από τους παράγοντες που ευθύνονται για το σχηματισμό υψηλότερων αστικών θερμοκρασιών. Στις περισσότερες πόλεις ικανές ποσότητες βλάστησης βρίσκονται συγκεντρωμένες σε πάρκα και άλση. Καθώς δεν υπάρχει καμία συνύφανση του αστικού ιστού με τις πράσινες μεμονωμένες επιφάνειες, το ψυκτικό φαινόμενο των φυτών είναι μόνο τοπικό, χωρίς να είναι έτσι σε θέση να επηρεάσει τις ανεβασμένες αστικές θερμοκρασίες, παρά μόνο στη μικρή περιοχή του κι όχι σε ολόκληρη την αστική επιφάνεια. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα αστικά πάρκα χαμηλώνουν τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό τους, αλλά οι θερμοκρασίες του αέρα γύρω από το πάρκο κυρίως επηρεάζονται από άλλες παραμέτρους, όπως την πυκνότητα δόμησης, την κτιριακή γεωμετρία, τη θερμότητα που παράγεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες κι όχι τόσο από την ύπαρξη του πάρκου (Dimouidi & Nikolopoulou, 2000) (Givoni, Climate considerations in building and urban design, 1998) (Santamouris, 2001). Με τις αυξημένες θερμοκρασίες των δομικών υλικών και της ασφάλτου, τα πάρκα και οι ανοιχτοί χώροι αδυνατούν να μειώσουν τις αστικές θερμοκρασίες στα μέρη της πόλης όπου οι άνθρωποι περνούν τον περισσότερο καιρό τους ζώντας, δουλεύοντας, δηλαδή στα κτίρια. Εάν τοποθετηθούν φυτά όσο πιο κοντά στο κτιριακό κέλυφος γίνεται, τα θερμικά πλεονεκτήματα των φυτών θα μπορούν να γίνουν αισθητά στην περιοχή του κτιρίου.

Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν στις υπάρχουσες, επεκτεινόμενες πόλεις είναι περιορισμένα. Η πολεοδομική αλλαγή για το μετριασμό του φαινομένου ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς η αστική νησίδα θα μπορούσε να μετριασθεί μόνο με την τοποθέτηση πολλών μικρών πάρκων στον αστικό ιστό, σύμφωνα με τις κυρίαρχες διευθύνσεις των ανέμων (Givoni, 1998), που θα σήμαινε μετατροπές κτιρίων και γειτονιών, ή και κατεδαφίσεις, κάτι που κοινωνικώς, οικονομικώς και πρακτικώς θα ήταν δύσκολο να συντονιστεί και να επιτευχθεί. Υπάρχει όμως η δυνατότητα να τοποθετηθούν φυτά ή ψυχρά υλικά στην κλίμακα του κτιρίου, χωρίς να επηρεάζουν τη γενικότερη κτιριακή διάταξη. Αλλάζοντας τις πιο βασικές ιδιότητες των κτιριακών υλικών, που επηρεάζουν το φαινόμενο της θερμικής νήσου, δηλαδή την ανακλαστικότητα και τη διαπνοή, μπορεί να μειωθούν σε ικανοποιητικό βαθμό οι αστικές θερμοκρασίες. Εάν λοιπόν, οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων (δώματα και τοίχοι), καλυφθούν με βλάστηση ή με υλικά υψηλής ανακλαστικότητας, υπάρχει πιθανότητα να μειωθούν οι αυξημένες αστικές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα της θερινής περιόδου. Παράλληλα, αν ο περιβάλλοντας χώρος του κτιρίου (π.χ. ακάλυπτοι χώροι, πρασιές, πυλωτές κοκ) μετατραπεί σε πράσινη υποδομή, με κατασκευαστικές λεπτομέρειες διαχείρισης ομβρίων (π.χ. κήποι βροχής), επιτυγχάνεται τόσο η μείωση των αυξημένων θερινών θερμοκρασιών (με άμεσο αποτέλεσμα στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξης των κτιρίων καθώς και στη βελτίωση της αίσθησης θερμικής άνεσης στους εξωτερικούς χώρους) καθώς και η ορθότερη διαχείριση ομβρίων (με αποτέλεσμα την αποφόρτιση του δικτύου ομβρίων, την αποφυγή πλημμυρών καθώς και τον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα).

Ως προς τη διαμόρφωση της φύτευσης στους χώρους αυτούς, γνωρίζοντας τη διεύθυνση των επικρατούντων ανέμων μιας περιοχής και με τον κατάλληλο σχεδιασμό όγκων φυτών, μπορούν να διευθετηθούν οι άνεμοι με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζεται ο αερισμός τη θερινή περίοδο και να αποφεύγονται οι ισχυροί άνεμοι τη χειμερινή περίοδο. Τέλος, η χρήση φυτών για ανεμοφράκτες, είναι προτιμότερη, σε σχέση με τη χρήση συμπαγών όγκων, καθώς λόγω του θαμνώδους των φυτών προκαλούνται μικρότερες υποπίεσεις, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 6-2](#).

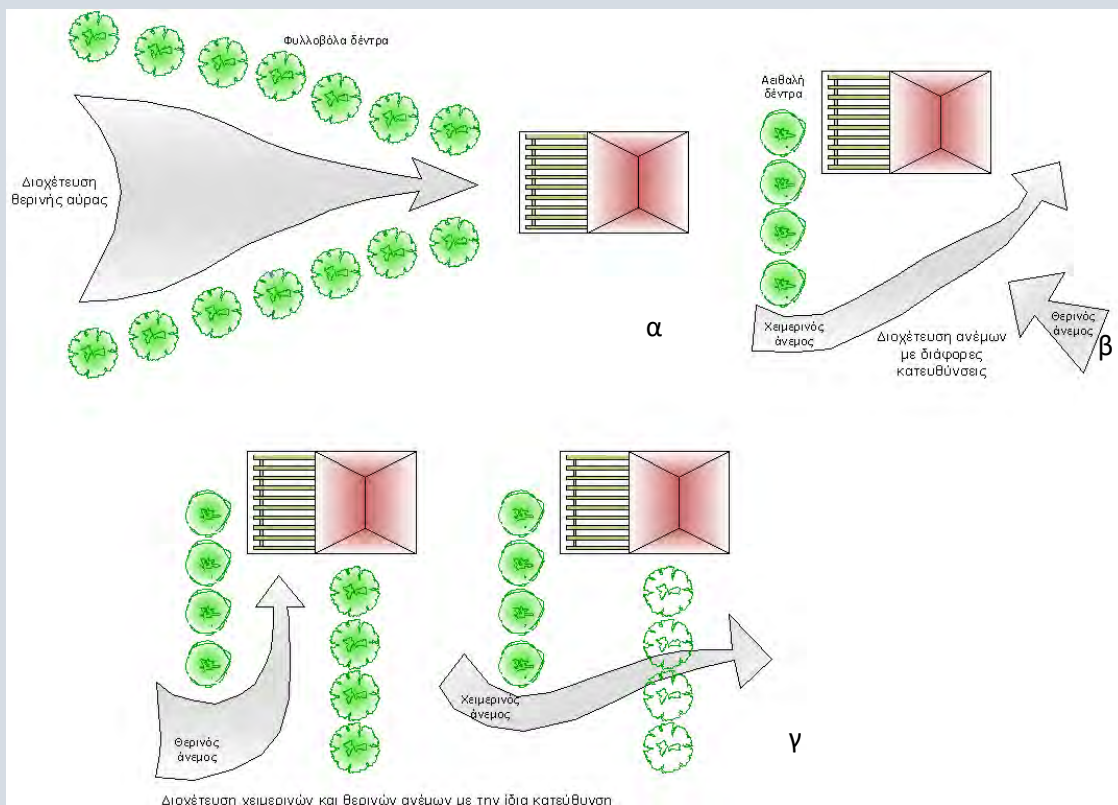


Εικόνα 6-2. Τύπος ανεμοφράκτη και υποπίεσεις

### Παράδειγμα

#### Σχεδιασμός διάταξης φυτεύσεων σε σχέση με τους επικρατούντες ανέμους

Γνωρίζοντας την κατεύθυνση των θερινών ανέμων, μπορούμε να εξασφαλίσουμε τη διοχέτευση τους προς το δομημένο περιβάλλον, τοποθετώντας δένδρα σε διάταξη «χωνιού» (Εικόνα 6-3α). Εάν τα δένδρα που τοποθετηθούν είναι φυλλοβόλα, εξασφαλίζεται η διοχέτευση του ανέμου τη θερινή περίοδο, χωρίς να επιβαρύνεται ο χώρος με αυξημένες ταχύτητες ανέμου τη χειμερινή περίοδο. Όσον αφορά την αποφυγή χειμερινών ανέμων, μπορεί να αποφευχθεί με την τοποθέτηση συστάδας αιθαλών δένδρων και θάμνων κάθετα προς τη διεύθυνσή τους (Εικόνα 6-3β). Σε περίπτωση που οι θερινοί άνεμοι έχουν αντίθετη φορά, η συστάδα αυτή αντανακλά τους θερινούς ανέμους προς το δομημένο χώρο. Σε περίπτωση που και ο θερινός και ο χειμερινός άνεμος έχουν την ίδια κατεύθυνση (Εικόνα 6-3γ), μπορούν να τοποθετηθούν σε απόσταση δύο συστάδες δένδρων και θάμνων, η πρώτη από αιθαλή φυτά και η δεύτερη από φυλλοβόλα. Με αυτό τον τρόπο, ο θερινός άνεμος κατευθύνεται προς το δομημένο χώρο, λόγω της φυλλοβόλας συστάδας, ενώ ο χειμερινός άνεμος αποκρούεται από την αιθαλή συστάδα.



Εικόνα 6-3. Σχέση φύτευσης και διοχέτευσης ανέμων

#### 6.1.3.1. Μπλε και πράσινες υποδομές

Οι πράσινες υποδομές συμπληρώνονται από τις μπλε υποδομές: πρόκειται είτε για στοιχεία νερού, τεχνητά ή φυσικά ή για συστήματα φυσικής χρήσης και εκμετάλλευσης του υδάτινου στοιχείου στην πόλη. Χαρακτηριστικό των μπλε και πράσινων υποδομών (Μ.Π.Υ.) είναι η πολυλειτουργικότητά τους (Brears, 2018): αξιοποιούν την αλληλεξάρτηση ανάμεσα στη χλωρίδα και τον κύκλο του νερού για τη βελτίωση των συνθηκών ζωής στο αστικό περιβάλλον, με απώτερο στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη λειτουργία των ποικίλων οικοσυστημάτων. Υπάρχουν πολλαπλά οφέλη των ΜΠΥ, συμπεριλαμβανο-

μένης της ποιότητας του νερού, της μείωσης πιθανότητας πλημμυρών, του μειωμένου κόστους υποδομής και της αύξησης ζωτικού χώρου για τη δημιουργία κοινοτήτων και ομάδων έμβιων όντων, σε μια ολιστική αντιμετώπιση του δομημένου περιβάλλοντος ως επέκταση της φύσης και των οικοσυστημάτων κι όχι ως ανταγωνιστή τους.

Παράλληλα, οι μπλε υποδομές, όταν πρόκειται για συστήματα επιφανειακού νερού, μέσω της εξάτμισης, μειώνουν τοπικά τις θερμοκρασίες, συμβάλλοντας στην ελάττωση των θερινών θερμοκρασιών, κι έτσι στη ζήτηση ενέργειας για ψύξη καθώς και στη βελτίωση της θερμικής άνεσης, ιδιαίτερα σε θερμά και ξηρά κλίματα.

## 6.2. Φυτεύσεις στο κέλυφος του κτιρίου

Προκειμένου να αυξηθεί η φύτευση και τα ευεργετικά της μικροκλιματικά οφέλη, σε υφιστάμενες αστικές γεωμετρίες, όπου, λόγω έλλειψης χώρου, δεν είναι εύκολη η φύτευση των κοινόχρηστων χώρων, μπορούν να φυτευτούν τα δώματα και οι όψεις των κτιρίων. Τα οφέλη από κάτι τέτοιο είναι πολλαπλά και συνοψίζονται ως εξής:

- Περιβαλλοντικά οφέλη:
  - Βελτίωση των κλιματικών συνθηκών με τη δημιουργία μικροκλίματος ευνοϊκού και για τη διαβίωση στο ίδιο το κτίριο (μείωση της θερμορροής) και για τον αστικό χώρο (μείωση του φαινομένου θερμικής νήσου, τόσο λόγω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, όσο και της μείωσης της θερμοχωρητικότητας, σε περίπτωση που το κέλυφος του κτιρίου δεν είναι θερμομονωμένο εξωτερικά).
  - Μείωση της χρήσης κλιματιστικών και επομένως της θερμότητας που εξάγεται από το κτίριο προς το εξωτερικό, προκαλώντας ένα φαύλο κύκλο ζήτησης για ψύξη, ιδιαίτερα σε περιοχές με στενούς δρόμους.
  - Σε περίπτωση που τοποθετούνται και φωτοβολταϊκά στοιχεία για παραγωγή ηλεκτρισμού στο δώμα ή στις όψεις, η ύπαρξη βλάστησης μειώνει τοπικά τη θερμοκρασία του αέρα, με αποτέλεσμα τόσο τη βελτίωση της απόδοσης των φ/β, όσο και την αποφυγή της υπερθέρμανσης του δομημένου περιβάλλοντος, από την ύπαρξη των σκουρόχρωμων αυτών επιφανειών.
  - Εξομάλυνση των ταχυτήτων ανέμου γύρω από το κτιριακό κέλυφος, με αποτέλεσμα τόσο την περαιτέρω θερμική προστασία του κελύφους, όσο και την αποφυγή μεγάλων ανεμοπιέσεων στις αστικές χαράδρες.
  - Κατανάλωση του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται εντός του δομημένου περιβάλλοντος από τα φυτά με παράλληλη παραγωγή οξυγόνου.
  - Κατακράτηση σκόνης και ρύπων από τα φυτά των όψεων και του δώματος, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα του αέρα γύρω από το κτίριο, με αποτέλεσμα πιο υγιεινές συνθήκες στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου και στο άμεσο περιβάλλον του.
  - Δημιουργία οικοσυστημάτων για την ανάπτυξη των πουλιών και των ωφέλιμων εντόμων στους αστικούς χώρους.
  - Διαχείριση ομβρίων
- Κοινωνικά οφέλη:
  - Με τον κατάλληλο σχεδιασμό, ιδιαίτερα τα δώματα μπορούν να μετατραπούν σε χώρους συνάντησης και ψυχαγωγίας για τους χρήστες ενός κτιρίου, ενώ κάτι τέτοιο μπορεί να δίνει και

κάποιες λύσεις στο πρόβλημα της έλλειψης χώρου σε πολλές περιπτώσεις, αποτελώντας προέκταση του χώρου διαβίωσης, εργασίας ή διασκέδασης.

- Βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των ενοίκων ή χρηστών ενός κτιρίου, με τη χρήση υπέργειων κήπων.
- Αισθητικά οφέλη:
  - Η κάλυψη των δωματίων και των όψεων με φυτά δίνει λύσεις στην αισθητική αναβάθμιση των κτιρίων και του συνόλου του αστικού χώρου, με τεχνικά απλές λύσεις και χωρίς μεγάλη οικονομική επιβάρυνση, δίχως την ανάγκη μετασχηματισμού των όγκων των κτιρίων.
- Ψυχολογικά οφέλη:
  - Δίνεται η δυνατότητα επανασύνδεσης του κατοίκου των πόλεων με τη φύση, μειώνοντας έτσι το άγχος και την πίεση που παρατηρείται στους σύγχρονους αστικούς πληθυσμούς.
  - Μείωση του αστικού θορύβου, τον οποίο απορροφούν τα φυτά στις επιφάνειες των κτιρίων, δρώντας έτσι θετικά στη διάθεση των ανθρώπων.

Ιδιαίτερα ως προς την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, τόσο τα φυτεμένα δώματα, όσο και οι φυτεμένες επιφάνειες δεν επιδρούν τόσο στη διαμόρφωση της εσωτερικής θερμοκρασία του κτιρίου (ιδιαίτερα αν το κτίριο διαθέτει θερμομόνωση) (Eumorfoulou & Aravantinos, 1998) (Del Barrio, 1998), όσο στη διαμόρφωση της εξωτερικής θερμοκρασίας γύρω από το κτίριο, μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών (Alexandri & Jones, 2008). Παρόλο που οι φυτεύσεις, ανάλογα με το είδος, μπορεί να προκαλούν μικρή μείωση της θερμοκρασίας του αέρα τη χειμερινή περίοδο, με αποτέλεσμα μια αντίστοιχα μικρή αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση, η σημαντική μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας που προκαλούν κατά τη θερινή περίοδο, μειώνει κατά πολύ περισσότερο την ενεργειακή ζήτηση για ψύξη. Επισημαίνεται επίσης το γεγονός ότι οι φυτεμένοι τοίχοι έχουν επίδραση στο σύνολο του ύψους ενός κτιρίου και μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή ζήτηση για ψύξη για ολόκληρο το κτίριο, ενώ τα φυτεμένα δώματα μπορούν να μειώσουν το φορτίο ψύξης μόνο για τον ανώτατο όροφο του κτιρίου (Alexandri & Jones, 2006).

