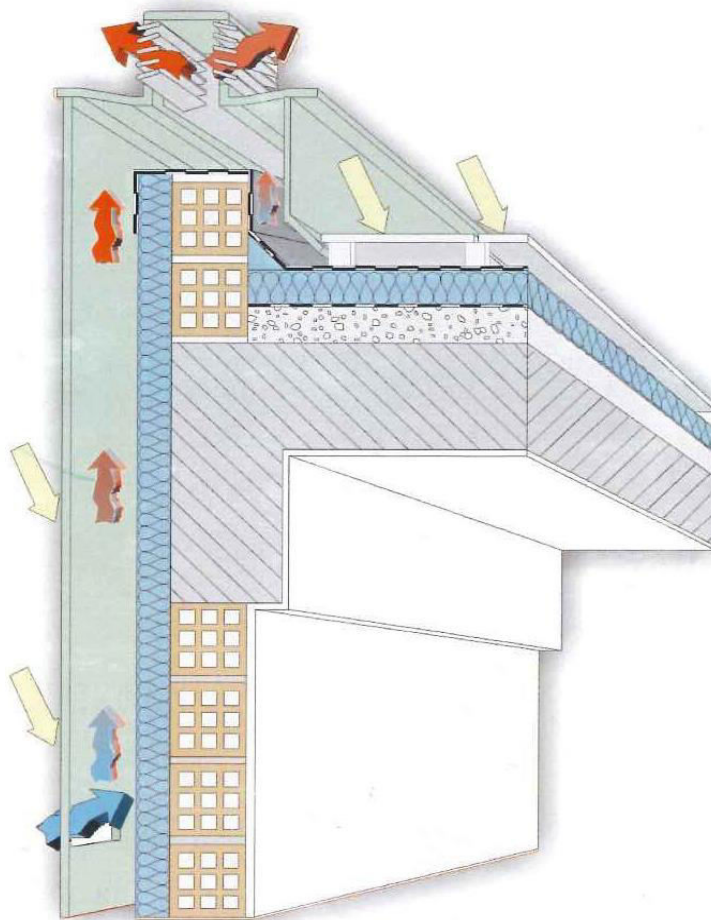




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θερμική συμπεριφορά Δικέλυφων Αδιαφανών Όψεων.
Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου για τη διερεύνηση και τη
βελτιστοποίηση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς.



Λυσσίμαχος Σταματίου

Επιβλέπων καθηγητής:
Θεόδωρος Γ. Θεοδοσίου, Λέκτορας

Κοζάνη
Οκτώβριος 2005

Πρόλογος

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον κ. Θεόδωρο Θεοδοσίου, επιβλέποντα καθηγητή αυτής της διπλωματικής εργασίας καθώς η βοήθειά του ήταν καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωσή της εντός των χρονικών ορίων που είχαν τεθεί εξ' αρχής. Οι γνώσεις του γύρω από το θέμα και η πολύτιμη καθοδήγησή του οποιαδήποτε στιγμή την χρειάστηκα, δεν με αφήνουν παραπονεμένο και νομίζω δεν θα άφηναν και κανέναν άλλον που θα βρισκόταν στην θέση μου. Ακόμα τον ευχαριστώ για την παραχώρηση της διδακτορικής του διατριβής, που αποτέλεσε χρήσιμο οδηγό και μου έδωσε ιδέες για αυτήν την εργασία.

Η παρούσα διπλωματική τελείωσε χωρίς να κουράσει καθόλου. Και δεν εννοώ σωματικά ή πνευματικά, γιατί κατ' αυτές τις έννοιες λογικό είναι να κουραστεί ο οποιοσδήποτε. Αυτό που εννοώ είναι ότι λόγω του ενδιαφέροντος του θέματος, της πρωτοτυπίας του, και της όρεξής μου, δεν ένοιωσα καμιά στιγμή ότι αυτό που κάνω και πρέπει να ολοκληρώσω με κουράζει.

Τελειώνοντας την διπλωματική μου εργασία, ολοκληρώνεται ο κύκλος των σπουδών μου στο τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων. Οι εντυπώσεις μου είναι οι καλύτερες δυνατές για το επίπεδο γνώσεων που αποκόμισα, αλλά και για τον τρόπο σκέψης που απέκτησα και ανυπομονώ να τις εφαρμόσω στην πράξη.

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:...1605...
Ημερομηνία: ...19/4/06...

Περίληψη

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις και την ενεργειακή συμπεριφορά τους. Μέσα από προσομοιωτικούς ελέγχους στο πρόγραμμα TRNSYS 16, επιχειρείται η επαλήθευση όσων γνωρισμάτων τους αποδίδονται μέχρι σήμερα εμπειρικά, καθώς δεν υπάρχουν μοντέλα του φαινομένου της φυσικής άνωσης για τις δικέλυφες όψεις.

Η δομή της εργασίας μέσω της οποίας εκπληρώνονται οι στόχοι της παρουσιάζεται στην συνέχεια.

Το πρώτο κομμάτι της εργασίας αυτής καταπιάνεται με το σύγχρονο ενεργειακό πρόβλημα στον κτιριακό τομέα και την λύση που προσφέρουν σ' αυτό τα βιοκλιματικά κτίρια.

Ακολουθεί η περιγραφή των δικέλυφων αδιαφανών όψων, των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών τους και στην συνέχεια παρουσιάζονται πραγματικές περιπτώσεις κτιρίων με δικέλυφες αδιαφανείς κατασκευές.

Έπειτα από αυτά, παρουσιάζεται το προσομοιωτικό εργαλείο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, το οποίο είναι το TRNSYS 16. Ακολουθεί η ανάλυση και η παρουσίαση του φαινομένου της φυσικής άνωσης μαθηματικά. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο που κατασκευάστηκε και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από το προσομοιωτικό εργαλείο.

Συνεχίζοντας κανείς την ανάγνωση, θα συναντήσει την παραμετρική διερεύνηση των δικέλυφων όψεων βάση ορισμένων παραμέτρων και αξιολογούνται τα αποτελέσματα αυτής.

Ακολουθεί η εισαγωγή της κατασκευαστικής διάταξης των δικέλυφων όψεων σε κάποιο κτίριο και συγκρίνεται η ενεργειακή συμπεριφορά τους με ένα συμβατικό.

Στο τέλος της παρούσας εργασίας συγκεντρώνονται όλα τα συμπεράσματα από τα προηγούμενα κεφάλαια, γίνεται μια συνολική αξιολόγηση και γίνονται διάφορες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
Πρόλογος	i
Περίληψη	ii
Περιεχόμενα.....	iii
Συμβολισμοί μεγεθών.....	v
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Κτίριο & ενέργεια.....	1
1.2. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων.....	2
1.3. Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	3
1.4. Παράμετροι επιτυχούς απόδοσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	5
1.4.1. Σωστός σχεδιασμός και ορθολογική επιλογή τεχνικών.....	5
1.4.2. Ορθή υλοποίηση των συστημάτων κατά την κατασκευή.....	6
1.4.3. Σωστή χρήση και λειτουργία του κτιρίου και των συστημάτων.....	7
1.4.4. Επαρκής συντήρηση.....	8
2. Οι δικέλυφες αδιαφανείς όψεις ως τμήμα του κτιριακού κελύφους.....	9
2.1. Γενικά χαρακτηριστικά εξωτερικών όψεων.....	9
2.2. Ιστορικά στοιχεία.....	10
2.3. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά δικέλυφης τοιχοποιίας.....	12
2.3.1. Ανάλυση των στρώσεων.....	13
2.3.1.1. Το εσωτερικό κέλυφος.....	13
2.3.1.2. Το εξωτερικό κέλυφος.....	15
2.3.1.3. Η θερμομονωτική στρώση.....	16
2.3.1.4. Το διάκενο αερισμού.....	17
2.3.2. Η σύνδεση των κελυφών.....	17
2.3.3. Προστασία του αεριζόμενου διακένου.....	19
2.4. Κτίρια με δικέλυφη όψη.....	22
3. Ανάπτυξη προσομοιωτικού μοντέλου περιγραφής του φυσικού αερισμού.....	26
3.1. Γενικά.....	26
3.2. Περί προσομοιωτικών εργαλείων.....	26
3.2.1. Δυναμικές προσομοιωτικές μέθοδοι επίλυσης ενεργειακών προβλημάτων.....	26
3.2.2. Τεχνικές ενεργειακής προσομοίωσης.....	27
3.2.2.1. Μέθοδοι σταθερών συνθηκών (Steady state).....	28
3.2.2.2. Μοντέλα λειτουργικής απόκρισης (Response function).....	29
3.2.2.3. Αριθμητικά μοντέλα (Numerical).....	29
3.2.3. Έννοιες που αφορούν τα μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης.....	30
3.3. Το TRNSYS.....	30
3.3.1. Βασική ορολογία του TRNSYS.....	31
3.3.2. Το πακέτο του TRNSYS.....	32
3.3.3. Το TRNSYS Simulation Studio.....	32
3.3.4. Η μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS.....	34
3.3.5. Το γραφικό περιβάλλον του κτιρίου.....	35
3.3.6. Οι εφαρμογές TRNEdit και TRNSED.....	35
3.4. Η αδυναμία του TRNSYS να προσομοιώσει τις δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις.....	36
3.5. Μαθηματικό μοντέλο περιγραφής του φυσικού αερισμού.....	36
3.5.1. Η εξίσωση Bernoulli.....	39
3.5.2. Δημιουργία πίδακα στην οπή εισόδου.....	41
3.5.3. Ρυθμός ροής αέρα.....	42
3.5.4. Ουδέτερο επίπεδο πίεσης.....	43
3.6. Επιλογή εμπειρικού τύπου.....	44
3.7. Μεταφορά του μοντέλου φυσικού αερισμού σε γλώσσα προγραμματισμού & σύζευξή του με το προσομοιωτικό πρόγραμμα TRNSYS.....	45

3.7.1. Δεδομένα εισόδου.....	45
3.7.2. Δεδομένα εξόδου.....	45
3.7.3. Παράμετροι.....	46
4. Παραμετρική ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς των δικέλυφων αδιαφανών όψεων.....	47
4.1. Γενικά.....	47
4.2. Επιλογή των παραμέτρων της ενεργειακής συμπεριφοράς της δικέλυφης αδιαφανούς όψης.....	47
4.2.1. Ύψος κτιρίου.....	50
4.2.2. Προσανατολισμός.....	56
4.2.3. Πλάτος διακένου.....	64
4.2.4. Υλικό του εξωτερικού κελύφους.....	70
4.2.5. Θέση θερμομονωτικού υλικού.....	76
4.3. Συμπεράσματα παραμετρικής ανάλυσης.....	84
5. Εφαρμογή σε κτίριο.....	86
5.1. Γενικά.....	86
5.2. Το κτίριο και τα χαρακτηριστικά του.....	86
5.2.1. Περιβάλλον χώρος.....	86
5.2.2. Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίων.....	87
5.2.3. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	89
5.2.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά.....	90
5.2.5. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του διακένου και του εξωτερικού κελύφους.....	91
5.3. Προσομοίωση του κτιρίου.....	92
5.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	93
5.4.1. Θερμικό και ψυκτικό φορτίο.....	93
5.4.2. Συνθήκες θερμικής άνεσης.....	95
6. Σύνοψη – Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	99
6.1. Γενικά.....	99
6.2. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.....	99
6.3. Πλεονεκτήματα.....	100
6.4. Μειονεκτήματα.....	101
6.5. Αδυναμίες.....	101
6.5.1. Αδυναμίες μοντέλου.....	101
6.5.2. Αδυναμίες του TRNSYS.....	102
6.6. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	103
Βιβλιογραφία.....	105
Παράρτημα.....	108

Συμβολισμοί μεγεθών

Σύμβολο	Μέγεθος	Μονάδα
A	εμβαδόν	m^2
$A_{effective}$	αποδοτική επιφάνεια της οπής εισόδου	m^2
$A_{geometrical}$	γεωμετρική – πραγματική επιφάνεια της οπής εισόδου	m^2
ach	εναλλαγές αέρα ανά ώρα	ach
C_1	συντελεστής πτώσης πίεσης στο άνοιγμα (εμπειρικός)	8 (const)
C_2	συντελεστής πτώσης πίεσης στο διάκενο (εμπειρικός)	2 (const)
C_d	συντελεστής εκτόνωσης	-
g	επιτάχυνση της βαρύτητας	m/s^2
H	ύψος του διακένου	m
N_1	συντελεστής κινητικής ενέργειας ανάλογα με την κατανομή της ταχύτητας στην οπή εισόδου	-
P	πίεση	Pa
PMV	μέση τιμή των ψήφων	-
PPD	προβλεπόμενο ποσοστό δυσφορούντων	-
q	ανοιγμένη στην μονάδα επιφανείας ροή ενέργειας	kWh/m^2
T	θερμοκρασία	$^{\circ}C$
u	ταχύτητα	m/s
u_{value}	συντελεστή θερμοπερατότητας	$W/m^2 \cdot K$
\bar{v}	μέση ταχύτητα του αέρα στο διάκενο	m/s
w	πλάτος του ανοίγματος	m
z	ύψος	m
Δp	διαφορά υδροστατικής πίεσης	Pa
ΔT	θερμοκρασιακή διαφορά	$^{\circ}C$
ε	συντελεστής συστολής του πίδακα	-
ζ	συντελεστής πτώσης πίεσης λόγω τριβής	-
ξ	συντελεστής τοπικής πτώσης πίεσης για την οπή εισόδου	-
ρ	πυκνότητα	kg/m^3
φ	συντελεστής της ταχύτητας	-

1. Εισαγωγή

1.1. Κτίριο & ενέργεια

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, των περιβαλλοντικών πηγών και των φυσικών φαινομένων είναι μείζονος σημασίας για τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων. Η θερμική λειτουργία ενός κτιρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία:

- Εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, τη σκίαση από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατοικία, γραφεία, νοσοκομεία κτλ.).
- Βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και κατ' επέκταση των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από τη λειτουργία του κτιρίου.

Ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων αν και είναι ενσωματωμένος στην αρχιτεκτονική που χαρακτηρίζει κάθε τόπο σε ολόκληρη τη γη, θεωρείται από πολλούς ως μία νέα «θεώρηση» στον κτιριακό τομέα και σχετίζεται περισσότερο με την οικολογία, παρά με την ενέργεια και την εξοικονόμηση που δύναται να επιφέρει. Παρά ταύτα, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει αποτελέσει παγκοσμίως κατά τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων, ενώ στα περισσότερα κράτη αποτελεί πλέον βασικό κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων το οποίο λαμβάνεται υπόψη από όλους τους μελετητές αρχιτέκτονες και μηχανικούς. Και αυτό, λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ενέργειας για τη θέρμανση, το δροσισμό και το φωτισμό των κτιρίων που προκύπτουν από την πρακτική του ενεργειακού σχεδιασμού και τα πολλαπλά οφέλη που συνεπάγεται: ενεργειακά (εξοικονόμηση ενέργειας), οικονομικά (μείωση κόστους Η/Μ εγκαταστάσεων), περιβαλλοντικά (μείωση ρύπων), θερμικής και οπτικής άνεσης. Το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού στα κτίρια αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Εξοικονόμηση ενέργειας από τη σημαντική μείωση απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.
- Παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου.
- Δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των απαιτήσεων όσον αφορά στη ρύθμιση θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι).
- Διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά το χειμώνα και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα τη μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά τη χρήση του κτιρίου.[7]

1.2. Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων ή ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, ή η ορθολογική χρήση της ενέργειας, έννοιες σχεδόν ταυτόσημες, έχουν ένα και μοναδικό στόχο. Να διασφαλίσουν αποδεκτές εσωκλιματικές συνθήκες με τη σωστή θερμική συμπεριφορά του κτιρίου -χειμώνα, καλοκαίρι- και συνεπώς να περιορίσουν την κατανάλωση ενέργειας, με όλα τα οφέλη που αυτό συνεπάγεται, οικονομικά, περιβαλλοντικά με τη μείωση των εκπομπών CO₂, ποιότητα ζωής κτλ. Ο παραπάνω στόχος στην περίπτωση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής επιτυγχάνεται με καθαρά σχεδιαστικούς χειρισμούς, ή με διάφορες τεχνικές στην κατασκευή του κτιρίου, περιορίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο την εξάρτηση από το μηχανολογικό εξοπλισμό για τη θέρμανση ή ψύξη των κτιρίων. Για να επιτύχει κανείς τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας τη χειμερινή περίοδο, είναι αυτονόητο ότι θα πρέπει από τη μία πλευρά, να περιορίσει τις θερμικές απώλειες του κτιρίου, (απώλειες με αγωγιμότητα και απώλειες αερισμού) και από την άλλη πλευρά να μεγιστοποιήσει κυρίως τα θερμικά ηλιακά κέρδη. Τη θερινή φυσικά περίοδο θα πρέπει να επιδιώκεται ο φυσικός δροσισμός του κτιρίου με την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών και τη θερμική αποφόρτιση του κτιρίου

μέσω του αερισμού και άλλων σχετικών μέτρων. Οι παραπάνω δύο ομάδες θερμικών ροών από και προς το κτίριο, (θερμικές απώλειες - θερμικά κέρδη) συνθέτουν στην πραγματικότητα και το θερμικό τους ισοζύγιο. Στην περίπτωση που οι θερμικές πρόσοδοι κατά τη χειμερινή περίοδο δεν επαρκούν για να καλύψουν τις θερμικές απώλειες και αυτό συμβαίνει σε πολύ μεγάλο βαθμό στα μη θερμομονωμένα συμβατικά κυρίως κτίρια, προσάγεται στους εσωτερικούς χώρους θερμότητα μέσω της εγκατάστασης θέρμανσης, έτσι ώστε να καλυφθεί η διαφορά στο ισοζύγιο. Συνεπώς το ζητούμενο σε αυτή την περίπτωση είναι να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί ένα κτίριο στο οποίο η παραπάνω διαφορά να είναι κατά το δυνατό μικρότερη.

Κατά το στάδιο λοιπόν του σχεδιασμού και της κατασκευής θα έπρεπε να προβληματίσουν το μελετητή και να λυθούν ζητήματα όπως η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο, ο προσανατολισμός, η σκίαση, η λειτουργική οργάνωση των χώρων, η μορφή του κτιρίου, η κατασκευή των εξωτερικών δομικών στοιχείων με τις κατάλληλες μονώσεις, η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων, η εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων για τη θέρμανση, το δροσίσιμο και το φωτισμό των χώρων με φυσικό τρόπο κ.ά. [8]

1.3. Παθητικά ηλιακά συστήματα

Η αξιοποίηση των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων προϋποθέτει επαρκή επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και μάλιστα, η απόδοσή τους είναι ανάλογη της συνολικής ετήσιας ηλιακής προσόδου σε ένα τόπο. Παρ' όλα αυτά, η διάδοση τέτοιων συστημάτων (αλλά και γενικότερα η εφαρμογή των αρχών του ενεργειακού σχεδιασμού) είναι πολύ διαδεδομένη κυρίως στις χώρες του ευρωπαϊκού βορρά και πολύ λιγότερο στο νότο με εξαίρεση την Ισπανία. Στις βόρειες χώρες, παρόλη τη μειωμένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη συντομότερη ηλιοφάνεια, η ηλιακή ακτινοβολία και γενικότερα οι ήπιες μορφές ενέργειας αξιοποιούνται στη σύγχρονη δόμηση και μάλιστα, αυτό αποτελεί και νομοθετική απαίτηση. Ο αντίστοιχος αριθμός κτιρίων στα οποία έχουν εφαρμοστεί τέτοια μέτρα είναι εξαιρετικά μικρός σε σχέση με το υφιστάμενο κτιριακό δυναμικό και αριθμεί μόλις ορισμένες δεκάδες κτιρίων. Η χρήση παθητικών συστημάτων στα βιοκλιματικά κτίρια στην Ελλάδα αξιοποιείται κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο

για εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ενώ για τη θερινή περίοδο κυρίως για εξασφάλιση θερμικής άνεσης (αφού αφορά κατά πλειοψηφία σε μη-κλιματιζόμενα κτίρια) μέσω απλών μεθόδων και τεχνικών φυσικού δροσισμού. Από τα συστήματα και τις τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί σε βιοκλιματικά κτίρια για θέρμανση, την κύρια θέση κατέχουν απλές τεχνικές για μεγιστοποίηση των νότιων ανοιγμάτων (παθητικά συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους για θέρμανση), που εμφανίζονται στο 81% των κτιρίων και χρήση ηλιακών χώρων έμμεσου κέρδους (κυρίως θερμοκήπια, που εμφανίζονται στο 42% των κτιρίων, καθώς και ηλιακοί τοίχοι στο 27% των κτιρίων που καταγράφηκαν). Η αυξημένη θερμομόνωση, η διαφοροποιημένη μη-συμβατική κατασκευή των εξωτερικών τοιχοποιιών, τα φυτεμένα δώματα και η ελαχιστοποίηση των βορινών ανοιγμάτων αφορούν τις τεχνικές εκείνες που εφαρμόζονται επί το πλείστον για επιπρόσθετη προστασία το χειμώνα. Αντίστοιχα, για τη θερινή περίοδο, η σκίαση, η ελαχιστοποίηση των δυτικών ανοιγμάτων και ο διαμπερής αερισμός αποτελούν κύριες τεχνικές φυσικού δροσισμού που εμφανίζονται σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις που καταγράφηκαν. Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με εξωτερικά ή εσωτερικά συστήματα σκίασης. Στα βιοκλιματικά κτίρια, ειδικά συστήματα ηλιοπροστασίας αναφέρονται στο 30% των περιπτώσεων και φύτευση του περιβάλλοντος χώρου στο 10% των περιπτώσεων. Άλλα παθητικά συστήματα που έχουν εφαρμοστεί είναι τα ηλιακά αίθρια, φεγγίτες οροφής για βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, καμινάδες αερισμού, και σωλήνες εδάφους.[7]

Τέλος ένα ακόμα παθητικό ηλιακό σύστημα αποφυγής της υπερθέρμανσης την θερινή περίοδο και το οποίο θα εξεταστεί σ' αυτήν την εργασία αποτελούν οι δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις. Αυτές αποτελούνται ουσιαστικά δύο εξωτερικά κελύφη που απέχουν μεταξύ τους κάποια απόσταση και επιτρέπουν σε ένα στρώμα αέρα να κινείται εντός του σχηματιζόμενου διακένου, εκτονώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα προς αυτό, αλλά και την υγρασία που έχει συγκρατήσει το θερμομονωτικό υλικό. Εντάσσονται στα παθητικά ηλιακά συστήματα γιατί προλαμβάνουν την υπερθέρμανση των δομικών στοιχείων και κατά συνέπεια του εσωτερικού χώρου, χωρίς την χρήση οποιουδήποτε ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, αξιοποιώντας το φαινόμενο της φυσικής άνωσης λόγω των θερμοκρασιακών συνθηκών που επικρατούν.

1.4. Παράμετροι επιτυχούς απόδοσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού

Τέσσερις είναι οι παράμετροι που απαιτούνται για την επιτυχή απόδοση του βιοκλιματικού σχεδιασμού στα κτίρια:

- Σωστός σχεδιασμός και ορθολογική επιλογή τεχνικών
- Ορθή υλοποίηση των συστημάτων κατά την κατασκευή
- Σωστή χρήση και λειτουργία του κτιρίου και των συστημάτων, και
- Επαρκής συντήρηση.

Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικότερα αυτές οι παράμετροι

1.4.1. Σωστός σχεδιασμός και ορθολογική επιλογή τεχνικών

Γενικότερα, προτείνεται η εφαρμογή βασικών αρχών του βιοκλιματικού σχεδιασμού με εξασφάλιση βέλτιστου ηλιασμού του κτιρίου για θέρμανση το χειμώνα και επαρκούς αερισμού και σκιασμού για δροσισμό το καλοκαίρι, καθώς και η επιλογή απλών τεχνικών προστασίας και συστημάτων αξιοποίησης των περιβαλλοντικών πηγών. Όταν τα νότια ανοίγματα (άμεσο κέρδος) είναι μεγάλης επιφάνειας και δε συνοδεύονται από επαρκή νυχτερινή μόνωση, μπορεί να αποδώσουν αρνητικά το χειμώνα καθώς επιτρέπουν αυξημένες θερμικές απώλειες κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το ίδιο ισχύει και για θερμοκήπια τα οποία είναι ενσωματωμένα στο κτίριο και ουσιαστικά λειτουργούν ως συστήματα άμεσου κέρδους. Βασικά οφέλη παρέχονται και από την προστασία του κελύφους (μείωση των απωλειών θερμότητας το χειμώνα και των ηλιακών κερδών το καλοκαίρι), από την επιλογή κατάλληλων υλικών κατασκευής του κτιρίου για βελτιωμένη θερμοχωρητικότητα και θερμομόνωση, αλλά και τη χρήση μη-συμβατικών τεχνικών δόμησης (αεριζόμενα δομικά στοιχεία, ακτινοβολητές, φράγματα ακτινοβολίας, επιπρόσθετη μόνωση κ.ά.). Η χρήση ηλιακών τοίχων αποδίδει καλύτερα ως προς τον παράγοντα θερμικής άνεσης, ενώ στην περίπτωση των μεγαλύτερων χώρων των θερμοκηπίων και των ηλιακών αιθρίων, τα έμμεσα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν μπορούν να καλύψουν θερμικές απαιτήσεις των διπλανών χώρων, αλλά και να συμβάλλουν στη λειτουργία των επικουρικών συστημάτων (με προθέρμανση αέρα ή και ανάκτηση θερμότητας).

Ο φυσικός δροσισμός με διαμπερή αερισμό και άλλες τεχνικές ενδείκνυται για όλες τις κλιματικές περιοχές της Ελλάδας, συμβάλλοντας σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη έως και 100% στις βόρειες κλιματικές περιοχές (για κτίρια κατοικίας). Απαραίτητη προϋπόθεση για την υψηλή απόδοση των τεχνικών φυσικού δροσισμού αποτελεί η επαρκής ηλιοπροστασία του κτιρίου. Τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης και ακτινοβολίας δεν αποδίδουν σε περιοχές υψηλών ποσοστών σχετικής υγρασίας, ενώ αντίθετα, αποφέρουν σημαντικά κέρδη στις ζεστές και ξηρές περιοχές και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μικρών κτιρίων κατοικίας ή μεγάλων βιομηχανικών χώρων. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη είναι το κόστος του συστήματος. Τέλος, ο σωστός σχεδιασμός φυτεμένων δωματίων μπορεί να συμβάλει σε συνδυασμένα οφέλη θέρμανσης και ψύξης.

Το όφελος που προκύπτει από παθητικές τεχνικές και συστήματα είναι δυνατό να παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις, ανάλογα με τον τύπο, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου, την κλιματική περιοχή, το σύστημα δόμησης της περιοχής εφαρμογής κ.ά. Έτσι, είναι απαραίτητο ο μελετητής να επιλέγει συστήματα και τεχνικές έπειτα από τεχνικοοικονομική ανάλυση του κόστους/οφέλους, ώστε το κόστος της εφαρμογής να μην υπερβαίνει τις δυνατότητες οφέλους και ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος να μην είναι αποτρεπτικός. [7]

1.4.2. Ορθή υλοποίηση των συστημάτων κατά την κατασκευή

Η υλοποίηση της μελέτης ενός κτιρίου με σωστή κατασκευή και εφαρμογή των τεχνικών δόμησης και των παθητικών συστημάτων αποτελεί τη δεύτερη παράμετρο απόδοσης του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Στις περισσότερες των περιπτώσεων βιοκλιματικών κτιρίων στην Ελλάδα, η απόκλιση της τελικής κατασκευής από την αρχική μελέτη του κτιρίου αποτελεί το βασικό παράγοντα στον οποίο οφείλεται η μειωμένη απόδοση των παθητικών ηλιακών συστημάτων. Η απόκλιση αυτή, η οποία οφείλεται είτε σε κατασκευαστικά λάθη και παραλείψεις, είτε σε αποφάσεις των χρηστών, μπορεί να αντιστρέψει τη συμπεριφορά των συστημάτων και ολόκληρου του κτιρίου, με αποτέλεσμα να σημειώνονται δυσμενέστερες συνθήκες (αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση και μειωμέ-

νη θερμική άνεση) από ότι σε ένα συμβατικό κτίριο χωρίς παθητικά συστήματα. [7].

1.4.3. Σωστή χρήση και λειτουργία του κτιρίου και των συστημάτων

Η συμβολή των χρηστών των βιοκλιματικών κτιρίων αποτελεί βασικό μη-τεχνικό παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται σε πολύ μεγάλο ποσοστό η απόδοση των παθητικών ηλιακών συστημάτων και του ίδιου του κελύφους του κτιρίου. Είναι προφανές ότι ένα σύστημα άμεσου κέρδους (παράθυρο) δεν πρόκειται ποτέ να αποδώσει εάν παραμένουν κλειστά κατά τη διάρκεια της ημέρας τα στόρια, ή παράλληλα, θα έχει μειωμένη απόδοση εάν παραμένουν κλειστές οι κουρτίνες. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της νύχτας επιβάλλεται η προστασία των συστημάτων ηλιακού κέρδους με εξωτερικά ρολά (παντζούρια) για μείωση των απωλειών θερμότητας από μέσα προς τα έξω, ενώ προτείνεται η χρήση των κουρτινών για επιπρόσθετη προστασία.

Για όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τις τεχνικές κελύφους για εξοικονόμηση ενέργειας υπάρχει ως ένα βαθμό η αναγκαιότητα της συμβολής του χρήστη. Ο παράγοντας αυτός πρέπει να αποτελεί για τους μελετητές βασικό κριτήριο κατά την επιλογή των συστημάτων και τεχνικών, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις αναμένεται μειωμένη συμβολή (από την απαιτούμενη ή την προβλεπόμενη) κατά τη λειτουργία και χρήση του κτιρίου. Τα επίπεδα ανάπτυξης και οι αυξημένες δυνατότητες της τεχνολογίας σήμερα παρέχουν γρήγορη και επαρκή κάλυψη υψηλών απαιτήσεων άνεσης και διαβίωσης και έχουν οδηγήσει σε “αδρανή” συμπεριφορά των χρηστών, με αρνητικά αποτελέσματα για τη λειτουργία των βιοκλιματικών κτιρίων. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις, ο χρήστης αποτελεί αρνητικό παράγοντα για την απόδοση του συστήματος (π.χ. άνοιγμα παραθύρων κατά τη λειτουργία συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης για μεγαλύτερη ανανέωση αέρα). Στις περισσότερες περιπτώσεις κτιρίων γραφείων, όπου απαιτείται η συμβολή του χρήστη, η αποδοτική λειτουργία των παθητικών συστημάτων δεν είναι εφικτή. Αυτό οφείλεται αφενός μεν στη μη-συνεχή χρήση του κτιρίου (ωράριο εργασίας κτλ.) και αφετέρου στην ανεπαρκή “οικειοποίηση” του χώρου από το χρήστη, που έχει ως αποτέλεσμα την

έλλειψη πραγματικού ενδιαφέροντος για την ποιοτική απόδοση του χώρου προς αυτόν.

Έτσι, καθώς είναι δυσχερής ή αδύνατη η συμβολή του χρήστη, για την αποδοτική λειτουργία των κτιρίων αυτών προτείνεται η χρήση απλών τεχνικών για την αξιοποίηση των αρχών μετάδοσης θερμότητας προς όφελος της κατασκευής καθώς και η εγκατάσταση συστημάτων ελέγχου και αυτοματισμού. Αντίθετα, αποτρέπεται η χρήση πολύπλοκων συστημάτων που εξαρτώνται σε μεγαλύτερο βαθμό από τον ανθρώπινο παράγοντα και απαιτούν ειδικές γνώσεις και τεχνικές συντήρησης. [7]

1.4.4. Επαρκής συντήρηση

Η συντήρηση αποτελεί την τελευταία παράμετρο για την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης των βιοκλιματικών κτιρίων με παθητικά συστήματα και άλλες τεχνικές. Παρ' ότι τα παθητικά ηλιακά συστήματα λειτουργούν κυρίως χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων, η συντήρηση (ως παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η λειτουργία σχεδόν όλων των συστημάτων και εγκαταστάσεων) συμβάλλει στη διαχρονική λειτουργία αυτών χωρίς μειωμένη απόδοση. Κύριους λόγους συντήρησης αποτελούν

- η σκόνη (αύξηση συντελεστή σκίασης),
- η παλαιότητα διαφανών υλικών (μείωση φωτοδιαπερατότητας και αλλαγή θερμικών ιδιοτήτων),
- η παλαιότητα κουφωμάτων (αύξηση διείσδυσης αέρα και συντελεστή θερμο-αεροπερατότητας),
- το σκούριασμα (δυσλειτουργία των περσίδων σκίασης ή ανοιγμάτων αερισμού),
- και άλλοι,

που συνήθως δημιουργούνται με το χρόνο, τη χρήση και την λειτουργία των συστημάτων. [7]

2. Οι δικέλυφες αδιαφανείς όψεις ως τμήμα του κτιριακού κελύφους

2.1. Γενικά χαρακτηριστικά εξωτερικών όψεων

Το περίβλημα του κτιρίου προστατεύει τον εσωτερικό χώρο από τις εξωγενείς επιδράσεις και εξασφαλίζει σε αυτόν τις αναγκαίες για την χρήση του συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, ακουστική – ηχοπροστασία, αερισμό, φυσικό φωτισμό).

Οι κατακόρυφες επιφάνειες του περιβλήματος του κτιρίου αποτελούν τις όψεις του και σε αυτές περιλαμβάνονται οι αντίστοιχες επιφάνειες των στοιχείων του σκελετού των τοίχων πλήρωσης και των ανοιγμάτων.

Τα δομικά στοιχεία των όψεων υφίστανται ποικίλες επιδράσεις και καταπονήσεις από το περιβάλλον του κτιρίου, οι οποίες συντελούν στη σταδιακή μείωση των αντοχών των δομικών στοιχείων και στην αλλοίωση της εμφάνισής τους. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι:

- Αέριοι ρύποι (που επιδρούν χημικά στα υλικά της όψης και αλλοιώνουν την υφή και την αισθητική της)
- Συστολοδιαστολές εξαιτίας των αυξομειώσεων της θερμοκρασίας
- Άνεμος
- Υγρασία – βροχή – παγετός
- Κραδασμοί – δονήσεις
- Υπεριώδης ακτινοβολία
- Βανδαλισμοί.

Επιπρόσθετα, επειδή οι όψεις αποτελούν το όριο μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, υφίστανται τις συνέπειες της συνδυασμένης επενέργειας των αντιστοίχων παραγόντων και από τις δύο πλευρές τους:

- Συμπύκνωση υδρατμών
- Συστολοδιαστολές εξαιτίας των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών
- Θερμογέφυρες

- Υγρασία
- Ανάπτυξη μικροοργανισμών (μύκητες, μούχλα).

Για να περιοριστούν οι δυσμενείς επιπτώσεις των καταπονήσεων αυτών των όψεων απαιτείται η αποτελεσματική προστασία τους η οποία πρέπει να είναι μόνιμη, ανθεκτική σε μηχανικές καταπονήσεις και χημικές επιβαρύνσεις και να παρουσιάζει ευκολία καθαρισμού και συντήρησης.

Η επένδυση της όψης έχει διπλό σκοπό: την προστασία από τις ποικίλες καταπονήσεις και την αισθητική ολοκλήρωση του κτιρίου, αφού οι όψεις σε συνδυασμό με την ογκοπλασία του χαρακτηρίζουν την παρουσία του κτιρίου στο περιβάλλον του. Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά που πρέπει να παρουσιάζει η επένδυση, είναι: [6]

- Ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές
- Αντοχή σε ανεμοπίεση και σε δυναμικές καταπονήσεις(σεισμός)
- Αντοχή σε καιρικές και ατμοσφαιρικές επιδράσεις
- Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία
- Χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης σε σχέση με την διάρκεια ζωής
- Εύκολος καθαρισμός
- Καλή ηχομονωτική συμπεριφορά
- Αισθητική.

2.2. Ιστορικά στοιχεία

Οι δικέλυφες όψεις κτιρίων υφίστανται σαν κατασκευαστική διάταξη από το 1860, όταν ο Άγγλος Jacob Forst, στο σύγγραμμα του “The Gardeners Chronicle” πρότεινε στην νότια γυάλινη όψη ενός κτιρίου να δημιουργηθεί ένα θερμοκήπιο όπου θα μπορούσαν να αναπτύσσονται φρούτα και θα παρείχε μεγάλη ευκολία ρύθμισης του αερισμού των κατοικιών. Η βασική ιδέα του ήταν να ανακυκλοφορεί τον θερμό αέρα που παραγόταν λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου μέσα στο κτίριο.

Αυτή η πρόταση από έναν Άγγλο ανθοκόμο ήταν ιδιαίτερα απλοϊκή συγκριτικά με μια εργασία που εκπονήθηκε 20 χρόνια αργότερα στην Αμερική, όταν ο Edward Morse, ένας βοτανολόγος, ανέπτυξε τον πρώτο δικάλυφο τοίχο. Ο Morse γνώριζε το φαινόμενο από προηγούμενη εργασία του, όπου οι ακτίνες του ήλιου περνώντας από ένα κρύσταλλο και πέφτοντας σε μία σκούρη επιφάνεια θέρμαιναν και την επιφάνεια και τον αέρα που περιείχε ο χώρος. Χρησιμοποίησε αυτήν την παρατήρησή του, και το 1882 κατασκεύασε τον πρώτο ηλιακό τοίχο τοποθετώντας σκούρες κουρτίνες πίσω από ένα παράθυρο το οποίο στην συνέχεια θερμαινόταν και δημιουργούσε ένα θερμό ρεύμα αέρα (σήμερα είναι γνωστή η διάταξη αυτή ως τοίχος Michel - Trombe, από την 'ανακάλυψή' των Michel & Trombe 80 χρόνια αργότερα).

Στην Ευρώπη ο μεγάλος μοντερνιστής Le Corbusier, είδε μια ανάλογη ευκαιρία στην εργασία του 'Η πόλη των προσφύγων', για τους ξενώνες του στρατού σωτηρίας στο Παρίσι. Ο Le Corbusier είχε ήδη χρησιμοποιήσει μια δικάλυφη διαφανή κατασκευή στην βίλλα του Schwob στην γενέτειρά του La Chaux de Fonds της Ελβετίας, το 1916. Σε αυτήν τη κατασκευή, πολύ μεγάλα παράθυρα σχεδιάστηκαν και στα δύο κελύφη της όψης με σωλήνες θέρμανσης μεταξύ τους για να αποφεύγεται η δημιουργία ρευμάτων αέρα προς τα κάτω.

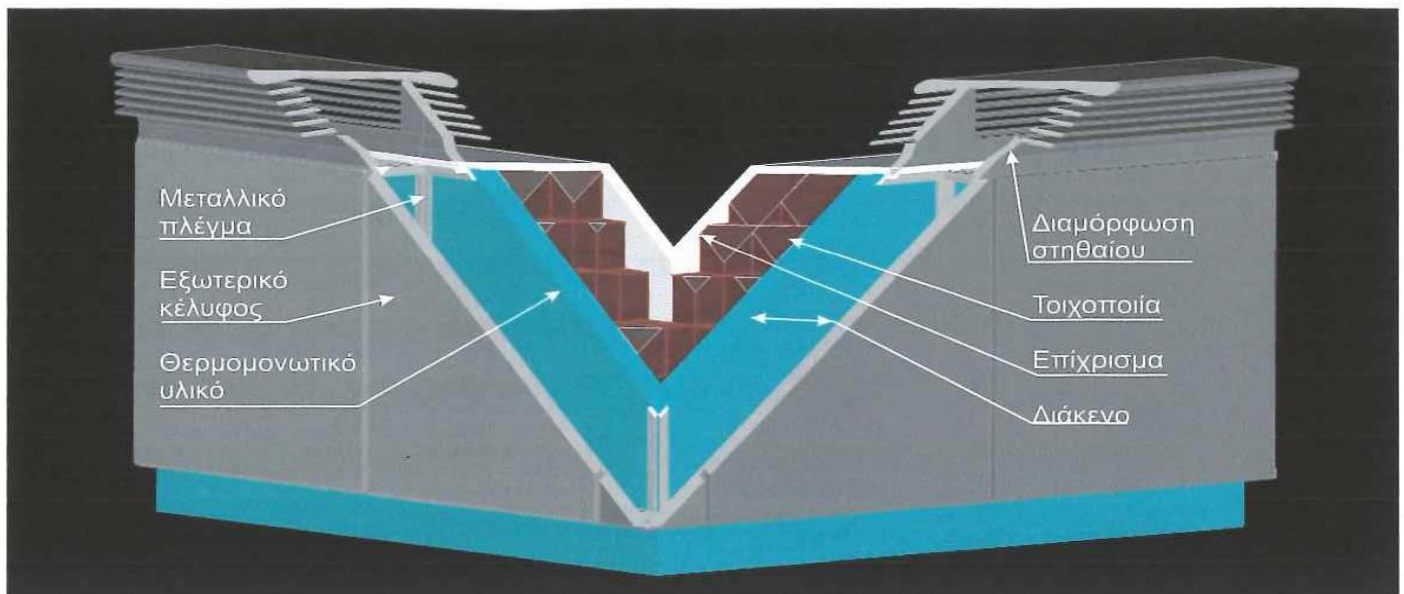
Η πρόταση του Le Corbusier για την 'Πόλη των προσφύγων' 15 χρόνια αργότερα ήταν πιο ριψοκίνδυνη και περιλάμβανε δύο βοηθητικά κτιριακά συστήματα: ένα προσεκτικά σχεδιασμένο σύστημα μηχανικού αερισμού και ένα σύστημα αποκλεισμού των εξωτερικών επιρροών στην ροή του αέρα. Αυτοί οι τοίχοι μπορούσαν να αποτελούνται από γυαλί, πέτρα ή άλλους συνδυασμούς υλικών, περιέχοντας πάντα ανάμεσα στα δύο στρώματα υλικού, μερικά εκατοστά αέρα. Για την συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν κρύσταλλα και στις δύο όψεις. Μία ακόμη θερμική συσκευή εγκαταστάθηκε για θέρμανση και ψύξη του αέρα στο διάκενο και η ροή του αέρα γινόταν με ανεμιστήρες σε κλειστό κύκλωμα. Σε θερμές χρονικές περιόδους ο αέρας που εισερχόταν στο διάκενο από την θερμική συσκευή ήταν ψυχρός, και τις ψυχρές περιόδους θερμός. Το αποτέλεσμα ήταν σε όλο το διάστημα του έτους η επιφάνεια που ήταν σε επαφή με τον εσωτερικό χώρο να διατηρείται στους 18°C.