Όσον αφορά την επιρροή των φυτεμένων δωματίων και των φυτεμένων όψεων στη θερμοκρασία στο περιβάλλον του κτιρίου, υπολογίστηκε αναλυτικά, η μείωση της θερμοκρασίας του κτιρίου και η αύξηση της σχετικής υγρασίας στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου, για κάθε μήνα του έτους, για τις τέσσερις κλιματικές ζώνες της χώρας και για διάφορους τύπους βλάστησης, βάσει του αλγόριθμου που αναπτύχθηκε από την Alexandri (2005). Οι προσομοιώσεις έγιναν με ωριαίο βήμα, θεωρώντας φυτεύσεις καλά αρδευόμενες, με χώμα ελεύθερο από φύλλα ή λοιπές επιστρώσεις, για φυτά με αρκετές αρδευτικές ανάγκες (φυτό αναφοράς: γκαζόν) και για ξερικά φυτά (φυτό αναφοράς: αλόη). Στο δώμα, θεωρήθηκε φυτεμένο το 100% της επιφάνειάς του, ενώ για τις όψεις, το 70%. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο [Παράρτημα Ζ](#).

### 6.2.1. Φυτεύσεις σε δώματα

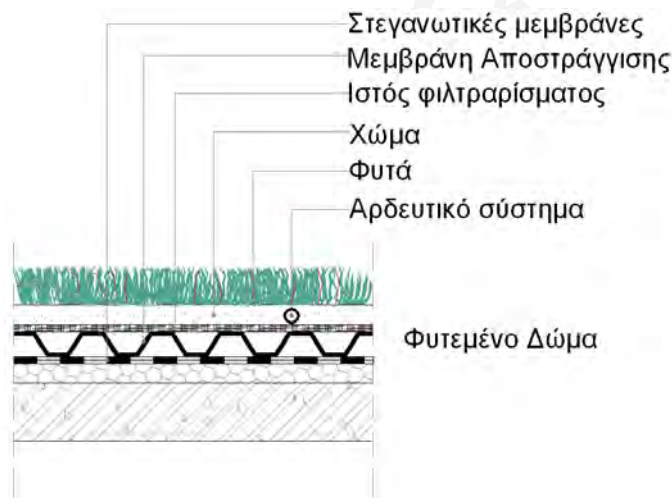
Τα φυτεμένα δώματα είναι οριζόντιες ή επικλινείς επιφάνειες της κατασκευής, οι οποίες καλύπτονται με κηπευτικό στρώμα, έχοντας πρώτα εξασφαλίσει δομικά την προστασία τους από την υγρασία. Εμφανίζονται από τις πρώτες ανθρώπινες κατασκευές, τόσο στα ψυχρά όσο και στα θερμά κλίματα, σε κτίρια είτε λαϊκού είτε μνημειακού χαρακτήρα (Alexandri, 2005). Ανάλογα με τον τύπο της φύτευσης διακρίνονται σε εκτατικά, εντατικά και ημιεντατικά φυτεμένα δώματα. Το εκτατικό φυτεμένο δώμα χαρακτηρίζεται από χαμηλή βλάστηση (χλοοτάπητες, μικρούς θάμνους). Η στρώση φύτευσης έχει πάχος 10-15cm για να καλύψει το επιφανειακό ριζικό σύστημα χαμηλών σε ύψος φυτών. Το στατικό φορτίο κυμαίνεται από 70 ως 140 kg/m<sup>2</sup>, κορεσμένο. Το εντατικό φυτεμένο δώμα χαρακτηρίζεται από



υψηλή βλάστηση (δένδρα, θάμνοι), με στρώση φύτευσης 15-150cm, ώστε να μπορεί να περιλαμβάνει μεγαλύτερο ριζικό σύστημα. Το στατικό του φορτίο είναι τουλάχιστον 250 kg/m<sup>2</sup>, κορεσμένο. Το ημιεντατικό φυτεμένο δώμα είναι ο συνδυασμός του εκτατικού και του εντατικού φυτεμένου δώματος. Το κηπευτικό του στρώμα χαρακτηρίζεται από ποικιλία φυτών, θάμνων και μικρών δένδρων.

Τα φυτεμένα δώματα απαρτίζονται από το δομικό μέρος, όπου βρίσκονται οι δομικές στρώσεις της κατασκευής (φέρουσα πλάκα, θερμομόνωση, στεγανωτική μεμβράνη, ελαφροσκυρόδεμα κλίσεων κοκ). Ανάλογα με τα φορτία του φυτεμένου δώματος, θα πρέπει να έχει διαστασιοποιηθεί και η φέρουσα πλάκα. Οι ρύσεις των δωματίων πρέπει να είναι το λιγότερο 1.5%. Η στεγάνωση πρέπει να είναι διπλή και πολύ προσεχτικά τοποθετημένη.

Εκτός από το δομικό μέρος, το φυτεμένο δώμα απαρτίζεται κι από το κηπευτικό μέρος, που χαρακτηρίζεται από στρώση αποστράγγισης νερού ή/και αποθήκευσης, στρώση φύτευσης, το κηπευτικό στρώμα, καθώς και σύστημα άρδευσης. Η αποστράγγιση, η οποία είναι απαραίτητη, προκειμένου να μη σαπίζουν οι ρίζες, επιτυγχάνεται είτε με γαρμπίλι, που προσθέτει βάρος στην κατασκευή, είτε με διογκωμένη άργιλο, είτε με πλαστική μεμβράνη αποστράγγισης, σε μορφή «αυγουλιέρας» (Εικόνα 6-4). Η στρώση φύτευσης μπορεί να είναι είτε ελαφρύ χώμα, είτε πετροβάμβακας, εάν χρησιμοποιηθούν υδροπονικές τεχνικές. Σύστημα άρδευσης χρειάζεται σε όλους τους τύπους φυτεμένων δωματίων, εκτός από τα «καφέ» φυτεμένα δώματα, τα οποία είναι εκτατικά φυτεμένα δώματα που κατοικούνται από την τοπική χαμηλή χλωρίδα. Προσοχή πρέπει να δίνεται, σε κάθε περίπτωση, οι περιοχές αποστράγγισης στην επιφάνεια του δώματος να επιστρώνονται με γαρμπίλι ή διογκωμένη άργιλο, προς αποφυγή έμφραξης των υδροροών.

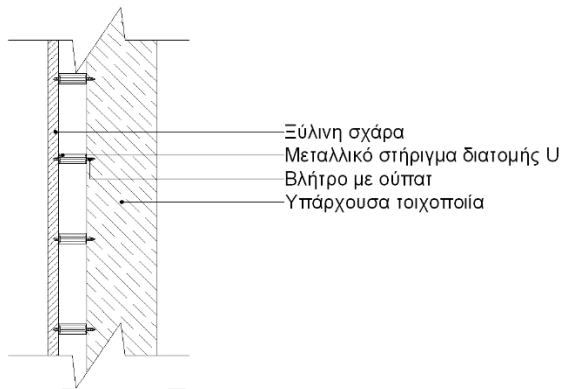


Εικόνα 6-4. Τυπική λεπτομέρεια κηπευτικού μέρους φυτεμένου δώματος με μεμβράνη αποστράγγισης

### 6.2.2. Φυτεύσεις σε όψεις

Οι φυτεμένες όψεις μπορούν να δημιουργούνται είτε με αναρριχητικά φυτά ή με υδροπονικό σύστημα κατακόρυφων κήπων «vertical gardens» (Εικόνα 6-5). Και στις δύο περιπτώσεις, αναλόγως με τα φυτά που θα επιλεγούν, οι φυτεμένοι τοίχοι μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους τους προσανατολισμούς. Ανάλογα με τον προσανατολισμό επιλέγονται είτε φυτά που δεν έχουν μεγάλη ανάγκη από ήλιο (βόρειος προσανατολισμός) ή φυτά με αυξημένες ανάγκες σε ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (νότιος προσανατολισμός).

Τα αναρριχητικά φυτά τοποθετούνται είτε κατευθείαν πάνω στον τοίχο ή σε πλέγμα, ξύλινο συνήθως, που στηρίζεται στον τοίχο (Εικόνα 6-6). Στην πρώτη περίπτωση, εάν υπάρχουν μικρές ρωγμές στο επίχρισμα, μπορεί το φυτό να προκαλέσει περαιτέρω καταστροφή του. Στη δεύτερη περίπτωση αποφεύγεται αυτή η πιθανότητα.



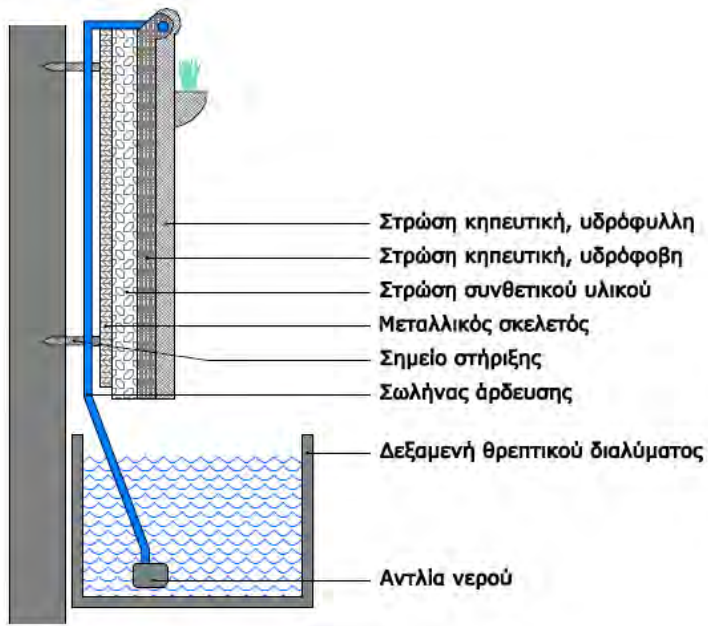
Εικόνα 6-5. Τυπική λεπτομέρεια σύνδεσης σχάρας αναρρίχησης φυτών με υφιστάμενη τοιχοποιία.

Οι πρώτοι κατακόρυφοι κήποι δημιουργήθηκαν πριν περίπου 30 χρόνια από το βοτανολόγο Patrick Blanc (Blanc, 2008). Πρόκειται για υδροπονική καλλιέργεια<sup>10</sup>, στην οποία το χώμα αντικαθίσταται με μέσο υδροπονικής φύτευσης (υδρόφυλλο εξωτερικά και υδρόφοβο εσωτερικά), στο οποίο τοποθετείται απευθείας το ριζικό σύστημα των φυτών. Σε αυτή τη στρώση τοποθετούνται επίσης και οι αρδευτικοί αγωγοί (Εικόνα 6-7). Με αυτό τον τρόπο, ό,τι φυτά αναπτύσσονται στο έδαφος, μπορούν να αναπτυχθούν στο κατακόρυφο επίπεδο. Πίσω από το κηπευτικό στρώμα τοποθετείται στεγανωτικό φύλλο και το όλο σύστημα αναρτάται στην τοιχοποιία. Γίνεται υδροπονική άρδευση (άρδευση που ταυτόχρονα παρέχει θρεπτικά διαλύματα στα φυτά), συνήθως με αυτοματισμούς. Ιδιαίτερη προσοχή όμως πρέπει να δίνεται στον έλεγχο και τη συντήρηση τέτοιων συστημάτων, προς αποφυγή της αστοχίας τους, για την εξασφάλιση των προτερημάτων τους, αλλά και την αποφυγή της αισθητικής υποβάθμισης.



Εικόνα 6-6. Κατακόρυφος κήπος στην Αθήνα (Φωτογραφία: Α. Λαμπρόπουλος)

<sup>10</sup> Με τον όρο «υδροπονία» νοείται η χρήση οποιασδήποτε μεθόδου καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με διάφορα μείγματα εδάφους. Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη αδρανή υποστρώματα, στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).



Εικόνα 6-7. Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας κατακόρυφου κήπου  
Πηγή στοιχείου: (Bonte, 2008).

## 7. Αειφορικός σχεδιασμός

### 7.1. Βασικές έννοιες

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική μπορεί να θεωρηθεί ένα υποσύνολο του αειφορικού σχεδιασμού, το οποίο εστιάζει στην ενεργειακή απόδοση του κτιρίου και ιδιαίτερα του κτιριακού κελύφους, τόσο μέσω του αρχιτεκτονικού του σχεδιασμού όσο και των θερμικών και οπτικών ιδιοτήτων των υλικών του. Προχωρώντας περαιτέρω, σε μια πιο ολιστική αντιμετώπιση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, υπεισέρχονται παράμετροι όπως η επιλογή των υλικών ως προς το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, τις επιπτώσεις τους στα οικοσυστήματα και στην υγεία των ανθρώπων και άλλων ζωντανών οργανισμών, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κτιρίου, αλλά καθ' όλο τον κύκλο ζωής του κάθε στοιχείου του. Έτσι είναι καλύτερα να αποφεύγονται υλικά που επιβαρύνουν το περιβάλλον, αλλά και την ανθρώπινη υγεία, λόγω των χημικών ενώσεων που περιέχουν (π.χ. θερμομονωτικά υλικά, που περιέχουν ισοκυανικές ενώσεις ή χρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικές ενώσεις), ενώ θεωρούνται προτιμότερα υλικά με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (π.χ. θερμομονωτικά υλικά φυτικής προέλευσης).

Οι τέσσερις συνθήκες για την αειφόρο κοινωνία που μπορούν να οδηγήσουν στην δημιουργία αειφόρων κτιρίων συνοψίζονται ως εξής:

- Δεν εξάγουμε από το φλοιό της γης παραπάνω από ό,τι μπορεί να αντικατασταθεί,.
- Δε χρησιμοποιούμε συνθετικά υλικά που παίρνουν πολύ χρόνο για να αποσυντεθούν,.
- Διατηρούμε τις συνθήκες, ώστε η φύση να διατηρήσει την παραγωγή και τη βιοποικιλότητά της.
- Χρησιμοποιούμε τους πόρους αποτελεσματικά και ορθολογικά.

Απόρροια αυτών των συνθηκών είναι η Μείωση, Επισκευή, Επανάχρηση, Ανακύκλωση των δομικών στοιχείων, με αυτή τη σειρά προτεραιότητας.



Εικόνα 7-1. Κυκλική οικονομία (πηγή: [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu))

Προκειμένου ένα υλικό να χαρακτηριστεί ως «οικολογικό», δηλαδή ως ένα υλικό δεν επιβαρύνει το περιβάλλον καθ' όλο τον κύκλο ζωής του, θα πρέπει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

- να υπάρχουν μεγάλα αποθέματα και διαθεσιμότητα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του υλικού,
- ακόμα καλύτερα είναι αν προέρχεται από ανανεώσιμους πόρους,
- το υλικό, να μην μπορεί να προκαλέσει καμία βλάβη σε οικοσυστήματα τόσο κατά την παραγωγή του, όσο και κατά τη διάρκεια της ζωής του, την κατεδάφιση και την απόρριψή του (να μην παρυσιάζει κανενός είδους οικοτοξικότητα),
- να έχει ασήμαντες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη συλλογή, επεξεργασία, χρήση και απόρριψή του,
- να έχει ασήμαντες έως ανύπαρκτες επιπτώσεις στην υγεία κατά τις παραπάνω φάσεις του κύκλου ζωής του (παραγωγή, χρήση, κατεδάφιση, απόρριψη),
- να μπορεί εύκολα να ξαναχρησιμοποιείται, χωρίς ιδιαίτερη επεξεργασία,
- να είναι ανακυκλώσιμο,
- να βιοαποικοδομείται, όταν αποτίθεται στο περιβάλλον ,
- η ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή του και τη μεταφορά του και στο εργοτάξιο (ενσωματωμένη ενέργεια) να είναι όσο πιο χαμηλή γίνεται, με αντίστοιχα χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων ρύπων,
- η ποσότητα νερού που καταναλώνεται από την παραγωγή του έως το εργοτάξιο να είναι όσο είναι δυνατόν μικρότερη,
- η ανάγκη συντήρησής του κατά τη χρήση του στο κτίριο να μην είναι ενεργοβόρα και να μην χρειάζεται μεγάλες ποσότητες υλικών και συχνότητα συντήρησης,
- να μπορεί να γίνεται οικονομία υλικών τόσο κατά την παρασκευή του, όσο και κατά την τοποθέτησή του στο εργοτάξιο,
- να παράγεται θερμική ενέργεια κατά την καύση του.

Η ανάλυση κύκλου ζωής (βλ. (ISO 14040, 2006), (EU JRC, 2010), (Pacheco-Torgal, Cabeza, Labrincha, & De Magalhaes, 2014)) είναι μια πολύ καλή μέθοδος για την επιλογή των κατάλληλων υλικών για κάθε στοιχείο του κτιρίου, δίνοντας μια βασική και κοινή μεθοδολογία εκτίμησης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των διαφόρων υλικών, επιτρέποντας έτσι τη μεταξύ τους σύγκριση. Εξετάζει τις επιπτώσεις του κάθε υλικού σε διάφορους τομείς του περιβάλλοντος (ευτροφισμός υδάτινων οικοσυστημάτων, πρόκληση όξινης βροχής, πρόκληση τρύπας του όζοντος κοκ) από την εξόρυξη / εξαγωγή της πρώτης ύλης έως την αποδόμησή του ως απόρριμμα. Αναλόγως με τις ενώσεις από τις οποίες αποτελείται το υλικό, μπορεί να ρυπάνει τον αέρα του κτιρίου, του περιβάλλοντος χώρου του, το έδαφος, τα επιφανειακά νερά και τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα τόσο κατά τη διάρκεια της ζωής του όσο και κατά την παραγωγή και την απόρριψή του. Όπως εύστοχα παρατηρεί η (Leonard, 2010) «αν έχει τοξίνες, θα βγάλει τοξίνες». Υλικά με επιβλαβείς ουσίες είναι προτιμότερο να αποφεύγονται, καθώς οι επιβλαβείς ουσίες θα υπάρχουν και μετά την αποσύνθεσή τους.



Εικόνα 7-2. Κύκλος ζωής ενός κτιρίου

Ένας άλλος παράγοντας που χρειάζεται να εκτιμάται και να ελαχιστοποιείται είναι η ενσωματωμένη ενέργεια των χρησιμοποιούμενων υλικών, δηλαδή η ενέργεια που απαιτείται από την εξόρυξη / εξαγωγή της πρώτης ύλης του υλικού έως την άφιξη στο εργοτάξιο. Ιδιαίτερα στις ενεργειακές αναβαθμίσεις, είναι χρήσιμο να εξετάζεται αν η ενσωματωμένη ενέργεια των στοιχείων που τοποθετούνται αποσβένει εντός του υπόλοιπου χρόνου ζωής του κτιρίου. Αν δεν πραγματοποιείται η απόσβεση, δεν υπάρχει ουσιαστικό όφελος από τη χρήση των στοιχείων, καθώς ωφελούνται μόνο το κτίριο σε μικροκλίμακα και οι χρήστες του, βραχυπρόθεσμα, ενώ μακροπρόθεσμα και σε παγκόσμια κλίμακα, δεν επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ενεργειακή αναβάθμιση κτιριακού κελύφους, που έχει κατασκευασθεί με προδιαγραφές του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων στην κλιματική ζώνη Α: είτε χρησιμοποιηθεί συμβατικό θερμομονωτικό υλικό είτε οικολογικό, ο χρόνος απόσβεσης της ενσωματωμένης ενέργειας είναι απαγορευτικός (Alexandri & Androutsopoulos, 2017).

Εκτός αυτού, ένα υλικό πρέπει να χρησιμοποιείται με σύνεση στην οικοδομή, γνωρίζοντας τις δυνατότητες, τους περιορισμούς του και τις ανάγκες του σε προστασία, τοποθετώντας το με τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται ο χρόνος ζωής του και να αξιοποιούνται οι ιδιότητές του. Επίσης πρέπει να γίνεται οικονομία υλικού καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής του και της τοποθέτησής του στο εργοτάξιο, ώστε να μπορούμε να μιλάμε για περιβαλλοντικά φιλική δόμηση. Ένα κτίριο με περιβαλλοντικά φιλικά υλικά, αλλά με υπερδιαστασιοποιημένο στατικό φορέα ή Η/Μ εγκαταστάσεις δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως περιβαλλοντικά φιλικό, καθώς εμπεριέχει περισσότερο υλικό από όσο χρειαζόταν.

Καθοριστικό ρόλο στη ζωή του υλικού, μετά το πέρας της χρήσης του κτιρίου παίζει και ο τρόπος που έχει τοποθετηθεί στο κτίριο, κατά πόσο δηλαδή η κατασκευαστική λεπτομέρεια του στοιχείου στο οποίο βρίσκεται έχει δημιουργηθεί με τη λογική της «συναρμολόγησης για αποσυναρμολόγηση» (ΣΥΝ.ΑΠΟ.). Με τον τρόπο αυτό, ενισχύεται η επανάχρηση των δομικών υλικών και στοιχείων,

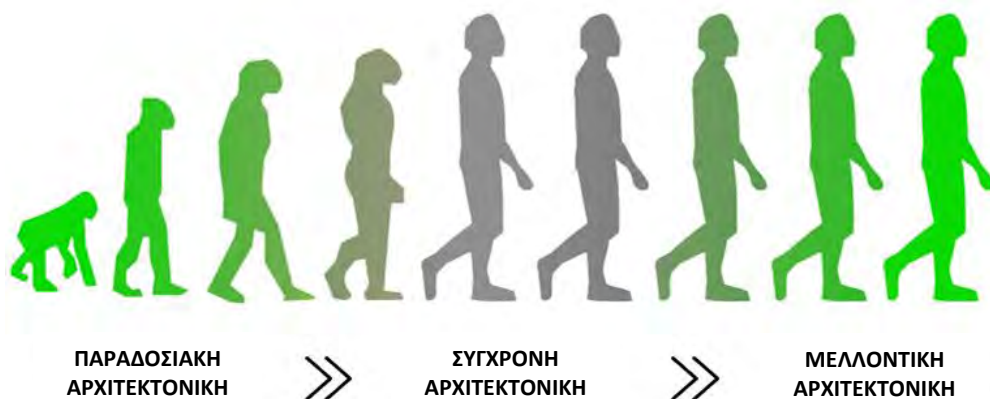
μετατρέποντάς τα σε χρήσιμα αντικείμενα κι όχι απορρίμματα, οδηγώντας την κατασκευή σε μια κυκλική οικονομία. Οι τρεις αρχές της λογικής αυτής, συνοψίζονται ως εξής (Berge, 2009):

- Διαχωρισμένες στρώσεις: εξασφάλιση ομαλής μετάβασης μεταξύ των διαφόρων στρώσεων (συστημάτων), ώστε να είναι τεχνικώς διαχωρισμένα, χωρίς όμως να προκαλούν προβλήματα στατικότητας, θερμογεφυρών κ.ο.κ. Θα πρέπει επίσης να είναι επισκέψιμα ανά πάσα στιγμή.
- Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης εντός της κάθε στρώσης.
- Χρήση τυποποιημένων προϊόντων από κάθε υλικό.

## 7.2. Παρελθόν – παρόν - μέλλον

Η παραδοσιακή αρχιτεκτονική ήταν κατ' ανάγκη αειφορική: τα περισσότερα κτίρια ήταν κατασκευασμένα με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιούν με την τότε τεχνολογία τις ενεργειακές τους ανάγκες· θα μπορούσαμε να πούμε ότι διέπονταν από βιοκλιματική λογική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πώς επηρεαζόταν η μορφή του λαϊκού κτιρίου από τα κλιματικά χαρακτηριστικά του τόπου: τα ιγκλού των Εσκιμών και οι καλύβες των Σκανδιναβών, με τους ενδιάμεσους χώρους εισόδου για την ανάσχεση του ψυχρού αέρα, τα λιακωτά της Αθήνας και βορειοελλαδίτικης αρχιτεκτονικής για τη συλλογή ηλιακών κερδών το χειμώνα, οι συμπαγείς κυκλαδικοί όγκοι για ηλιοπροστασία και ανεμοπροστασία, οι τρούλοι της μεσογειακής - αφρικάνικης αρχιτεκτονικής, προς αποφυγή της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνταν είχαν χαμηλό ή μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα (κυρίως ωμόπλινθοι, πέτρα, ξύλα), ενώ τα περισσότερα επαναχρησιμοποιούνταν σε άλλες κατασκευές ή κτίρια, μετά το πέρας της ζωής του κτιρίου.

Με τις επικρατούσες αντιλήψεις του 20<sup>ου</sup> αιώνα, οδηγηθήκαμε σε μια «γκρίζα» αρχιτεκτονική, ενεργοβόρα, με υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και υψηλή παραγωγή απορριμμάτων, την οποία, καλούμαστε πλέον, να εξελίσσουμε ξανά σε «πράσινη» (Εικόνα 7-3). Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι μια πτυχή της. Σε συνδυασμό με φιλικά στο περιβάλλον υλικά και κατασκευαστικές λεπτομέρειες που επιτρέπουν την επανάχρησή τους, η αρχιτεκτονική του 21<sup>ου</sup> αιώνα μπορεί πλέον να μετατραπεί σε αειφορική και να συμβάλει στη μετάβαση στην κυκλική οικονομία.



Εικόνα 7-3. Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής, σε σχέση με τη φιλικότητά της προς το περιβάλλον (Afifi, 2010)

## Παράρτημα Α. Θερμικές απώλειες κτιρίου

Οι συνολικές θερμικές απώλειες  $Q_{h,tr}$  ενός κτιρίου, διαμέσου των δομικών του στοιχείων, για την περίοδο θέρμανσης μπορούν να υπολογιστούν απλοποιητικά με χρήση της επόμενης σχέσης :

$$Q_{h,tr} = F \cdot U_m \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. A.1}]$$

όπου:  $Q_h$  [kWh/yr]: οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης  
 $F$  [ $m^2$ ]: η εκτεθειμένη περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιρίου  
 $U_m$  [ $W/m^2K$ ]: ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου  
 $\Sigma \Delta T_h$  [kKh]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. [Παράρτημα Ε](#))

Οι θερμικές απώλειες ανά μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας  $q_{h,tr,A}$  ενός κτιρίου προκύπτουν διαιρώντας τις συνολικές θερμικές απώλειες  $Q_h$  του κτιρίου με τη θερμαινόμενη επιφάνεια, όπως φαίνεται και στην επόμενη σχέση:

$$q_{h,tr,A} = \frac{Q_{h,tr}}{A_f} = \frac{F}{A_f} \cdot U_m \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. A.2}]$$

όπου:  $q_{h,tr,A}$  [kWh/( $m^2$ yr)]: οι ανηγμένες στην θερμαινόμενη επιφάνεια θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης  
 $F$  [ $m^2$ ]: η εκτεθειμένη περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιρίου  
 $A_f$  [ $m^2$ ]: η θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου  
 $U_m$  [ $W/m^2K$ ]: ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου  
 $\Sigma \Delta T_h$  [kKh]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. [Παράρτημα Ε](#))

Οι θερμικές απώλειες ανά μονάδα θερμαινόμενου όγκου  $q_{h,tr,V}$  ενός κτιρίου προκύπτουν διαιρώντας τις συνολικές θερμικές απώλειες  $Q$  του κτιρίου με το θερμαινόμενο όγκο, όπως φαίνεται και στην παρακάτω σχέση:

$$q_{h,tr,V} = \frac{Q_{h,tr}}{V} = \frac{F}{V} \cdot U_m \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. A.3}]$$

όπου:  $q_{h,tr,V}$  [kWh/( $m^3$ yr)]: οι ανηγμένες στον θερμαινόμενο όγκο θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης  
 $F$  [ $m^2$ ]: η εκτεθειμένη περιβάλλουσα επιφάνεια του κτιρίου  
 $V$  [ $m^3$ ]: ο θερμαινόμενος όγκος του κτιρίου  
 $U_m$  [ $W/m^2K$ ]: ο μέσος συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου  
 $\Sigma \Delta T_h$  [kKh]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. [Παράρτημα Ε](#))



## Θερμικές απώλειες κτιρίου

---

Οι ανηγμένες θερμικές απώλειες στη μονάδα της θερμαινόμενης επιφάνειας μπορούν να υπολογιστούν από τις θερμικές απώλειες στη μονάδα του θερμαινόμενου όγκου με χρήση της επόμενης σχέσης:

$$q_{h,tr,A} = q_{h,tr,V} \cdot h_m \quad [εξ. Α.4]$$

όπου:  $q_{h,A} [kWh/(m^2yr)]$ : οι ανηγμένες στη θερμαινόμενη επιφάνεια θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης

$q_{h,V} [kWh/(m^3yr)]$ : οι ανηγμένες στον θερμαινόμενο όγκο θερμικές απώλειες ενός κτιρίου στην περίοδο θέρμανσης

$h_m [m]$ : το μέσο ύψος των θερμαινόμενων χώρων του κτιρίου

## Παράρτημα Β. Συντελεστής αξιοποίησης κερδών & απωλειών

Όπως αναλύεται στην [ενότητα 2.2.4](#) ο λόγος των θερμικών κερδών προς τις θερμικές απώλειες  $\gamma_h$  επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα αξιοποίησης των κερδών κατά την περίοδο θέρμανσης. Ο υπολογισμός του παραπάνω λόγου γίνεται με χρήση της επόμενης σχέσης και πραγματοποιείται αυτόματα από το λογισμικό ΤΕΕ-Κ.Εν.Α.Κ. για κάθε βήμα (μήνα) υπολογισμού.

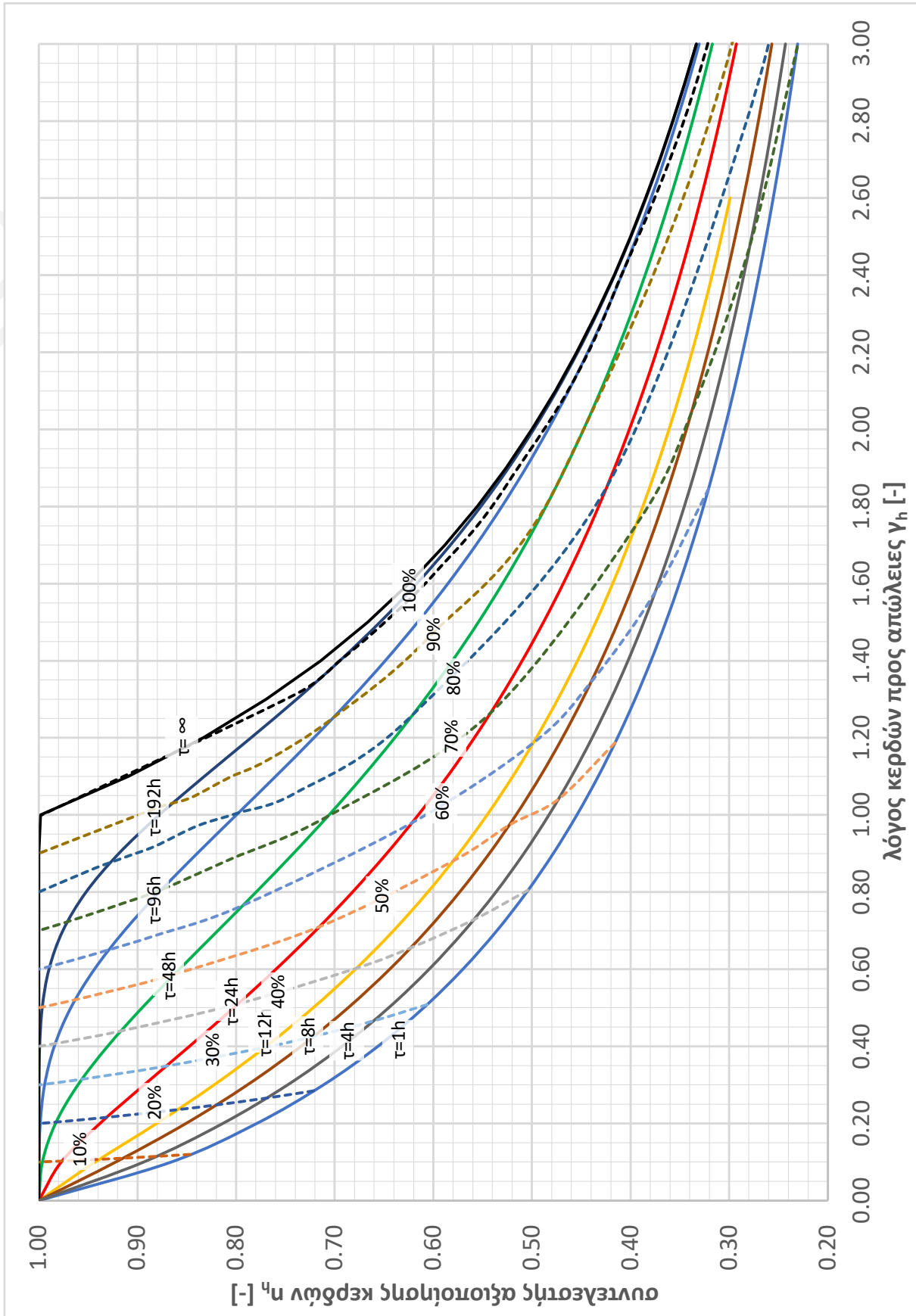
	$\gamma_h = Q_{gains} / Q_{losses} = (Q_{int} + Q_{sol}) / (Q_{tr} + Q_{vent})$	[εξ. Β.1]
όπου: $\gamma_h [-]$ :	ο λόγος των κερδών προς τις απώλειες	
$Q_{gains} [kWh]$ :	τα κέρδη του κτιρίου	
$Q_{losses} [kWh]$ :	οι απώλειες του κτιρίου	
$Q_{int} [kWh]$ :	τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου (από φωτισμό, χρήστες, εξοπλισμό κ.λπ.)	
$Q_{sol} [kWh]$ :	τα ηλιακά κέρδη του κτιρίου	
$Q_{tr} [kWh]$ :	οι απώλειες από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου	
$Q_{vent} [kWh]$ :	οι απώλειες αερισμού του κτιρίου	