Η έκβαση αυτής της υπόθεσης ήταν λυπηρή αλλά αποτελεί ένα ανέκδοτο των σύγχρονων κτιριακών κατασκευών. Ο Le Corbusier ήθελε τόσο έντονα να

αναλάβει τη μελέτη, που προσέφερε έκπτωση 40%. Τα πρώτα σχέδια είχαν δικέλυφη κατασκευή στην δυτική και ανατολική όψη αλλά μετά από πολλές διαμάχες με την πολεοδομία της πόλης, αποφασίστηκε να μπουν οι δικέλυφες όψεις νότια και δυτικά. Ο προϋπολογισμός ήταν αυστηρά περιορισμένος και το κτίριο τελείωσε με απλή όψη και όχι δικέλυφη, αλλά και χωρίς κλιματισμό, αντίθετα με αυτό που απαιτούσε ο Le Corbusier. Χωρίς την δικέλυφη κατασκευή και τον κλιματισμό οι συνθήκες που επικρατούσαν μέσα στο κτίριο ήταν απάνθρωπες. Το δημαρχείο του Παρισιού καταδίκασε το κτίριο, το οποίο είχε αποτελέσει αντικείμενο καταγγελιών από τους κατόχους-χρήστες του, και ο Le Corbusier έπρεπε να εισάγει παράθυρα-ανοίγματα στην ερμητικά κλειστή πρόσοψή του. Ο έλεγχος των εσωκλιματικών συνθηκών διορθώθηκε μετά τις 25 Αυγούστου 1944, όταν μία γερμανική βόμβα κατέστρεψε την 'δικέλυφη' κατασκευή. Το κτίριο αναμορφώθηκε τελικά την περίοδο από το 1948 μέχρι το 1952. Μέχρι το 1947 ο Le Corbusier συμβούλευε το γεροϋσιαστή Warren Austin για το κτίριο των Ηνωμένων Εθνών και πίστευε σφόδρα ότι τα μεγάλα ανοίγματα του κτιρίου πρέπει να εξοπλιστούν με δικέλυφη διαφανή όψη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στην Νέα Υόρκη το καλοκαίρι. Εξετάζοντας την ιστορία των δικέλυφων όψεων αυτό είναι διπλά ειρωνικό. Το κτίριο Harrison των Η.Ε. λειτούργησε φυσιολογικά γιατί ο κλιματισμός του κτιρίου συνεργάστηκε επιτυχώς με το σύστημα του Le Corbusier. Ακόμα και η κατασκευή που είχε προτείνει για την 'Πόλη των προσφύγων' θα μπορούσε να λειτουργήσει με την βοήθεια του κλιματισμού. [12]

2.3. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά δικέλυφης τοιχοποιίας

Με τον όρο δικέλυφη τοιχοποιία αναφέρεται κανείς σε τοιχοποιία αποτελούμενη από δύο κελύφη που διαχωρίζονται από αεριζόμενο ή μη αεριζόμενο διάκενο, το οποίο μπορεί να πληρωθεί, στο σύνολό του ή κατά ένα μέρος του, με θερμομονωτικό υλικό. Μετά την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70 η σημασία της θερμομόνωσης αυξήθηκε σημαντικά. Στις δικέλυφες τοιχοποιίες με διάκενο αέρα εξετάστηκε η δυνατότητα βελτίωσης της θερμομόνωσής τους με πλήρωση του διακένου με θερμομονωτικό υλικό, καθώς οι έρευνες απέδειξαν ότι κατ' αυτόν τον τρόπο βελτιωνόταν πολύ περισσότερο η προσφερόμενη θερμική προστασία. Έτσι προέκυψαν νέοι τύποι κατασκευών, που συνδύαζαν τον



Σχήμα 2.1. Τυπική μορφή δικέλυφης τοιχοποιίας με αεριζόμενο διάκενο

Πηγή:[Πρωτότυπο]

παλιό τύπο της αεριζόμενης ή μη δικέλυφης τοιχοποιίας με την συμπλήρωση θερμομονωτικής στρώσης στο διάκενο. Ο συνδυασμός αυτός έδωσε:

- τη δικέλυφη τοιχοποιία με κλειστό στρώμα αέρα, χωρίς θερμομόνωση,
- τη δικέλυφη τοιχοποιία με ανανεώσιμο στρώμα αέρα, χωρίς θερμομόνωση,
- τη δικέλυφη τοιχοποιία με θερμομόνωση στον πυρήνα χωρίς στρώμα αέρα,
- τη δικέλυφη τοιχοποιία με θερμομόνωση στον πυρήνα και ανανεώσιμο στρώμα αέρα. [1]

2.3.1. Ανάλυση των στρώσεων

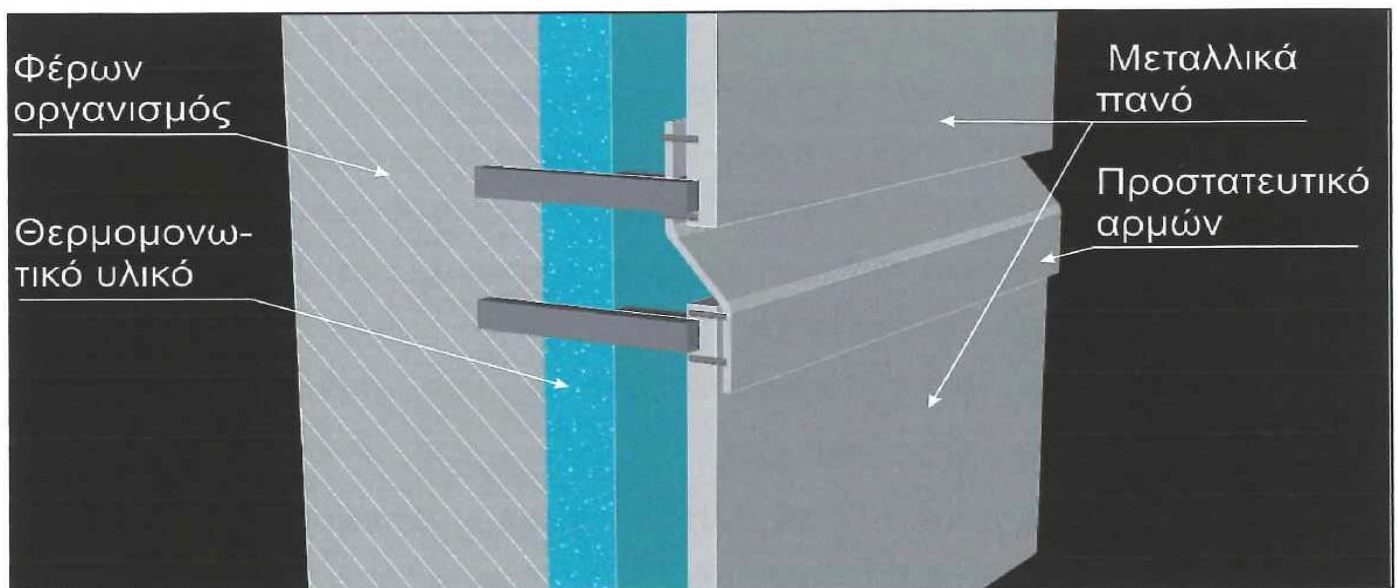
Σε μία δικέλυφη τοιχοποιία ο ρόλος της κάθε στρώσης (δηλαδή των δύο κελυφών, της θερμομονωτικής στρώσης και του διακένου αερισμού) είναι απόλυτα σαφής και καθορισμένος.

2.3.1.1. Το εσωτερικό κέλυφος

Το εσωτερικό κέλυφος αποτελεί την κύρια τοιχοποιία και το πάχος του πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 cm. Είναι αυτό που φέρει τα στατικά φορτία, δι-

αθέτει την απαραίτητη θερμική αδράνεια, λειτουργεί ως πρόσκαιρος αποταμιευτής θερμότητας αξιοποιώντας τη θερμοχωρητικότητα της μάζας του και προσφέρει ορισμένη ηχομονωτική προστασία. Δέχεται την προστασία του εξωτερικού κελύφους έναντι των έντονων καιρικών φαινομένων και της θερμομονωτικής στρώσης έναντι των υψηλών θερμοκρασιακών διακυμάνσεων. Το εσωτερικό κέλυφος σε μία δικέλυφη τοιχοποιία δεν διαφέρει ως προς τα υλικά και τον τρόπο κατασκευής μιας απλής μονοκέλυφης τοιχοποιίας.

Κατασκευάζεται από τα ίδια υλικά - οπλισμένο σκυρόδεμα, οπτόπλινθους, τσιμεντόλιθους, κισηρόλιθους κτλ. - και συνήθως διαθέτει εσωτερικό επίχρισμα. Η εξωτερική της όψη έρχεται σε επαφή με το θερμομονωτικό υλικό, το οποίο θα πρέπει να εφάπτεται σ' αυτήν. Όταν ως θερμομόνωση χρησιμοποιού-



Σχήμα 2.2. Διάταξη προστασίας του εσωτερικού κελύφους στα όρια των μεταλλικών πανό της εξωτερικής όψης Πηγή: [Πρωτότυπο]

νται σκληρές πλάκες ή πάπλωμα, αυτά πρέπει να στερεώνονται πάνω στην τοιχοποιία με συνδέσμους, τους ίδιους που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των δύο κελυφών μεταξύ τους.

Σε μία δικέλυφη κατασκευή το εσωτερικό κέλυφος δεν επιτρέπεται να καταπονείται από εξωτερικούς παράγοντες και κυρίως από καιρικά φαινόμενα. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο σημαίνει ότι το εξωτερικό κέλυφος αδυνατεί να εκπληρώσει το ρόλο που έχει αναλάβει και επομένως υπάρχει κάποιο κατασκευαστικό σφάλμα ή αστοχία σε αυτό.

Δυστυχώς, προβλήματα αυτού του τύπου και κυρίως προβλήματα υγρασίας δεν είναι σπάνια φαινόμενα στις δικέλυφες κατασκευές. Οφείλονται συνήθως σε κακή σειρά στρώσεων, στην τοποθέτηση ενδεχομένως κάποιου φράγματος υδρατμών στο εσωτερικό της τοιχοποιίας και σε θέση που είναι μάλλον περιττό, στο κατακάθισμα του θερμομονωτικού υλικού λόγω κακής στερέωσής του (πάπλωμα υαλοβάμβακα), στην ύπαρξη ρωγμών και κενών στο συνδετικό επίχρισμα του εξωτερικού κελύφους που επιτρέπουν τη διείσδυση των νερών της βροχής, σε κακοτεχνίες στους αρμούς του εξωτερικού κελύφους και σε άλλα παρόμοια αίτια. [1]

2.3.1.2. Το εξωτερικό κέλυφος

Το εξωτερικό κέλυφος θεωρείται ως συμπληρωματικό τμήμα της τοιχοποιίας, γι' αυτό δεν πρέπει να φέρει ποτέ στατικά φορτία. Όταν είναι κτιστό το πάχος του οφείλει να είναι τουλάχιστον 10 cm. Για τη στατική εξασφάλισή του τόσο έναντι σεισμού, όσο και έναντι της πίεσης του ανέμου, στηρίζεται με ισχυρούς συνδέσμους στο εσωτερικό κέλυφος. Δέχεται έντονες καταπονήσεις από τον άνεμο, τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας, την συνδυασμένη δράση βροχής και ανέμου, την ηλιακή ακτινοβολία, τον παγετό και γενικότερα όλα τα καιρικά φαινόμενα.

Για τους παραπάνω λόγους οφείλει να ανταποκρίνεται το εξωτερικό κέλυφος σε κάποιες απαιτήσεις που προκύπτουν από την ίδια του την λειτουργία, όπως:

- Να αντέχει στην συνδυασμένη καταπόνηση από άνεμο και βροχή.
- Να ανταποκρίνεται με επάρκεια στις έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ημέρας και καθ' όλη την διάρκεια του έτους.
- Να συνδέεται με ισχυρούς συνδέσμους με την υπόλοιπη κατασκευή και να μην κινδυνεύει να αποσπαστεί από αυτήν σε περίπτωση σεισμού ή άσκησης άλλων δυνάμεων.
- Να μην εμφανίζει ρωγμές στην επιφάνειά του και κυρτώσεις.

Το εξωτερικό κέλυφος μπορεί να κατασκευαστεί από:

- επιχρισμένη οπτοπλινθοδομή ίδιου τύπου αλλά μικρότερου πάχους από το εσωτερικό κέλυφος,
- μικρού μεγέθους διακοσμητικά τούβλα,
- αργολιθοδομή από διακοσμητικές πέτρες,
- πλάκες μαρμάρου (ορθομαρμάρωση),
- πετάσματα ορυκτών ή άλλων υλικών (τσιμεντοσανίδες, σανίδες ορυκτών ινών κτλ)
- ορυκτές, μεταλλικές ή πλαστικές πλάκες,
- σανίδες ξύλου.

Τα πλέον συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι οι κεραμικές πλάκες, οι φυσικές και τεχνητές πέτρες και τα μεταλλικά φύλλα. [1]

2.3.1.3. Η θερμομονωτική στρώση

Η θερμομονωτική στρώση καλύπτει τις κατ' εξοχήν ανάγκες της τοιχοποιίας σε θερμομόνωση. Το πάχος της υπολογίζεται έτσι ώστε η κατασκευή στο σύνολό της να καλύπτει τις απαιτήσεις του κανονισμού θερμομόνωσης. Σε συνήθεις κατασκευές, αναλόγως του χρησιμοποιούμενου θερμομονωτικού υλικού, το πάχος προκύπτει μεταξύ 3 cm και 7 cm. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν όλα τα θερμομονωτικά υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

Σε περίπτωση που δεν μεσολαβεί διάκενο αερισμού μεταξύ των δύο κελύφων και το εξωτερικό κέλυφος που έρχεται σε επαφή με την θερμομονωτική στρώση καταπονείται έντονα από την βροχή, είναι προτιμότερη η χρήση θερμομονωτικών υλικών ανθεκτικών στην υγρασία (π.χ. αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη), διότι ενδεχόμενη προσβολή τους θα περιορίσει τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες.

Σε περίπτωση που υπάρχει διάκενο αερισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε θερμομονωτικό υλικό. Σ' αυτού του τύπου την κατασκευή, η θερμομονωτική στρώση εφάπτεται πάντοτε στο εσωτερικό κέλυφος και ποτέ στο

εξωτερικό, το οποίο μάλιστα δεν λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της θερμικής επάρκειας της τοιχοποιίας. [1]

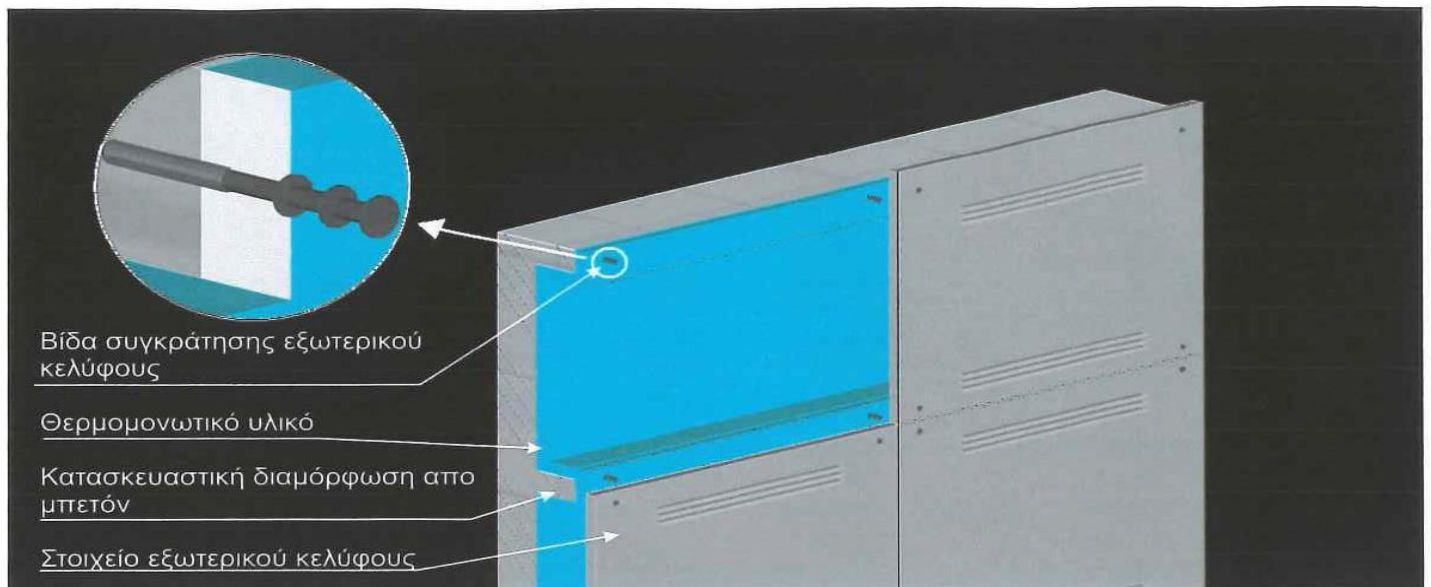
2.3.1.4. Το διάκενο αερισμού

Το διάκενο αερισμού διαχωρίζει τα δύο κελύφη. Παρεμποδίζει την μετάδοση της υγρασίας από το εξωτερικό κέλυφος προς το εσωτερικό και την θερμομονωτική στρώση. Βοηθάει στον αερισμό της τοιχοποιίας, απομακρύνοντας τους διαχεόμενους μέσω του εσωτερικού κελύφους υδρατμούς του εσωτερικού χώρου και στο στέγνωμα του εξωτερικού κελύφους. Ο αερισμός που επιτυγχάνεται μέσω οπών που ανοίγονται σε καθορισμένα σημεία στην βάση και στην κορυφή του εξωτερικού κελύφους. [1]

2.3.2. Η σύνδεση των κελυφών

Οι δυο τοίχοι έχοντας κατασκευαστεί ξεχωριστά δεν συμπεριφέρονται ως ένα ενιαίο στατικό σύστημα. Η διαφορά στην συμπεριφορά των δύο κελυφών μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή αν ληφθεί υπόψη ότι το εξωτερικό κέλυφος που δέχεται τις πιο έντονες καταπονήσεις είναι συνήθως το ασθενέστερο (μικρότερο πάχος κατασκευής). Επομένως, η πιθανότητα εμφάνισης προβλημάτων σ' αυτό είναι μεγαλύτερη, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν από μικρορρωγμές και αποκολλήσεις στην επιφάνεια του εξωτερικού κελύφους, μέχρι πλήρη κατάρρευσή του σε περίπτωση σεισμού. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την καλή και στερεή σύνδεση των δύο κελυφών μεταξύ τους. Έτσι, μέρος των καταπονήσεων του εξωτερικού κελύφους μεταφέρεται και στο εσωτερικό κέλυφος, μοιράζοντας με αυτόν τον τρόπο την ένταση της καταπόνησης στα δύο κελύφη.

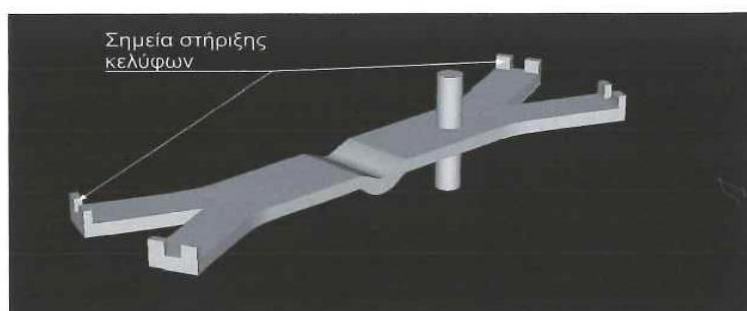
Η σύνδεση μπορεί να γίνει είτε με περίδεσμους ενίσχυσης (σενάζ), είτε με συνδέσμους.



Σχήμα 2.3. Σύνδεση των δύο όψεων με περιδέσμους ενίσχυσης

Πηγή: [Πρωτότυπο]

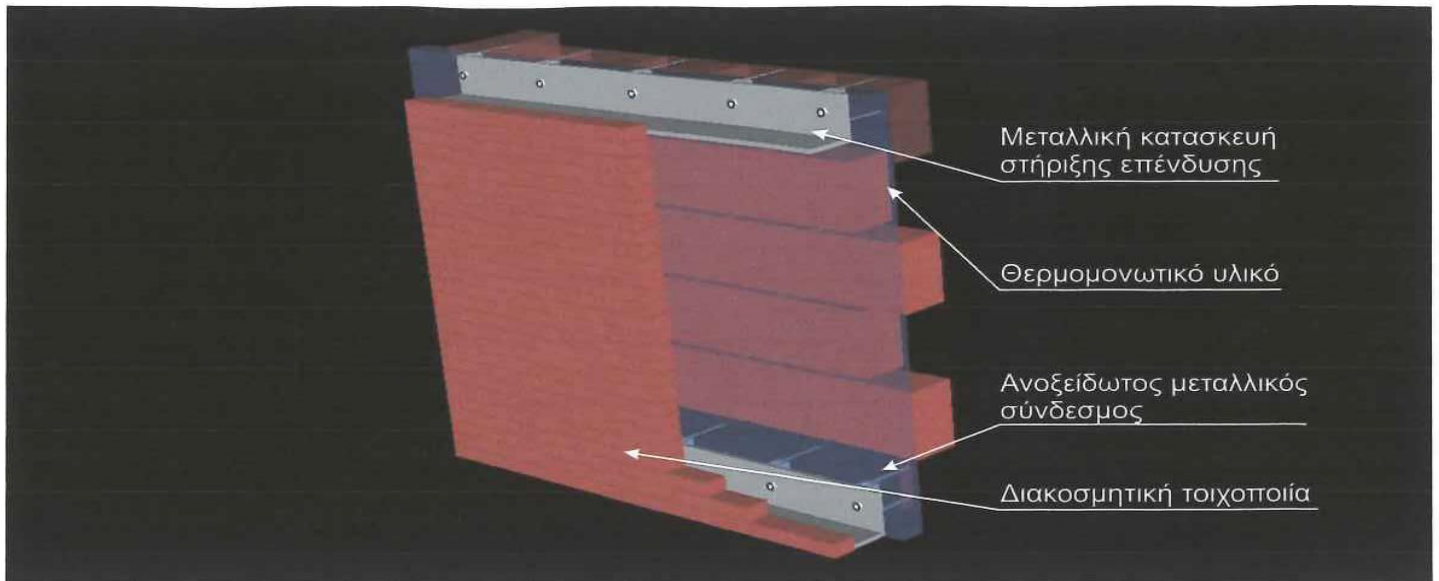
- Ο πλέον συνήθης τρόπος είναι η ανάπτυξη περιδέσμων ενίσχυσης. Οι κατασκευαστές αρκούνται στην ανάπτυξη περιδέσμων ενίσχυσης περίπου ανά 1 m ύψους κατασκευής κατασκευασμένους από ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι περιδέσμοι ενίσχυσης πατούν σε όλο το πλάτος των δύο κελύφων παρεμποδίζοντας τις ανεξάρτητες μεταξύ τους κινήσεις. Επειδή ωστόσο οι περιδέσμοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, δεν παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή αντίστασης στη ροή θερμότητας και για τον λόγο αυτό αποτελούν ισχυρές θερμογέφυρες. Η ροή θερμότητας μέσω αυτών περιορίζεται σημαντικά μόνο με την θερμομόνωσή τους. Είναι απαραίτητο επομένως για την κατασκευή τους να τοποθετείται μία θερμομονωτική στρώση από το ίδιο υλικό που προστατεύει τα στοιχεία του φέροντος οργανισμού.



Σχήμα 2.4.

Μεταλλικός σύνδεσμος για την σύνδεση των δύο όψεων

Πηγή: [Πρωτότυπο]

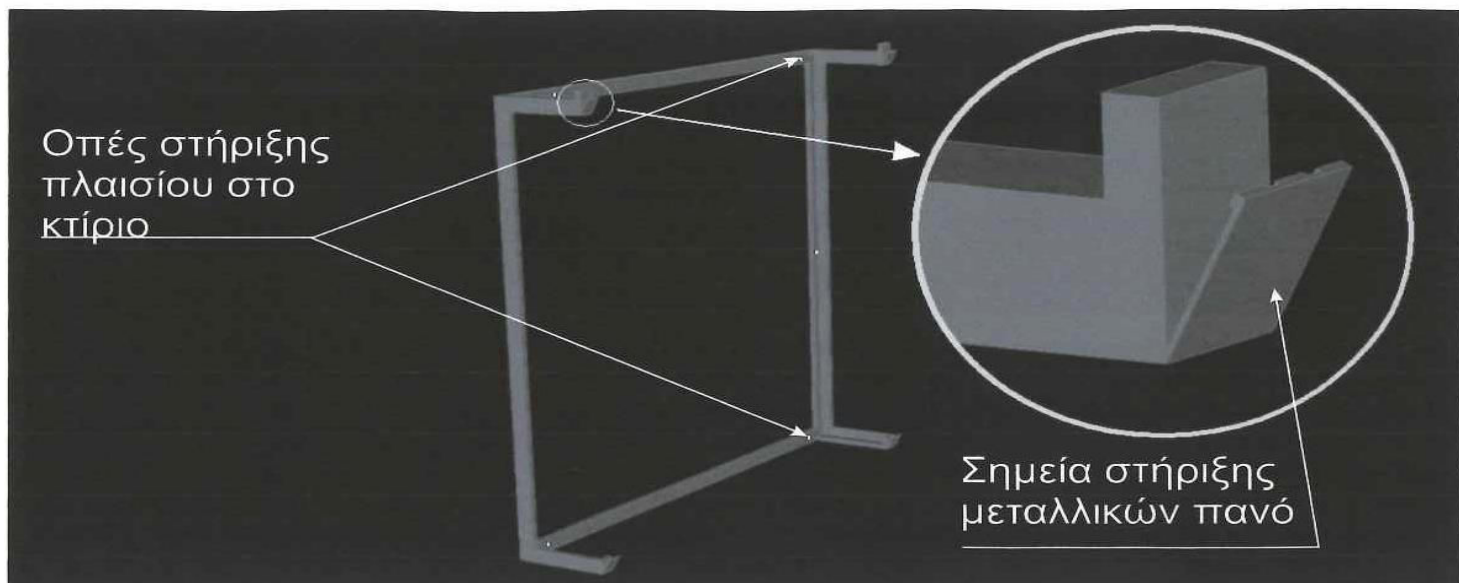


Σχήμα 2.5. Σύνδεση των όψεων με μεταλλικά στοιχεία στήριξης της εξωτερικής διακοσμητικής τοιχοποιίας. Πηγή: [Πρωτότυπο]

- Στην εναλλακτική περίπτωση των συνδέσμων, το εξωτερικό κέλυφος στερεώνεται στο εσωτερικό με ανοξείδωτους ή πλαστικούς συνδέσμους. Οι σύνδεσμοι αυτοί ποικίλουν σε μορφή, συνήθως όμως έχουν το σχήμα της ακανόνιστης λάμας, στενής στο κέντρο της και φαρδύτερης στα άκρα της, στα οποία παρουσιάζει μικρές οδοντωτές προεξοχές. Το ένα άκρο σφηνώνεται ανάμεσα στους αρμούς του εσωτερικού κελύφους με διάνοιξη εγκοπής και στην συνέχεια σφράγισής της και πάλι με κονίαμα και το άλλο άκρο στους αρμούς του εξωτερικού κελύφους κατά την κατασκευή. [1]

2.3.3. Προστασία του αεριζόμενου διακένου

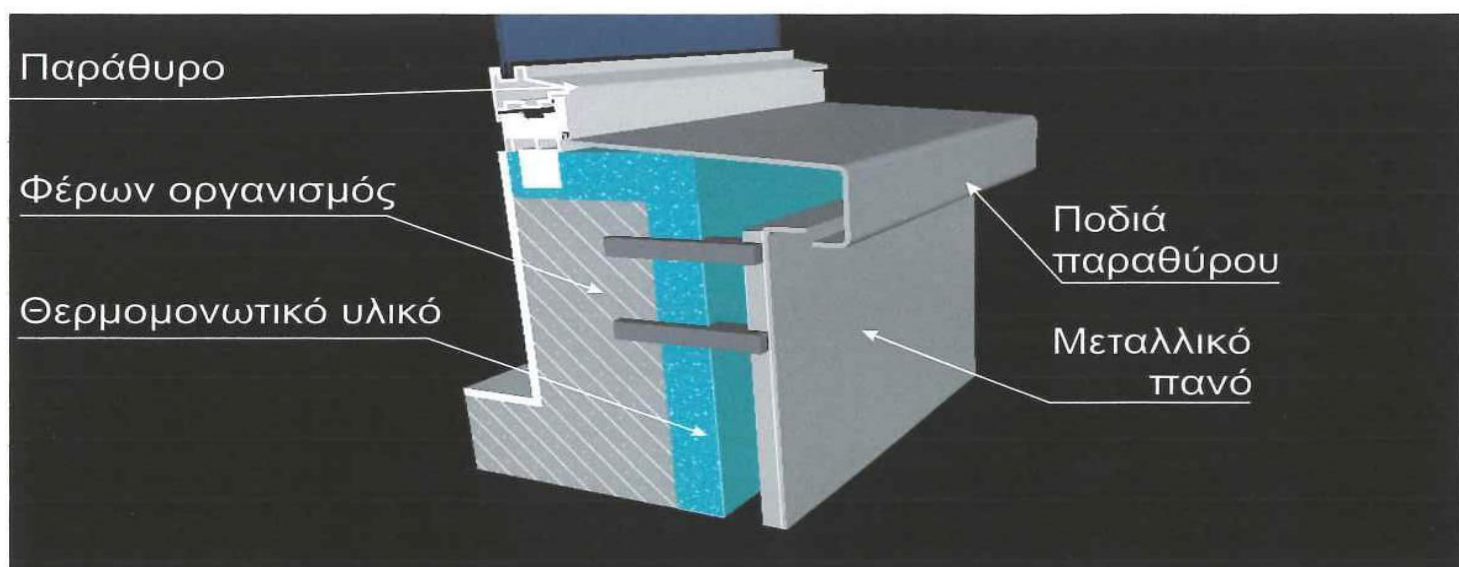
Στο εξωτερικό κέλυφος μιας αεριζόμενης τοιχοποιίας στο ύψος της βάσης και της στέψης του τοίχου διανοίγονται οπές. Οι οπές αυτές από την εμπρόσθια πλευρά οφείλουν να προστατεύονται με πυκνό μεταλλικό πλέγμα, ώστε να μην καταλήγουν ως καταφύγια και φωλιές ζωυφίων, τρωκτικών, πτηνών ή άλλων μικρών ζωντανών οργανισμών. Από την οπίσθια πλευρά και στην βάση του διακένου διαμορφώνονται μικρές μεταλλικές διατάξεις, οι οποίες αφενός ενισχύουν την στήριξη μεταξύ των δύο κελυφών της τοιχοποιίας, αφετέρου έχοντας βάση με μικρή κλίση προς το εξωτερικό κέλυφος οδηγούν προς τις οπές τυχόν νερά της βροχής που θα διαπεράσουν στο χώρο του διακένου, λόγω αστοχίας ή φθοράς του εξωτερικού κελύφους.



Σχήμα 2.6. Μεταλλικό πλαίσιο στήριξης της εξωτερικής όψης

Πηγή: [Πρωτότυπο]

Στις θέσεις των ανοιγμάτων της τοιχοποιίας το διάκενο μεταξύ των δύο κελυφών οφείλει να επικαλύπτεται και να προστατεύεται έναντι των νερών της βροχής. Τόσο στην ποδιά και στο πρέκι, όσο και στα κατακόρυφα στοιχεία γύρω από το κούφωμα μπορεί να επικαλυφθεί το διάκενο είτε από την κάσα του ίδιου του κουφώματος, αφού διασφαλιστεί η στεγανότητα στο σημείο συναρμογής του, είτε με πλάκες μαρμάρου, είτε ακόμη με διακοσμητικά τούβλα, ή με κάποιο πλαίσιο που τοποθετείται κάθετα στην τοιχοποιία και επικαλύπτει το διάκενο, γεφυρώνοντας τα δύο κελύφη. Μάλιστα, στην θέση του πρεκιού μπορούν να τοποθετηθούν ειδικές ανοξειδωτες μεταλλικές διατάξεις που στηρίζουν τα



Σχήμα 2.7. Προστασία του διακένου στο ύψος του παραθύρου

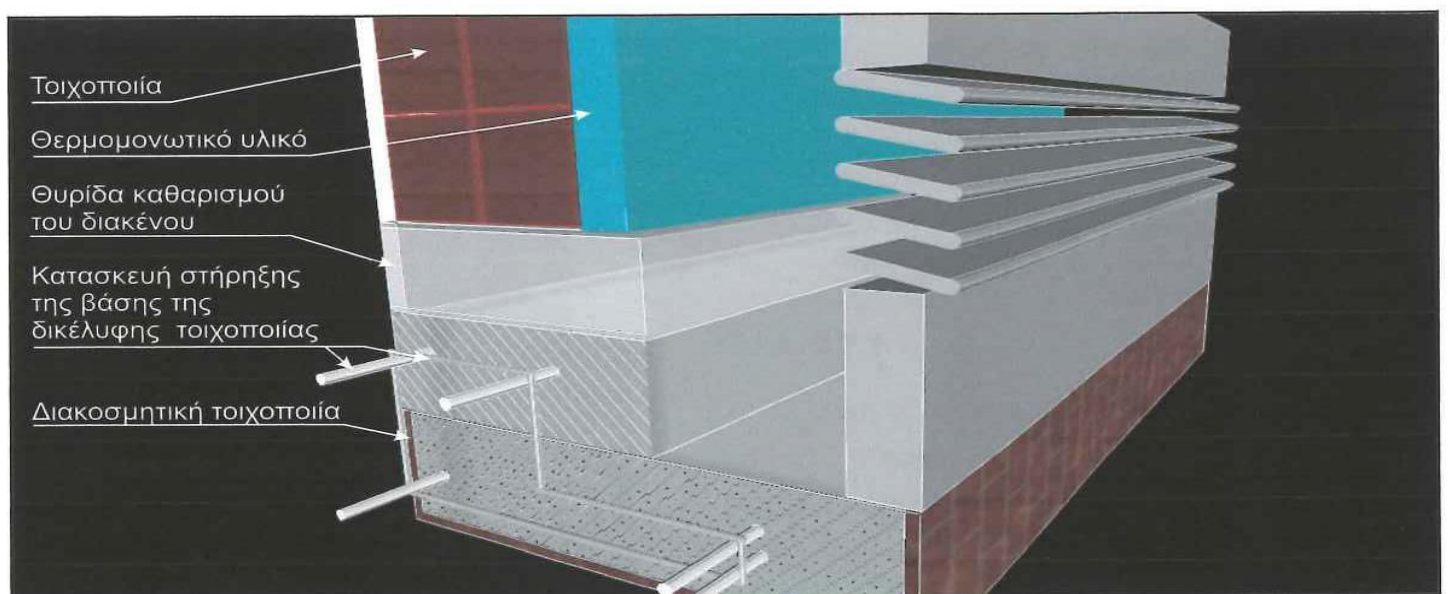
Πηγή: [Πρωτότυπο]



Σχήμα 2.8. Πλαίσιο παραθύρου

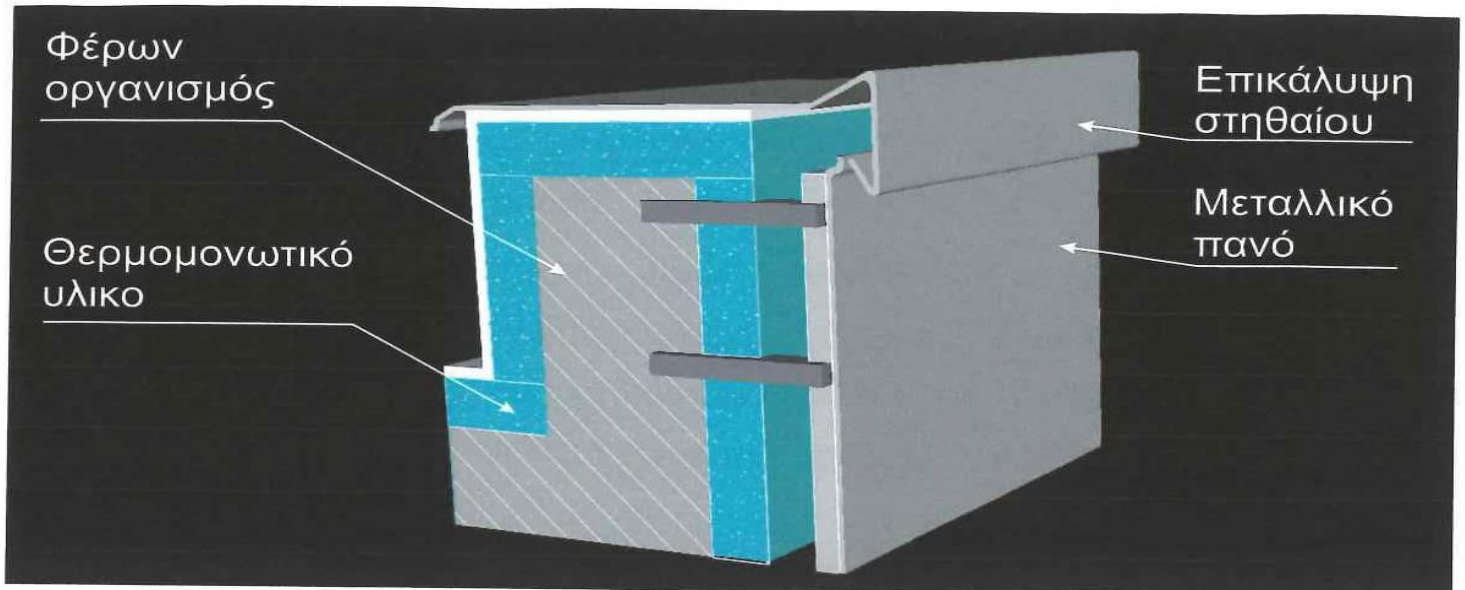
Πηγή: [Πρωτότυπο]

τούβλα στην τοιχοποιία. Κατά το κτίσιμο του εξωτερικού κελύφους θα πρέπει επίσης να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην περισσεύει συνδετικό κονίαμα στην πίσω πλευρά του τοίχου ύστερα από την τοποθέτηση του κάθε τούβλου στην κατασκευαζόμενη τοιχοποιία, για να μην συγκεντρώνονται υπολείμματα συνδετικού κονιάματος στην βάση του διακένου, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν ιδανικές γέφυρες υγρασίας μεταξύ των δύο κελυφών. Τυχόν τέτοια υπολείμματα κονιάματος δύσκολα απομακρύνονται από τον χώρο του διακένου.[1]



Σχήμα 2.9. Κατασκευαστική διάταξη της βάσης του διακένου

Πηγή:[Πρωτότυπο]



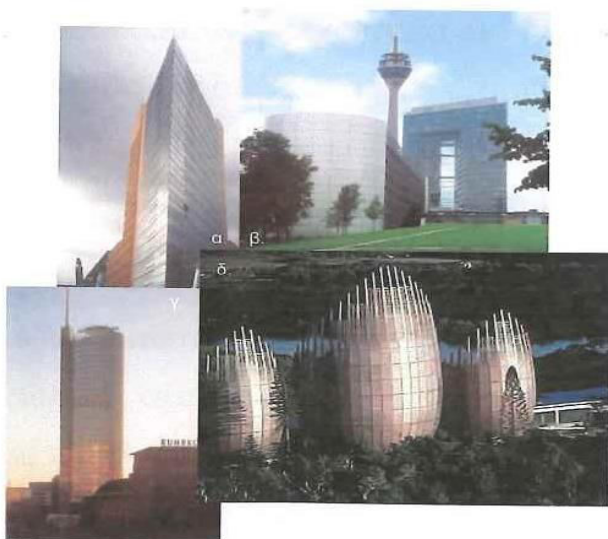
Σχήμα 2.10. Εναλλακτική διαμόρφωση στηθαίου

Πηγή:[Πρωτότυπο]

2.4. Κτίρια με δικέλυφη όψη

Η δικέλυφη τοιχοποιία αποτελεί μια συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική στις περιπτώσεις ανακαίνισης κτιρίων καθώς και κατασκευής κτιρίων γραφείων, και οι κύριοι λόγοι που επιλέγεται, είναι η αισθητική αναβάθμιση που προσφέρει, η βελτίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών του κτιρίου καθώς και η καλύτερη ηχομόνωση.

Η ενεργειακή αναβάθμιση αυτών των κτιρίων μέχρι σήμερα δεν έχει αποδειχθεί επιστημονικά, αφού οι σχεδιαστές των κτιρίων που επέλεξαν τις δικέλυφες αδιαφανείς όψεις, βασίζονταν αποκλειστικά στην εμπειρία τους και όχι σε



Εικόνα 2.1.

α: Ο πύργος Debis, Πλατεία Potsdammer, Βερολίνο Γερμανίας, β: Das Dusseldorfer Stadttor, Ντίσελντορφ Γερμανίας, γ: Το κτίριο RWE, Βερολίνο Γερμανίας, δ: Το πολιτιστικό κέντρο Νέας Καληδονίας

Πηγή:[16]

πειραματικά ή προσομοιωτικά αποτελέσματα που να επαλήθευαν την ενεργειακή αναβάθμιση ενός κτιρίου με μία τέτοια διάταξη. Υπάρχουν αναρίθμητα παραδείγματα κτιρίων με δικέλυφες όψεις σε όλο τον κόσμο και στην εικόνα 2.1. παρατίθενται ορισμένα από αυτά.

Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης ορισμένα από τα πιο πρόσφατα παραδείγματα κτιρίων που κατασκευάζονται και χρησιμοποιούν δικέλυφες αδιαφανείς όψεις είναι το γενικό στρατιωτικό νοσοκομείο Θεσσαλονίκης 424 και ένα από τα κτίρια που κατασκευάζονται κατά την ανάπλαση της αλάνας της Τούμπας.



Εικόνα 2.2. Το γενικό στρατιωτικό νοσοκομείο Θεσσαλονίκης 424 κατά την κατασκευή του.

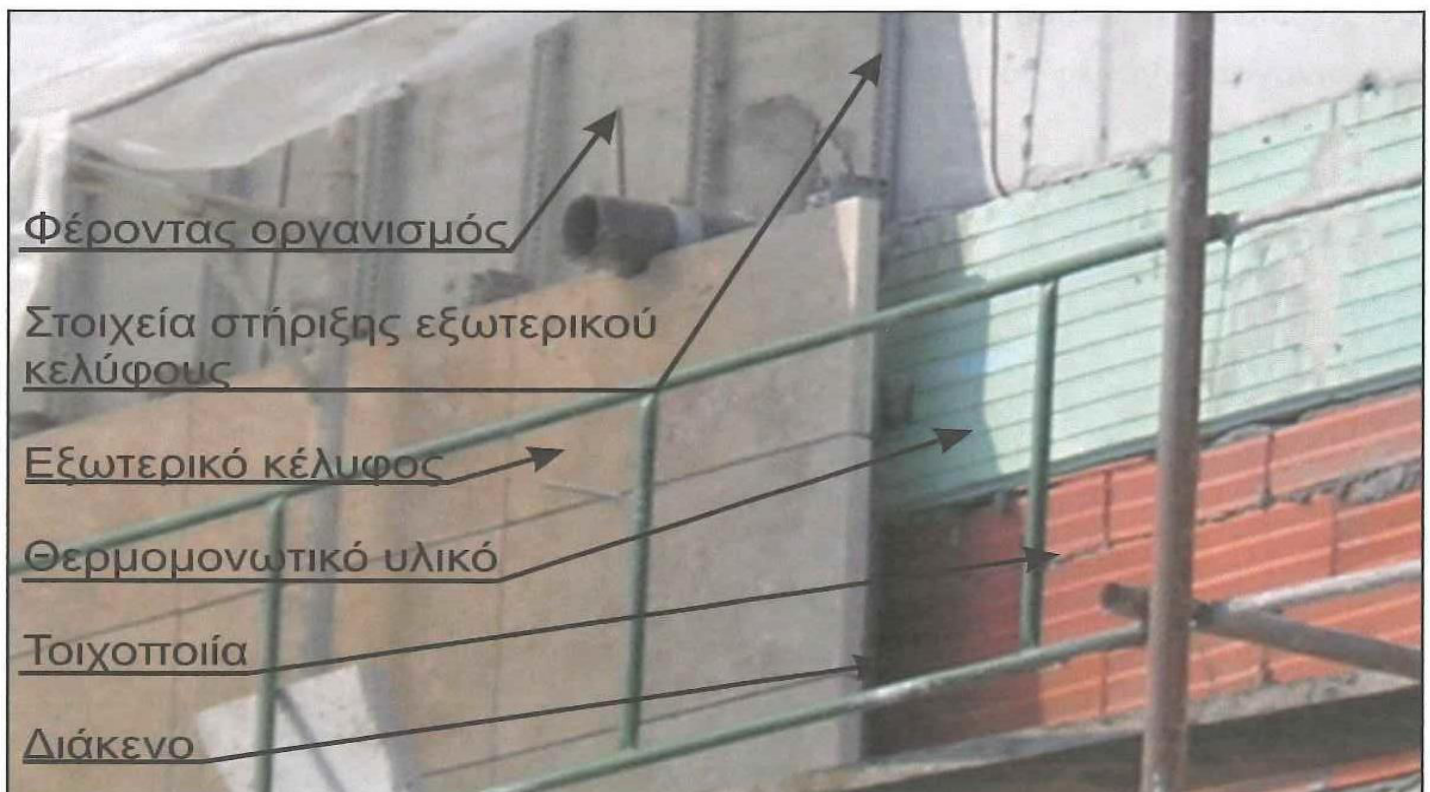
Το στρατιωτικό νοσοκομείο 424 βρίσκεται δίπλα από το νοσοκομείο Παπαγεωργίου στην περιφερειακή οδό και ο σημαντικότερος λόγος που επιλέχθηκε η δικέλυφη τοιχοποιία με διάκενο αερισμού είναι γιατί μειώνει πάρα πολύ τα επίπεδα θορύβου στον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Η αυξημένη ηχομόνωση που προσφέρει μια δικέλυφη αδιαφανής όψη, είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό στην περίπτωση ενός νοσοκομείου για προφανείς λόγους.

Στην αλάνα της Τούμπα κατασκευάζεται κολυμβητική δεξαμενή ολυμπιακών διαστάσεων, κέντρο πολυμέσων, βρεφονηπιακός σταθμός, εκθεσιακός χώρος, αμφιθέατρο και βιβλιοθήκη. Το συγκρότημα αυτό συνορεύει νοτιοδυτικά με σχολείο και σ' αυτήν την όψη επιλέχθηκε η λύση της δικέλυφης τοιχοποιίας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ορθομαρμάρωσης



Εικόνα 2.3. Μακέτα από την αλάνα της Τούμπας μετά την αποπεράτωση του έργου

στο εξωτερικό κέλυφος, γιατί προσφέρει αυξημένη ηχομόνωση, και μειώνει την θερμική επιβάρυνση αυτής κατά τους θερινούς μήνες όπως θα αποδειχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 2.4. Πραγματική διατομή δικέλυφης αδιαφανούς όψης (ορθομαρμάρωση)



Εικόνα 2.5. Μακρινή εικόνα της δικέλυφης όψης κατά την κατασκευή της

Οι εικόνες 2.4 και 2.5 παρουσιάζουν την διαμόρφωση της νοτιοδυτικής όψης σε ένα κτίριο στην αλάνα της Τούμπας όπου φαίνεται η δικέλυφη τοιχοποιία, με το εξωτερικό κέλυφος να είναι κατασκευασμένο από μάρμαρο, το διάκενο να έχει πλάτος περίπου 5 cm και η μόνωση στο εσωτερικό κέλυφος να βρίσκεται στον πυρήνα στην τοιχοποιία και εξωτερικά στον φέροντα οργανισμό.