Αντίστοιχα για τους υπολογισμό του συντελεστή αξιοποίησης απωλειών κατά την περίοδο ψύξης γίνεται χρήση του λόγου των απωλειών προς τα κέρδη ο οποίος μαθηματικά περιγράφεται από την επόμενη σχέση:

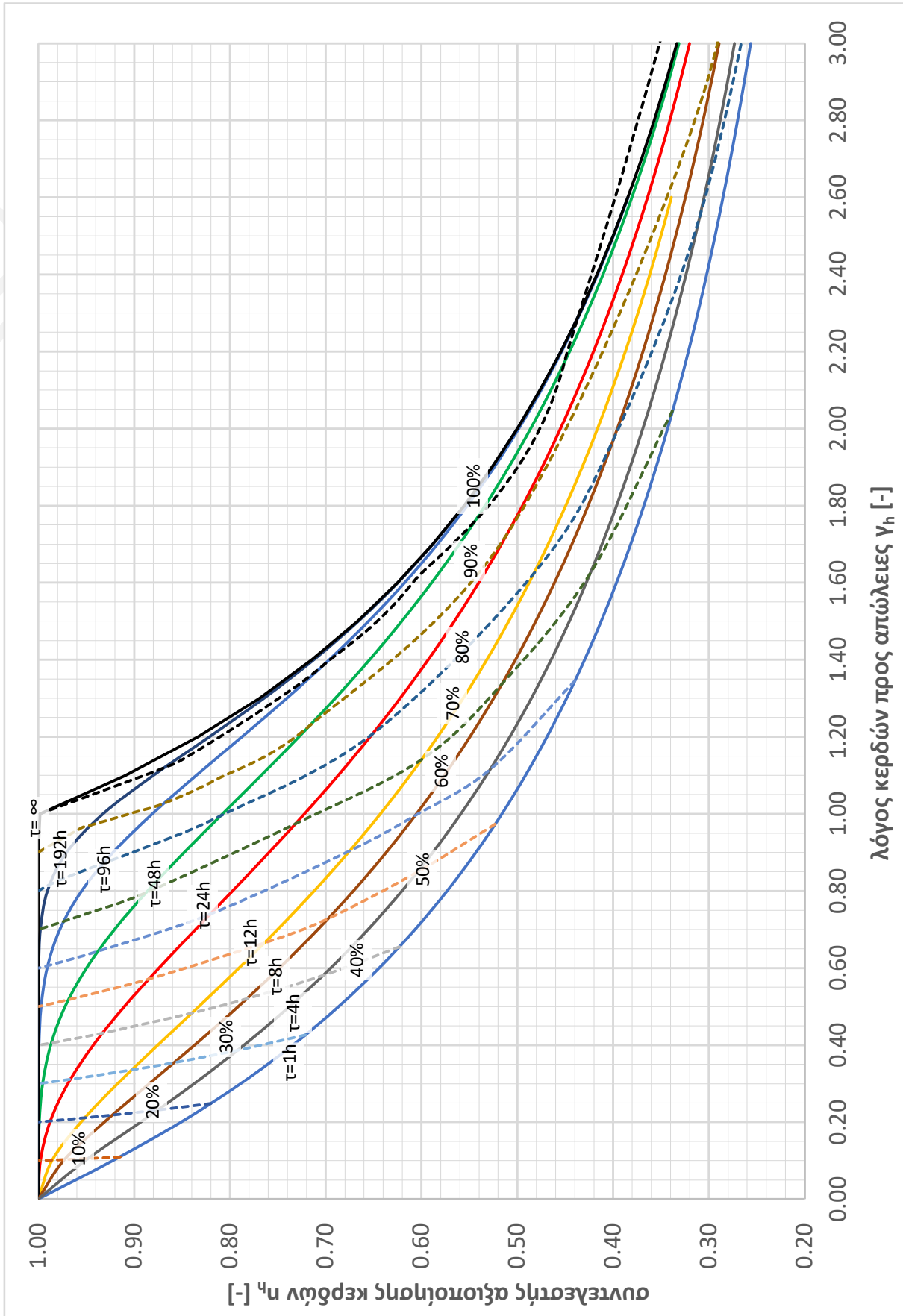
	$\gamma_c = Q_{losses} / Q_{gains} = (Q_{tr} + Q_{vent}) / (Q_{int} + Q_{sol})$	[εξ. Β.2]
όπου: $\gamma_c [-]$ :	ο λόγος των κερδών προς τις απώλειες	
$Q_{gains} [kWh]$ :	τα κέρδη του κτιρίου	
$Q_{losses} [kWh]$ :	οι απώλειες του κτιρίου	
$Q_{int} [kWh]$ :	τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου (από φωτισμό, χρήστες, εξοπλισμό κ.λπ.)	
$Q_{sol} [kWh]$ :	τα ηλιακά κέρδη του κτιρίου	
$Q_{tr} [kWh]$ :	οι απώλειες από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου	
$Q_{vent} [kWh]$ :	οι απώλειες αερισμού του κτιρίου	

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή αξιοποίησης των κερδών κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου θέρμανσης γίνεται χρήση του γραφήματος που δίνεται στην [Εικόνα Β-1](#) ενώ αν οι υπολογισμοί γίνονται σε μηνιαίο βήμα γίνεται χρήση του γραφήματος που δίνεται στην [Εικόνα Β-2](#).

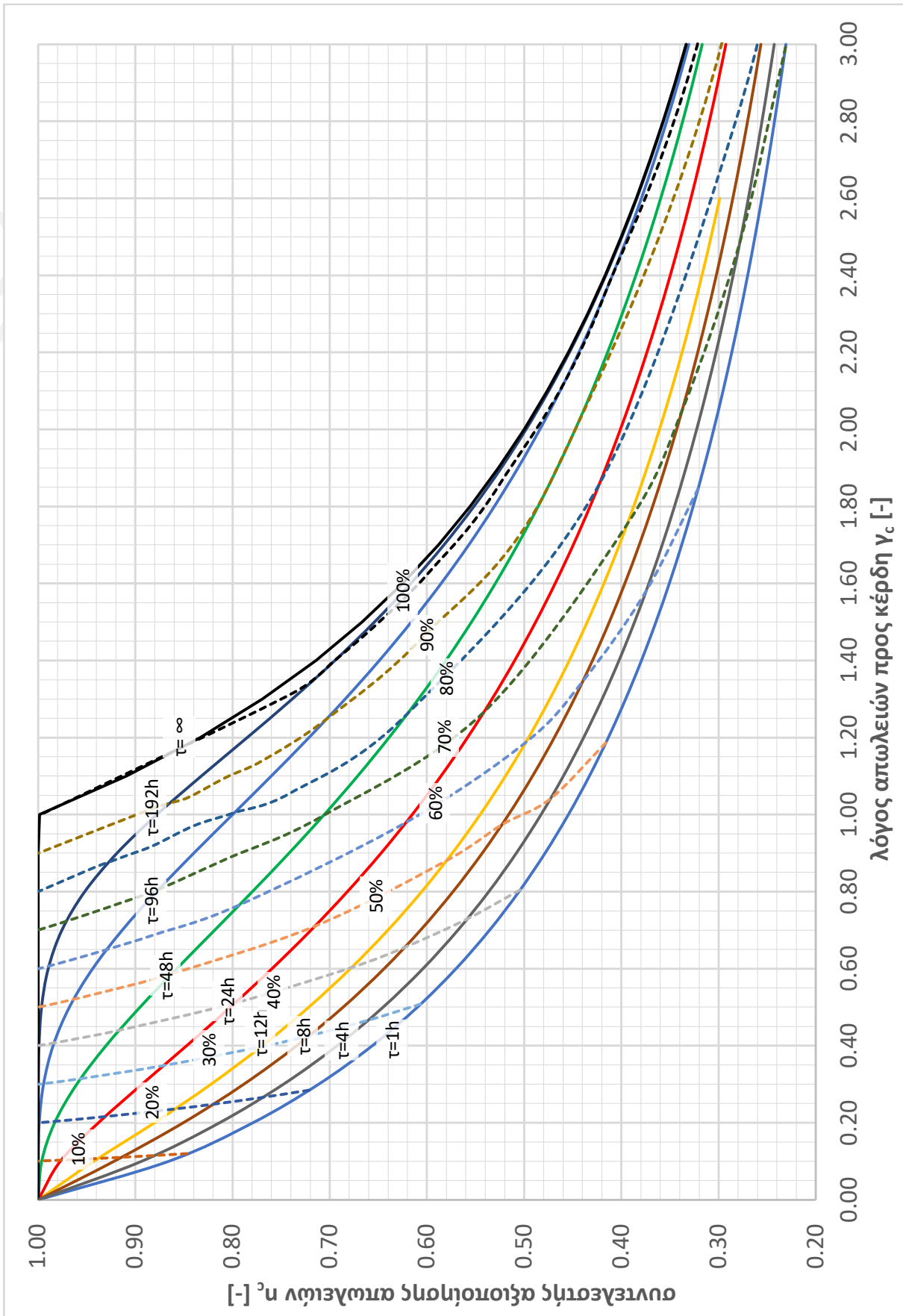
Αντίστοιχα για τον προσδιορισμό του συντελεστή αξιοποίησης των απωλειών κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου ψύξης γίνεται χρήση του γραφήματος που δίνεται στην [Εικόνα Β-3](#) ενώ αν οι υπολογισμοί γίνονται σε μηνιαίο βήμα γίνεται χρήση του γραφήματος που δίνεται στην [Εικόνα Β-4](#).



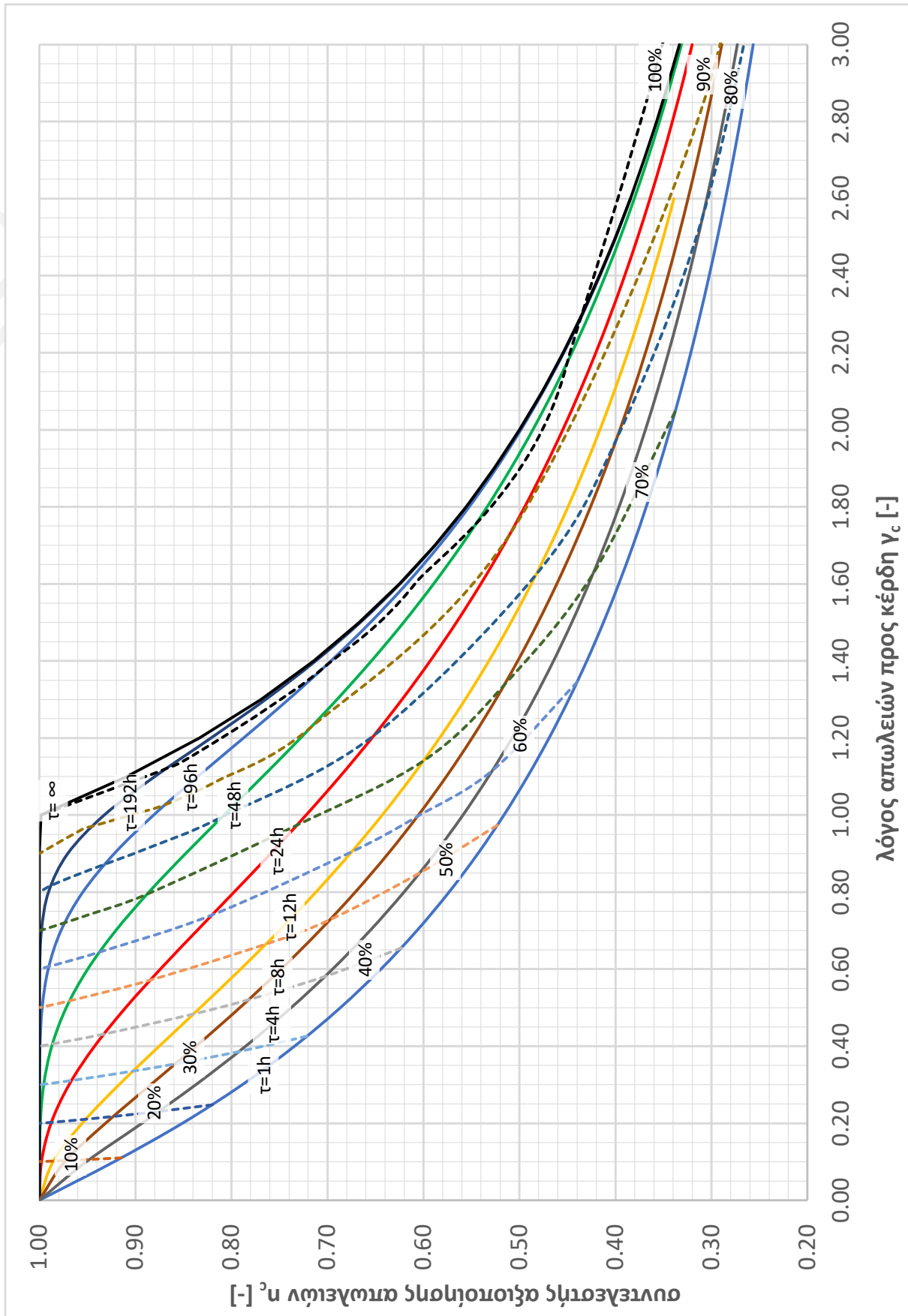
Εικόνα Β-1: Συντελεστής αξιοποίησης κερδών περιόδου θέρμανσης - εποχιακή ανάλυση



Εικόνα Β-2: Συντελεστής αξιοποίησης κερδών περιόδου θέρμανσης - μηνιαία ανάλυση



Εικόνα Β-3:: Συντελεστής αξιοποίησης απωλειών περιόδου ψύξης - εποχιακή ανάλυση



Εικόνα Β-4:: Συντελεστής αξιοποίησης απωλειών περιόδου ψύξης - μηνιαία ανάλυση

## Παράρτημα Γ. Ηλιακά κέρδη αδιαφανών δομικών στοιχείων

### Γ.1. Ηλιακά κέρδη αδιαφανών δομικών στοιχείων

Τα ηλιακά κέρδη διαμέσου των αδιαφανών δομικών στοιχείων εξαρτώνται από τον συντελεστή απορροφητικότητας  $\alpha$ , τον συντελεστή εκπομπής  $\varepsilon$ , και από το επίπεδο θερμομόνωσης του δομικού στοιχείου και πιο συγκεκριμένα από τον συντελεστή θερμοπερατότητας  $U$ . Αναλυτικότερα, τα ηλιακά κέρδη ενός δομικού στοιχείου για μια περίοδο μπορούν να υπολογιστούν από την ακόλουθη σχέση:

$$q_{sol} = \alpha \cdot I \cdot F_{sh} \cdot R_{se} \cdot U - h_r \cdot F_{sky} \cdot \Delta\theta_{sky} \cdot U \cdot t \quad [\text{εξ. Γ.1}]$$

όπου:  $q_{sol} [kWh/m^2]$ : τα ηλιακά κέρδη αδιαφανούς δομικού στοιχείου για μια περίοδο διάρκειας  $t$

$\alpha [-]$ : η απορροφητικότητα της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$I [kWh/m^2]$ : η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια για την περίοδο διάρκειας  $t$

$F_{sh} [-]$ : ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας (βλ. [ενότητα 4.2.3](#))

$R_{se} [(W/m^2K)^{-1}]$ : η θερμική αντίσταση του στρώματος του αέρα από την εξωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου

$U [W/m^2K]$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

$h_r [-]$ : ο συντελεστής εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$F_{sky} [-]$ : ο συντελεστής θέασης του ουρανού, ίσος με 1 για οριζόντια και  $\frac{1}{2}$  για κατακόρυφα δομικά στοιχεία

$\Delta\theta_{sky} [K]$ : η μέση διαφορά θερμοκρασίας δομικού στοιχείου και ουρανού

$t [h]$ : η διάρκεια της περιόδου για την οποία υπολογίζονται τα ηλιακά κέρδη.

Λαμβάνοντας την μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ουρανού και του δομικού στοιχείου  $\Delta\theta_{sky} = 11K$ , το συντελεστή  $h_r = 5 \cdot \varepsilon$ , όπου  $\varepsilon$  ο συντελεστής εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου, τη θερμική αντίσταση του στρώματος αέρα από την εξωτερική πλευρά  $R_{se} = 0,04W/(m^2K)^{-1}$  και αναδιαμορφώνοντας την [\[εξ. Γ.2\]](#) προκύπτει ότι τα ηλιακά κέρδη για μία περίοδο μπορούν να υπολογιστούν από την επόμενη σχέση:

$$q_{sol} = 0,04 \cdot U \cdot (a \cdot I \cdot F_{sh} - 0,0055 \cdot \varepsilon \cdot F_{sky} \cdot t) \quad [\text{εξ. Γ.2}]$$

όπου:  $q_{sol} [kWh/m^2]$ : τα ηλιακά κέρδη αδιαφανούς δομικού στοιχείου για μια περίοδο διάρκειας  $t$

$\alpha [-]$ : η απορροφητικότητα της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$I [kWh/m^2]$ : η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια

$F_{sh} [-]$ : ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας (βλ. [ενότητα 4.2.3](#))

$U [W/m^2K]$ : ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

$\varepsilon [-]$ : ο συντελεστής εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$F_{sky}[-]$ :	ο συντελεστής θέασης του ουρανού, ίσος με 1 για οριζόντια και ½ για κατακόρυφα δομικά στοιχεία
$t$ [h]:	η διάρκεια της περιόδου για την οποία υπολογίζονται τα ηλιακά κέρδη.

Όπως φαίνεται από την [εξ. Γ.2] τα ηλιακά κέρδη είναι ανάλογα του συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου, αυξάνουν με την αύξηση της απορροφητικότητας του και μειώνονται με την αύξηση του συντελεστή εκπομπής. Έτσι κατά την χειμερινή περίοδο, που τα ηλιακά κέρδη μειώνουν τις απαιτήσεις για θέρμανση, είναι επιθυμητός υψηλός συντελεστής απορροφητικότητας  $\alpha$  και χαμηλός συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$ . Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει την περίοδο ψύξης που είναι επιθυμητός χαμηλός συντελεστής απορροφητικότητας  $\alpha$  και υψηλός συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$ .

## Γ.2. Ενεργειακό ισοζύγιο ηλιακών κερδών αδιαφανών δομικών στοιχείων

Το ετήσιο ισοζύγιο ηλιακών κερδών ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου  $q_{sol,bal}$  προκύπτει αφαιρώντας από τα κέρδη της περιόδου θέρμανσης  $q_{sol,h}$ , που μειώνουν τις απαιτήσεις για θέρμανση, τα κέρδη της περιόδου ψύξης  $q_{sol,c}$ , που αυξάνουν τις απαιτήσεις για ψύξη. Αρνητική τιμή του ισοζυγίου σημαίνει ότι το δομικό στοιχείο λειτουργεί επιβαρυντικά στο κτίριο ως προς τις απαιτήσεις σε ενέργεια ενώ θετική τιμή ότι λειτουργεί ανακουφιστικά.

$$q_{sol,bal} = q_{sol,h} - q_{sol,c} =$$

$$= 0,04 \cdot U \cdot [a \cdot (I_h \cdot F_{sh,h} - I_c \cdot F_{sh,c}) - 0,0055 \cdot \varepsilon \cdot F_{sky} \cdot (t_h - t_c)] \quad [\text{εξ. Γ.3}]$$

όπου:  $q_{sol,bal}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: ετήσιο ισοζύγιο ηλιακών κερδών του δομικού στοιχείου

$q_{sol,h}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: τα ηλιακά κέρδη του δομικού στοιχείου την περίοδο θέρμανσης

$q_{sol,c}$  [kWh/m<sup>2</sup>]: τα ηλιακά κέρδη του δομικού στοιχείου την περίοδο ψύξης

$\alpha$  [-]: η απορροφητικότητα της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$I_h$  και  $I_c$  [kWh]: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία για όλη την περίοδο θέρμανσης και την περίοδο ψύξης αντίστοιχα στην επιφάνεια (χωρίς την επίδραση εμποδίων ή σκιάστρων)

$F_{sh,h}$ ,  $F_{sh,c}$  [-]: ο συντελεστής σκιασμού για την περίοδο θέρμανσης και ψύξης αντίστοιχα της επιφάνειας (βλ. ενότητα 4.2.3)

$U$  [W/m<sup>2</sup>K]: ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου

$\varepsilon$  [-]: ο συντελεστής εκπομπής της τελικής διαμόρφωσης του δομικού στοιχείου

$F_{sky}[-]$ : ο συντελεστής θέασης του ουρανού, ίσος με 1 για οριζόντια και ½ για κατακόρυφα δομικά στοιχεία

$t_h$ ,  $t_c$  [hours]: η διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και της περιόδου ψύξης αντίστοιχα. Για την Α και Β κλιματική ζώνη θεωρούνται  $t_h=3.984h$  και  $t_c=2.940h$ , ενώ για τη Γ και Δ ζώνη  $t_h=4.716h$  και  $t_c=2.568h$

Με βάση την [εξ. Γ.3] και τον Πίνακα Ε.1 προκύπτει ότι για τα οριζόντια δομικά στοιχεία δεδομένου ότι σε όλες τις ελληνικές πόλεις η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο είναι μεγαλύτερη την περίοδο ψύξης από την περίοδο θέρμανσης, ο συντελεστής απορροφητικότητας  $\alpha$  πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Επιπλέον, δεδομένου ότι η περίοδος θέρμανσης διαρκεί περισσότερο από την περίοδο ψύξης, ο συντελεστής εκπομπής  $\varepsilon$  πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος.



## Παράρτημα Δ. Εποχική απόδοση διαφανών δομικών στοιχείων

### Δ.1. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου θέρμανσης

Για την περίοδο θέρμανσης το ενεργειακό ισοζύγιο ή η ροή θερμότητας  $q_h$  μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Θετικές τιμές του  $q_h$  σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερα ηλιακά κέρδη από ότι θερμικές απώλειες, με συνέπεια να μειώνονται οι απαιτήσεις του χώρου για θέρμανση (παθητική θέρμανση), ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερες θερμικές απώλειες από ότι ηλιακά κέρδη, με συνέπεια να αυξάνονται οι απαιτήσεις του χώρου για θέρμανση.

$$q_h = g_w \cdot I_h \cdot F_{sh,h} \cdot n_h - U_{w,tot} \cdot \Sigma \Delta T_h \quad [\text{εξ. } \Delta.1]$$

όπου:  $q_h$  [kWh/m<sup>2</sup>]: η ροή θερμότητας διαμέσου του διαφανούς δομικού στοιχείου προς το κτίριο για την περίοδο θέρμανσης

$g_w$  [-]: ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$I_h$  [kWh]: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο θέρμανσης (βλ. [Παράρτημα Ε](#))

$F_{sh,h}$  [-]: ο συντελεστής σκίασμού της επιφάνειας για την περίοδο θέρμανσης (βλ. [ενότητα 4.2.3](#))

$n_h$  [-]: ο βαθμός αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο θέρμανσης. Εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του κτιρίου καθώς και τον λόγο των κερδών προς τις απώλειες του κτιρίου θέρμανσης (βλ. [ενότητα 2.2.4](#))

$U_{w,tot}$  [W/m<sup>2</sup>K]: ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου

$\Sigma \Delta T_h$  [kK]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. [Παράρτημα Ε](#))

Όπως φαίνεται από τη σχέση **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**, το ισοζύγιο του διαφανούς στοιχείου  $q_h$  για την περίοδο θέρμανσης μεγαλώνει όσο μειώνεται ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών  $U_{w,tot}$ , και όσο αυξάνεται ο συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$  του διαφανούς δομικού στοιχείου.

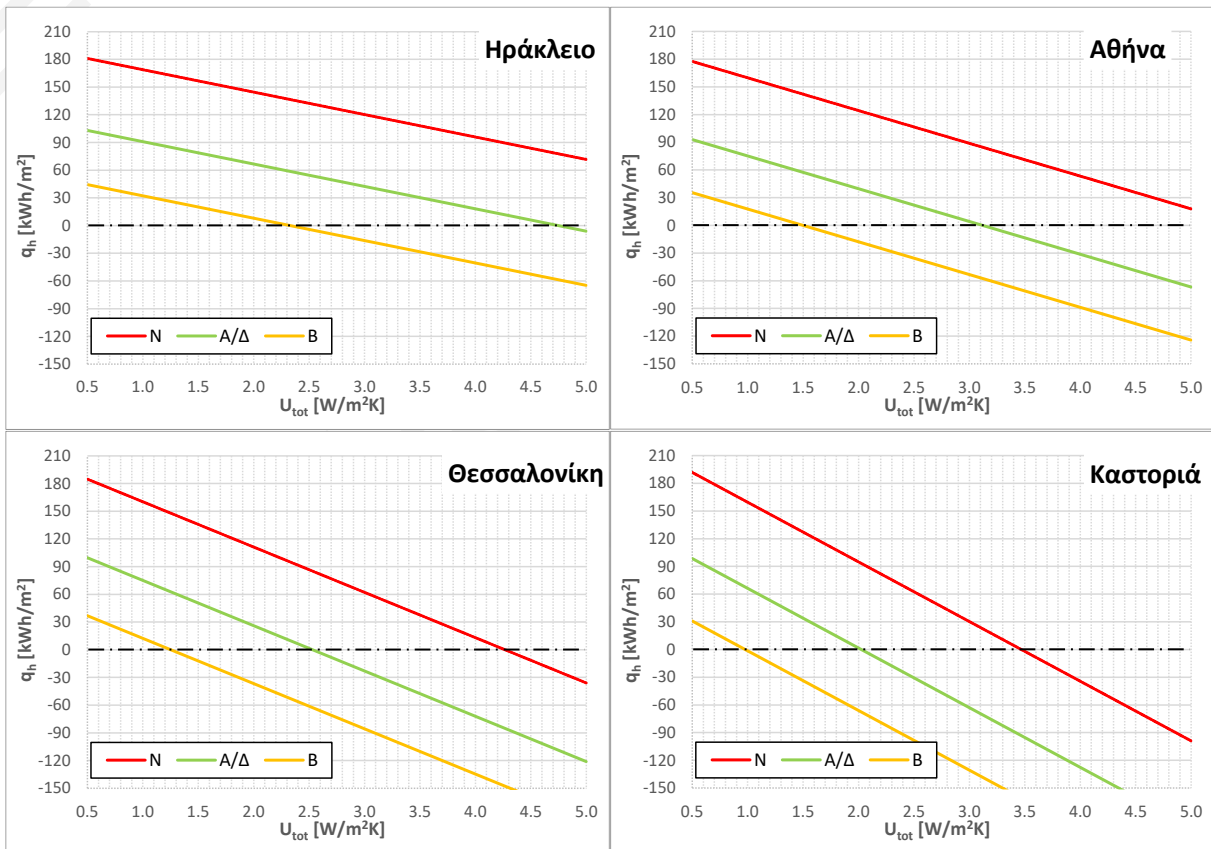
Θέττοντας  $q_h > 0$  και αναδιαμορφώνοντας την προκύπτει η επόμενη σχέση **[εξ.Δ.2]** από την οποία μπορούν να προσδιοριστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός διαφανούς δομικού στοιχείου που επιτυγχάνει θετικό ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης:

$$\frac{U_{w,tot}}{g_w} < n_h \cdot \frac{I_h}{\Sigma \Delta T_h} \cdot F_{sh,h} \quad [\text{εξ. } \Delta.2]$$

Ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ασκίαστα σε μια επιφάνεια για μια περίοδο προς το άθροισμα των διαφορών θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα-εξωτερικού αέρα για την ίδια περίοδο

είναι χαρακτηριστικό της περιοχής και μπορεί να υπολογιστεί με τα δεδομένα της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3 για κάθε μια από τις περιοχές που καλύπτονται. Στο *Παράρτημα Ε* δίνονται πινακοποιημένες τιμές του ανωτέρου λόγου για τυπικές περιόδους θέρμανσης και ψύξης όπως αυτές ορίζονται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1.

Στα επόμενα γραφήματα δίνεται το ενεργειακό ισοζύγιο κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης  $q_h$  για διαφανή δομικά στοιχεία σε τέσσερις χαρακτηριστικές πόλεις, για τρεις προσανατολισμούς, συναρτήσει του  $U_{tot}$ . Για τον υπολογισμό του  $q_h$  θεωρήθηκε ότι τα ανοίγματα είναι ασκίαστα ( $F_{sh,h}=1$ ), ο συντελεστής αξιοποίησης ηλιακών κερδών  $\eta_h=0,70$ , το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα είναι 20% και η υάλωση έχει συντελεστή  $g=0,65$  (διπλή υάλωση, με επίστρωση χαμηλής εκπομπής).



Γράφημα Δ.1: Ενεργειακό ισοζύγιο περιόδου θέρμανσης πορτοπαράθυρων συναρτήσει του συντελεστή  $U_{w,tot}$  για τέσσερις αντιπροσωπευτικές πόλεις και τρεις προσανατολισμούς (ασκίαστα,  $\eta_h=0,8$ ,  $F_f$  20%,  $g_g=0,65$ )

## Δ.2. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου ψύξης

Για την περίοδο ψύξης το ενεργειακό ισοζύγιο ή η ροή θερμότητας  $q_h$  μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση [εξ.Δ.3]. Θετικές τιμές του  $q_c$  σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερα ηλιακά κέρδη από ότι θερμικές απώλειες, με συνέπεια να αυξάνονται οι απαιτήσεις του χώρου για ψύξη, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο έχει περισσότερες θερμικές απώλειες από ότι ηλιακά κέρδη, με συνέπεια να μειώνονται οι απαιτήσεις του χώρου για ψύξη. Για τα ελληνικά κλιματικά δεδομένα, τα διαφανή δομικά στοιχεία σε όλες τις περιπτώσεις κατά την περίοδο ψύξης παρουσιάζουν θετικές τιμές ενεργειακού ισοζυγίου δηλαδή αυξάνουν τις απαιτήσεις για ψύξη του χώρου στον οποίο βρίσκονται.

$$q_c = g_w \cdot I_c \cdot F_{sh,c} - U_{w,tot} \cdot \Sigma \Delta T_c \cdot n_c \quad [\text{εξ. Δ.3}]$$

όπου: $q_c$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	τα κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο ψύξης
$g_w$ [-]:	ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$I_c$ [kWh]:	η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο ψύξης (βλ. Παράρτημα Ε)
$F_{sh,c}$ [-]:	ο συντελεστής σκίασμού της επιφάνειας για την περίοδο ψύξης (βλ. ενότητα 4.2.3)
$U_{w,tot}$ [W/m <sup>2</sup> K]:	ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$\Sigma \Delta T_c$ [K]:	το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου ψύξης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. Παράρτημα Ε)
$n_c$ [-]:	συντελεστής αξιοποίησης των θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο υπολογισμού (βλ. ενότητα 2.2.4)

Όπως φαίνεται και από τη [εξ.Δ.3] το ισοζύγιο του στοιχείου για την περίοδο ψύξης μειώνεται όσο μεγαλώνει ο συντελεστής θερμικών απωλειών  $U_{w,tot}$  και ο συντελεστής αξιοποίησης θερμικών απωλειών  $n_c$  του διαφανούς δομικού στοιχείου και όσο μειώνεται ο συντελεστής ηλιακών κερδών  $g_w$ . Ο συντελεστής  $n_c$  υπολογίζεται για την περίοδο ψύξης και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του κτιρίου καθώς και από την αναλογία των θερμικών απωλειών προς τα θερμικά κέρδη του.

### Δ.3. Ενεργειακό ισοζύγιο διαφανούς δομικού στοιχείου περιόδου θέρμανσης-ψύξης

Για το σύνολο του έτους, το ενεργειακό ισοζύγιο ή η ροή θερμότητας,  $q_{bal}$ , μέσω ενός ανοίγματος μπορεί απλοποιητικά να προσδιορισθεί από την επόμενη σχέση [εξ.Δ.4]. Θετικές τιμές σημαίνουν ότι το δομικό στοιχείο μειώνει περισσότερο τις απαιτήσεις του χώρου για θέρμανση, σε σχέση με το πόσο αυξάνει τις απαιτήσεις για ψύξη.

$$q_{bal} = q_h - q_c = g_w(I_h \cdot F_{sh,h} \cdot n_h - I_c \cdot F_{sh,c}) - U_{w,tot} (\Sigma \Delta T_h - \Sigma \Delta T_c \cdot n_c) \quad [εξ. Δ.4]$$

$q_{bal}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	το ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο ενός διαφανούς δομικού στοιχείου
$q_h$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	τα κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο θέρμανσης
$q_c$ [kWh/m <sup>2</sup> ]:	τα κέρδη του διαφανούς δομικού στοιχείου για την περίοδο ψύξης
$g_w$ [-]:	ο συντελεστής ηλιακών κερδών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$I_h$ [kWh]:	η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο θέρμανσης (βλ. <a href="#">Παράρτημα Ε</a> )
$F_{sh,h}$ [-]:	ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο θέρμανσης (βλ. <a href="#">ενότητα 4.2.3</a> )
$n_h$ [-]:	συντελεστής αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο θέρμανσης (βλ. <a href="#">ενότητα 2.2.4</a> ).
$I_c$ [kWh]:	η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του διαφανούς δομικού στοιχείου πριν την απομείωση της λόγω ύπαρξη εμποδίων ή σκιάστρων για την περίοδο ψύξης (βλ. <a href="#">Παράρτημα Ε</a> )
$F_{sh,c}$ [-]:	ο συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο ψύξης (βλ. <a href="#">ενότητα 4.2.3</a> )
$U_{w,tot}$ [W/m <sup>2</sup> K]:	ο συνδυαστικός συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου
$\Sigma \Delta T_h$ [kKh ]:	το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. <a href="#">Παράρτημα Ε</a> )
$\Sigma \Delta T_c$ [kKh ]:	το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου ψύξης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα (βλ. <a href="#">Παράρτημα Ε</a> )
$n_c$ [-]:	συντελεστής αξιοποίησης των θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο ψύξης (βλ. <a href="#">ενότητα 2.2.4</a> )

## Παράρτημα Ε. Δείκτες κλιματικών παραμέτρων

Αναλυτικά, ο υπολογισμός του  $\Sigma\Delta T_h$  μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε εσωτερική θερμοκρασία και με χρήση της επόμενης σχέσης. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για πλήθος ελληνικών πόλεων-περιοχών δίνεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3.

$$\Sigma\Delta T_h = \sum_{hs} \left[ (T_{in} - T_{ex,hs,m}) \cdot \frac{h_{hs,m}}{1.000} \right] \quad [\text{εξ. Ε. 1}]$$

όπου:  $\Sigma\Delta T_h$  [kKh]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου θέρμανσης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα. Προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθούν ως οι βαθμώρες θέρμανσης του κτιρίου.