3. Ανάπτυξη προσομοιωτικού μοντέλου περιγραφής του φυσικού αερισμού

3.1 Γενικά

Οι δικέλυφες αδιαφανείς όψεις έχουν την δυνατότητα να απομακρύνουν την αποθηκευμένη θερμότητα των δομικών στοιχείων. Αυτή τους η δυνατότητα βασίζεται στο φαινόμενο της φυσικής άνωσης λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Παρακάτω θα παρουσιαστεί το προσομοιωτικό πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί για να αποδειχθεί αυτό το φαινόμενο και ορισμένα γενικά στοιχεία για τα προσομοιωτικά εργαλεία, το φυσικό φαινόμενο το ίδιο καθώς επίσης και οι μαθηματικές σχέσεις που το διέπουν και τέλος η μορφή και τα χαρακτηριστικά του μοντελοποιημένου μαθηματικού τύπου που χρησιμοποιήθηκε.

3.2. Περί προσομοιωτικών εργαλείων

3.2.1. Δυναμικές προσομοιωτικές μέθοδοι επίλυσης ενεργειακών προβλημάτων

Η ακριβέστερη προσέγγιση της ενεργειακής συμπεριφοράς συστημάτων και πιο συγκεκριμένα των κτιρίων, είναι η δυναμική ενεργειακή προσομοίωση. Σε αυτή δημιουργείται ένα ακριβές μαθηματικό μοντέλο το οποίο αντιπροσωπεύει το εκάστοτε κτίριο ως ενεργειακό σύστημα, και οι υπολογισμοί γίνονται συνήθως σε επίπεδο ώρας, για όλο το διάστημα της ημέρας. Αξιοποιούνται όλες οι δυναμικές παράμετροι που παρουσιάζονται σε ένα κτίριο, όπως η θερμική μάζα του κτιρίου, οι οποίες αδυνατούν να προσομοιωθούν με στατικές μεθόδους. Μπορούν να προκύψουν ακριβέστερα και αληθοφανέστερα αποτελέσματα σχετικά με το επίπεδο της θερμικής άνεσης και άλλων πολλών παραμέτρων που αφορούν ένα κτίριο.

Πλεονεκτήματα των δυναμικών μεθόδων προσομοίωσης στην περίπτωση υφιστάμενων κατασκευών, είναι ότι μπορεί να ελεγχθεί η ακρίβεια του δημιουργημένου μοντέλου με την αντιπαράθεση των μετρήσεων που έχουν ληφθεί και των αποτελεσμάτων της ενεργειακής προσομοίωσης.

Στα μειονεκτήματα των μεθόδων είναι γενικά, η απαίτηση για την ύπαρξη ωριαίων κλιματικών δεδομένων της περιοχής, η ανάγκη για ακριβέστερη περιγραφή των λειτουργικών χαρακτηριστικών του κτιρίου και η ανάγκη για εκτίμηση ενός μεγάλου πλήθους δεδομένων εισόδου, τα οποία απαιτούν καλή εμπειρία του χρήστη, ενώ συχνά δεν αποφεύγονται τα λάθη πληκτρολόγησης.

Η δυσκολία χρήσης τέτοιων προγραμμάτων είναι ανάλογη με τις δυνατότητες και τη συνεπακόλουθη πολυπλοκότητά τους. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί υβριδικές μέθοδοι, οι οποίες αξιοποιούν τη δυναμική προσομοίωση αλλά υπολογίζουν τις αβέβαιες παραμέτρους – όπως ο αερισμός – με απλοποιημένο τρόπο όπως και οι στατικές.

Ένα από τα πλέον ολοκληρωμένα προσομοιωτικά εργαλεία αποτελεί το TRNSYS, οι χρήσεις του οποίου και τα υποπρογράμματα που το αποτελούν περιγράφονται σε επόμενη ενότητα. [3]

3.2.2. Τεχνικές ενεργειακής προσομοίωσης

Από άποψη δομικής φυσικής και μετάδοσης θερμότητας, ένα κτίριο αποτελεί ένα πολύπλοκο δίκτυο θερμικών αντιστάσεων και θερμικών χωρητικότητων, με συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών στοιχείων και ποσοτήτων αέρα χώρου. Μέσω αυτών των συνδέσεων μεταδίδεται διαρκώς θερμότητα με αγωγιμότητα, μεταφορά και ακτινοβολία, ενώ γίνεται παράλληλα θερμική αποθήκευση στα στοιχεία με θερμο-αποθηκευτική ικανότητα. Υπό αυτή τη θεώρηση, όλα αυτά τα φαινόμενα μπορούν να περιγραφούν με απλές ή πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις, μεταφράζοντας το φυσικό μοντέλο που μόλις περιγράφηκε, σε σύστημα μαθηματικών εξισώσεων ή αλλιώς, σε μαθηματικό μοντέλο. Σε αυτή τη μαθηματική θεώρηση, μπορεί να γίνει μια σειρά απλουστευτικών παραδοχών με αγνόηση ορισμένων παραμέτρων, εισαγωγή σταθερών και συντελεστών προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα και να γίνει εφικτή η επίλυση του συστήματος. Στην ιδεατή περίπτωση, κατά την οποία καμία απλουστευτική παραδοχή δεν γίνονταν, στο σύστημα μαθηματικών εξισώσεων θα είχε πρακτικά άπειρες εξισώσεις που θα έπρεπε να επιλυθούν. Ακόμη και εάν οι παραδοχές ήταν ασήμαντες και μπορούσε κανείς να καταλήξει σε ορισμένες χιλιάδες εξισώσεις, το πλήθος των δεδομένων το οποίο θα έπρεπε να εισαχθεί στο μοντέλο θα ήταν

τόσο μεγάλο, ώστε θα ήταν στατιστικά αδύνατη η αποφυγή σφάλματος, αλλά και η εύρεση των σφαλμάτων σε αυτό το μεγάλο πλήθος δεδομένων.

Ανάλογα με τους συμβιβασμούς στους οποίους προβαίνει κάθε μοντέλο, κρίνεται και η ευχρηστία, η απλότητα, η εγκυρότητα και η αποτελεσματικότητά του. Γενικά, διακρίνονται 5 μέθοδοι θερμικών μοντέλων για την ενεργειακή προσομοίωση των κτιρίων:

- Σταθερών συνθηκών (steady state) (δεν χαρακτηρίζονται ως προσομοιωτικά ή ως δυναμικά μοντέλα, αλλά απλά υπολογιστικά εργαλεία)
- Μοντέλα λειτουργικής απόκρισης (response function)
- Αριθμητικά μοντέλα (numerical)
- Μοντέλα ηλεκτρικού ανάλογου (electrical analogue)

Κάθε μέθοδος σχεδιάζεται ώστε να ικανοποιεί τον πρώτο και δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής αλλά όσο ο βαθμός πολυπλοκότητας μειώνεται, τόσο περισσότερες θερμικές ροές αγνοούνται ή απλοποιούνται και η μέθοδος υποβαθμίζεται σε απλή υπολογιστική, η οποία υπόκεινται σε σειρά αβεβαιοτήτων και γενικεύσεων.[4]

3.2.2.1. Μέθοδοι σταθερών συνθηκών (Steady state)

Αυτές οι μέθοδοι δεν διαθέτουν κάποιο αλγόριθμο για την ακριβή ενσωμάτωση των επιδράσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, εσωτερικών κερδών, των ανταλλαγών ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, της δυναμικής λειτουργίας των εγκαταστάσεων και της στρατηγικής της λειτουργίας τους. Τα περισσότερα περιορίζονται στον υπολογισμό θερμικών ροών με αγωγιμότητα (με συγκεκριμένες παραδοχές) από τα δομικά στοιχεία του κελύφους. Αγνοούν πλήρως το δυναμικό χαρακτήρα της μετάδοσης θερμότητας και την αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφόρων ροών θερμότητας (Για παράδειγμα, η μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας η οποία προέρχεται από την παρεχόμενη ενέργεια από ένα σύστημα θέρμανσης, δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς, ασχέτων εάν μεταβάλει τη θερμοκρασιακή διαφορά μέσα έξω)

Σήμερα, αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται μόνο σε επίπεδο ελάχιστης ικανοποίησης εθνικών κανονισμών εάν δεν γίνεται ακριβέστερη μελέτη (ή αν δεν υπάρχει το νομοθετικό πλαίσιο το οποίο να επιτρέπει ακριβέστερες μελέτες, όπως στην Ελλάδα), για προ-διαστασιολόγηση συστημάτων σε προκαταρκτικά στάδια του σχεδιασμού, ή σε περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι μη πρακτική η χρήση εξελιγμένων μεθόδων (π.χ. όταν υπάρχουν τα γενικά χαρακτηριστικά του κτιρίου, αλλά η μελέτη δεν έχει προχωρήσει τόσο ώστε να μην υπάρχουν αρκετά στοιχεία για να εισαχθούν σε πιο εξελιγμένη μέθοδο.)

Στα αποτελέσματά τους συνήθως περιλαμβάνονται μέσες τιμές σε επίπεδο μήνα ή έτους, χωρίς πληροφορίες για την εξέλιξη της κατανάλωσης και της ισχύος των συστημάτων ώστε να ληφθούν διορθωτικά μέτρα από το σχεδιασμό ακόμη. [4]

3.2.2.2. Μοντέλα λειτουργικής απόκρισης (Response function)

Καθορίζοντας οριακές συνθήκες στις θερμικές ροές, δυνατό να επιλυθεί το μαθηματικό σύστημα μερικών παραγώγων με το οποίο περιγράφονται τα ενεργειακά φαινόμενα. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει όλες τις ιδιότητες των υλικών, όπως η θερμοχωρητικότητα και προσεγγίζει με ακρίβεια το δυναμικό χαρακτήρα των ενεργειακών φαινομένων. [4]

3.2.2.3. Αριθμητικά μοντέλα (Numerical)

Η ενεργειακή προσομοίωση κτιρίων και κτιριακών συστημάτων με την επίλυση του μαθηματικού μοντέλου με αριθμητικές μεθόδους, αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο μεταξύ των εγκυρότερων εργαλείων ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων. Αυτά τα εργαλεία γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη τη δεκαετία του 1980 λόγω της κατασκευής προσιτών υπολογιστικών συστημάτων τα οποία μπορούν να μειώσουν το κόστος χρήσης αλλά και το χρόνο εκτέλεσης μιας προσομοίωσης. Οι βασικότερες τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι οι μέθοδοι των πεπερασμένων διαφορών και των πεπερασμένων στοιχείων, με την πρώτη να αποτελεί τη δημοφιλέστερη τεχνική στην ενεργειακή προσομοίωση ολόκληρων κτιρίων και τη δεύτερη σε εξειδικευμένα μοντέλα ανάλυσης επιμέρους στοιχείων του κτιρίου. [4]

3.2.3. Έννοιες που αφορούν τα μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης

Τα σύγχρονα μοντέλα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας πολυζωνικού κτιριακού μοντέλου. Ως θερμική ζώνη του κτιρίου, νοείται κάθε χώρος ο οποίος διαφοροποιείται θερμικά από τους υπόλοιπους χώρους του κτιρίου. Η διάκριση ενός κτιρίου σε θερμικές ζώνες, επιτρέπει τη μελέτη κάθε ζώνης ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες ώστε πέρα από τις ενεργειακές ανταλλαγές με το περιβάλλον να μελετώνται και οι ενεργειακές ανταλλαγές μεταξύ των χώρων του κτιρίου. Αυτό στο στάδιο της μελέτης δίνει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης και του εσωτερικού χώρου ενός κτιρίου. Από την άλλη, η δυνατότητα διάκρισης ενός κτιρίου σε θερμικές ζώνες επιτρέπει να προσομοιωθούν με ακρίβεια χώροι με διαφορετικές λειτουργίες ή απαιτήσεις εντός του ιδίου κτιρίου. (Για παράδειγμα σε μια 4όροφη οικοδομή, με καταστήματα στο ισόγειο και αυτόνομα συστήματα θέρμανσης – ψύξης, η θεώρηση μιας μόνο θερμικής ζώνης που να περιλαμβάνει όλους αυτούς του χώρους, δεν επιτρέπει ακριβή προσομοίωση διότι άλλες καταναλώσεις έχουν τα ενδιάμεσα διαμερίσματα και άλλες οι ακραίοι όροφοι, όπως και διαφορετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά υπάρχουν μεταξύ των χώρων αυτών.

Έτσι, εσωτερικά στο μοντέλο, οι υπολογισμοί γίνονται για κάθε θερμική ζώνη. Όπως αντιλαμβάνεται κανείς, στα δεδομένα εισόδου, ο χρήστης καλείται να περιγράψει το κέλυφος, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, τον αερισμό και τα συστήματα της κάθε ζώνης ξεχωριστά. Όσο αναλυτικότερη γίνεται η προσομοίωση, τόσο περισσότερα στοιχεία πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο. [4]

3.3. Το TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και ευέλικτο προσομοιωτικό εργαλείο για την δυναμική προσομοίωση συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου και των πολυζωνικών κτιρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές σε όλο τον κόσμο για να επαληθεύσει νέες ενεργειακές θεωρίες, ξεκινώντας από απλά εσωτερικά συστήματα ζεστού νερού έως τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων και του εξοπλισμού τους, εμπεριέχοντας στρατηγικές ελέγχου, συμπεριφορά των χρηστών, εναλλακτικές μορφές ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου), κ.α.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που οδήγησαν στην επιτυχία του TRNSYS, ως ένα από τα πλέον ολοκληρωμένα προσομοιωτικά πακέτα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών είναι η ανοικτή, αποτελούμενη από τμήματα δομή του. Ο κώδικας του πυρήνα του προγράμματος καθώς και των μοντέλων – στοιχείων, παραδίδεται στους χρήστες του. Κάτι τέτοιο απλοποιεί την τροποποίηση των υπάρχοντων στοιχείων, για να μπορούν να ανταποκριθούν στις συγκεκριμένες ανάγκες του εκάστοτε χρήστη.

Η βασισμένη σε DLL δομή επιτρέπει στους χρήστες και σε προγραμματιστές βελτίωσης, να μπορούν εύκολα να προσθέσουν και να διαμορφώσουν τα μοντέλα που αυτοί επιθυμούν, χρησιμοποιώντας όλες τις γνωστές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN, κ.α.). Επιπλέον το TRNSYS μπορεί εύκολα να συνδεθεί με πολλές άλλες εφαρμογές, για προεπεξεργασία, μετεπεξεργασία ή για διαδραστικές συνδέσεις κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. με το Microsoft Excel, το Matlab, το COMIS, κ.α.).

Οι εφαρμογές που καλύπτει το TRNSYS είναι:

- Ηλιακά συστήματα (ηλιακή θέρμανση και φωτοβολταϊκά)
- Κτίρια χαμηλής κατανάλωσης με συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού με εξελιγμένα στοιχεία (φυσικός αερισμός, τοίχοι Michel - Trombe, δίκελυφες όψεις κ.α.)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαραγωγή και κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση!

[20]

3.3.1. Βασική ορολογία του TRNSYS

Κάθε μελέτη του TRNSYS σχεδιάζεται ενώνοντας τα στοιχεία – μοντέλα γραφικά στο Simulation Studio με διανύσματα που ορίζουν ποιο στοιχείο δίνει δεδομένα στο άλλο και αντίστροφα. Κάθε Type αποτελεί την μαθηματική έκφραση ενός στοιχείου στην μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS και έχει μια απεικόνιση (Proforma) μέσα στο Simulation Studio. Κάθε απεικόνιση είναι ένα μαύρο κουτί που περιγράφει το κάθε στοιχείο: δεδομένα εισόδου, εξόδου, πα-

ράμετροι κ.α.. Τα στοιχεία του TRNSYS αναφέρονται ως Types (π.χ. το Type 1 είναι ο ηλιακός συλλέκτης και το πολυζωνικό μοντέλο κτιρίου αποτελεί το Type 56). Το Simulation Studio δημιουργεί ένα αρχείο κειμένου για την μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS που αποτελεί το γενικό αρχείο εισόδου και ονομάζεται deck file (*.dck). [20]

3.3.2. Το πακέτο του TRNSYS

Το TRNSYS αποτελείται από τα ακόλουθα υποπρογράμματα:

- το TRNSYS Simulation Studio,
- η μηχανή προσομοίωσης (TRNDll.dll),
- το εκτελέσιμο πρόγραμμα (TRNExe.exe),
- το γραφικό περιβάλλον ρύθμισης των δεδομένων εισόδου σε ένα κτίριο (TRNBuild.exe),
- και ένας διαρθρωτή (editor) που χρησιμοποιείται για την δημιουργία αυτόνομων προγραμμάτων τα οποία είναι γνωστά ως εφαρμογές TRNSED (TRNEdit.exe).

[20]

3.3.3. Το TRNSYS Simulation Studio

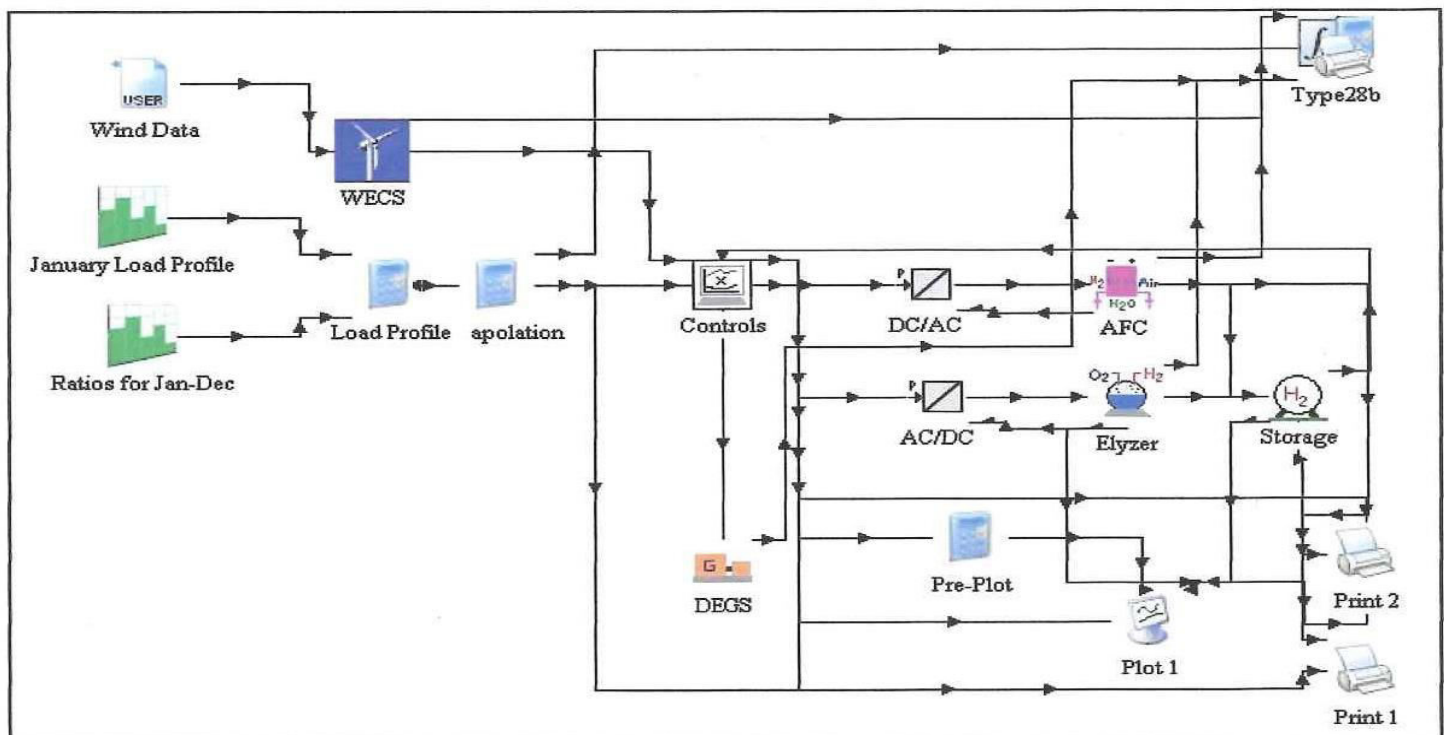
Το βασικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS είναι το Simulation Studio (επίσης γνωστό ως IISiBat). Σ' αυτό μπορεί κανείς να δημιουργήσει μελέτες με πολύ απλό τρόπο, αφού μπορεί με την βοήθεια του κέρσορα να "σύρει" τα στοιχεία που χρειάζεται στο χώρο εργασίας και να τα συνδέσει μεταξύ τους ρυθμίζοντας παράλληλα και όλες τις απαιτούμενες παραμέτρους.

Το Simulation Studio αποθηκεύει όλα τα χαρακτηριστικά της κάθε μελέτης σε ένα αρχείο με το όνομα "Trnsys Project File (*.tpf)". Όταν τρέχει η προσομοίωση το Simulation Studio επίσης δημιουργεί το αρχείο εισόδου το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για την προσομοίωση αλλά όχι γραφικές πληροφορίες.

Το Simulation Studio επίσης περιλαμβάνει έναν διαχειριστή αποτελεσμάτων (δεδομένων εξόδου) με τον οποίο μπορεί κανείς να επιλέξει τις μεταβλητές οι οποίες θα ενοποιηθούν, θα εκτυπωθούν και/ή απεικονιστούν διαγραμματικά, και έναν διαχειριστή σφαλμάτων και καταγραφής όλων όσων συνέβησαν στην διάρκεια της προσομοίωσης.

Μπορούν να πραγματοποιηθούν πολλές διαφορετικές ενέργειες μέσα από το Simulation Studio:

- Δημιουργία νέας μελέτης χρησιμοποιώντας τον οδηγό νέων μελετών “New Project Wizard”,
- δημιουργία σκελετού για νέα στοιχεία μέσω της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN,



Σχήμα 3.1. Παράδειγμα παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτρια και αποθήκευσή της σε δεξαμενή υδρογόνου με την βοήθεια κυψέλης καυσίμου στο Simulation Studio του TRNSYS16. Πηγή:[21]

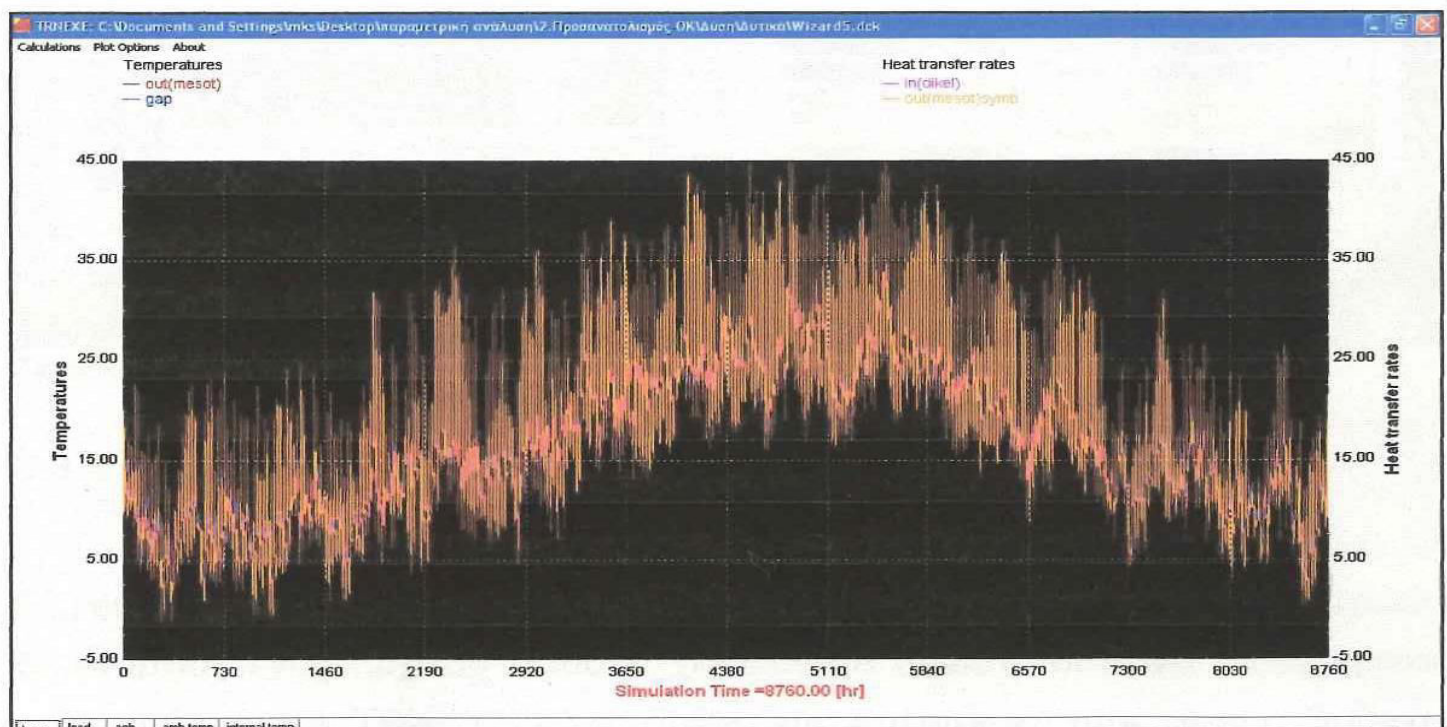
- έλεγχος και αλλαγή των στοιχείων – μοντέλων μέσω των απεικονίσεών τους,
- έλεγχος αποτελεσμάτων κ.α.

3.3.4. Η μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS

Η μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS είναι προγραμματισμένη σε FORTRAN και ο κώδικάς είναι ελεύθερος για αλλαγές και τροποποιήσεις. Η μηχανή συντάσσεται μέσω της δυναμικής βιβλιοθήκης συνδέσεων των Windows (Dynamic Link Library, DLL), στο TRNDII. Ο πυρήνας του TRNSYS διαβάζει όλες τις πληροφορίες που αφορούν την προσομοίωση (πια στοιχεία χρησιμοποιούνται και πώς είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους) από το αρχείο εισόδου του TRNSYS (*.dck). Ακόμα ανοίγει επιπλέον αρχεία εισόδου (π.χ. κλιματικά αρχεία) και δημιουργεί τα τελικά αρχεία εξόδου.

Η μηχανή προσομοίωσης ενεργοποιείται από το εκτελέσιμο πρόγραμμα TRNExe, το οποίο καλεί και τον σχεδιαστή διαγραμμάτων, ο οποίος είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της πορείας των αποτελεσμάτων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Ο σχεδιαστής διαγραμμάτων έχει επιπλέον την δυνατότητα να κάνει μεγέθυνση του διαγράμματος σε όποιο σημείο επιθυμεί ο χρήστης και για οποιοδήποτε χρονικό βήμα. [20]

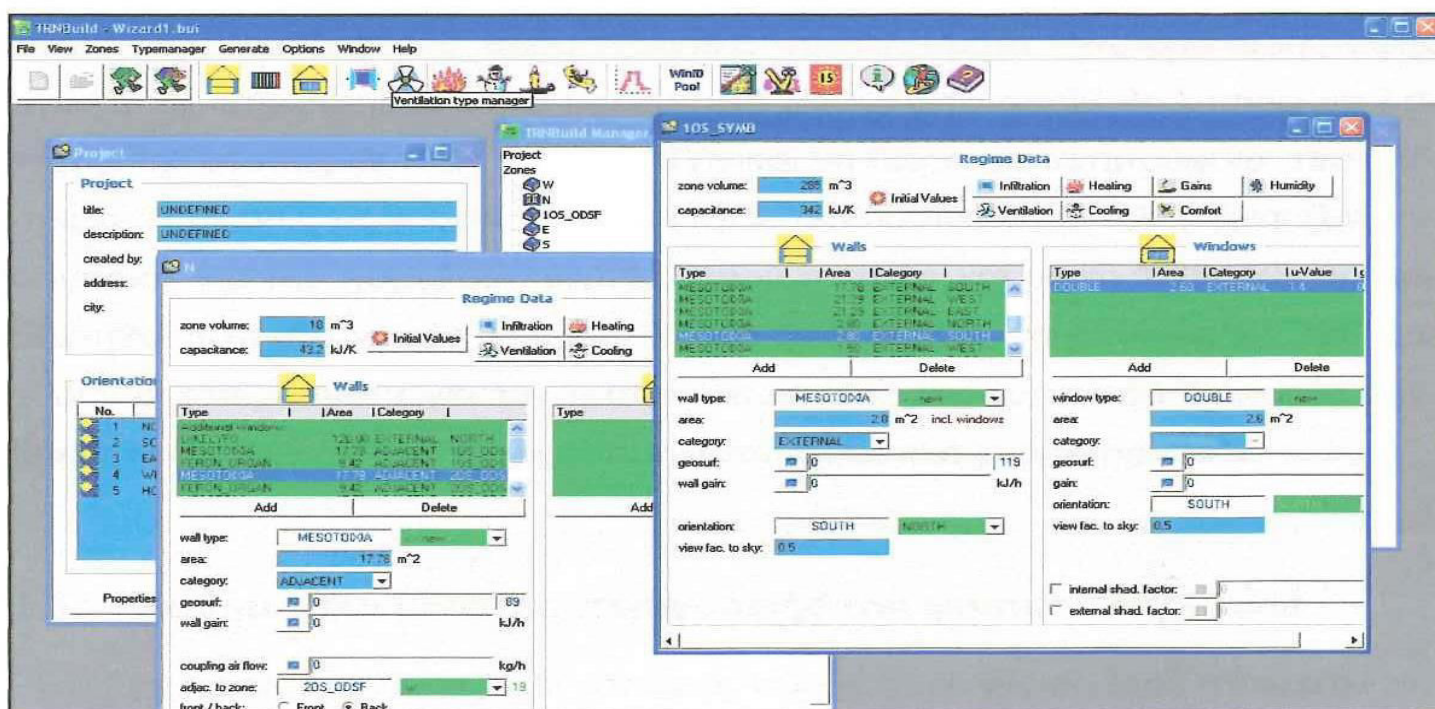


Σχήμα 3.2. Ο σχεδιαστής διαγραμμάτων στο TRNExe

3.3.5. Το γραφικό περιβάλλον του κτιρίου

Το TRNBuild (γνωστό και ως Prebid) αποτελεί ένα εργαλείο για την εισαγωγή στο πρόγραμμα των χαρακτηριστικών κάθε πολυζωνικού κτιρίου. Επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει όλες τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενός κτιρίου, καθώς επίσης ότι επιπλέον απαιτείται για την σωστή προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου, όπως οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, χρονοδιαγράμματα ψύξης και θέρμανσης κ.α..

Το TRNBuild δημιουργεί ένα αρχείο περιγραφής του κτιρίου (*.bui) το οποίο περιέχει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ολοκληρωμένη και αντικειμενική προσομοίωση του. [20]



Σχήμα 3.3. Εικόνα από το TRNBuild

3.3.6. Οι εφαρμογές TRNEdit και TRNSED

Το TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος διαρθρωτής ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει ή να τροποποιήσει αρχεία εισόδου για το TRNSYS. Η διαδικασία δημιουργίας ενός αρχείου εισόδου χειροκίνητα συνιστάται μόνο στους έμπειρους χρήστες του TRNSYS λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας, ενώ η διαδικασία τροποποίησης ενός υφιστάμενου αρχείου είναι απλούστερη.

Από την άλλη όμως, το TRNEdit μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών (γνωστών ως εφαρμογών TRNSED). Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από χρήστες που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS, έτσι ώστε να υπάρχει για αυτούς πρόσβαση σε ένα απλοποιημένο προσομοιωτικό εργαλείο. [20]

3.4. Η αδυναμία του TRNSYS να προσομοιώσει τις δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις

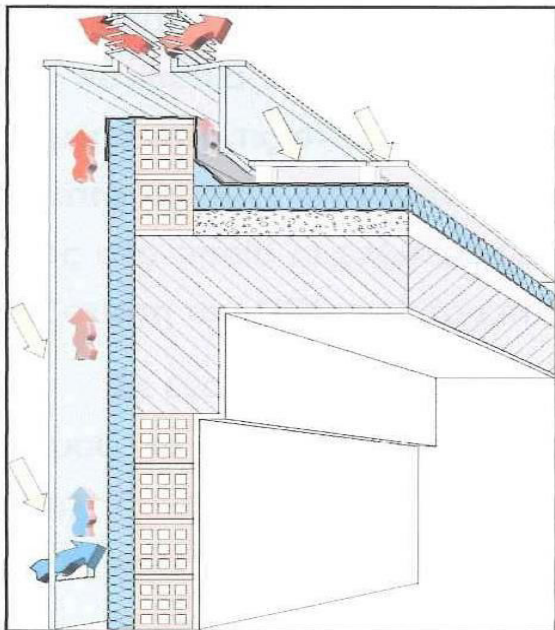
Το TRNSYS έχει την δυνατότητα να προσομοιώσει πάρα πολλές κατηγορίες φαινομένων και διατάξεων. Όμως αδυνατεί να αντιμετωπίσει με κάποιο τρόπο τις δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις. Γι' αυτόν τον λόγο και για να είναι εφικτό να ληφθούν προσομοιωτικά αποτελέσματα μιας δικέλυφης όψης πρέπει να κατασκευαστεί ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο θα μπορεί να λειτουργήσει στο περιβάλλον του TRNSYS και να δώσει τα απαιτούμενα αποτελέσματα. Η ανάγκη δημιουργίας ενός τέτοιου μαθηματικού μοντέλου είναι ζωτικής σημασίας για την παρούσα εργασία, αφού με αυτό και με το TRNSYS θα διερευνηθεί η συμπεριφορά μιας δικέλυφης αεριζόμενης τοιχοποιίας και θα εξαχθούν συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας της κάτω από διαφορές συνθήκες λειτουργίας και με διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

3.5. Μαθηματικό μοντέλο περιγραφής του φυσικού αερισμού

Η πραγματικότητα είναι απείρως σύνθετη. Η γνώση που επικρατεί για τον κόσμο είναι πάντα πεπερασμένη και επομένως πάντα ελλιπής. Το θαύμα είναι ότι ο άνθρωπος λειτουργεί αρκετά καλά στον κόσμο παρά το ότι δεν τον κατανοεί πλήρως. Το εργαλείο για να την αντιμετωπίσει την ελλιπούς γνώσης, είναι η μοντελοποίηση. Το μοντέλο είναι μια μικρή πεπερασμένη (ελλιπής) περιγραφή μιας απείρως σύνθετης πραγματικότητας με σκοπό την διαλεύκανση των όποιων αποριών. Η πολυπλοκότητα ενός μοντέλου εξαρτάται από το είδος των ερωτήσεων που επιδιώκει κανείς να απαντήσει.

Ο αερισμός στα κτίρια είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, είτε αναφέρεται κανείς στο αερισμό των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, είτε στην ελεύθερη ροή του αέρα

εντός του διακένου μιας δικέλυφης τοιχοποιίας. Μια ερώτηση κλειδί είναι ποιες μεταβλητές πρέπει να ληφθούν υπόψη για να απαντήσουν σε μια ιδιαίτερη ερώτηση με αρκετή ακρίβεια. Για το φυσικό αερισμό το καλοκαίρι, οι μηχανικοί και οι αρχιτέκτονες ενδιαφέρονται να γνωρίζουν εάν το ποσοστό αερισμού είναι επαρκές για να εξαγάγει την θερμότητα από ένα δεδομένο διάκενο σε μια δικέλυφη τοιχοποιία. Μια κυρίαρχη παράμετρος που απαιτείται για να απαντηθεί αυτή η ερώτηση είναι, μεταξύ άλλων, η θέση και το μέγεθος των οπών αερισμού. Στη φάση προσχεδιασμού ενός προγράμματος χρησιμοποιούνται συχνά τα απλά μοντέλα αερισμού και είναι επαρκή για να καθορίσουν την επίδραση αυτών των παραμέτρων. Επιπλέον, σε μια σύγκριση μεταξύ λεπτομερών και απλών μοντέλων θερμικής άνωσης, διαπιστώθηκε ότι τα πιο σύνθετα μοντέλα δεν αυξάνουν πάντα την ακρίβεια του αποτελέσματος. [15],[19]

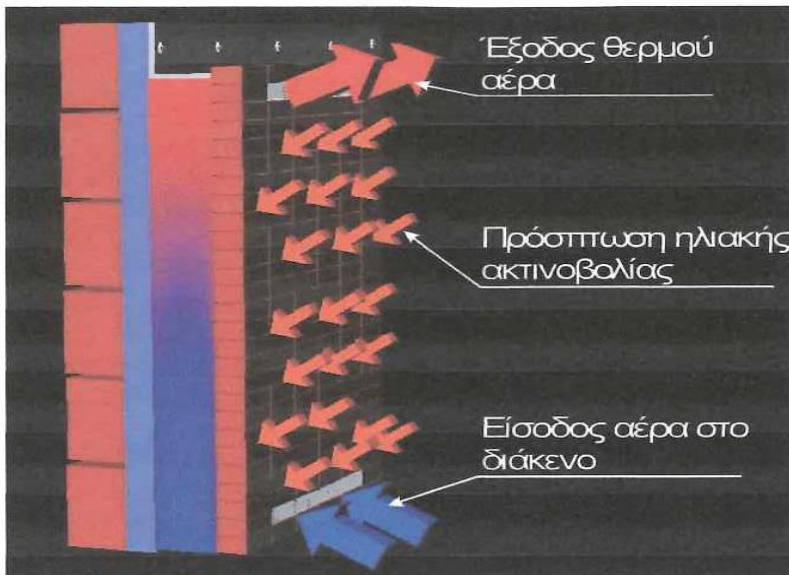


Σχήμα 3.4.

Βασική αρχή λειτουργίας της δικέλυφης όψης, πορεία του ρεύματος αέρα.

Πηγή: [Πρωτότυπο]

Η μαθηματική σχέση του Bernoulli (εξίσωση 2) προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την πορεία της ροής του αέρα και το ρυθμό της, καθώς και για τις ταχύτητες εισόδου και εξόδου. Διάφορα μοντέλα αναλυτικά και συνοπτικά έχουν αναπτυχθεί, όμως σε όλες αυτές τις προσπάθειες μοντελοποίησης υπάρχει έντονη αβεβαιότητα, που έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τρόπο λειτουργίας των μοντέλων και σχετίζεται με την υδραυλική αντίσταση στην ροή του αέρα. [17]



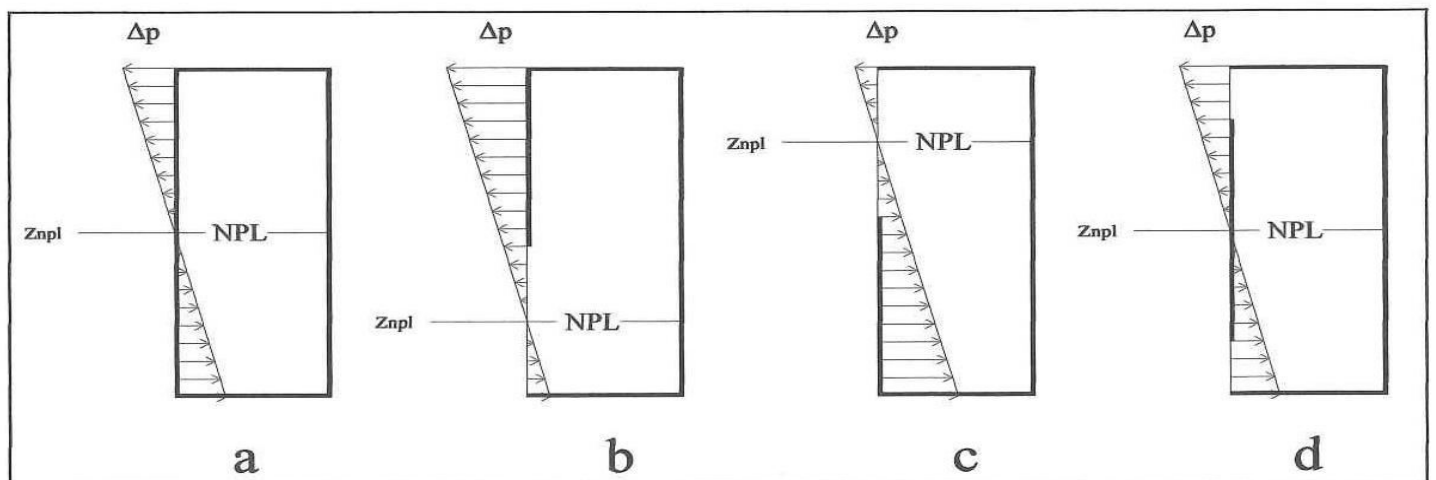
Σχήμα 3.5.

Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό κέλυφος δημιουργεί ανοδικό ρεύμα αέρα στο διάκενο, παρασύροντας με αυτόν τον τρόπο και την αποθηκευμένη θερμότητα των δομικών στοιχείων

Πηγή: [Πρωτότυπο]

Η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα προκαλεί διαφορά πυκνότητας, και επομένως διαφορά πίεσης μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία του διακένου είναι υψηλότερη από την εξωτερική, η κατανομή της πίεσης στο ύψος του διακένου λαμβάνει τις μορφές που παρουσιάζονται στο σχήμα 3.6. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο αέρας εισέρχεται μέσα από τις οπές που βρίσκονται χαμηλότερα του σημείου NPL και εξέρχεται από τις οπές πάνω από αυτό. Ως NPL (neutral pressure level) ορίζεται το ύψος στο οποίο οι εσωτερικές και εξωτερικές πιέσεις είναι ίσες. Το z_{NPL} είναι η απόσταση του NPL από το επίπεδο αναφοράς.

Σε ένα διάκενο με ομοιόμορφη κατανομή διαφυγών αέρα και ελλείψει του ανέμου, το σημείο NPL είναι κοντά στο μέσο του ύψους του διακένου (σχήμα 3.6a). Το μέγεθος και η θέση των οπών καθορίζουν τη θέση του NPL (σχήμα



Σχήμα 3.6. Κατανομή της πίεσης ΔP σε σχέση με το ύψος του NPL, βάση του εμβαδού και της θέσης των οπών εισόδου και εξόδου του αέρα απουσία ανέμου

Πηγή: [14]

3.6. b,c,d). Ένα άνοιγμα στην βάση του διακένου χαμηλώνει το επίπεδο NPL (σχήμα 3.6. b), και ένα άνοιγμα στην κορυφή του διακένου το ανυψώνει (σχήμα 3.6. c). Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της μάζας, η μάζας του αέρα που εισέρχεται μέσω των οπών κάτω από το επίπεδο NPL είναι ίση με τη μάζα του αέρα που εξέρχεται από την κορυφή του διακένου (σχήμα 3.6.d).

Ένα ακόμα βασικό ερώτημα είναι ποια τιμή θα έπρεπε να αποδοθεί σε συντελεστές που σχετίζονται με χαρακτηριστικά της ροής του ρεύματος αέρα στο διάκενο. Ενώ ένας μεγάλος αριθμός αντιστοίχων τέτοιων συντελεστών μπορεί να βρεθεί σε επιστημονικές εργασίες ([9],[10],[11]) λίγα είναι τα διαθέσιμα στοιχεία που σχετίζονται με τον κτιριακό τομέα. Επιπλέον, υπάρχει σύγχυση μεταξύ των εννοιών του συντελεστή εκτόνωσης και ταχύτητας και πολύ συχνά χρησιμοποιείται ο ένας αντί του άλλου.

Η υδροστατική εσωτερική(in)/εξωτερική(out) διαφορά πίεσης για ένα ε-σώκλειστο τμήμα εκφράζεται ως εξής:

$$\Delta p_s(z) = (\rho_o - \rho_i) \cdot g \cdot (z - z_{NPL}) = \rho_i \cdot g \cdot (z - z_{NPL}) \cdot \frac{(T_i - T_o)}{T_o} \quad (1)$$

	Δp_s	η διαφορά υδροστατικής πίεσης	Pa
	ρ_o	η πυκνότητα του εξωτερικού αέρα	kg/m ³
	ρ_i	η πυκνότητα του εσωτερικού αέρα	kg/m ³
όπου:	g	η επιτάχυνση της βαρύτητας	m/s ²
	z	το ύψος από το σημείο αναφοράς	m
	z_{NPL}	το ύψος του σημείου ουδέτερης πίεσης	m
	T_o	η εξωτερική θερμοκρασία	°C
	T_i	η εσωτερική θερμοκρασία	°C

όπου χρησιμοποιείται η εξίσωση ιδανικού αερίου και γίνεται μονοζωνική προσέγγιση του χώρου (καμία στρωματοποίηση θερμοκρασίας, σταθερή πυκνότητα εσωτερικού αέρα). [14]

3.5.1. Η εξίσωση Bernoulli

Η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας μεταξύ του επιπέδου NPL και της οπής εισόδου του αέρα δίνει την εξίσωση Bernoulli.

Η γενική μορφή της εξίσωσης Bernoulli είναι η εξής:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} + g \cdot z = const \quad (2)$$

	P	η πίεση	Pa
	ρ	η πυκνότητα	kg/m ³
όπου:	g	η επιτάχυνση της βαρύτητας	m/s ²
	z	το ύψος από το σημείο αναφοράς	m
	u	η ταχύτητα	m/s

Καθένας από τους παραπάνω όρους, αντιπροσωπεύει ενέργεια ανά μονάδα μάζας του ρευστού που μεταφέρεται από το ρευστό και είναι η:

- η δυναμική ενέργεια ρ/ρ
- η κινητική ενέργεια $u^2/2$
- και η δυνητική ενέργεια gz

Η τελευταία παριστά την απόσταση από κάποιο οριζόντιο επίπεδο, η θέση του οποίου δεν επηρεάζει την ενέργεια που υπάρχει σε μια γραμμή ροής γιατί σε τελευταία ανάλυση όλα τα σημεία της ροϊκής γραμμής επηρεάζονται από κάποια μεταβολή του επιπέδου αναφοράς κατά τον ίδιο τρόπο.

Η εξίσωση Bernoulli ισχύει για:

- σταθερή ροή
- ροή χωρίς τριβές
- σταθερή πυκνότητα
- κατά μήκος γραμμών ροής

Η σταθερά είναι η ίδια για διάφορες γραμμές ροής εφ' όσον μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλες ξεκινούν από ένα σημείο που έχει σταθερή ενέργεια.

Στην περίπτωση που εξετάζονται τα χαρακτηριστικά της ροής ανάμεσα σε δύο σημεία 1 και 2, η σχέση που τα συνδέει είναι:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + g \cdot z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + g \cdot z_2 \quad (3)$$

[2]

Η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο τμημάτων είναι το άθροισμα της τοπικής πτώσης πίεσης στο άνοιγμα (συντελεστής ξ) και της πτώσης πίεσης λόγω της τριβής στην πορεία του αέρα από το A1 στο NPL (συντελεστής ζ).

$$\Delta p_{local} = \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot \rho_o u_1^2 \quad (4)$$

$$\Delta p_{frictional} = \frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot \rho_o u_1^2 \quad (5)$$

Υπό αυτές τις συνθήκες, η εξίσωση Bernoulli γίνεται:

$$\Delta p_s(z) - \frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot \rho_o u_1^2 - \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot \rho_o u_1^2 - \frac{1}{2} \cdot N_1 \cdot \rho_o u_1^2 = 0 \quad (6)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1) και (6), η ταχύτητα του αέρα στην οπή εισόδου μπορεί να εκφραστεί με την σχέση:

$$u_1 = \phi \sqrt{2g(z - z_{NPL}) \cdot \frac{(T_i - T_o)}{T_o}} \quad (7)$$

όπου γίνεται χρήση της προσέγγισης $\rho_i \cong \rho_o$ (εφικτό για τις υπό εξέταση θερμοκρασίες). Ο συντελεστής ταχύτητας μπορεί να εκφραστεί με την σχέση:

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{\xi + \zeta + N_1}} \quad (8)$$

όπου:

N_1	ο συντελεστής κινητικής ενέργειας ανάλογα με την κατανομή της ταχύτητας στην οπή εισόδου,
ξ	ο συντελεστής τοπικής πτώσης πίεσης για την οπή εισόδου,
ζ	ο συντελεστής πτώσης πίεσης λόγω τριβής.

Σε ένα πραγματικό διάκενο το ζ περιλαμβάνει επίσης την επίδραση της πτώσης πίεσης λόγω εμποδίων εντός του διακένου και τις αλλαγές κατεύθυνσης στην πορεία της ροής του αέρα.

Δεδομένου ότι είναι δύσκολο να διακριθεί η επίδραση κάθε παραμέτρου που περιλαμβάνεται στον συντελεστή ϕ , αυτός καθορίζεται πειραματικά και εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds, από την φύση της οπής εισόδου καθώς επίσης και από τα εμπόδια της πορείας της ροής του αέρα.. [14]

3.5.2. Δημιουργία πίδακα στην οπή εισόδου

Η ροή του αέρα που περνά μέσω ενός ανοίγματος διαμορφώνει έναν πίδακα. Οι αεροδυναμικές γραμμές είναι κυρτές κοντά στα άκρα του ανοίγματος

και η αποδοτική επιφάνεια του ανοίγματος είναι μικρότερη από τη γεωμετρική λόγω της συστολής των αεροδυναμικών γραμμών. Η συστολή του πίδακα εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds και από τη γεωμετρία των άκρων του ανοίγματος. Επιπλέον, οι διαστάσεις των ανοιγμάτων έχουν μια σημαντική επιρροή στη παραμόρφωση και επομένως στην αντίσταση της ροής.

Η αποδοτική επιφάνεια του ανοίγματος εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο ο πίδακας γεμίζει το άνοιγμα. Με ε συμβολίζεται ο συντελεστής της συστολής του πίδακα (ή συντελεστής πλήρωσης του τμήματος) και ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{A_{effective}}{A_{geometrical}} \quad (9)$$

όπου: $A_{effective}$ Η αποδοτική επιφάνεια της οπής εισόδου m^2
 $A_{geometrical}$ Η γεωμετρική – πραγματική επιφάνεια της οπής εισόδου m^2

[14]

3.5.3. Ρυθμός ροής αέρα

Η ολοκλήρωση στο ύψος του ανοίγματος δίνει το ρυθμό ροής του αέρα μέσα απ' αυτό:

$$\dot{u} = \int_1^2 W \cdot u \cdot dz \quad (10)$$

όπου W είναι το πλάτος του ανοίγματος, z είναι το ύψος και u η ταχύτητα.

Για ένα άνοιγμα ύψους H , η ολοκλήρωση δίνει:

$$\dot{u} = \frac{1}{3} \varepsilon \cdot \phi \cdot A \sqrt{gH \cdot \frac{\Delta T}{T_i}} \quad (11)$$

όπου: ε ο συντελεστής συστολής του πίδακα
 ϕ ο συντελεστής της ταχύτητας
 A το εμβαδόν της οπής εισόδου του αέρα m^2
 g η επιτάχυνση της βαρύτητας m/s^2
 H το ύψος του διακένου m
 ΔT η θερμοκρασιακή διαφορά $^{\circ}C$
 T_i η θερμοκρασία του διακένου $^{\circ}C$

Για δύο οπές (εισόδου - εξόδου) η ταχύτητα του αέρα μπορεί να θεωρηθεί σταθερή σε όλο το ύψος του ανοίγματος εάν το άνοιγμα είναι μακριά από το επίπεδο NPL. Η μέση ταχύτητα του αέρα μπορεί να ληφθεί ίση με την ταχύτητα στο κέντρο του ανοίγματος. Σε αυτήν την περίπτωση ο ρυθμός της ροής του αέρα είναι:

$$\dot{u} = A \cdot C_d \sqrt{2g(z - z_{NPL}) \cdot \frac{(T_i - T_o)}{T_o}} \quad (12)$$

Το C_d είναι ο συντελεστής εκτόνωσης και ισούται με το γινόμενο του συντελεστή ταχύτητας φ επί του συντελεστή συστολής ε .

$$C_d = \varepsilon \cdot \varphi \quad (13)$$

Ο συντελεστής εκτόνωσης μπορεί να βρεθεί πειραματικά όταν μετριέται άμεσα ο ρυθμός ροής αέρα, π.χ., με μια μέθοδο ανιχνευτών αερίου. Ο συντελεστής ταχύτητας μπορεί να καθοριστεί παρομοίως με τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα πειραματικά. [14]

3.5.4. Ουδέτερο επίπεδο πίεσης

Η αρχή διατήρησης της μάζας εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας την σχέση (12) σε έναν αεροστεγή εσώκλειστο χώρο με δύο οπές, μια στην κορυφή και μια στην βάση (εικόνα 3.2d). Με z_{NPL} , συμβολίζεται η απόσταση του επιπέδου NPL από το επίπεδο αναφοράς, και με H η κάθετη απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο οπών. Από τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί η σχέση (14):

$$z_{NPL} - z_1 = \frac{H}{1 + \left[\left(\frac{A_{bottom}}{A_{top}} \right)^2 \cdot \left(\frac{T_{in}}{T_{out}} \right) \right]} \quad (14)$$

z_{NPL}	η απόσταση του επιπέδου NPL από το επίπεδο αναφοράς	m
H	η κάθετη απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο οπών	m
z_1	η κάθετη απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους του κατώτατου ανοίγματος και του επιπέδου αναφοράς. Συνήθως $z_1 = 0$.	m
όπου:		
A_{bottom}	το εμβαδόν της χαμηλότερης οπής του διακένου	m ²
A_{top}	το εμβαδόν της οπής στην κορυφή του διακένου	m ²
T_{in}	η εσωτερική θερμοκρασία του διακένου	°C
T_{out}	η περιβαλλοντική θερμοκρασία	°C

Για εσώκλειστους χώρους με ένα ορθογώνιο κάθετο άνοιγμα, το επίπεδο NPL είναι τοποθετημένο κοντά στη μέση του ύψους του ανοίγματος όταν οι διαφορές θερμοκρασίας είναι μικρές και οι πυκνότητες του αέρα εισόδου και εξόδου είναι παρόμοιες (το σφάλμα είναι λιγότερο από 0,3% για ένα ΔT των 10 K). Για περισσότερες από δύο οπές ο υπολογισμός του ουδέτερου επιπέδου γίνεται περίπλοκος με τη χρήση μιας ρητής εξίσωσης και είναι προτιμότερη η χρήση μιας αριθμητικής μεθόδου λύσης. [14]

3.6. Επιλογή εμπειρικού τύπου

Η χρήση της παραπάνω μεθοδολογίας προϋποθέτει την πειραματική προσέγγιση των συντελεστών ταχύτητας και εκτόνωσης, πράγμα που ξεπερνά τα όρια της παρούσας εργασίας, καθώς οι τιμές των συντελεστών C_d και ϕ που υπάρχουν διαθέσιμες και είναι μετρημένες πειραματικά από πειράματα αντίστοιχου χαρακτήρα αλλά άλλων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών, που έχουν πραγματοποιηθεί ανά την υφήλιο, έχουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ τους, λαμβάνοντας τιμές από 0,45 μέχρι 0,85. Γι' αυτόν τον λόγο όλοι οι υπολογισμοί που ακολουθούν βασίστηκαν στον εμπειρικό τύπο (15) ο οποίος ανταποκρίνεται στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ενός διακένου, και χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές σε περιπτώσεις που δεν έχουν αρκετό χρόνο στην διάθεσή τους ή τους λείπουν τα απαιτούμενα κονδύλια για να συλλέξουν πειραματικά τα απαιτούμενα δεδομένα:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2gh}{\left(C_1 \left(\frac{A_g}{A_v}\right)^2 + C_2\right)}} \cdot \frac{(T_i - T_o)}{|T_i|} \quad (15)$$

	\bar{v}	η μέση ταχύτητα του αέρα στο διάκενο	m/s
	A_g	το εμβαδόν του διακένου	m ²
	A_v	το εμβαδόν των οπών εισόδου	m ²
όπου	C_1	συντελεστής πτώσης πίεσης στο άνοιγμα	8 (const)
	C_2	συντελεστής πτώσης πίεσης στο διάκενο	2 (const)
	T_i	η εσωτερική θερμοκρασία του διακένου	°C
	T_o	η περιβαλλοντική θερμοκρασία	°C
	g	η επιτάχυνση της βαρύτητας	m/s ²
	h	το ύψος του διακένου	m

Η διεύθυνση του διανύσματος της ταχύτητας είναι κατακόρυφη με φορά προς τα πάνω. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (T_o) ξεπεράσει αυ-

τήν του διακένου (T_i) τότε αντιστρέφονται οι όροι της θερμοκρασίας μέσα στον αριθμητή του κλάσματος και το T_i του παρονομαστή γίνεται T_o με ταυτόχρονη αντιστροφή του διανύσματος της ταχύτητας. [13]

3.7. Μεταφορά του μοντέλου φυσικού αερισμού σε γλώσσα προγραμματισμού & σύζευξή του με το προσομοιωτικό πρόγραμμα TRNSYS

Ο μαθηματικός τύπος (15) που παρουσιάστηκε παραπάνω στην ενότητα 3.6. μεταφράστηκε σε μορφή αναγνωρίσιμη από την γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN90 και στην συνέχεια τροποποιήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει στο περιβάλλον του TRNSYS ως ένα ανεξάρτητο στοιχείο με το όνομα component201. Στο παράρτημα παρατίθεται ο πλήρης κώδικας του μοντέλου από το TRNSYS.

3.7.1. Δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου που χρειάζεται το μοντέλο είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$) που λαμβάνεται από το κλιματικό αρχείο "weather data" (*.tm2) και η θερμοκρασία του διακένου ($^{\circ}\text{C}$) από το αρχείο "Building" (*.bui) που αποτελεί την προσομοιωμένη εικόνα του υπό εξέταση κτιρίου. Η τιμή της θερμοκρασίας του διακένου λαμβάνεται από το προηγούμενο χρονικό βήμα (1 ώρα) για την σωστότερη λειτουργία του μοντέλου.

3.7.2. Δεδομένα εξόδου

Τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα στο διάκενο (ach) λόγω του φαινομένου της φυσικής άνωσης που περιγράφηκε παραπάνω. Το αποτέλεσμα αυτό χρησιμοποιείται και πάλι από το κτίριο (*.bui) για να εξάγει την θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στο διάκενο της δικέλυφης τοιχοποιίας.

3.7.3. Παράμετροι

Οι απαιτούμενες παράμετροι του μοντέλου είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (g , m/s^2), το εμβαδόν του διακένου και των οπών εισόδου (m^2) με την προϋπόθεση ότι είναι ορθογωνικής διατομής, καθώς και το συνολικό του ύψος (m). Όλες αυτές οι παράμετροι ρυθμίζονται μέσα από το Simulation Studio του TRNSYS.

4. Παραμετρική ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς των δικέλυφων αδιαφανών όψεων

4.1. Γενικά

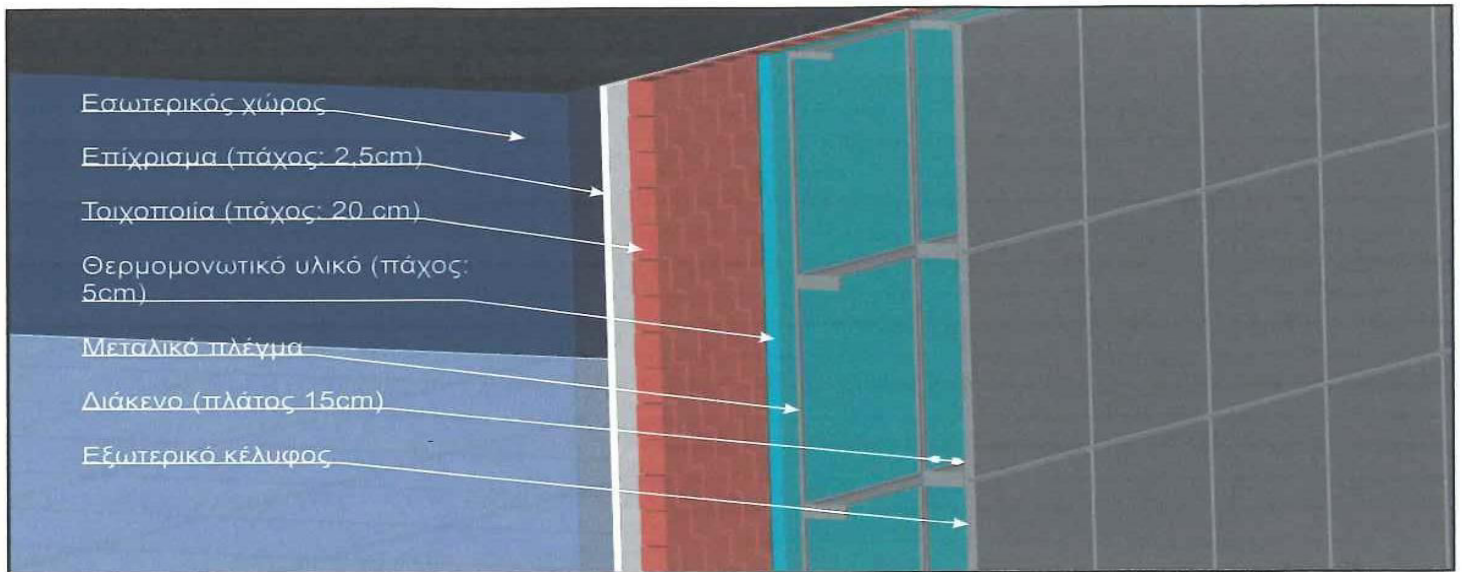
Στο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται μια παραμετρική ανάλυση για τις δικέλυφες αδιαφανείς αεριζόμενες όψεις. Σε μια παραμετρική ανάλυση εξετάζεται η συνολική συμπεριφορά μιας κατασκευής. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η εξέταση αυτή, είναι με την τροποποίηση όσων κατασκευαστικών χαρακτηριστικών κριθεί σκόπιμο. Με την ολοκλήρωση της παραμετρικής ανάλυσης μπορεί κανείς να ελέγξει την βαρύτητα της κάθε παραμέτρου που επηρεάζει το φαινόμενο που εξετάζεται (εδώ η φυσική άνωση), ώστε να τεκμηριωθεί η λειτουργία της κατασκευαστικής διάταξης κάτω από διαφορετικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.

4.2. Επιλογή των παραμέτρων της ενεργειακής συμπεριφοράς της δικέλυφης αδιαφανούς όψης

Η δικέλυφη τοιχοποιία λειτουργεί ως σύστημα αποφυγής της υπερθέρμανσης των κατακόρυφων δομικών στοιχείων του κελύφους του κτιρίου, τα οποία με την σειρά τους θα οδηγούσαν σε αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του χώρου.

Η παρούσα ενότητα ασχολείται με την δικέλυφη τοιχοποιία ως μεμονωμένη κατασκευή και διερευνά τις παραμέτρους σχεδιασμού της, χωρίς να την θεωρεί τμήμα ενός κτιρίου.

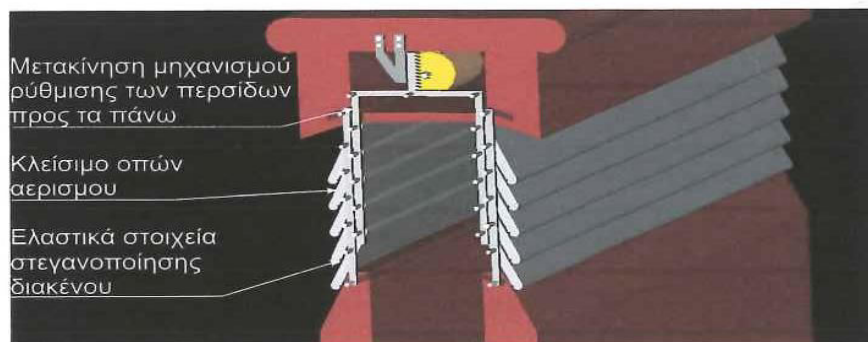
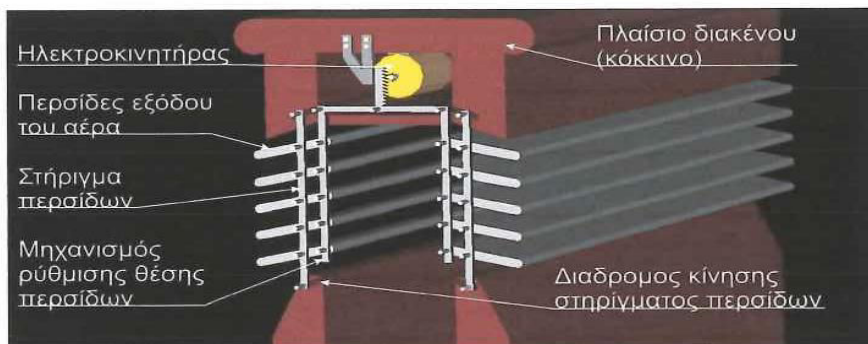
Προκειμένου τα συμπεράσματα του κεφαλαίου να έχουν γενική ισχύ, ανεξάρτητα από το είδος και την χρήση του κτιρίου, η μελέτη της δικέλυφης τοιχοποιίας γίνεται ανεξάρτητα από την γεωμετρία της και τις λειτουργικές συνθήκες του χώρου. Έτσι, μηδενίζεται οποιαδήποτε επιρροή παραμέτρων, που δεν σχετίζονται άμεσα με την ικανότητα της δικέλυφης τοιχοποιίας να προστατεύει από την υπερθέρμανση.



Σχήμα 4.1. Χαρακτηριστικά της δικέλυφης όψης στην κατάσταση αναφοράς Πηγή: [Πρωτότυπο]

Οι παράμετροι οι οποίες πρόκειται να εξεταστούν είναι οι εξής πέντε:

- Ύψος κατασκευής
- Προσανατολισμός
- Πλάτος διακένου
- Υλικό του εξωτερικού κελύφους
- Θέση θερμομονωτικού υλικού στο εσωτερικό κέλυφος.



Σχήμα 4.2.

Μηχανισμός ρύθμισης της θέσης των περσίδων διαμέσου των οποίων εξέρχεται ο αέρας. Πηγή: [Πρωτότυπο]

Ως κατάσταση αναφοράς για την παραμετρική ανάλυση της δικέλυφης τοιχοποιίας, με την οποία συγκρίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιωτικών ελέγχων, θεωρήθηκε η κατασκευή του σχήματος 4.1. με διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου στους 22°C το χειμώνα και στους 26°C το καλοκαίρι. Οι διαστάσεις της όψης στην κατάσταση αναφοράς είναι 10 m πλάτος και 12 m ύψος. Οι οπές αερισμού την χειμερινή περίοδο κλείνουν για να λειτουργεί το διάκενο θερμομονωτικά. Η περίοδος που θεωρούνται οι οπές ανοικτές είναι από 15 Μαΐου μέχρι 30 Σεπτεμβρίου. Το θερμομονωτικό υλικό που επιλέχθηκε είναι 5cm παπλώματος πετροβάμβακα με συντελεστή θερμοπερατότητας 0,0504 W/m²·K. Σε κάθε έλεγχο, όλες οι παράμετροι, εκτός της εκάστοτε εξεταζόμενης, παραμένουν σταθερές. Στον πίνακα 4.1. παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι παράμετροι της κατάστασης αναφοράς.

Σκοπός της ανάλυσης είναι η σύγκριση της συνολικής θερμικής ροής (kWh/m²/(περίοδο θέρμανσης ή ψύξης)) από το διάκενο της δικέλυφης τοιχοποιίας προς τον εσωτερικό χώρο (ή αντίστροφα) ανοιγμένη στην επιφάνεια όψης,

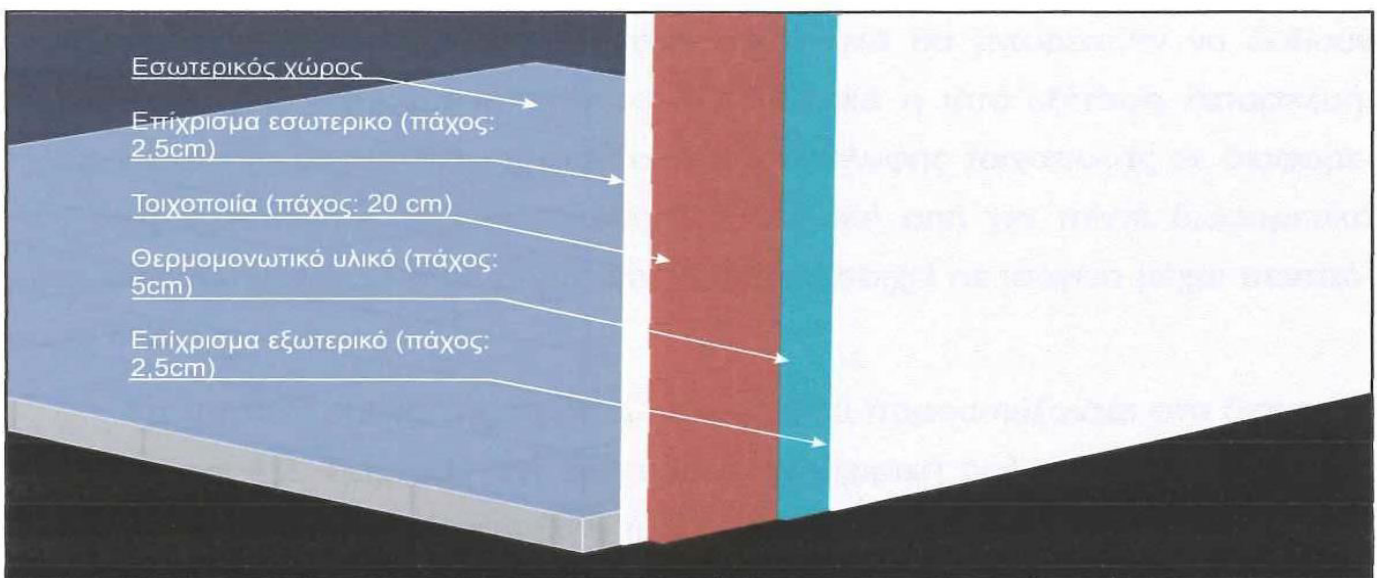
Πίνακας 4.1. Αρχικές τιμές παραμέτρων προσομοίωσης

Παράμετρος	Περιγραφή	Τιμή
Ύψος κτιρίου	Το συνολικό ύψος του διακένου της δικέλυφης τοιχοποιίας	12m
Προσανατολισμός	Ο προσανατολισμός της δικέλυφης τοιχοποιίας	Νότιος
Πλάτος διακένου	Η απόσταση μεταξύ των δύο κελυφών	0,15m
Υλικό του εξωτερικού κελύφους	Το υλικό κατασκευής του εξωτερικού κελύφους	Αλουμίνιο (αδιάστατο)
Θέση θερμομονωτικού υλικού	Η θέση στο εσωτερικό κελύφος του θερμομονωτικού στρώματος	Εξωτερικά (αδιάστατο)

με τη ροή θερμότητας διαμέσου μίας συμβατικής τοιχοποιίας οι στρώσεις της οποίας φαίνονται στο σχήμα 4.2., ακόμα εξετάζονται συγκριτικά οι θερμοκρασί-

ες που αναπτύσσονται σε όλες τις κάθετες επιφάνειες και ο αερισμός που προκαλείται βάση των χαρακτηριστικών της κάθε περίπτωσης.

Όλα τα διαγράμματα που αφορούν την θερμική ροή είναι βαθμονομημένα στην ίδια κλίμακα. Μόνο στην περίπτωση ελέγχου της επίδρασης της θέσης της μόνωσης έχουν αλλάξει τα όρια αυτά για να μπορεί να απεικονιστεί η θερμική ροή στην αμόνωτη τοιχοποιία. Από αυτήν την διάκριση μπορεί να γίνει αντιληπτό με απλό τρόπο πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος του θερμομονωτικού υλικού.



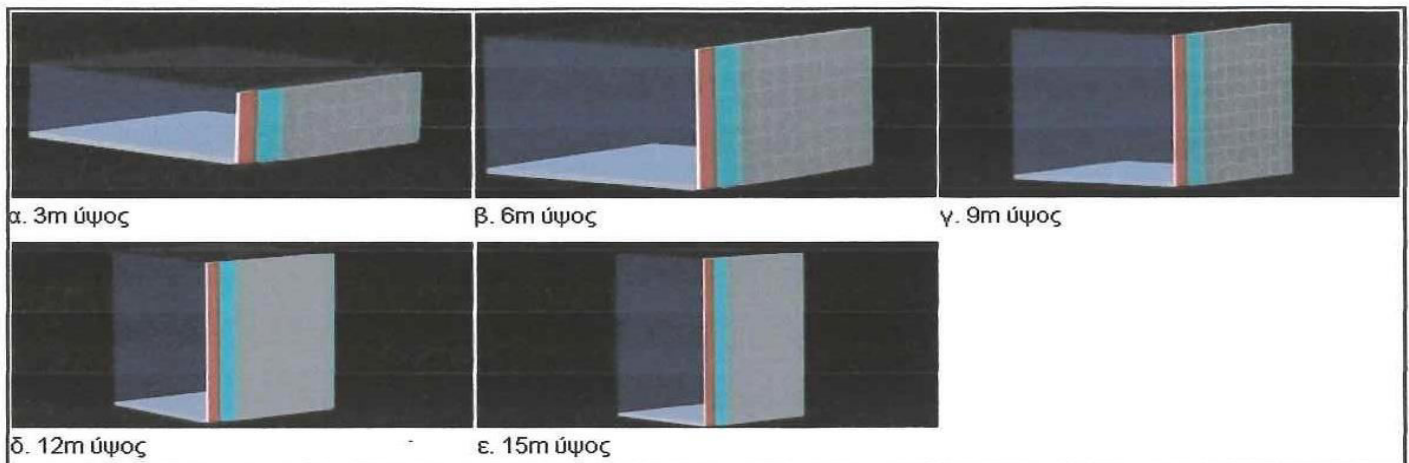
Σχήμα 4.3. Χαρακτηριστικά συμβατικής όψης

Πηγή: [Πρωτότυπο]

4.2.1. Ύψος κτιρίου

Το συνολικό ύψος του κτιρίου που είναι ίσο με το ύψος του διακένου της δικέλυφης τοιχοποιίας, σχετίζεται με την ταχύτητα του ανωστικού ρεύματος αέρα που αναπτύσσεται μέσα στο διάκενο, το οποίο με την σειρά του επηρεάζει τον όγκο του αέρα του διακένου που απομακρύνεται από αυτό.

Η ανωστική ταχύτητα του αέρα μέσα στο διάκενο είναι ανάλογη του ύψους αυτού, όμως καθώς αυξάνεται το ύψος, αυξάνεται και ο όγκος του αέρα που πρέπει να απομακρυνθεί από το διάκενο (μαζί με την θερμότητα που εκπέμπουν τα δομικά στοιχεία του κελύφους). Κατά συνέπεια, το φαινόμενο δεν ανα-



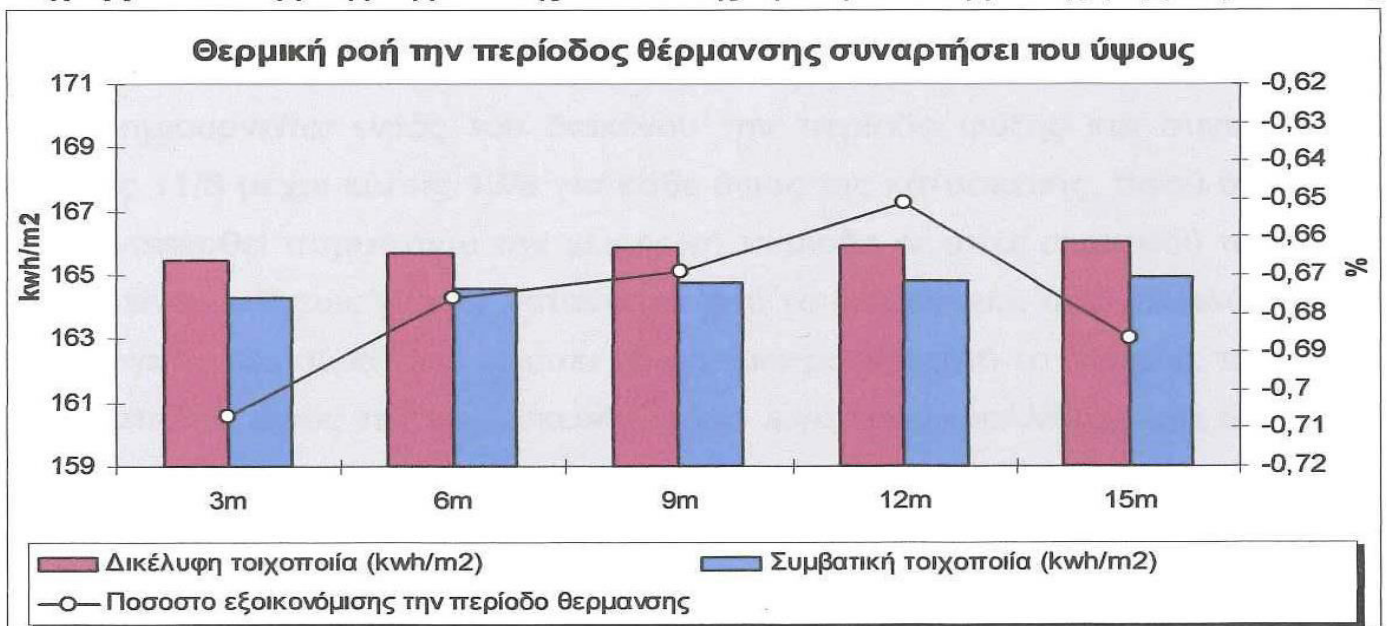
Σχήμα 4.4. Ύψη που μελετήθηκαν

Πηγή: [Πρωτότυπο]

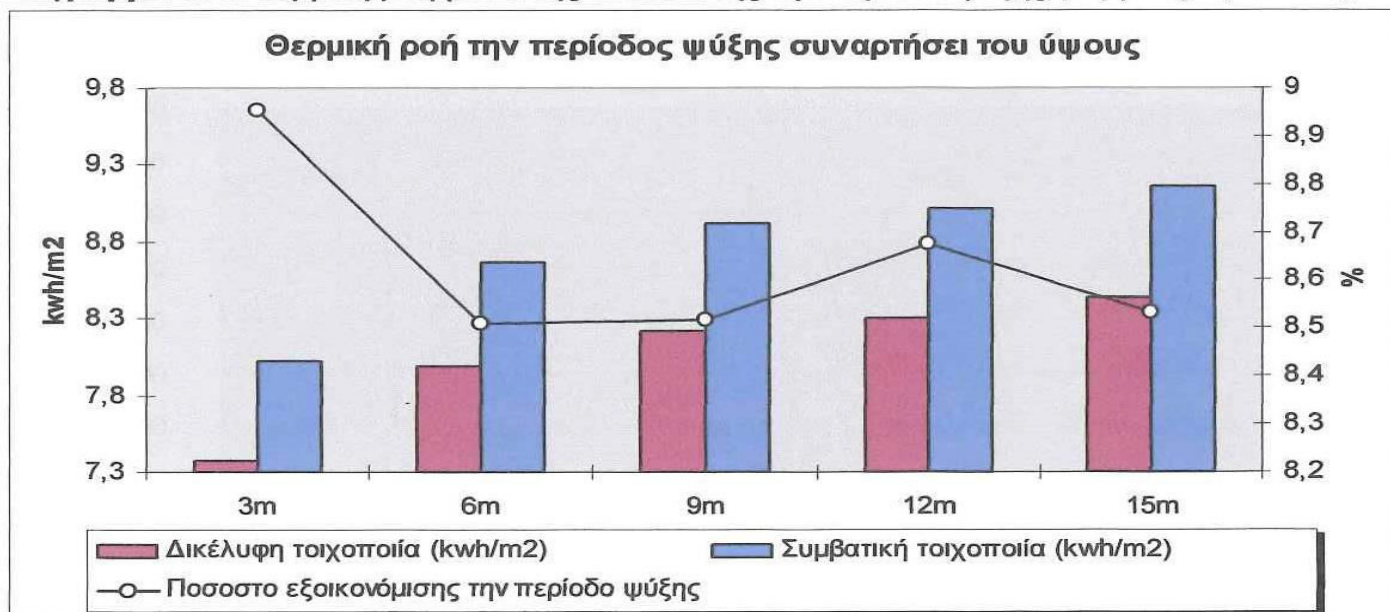
πτύσσεται μονοδιάστατα και μόνο προσομοιωτικά θα μπορέσουν να δοθούν απαντήσεις. Στο σχήμα 4.4. φαίνεται σχεδιαστικά η υπό εξέταση κατασκευή. Προκειμένου να διερευνηθεί η απόδοση της δικέλυφης τοιχοποιίας σε διαφορετικά ύψη κατασκευής, προσομοιώθηκε η θερμική ροή για πέντε διαφορετικά ύψη, από 3m μέχρι 15m με βήμα 3m, που αντιστοιχεί σε ισόγειο μέχρι πεντάροφο κτίριο.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.1. και 4.2. δείχνουν την διαφορά στην θερμική ροή ανάμεσα στην δικέλυφη τοιχοποιία και σε μία συμβατική.

Διάγραμμα 4.1. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο θέρμανσης (θερμικές απώλειες)



Διάγραμμα 4.2.. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο ψύξης (θερμικές πρόσοδοι)

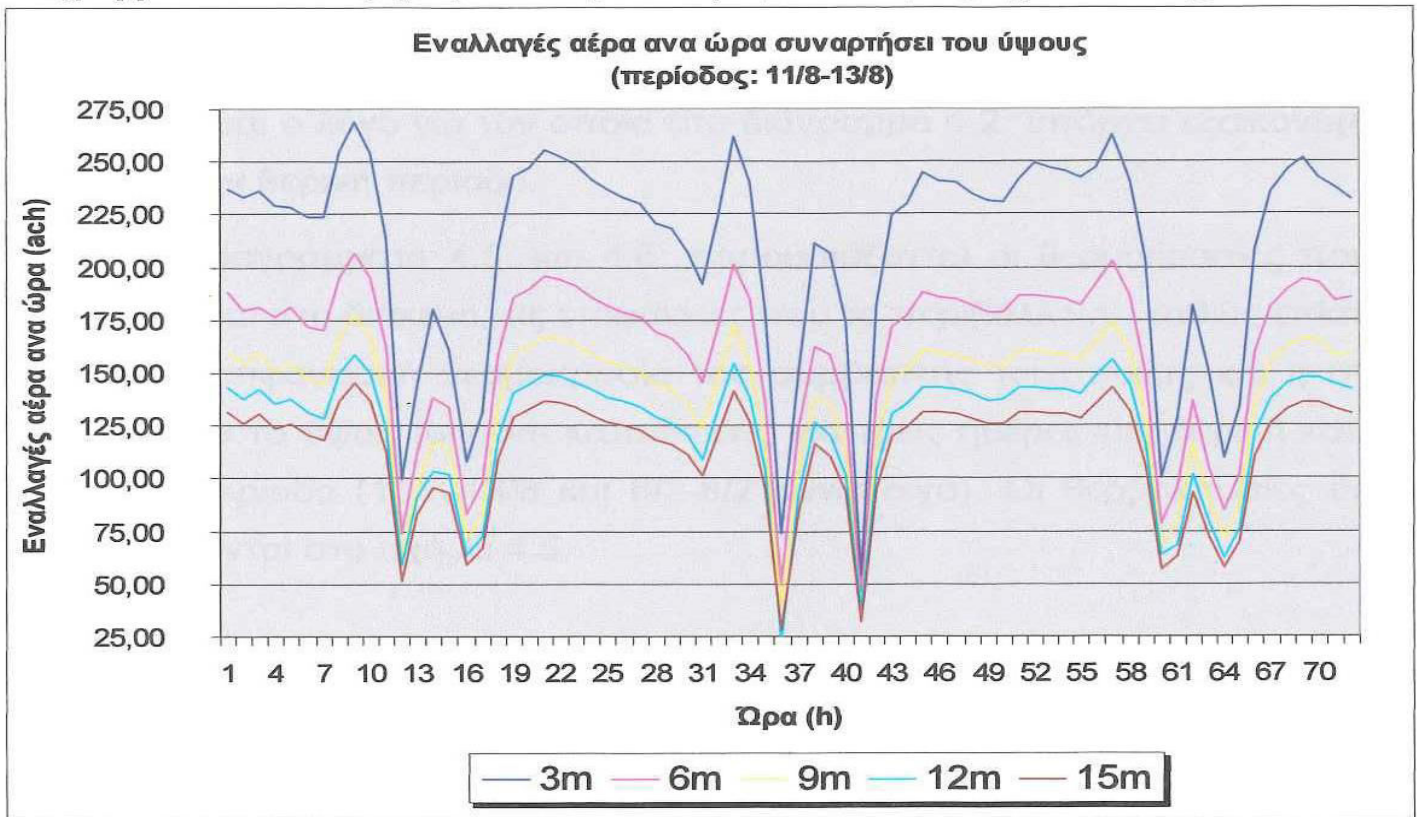


Πίνακας 4.2. Μέσες εναλλαγές αέρα την περίοδο ψύξης

Ύψος κατασκευής	Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)
3m	217,39
6m	167,56
9m	143,45
12m	128,18
15m	117,56

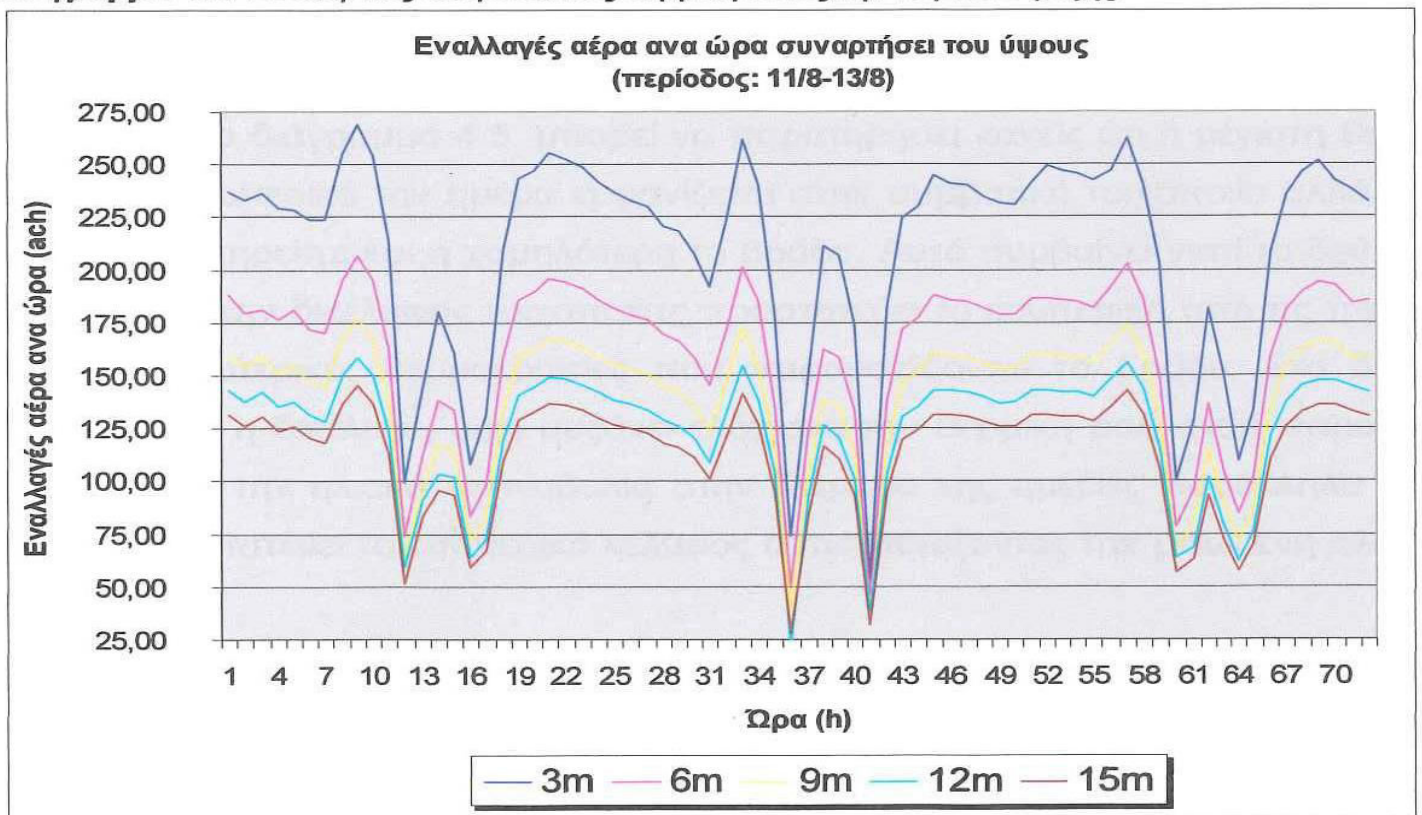
Στο διάγραμμα 4.3 μπορεί κανείς να διακρίνει το ανοδικό ρεύμα αέρα που δημιουργείται εντός του διακένου την περίοδο ψύξης και συγκεκριμένα από τις 11/8 μέχρι και τις 13/8 για κάθε ύψος της κατασκευής, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω την χειμερινή περίοδο οι οπές αερισμού του διακένου κλείνουν. Όπως γίνεται κατανοητό από το διάγραμμα, όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αέρα που πρέπει να απομακρυνθεί από το διάκενο, που εξαρτάται από το ύψος της κατασκευής, τόσο λιγότερες εναλλαγές ανά ώρα γίνονται. Ακόμα την περίοδο της ημέρας ο αερισμός του διακένου είναι εντονότερος λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν στο περιβάλλον και της ηλιακής ακτινοβολίας. Στον πίνακα 4.2. φαίνονται οι μέσες εναλλαγές αέρα την ώρα για κάθε ύψος την θερινή περίοδο.