$T_{in}$  [°C]: η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου την περίοδο θέρμανσης, ίση με 20°C

$T_{ex,hs,m}$  [°C]: η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα για το μήνα  $m$  της περιόδου θέρμανσης

$h_{hs,m}$  [h]: οι ώρες του μήνα  $m$

**Σημειώνεται ότι το άθροισμα αφορά του μήνες της περιόδου θέρμανσης.**

Αναλυτικά, ο υπολογισμός του  $\Sigma\Delta T_c$  μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε εσωτερική θερμοκρασία και με χρήση της επόμενης σχέσης. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για πλήθος ελληνικών πόλεων-περιοχών δίνεται στην Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3.

$$\Sigma\Delta T_c = \sum_{cs} \left[ (T_{in} - T_{ex,cs,m}) \cdot \frac{h_{cs,m}}{1.000} \right] \quad [\text{εξ. Δ. 2}]$$

όπου:  $\Sigma\Delta T_c$  [kKh]: το άθροισμα της διαφοράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του κάθε μήνα της περιόδου ψύξης από την επιθυμητή θερμοκρασία του κτιρίου επί τον αριθμό των ωρών του μήνα. Προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθούν ως οι βαθμώρες ψύξης του κτιρίου.

$T_{in}$  [°C]: η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου την περίοδο ψύξης, ίση με 24°C

$T_{ex,hs,m}$  [°C]: η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα για το μήνα  $m$  της περιόδου θέρμανσης

$h_{hs,m}$  [h]: οι ώρες του μήνα  $m$

**Σημειώνεται ότι το άθροισμα αφορά του μήνες της περιόδου ψύξης.**

**Δείκτες κλιματικών παραμέτρων**

Πίνακας Ε.1: Δείκτες κλιματικών συνθηκών ΣΔT<sub>h</sub>, ΣΔT<sub>c</sub>, I<sub>h</sub>, και I<sub>c</sub> σε ελληνικές πόλεις για διάφορους προσανατολισμούς επιφανειών όπου: ΣΔT<sub>h</sub> το σύνολο βαθμωρών θέρμανσης, ΣΔT<sub>c</sub> το σύνολο βαθμωρών ψύξης και I<sub>h</sub>, και I<sub>c</sub> η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία την περίοδο θέρμανσης και την περίοδο ψύξης αντίστοιχα σε επιφάνειες διαφορετικού προσανατολισμού

αα	πόλη	ζώνη	ΣΔT [κΚh]		οριζόντιο		N		ακτινοβολίες kWh/m <sup>2</sup>				BA/BA		A/Δ		BA/BA		B	
			ΣΔT <sub>h</sub>	ΣΔT <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>	I <sub>h</sub>	I <sub>c</sub>
1	Αγρίνιο	B	36.6	-3.5	459	809	531	382	448	448	298	462	171	372	141	275				
2	Αγχιάλος	B	42.3	-2.0	436	794	504	380	424	441	284	453	164	365	136	273				
3	Αθήνα (Ελληνικό)	B	31.3	-5.9	464	813	542	379	457	447	304	464	175	374	142	276				
4	Αθήνα(Ν.Φιλαδέλφεια)	B	49.6	-5.4	459	793	567	379	591	394	422	409	251	374	201	276				
5	Αλεξανδρούπολη	Γ	27.5	-1.0	521	682	520	342	439	439	294	444	171	355	142	267				
6	Αλιάρτος	B	25.5	-3.5	429	820	520	385	533	452	370	468	171	377	142	277				
7	Ανδραβίδα	B	31.6	-0.6	476	833	571	385	397	402	263	418	154	335	125	245				
8	Άραξος	B	35.5	-2.3	464	801	466	375	397	441	273	456	164	368	136	273				
9	Άργος	A	48.1	-3.0	495	836	565	384	575	456	396	476	231	385	186	283				
10	Αργοστόλι	A	40.5	-0.6	478	828	519	386	438	455	295	474	171	379	141	279				
11	Άρτα	B	33.7	0.2	467	796	557	382	467	444	314	455	180	365	146	272				
12	Ζάκυνθος	A	38.5	-3.2	450	796	551	372	462	436	306	454	172	367	141	272				
13	Ηράκλειο	A	38.1	-2.0	497	841	494	368	417	448	284	478	167	389	140	284				
14	Θεσσαλονίκη	Γ	31.3	-3.3	513	662	514	330	440	426	307	430	183	347	151	263				
15	Ιεράπετρα	A	25.5	-5.8	544	837	557	362	390	389	260	414	150	338	126	246				
16	Ιωάννινα	Γ	45.6	1.8	509	673	575	329	594	426	426	436	254	352	201	267				
17	Καβάλα	Γ	22.4	-0.9	538	672	538	337	376	435	254	441	151	309	128	232				
18	Καλαμάτα	A	54.4	-1.9	488	816	609	372	428	390	279	408	206	330	168	243				
19	Καστοριά	Δ	47.6	4.3	538	664	540	331	554	376	385	380	231	346	186	263				
20	Κέρκυρα	B	33.2	-1.7	438	805	596	389	509	449	348	461	157	323	130	240				
21	Κομοτηνή	Γ	59.1	0.1	518	690	509	348	429	394	287	398	217	359	175	268				
22	Κόνιτσα	Γ	35.0	2.7	531	681	571	336	489	437	335	445	152	311	125	234				
23	Κόρινθος	B	52.1	-5.9	477	821	579	382	406	396	270	411	204	331	168	243				
24	Κύθηρα	A	48.2	0.3	495	832	537	371	550	391	382	413	227	383	183	282				
25	Λαμία	B	35.6	-2.8	439	785	530	375	551	436	392	448	182	362	149	270				
26	Λάρισα	Γ	29.3	-4.3	547	694	500	338	423	441	283	453	165	363	137	270				
27	Λήμνος	B	43.8	1.0	417	811	580	393	409	455	275	466	161	324	133	239				
28	Μεθώνη	A	46.4	1.2	477	816	475	397	402	402	273	410	212	373	172	275				
29	Μήλος	A	41.2	1.0	460	843	583	379	590	454	399	479	173	387	140	282				
30	Μυτιλήνη	B	27.3	-2.2	430	826	479	392	411	459	285	473	172	377	142	279				
31	Νάξος	A	30.0	1.3	471	832	482	378	410	452	277	473	163	383	135	281				
32	Πάρος	A	33.0	0.1	412	811	506	378	431	450	294	473	174	382	144	281				
33	Πάτρα	B	24.9	-2.2	444	807	521	379	443	444	303	460	178	372	145	275				
34	Πύργος	B	28.3	-1.5	493	820	487	379	415	448	284	468	167	377	140	277				
35	Ρέθυμνο	A	31.3	-3.7	483	831	558	363	470	442	314	470	178	384	146	281				
36	Ρόδος	A	32.9	-4.0	508	827	496	370	425	445	297	471	180	381	149	280				
37	Σάμος	B	21.5	-6.7	493	852	552	392	466	465	320	486	184	390	150	284				
38	Σέρρες	Γ	24.3	-2.5	515	672	556	339	467	433	314	437	178	350	144	265				
39	Σητεία	A	32.3	-1.3	503	844	567	365	395	448	260	478	151	341	125	249				
40	Σκύρος	B	49.7	0.7	418	808	520	384	445	395	309	406	241	370	195	275				
41	Σούδα	A	23.9	-2.2	498	846	459	370	485	451	344	480	160	389	134	284				
42	Σύρος	A	32.4	-3.2	476	834	513	381	440	455	307	475	183	383	150	281				
43	Τανάγρα	B	28.5	-3.5	438	812	518	381	440	447	299	465	176	372	144	276				
44	Τρίκαλα	Γ	26.3	-4.7	531	665	484	333	411	428	281	432	165	347	137	263				
45	Τρίπολη	Δ	42.6	2.4	604	694	593	329	418	436	274	454	155	322	129	238				
46	Τυμπάκιο	A	48.8	-5.0	539	849	593	366	417	396	284	422	218	343	179	248				
47	Χανιά	A	26.1	-2.1	487	837	500	365	428	445	300	475	181	387	150	282				
48	Χίος	B	33.9	-1.2	451	833	499	389	425	460	289	476	170	381	139	280				

## Δείκτες κλιματικών παραμέτρων

Πίνακας Ε.2: Δείκτες κλιματικών συνθηκών Α, Β και R σε ελληνικές πόλεις για διάφορους προσανατολισμούς επιφανειών, όπου  $A=I_h/\Sigma\Delta T_h$ , είναι η αναλογία της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την περίοδο θέρμανσης προς το σύνολο βαθμωρών θέρμανσης,  $B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$  είναι ο λόγος της διαφοράς του συνόλου βαθμωρών θέρμανσης και βαθμωρών ψύξης προς τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία κατά την περίοδο ψύξης και  $R=I_h/I_c$  η αναλογία της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας της περιόδου θέρμανσης προς τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης

αα	πόλη	ζώνη	N			NA			A/Δ			BA			B		
			$I_h/\Sigma\Delta T_h$	R	$B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$	$I_h/\Sigma\Delta T_h$	R	$B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$	$I_h/\Sigma\Delta T_h$	R	$B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$	$I_h/\Sigma\Delta T_h$	R	$B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$	$I_h/\Sigma\Delta T_h$	R	$B=(\Sigma\Delta T_h-\Sigma\Delta T_c)/I_c$
1	ΑΓΡΙΝΙΟ	B	14	1,39	0,09	12	1,00	0,08	8	0,65	0,08	5	0,46	0,09	4	0,51	0,13
2	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	B	12	1,33	0,10	10	0,96	0,09	7	0,63	0,09	4	0,45	0,11	3	0,50	0,14
3	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	Γ	11	1,67	0,14	9	1,26	0,13	6	0,86	0,13	4	0,65	0,16	3	0,70	0,21
4	ΑΛΙΑΡΤΟΣ	B	11	1,21	0,10	10	0,88	0,09	7	0,58	0,08	4	0,43	0,10	3	0,49	0,14
5	ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	B	16	1,47	0,08	14	1,04	0,06	9	0,67	0,06	5	0,47	0,08	4	0,52	0,10
6	ΑΡΑΞΟΣ	B	16	1,38	0,08	14	0,99	0,06	9	0,65	0,06	5	0,46	0,08	4	0,51	0,10
7	ΑΡΓΟΣ	A	14	1,45	0,10	12	1,03	0,08	8	0,66	0,08	5	0,47	0,10	4	0,52	0,13
8	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	A	19	1,40	0,06	16	1,01	0,05	11	0,64	0,05	6	0,46	0,06	5	0,51	0,08
9	ΑΡΤΑ	B	14	1,44	0,09	12	1,04	0,07	8	0,67	0,07	4	0,47	0,09	4	0,52	0,12
10	ΕΛΜΗΝΙΚΟ	B	17	1,37	0,08	14	0,98	0,07	10	0,63	0,07	6	0,46	0,08	5	0,51	0,11
11	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	A	15	1,33	0,08	13	0,96	0,07	9	0,62	0,06	5	0,46	0,08	4	0,51	0,11
12	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	A	21	1,40	0,06	18	0,98	0,05	12	0,64	0,04	7	0,47	0,05	6	0,53	0,07
13	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	Γ	11	1,69	0,15	9	1,27	0,13	7	0,87	0,13	4	0,65	0,16	3	0,71	0,21
14	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	A	26	1,59	0,06	22	1,10	0,05	15	0,71	0,05	9	0,50	0,06	7	0,56	0,08
15	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	Γ	10	1,64	0,15	8	1,22	0,13	6	0,84	0,13	4	0,64	0,16	3	0,71	0,21
16	ΚΑΒΑΛΑ	Γ	12	1,81	0,14	8	0,99	0,11	5	0,63	0,11	4	0,67	0,16	3	0,73	0,21
17	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	A	17	1,45	0,07	17	1,42	0,07	12	0,94	0,07	6	0,48	0,07	5	0,52	0,10
18	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	Δ	9	1,80	0,17	6	0,99	0,13	4	0,64	0,13	3	0,67	0,19	3	0,73	0,25
19	ΚΕΡΚΥΡΑ	B	15	1,31	0,08	16	1,32	0,07	11	0,89	0,07	5	0,45	0,08	4	0,49	0,11
20	ΚΟΜΟΤΗΝΗ	Γ	11	1,64	0,14	7	0,89	0,11	5	0,58	0,11	4	0,64	0,15	3	0,70	0,21
21	ΚΟΝΙΤΣΑ	Γ	11	1,72	0,14	9	1,29	0,12	6	0,87	0,12	4	0,66	0,15	3	0,72	0,20
22	ΚΟΡΙΝΘΟΣ	B	15	1,41	0,10	15	1,39	0,09	10	0,93	0,09	5	0,46	0,10	4	0,51	0,13
23	ΚΥΘΗΡΑ	A	18	1,43	0,06	15	1,01	0,05	10	0,65	0,05	6	0,47	0,06	5	0,53	0,08
24	ΛΑΜΙΑ	B	12	1,33	0,10	10	0,97	0,09	7	0,63	0,09	4	0,46	0,11	3	0,51	0,14
25	ΛΑΡΙΣΑ	Γ	11	1,72	0,15	8	0,93	0,11	5	0,61	0,11	4	0,67	0,16	3	0,73	0,21
26	ΛΗΜΝΟΣ	B	11	1,21	0,09	12	1,25	0,09	8	0,86	0,09	4	0,43	0,10	3	0,48	0,13
27	ΜΕΘΩΝΗ	A	21	1,47	0,05	17	1,06	0,05	11	0,68	0,04	6	0,46	0,06	5	0,51	0,08
28	ΜΗΛΟΣ	A	16	1,26	0,06	13	0,90	0,05	9	0,59	0,05	6	0,44	0,06	5	0,50	0,08
29	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	B	14	1,23	0,08	12	0,89	0,07	8	0,59	0,06	5	0,43	0,08	4	0,48	0,11
30	ΝΑΞΟΣ	A	20	1,34	0,05	17	0,95	0,04	11	0,62	0,04	7	0,45	0,05	6	0,51	0,07
31	ΠΑΡΟΣ	A	18	1,38	0,06	15	0,98	0,05	10	0,64	0,05	6	0,47	0,06	5	0,52	0,08
32	ΠΑΤΡΑ	B	15	1,29	0,08	13	0,94	0,06	9	0,62	0,06	5	0,45	0,08	4	0,51	0,10
33	ΠΥΡΓΟΣ	B	17	1,47	0,08	14	1,05	0,07	9	0,67	0,06	5	0,47	0,08	4	0,53	0,11
34	ΡΕΘΥΜΝΟ	A	22	1,37	0,06	19	0,96	0,05	13	0,63	0,04	8	0,47	0,05	7	0,53	0,07
35	ΡΟΔΟΣ	A	22	1,49	0,06	19	1,05	0,05	13	0,68	0,05	7	0,48	0,06	6	0,54	0,08
36	ΣΑΜΟΣ	B	18	1,42	0,08	15	1,00	0,07	10	0,65	0,07	6	0,46	0,08	5	0,51	0,11
37	ΣΕΡΡΕΣ	Γ	10	1,67	0,15	7	0,91	0,12	5	0,59	0,12	4	0,65	0,17	3	0,70	0,22
38	ΣΗΤΕΙΑ	A	21	1,43	0,05	22	1,39	0,05	16	0,94	0,05	8	0,47	0,05	6	0,54	0,07
39	ΣΚΥΡΟΣ	B	14	1,20	0,07	12	0,87	0,06	8	0,58	0,06	5	0,43	0,07	4	0,49	0,10
40	ΣΟΥΔΑ	A	17	1,39	0,07	15	0,98	0,06	10	0,64	0,05	6	0,47	0,07	5	0,53	0,09
41	ΣΥΡΟΣ	A	19	1,36	0,06	16	0,97	0,05	11	0,63	0,05	6	0,46	0,06	5	0,51	0,09
42	ΤΑΝΑΓΡΑ	B	12	1,27	0,10	10	0,92	0,09	7	0,60	0,08	4	0,44	0,10	3	0,50	0,14
43	ΤΡΙΚΑΛΑ	Γ	12	1,78	0,15	8	0,98	0,12	5	0,63	0,12	4	0,67	0,16	3	0,72	0,22
44	ΤΡΙΠΟΛΗ	Δ	11	1,80	0,15	9	1,32	0,13	6	0,90	0,12	4	0,68	0,15	3	0,75	0,20
45	ΤΥΜΠΑΚΙΟ	A	22	1,55	0,07	22	1,49	0,06	16	1,00	0,06	7	0,49	0,06	6	0,56	0,09
46	N. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	B	14	1,37	0,09	12	0,98	0,08	8	0,63	0,08	5	0,46	0,10	4	0,51	0,13
47	ΧΑΝΙΑ	A	19	1,37	0,06	16	0,96	0,05	11	0,63	0,05	7	0,47	0,06	6	0,53	0,08
48	ΧΙΟΣ	B	14	1,28	0,08	12	0,92	0,07	8	0,61	0,06	5	0,45	0,08	4	0,50	0,11