Διάγραμμα 4.3. Εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσει του ύψους της κατασκευής



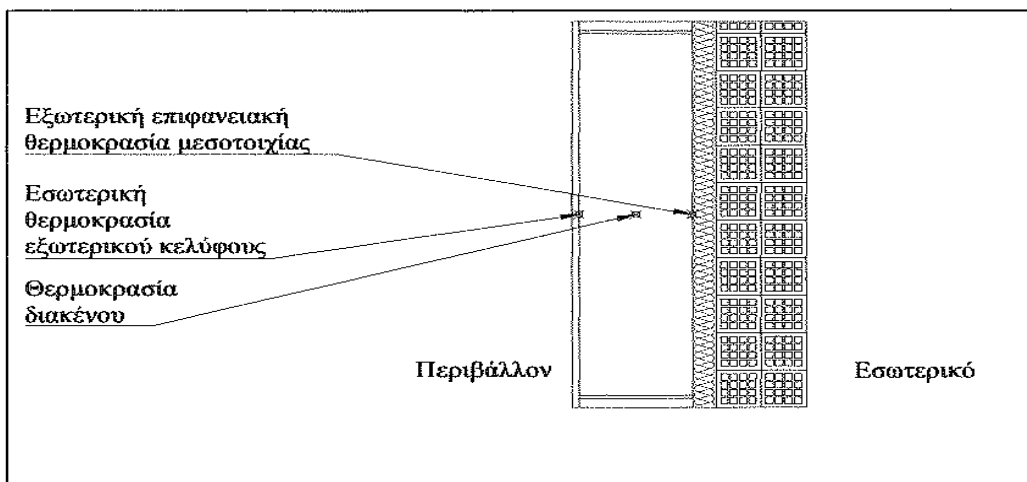
Στο διάγραμμα 4.4. παρουσιάζονται οι επιφανειακές εσωτερικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον χώρο για όλα τα ύψη κατασκευής καθώς και για μία συμβατική τοιχοποιία στο ύψος της κατάστασης αναφοράς. Όπως μπο-

Διάγραμμα 4.4. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης



ρεί να γίνει αντιληπτό η συμβατική τοιχοποιία εμφανίζει τις υψηλότερες θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης, κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο την περίοδο ψύξης και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στο διάγραμμα 4.2. υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας την θερινή περίοδο.

Στα διαγράμματα 4.5. και 4.6. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο διάκενο, τις επιφάνειες που το περιβάλλουν, καθώς επίσης η εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία της συμβατικής τοιχοποιίας και η ατμοσφαιρική για το ύψος των 3m κατασκευής για τρεις ημέρες την θερινή και την χειμερινή περίοδο (11/8-13/8 και 6/2-8/2 αντίστοιχα). Οι θερμοκρασίες αυτές παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5. Θέση μέτρησης απαιτούμενων θερμοκρασιών
Πηγή:
[Πρωτότυπο]

Από το διάγραμμα 4.5. μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι η μέγιστη θερμοκρασία εξωτερικά την ημέρα εμφανίζεται στην συμβατική τοιχοποιία αλλά σ' αυτήν παρατηρείται και η χαμηλότερη το βράδυ. Αυτό συμβαίνει γιατί το δεύτερο κέλυφος την δικέλυφης τοιχοποιίας προστατεύει το εσωτερικό από τις πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες που παρουσιάζονται το βράδυ. Στο διάγραμμα 4.1. η δικέλυφη όψη αυξάνει ελάχιστα την θερμική ροή, γιατί παρόλο που μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία στην διάρκεια της ημέρας παράλληλα το βράδυ προστατεύει το εσωτερικό κέλυφος αντισταθμίζοντας την μειωμένη ηλιακή πρόσοδο.

Διάγραμμα 4.5. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο θέρμανσης για 3m ύψος κατασκευής



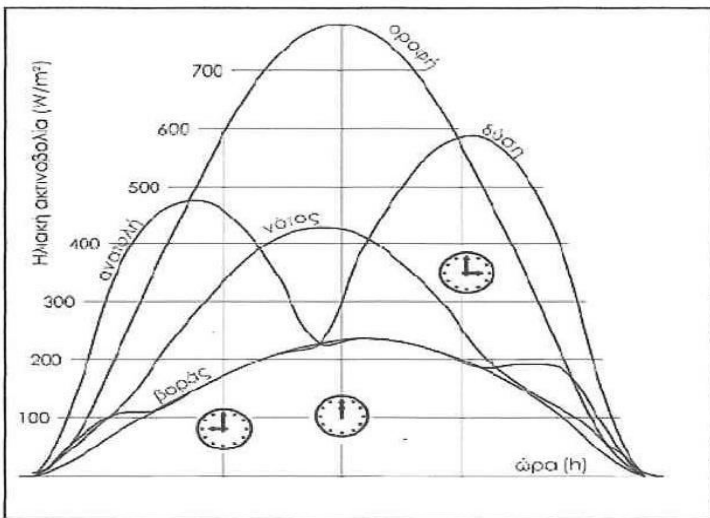
Από το διάγραμμα 4.6. μπορεί κανείς να διακρίνει ότι η δικέλυφη τοιχοποιία εμφανίζει χαμηλότερες θερμοκρασίες από την συμβατική με αποτέλεσμα να μειώνει την θερμική ροή μέσα από το εσωτερικό κέλυφος. Η συμβατική τοιχοποιία δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία άμεσα με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση της. Το βράδυ εμφανίζει μικρότερη επιφανειακή θερμοκρασία λόγω της άμεσης επαφής της με την ατμόσφαιρα όμως η διαφορά αυτή δεν είναι σε θέση να αντισταθμίσει την ημερησία επιβάρυνση της όψης. Αυτός είναι ο λόγος που η δικέλυφη όψη συμπεριφέρεται καλύτερα από την συμβατική την περίοδο ψύξης.

Διάγραμμα 4.6. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο ψύξης για 3m ύψος κατασκευής



4.2.2. Προσανατολισμός

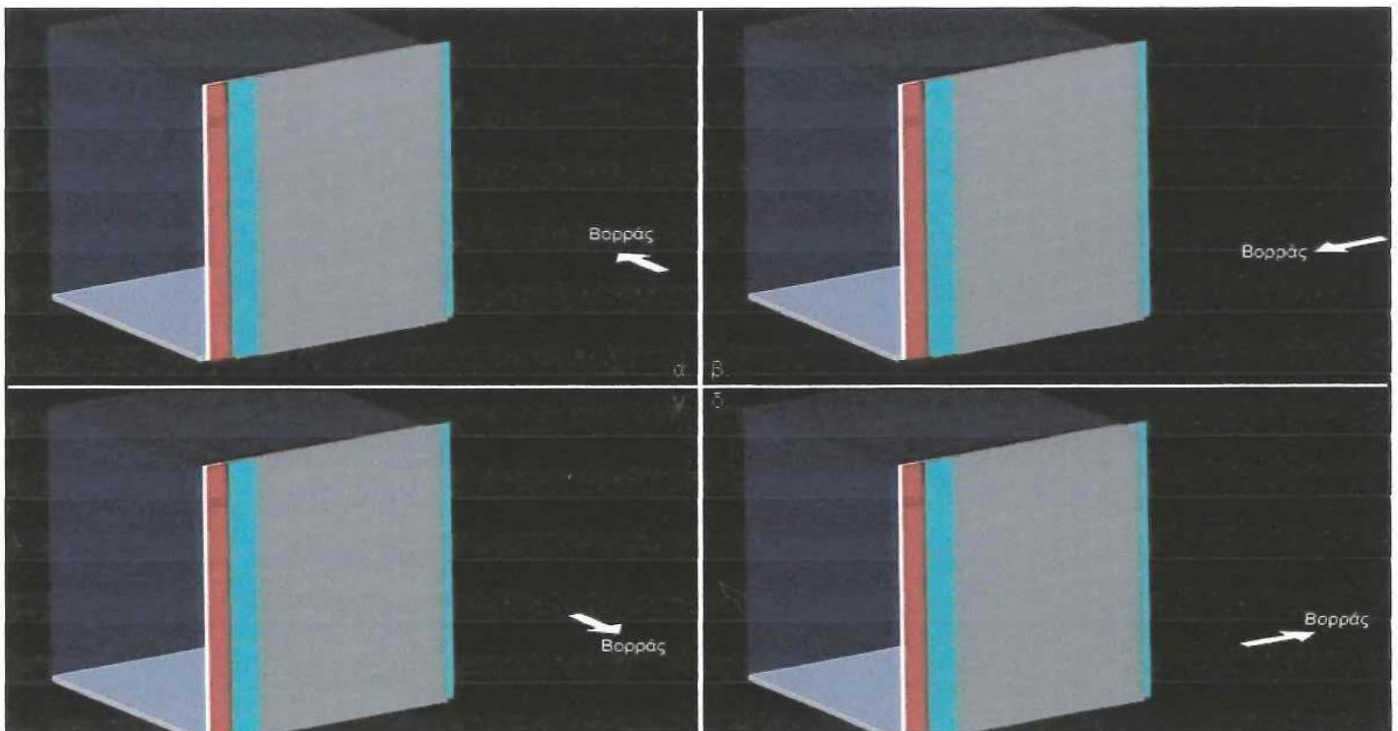
Ο προσανατολισμός της δικάλυφης όψης έχει σημαντική επίδραση στην απόδοσή της. Αυτό οφείλεται στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται σε κάθε όψη λόγω των ωρών που είναι εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά και λόγω της κλίσης με την οποία η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε αυτές. Από αυτήν την διαπίστωση είναι φανερό ότι η δυτική και ανατολική όψη καταπονούνται περισσότερο από τον ήλιο και αυτές είναι που έχουν μεγαλύτερη ανάγκη ένα δεύτερο κέλυφος για να τις προστατεύει από την υπερθέρμανση. Ο προσανατολισμός που δέχεται περισσότερες ώρες την ηλιακή ακτινοβολία τον Ιούλιο στην Θεσσαλονίκη παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.7.



Διάγραμμα 4.7. Ηλιακή πρόσπτωση σε διάφορες επιφάνειες ενός κτιρίου για ένα κτίριο στην περιοχή της Θεσσαλονίκης τον Ιούλιο.

Πηγή: [3]

Βάση αυτής της κατάταξης θα περίμενε κανείς ότι η πλέον επιβαρυνόμενη κάθετη όψη θα ήταν η νότια και στην συνέχεια θα ακολουθούσαν οι υπόλοιπες. Όμως κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει γιατί η κλίση με την οποία προσπίπτει σε μια νότια όψη η ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ μεγάλη συγκριτικά με την δυτική και την ανατολική ειδικά την θερινή περίοδο που αποδίδει καλύτερα μια δικάλυφη αδιαφανής όψη. Αυτή η διαπίστωση επαληθεύεται και από την προσομοίωση,



Σχήμα 4.6. Οι προσανατολισμοί που μελετήθηκαν α.: νότιος, β.: δυτικός, γ.: βόρειος δ.: ανατολικός

Πηγή: [Πρωτότυπο]

όπου η μείωση της ροής ενέργειας σε σχέση με μια συμβατική τοιχοποιία την θερινή περίοδο είναι 11% περίπου για την ανατολική και δυτική όψη, 8,7% για την νότια και μόλις 1,4% για την βόρεια. Την περίοδο θέρμανσης τα αντίστοιχα ποσοστά είναι -0,2%, -0,3%, 0,66% και -1,24%, ποσά που είναι αμελητέα. Το αρνητικό πρόσημο δικαιολογείται γιατί δεν θερμαίνεται το εσωτερικό κέλυφος από τον ήλιο για να έχουμε αυξημένη ροή θερμότητας, αλλά ταυτόχρονα τα ποσοστά δεν είναι ιδιαίτερα μειωμένα λόγω της προστασίας που προσφέρει το δεύτερο κέλυφος τον χειμώνα ιδιαίτερα τις νυχτερινές ώρες όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Τα αποτελέσματα της θερμικής ροής παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.8. και 4.9. όπου φαίνεται η διαφορά ανάμεσα στην δικέλυφη τοιχοποιία και σε μία συμβατική συναρτήσει του προσανατολισμού της όψης.

Στον πίνακα 4.3 μπορεί να παρατηρήσει κανείς τις διαφορές στις μέσες εναλλαγές αέρα ανά ώρα την θερινή περίοδο λόγω αλλαγής του προσανατολισμού της υπό μελέτη κατασκευαστικής διάταξης.

Διάγραμμα 4.8. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο θέρμανσης (θερμικές απώλειες)



Διάγραμμα 4.9. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο ψύξης (θερμικές πρόσοδοι)



Από τον πίνακα 4.3 μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι εντονότερος αερισμός δημιουργείται στην βόρεια όψη. Αυτό είναι λογικό αν αναλογιστεί κάποιος ότι λόγω της προστασίας που προσφέρει το εξωτερικό κέλυφος και της πολύ μικρής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας διατηρούνται οι θερμοκρασίες του διακένου σε χαμηλά επίπεδα αλλά ο εσωτερικός χώρος που διατηρείται σε σταθερές συνθήκες έχει απώλειες προς το διάκενο αυξάνοντας την ταχύτητα του ρεύματος του αέρα προς την ίδια ή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι υπόλοιπες τρεις όψεις συμπεριφέρονται βάση όσων περιγράφηκαν παραπάνω.

Πίνακας 4.3. Μέσες εναλλαγές αέρα την περίοδο ψύξης συναρτήσεως του προσανατολισμού

Προσανατολισμός κατασκευής	Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)
Βόρεια	142,78
Νότια	128,18
Ανατολικά	138,1
Δυτικά	137,71

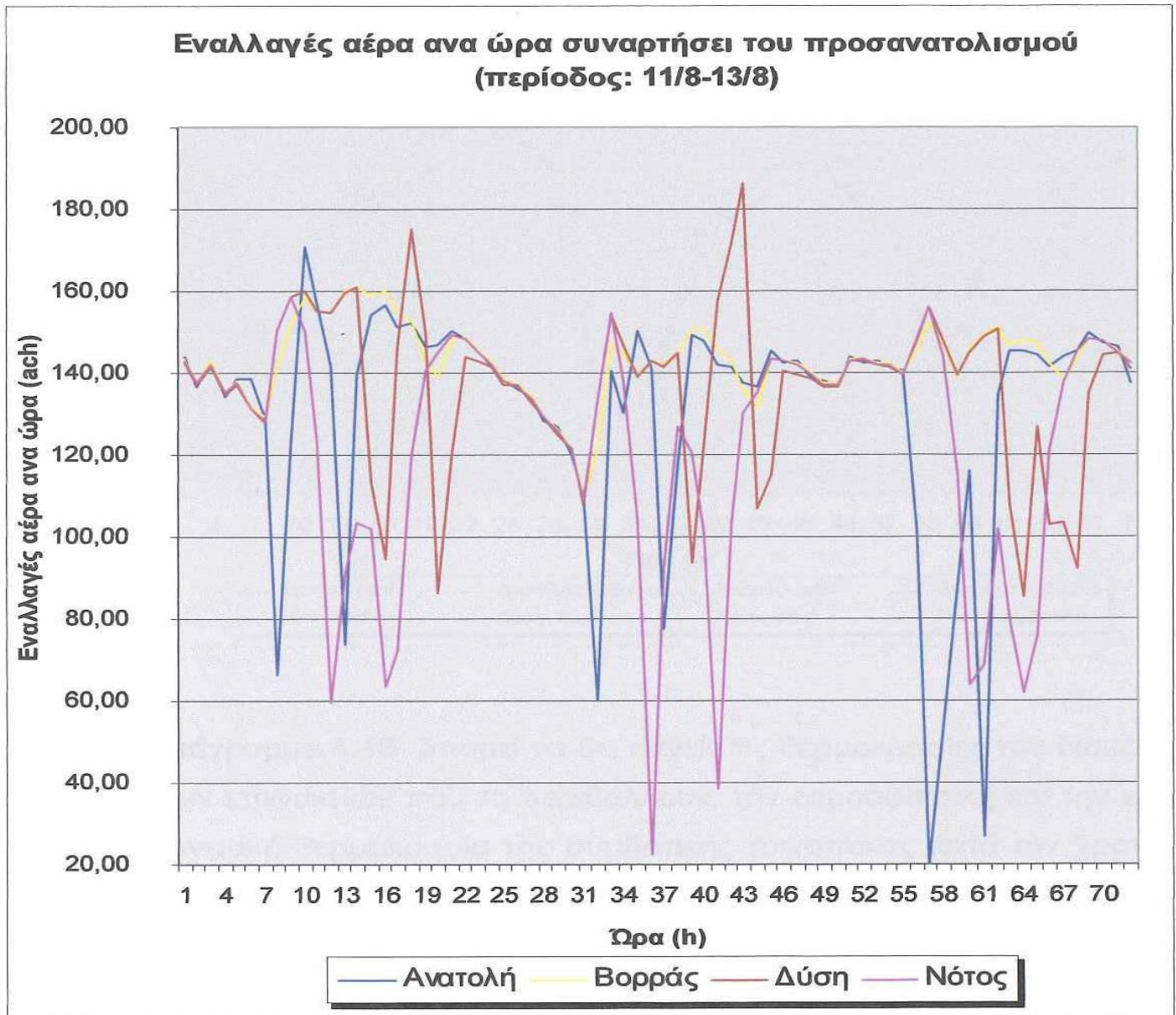
Ο αερισμός που προκαλείται λόγω αλλαγής του προσανατολισμού παρουσιάζεται για τρεις διαδοχικές ημέρες του Αυγούστου από τις 11/8 μέχρι και τις 13/8. στο διάγραμμα 4.10. όπου γίνεται φανερό ότι η δυτική όψη έχει εντονό-

τερο αερισμό κατά τις απογευματινές ώρες που δέχεται και την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία, η ανατολική τις πρωινές, η βόρεια έχει μικρότερη διακύμανση από τους άλλους προσανατολισμούς σύμφωνα με όσα περιγράφηκαν παραπάνω και η νότια τις μεσημεριανές ώρες παρουσιάζει μικρότερο αερισμό λόγω της κλίσης της ηλιακής ακτινοβολίας κατ' αυτές τις ώρες. Μπορεί να υπάρξει κάποια ημέρα όπου ο αερισμός δεν ακολουθεί και δεν συμβαδίζει με όσα αναφέρθηκαν, λόγω νεφοκάλυψης ή βροχής, γι' αυτό τον λόγο όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.10. την τρίτη ημέρα (από την 48^η μέχρι την 72^η ώρα), η δυτική και η ανατολική όψη, όπου το ρεύμα του αερισμού εξαρτάται περισσότερο από την άμεση ακτινοβολία εμφανίζουν μειωμένες τιμές εναλλαγών αέρα ανά ώρα σε αντίθεση με την βόρεια και την νότια που βασίζονται εξίσου στην άμεση και στην διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και γι' αυτόν τον λόγο διατηρούν το ίδιο προφίλ εναλλαγών αέρα ανά ώρα.

Στο διάγραμμα 4.11. παρουσιάζονται οι εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες για κάθε προσανατολισμό και για δικέλυφη και συμβατική τοιχοποιία την περίοδο ψύξης. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς το συμβατικό κτίριο εμφανίζει αυξημένες επιφανειακές θερμοκρασίες για οποιονδήποτε προσανατολισμό εκτός του βόρειου όπου οι θερμοκρασίες σε αυτήν την περίπτωση κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Γενικά το αίσθημα θερμικής άνεσης είναι λίγο βελτιωμένο στην περίπτωση ενός κτιρίου με δικέλυφη αδιαφανή όψη συγκριτικά με ένα συμβατικό. Η μεγαλύτερη θερμοκρασία αντιστοιχεί στην δυτική συμβατική όψη γιατί δέχεται την ακτινοβολία τις απογευματινές ώρες όπου το περιβάλλον έχει προλάβει να αναπτύξει υψηλές ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες.

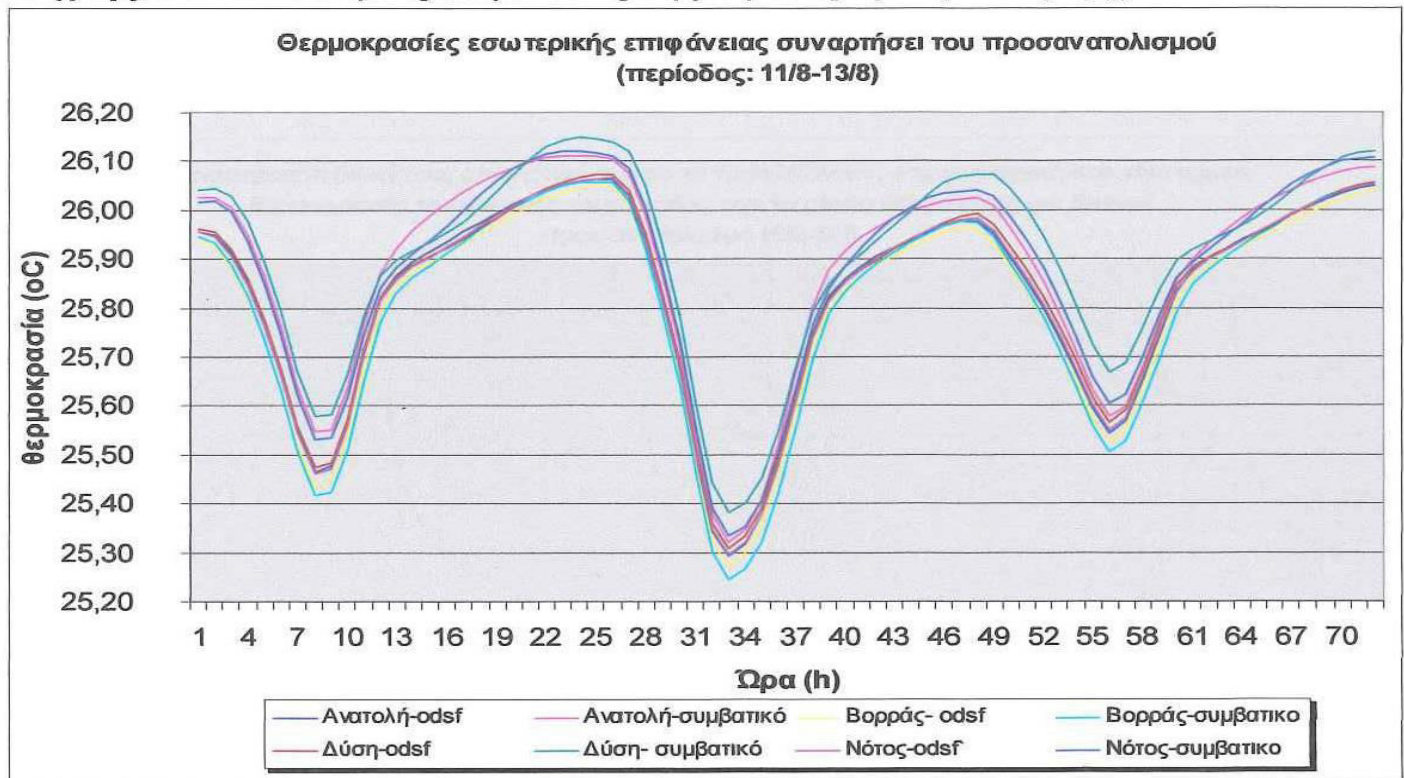
Το διάγραμμα 4.12. παρουσιάζει τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο διάκενο αερισμού, τις θερμοκρασίες των επιφανειών που το περιβάλλουν, την ατμοσφαιρική και την εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία της συμβατικής τοιχοποιίας, την περίοδο θέρμανσης για το χρονικό διάστημα από τις 6/2 μέχρι και τις 8/2 για δυτικό προσανατολισμό της κατασκευής.

Διάγραμμα 4.10. Εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσει του προσανατολισμού της κατασκευής



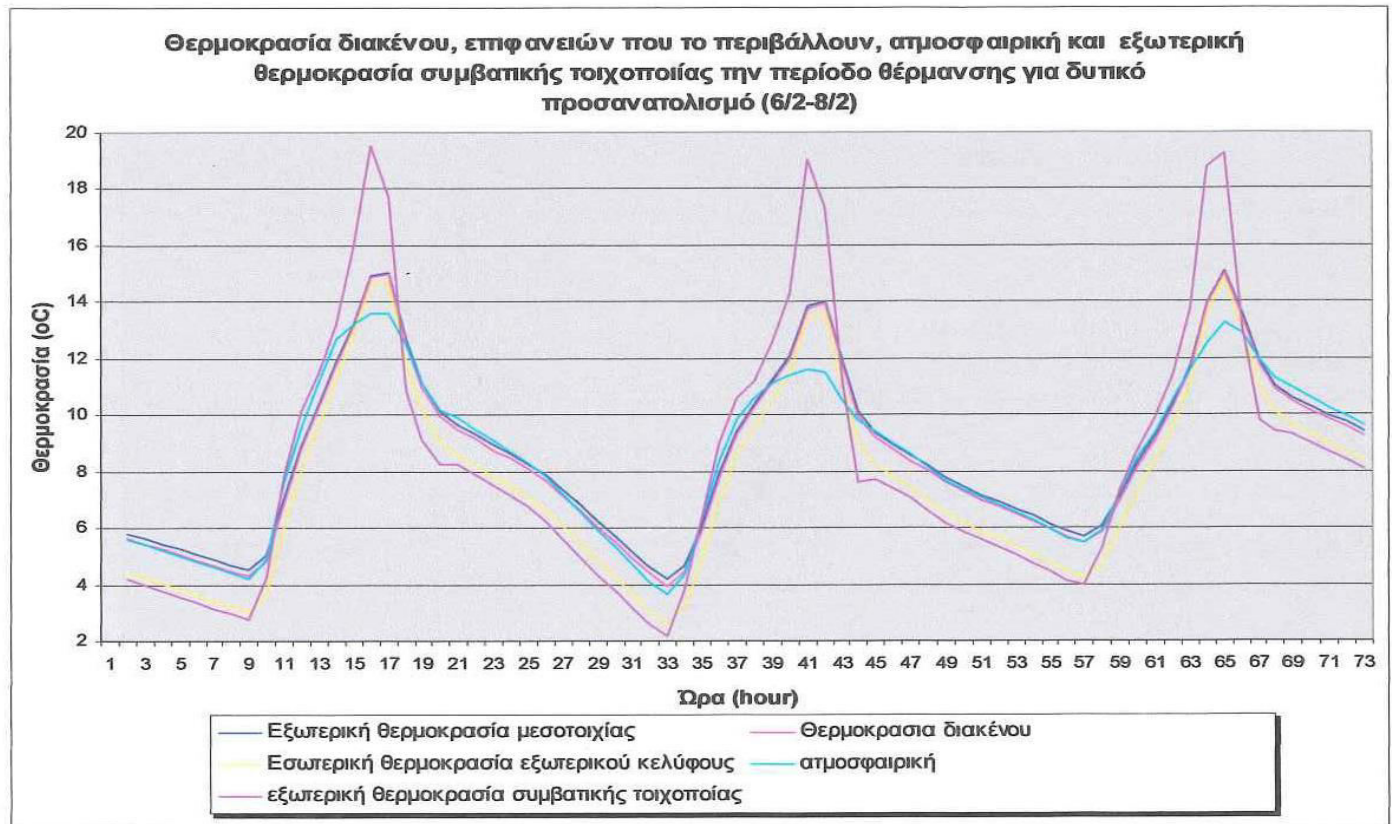
Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, η συμβατική τοιχοποιία εμφανίζει πιο ακραίες τιμές, τις υψηλότερες την ημέρα και τις χαμηλότερες την νύχτα λόγω της άμεσης επαφής της με το περιβάλλον, ενώ η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού κελύφους έχει τις μικρότερες διακυμάνσεις ανάμεσα στις επιφανειακές θερμοκρασίες. Γι' αυτόν τον λόγο συγκρίνοντας τις θερμικές ροές ανάμεσα στην συμβατική τοιχοποιία και την δικέλυφη την περίοδο θέρμανσης, παρατηρούνται τόσο μικρές αποκλίσεις στις τιμές αυτές. Ότι κερδίζει ενεργειακά η συμβατική τοιχοποιία την ημέρα το χάνει το βράδυ ενώ η δικέλυφη εμφανίζει πιο σταθερή συμπεριφορά.

Διάγραμμα 4.11. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης



Στο διάγραμμα 4.13. μπορεί να δει κανείς τις θερμοκρασίες του διακένου αερισμού, των επιφανειών που το περιβάλλουν, την ατμοσφαιρική και την εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία της συμβατικής τοιχοποιίας κατά την χρονική περίοδο από 11/8 μέχρι και 13/8. Η μεγαλύτερη είναι της συμβατικής τοιχοποιίας εμφανίζοντας μια διαφορά της τάξης των 8°C από την εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία του εσωτερικού κελύφους της δικέλυφης. Τις βραδινές ώρες, η θερμοκρασιακή διαφορά όλων των θερμοκρασιών που μελετούνται δεν διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0,5 °C και αυτός είναι ο λόγος που η δικέλυφη τοιχοποιία εμφανίζει καλύτερη θερμική συμπεριφορά από την συμβατική.

Διάγραμμα 4.12. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο θέρμανσης για δυτικό προσανατολισμό



Ύστερα από μελέτη των αντιστοιχών θερμοκρασιακών διαγραμμάτων για τους υπόλοιπους τρεις προσανατολισμούς μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση του νότιου και ανατολικού προσανατολισμού, η μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται πάλι στην συμβατική τοιχοποιία με την διαφορά ότι εμφανίζεται νωρίτερα χρονικά σε σχέση με τις θερμοκρασίες που εμφανίζει η δικέλυφη όψη
- Επιπλέον η ανατολική συμβατική όψη εμφανίζει το μέγιστο ακόμα πιο νωρίς από την νότια
- Οι θερμοκρασίες της βόρειας όψης ακολουθούν παρομοιότυπη πορεία λόγω απουσίας της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας το μεγαλύτερο διάστημα της ημέρας.

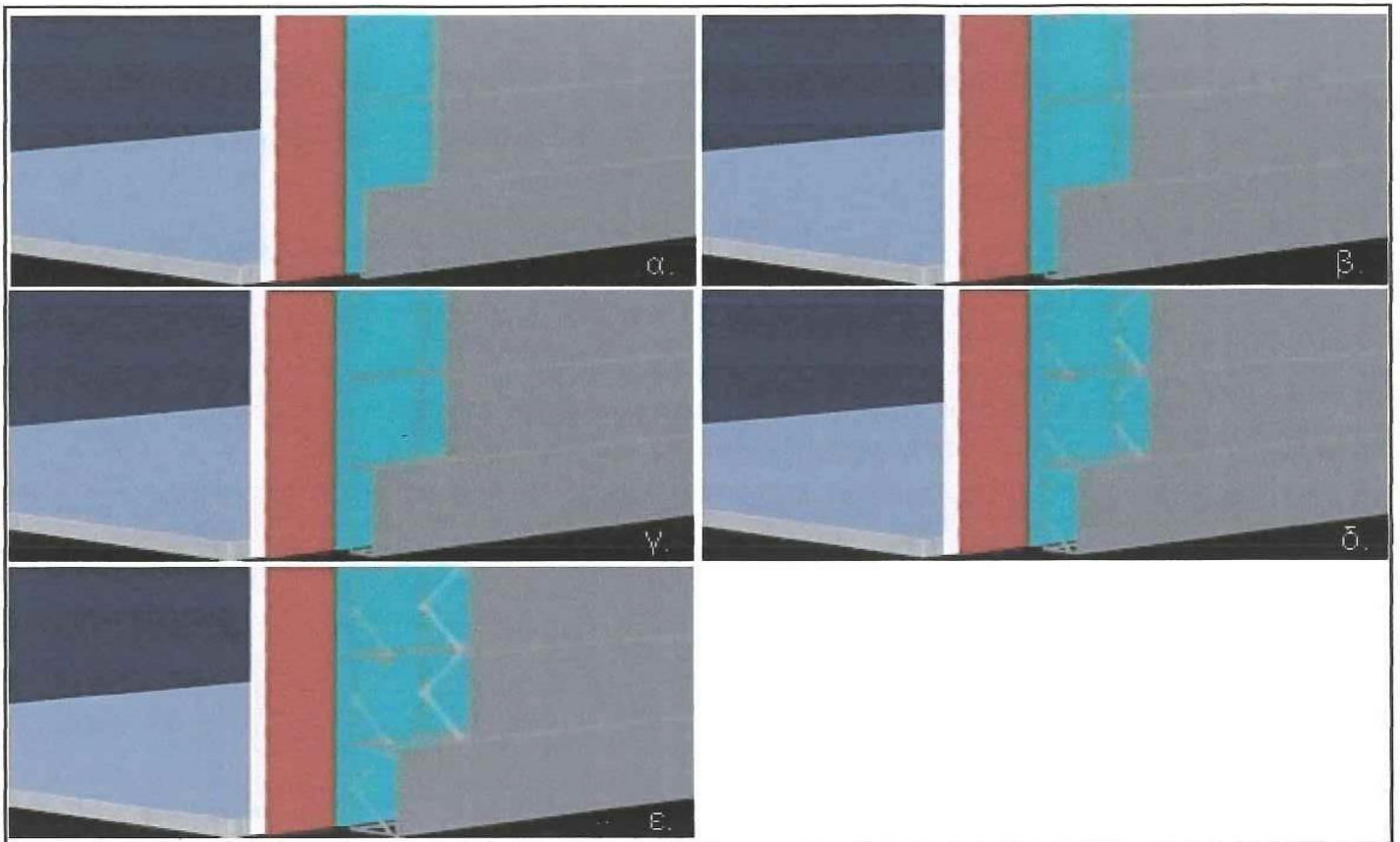
Διάγραμμα 4.13. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο ψύξης για δυτικό προσανατολισμό



4.2.3. Πλάτος διακένου

Το πλάτος του διακένου επηρεάζει τον όγκο του αέρα που περιέχεται σ' αυτό. Όμως, ενώ μεγαλώνει το πλάτος και κατά συνέπεια ο όγκος του διακένου, δεν μεγαλώνει το εμβαδόν των οπών εισόδου και εξόδου του αέρα με αποτέλεσμα να μην ανανεώνεται γρήγορα ο όγκος του αέρα που υπάρχει σε αυτό.

Σαν αποτέλεσμα αυτών, ο τρόπος με τον οποίο το εμβαδόν του διακένου επηρεάζει την θερμική ροή μέσω της τοιχοποιίας που προστατεύεται από το εξωτερικό κέλυφος, δεν είναι ξεκάθαρος, γιατί ενώ απομακρύνεται από την εσωτερική τοιχοποιία το υπερθερμασμένο εξωτερικό κέλυφος, παράλληλα δεν ανανεώνεται με τον ίδιο ρυθμό ο θερμός αέρας του διακένου.



Σχήμα 4.7. Πλάτη διακένου που μελετήθηκαν

Πηγή:[Πρωτότυπο]

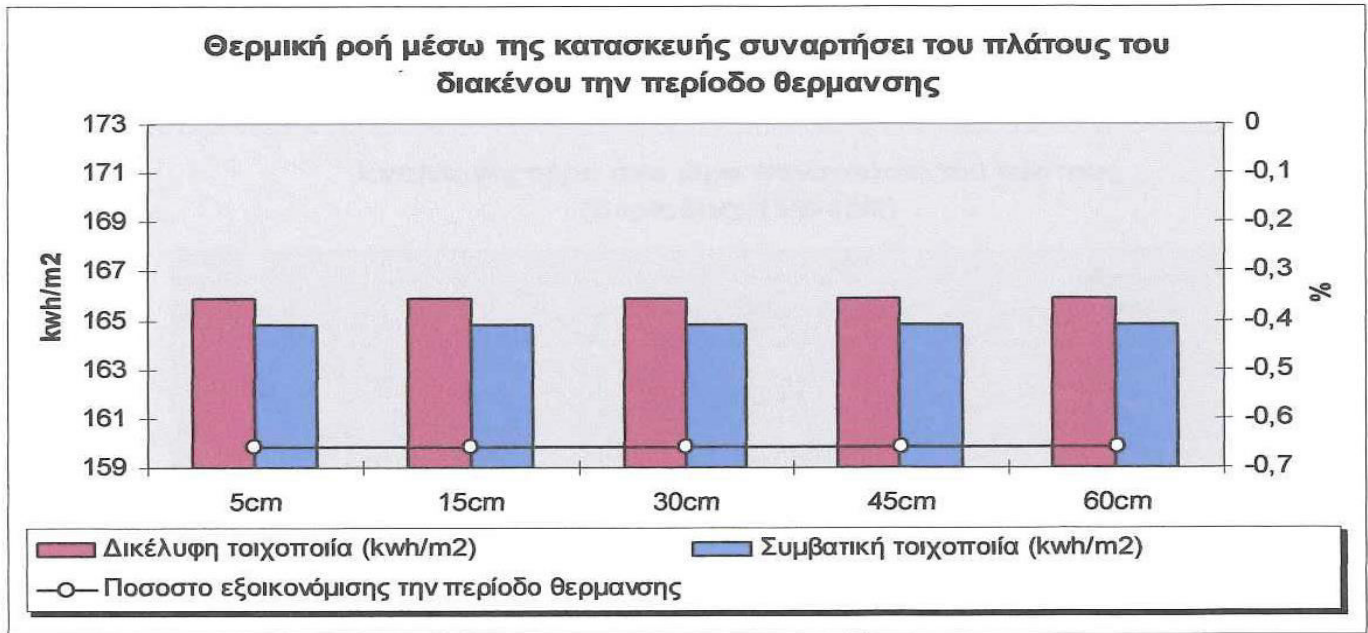
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.14. και 4.15. δείχνουν ότι η μείωση στην ροή θερμότητας που προκαλεί το δεύτερο κέλυφος κυμαίνεται από 9,1% μέχρι 8,5% ανάλογα με το πλάτος του διακένου την θερινή περίοδο του έτους. Τα πλάτη διακένου που μελετήθηκαν ήταν 5, 15, 30, 45 και 60 cm. Για να μην υπάρχουν προβλήματα στατικής

Πίνακας 4.4. Μέσες εναλλαγές αέρα την περίοδο ψύξης

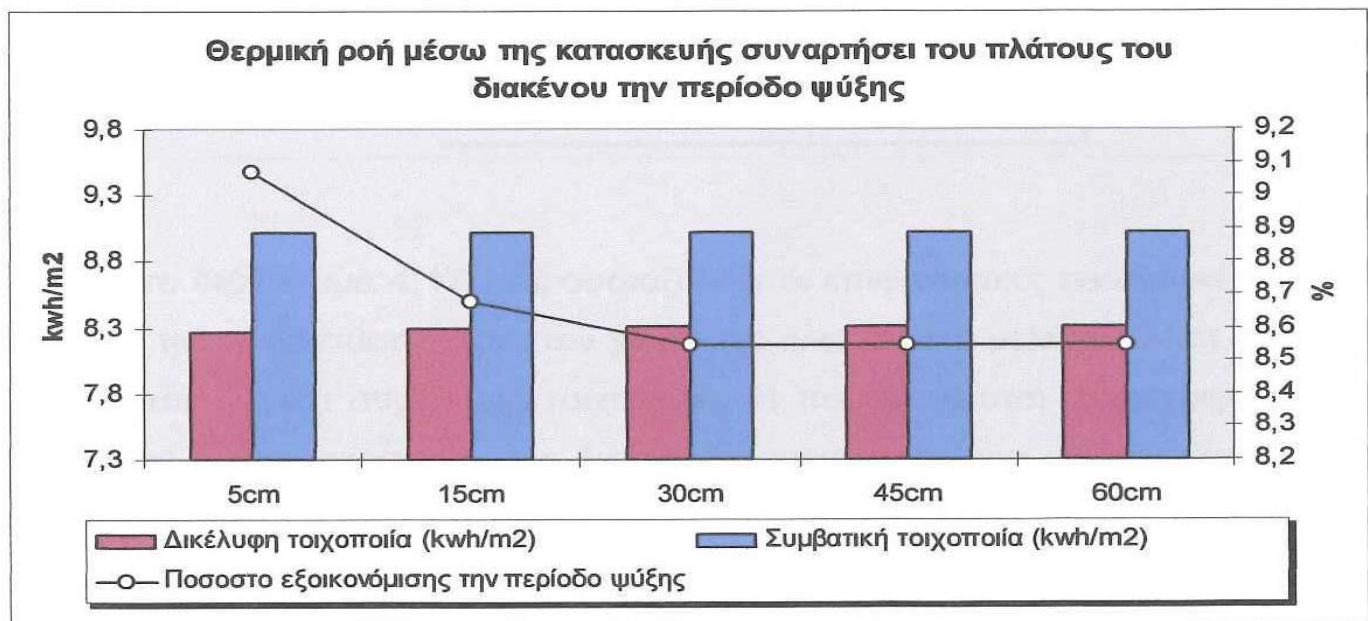
Πλάτος διακένου	Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)
5 cm	303,13
15 cm	128,3
30 cm	66,66
45 cm	45,02
60 cm	34,1

αντοχής του εξωτερικού κελύφους, στα πλάτη των 45 και 60 cm, τα μεταλλικά πλαίσια ενισχύθηκαν με διαγώνια τοποθετημένες μεταλλικές ράβδους όπως φαίνεται στα σχήματα 4.7δ. και 4.7ε.

Διάγραμμα 4.14. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής συναρτήσει του πλάτους του διακένου την περίοδο θέρμανσης (θερμικές απώλειες)



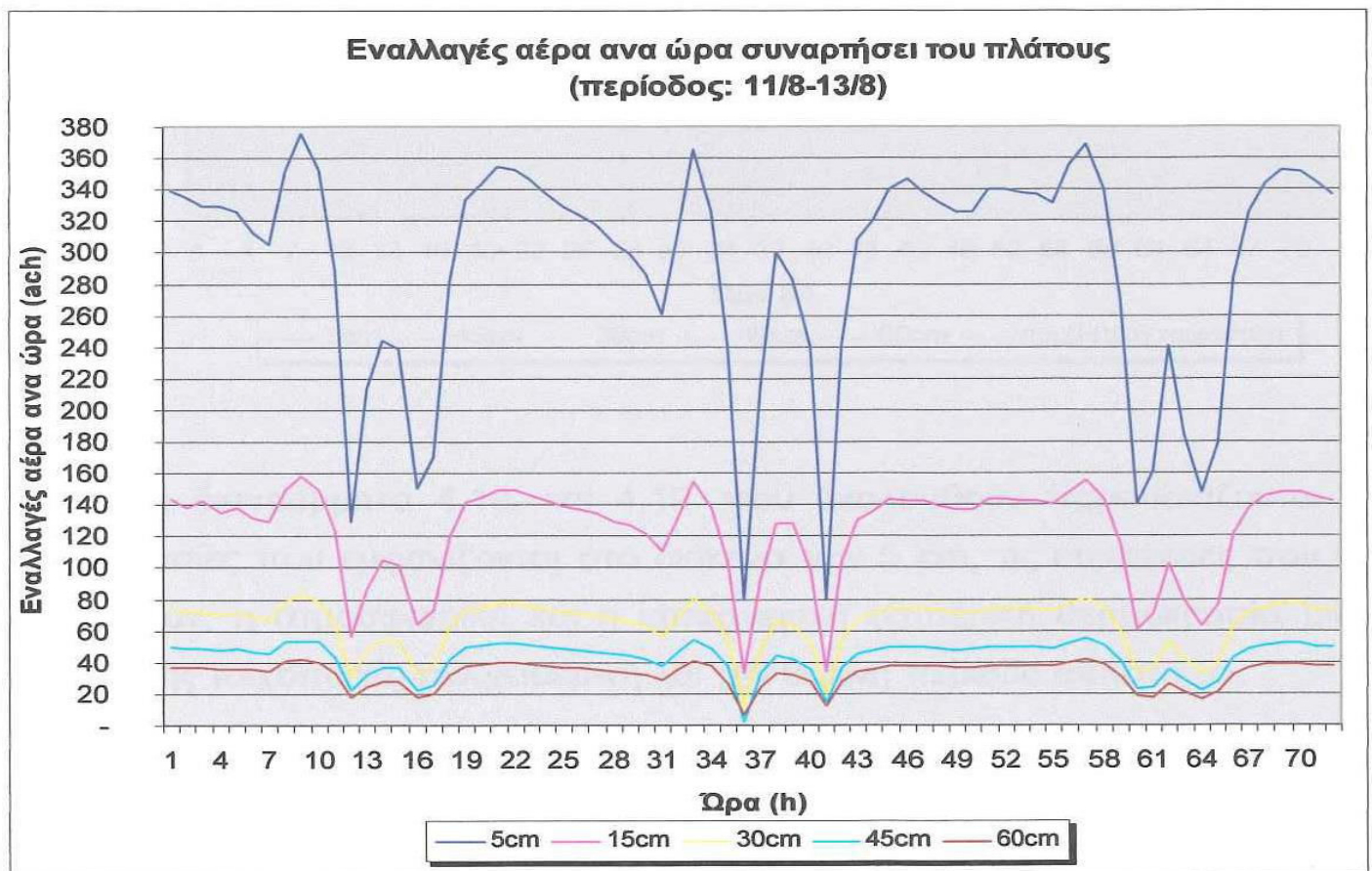
Διάγραμμα 4.15. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής συναρτήσει του πλάτους του διακένου την περίοδο ψύξης (θερμικές πρόσδοι)



Στον πίνακα 4.4. μπορεί να παρατηρήσει κανείς πόσο πολύ μειώνονται οι μέσες εναλλαγές αέρα ανά ώρα την θερινή περίοδο λόγω αύξησης του πλάτους της υπό μελέτη κατασκευαστικής διάταξης.

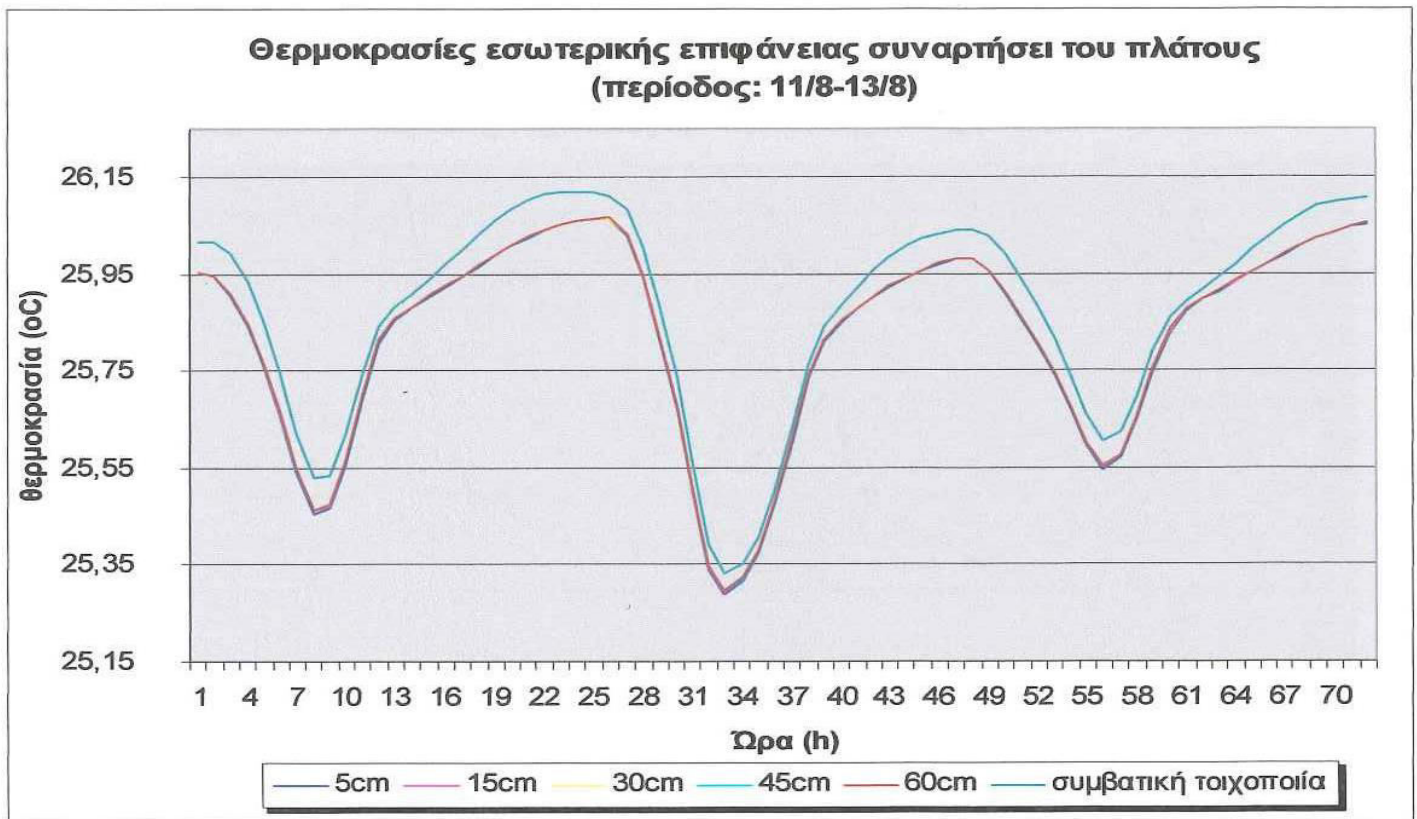
Ο αερισμός που προκαλείται στο διάκενο για τρεις ημέρες του καλοκαιριού (11/8-13/8) παρουσιάζεται στο διάγραμμα 4.16. Οπού επαληθεύονται όσα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4. και έχουν περιγραφεί παραπάνω.

Διάγραμμα 4.16. Εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσεσι του πλάτους του διακένου



Στο διάγραμμα 4.17. παρουσιάζονται οι επιφανειακές εσωτερικές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στον χώρο για όλα τα υπό μελέτη πλάτη διακένου καθώς και για μία συμβατική τοιχοποιία. Η παρομοιότυπη συμπεριφορά των εσωτερικών θερμοκρασιών της δικέλυφης τοιχοποιίας για κάθε πλάτος διακένου δικαιολογείται γιατί δεν αυξάνεται το εμβαδόν των οπών αερισμού με αποτέλεσμα να υπάρχουν λιγότερες εναλλαγές αέρα την ώρα και ταυτόχρονα να απομακρύνεται το εξωτερικό υπερθερμασμένο κέλυφος από το εσωτερικό, εξισορροπώντας η μία αλλαγή την άλλη.

Διάγραμμα 4.17. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης



Στα διαγράμματα 4.18. και 4.19. που ακολουθούν παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που εμφανίζονται στο διάκενο των 5 cm, τις επιφάνειες που το περιβάλλουν, η ατμοσφαιρική και η επιφανειακή εξωτερική θερμοκρασία μιας συμβατικής τοιχοποιίας την χειμερινή και την θερινή περίοδο αντίστοιχα.

Όπως συνέβη και σε όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν νωρίτερα, όλο το διάστημα του έτους η συμβατική τοιχοποιία εμφανίζει την μεγαλύτερη διακύμανση και πιο ακραίες θερμοκρασίες. Λόγω της επιφανειακής εξωτερικής θερμοκρασίας της συμβατικής τοιχοποιίας, το καλοκαίρι η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει η δικέλυφη όψη είναι πολύ σημαντικότερη από την πολύ μικρή επιβάρυνση που προκαλεί τον χειμώνα (Εξοικονόμηση το καλοκαίρι περίπου 8,5-9%, ενώ τον χειμώνα επιβάρυνση 0,65%).

Διάγραμμα 4.18. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο θέρμανσης



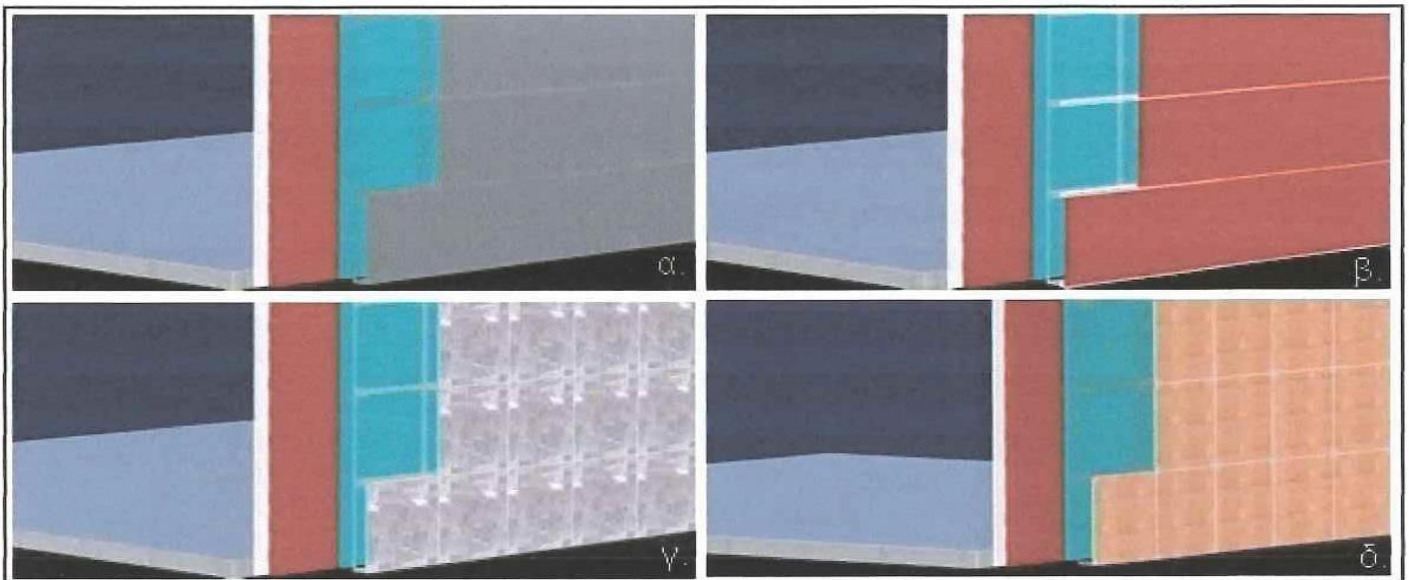
Διάγραμμα 4.19. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο ψύξης



4.2.4. Υλικό του εξωτερικού κελύφους

Το υλικό που τοποθετείται στο εξωτερικό κέλυφος έχει ως αποστολή να προστατεύει το εσωτερικό. Γι' αυτόν το λόγο τα χαρακτηριστικά του υλικού της εξωτερικής όψης παίζουν σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά μιας δικέλυφης τοιχοποιίας.

Τα υλικά που χρησιμοποιηθήκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι το αλουμίνιο, το μάρμαρο, το ξύλο και η διακοσμητική τοιχοποιία. Τα τρία πρώτα υλικά στερεώνονται με βίδες πάνω στο μεταλλικό πλαίσιο, με την διαφορά ότι στην περίπτωση της ορθομαρμάρωσης, τα μέλη του μεταλλικού πλαισίου είναι αυξημένου πάχους για να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στις συνθήκες του αυξημένου βάρους του μαρμάρου. Στην περίπτωση της διακοσμητικής τοιχοποιίας, αυτή στηρίζεται πάνω σε μια βάση τοποθετημένη στο μεταλλικό πλέγμα όπως είχε παρουσιαστεί στο σχήμα 2.5.



Σχήμα 4.8. Υλικά που μελετήθηκαν: α: αλουμίνιο, β: διακοσμητική τοιχοποιία, γ: μάρμαρο, δ: ξύλο Πηγή: [Πρωτότυπο]

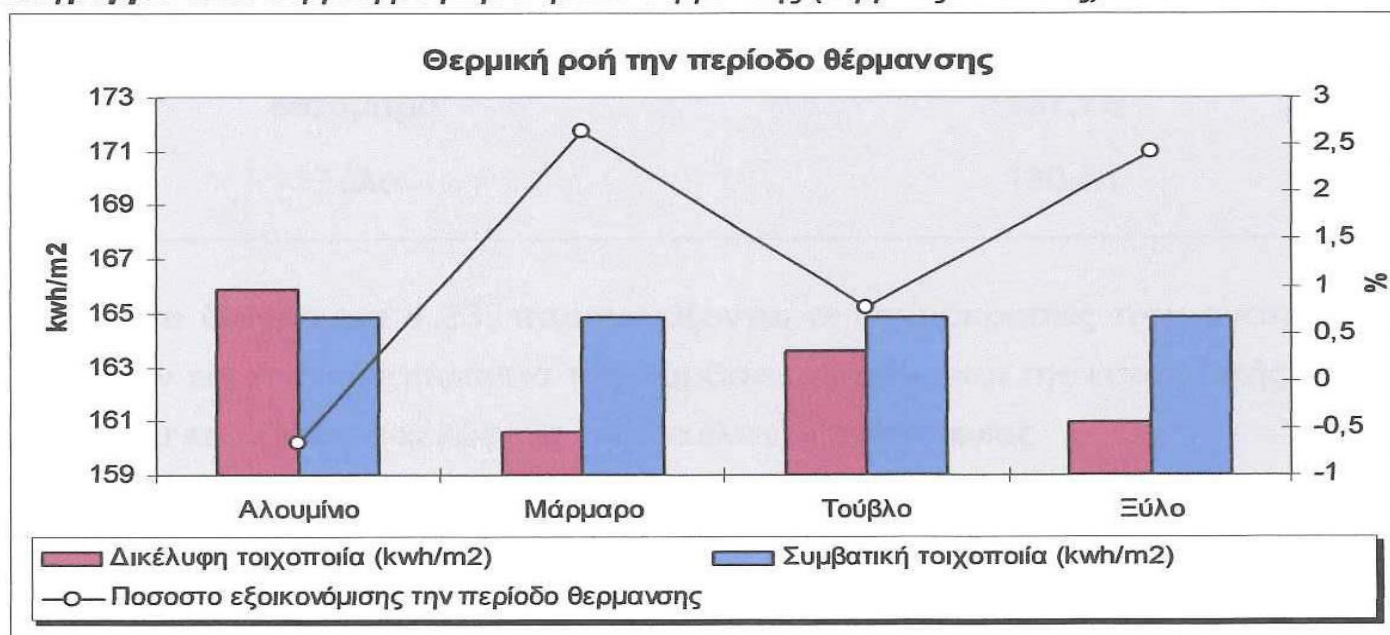
Στα αποτελέσματα της προσομοίωσης που παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.20. και 4.21. φαίνεται η διαφορά στην θερμική ροή ανάμεσα στην δικέλυφη τοιχοποιία και σε μία συμβατική συναρτήσε του υλικού κατασκευής της όψης. Παρατηρούμε ότι μόνο το αλουμίνιο έχει αρνητική συμπεριφορά τον χειμώνα ενώ τα άλλα υλικά έχουν θετική. Αντίθετα το καλοκαίρι η συμβολή του

κάθε υλικού στην εξοικονόμηση ενέργειας έχει την αντίστροφη θέση που είχε τον χειμώνα. Η εξοικονόμηση ψυκτικού φορτίου είναι σημαντικότερη από την εξοικονόμηση θερμικού γιατί η ψύξη παράγεται με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης λόγω χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ η θερμότητα μπορεί να παραχθεί κατευθείαν από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, ξύλο κ.α.) με μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης.

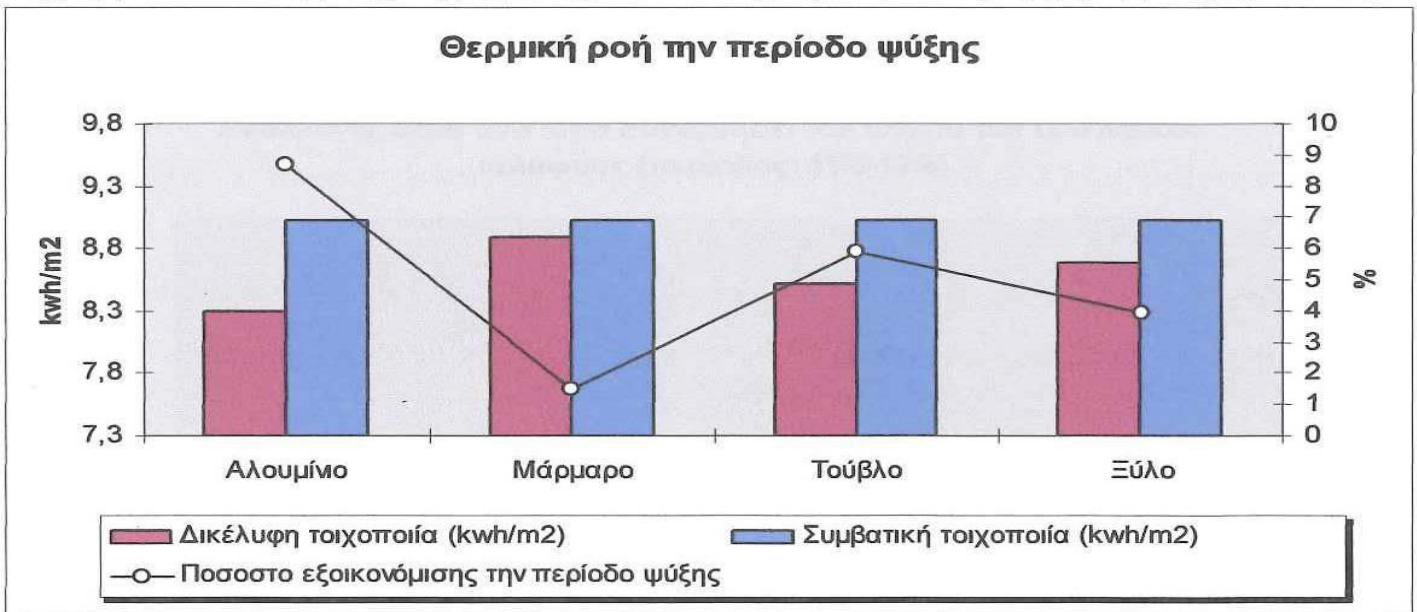
Ο πίνακας 4.5. παρουσιάζει τις μέσες εναλλαγές αέρα ανά ώρα την περίοδο ψύξης για όλα τα υλικά εξωτερικού κελύφους που μελετήθηκαν.

Οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα στην συγκεκριμένη περίπτωση εξαρτώνται από την θερμοχωρητικότητα του κάθε υλικού. Γι' αυτόν τον λόγο το μάρμαρο και η επενδυτική τοιχοποιία έχουν περισσότερες εναλλαγές αέρα την ώρα αφού είναι σε θέση να αποθηκεύουν περισσότερη ώρα την θερμότητα που δέχονται και να την εκπέμπουν αργότερα. Ακόμα από το διάγραμμα 4.22. μπορεί να φανεί αυτή η χρονική μετατόπιση των κορυφών της κάθε καμπύλης ανάλογα με το υλικό που εκπροσωπεί.

Διάγραμμα 4.20. Θερμική ροή την περίοδο θέρμανσης (θερμικές απώλειες)



Διάγραμμα 4.21. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο ψύξης (θερμικές πρόσοδοι)



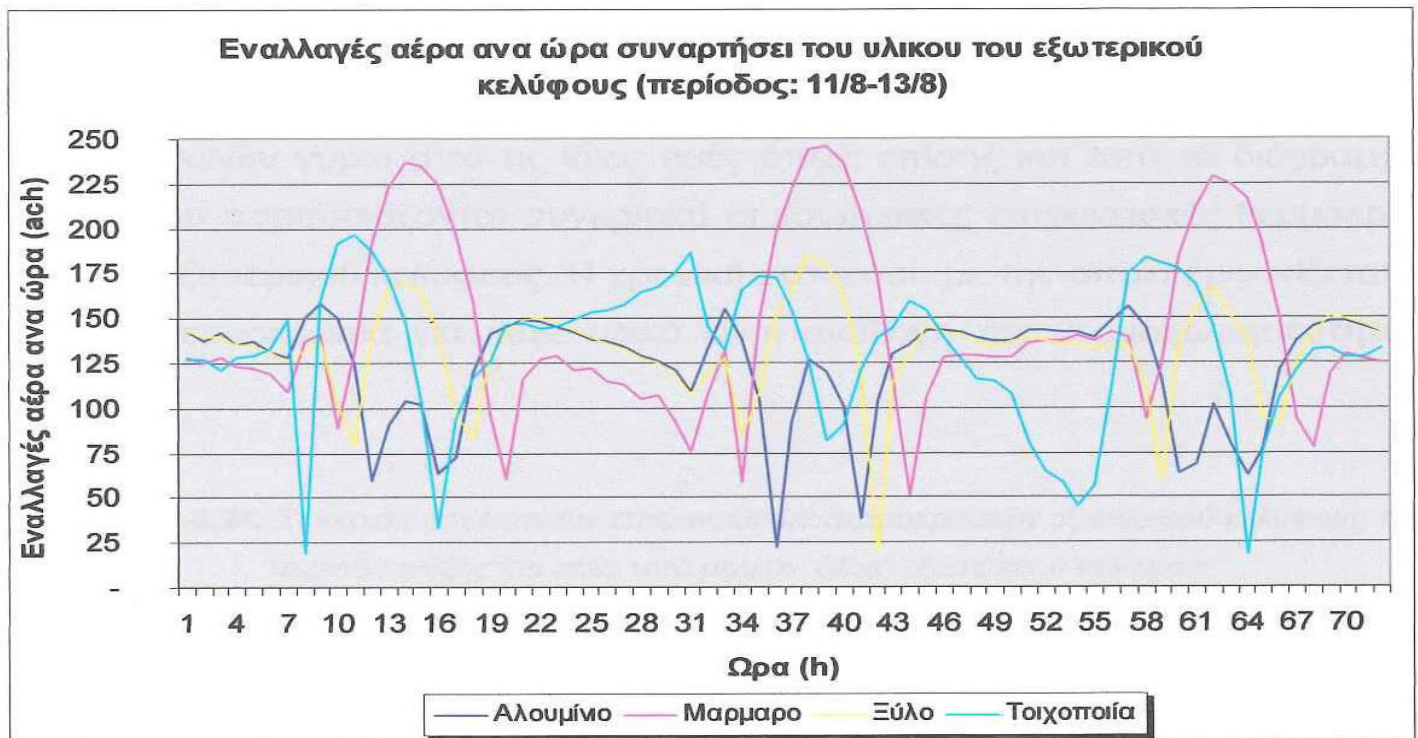
Πίνακας 4.5. Μέσες εναλλαγές αέρα την περίοδο ψύξης συναρτήσεϊ του υλικού του εξωτερικού κελύφους.

Υλικό του εξωτερικού κελύφους	Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)
Αλουμίνιο	128,18
Διακοσμητική τοιχοποιία	147,37
Μάρμαρο	137,79
Ξύλο	130,51

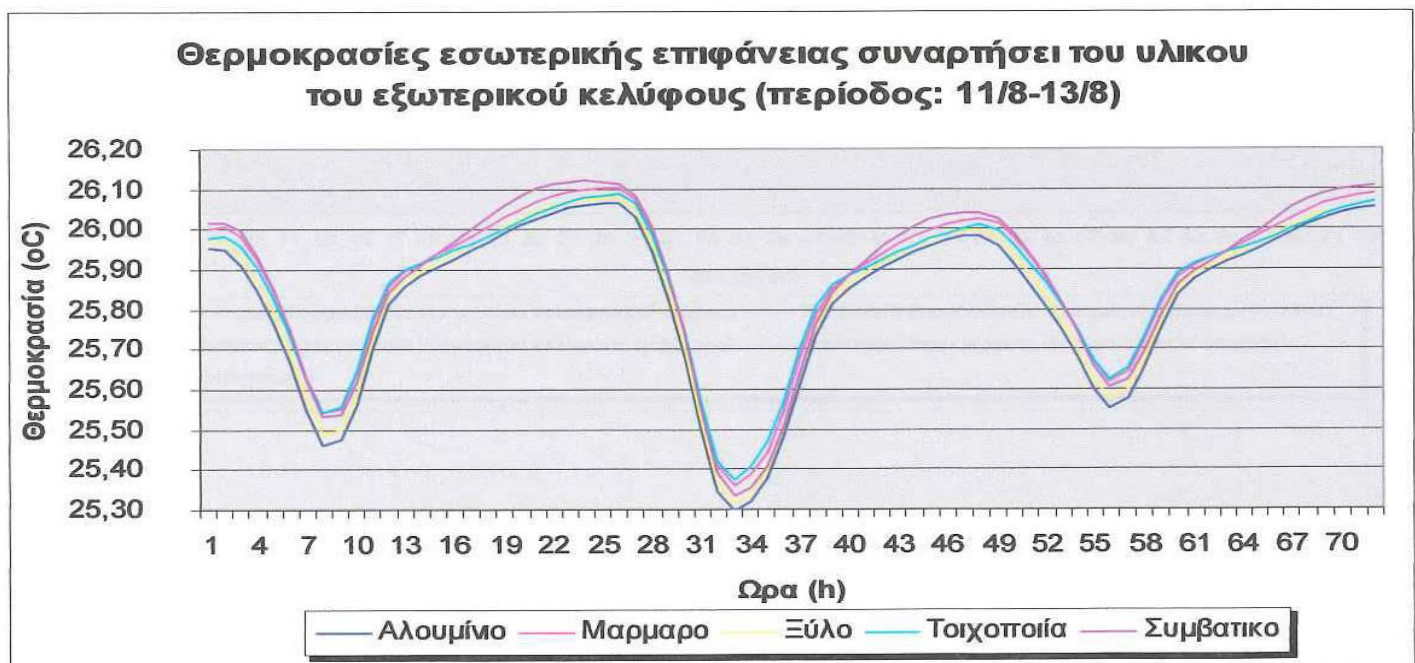
Στο διάγραμμα 4.23. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εσωτερική επιφάνεια της συμβατικής όψης και της εσωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού κελύφους της δικέλυφης τοιχοποιίας.

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες είναι αυτές της συμβατικής τοιχοποιίας, ακολουθεί η δικέλυφη όψη με μάρμαρο, με διακοσμητική τοιχοποιία, το ξύλο και στο τέλος βρίσκεται το αλουμίνιο. Η κατάταξη αυτή για την δικέλυφη τοιχοποιία αναδεικνύει τον ρόλο της θερμικής μάζας στην συνολική συμπεριφορά μιας δικέλυφης όψης.

Διάγραμμα 4.22. Εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσει του υλικού κατασκευής της εξωτερικής όψης



Διάγραμμα 4.23. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης

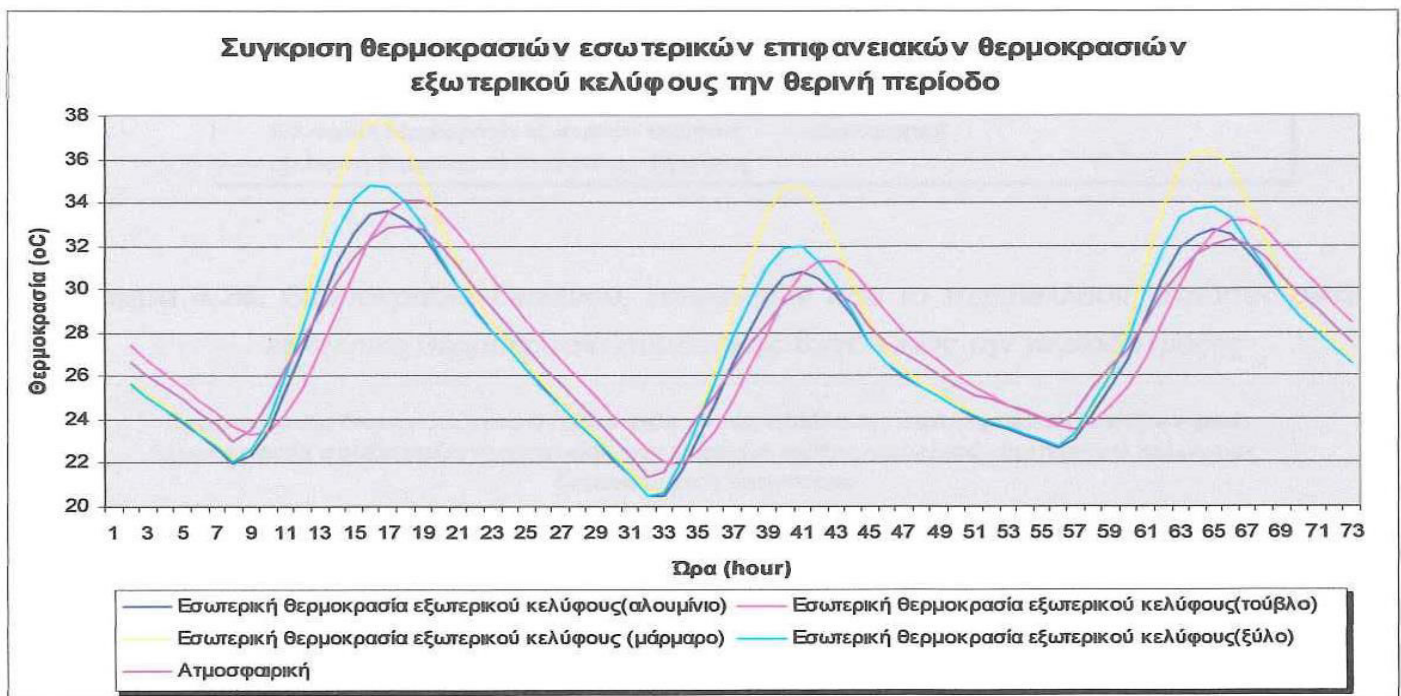


Στα διαγράμματα 4.25. και 4.26. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται γύρω από το διάκενο που το εξωτερικό κέλυφος αποτελείται

από διακοσμητικούς συμπαγείς πλίνθους, στο διάκενο το ίδιο, καθώς επίσης η ατμοσφαιρική και εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία μιας συμβατικής όψης.

Από αυτά παρατηρείται η μετατόπιση των κορυφών των θερμοκρασιών που αφορούν την δικέλυφη τοιχοποιία καθώς επίσης και η συσπείρωση αυτών των καμπυλών γύρω από τις ίδιες τιμές όπως επίσης και από το διάγραμμα 4.24. όπου παρουσιάζονται συγκριτικά οι εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες του εξωτερικού κελύφους. Η χρονική υστέρηση με την οποία εμφανίζεται η μέγιστη θερμοκρασία για κάθε υλικό είναι ανάλογη της θερμοχωρητικότητάς του.

Διάγραμμα 4.24. Σύγκριση εσωτερικών επιφανειακών θερμοκρασιών εξωτερικού κελύφους την περίοδο ψύξης για κάθε υπό μελέτη υλικό εξωτερικού κελύφους



Διάγραμμα 4.25. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο θέρμανσης



Διάγραμμα 4.26. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο ψύξης

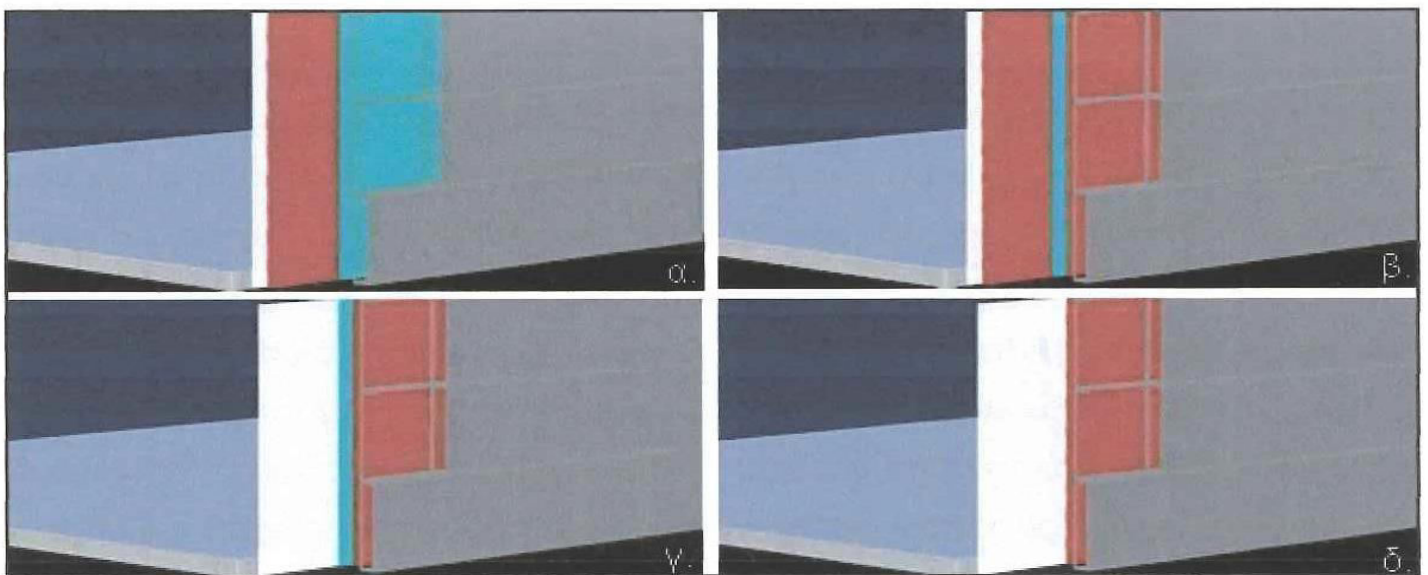


4.2.5. Θέση θερμομονωτικού υλικού

Η επιλογή για την θέση στην οποία θα τοποθετηθεί το θερμομονωτικό υλικό γίνεται προκειμένου να γίνει εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας της διατομής αν κάτι τέτοιο συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας ή στην βελτίωση των συνθηκών άνεσης στο κτίριο.

Η αύξηση της θερμοχωρητικότητας συνεπάγεται σταθερότητα εσωκλιματικών συνθηκών και αργή μεταβολή της θερμοκρασίας στον χώρο, ανάλογα με τον όγκο της θερμικής μάζας. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες απαιτείται η ταχεία θέρμανση ή ψύξη ενός χώρου, η παρουσία μεγάλης θερμικής μάζας ουσιαστικά θα επιφέρει αυξημένη κατανάλωση.

Στην περίπτωση κατά την οποία η θερμική μάζα του χώρου είναι ελάχιστη, από τη στιγμή που εκκινείτε το σύστημα θέρμανσης, πολύ σύντομα θα έχει θερμανθεί ο χώρος μια και το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας θα παραμείνει στον αέρα και δεν θα διοχετευτεί στην θερμική μάζα. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα θέρμανσης θα λειτουργεί στον περιορισμένο χρόνο που χρησιμοποιείται ο χώρος με μειωμένη κατανάλωση.



Σχήμα 4.9. Θέση θερμομονωτικού υλικού στην δικέλυφη αδιαφανή όψη Πηγή: [Πρωτότυπο]

Στο σχήμα 4.9. φαίνονται όλες οι δυνατές θέσεις που μπορεί να μπει το θερμομονωτικό υλικό:

- α) εξωτερικά της τοιχοποιίας

- β) στον πυρήνα της τοιχοποιίας
- γ) εσωτερικά της τοιχοποιίας
- δ) χωρίς θερμομονωτικό υλικό

Όταν η θερμομόνωση τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του δομικού στοιχείου τότε αξιοποιείται η θερμική μάζα του στοιχείου και αυξάνει η συνολική θερμοχωρητικότητα του κτιρίου. Αυτό μεταφράζεται σε αυξημένη σταθερότητα εσωκλιματικών συνθηκών και σε αργές μεταβολές της θερμοκρασίας του χώρου.

Όταν το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται εσωτερικά τότε η θερμική μάζα των δομικών στοιχείων μένει ανεκμετάλλευτη αλλά επιτυγχάνονται σε συντομότερο χρονικό διάστημα οι απαιτούμενες εσωκλιματικές συνθήκες. [5]

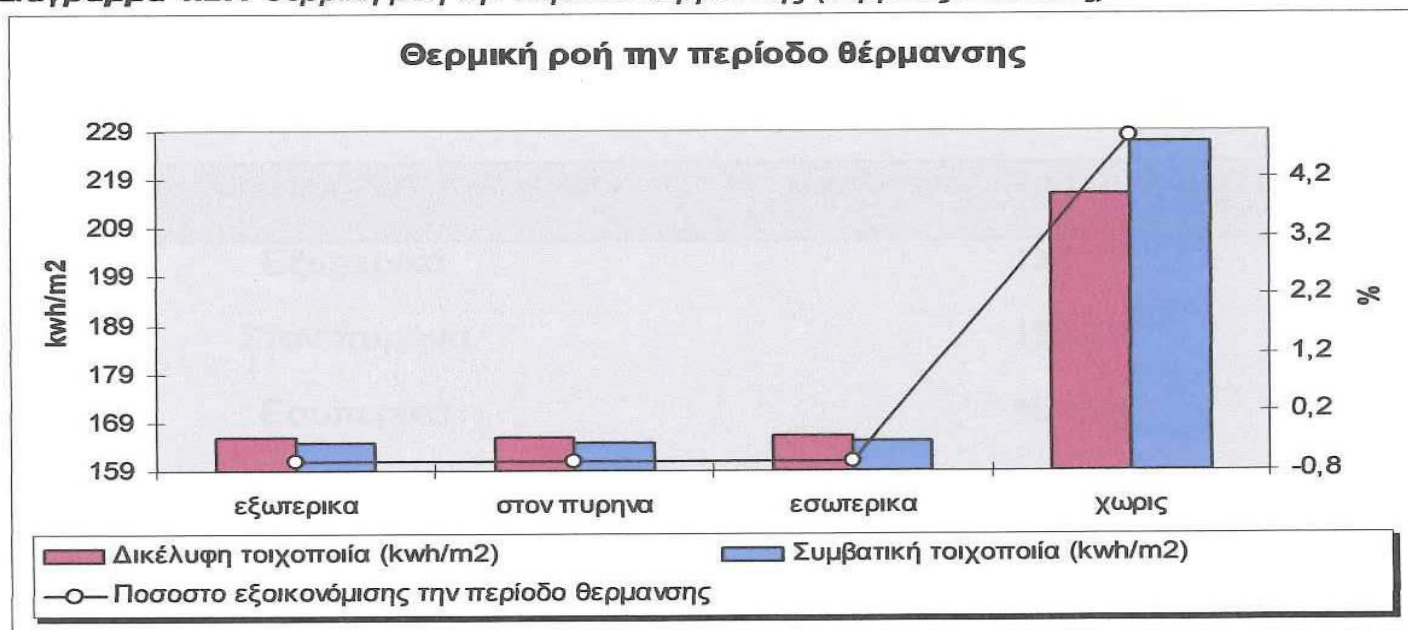
Γενικά στα κτίρια γραφείων που απαιτείται ταχεία επίτευξη των επιθυμητών θερμικών συνθηκών, προτιμάτε η εσωτερική θερμομόνωση των χώρων, ενώ στα κτίρια κατοικιών για να υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα στις εσωκλιματικές συνθήκες προτιμάτε η εξωτερική θερμομόνωση. Η θερμομόνωση στον πυρήνα αποτελεί την τομή των δύο τρόπων τοποθέτησης του θερμομονωτικού στρώματος.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όσον αφορά τις ενεργειακές ροές παρουσιάζονται στα διαγράμματα 4.27. και 4.28. Παρατηρείται σε αυτά τα διαγράμματα πόσο μεγάλη είναι η διαφορά ανάμεσα στην μονωμένη και στην αμόνωτη τοιχοποιία καθώς επίσης και πόσο μεγάλη συμβολή έχει το δεύτερο εξωτερικό κέλυφος στην δικέλυφη αμόνωτη όψη σε σχέση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Σε καμία περίπτωση όμως δεν πρέπει να επιλέγεται η δικέλυφη τοιχοποιία σε ένα αμόνωτο κτίριο αντί της πλήρους θερμομόνωσής του, γιατί η θερμομόνωση αποτελεί το “α και ω” του σωστού ενεργειακού σχεδιασμού ενός κτιρίου και στην συνέχεια ακολουθούν όλες οι υπόλοιπες βελτιωτικές λύσεις.

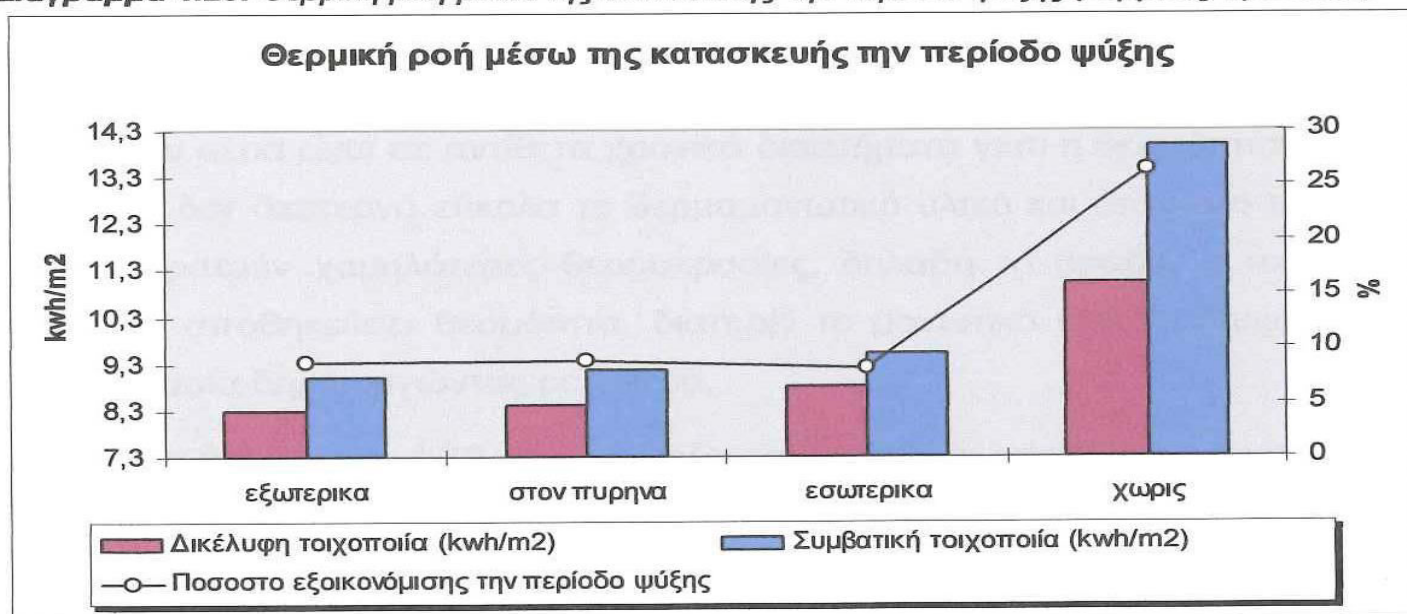
Σύμφωνα με τα δεδομένα που έδωσαν την γραμμή του ποσοστού εξοικονόμησης ενέργειας την περίοδο ψύξης στο διάγραμμα 4.28. όταν το θερμομονωτικό υλικό βρίσκεται στον πυρήνα τότε υπάρχει μεγαλύτερη απόδοση από τις δύο άλλες θέσεις που μπορεί αυτό να τοποθετηθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί εάν ήταν το θερμομονωτικό εξωτερικά τότε η θερμότητα που υπάρχει αποθηκευμέ-

νη στην τοιχοποιία δεν μπορεί να εκτονωθεί προς το διάκενο με την βοήθεια του ρεύματος αέρα. Ενώ εάν τοποθετηθεί εσωτερικά τότε όλη η θερμότητα που υπάρχει στην τοιχοποιία δεν προλαβαίνει να απομακρυνθεί από αυτήν λόγω του μεγάλου όγκου που είναι σε θέση να αποθηκευτεί στην θερμική μάζα του δομικού στοιχείου. Όταν το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται στον πυρήνα της τοιχοποιίας τότε συνδυάζονται τα προτερήματα των δυο περιπτώσεων που περιγράφηκαν και ελαχιστοποιούνται τα μειονεκτήματα της κάθε περίπτωσης και

Διάγραμμα 4.27. Θερμική ροή την περίοδο θέρμανσης (θερμικές απώλειες)



Διάγραμμα 4.28. Θερμική ροή μέσω της κατασκευής την περίοδο ψύξης (θερμικές πρόσοδοι)



γι' αυτό υπάρχει η μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας στην περίπτωση που το θερμομονωτικό τοποθετείται στον πυρήνα της τοιχοποιίας.

Στον πίνακα 4.6. παρουσιάζονται οι μέσες εναλλαγές αέρα ανά ώρα στο διάκενο κατά την θερινή περίοδο. Η μικρότερη μέση τιμή ανήκει στην περίπτωση της εξωτερικής μόνωσης γιατί αφού το θερμομονωτικό υλικό δεν αποθηκεύει θερμότητα και ακολουθεί τις γύρω θερμοκρασίες χωρίς να αναπτύσσει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές που θα είναι σε θέση να αυξήσουν τον αερισμό στο διάκενο.

Πίνακας 4.6. Μέσες εναλλαγές αέρα την περίοδο ψύξης συναρτήσει του υλικού του εξωτερικού κελύφους.