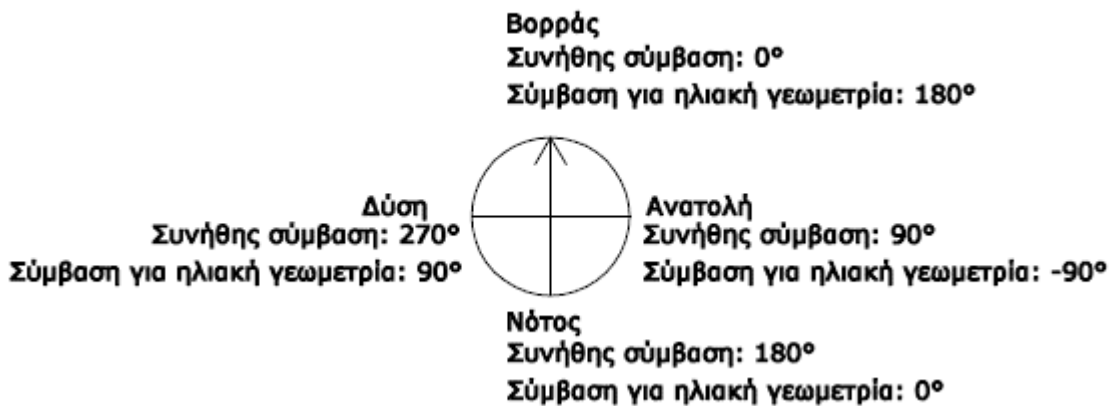
## Παράρτημα ΣΤ. Προσανατολισμός και γωνία αζιμουθίου

Ο προσανατολισμός ή το αζιμούθιο (ORI) μίας επιφάνειας είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού που περνά από το επίπεδο αναφοράς και την προβολή σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί του επιπέδου. Σύμφωνα με τη συνήθη σύμβαση για την ένδειξη του προσανατολισμού ( $0^\circ \leq \text{ORI} < 360^\circ$ ), την ένδειξη της διεύθυνσης του ανέμου, τον υπολογισμό του ηλιακού αζιμουθίου κ.α. λαμβάνεται υπόψη ως αφετηρία ο βορράς και η γωνία αζιμουθίου υπολογίζεται δεξιόστροφα ως εξής:

- $\text{ORI}=0^\circ$  για βόρειο προσανατολισμό
- $\text{ORI}=90^\circ$  για ανατολικό προσανατολισμό
- $\text{ORI}=180^\circ$  για νότιο προσανατολισμό
- $\text{ORI}=270^\circ$  για δυτικό προσανατολισμό

Κατά παραδοχή και για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών ηλιακής γεωμετρίας, σε ορισμένα ηλιακά διαγράμματα (όπως τα κυλινδρικά διαγράμματα για τις περιοχές της Ελλάδας που δίνονται στην ΤΟΤΕΕ 20701-3), λαμβάνεται υπόψη ως αφετηρία ο νότιος προσανατολισμός. Σύμφωνα με την παραδοχή, για τους υπολογισμούς του ηλιασμού και σκιασμού για επίπεδο με διάφορους προσανατολισμούς ( $-180^\circ < \text{ORI} \leq 180^\circ$ ), η ένδειξη του αζιμουθίου της επιφάνειας υπολογίζεται ως εξής

- $\text{ORI}=0^\circ$  για νότιο προσανατολισμό
- $\text{ORI}=90^\circ$  για δυτικό προσανατολισμό
- $\text{ORI}=-90^\circ$  για ανατολικό προσανατολισμό
- $\text{ORI}=180^\circ$  για βόρειο προσανατολισμό



Εικόνα ΣΤ.1: Σύμβαση έκφρασης προσανατολισμού σε μοίρες, για τον υπολογισμό του ηλιασμού - σκιασμού

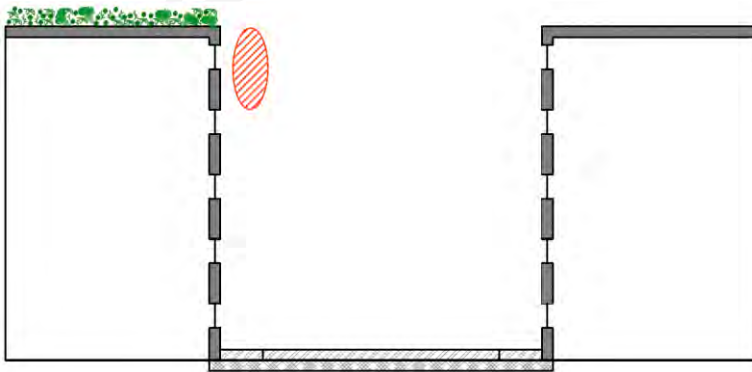


## Παράρτημα Ζ. Επιρροή φυτεμένων δωμαίων και όψεων στο μικροκλίμα

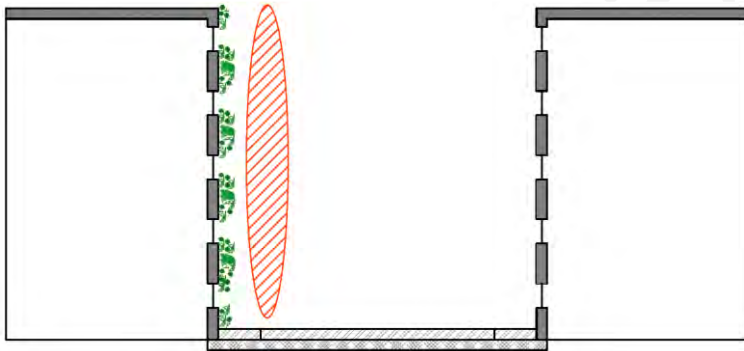
Στους παρακάτω πίνακες (πίνακες Ζ.1 – πίνακας Ζ.8) δίνεται η μέση μηνιαία μείωση της θερμοκρασίας του αέρα και η αύξηση της σχετικής υγρασίας για κάθε κλιματική ζώνη, τόσο για φύτευση με αυξημένες απαιτήσεις άρδευσης όσο και για ξερική φύτευση. Η περιοχή επιρροής των φυτεμένων δωμαίων φαίνεται στην Εικόνα Ζ. 1, ενώ των φυτεμένων τοίχων, στην Εικόνα Ζ. 2.

Οι μικροκλιματικές διαφορές που αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για τον τελευταίο όροφο για τα φυτεμένα δώματα, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθ' όλο το ύψος για τους φυτεμένους τοίχους. Αν μόνο ένας όροφος φυτευτεί, μπορεί επίσης να γίνει η θεώρηση της μείωσης της θερμοκρασίας που φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

Οι μειώσεις της θερμοκρασίας αέρα έχουν ενσωματωθεί στο λογισμικό ΤΕΕ-Κ.Εν.Α.Κ. v.2.



Εικόνα Ζ. 1: Σχηματική αναπαράσταση μοντέλου προσομοίωσης και περιοχή επιρροής φυτεμένου δώματος (τελευταίος όροφος κτιρίου)



Εικόνα Ζ. 2: Σχηματική αναπαράσταση μοντέλου προσομοίωσης και περιοχή επιρροής φυτεμένου τοίχου

**Επιρροή φυτεμένων δωματίων και όψεων στο μικροκλίμα**

Πίνακας Ζ. 1. Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [°C] για την Α κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
	BA	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4
	A	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	0,7	0,6	0,5
	NA	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9
	N	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2	1,4	1,3	1,2	1,0
	NΔ	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	0,8
	Δ	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6
	ΒΔ	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2	1,4	1,3	1,2	1,0
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
	BA	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1
	A	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,4	0,3	0,2
	NA	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
	N	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,2	1,1	0,9
	NΔ	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9	0,8
	Δ	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,4
	ΒΔ	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9	1,1	1,1	1,2	1,1	0,9
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

Πίνακας Ζ. 2. Αύξηση μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [%] για την Α κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	7,3	6,9	7,4	9,9	13,9	15,9	15,8	13,9	13,4	10,9	9,4	7,9
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	7,2	6,9	8,5	10,5	15,2	16,2	14,2	11,5	10,6	11,9	7,3	7,9
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	2,4	2,3	2,1	5,1	4,9	3,9	4,9	5,1	5,1	5,3	3,4	4,3
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	2,3	2,0	3,9	3,9	4,4	4,7	3,7	3,9	3,8	4,0	3,2	2,0
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

**Επιρροή φυτεμένων δωμαίων και όψεων στο μικροκλίμα**

Πίνακας Ζ. 3. Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [°C] για την Β κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3
	BA	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3
	A	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	0,9	0,9	0,7	0,6	0,4
	NA	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,4	1,3	1,2	1,1	0,9
	N	1,2	1,1	1,2	1,1	1,0	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4	1,3	1,1
	NΔ	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
	Δ	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,5
	BΔ	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3	0,3
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,5	1,6	1,5	1,3	1,0	0,8	0,6
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
	BA	0,0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0
	A	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	0,3
	NA	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9	0,7
	N	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,9	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9
	NΔ	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6
	Δ	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
	BΔ	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,3	0,4	0,6	0,8	1,1	1,1	1,2	1,3	1,0	0,6	0,4	0,2
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

Πίνακας Ζ. 4. Αύξηση μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [%] για την Β κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	6,3	5,8	5,4	7,9	11,9	12,9	12,9	12,8	12,4	10,9	9,3	8,8
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	6,3	8,9	9,5	10,3	11,1	10,9	10,5	10,7	10,9	8,9	9,3	9,9
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	3,4	2,2	3,1	3,1	3,9	3,3	3,9	4,0	4,1	3,3	3,4	3,3
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	4,6	3,0	3,7	3,8	3,6	3,7	3,8	3,6	3,9	3,0	3,1	3,0
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

## Επιρροή φυτεμένων δωμαίων και όψεων στο μικροκλίμα

Πίνακας Ζ. 5. Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [°C] για την Γ κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2
	BA	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2
	A	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3
	NA	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8
	N	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	0,9
	NΔ	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
	Δ	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5
	ΒΔ	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,3	0,2
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,4	0,5	0,8	0,9	1,4	1,5	1,6	1,3	1,1	1,0	0,6	0,4
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	B	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
	BA	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
	A	0,1	0,3	0,4	0,4	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,1
	NA	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7
	N	0,7	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	0,9	0,8
	NΔ	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7
	Δ	0,3	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3
	ΒΔ	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,1	0,2	0,4	0,6	1,1	1,2	1,3	1,1	0,7	0,7	0,2	0,0
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

Πίνακας Ζ. 6. Αύξηση μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [%] για την Γ κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	5,3	5,9	6,4	8,8	12,3	11,8	13,0	11,9	12,6	10,8	10,4	7,9
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	6,2	9,9	11,5	10,2	10,1	11,1	11,2	11,7	11,5	9,9	7,3	7,9
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	2,2	2,3	3,3	3,1	3,9	3,8	3,7	4,1	3,1	3,2	3,3	2,3
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	4,1	4,6	3,3	3,4	3,7	3,6	3,9	3,8	2,9	3,0	3,1	3,0
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

**Επιρροή φυτεμένων δωμαίων και όψεων στο μικροκλίμα**

Πίνακας Ζ. 7. Μείωση μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [°C] για την Δ κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ	
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>														
φυτεμένος τοίχος	B	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	
	BA	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	
	A	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	0,4	0,3	
	NA	0,7	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	
	N	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
	NΔ	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
	Δ	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,5	0,4
	ΒΔ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,3	1,3	1,0	0,7	0,5	0,4	
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>														
φυτεμένος τοίχος	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	
	BA	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	
	A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	
	NA	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	
	N	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1	1,0	0,9	0,9	0,7	
	NΔ	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	0,8	0,7	0,6	
	Δ	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	
	ΒΔ	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,1	
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	0,0	0,1	0,3	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	0,7	0,4	0,1	0,0	
<b>Σημείωση</b>														
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.														

Πίνακας Ζ. 8. Αύξηση μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας λόγω φυτεμένων επιφανειών [%] για την Δ κλιματική ζώνη

Τύπος στοιχείου	προσανατολισμός	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιούλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοέ	Δεκ
<b>φυτεμένες επιφάνειες με αρκετές αρδευτικές ανάγκες</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	6,4	4,9	6,4	9,9	13,0	12,9	12,9	12,9	13,4	10,9	11,3	6,8
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	6,3	7,9	11,5	10,5	10,2	10,1	10,1	10,5	10,5	10,9	8,3	7,9
<b>φυτεμένες επιφάνειες με ξερική φύτευση</b>													
φυτεμένος τοίχος	όλοι	2,4	2,3	3,1	4,1	4,9	4,9	4,9	5,0	5,1	4,3	4,4	3,3
φυτεμένο δώμα	οριζόντιος	4,5	4,0	3,9	3,9	3,8	3,7	3,7	3,9	3,9	4,0	4,1	4,0
<b>Σημείωση</b>													
Στα φυτεμένα δώματα η μείωση θερμοκρασίας αναφέρεται μόνο στον ανώτατο όροφο του κτιρίου.													

## Πίνακας ορολογίας

A	m <sup>2</sup>	ωφέλιμη επιφάνεια κτιρίου
A	m <sup>2</sup>	η εσωτερική επιφάνεια των δομικών στοιχείων
A	-	ο λόγος I <sub>h</sub> /ΣΔT <sub>h</sub> χαρακτηριστικό της περιοχής ανά προσανατολισμό
A <sub>g</sub>	m <sup>2</sup>	επιφάνεια διαφανών δομικών στοιχείων
A <sub>f</sub>	m <sup>2</sup>	ωφέλιμη επιφάνεια
A <sub>t</sub>	m <sup>2</sup>	εμβαδόν αερισμού
A <sub>w</sub>	m <sup>2</sup>	εμβαδόν παραθύρου
A <sub>t</sub>	m <sup>2</sup>	συνολική επιφάνεια αερισμού όλων των ανοιγόμενων παραθύρων (άθροισμα των επιφανειών που προκύπτουν για όλα τα ανοίγματα)
AZI	μοίρες	γωνία αζιμουθίου ηλίου
ALT	μοίρες	γωνία ύψους ηλίου
a <sub>inf</sub>	m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	συντελεστής αεροπερατότητας
B	-	ο λόγος (ΣΔT <sub>h</sub> -ΣΔT <sub>c</sub> )/I <sub>c</sub> χαρακτηριστικό της περιοχής ανά προσανατολισμό
C		Δείκτης συμπαγούς μορφής – ο λόγος της εκτεθειμένης επιφάνειας του κτιρίου προς τον ωφέλιμο όγκο (F/V)
C <sub>p</sub>	J/(kg K)	ειδική θερμότητα
C <sub>d</sub>	-	συντελεστής παροχής αερισμού
C <sub>m</sub>	kJ/K	η συνολική δρώσα θερμοχωρητικότητα
D <sub>max</sub>		μέγιστο βάθος εσωτερικού χώρου
DA	%	Daylight Autonomy
DF	%	Daylight Factor
d	m	πάχος στρώσης δομικού στοιχείου
F <sub>DZ</sub>	%	το ποσοστό του χώρου ΦΦ
F <sub>Ds</sub>	-	ο συντελεστής μείωσης κατανάλωσης λόγω αξιοποίησης ΦΦ
F <sub>sh,h</sub>	-	συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο θέρμανσης
F <sub>sh,c</sub>	-	συντελεστής σκιασμού της επιφάνειας για την περίοδο ψύξης
F <sub>sky</sub>	-	ο συντελεστής θέασης του ουρανού, ίσος με 1 για οριζόντια και ½ για κατακόρυφα δομικά στοιχεία
f	-	συντελεστής μείωσης

## Πίνακας ορολογίας

$f_{sh}$		ο λόγος του συντελεστή σκιασμού κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης προς τον συντελεστή σκιασμού κατά την διάρκεια της περιόδου ψύξης
$g$	$m/s^2$	επιτάχυνση της βαρύτητας ( $9,81 m/s^2$ )
$g_g$	-	συντελεστής ηλιακού κέρδους υαλοστασίου
$g_w$	-	συντελεστής ηλιακού κέρδους ανοίγματος (συνολικό)
$H$	$m$	ύψος κτιρίου
$H$	$W/K$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κτιρίου
$HSA$	μοίρες	οριζόντια γωνία σκίασης
$h_{EE}$	$m$	ύψος επιφάνειας εργασίας
$h_{\Pi}$	$m$	ύψος ποδιάς ανοίγματος
$I_c$	$kWh$	διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία κατά την περίοδο ψύξης
$I_h$	$kWh$	διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία κατά την περίοδο θέρμανσης
$k$	-	συντελεστής ανοίγματος αερισμού
$k_m$	$kJ/m^3K$	θερμοχωρητικότητα
$k'_m$	$kJ/m^2K$	η δρώσα θερμοχωρητικότητα ανά επιφάνεια δομικού στοιχείου
$L$	$m$	μήκος κτιρίου (μήκος πρόσοψης)
$L_s$	$m$	μήκος σκιάς
$LZ\Phi\Phi$	$m$	μήκος ζώνης φυσικού φωτισμού
$m$	%	ποσοστό ανοίγματος
$\eta_c$	%	συντελεστής αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο ψύξης
$\eta_h$	%	συντελεστής αξιοποίησης των ηλιακών κερδών από το κτιριακό κέλυφος για την περίοδο θέρμανσης
$\rho$	$W/m^2$	η εγκατεστημένη ισχύς φωτισμού
$Q$	$Wh/m^2$	ροή ενέργειας/θερμότητας
$q_{bal}$	$kWh/m^2$	ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο δομικού στοιχείου
$q_c$	$kWh/m^2$	τα κέρδη του δομικού στοιχείου για την περίοδο ψύξης
$q_h$	$kWh/m^2$	τα κέρδη του δομικού στοιχείου για την περίοδο θέρμανσης
$q_i$	$kWh/m^2$	η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό που οφείλεται στην ύπαρξη του διαφανούς δομικού στοιχείου
$q_{tr}$	$kWh/m^2$	ροή θερμότητας διαμέσου δομικού στοιχείου για περίοδο $t$
$q_{vb}$	$m^3/s$	ροή αέρα

**Πίνακας ορολογίας**

$q_v$	$m^3/s$	ροή αέρα
$R$		ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε έναν προσανατολισμό στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης
$R$	-	λόγος ηλιακών κερδών
$R_{sh}$		ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη σε μια επιφάνεια δομικού στοιχείου στο σύνολο της περιόδου θέρμανσης προς την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία της περιόδου ψύξης
$R_{se}$	$(W/m^2K)^{-1}$	η θερμική αντίσταση του στρώματος του αέρα από την εξωτερική πλευρά ενός δομικού στοιχείου
$R_{si}$	$(W/m^2K)^{-1}$	η θερμική αντίσταση του στρώματος του αέρα από την εσωτερική πλευρά ενός δομικού στοιχείου
$r$	-	ανακλαστικότητα
$T_{ex}$	$^{\circ}C$	μέση θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα για την περίοδο υπολογισμού $t$
$T_{in}$	$^{\circ}C$	μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα για την περίοδο υπολογισμού $t$
$t$	h	χρονική διάρκεια της περιόδου υπολογισμού
$t_d$	kh	οι ετήσιες ώρες λειτουργίας του χώρου κατά τις οποίες υπάρχει διαθέσιμος φυσικός φωτισμός
$t_{imelag}$	h	χρόνος υστέρησης
$U$	$W/m^2K$	ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου
$U_g$	$W/m^2K$	συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοστασίου
$U_m$	$W/m^2K$	μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας κτιρίου
$U_{w,ni}$	$W/m^2K$	ο συντελεστής θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου, λαμβάνοντας υπόψη τη χρήση νυχτερινής μόνωσης, δηλ. ρολό ή εξώφυλλο (αν υπάρχει)
$U_{w,tot}$	$W/m^2K$	ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του διαφανούς δομικού στοιχείου, με χρήση νυχτερινής μόνωσης (αν υπάρχει) και αεροδιαφυγή
$U_w$	$W/m^2K$	συντελεστής θερμοπερατότητας ανοίγματος (συνολικός)
$V$	$m^3$	ωφέλιμος όγκος κτιρίου
$VSA$	μοίρες	κατακόρυφη γωνία σκίασης
$W$	m	πλάτος κτιρίου
$W/L$		αναλογία του μήκους του κτιρίου στη διεύθυνση Βορρά-Νοτου ( $W$ ) προς το μήκος του κτιρίου στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης ( $L$ ),
$WFR$	-	λόγος της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς την επιφάνεια του δαπέδου (Window to Floor Ratio)



## Πίνακας ορολογίας

---

WWR	-	λόγος της επιφάνειας των ανοιγμάτων προς την επιφάνεια της τοιχοποιίας (Window to Wall Ratio)
Υ	W/(m <sup>2</sup> K)	θερμομειοδοχή (admittance)
α	-	απορροφητικότητα
ε	-	συντελεστής εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας
Δθ	°C	διαφορά μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας
θ	°C	μέση τιμή της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας (°C)
θ <sub>α</sub>	μοίρες	γωνία ανοίγματος
λ	W/mK	συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας δομικού στοιχείου
ΠΦΦ	%	Παράγοντας Φυσικού Φωτισμού
ρ	kg/m <sup>3</sup>	πυκνότητα
Σ(d/λ)	(W/m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>	το άθροισμα των θερμικών αντιστάσεων των n στρώσεων του δομικού στοιχείου, πάχους d[m] και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ [W/mK] η κάθε μία
ΣΔT <sub>c</sub>	kKh	σύνολο βαθμωρών ψύξης (θερμοκρασία βάσης 26°C)
ΣΔT <sub>h</sub>	kKh	σύνολο βαθμωρών θέρμανσης (θερμοκρασία βάσης 20°C)
τ		χρονική σταθερά κτιρίου - ο λόγος της ικανότητας του να αποθηκεύσει ενέργεια (δρώσα θερμοχωρητικότητα) προς την ικανότητα του να αποβάλλει/χάσει θερμότητα (συντελεστής θερμικών απωλειών)
τ <sub>w</sub>	-	συντελεστής φωτοδιαπερατότητας ανοίγματος (συνολικό)
τ <sub>g</sub>	-	συντελεστής φωτοδιαπερατότητας υαλοστασίου

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Afifi, M. (2010). Green Buildings' Rating Systems "Where do we Stand?". *ITU Symposium on ICTs and the Environment & Climate Change. 2-3.10.2010*. Cairo, Egypt. Retrieved from [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/oth/06/0F/T060F00601700205PPTE.ppt](https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/0F/T060F00601700205PPTE.ppt).
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I., & Angel, S. (1977). *A Pattern Language*. Mac Jacobson.
- Alexandri, E. (2001). *The effect of Green Roofs on the Urban Climate. Case Study: Athens*. Cambridge: MPhil Dissertation, Department of Architecture, University of Cambridge.
- Alexandri, E. (2005). *The Thermal Effect of Green Roofs on the Mitigation of the Heat Island Effect*. PhD Thesis, Architectural Science Group of the Welsh School of Architecture, Cardiff University.
- Alexandri, E. (2007). Green Roofs and Green Walls in the Context of Bioclimatic Design. *3rd International Renewable and Clean Energy Conference*. Yerevan.
- Alexandri, E., & Androutsopoulos, A. (2017). Energy Upgrade of Existing Dwellings in Greece; Embodied Energy Issues. *Procedia Environmental Sciences*, 38, pp. 196-203.
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature Decreases in an Urban Canyon due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates. *Building and Environment*, 43(4), pp. 480-493.
- Alexandri, E., & Jones, P. (2006). Sustainable Urban Future in Southern Europe - That about the Heat Island Effect. *ERSA2006, 8-9/2006*. Volos.
- Athienitis, A. K., Liu, C., Hawes, D., Banu, D., & Feldman, D. (1997). Investigation of the thermal performance of a passive solar test-room with wall latent heat storage. *Building and Environment*, 32(5), pp. 405-410.
- Auliciems, A., & Szokolay, S. V. (1997). *Thermal Comfort. PLEA Notes, Design Tools and Techniques*. Brisbane: Passive and Low Energy Architecture International in association with the Department of Architecture, University of Queensland.
- Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight design of buildings*. London: James & James Science Publishers Ltd.
- Berge, B. (2009). *The ecology of building materials*. . Routledge.
- Blanc, P. (2008). *The Vertical Garden*. New York: W.W. Norton & Company.
- Bonte, H. L. (2008). *Réaliser et Entretenir son mur vegetal*. Paris: Eyrolles.
- Brears, R. (2018). Blue-Green Infrastructure in Managing Urban Water Resources. In *Blue and Green Cities* (pp. 43-61). London: Palgrave Macmillan.
- Briga-Sá, A., Martins, A., Boaventura-Cunha, J., Lanzinha, J., & Paiva, A. (2014). Energy performance of Trombe walls: Adaptation of ISO 13790: 2008 (E) to the Portuguese reality. *Energy and Buildings*, 74, pp. 111-119.
- CEN/ISO/TR 52016-2. (2017). *Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1*.
- CIBSE. (2018). *Environmental design. CIBSE Guide A*. London: CIBSE Publications.

- Cortellesi, S. (2017). The Edible Façade: Design, constructive and technological issues of productive green facades. *Workshop "Building Greening - Chances and Challenges", 4-6 October 2017, Center for Innovation and Science for Building Greening (CIBG)*. Berlin: TU Berlin.
- CRRC - Cool Roof Rating Council. (2010). *Rated Products Directory*. Retrieved 08 25, 2010, from <http://www.coolroofs.org/products/results.php>.
- Daglis, I., Rapsomanikis, S., Kourtidis, K., Melas, D., Papayannis, A., Keramitsoglou, I., . . . Bianchi, R. (2010). Results of the DUE THERMOPOLIS campaign with regard to the urban heat island (UHI) effect in Athens. *ESA Living Planet Symposium. , Conference: European Space Agency Living Planet*. Bergen, Norway.
- DeKay, M., & Brown, G. Z. (2014). *Sun, wind, and light: architectural design strategies*. John Wiley & Sons.
- Del Barrio, E. (1998). Analysis of the Green Roofs Cooling Potential in Buildings. *Energy and Buildings*, 27(2), pp. 179-193.
- Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2000). *Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits*. PRECis Project, the European Commission, Directorate General XII, Joule III, Contract JOR3-CT97-0192. Pikermion: Centre for Renewable Energy Sources.
- EN ISO 13786. (n.d.).
- EN ISO 13786. (2017). ISO/CEN.
- EN ISO 6946. (2017). CEN, ISO.
- EU JRC. (2010). *ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance. ILCD International Reference Life Cycle Data System*. JRC European Commission Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability.
- Eumorfopoulou, E., & Aravantinos, D. (1998). The Contribution of a Planted Roof to the Thermal Protection of Buildings in Greece. *Energy and Buildings*, 27(1), pp. 29-36.
- European Environmental Agency. (2011). *Green infrastructure and territorial cohesion: The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Retrieved 10 21, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion>
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan.
- Gates, D. (1980). *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag.
- Giannaros, T., Melas, D., Daglis, I., Keramitsoglou, I., & Kourtidis, K. (2013). Numerical study of the urban heat island over Athens (Greece) with the WRF model. *Atmospheric Environment*(73), pp. 103-111.
- Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. New York: John Wiley and sons Inc.
- Grimmond, C., Cleugh, H., & Oke, T. (1991). An objective urban heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3), pp. 311-326.
- Herzog, B. (2008). *Le Puit Canadien*. Paris: Eyrolles.

- Hogan, K. et al. (2008). Retrieved 08 25, 2010, from <http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/CoolRoofsCompendium.pdf>.
- Hoppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(6), pp. 661-665. doi:10.1016/S0378-7788(02)00017-8
- ISO 14040. (2006). *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Geneva: International Organisation for Standardisation.
- ISO 52000-1. (2017). *Energy performance of buildings - Overarching EPB assessment - Part 1 General framework and procedures*. Geneva: International Organisation for Standardisation.
- Jones, D. (2010). *Domestic External Walls, Sustainable Construction - Walls and Materials*. Presentation within the module: Construction Technology 1, Centre for the Built Environment, University of Glyndŵr.
- Kerschberger, A., & Binder, M. (2006). *Transparent Wärmedämmung im Vergleich*. RK-Stuttgart, Fachartikel TWD.
- Lechner, N. (2014). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. John Wiley & Sons.
- Leonard, A. (2010). *The story of stuff: How our obsession with stuff is trashing the planet, our communities, and our health-and a vision for change*. . Simon and Schuster.
- Liebard, A. (1989). *Guide de l'architecture bioclimatique - Construire en climats chauds*. Paris.
- Lucas, R. (2016). *Research Methods for Architecture*. London: Lawrence king Publishing.
- Norton, B., & Probert, S. D. (1984). Solar-Energy Stimulated, Open-Looped Thermosyphonic Air Heaters. *Applied Energy*, 17, pp. 217-234.
- Norton, B., Bosomworth, K., Coots, A., Williams, N., Livesley, S., Trundle, A., . . . McEvoy, D. (2014). *Planning for a cooler future: Green infrastructure to reduce urban heat*. VCCCAR.
- Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J., & De Magalhaes, A. G. (2014). *Eco-efficient construction and building materials: life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Papadopoulos, A. M., Chrysomallidou, N., & Papadopoulos, M. A. (1992). Thermal Comfort in Passive Solar Residences in the Area of Athens. *3rd International Conference Energy and Buildings in Mediterranean Area*. Thessaloniki.
- Peippo, K., Kauranen, P., & Lund, P. D. (1991). A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating. *Energy and buildings*, 17(4), pp. 259-270.
- Platzer, W. J., & Goetzberger, A. (1996). Recent Advances in Transparent Insulation Technology. *EUROSUN*, pp. 5-10.
- Reynolds, M. (1991). *Earthship – System and Components. Volume II*. Earthship Biotecture.
- Reynolds, M. (1993). *Earthship – Evolution Beyond Economics. Volume III*. Earthship Biotecture.
- Roberts, S., & Guariento, N. (2009). *Building Integrated Photovoltaics / A Handbook*. Basel: Birkhauser.
- Ruiz-Pardo, A., Domínguez, S., & Fernández, J. (2010). Revision of the Trombe wall calculation method proposed by UNE-EN ISO 13790. *Energy and Buildings*, 42(6), pp. 763-773.
- Sadineni, S. B., Madala, S., & Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(8), pp. 3617-3631.

- Santamouris, M. (Ed.). (2001). *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. London: James & James.
- Schreck, H., Hillmann, G., & Nagel, J. (1989). *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings Design Context*. International Energy Agency: Solar Heating and Cooling Program, Task VIII. Berlin: "Institut für Bau-, Umwelt- und Solarforschung GmbH".
- Scudo, G., Dessi, V., & Rogora, A. (2004). Evaluation of Radiant Conditions in Urban Spaces. In M. Nikolopoulou (Ed.), *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach*. Pikermion: Centre for Renewable Energy Sources.
- Sun, Y., Wilson, R., & Wu, Y. (2018). A Review of Transparent Insulation Material (TIM) for building energy saving and daylight comfort. *Applied Energy*, 226, pp. 713-729.
- Szokolay, S. V. (2007). *Solar Geometry; PLEA NOTES, Design Tools and Techniques, Note 1 (first ed. 1996)*. Brisbane: Passive and Low Energy Architecture International, Department of Architecture, The University of Queensland.
- Wong, L., & Eames, P. (2015). A method for calculating the solar transmittance, absorptance and reflectance of a transparent insulation system. *Solar Energy*, 111, pp. 418-425.
- Xudong, Z., & Xiaoli, M. (2019). *Advanced Energy Efficiency Technologies for Solar Heat-ing, Cooling and Power Generation*. Switzerland: Springer.
- Yannas, S., Erell, E., & Molina, J. (2006). *Roof Cooling Techniques, A Design Handbook*. London: Earthscan.
- Αλεξανδρή, Ε. (2009). *Προτάσεις για την Ενεργειακή Αναβάθμιση Κτιρίων του ΟΕΚ*. Αθήνα: ΟΕΚ.
- Βλαστός, Θ., & Μπιρμπίλη, Χ. (2001). *Φτιάχνοντας πόλεις για ποδήλατο. Στοιχεία αισθητικής και κατασκευής*. Αθήνα: Αναπτυξιακή Εταιρία Δήμου Αθηναίων.
- Ζερεφός, Χ., & συνεργάτες. (2011). *Το Κλίμα της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδος: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Στο: Χ. Ζερεφός et al (2011) Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα*. Αθήνα: Τράπεζα της Ελλάδος.
- ΚΕΝΑΚ. (2017). *Απόφαση ΔΕΠΕΑ/οικ.178581 Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων. ΦΕΚ 2367/Β/12.07.2017*. Αθήνα: Εθνικό Τυπογραφείο.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ. (2006). *Υδροπονικές Εγκαταστάσεις*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1. (2021). Αθήνα: Τ.Ε.Ε.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2. (2021). Αθήνα: Τ.Ε.Ε.
- Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3. (2010). Αθήνα: Τ.Ε.Ε.
- ΥΠΕΧΩΔΕ. (2010). *Προσωρινές Εθνικές Προδιαγραφές – ΠΕΤΕΠ 03-11-20-00 Εφαρμογές ψυ-χρών υλικών (cool materials)*. Έκδοση 3, Αθήνα.