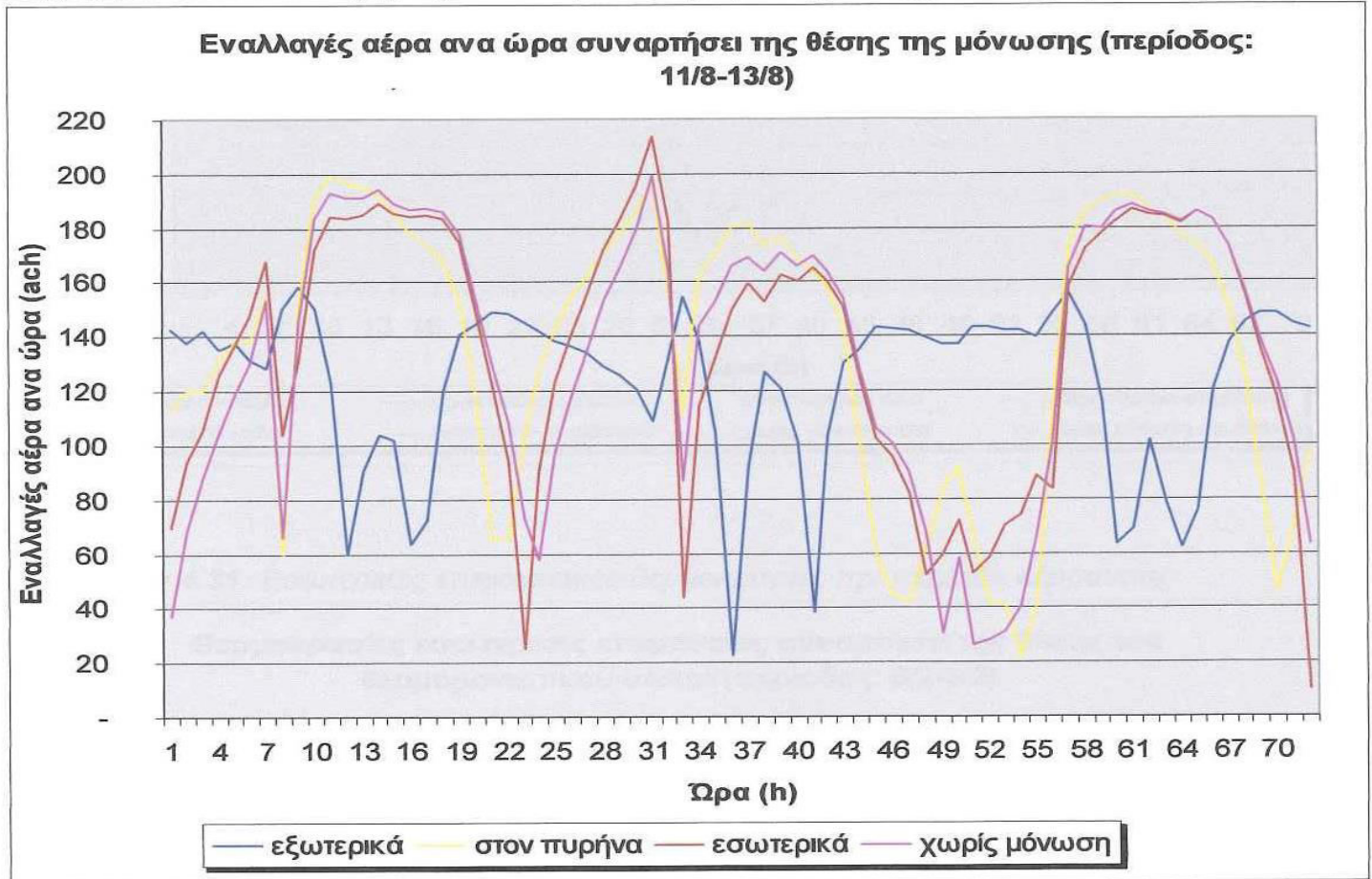
Θέση θερμομονωτικού υλικού	Εναλλαγές αέρα ανά ώρα (ach)
Εξωτερικά	128,18
Στον πυρήνα	152,70
Εσωτερικά	151,94
Χωρίς	150,96

Στο διάγραμμα 4.29. παρουσιάζονται οι εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσει της θέσης της μόνωσης. Οι εναλλαγές που προκαλούνται από την αμόνωτη και την μονωμένη εσωτερικά τοιχοποιία ακολουθούν την ίδια πορεία καθώς και στις δύο περιπτώσεις πρέπει να εκτονωθεί η θερμότητα της τοιχοποιίας προς το διάκενο. Τέλος όταν η μόνωση είναι εξωτερικά οι κορυφές των εναλλαγών αέρα είναι σε αντίθετα χρονικά διαστήματα γιατί η θερμότητα της τοιχοποιίας δεν διαπερνά εύκολα το θερμομονωτικό υλικό και όταν στο περιβάλλον επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, δηλαδή το βράδυ, η τοιχοποιία που έχει αποθηκεύσει θερμότητα, διατηρεί το μονωτικό υλικό σε υψηλότερη θερμοκρασία δημιουργώντας ροή αέρα.

Στο διάγραμμα 4.30. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εσωτερική επιφάνεια της συμβατικής όψης και της εσωτερικής επιφάνειας του εσωτερικού κελύφους της δικάλυφης τοιχοποιίας την θερινή περίοδο. Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει η αμόνωτη συμβατική τοιχοποιία εμφανί-

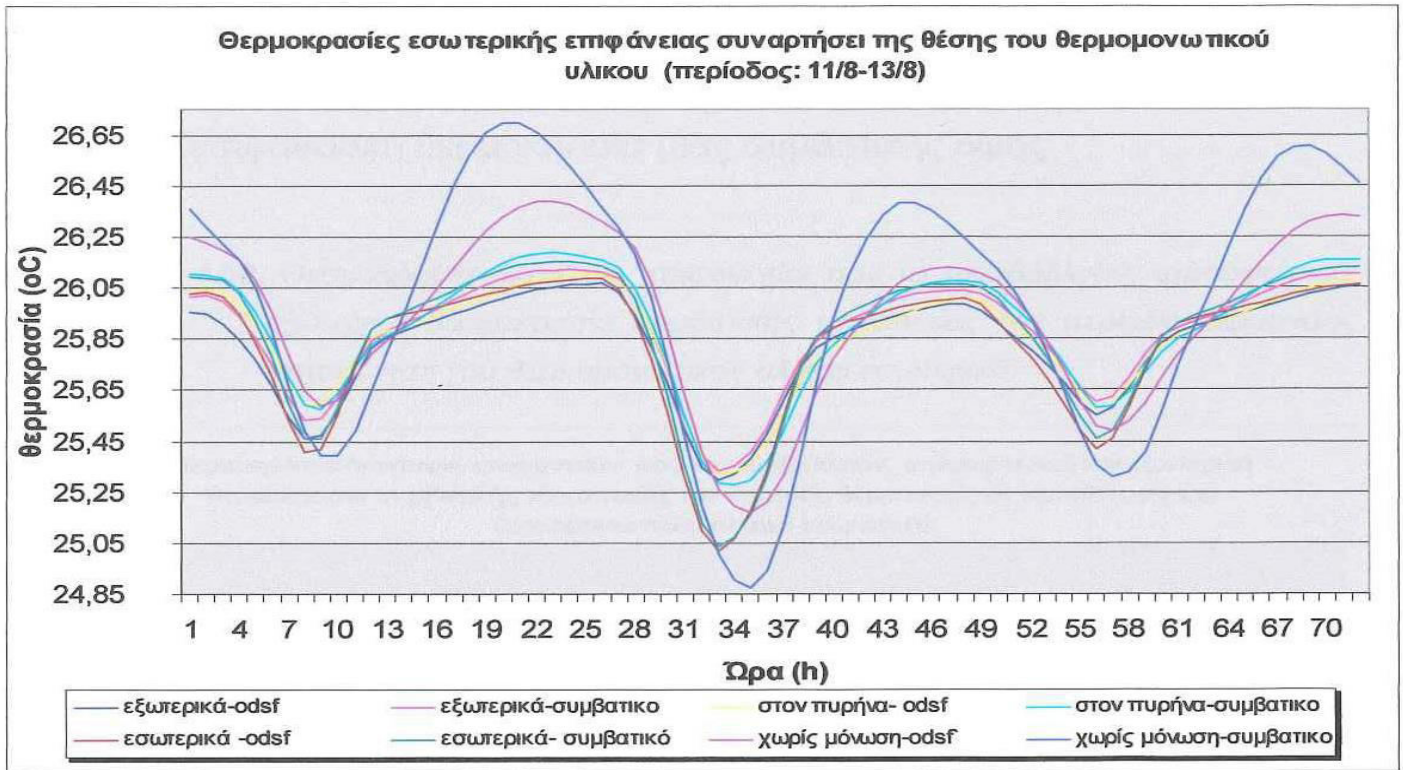
ζει τις πιο ακραίες τιμές ενώ η αντίστοιχη δικέλυφη δεν απέχει πολύ από τις μονωμένες περιπτώσεις. Από τις μονωμένες, την βέλτιστη συμπεριφορά παρουσιάζουν οι δικέλυφες προάγοντας έτσι λίγο το αίσθημα θερμικής άνεσης στον εσωτερικό χώρο.

Διάγραμμα 4.29. Εναλλαγές αέρα ανά ώρα συναρτήσει της θέσης του θερμομονωτικού υλικού

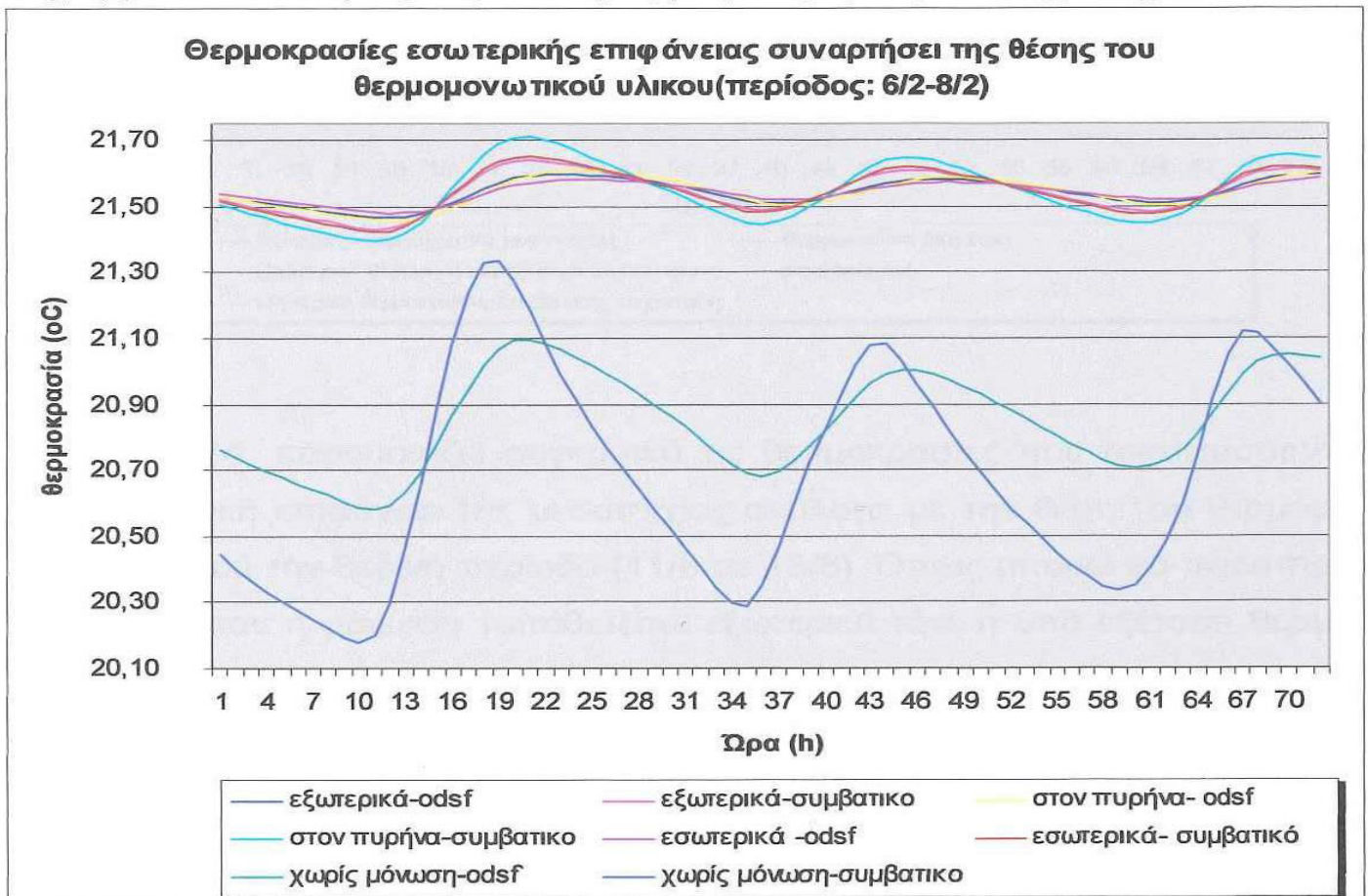


Άξιο προσοχής είναι το διάγραμμα 4.31. που παρουσιάζει τις εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες τον χειμώνα. Σε αυτό μπορεί κανείς να παρατηρήσει την σημασία της θερμομόνωσης, αφού και στις δύο περιπτώσεις της συμβατικής και της δικέλυφης αμόνωτης τοιχοποιίας, οι θερμοκρασίες αυτές έχουν σημαντική διαφορά και είναι πολύ μειωμένες σε σχέση με τις περιπτώσεις των μονωμένων όψεων. Ακόμα φαίνεται ότι όσο πιο μακριά από το εσωτερικό τοποθετείται το μονωτικό υλικό, τόσο μειώνεται η διακύμανση της κάθε καμπύλης.

Διάγραμμα 4.30. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο ψύξης



Διάγραμμα 4.31. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την περίοδο θέρμανσης



Στα διαγράμματα 4.32. και 4.33. παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις επιφάνειες που περιβάλλουν το διάκενο που η μόνωση βρίσκεται εσωτερικά, στο διάκενο το ίδιο, καθώς επίσης η ατμοσφαιρική και η εξωτερική επιφανειακή θερμοκρασία μιας συμβατικής όψης.

Διάγραμμα 4.32. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο θέρμανσης με τοποθέτηση του θερμομονωτικού υλικού εσωτερικά

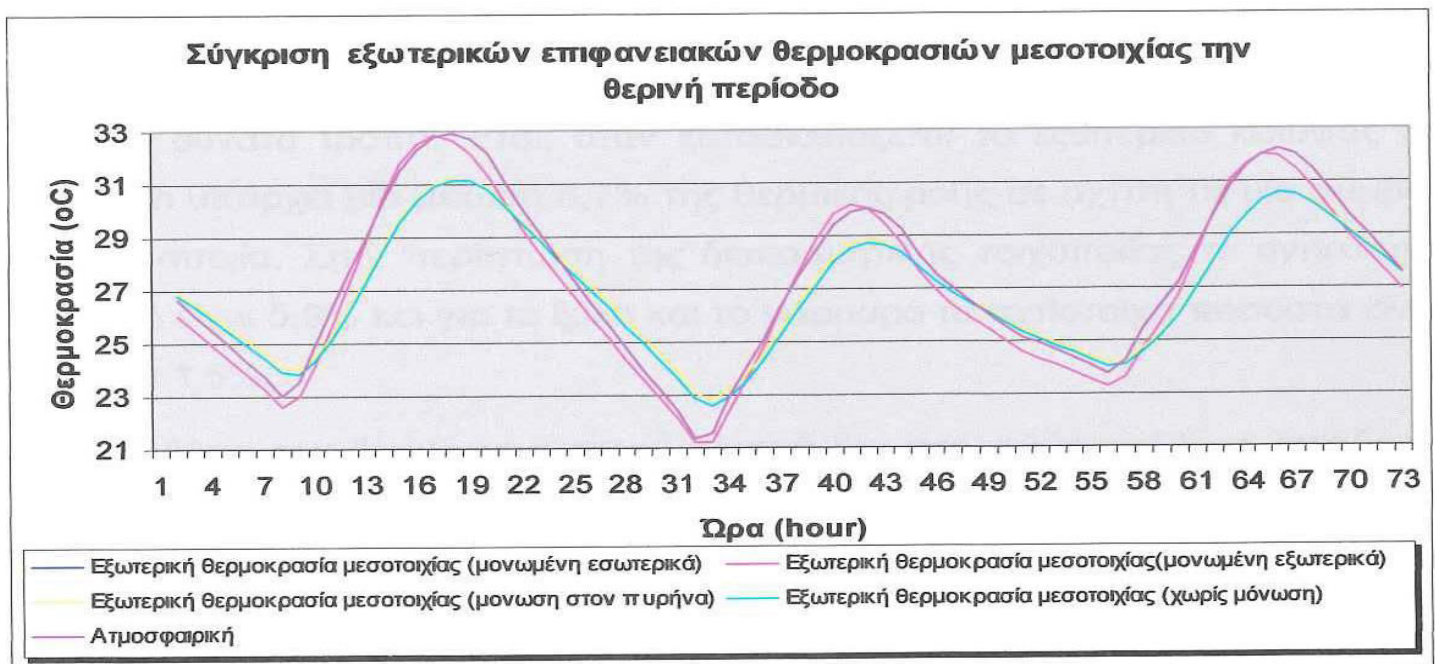


Το 4.34. παρουσιάζει συγκριτικά τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εξωτερική επιφάνεια της μεσοτοιχίας ανάλογα με την θέση του θερμομονωτικού υλικού την θερινή περίοδο (11/8 με 13/8). Όπως μπορεί να παρατηρηθεί κανείς, όταν η μόνωση τοποθετείται εξωτερικά τότε η υπό εξέταση θερμοκρασία ακολουθεί την ατμοσφαιρική και όσο αλλάζει η θέση του θερμομονωτικού υλικού τόσο απομακρύνεται η κάθε καμπύλη από την ατμοσφαιρική.

Διάγραμμα 4.33. Θερμοκρασία διακένου, επιφανειών που το περιβάλλουν, ατμοσφαιρική και εξωτερική θερμοκρασία συμβατικής τοιχοποιίας την περίοδο ψύξης θέρμανσης με τοποθέτηση του θερμομονωτικού υλικού εσωτερικά



Διάγραμμα 4.34. Σύγκριση εξωτερικών επιφανειακών θερμοκρασιών της μεσοτοιχίας συναρτήσει της θέσης της μόνωσης την θερινή περίοδο



4.3. Συμπεράσματα παραμετρικής ανάλυσης

Κατά την διεξαγωγή της παραμετρικής ανάλυσης εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας της δικέλυφης τοιχοποιίας. Γενικά από όλες τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν γίνεται αντιληπτό ότι η δικέλυφη όψη έχει ευεργετικές ιδιότητες την θερινή περίοδο του έτους ενώ την χειμερινή συμπεριφέρεται όπως μια συμβατική τοιχοποιία.

Το ύψος της δικέλυφης αδιαφανούς όψης επηρεάζει λίγο την απόδοση του συστήματος, καθώς η μέγιστη από την ελάχιστη τιμή της διαφοράς της θερμικής ροής μεταξύ της δικέλυφης τοιχοποιίας και μιας συμβατικής είναι της τάξης μεγέθους του 0,44% για οποιοδήποτε ύψος όψης.

Ο προσανατολισμός της δικέλυφης όψης έχει πολύ σημαντική επίδραση στην απόδοση του συστήματος και οι όψεις που δέχονται περισσότερη ώρα και με μεγαλύτερη κλίση την ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η δυτική και η ανατολική, χρειάζονται περισσότερο το δεύτερο εξωτερικό κέλυφος.

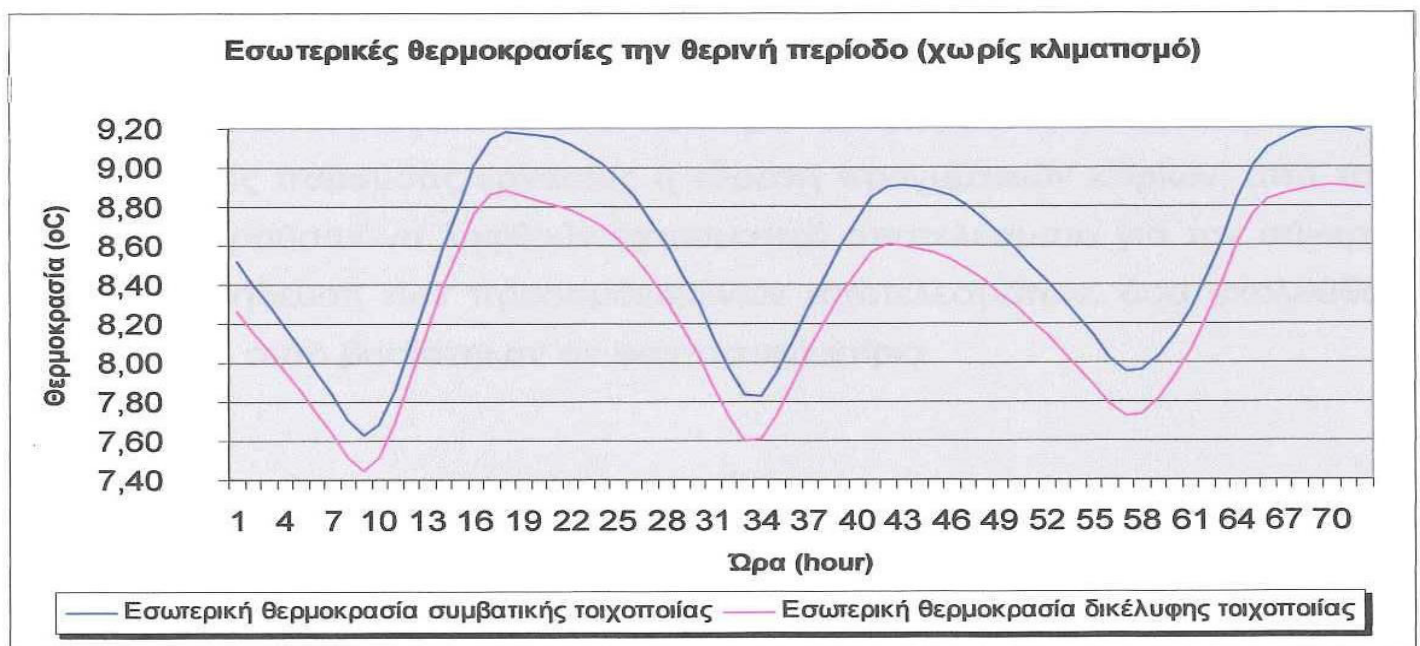
Το πλάτος του διακένου επηρεάζει κατά τον ελάχιστο δυνατό βαθμό την απόδοση της δικέλυφης τοιχοποιίας και δεν δικαιολογείται η τοποθέτηση του εξωτερικού κελύφους πολύ μακριά από το εσωτερικό γιατί τότε υπάρχουν πολύ μεγάλα προβλήματα στατικής αντοχής χωρίς το αναμενόμενο ενεργειακό όφελος.

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εξωτερικού κελύφους είναι σημαντική παράμετρος για να λειτουργήσει η δικέλυφη όψη με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Έτσι, όταν κατασκευάζεται το εξωτερικό κέλυφος με αλουμίνιο υπάρχει μια μείωση 8,7% της θερμικής ροής σε σχέση με μία συμβατική τοιχοποιία. Στην περίπτωση της διακοσμητικής τοιχοποιίας το αντίστοιχο ποσοστό είναι 5,9% και για το ξύλο και το μάρμαρο τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 3,9% και 1,5%.

Η θέση του θερμομονωτικού υλικού δεν επηρεάζει πολύ την απόδοση της δικέλυφης τοιχοποιίας και την θερινή περίοδο κυμαίνεται περίπου στο 8,5%. Εκεί που υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας είναι την περίπτωση της αμόνυτης δικέλυφης σε σχέση με μία αντίστοιχη συμβατική τοιχοποιία που την θερινή περίοδο το ποσοστό αυτό φτάνει μέχρι και 26,5%

Τέλος, όσον αφορά τα επίπεδα **θερμικής άνεσης** του εσωτερικού κατοικήσιμου χώρου, αυτά βελτιώνονται με την δικέλυφη τοιχοποιία σε μικρό βαθμό που δεν παύει όμως να είναι υπολογίσιμος. Προσομοιώνοντας μία περίπτωση όπου την θερινή περίοδο δεν λειτουργεί κλιματιστικό σύστημα μπορεί να παρατηρηθεί καθαρότερα η ανωτερότητα της δικέλυφης τοιχοποιίας σε σχέση με την συμβατική όσον αφορά τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην εσωτερική τους επιφάνεια και κατ' επέκταση στην θερμική άνεση που προσφέρουν. Στο διάγραμμα 4.35. παρουσιάζονται οι εσωτερικές θερμοκρασίες για την κατάσταση αναφοράς της δικέλυφης και για μία αντίστοιχη συμβατική τοιχοποιία την θερινή περίοδο.

Διάγραμμα 4.35. Εσωτερικές επιφανειακές θερμοκρασίες την θερινή περίοδο για την κατάσταση αναφοράς χωρίς κλιματισμό (11/8 με 13/8)



5. Εφαρμογή σε κτίριο

5.1. Γενικά

Μετά το τέλος της παραμετρικής ανάλυσης και των χρήσιμων συμπερασμάτων που εξήχθησαν, σειρά έχει η εισαγωγή του παθητικού ηλιακού συστήματος των δικέλυφων αδιαφανών όψεων σε κάποιο κτίριο το οποίο χρησιμοποιείται από ορισμένους χρήστες, έχει ανοίγματα, υπάρχουν θερμικές ροές απ' όλες τις εξωτερικές επιφάνειες που το περιβάλλουν και τα δομικά του στοιχεία δεν είναι κατασκευασμένα μόνο από σπτόπλινθους αλλά και από σπλισμένο σκυρόδεμα σε αντίθεση με ότι ίσχυε στην παραμετρική ανάλυση όπου είχε μελετηθεί η συμπεριφορά μόνο μιας τοιχοποιίας χωρίς την επίδραση των παραπάνω παραμέτρων.

Προσομοιώθηκαν δύο κτίρια τα οποία εμφανίζουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με την μόνη διαφοροποίηση ότι το ένα έχει δεύτερο εξωτερικό κέλυφος, κάτι που απουσιάζει από το άλλο κτίριο. Επειδή δεν ήταν δυνατή και εκτός των ορίων της παρούσας εργασίας η εύρεση πραγματικών κτιρίων, από τα οποία θα μπορούσαν να ληφθούν πειραματικά αποτελέσματα για την σύγκριση και την επαλήθευση των προσομοιωμένων αποτελεσμάτων, όσα ακολουθούν στο κεφάλαιο αυτό βασίστηκαν σε φανταστικά κτίρια.

5.2. Το κτίριο και τα χαρακτηριστικά του

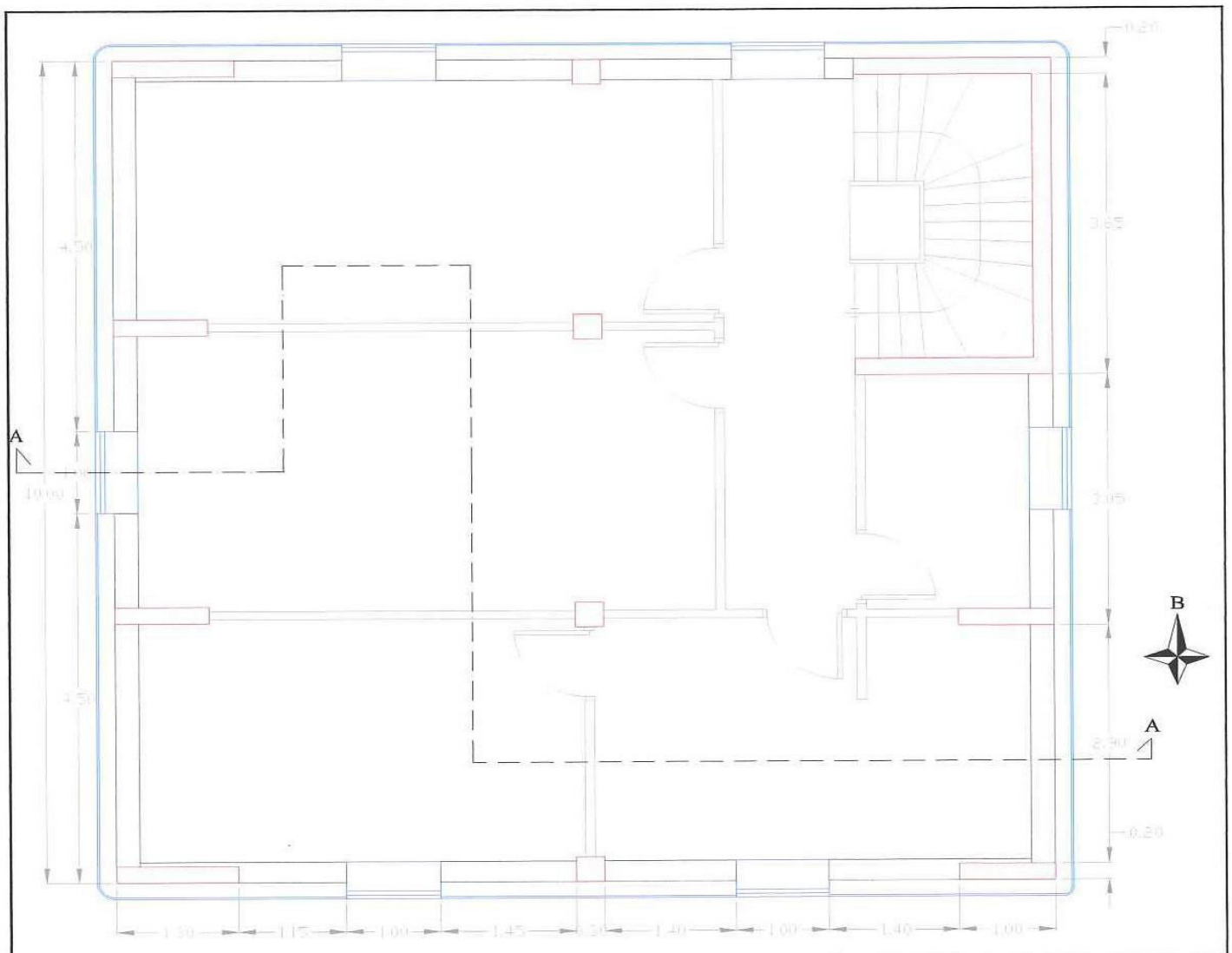
5.2.1. Περιβάλλον χώρος

Θεωρήθηκε ότι τα δύο κτίρια δεν έχουν προβλήματα σκιασμού από παρακείμενα οικοδομήματα ή από χώρους βλάστησης. Τα κτίρια εγκαταστάθηκαν στην περιοχή της Αθήνας. Η θεώρηση ότι τα κτίρια δεν έχουν προβλήματα σκιασμού των όψεών τους στην περιοχή της Αθήνας μπορεί να φαίνεται ιδιαίτερα ιδανική αλλά μόνο έτσι θα μπορούσαν να διαπιστωθούν διαφορές ανάμεσα στα δύο κτίρια αφού για να υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά στο διάκενο της δικέλυφης τοιχοποιίας πρέπει να υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Η επιλογή της πόλης της Αθήνας έγινε γιατί αποτελεί την πρωτεύουσα της Ελλάδας, αλλά και λόγω μιας αδυναμίας του TRNSYS που θα συζητηθεί στο επόμενο κεφάλαιο και

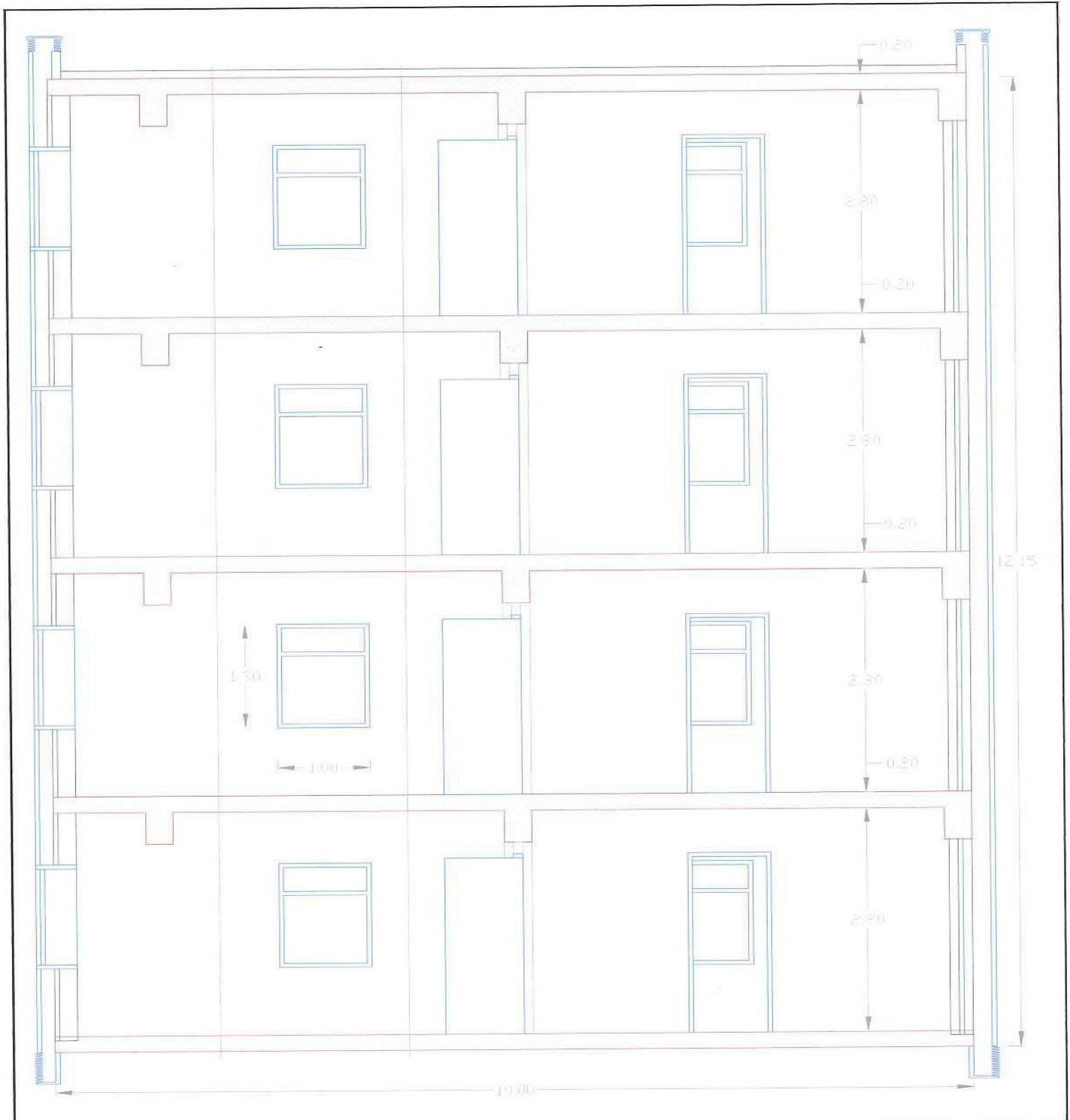
αφορά τον τρόπο χειρισμού των κλιματικών αρχείων από την μηχανή προσομοίωσης του προγράμματος.

5.2.2. Αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά κτιρίων

Τα δύο κτίρια είναι τετραώροφα με πυλωτή στο ισόγειο και χρησιμοποιούνται ως κτίρια γραφείων. Τα ανοίγματα κάθε ορόφου είναι ισοκατανεμημένα στις αντικριστές όψεις. Δύο ανοίγματα των $1,3 \text{ m}^2$ στην βόρεια και νότια όψη και ένα άνοιγμα των $1,3 \text{ m}^2$ δυτική και ανατολική όψη. Στα ανοίγματα είναι τοποθετημένοι δίδυμοι υαλοπίνακες με $u_{\text{value}} 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Το εμβαδόν κάθε ορόφου είναι 100 m^2 και ο τυπικός όροφος των κτιρίων φαίνεται στο σχήμα 5.1. και στο σχήμα 5.2. παρουσιάζεται η τομή A-A του κτιρίου A. Για λόγους αναφοράς το κτίριο με την δικέλυφη τοιχοποιία θα αναφέρεται ως κτίριο A, ενώ το κτί-

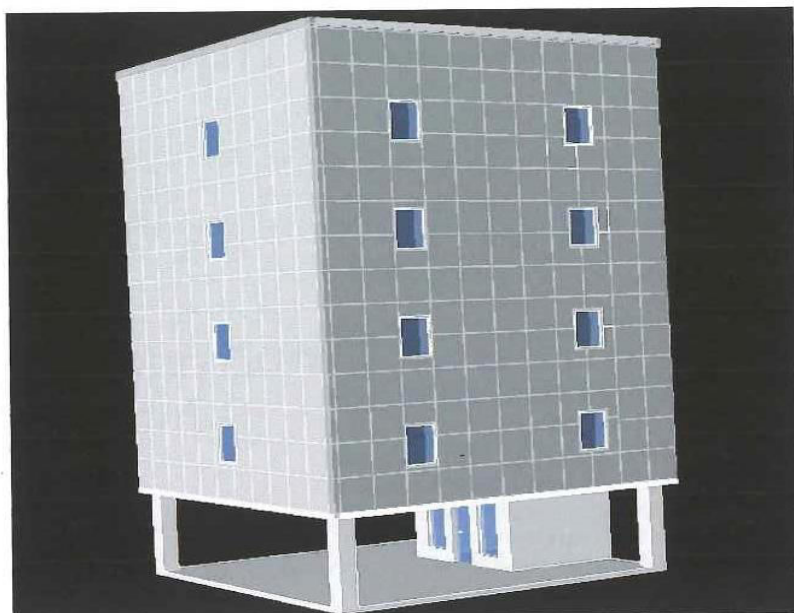


Σχήμα 5.1. Κάτοψη ενός τυπικού ορόφου του κτιρίου A.



Σχήμα 5.2. Τομή A-A του κτιρίου A

ριο με την συμβατική εξωτερική τοιχοποιία ως κτίριο B. Η διάκριση αυτή διατηρείται και στον συμβολισμό των μεγεθών που εμφανίζονται αργότερα στο κεφάλαιο. Ο τυπικός όροφος του κτιρίου B δεν παρουσιάζεται γιατί είναι όμοιος με το κτίριο A χωρίς το εξωτερικό κέλυφος. Στην περίπτωση του κτιρίου A επιλέχθηκε ως υλικό του εξωτερικού κελύφους το αλουμίνιο λόγω της ιδιαίτερα θετικής συμβολής του στην εξοικονόμηση ενέργειας τους θερμούς μήνες του έτους.



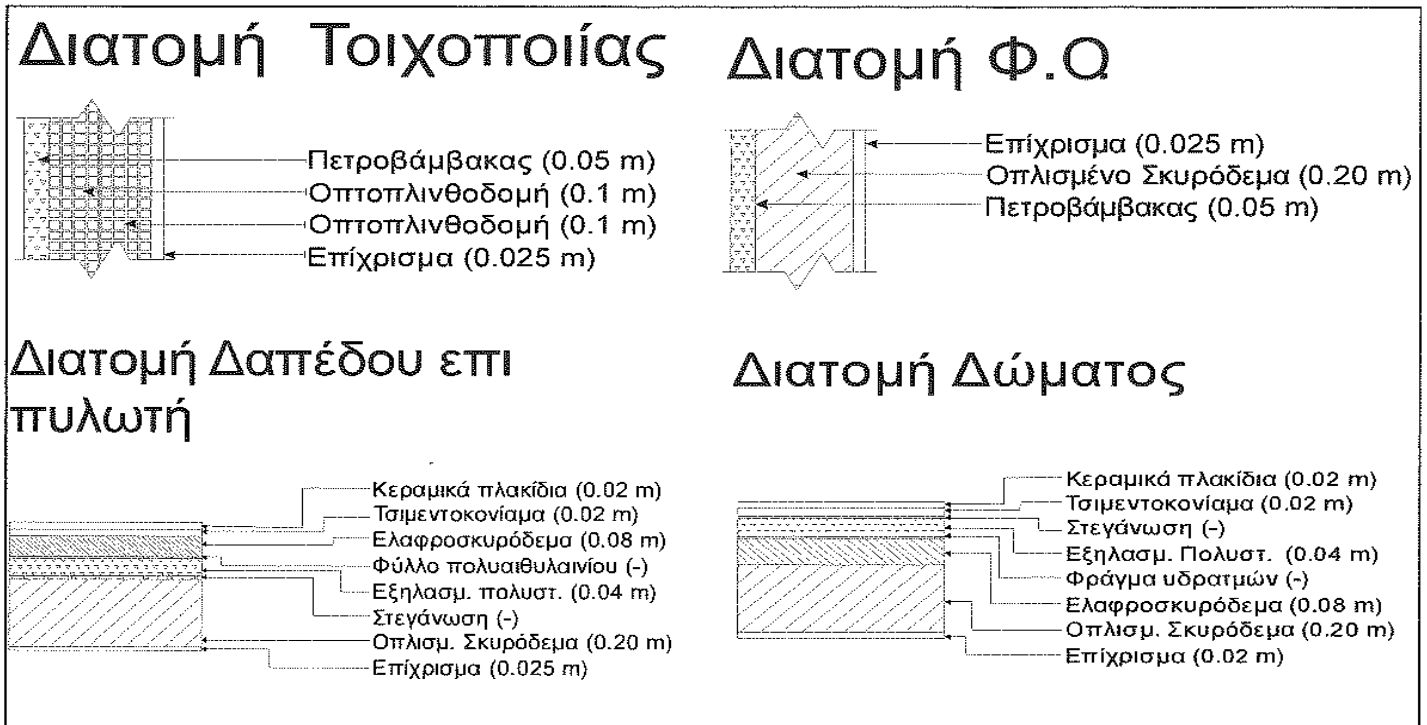
Σχήμα 5.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτιρίου A

Πηγή: [Πρωτότυπο]

Η ύπαρξη πυλωτής βοηθάει το ρεύμα αέρα να εισέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο διάκενο, καθώς δεν υπάρχουν εμπόδια που θα ήταν σε θέση να μειώσουν, ή να αλλάξουν την πορεία της ροής του αέρα προς το διάκενο. Στην συγκεκριμένη εργασία λόγω του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, δεν λαμβάνεται υπόψη ο άνεμος. Στην περίπτωση ενός πιο αναλυτικού μοντέλου μια τέτοια παράμετρος θα έπαιζε σημαντικό ρόλο και θα υπήρχε διαφοροποίηση ανάμεσα σε ένα κτίριο που θα βρισκόταν πάνω από πυλωτή και ένα άλλο που θα εφαπτόταν στο έδαφος.

5.2.3. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Τα δύο κτίρια έχουν κατασκευαστεί βάσει του κανονισμού θερμομόνωσης κτιρίων. Οι διατομές του κελύφους είναι κοινές και για τα δύο κτίρια με εξαίρεση το δεύτερο κέλυφος της δικέλυφης αδιαφανούς όψης και του θερμομονωτικού υλικού που επιλέγεται σε κάθε κτίριο. Το εξωτερικό κέλυφος δεν προσμετρά στον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του κτιρίου. Η μόνωση του φέροντος οργανισμού και της τοιχοποιίας του κτιρίου A έχει γίνει από την εξωτερική πλευρά με 5 cm παπλώματος πετροβάμβακα με συντελεστή θερμοπερατότητας $0,0504 \text{ W/m}^2\text{K}$. Οι διατομές όλων των στοιχείων του κελύφους παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4. Σ' αυτό δεν συμπεριληφθήκαν αυτές της συμβατικής τοιχοποιίας καθώς δεν εμφανίζουν καμία ουσιαστική σχεδιαστική διαφορά σε σχέση με μία



Σχήμα 5.4. Διατομές των στοιχείων του εσωτερικού κελύφους της δικέλυφης τοιχοποιίας

δικέλυφη. Η μόνη διαφοροποίηση είναι στο υλικό που χρησιμοποιείται ως μονωτικό στην συμβατική τοιχοποιία. Στο κτίριο Β δεν μπορεί να τοποθετηθεί πάπλωμα πετροβάμβακα εξωτερικά γιατί πάνω στο μονωτικό υλικό πρέπει να στερεωθεί το εξωτερικό επίχρισμα, το οποίο απουσιάζει από την εξωτερική μεριά της δικέλυφης τοιχοποιίας για να είναι δυνατή η εκτόνωση της υγρασίας της τοιχοποιίας προς το διάκενο. Γι' αυτό τον λόγο στο συμβατικό κτίριο επιλέχθηκε η εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 4 cm για τον φέροντα οργανισμό και την τοιχοποιία. Τέλος στο δάπεδο και στο δώμα και των δύο κτιρίων χρησιμοποιείται επίσης εξηλασμένη πολυστερίνη ως μονωτικό υλικό για να αντέχει στις πιέσεις των υπερκείμενων στρώσεων. Ως θερμομονωτικό υλικό γενικά πρέπει να προτιμάται το πάπλωμα πετροβάμβακα από την εξηλασμένη πολυστερίνη, παρόλο που εμφανίζει χειρότερη θερμομονωτική συμπεριφορά, λόγω της περιβαλλοντικά φιλικής σύστασής του.

5.2.4. Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Τα κτίρια Α και Β θεωρήθηκε ότι είναι κτίρια γραφείων όπου σε κάθε όροφο κάθε κτιρίου εργάζονται τέσσερα άτομα κάνοντας ελαφριά εργασία. Κάθε άτομο χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, έναν εκτυπωτή και ένα φωτιστικό γραφείου ισχύος 60 Watt. Ο χρόνος εργασίας και κατ' επέκταση ο χρό-

νος παραμονής των εργαζομένων στο κάθε κτίριο θεωρήθηκε ίσος με 8 ώρες. Ακόμα έγινε η υπόθεση ότι στον πρώτο όροφο κάθε κτιρίου βρίσκεται ένας φύλακας για την προστασία των χώρων.

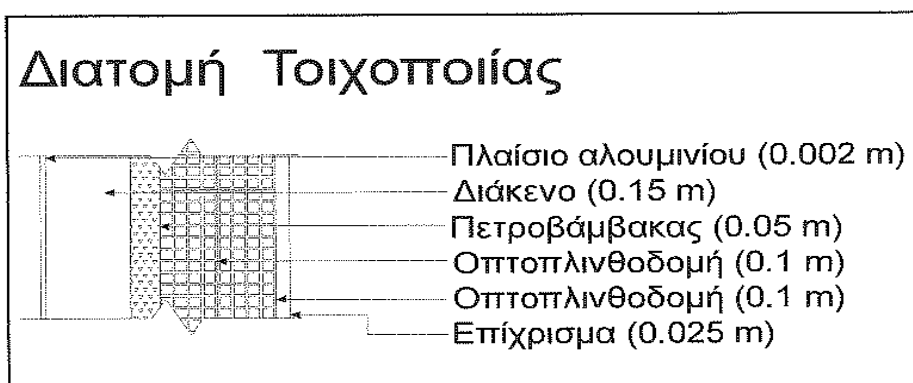
Έγινε υπόθεση ότι υπάρχουν 6 λαμπτήρες πυρακτώσεως, ένας σε κάθε χώρο, οι οποίοι καταναλώνουν 100 Watt έκαστος. Ο χρόνος λειτουργίας των λαμπτήρων ρυθμίζεται αυτόματα από το προσομοιωτικό πρόγραμμα, ανάλογα με την ένταση την ηλιακής ακτινοβολίας στο περιβάλλον.

Το σύστημα θέρμανσης έχει ρυθμιστεί στους 22°C και το αντίστοιχο του κλιματισμού στους 26°C και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν απεριόριστο ποσό ενέργειας προς τον εσωτερικό χώρο του κτιρίου. Μια τέτοια παραδοχή έγινε προκειμένου να διαπιστωθούν οι ακριβείς ενεργειακές απαιτήσεις του χώρου την χειμερινή και την θερινή περίοδο.

Οι διαφυγές αέρα από το εξωτερικό κέλυφος θεωρήθηκαν ίσες με 1,2 ach (εναλλαγές αέρα ανά ώρα). Αυτή η τιμή είναι αρκετά αισιόδοξη για ένα υφιστάμενο κτίριο του ελλαδικού χώρου, όμως αρκετά ρεαλιστική για ένα νεόδμητο.

5.2.5. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του διακένου και του εξωτερικού κελύφους

Στο κτίριο Α όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα έχει τοποθετηθεί ένα δεύτερο εξωτερικό κέλυφος. Αυτό βρίσκεται σε απόσταση 15 cm από το εσωτερικό και στηρίζεται με μεταλλικά πλαίσια πάνω σε αυτό. Οι διατομές που απαρτίζουν το



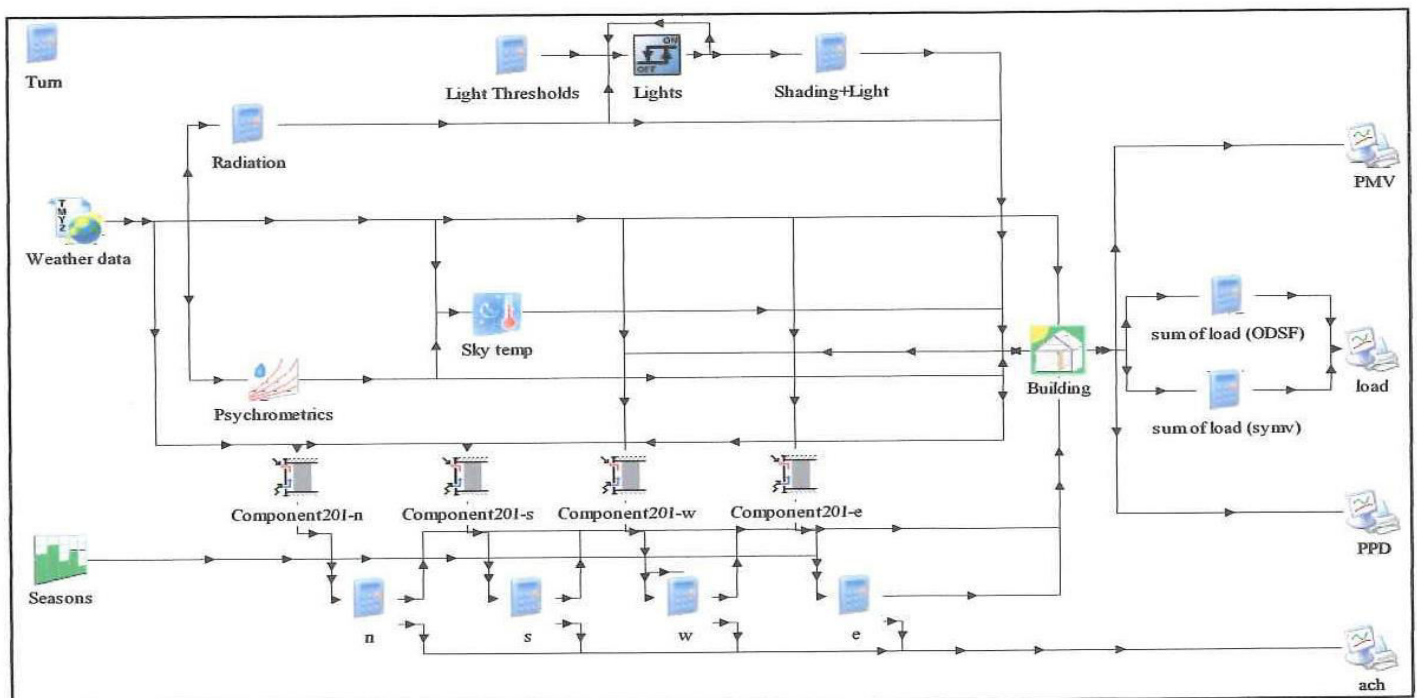
Σχήμα 5.5. Δικέλυφη αδιαφανής τοιχοποιία

μεταλλικό πλέγμα έχουν το απαιτούμενο πάχος έτσι ώστε να μπορούν να στηρίζουν το εξωτερικό κέλυφος με ασφάλεια και να μην υπάρχει κίνδυνος να καταρρεύσει η κατασκευή σε περίπτωση σεισμού ή έντονων καιρικών φαινομέ-

νων. Το υλικό που επιλέχθηκε για το εξωτερικό κέλυφος είναι το αλουμίνιο με πάχος 2 mm. Τα πλαίσια του αλουμινίου που επιλέχθηκαν έχουν διαστάσεις ίσες με 1 m x 1 m. Στο σχήμα 5.5. παρουσιάζεται η διατομή της δικέλυφης τοιχοποιίας. Οι οπές εισόδου του αέρα στο διάκενο έχουν διαστάσεις 0,15 m ύψος και 10 m πλάτος, βρίσκονται δηλαδή στο ύψος του πρώτου δαπέδου και διατρέχουν όλο το μήκος κάθε όψης και οι οπές εξόδου του αέρα έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τις οπές εισόδου αλλά βρίσκονται στο ύψος του δώματος του τελευταίου ορόφου.

5.3. Προσομοίωση του κτιρίου










Η προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου έγινε με το προσομοιωτικό εργαλείο TRNSYS 16. Η μελέτη στο Simulation Studio που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας φαίνεται στο σχήμα 5.6.



Σχήμα 5.6. Η μελέτη του κτιρίου στο Simulation Studio

Στον πίνακα 5.1. παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που αποτελούν την μελέτη του σχήματος 5.6.

Πίνακας 5.1. Στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο Simulation Studio του TRNSYS

Εικονίδιο	Περιγραφή
	Κλιματικό αρχείο
	Ορίζει την περίοδο που θα είναι ανοικτές οι περσίδες αερισμού του διακένου
	Ανοίγει ή κλείνει τα φώτα ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας
	Ορίζει τις εναλλαγές αέρα ανά ώρα στο διάκενο
	Η προσομοιωμένη εικόνα του κτιρίου βάσει των χαρακτηριστικών που έχουν περιγραφεί παραπάνω
	Εκτυπωτής των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στην οθόνη του Η/Υ.
	Ορίζει την θερμοκρασία του ουράνιου θόλου το βράδυ
	Μετατρέπει δεδομένα βάση του ψυχομετρικού χάρτη
	Κάνει διάφορους υπολογισμούς που θα του ζητηθεί

5.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης

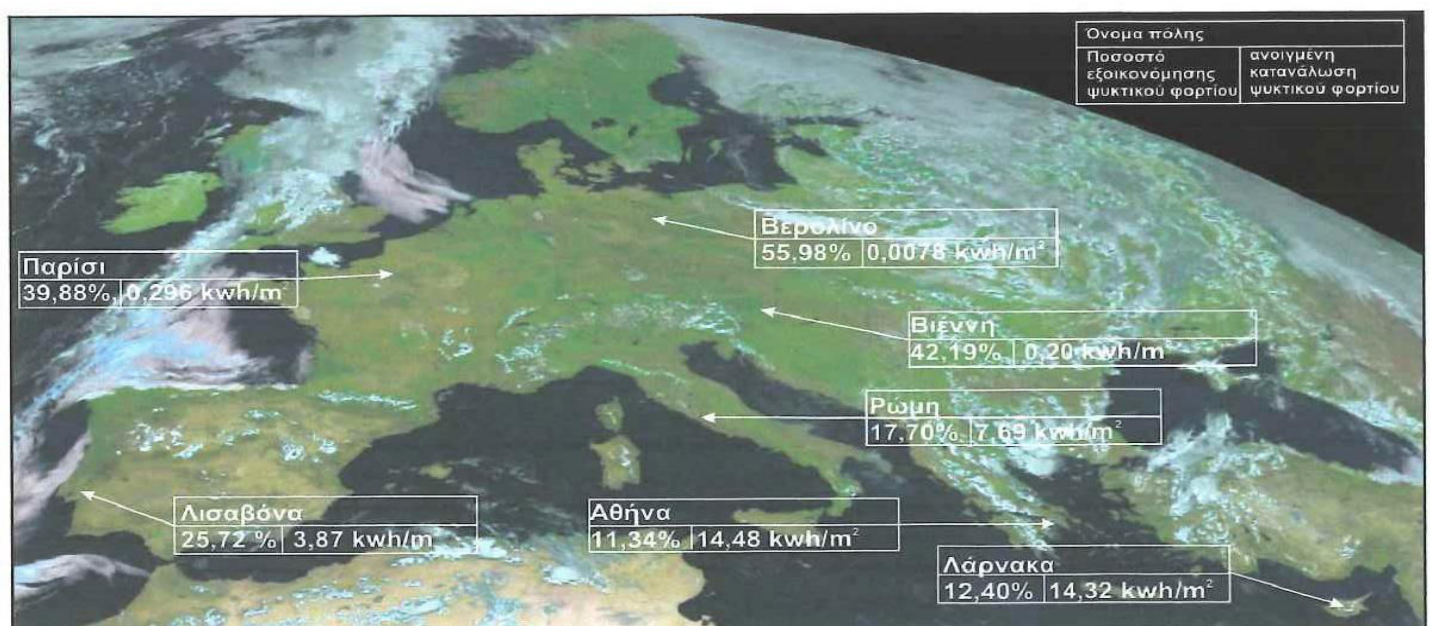
5.4.1 Θερμικό και ψυκτικό φορτίο

Οι θερμικές απαιτήσεις για όλους του ορόφους κάθε κτιρίου, ανοιγμένες ανά m^2 συνολικής κάτοψης και στα δύο κτίρια (A και B) είναι $75,795 \text{ kWh/m}^2$ και $73,655 \text{ kWh/m}^2$ αντίστοιχα. Από αυτές τις καταναλώσεις προκύπτει ότι το κτίριο A παρουσιάζει μια επιβάρυνση $1,029\%$ στις θερμικές ανάγκες του. Αυτό συμβαίνει γιατί το δεύτερο εξωτερικό κέλυφος μηδενίζει την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται αλλά παράλληλα προστατεύει το εσωτερικό κέλυφος, έτσι η μια επίδραση αντισταθμίζει την επίδραση της άλλης. Όμως η μείωση της ηλιακής ακτινο-

βολίας είναι σημαντικότερη, γι' αυτό και τελικά το κτίριο A εμφανίζει μεγαλύτερη κατανάλωση από το B την χειμερινή περίοδο.

Την καλοκαιρινή περίοδο που υπάρχει έντονη η ανάγκη ψυκτικού φορτίου τότε παρατηρείτε ότι το κτίριο A εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά (μειωμένη κατανάλωση) από το κτίριο B. Οι ανοιγμένες ανά τετραγωνικό μέτρο συνολικής κάτοψης ψυκτικές ανάγκες του κτιρίου A είναι $22,143 \text{ kWh/m}^2$ και για το κτίριο B αντίστοιχα είναι $25,610 \text{ kWh/m}^2$. Δηλαδή το κτίριο A με την δικέλυφη όψη έχει μειωμένη κατανάλωση κατά $13,54\%$ συγκριτικά με το B. Αυτό συμβαίνει, όπως έχει παρουσιαστεί και στο κεφάλαιο 4, γιατί υπάρχει προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία τους θερινούς μήνες, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν πολλές θερμικές πρόσοδοι προς τον εσωτερικό χώρο που θα αύξαναν την κατανάλωση στο σύστημα ψύξης.

Η συμπεριφορά των κτιρίων A και B προσομοιώθηκε και σε διάφορες άλλες πόλεις της Ευρώπης για να γίνει κατανοητός ο τρόπος συμπεριφοράς του παθητικού ηλιακού συστήματος της δικέλυφης αδιαφανούς όψης και σε άλλα κλίματα. Η προσομοίωση έγινε για τις πόλεις Λάρνακα, Αθήνα, Ρώμη, Παρίσι, Λισαβόνα, Βιέννη, και Βερολίνο την περίοδο από 1/7 μέχρι 31/8. Οι συγκεκριμένες πόλεις επιλέχθηκαν με βάση το γεωγραφικό τους πλάτος και μήκος. Στο σχήμα 5.7. που ακολουθεί, παρουσιάζεται η εξοικονόμηση ψυκτικού φορτίου που προσφέρει το δεύτερο εξωτερικό κέλυφος και οι kWh/m^2 που χρειάζεται το



Σχήμα 5.7. Συμπεριφορά του κτιρίου A στην Ευρώπη

κτίριο με την δικέλυφη όψη σε κάθε πόλη. Παρατηρείτε ότι όσο πιο βόρεια μετακινούνται τα κτίρια τόσο μειώνονται οι καταναλώσεις για την παραγωγή ψύξης, γεγονός φυσιολογικό λόγω των χαμηλότερων περιβαλλοντικών θερμοκρασιών που παρουσιάζονται. Ακόμα όσο μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, τόσο αυξάνεται το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας(ψυκτικού φορτίου) ανάμεσα στα κτίρια Α και Β. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορεί να εκτονωθεί όλη η θερμότητα που υπάρχει αποθηκευμένη στο εσωτερικό κέλυφος, λόγω του μικρότερου μεγέθους της.

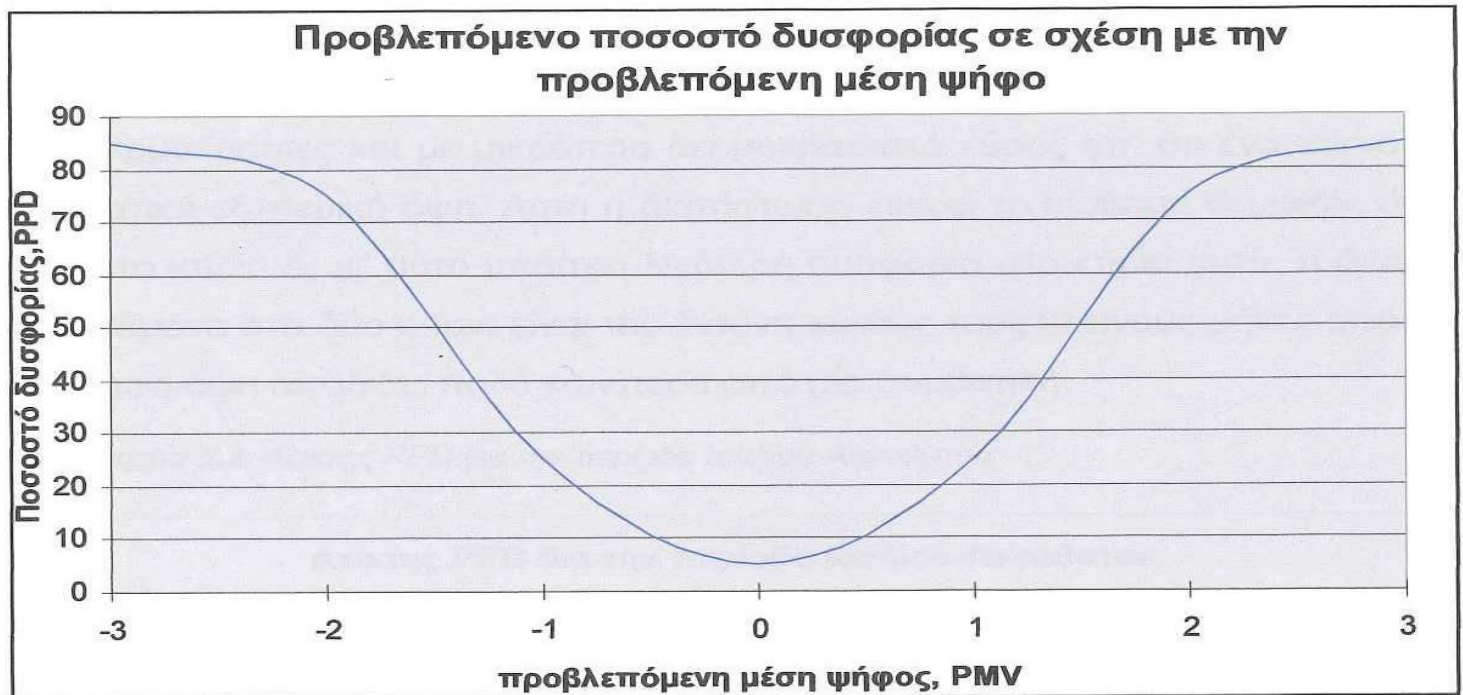
5.4.2. Συνθήκες θερμικής άνεσης

Για να μπορεί να γίνει αντιληπτό με αντικειμενικό τρόπο το αίσθημα θερμικής άνεσης σε έναν χώρο έχουν δημιουργηθεί οι δείκτες PMV (Predicted Mean Vote, Προβλεπόμενη μέση ψήφος) και PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied, Προβλεπόμενο ποσοστό δυσφορούντων). Αυτοί δημιουργήθηκαν ύστερα από εκτεταμένες έρευνες σε ένα πολύ μεγάλο πλήθος ανθρώπων και αποτελούν δείκτες που οδηγούν στη διαπίστωση κατά το πόσο ένα θερμικό περιβάλλον εξασφαλίζει θερμική άνεση. Αποτελούν μέχρι στιγμής την πλέον αποδεκτή μέθοδο υπολογισμού της θερμικής άνεσης σε εσωτερικά περιβάλλοντα, και προτείνονται από το πρότυπο ISO-7730 [18]. Γενικά η εφαρμογή τους σε εξωτερικούς χώρους δεν είναι επιτυχής και έχει αποδειχθεί ότι δεν εκφράζουν το πραγματικό αίσθημα άνεσης, παρά μόνο σε κλειστούς χώρους.

Ο δείκτης PMV προβλέπει τη μέση τιμή των ψήφων (σχετικά με το αίσθημα θερμικής άνεσης) που θα έδινε ένα πλήθος ανθρώπων με συγκεκριμένα υποκειμενικά χαρακτηριστικά (επίπεδο ένδυσης, δραστηριότητα) σε ένα δεδομένο μικροκλίμα. Η κλίμακα μέσα στην οποία λαμβάνει τιμές ο δείκτης αποτελείται από τα σημεία από το -3 (πολύ ψυχρά) μέχρι το 3 (πολύ θερμά). Η τιμή 0 δηλώνει αίσθημα θερμικής ουδετερότητας (θερμική άνεση).

Ακόμα και όταν ο δείκτης PMV λαμβάνει την τιμή 0, επειδή πρόκειται για στατιστική μέθοδο, θα υπάρχει ένα μικρό στατιστικό μέρος από τους χρήστες (5%) οι οποίοι και πάλι δεν θα νοιώθουν άνετα. Ο δείκτης PPD μπορεί να υπολογιστεί από τον PMV βάση του διαγράμματος 5.1. [3],[18]

Διάγραμμα 5.1. Προβλεπόμενο ποσοστό δυσφορίας σε σχέση με τη προβλεπόμενη μέση ψήφο
 Πηγή: [2]



Οι παράμετροι που απαιτούνται από το προσομοιωτικό πρόγραμμα για να υπολογιστεί η θερμική άνεση και σχετίζονται με την ένδυση, τον μεταβολισμό και τις συνθήκες ανεμορροής στον εσωτερικό χώρο των δύο χώρων φαίνονται στον πίνακα 5.1.

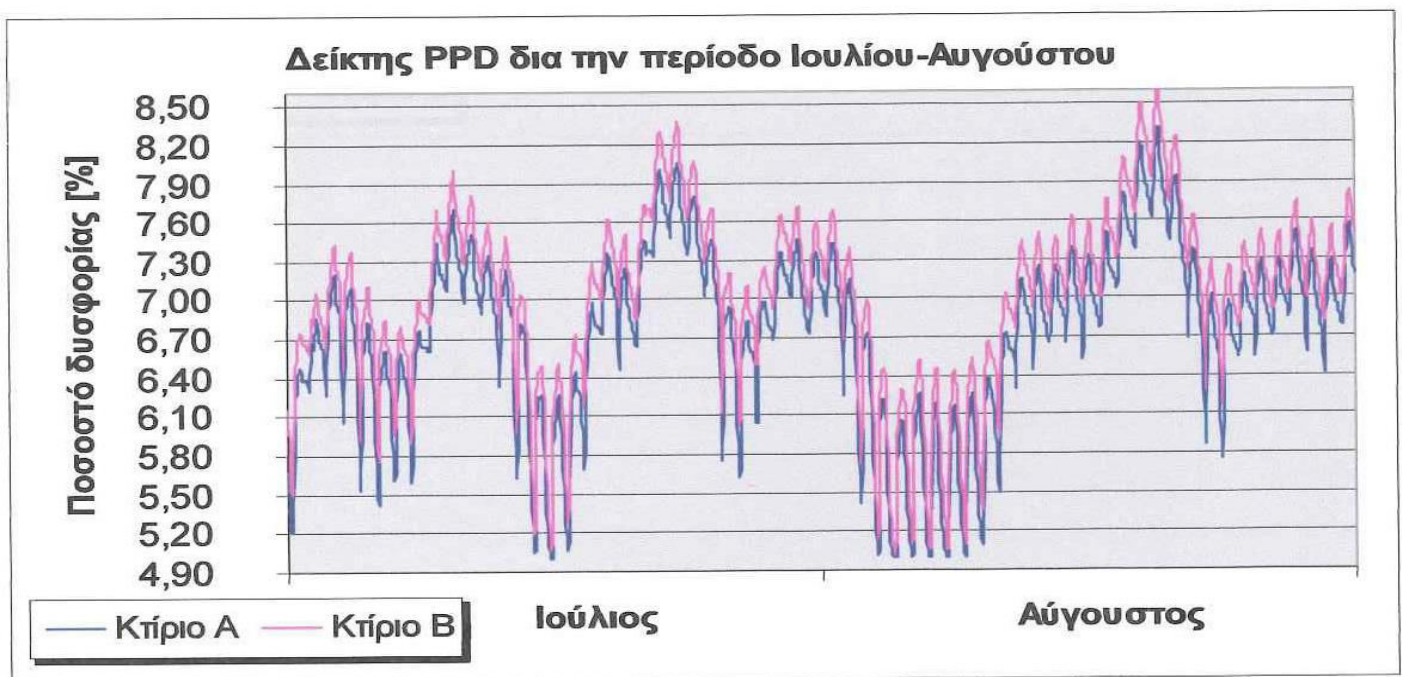
Στα διαγράμματα 5.2. και 5.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συνθηκών θερμικής άνεσης βάσει των δεικτών PPD και PMV για τους πρώτους ορόφους των κτιρίων Α και Β. Το διάγραμμα 5.2. παρουσιάζει τον δείκτη PPD. Σε

Πίνακας 5.1. Συντελεστές υπολογισμού της θερμικής άνεσης

Παράμετρος υπολογισμού θερμικής άνεσης	Μονάδα μέτρησης	Τιμή	Ερμηνεία
Επίπεδο ένδυσης	clo	0,7	Ελαφρά ενδυμασία εργασίας
Ρυθμός μεταβολισμού	met	1.2	Εργασία γραφείου
Εξωτερικό έργο	met	0	Συνήθως 0
Ταχύτητα αέρα	m/s	0.125	Ικανοποιητική κατάσταση για χώρους γραφείου

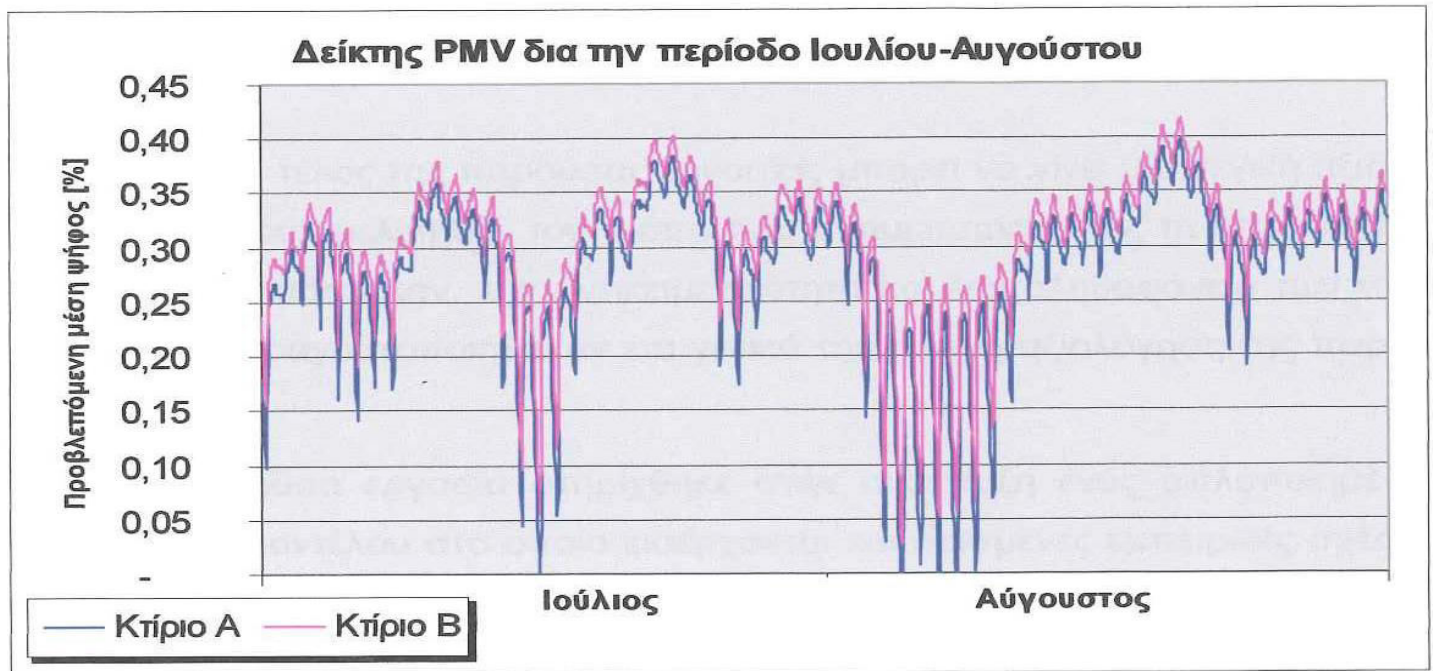
αυτό μπορεί να παρατηρηθεί ότι στο κτίριο A εμφανίζονται λιγότερα δυσφορού-
ντα άτομα απ' ό,τι στο κτίριο B. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου μπορεί να γίνει
κατανοητή εάν κανείς παρατηρήσει τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυ-
σης. Ένα κτίριο με δικέλυφη όψη εμφανίζει χαμηλότερες εσωτερικές επιφανεια-
κές θερμοκρασίες και με μικρότερο θερμοκρασιακό εύρος απ' ό,τι ένα κτίριο με
συμβατική εξωτερική όψη. Αυτή η διαπίστωση ευνοεί το αίσθημα θερμικής άνε-
σης στο κτίριο A, γι' αυτό υπάρχει λιγότερη δυσφορία στο κτίριο αυτό. Η διαφο-
ρά ανάμεσα στα δύο κτίρια είναι πιο έντονη κυρίως τους θερινούς μήνες όπου η
δικέλυφη όψη αποδίδει πολύ καλύτερα από μια συμβατική.

Διάγραμμα 5.2. Δείκτης PPD για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου



Τα αποτελέσματα της θερμικής άνεσης συναρτήσεως του δείκτη PMV (διά-
γραμμα 5.3.) ακολουθούν την ίδια πορεία με του PPD αφού δείκτης PPD εξαρ-
τάται από τον PMV όπως έχει ειπωθεί παραπάνω. Η τιμές που παρουσιάζονται
και για τα δύο κτίρια είναι μεταξύ 0 και 1, με μια ελάχιστη υπεροχή όσον αφορά
την θερμική άνεση του κτιρίου A. Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος είναι ελαφρώς θερ-
μός (μη ενοχλητική αίσθηση ζέστης – χωρίς εφίδρωση).

Διάγραμμα 5.3. Δείκτης PMV για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου



6. Σύνοψη – Συμπεράσματα – Προτάσεις

6.1. Γενικά

Μετά το τέλος της παρούσας εργασίας μπορεί να γίνει μία γενική αξιολόγηση όσων έχουν μελετηθεί, τον τρόπο που αντιμετωπίστηκαν, τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, την αντικειμενικότητα και την αληθοφάνεια των υποθέσεων που πραγματοποιήθηκαν και γενικά την πλήρη αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Η παρούσα εργασία στηρίχθηκε στην ανάπτυξη ενός απλοποιημένου μαθηματικού μοντέλου στο οποίο εισέρχονται και ορισμένες εμπειρικές σχέσεις και όπως είναι αναμενόμενο δεν μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια το φαινόμενο της φυσικής άνωσης σε έναν χώρο οποιονδήποτε χαρακτηριστικών λόγω της αδυναμίας του να ενσωματώσει στον αλγόριθμό του πολλές και καθοριστικές παραμέτρους. Αυτό το γεγονός εκ πρώτης όψεως μειώνει την αντικειμενικότητα και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, όμως μετά το τέλος και την αξιολόγηση αυτών, μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι η συμπεριφορά του μοντέλου και ο τρόπος λειτουργίας του μπορεί να ερμηνευτεί με επιστημονική τεκμηρίωση και βάσει των φυσικών φαινομένων που διέπουν τον κόσμο. Ακόμα τα ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας την περίοδο ψύξης που προέκυψαν είναι συγκρίσιμα με πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό για παρόμοιες, αλλά όχι ίδιες διατάξεις και είναι σε θέση αυτά τα αποτελέσματα να εντάξουν τις δικέλυφες αδιαφανείς όψεις στα παθητικά ηλιακά συστήματα αποφυγής της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι. Η επιβάρυνση του συστήματος τον χειμώνα είναι αμελητέα σε σχέση με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος το καλοκαίρι.

6.2. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν

Για να είναι σε θέση κάποιος να αξιολογήσει την συνολική συμπεριφορά των δικέλυφων αδιαφανών όψεων, πραγματοποιήθηκαν παραμετρικές δοκιμές με διαφορετικά χαρακτηριστικά που ήταν σε θέση να εξακριβώσουν τον ακριβή τρόπο λειτουργίας του συστήματος.

Έτσι μελετήθηκαν διάφορα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά στα πλαίσια της παραμετρικής ανάλυσης, όπως το ύψος της κατασκευής και του κτιρίου, το πλάτος του διακένου αερισμού, το υλικό κατασκευής της εξωτερικής όψης, και η θέση του θερμομονωτικού υλικού στο εσωτερικό κέλυφος.

Μελετήθηκαν χαρακτηριστικά που έχουν να κάνουν με την θέση της κατασκευής στον χώρο όπως ο προσανατολισμός της κατασκευής και τέλος μελετήθηκε η συμπεριφορά της δικέλυφης όψης σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη και μήκη στην Ευρώπη.

Τα βασικότερα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στη συνέχεια:

6.3. Πλεονεκτήματα

Η δικέλυφη αδιαφανής όψη εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με μία αντίστοιχη συμβατική. Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν παρουσιαστεί σε προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας χωρίς όμως –σε αυτά τα κεφάλαια- να έχουν αποδειχθεί προσομοιωτικά. Έχοντας κανείς ολοκληρώσει την ανάγνωση – μελέτη της, σε αυτό το στάδιο μπορεί να διαπιστώσει την επαλήθευση πολλών πλεονεκτημάτων που έχουν περιγραφεί παραπάνω.

Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι η εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη ενός χώρου, η αυξημένη θερμική άνεση, η βελτιωμένη ηχομονωτική προστασία, η διατήρηση των χαρακτηριστικών του θερμομονωτικού υλικού χωρίς αυτά να αλλοιώνονται από την υγρασία καθώς υπάρχει η δυνατότητα της εκτόνωσης της προς το διάκενο όταν το θερμομονωτικό υλικό τοποθετείται εξωτερικά. Ένα ακόμα υποκειμενικό όμως πλεονέκτημα είναι η αισθητική αναβάθμιση που προσφέρει σε ένα κτίριο.

Σε ότι αφορά στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη του κτιρίου, ενδεχομένως οι δυνατότητες που παρέχει μια τέτοια διάταξη να μη δικαιολογούν το κόστος που απαιτείται για την κατασκευή του. Ωστόσο, όταν οι ιδιοκτήτες ενός κτιρίου θελήσουν να προβούν στην ανακαίνισή του (η οποία πιθανότατα θα απαιτείται μετά την εφαρμογή του ΚΟΧΕΕ), μπορούν να επιλέξουν να επενδύσουν το εξωτερικό του κτιρίου με ένα δεύτερο κέλυφος. Αυτή η ενέργεια αναnevώνει πλήρως την εξωτερική μορφή του κτιρίου και αυτό πλέον θα παρουσιάζει

τα αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά των δικέλυφων όψεων που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Μια τέτοια κίνηση μειώνει ακόμα και το κόστος που θα απαιτούσε η κατασκευή της δικέλυφης όψης γιατί δεν απαιτούνται πλέον χρήματα για την ανακαίνισή του με συμβατικό τρόπο.

6.4. Μειονεκτήματα

Τα μειονεκτήματα μιας δικέλυφης τοιχοποιίας είναι λιγότερα από τα πλεονεκτήματα και δεν έχουν τόσο σημαντική ισχύ όσων αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά της δικέλυφης αδιαφανούς όψης. Το σημαντικότερο ενεργειακό μειονέκτημα είναι η μικρή επιβάρυνση στις θερμικές ανάγκες ενός χώρου τη χειμερινή περίοδο. Όμως είναι καλύτερο ενεργειακά να καταναλώνεις ενέργεια από ορυκτά καύσιμα για να θερμάνεις έναν χώρο, όπως συμβαίνει στην πλειοψηφία των κτιρίων και είναι χειρότερο να καταναλώνεις ηλεκτρική ενέργεια για την ψύξη του.

Άλλα μειονεκτήματα είναι η ανάγκη για μεγαλύτερη στατική αντοχή του εξωτερικού κελύφους έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης της κατασκευής σε έντονα καιρικά φαινόμενα και σε περιπτώσεις σεισμού. Τέλος ένα μειονέκτημα που έχει σχέση με την εξωτερική μορφή του κτιρίου είναι η ασυμβατότητα που μπορεί να παρουσιάζει η όψη του με τα περιβάλλοντα κτίρια, γι' αυτό δεν μπορεί να τοποθετηθεί εξωτερικό κέλυφος σε κτίριο ενός παραδοσιακού οικισμού, ούτε σε ένα κτίριο ενός ιστορικού κέντρου.

6.5. Αδυναμίες

6.5.1. Αδυναμίες μοντέλου

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε σ' αυτήν την εργασία αποτελεί μια απλοποιημένη μαθηματική έκφραση της φυσικής άνωσης λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς. Επειδή είναι απλοποιημένο, δεν είναι σε θέση να υπολογίζει διάφορες παραμέτρους που συναντιούνται στην πραγματικότητα και σχετίζονται με την ταχύτητα του αέρα που αναπτύσσεται στο διάκενο. Τέτοιες παράμετροι είναι οι κατασκευαστικές διαμορφώσεις του σκελετού που στηρίζει

το εξωτερικό κέλυφος οι οποίες δημιουργούν εμπόδια στην ροή του αέρα και αλλαγές στην κατεύθυνσή της, οι οποίες έχουν σημαντική επίδραση στον όγκο του αέρα που απομακρύνεται από το διάκενο. Άλλη παράμετρος που δεν λαμβάνει υπόψη του το μοντέλο είναι τα ακριβή γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπών εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα στο διάκενο. Το μόνο που απαιτείται από το μοντέλο είναι το εμβαδόν εισόδου και εξόδου του αέρα χωρίς να υπολογίζεται η επιφάνεια των περσίδων που μεταβάλλουν τον όγκο του εισερχόμενου/εξερχόμενου αέρα προς το διάκενο, επίσης δεν υπολογίζεται η πτώση πίεσης λόγω των περσίδων και λόγω του πλέγματος που υπάρχει για να αποτρέψει διάφορα ζώφια να εισέλθουν στο διάκενο. Τέλος μια ακόμα παράμετρος που δεν υπολογίζεται από το μοντέλο είναι η επίδραση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή που χρησιμοποιείται η δικέλυφη όψη. Η επίδραση του ανέμου είναι πολύ σημαντική γιατί μπορεί να δημιουργήσει αυξημένη πίεση στην οπή εισόδου του αέρα εισάγοντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη ποσότητα αέρα στο διάκενο και να δημιουργήσει συνθήκες υποπίεσης στην οπή εξόδου αυξάνοντας την ταχύτητα γύρω από την έξοδο του αέρα και κατά συνέπεια σε όλο το διάκενο.

6.5.2. Αδυναμίες του TRNSYS

Το TRNSYS όπως έχει ειπωθεί παραπάνω αποτελεί ένα από τα πιο ολοκληρωμένα προσομοιωτικά εργαλεία που υπάρχουν. Η δυνατότητά του να λύνει διαφορετικών κατηγοριών προβλήματα δυναμικά είναι πολύ σημαντική. Όμως το γεγονός ότι καταπιάνεται με ένα τόσο μεγάλο εύρος θεμάτων δεν του δίνει την δυνατότητα να εντρυφεί σε όλα τα θέματα με την ίδια βαρύτητα. Γι' αυτόν τον λόγο στα θέματα που σχετίζονται με τα κτίρια παρουσιάζει της εξής αδυναμίες:

1. Χρησιμοποιεί την ίδια τιμή στους συντελεστές απορρόφησης και εκπομπής στα διάφορα υλικά που χρησιμοποιεί. Κάτι τέτοιο μπορεί να μην είναι λάθος για πολλά υλικά, όμως κάποια από αυτά, όπως το αλουμίνιο, παρουσιάζεται σημαντική διαφοροποίηση στις δυο αυτές τιμές και αυτός είναι ο λόγος που προτιμάται το αλουμίνιο στις δικέλυφες όψεις περισσότερο από τα άλλα υλικά. Η διαφοροποίηση αυτή δεν μπόρεσε να αποτυπωθεί στα

αποτελέσματα της παρούσας μελέτης λόγω αυτής της αδυναμίας του TRNSYS.

2. Μια άλλη αδυναμία του TRNSYS είναι ο τρόπος με τον οποίο χειρίζεται τα κλιματικά αρχεία. Επειδή τα δεδομένα που περιέχονται σε αυτά είναι συνδυαστικά, υπάρχουν περιπτώσεις που δεν μπορεί να γίνει σύγκλιση στις τιμές της προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται ένα νέο μοντέλο στο TRNSYS, όπως αυτό που δημιουργήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, που έχει κατασκευαστεί εκ των υστέρων. Κάτι τέτοιο δεν επιτρέπει την προσομοίωση να ολοκληρωθεί ποτέ. Η αδυναμία αυτή μπορεί να παρατηρηθεί στο 5^ο κεφάλαιο που η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφόρων πόλεων της Ευρώπης δεν έγινε για όλο το έτος αλλά μόνο για δύο μήνες που δεν “κολλούσε” η προσομοίωση.

6.6. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Λόγω του απλοποιημένου μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ορισμένες σημαντικές παράμετροι, όπως η αντίσταση του αέρα λόγω του σκελετού στήριξης του εξωτερικού κελύφους, θα ήταν καλό να ενσωματωθούν στο μαθηματικό μοντέλο για να είναι πιο ρεαλιστική η λειτουργία του. Η πλήρης λύση της εξίσωσης Bernoulli και η πειραματική εύρεση των απαιτούμενων συντελεστών που χρειάζεται αυτή, είναι αυξημένης σημασίας για την σωστή αντιμετώπιση του φαινομένου της θερμικής άνωσης.

Μια ακόμα πρόταση που μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη αντιμετώπιση των φαινομένων που παρουσιάζονται σε μία δικέλυφη αδιαφανή όψη είναι η χρήση ενός προγράμματος υπολογιστικής ρευστομηχανικής (CFD). Σε αυτό μπορούν να προσομοιωθούν όλες οι κατασκευαστικές διαμορφώσεις ενός διακένου και να αντιμετωπιστούν από το πρόγραμμα όπως θα αντιμετωπιζόταν στο φυσικό περιβάλλον πραγματικά.

Μια περίπτωση επιπλέον που θα μπορούσε να μελετηθεί αφορά τα κτίρια με πλήρη εγκατάσταση μηχανικού αερισμού. Σε αυτά θα μπορούσε η απαγωγή του εσωτερικού αέρα των χώρων τον χειμώνα να γίνεται προς το διάκενο. Με αυτόν τον τρόπο εισάγεται στο διάκενο θερμός –λόγω του συστήματος θέρ-

μανσης– αέρας, με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι θερμικές απώλειες μέσω των δομικών στοιχείων του κελύφους που αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση.

Τέλος όλες οι προτάσεις που παρουσιάζονται για περαιτέρω έρευνα θα πρέπει οπωσδήποτε να συμπληρωθούν από πειραματικά αποτελέσματα. Το πείραμα αυτό θα πρέπει αναπαριστά μια δικέλυφη όψη και τα ενεργειακά και θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της να μετρούνται από κατάλληλα όργανα. Ακόμα μαζί με αυτά τα χαρακτηριστικά θα πρέπει να λαμβάνονται και κλιματικά στοιχεία που θα εισαχθούν στο προσομοιωτικό πρόγραμμα για να μπορεί να γίνει αξιόπιστη σύγκριση των προσομοιωμένων και των πραγματικών αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να διαπιστωθούν οι αδυναμίες και τα σφάλματα που έχουν εισέλθει στην προσομοίωση.

Βιβλιογραφία

Ελληνική

- [1] Αραβατινός Δημήτρης, «Εξωτερικές τοιχοποιίες», Κτίριο, 2003, vol. 153, pp. 84 – 88.
- [2] Γούλας Κ. Απόστολος, «Μηχανική ρευστών», Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 1986.
- [3] Θεοδοσίου Γ. Θεόδωρος, «Σημειώσεις στο μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων I», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2004, pp. 21-22, 32-33, 75.
- [4] Θεοδοσίου Γ. Θεόδωρος, «Σημειώσεις στο μάθημα: Ενεργειακός Σχεδιασμός Κτιρίων II», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2004, pp. 63-64.
- [5] Θεοδοσίου Γ. Θεόδωρος, «Σημειώσεις στο μάθημα: Υλικά κατάσκευής και συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας – Τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Κοζάνη, 2004, pp. 25-26.
- [6] Κτίριο – Building center, «Επενδύσεις όψεων, ιδέες και τεχνικές οδηγίες», 1998, pp. 3-5.
- [7] Λαζάρη, Α. Ευγενία. «Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων στην Ελλάδα», Κτίριο τεχνικό περιοδικό,
(http://www.ktirio.gr/gr/dynoP/articles/arthra_det.asp?KATEGORY_CODE=23&ARTHRO_NAME=146-45.TXT).
- [8] Χρυσομαλλίδου Ν. Νιόβη. «Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων» , Κτίριο τεχνικό περιοδικό,
(http://www.ktirio.gr/gr/dynoP/articles/arthra_det.asp?KATEGORY_CODE=23&ARTHRO_NAME=136-31.TXT).
-

Διεθνής

- [9] F.Allard, F. Haghghat, G. Liebecq, R. Pelletret, D. Bienfait, L. Vandaele, R. Walker, «**Airflow through large openings in buildings**», J. Van der Maas (Ed.), Technical Report of IEA/ECB – Annex 20: Air Flow Patterns Within Buildings, EPFL/LESO – PB, CH – 1015, Lausanne, Switzerland, 1992.
- [10] ASHRAE Handbook – 2001 Fundamentals, «**Infiltration and Ventilation**», Chapter 26, 2001.
- [11] CIBSE Guide, «**Air infiltration and Natural Ventilation**», Vol. A, Section A4, 1986.
- [12] CRDEssay, «**Double Facades: History**», Article ID: concept000385, 2004, <http://alcor.concordia.ca/~raojw/crd/concept/concept000385.html>.
- [13] Duffie, J.A. and Beckman, W.A., «**Solar Engineering of Thermal Processes**», 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1991.
- [14] Flourentzou, F., Van der Maas, J., Roulet, C.-A.. «**Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients**», Energy and buildings, 1998, vol. 27, pp. 283-292.
- [15] J. M. Furbringer, «**Comparison of the accuracy of detailed and simple models of air infiltration**». 15th AIVC Conference, Buxton, UK, 1994, pp.719 – 730.
- [16] Harrison Kate. «**The tectonics of the environmental skin**», University of Waterloo School of Architecture, 2004.
- [17] I.E. Idelchik, «**Handbook of hydraulic Resistance**», 3rd edn..CRC Press, FL, 1994
-

-
- [18] International Standards Organization, «**ISO 7730, Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**», ISO, 1995
- [19] C. A. Roulet, J. M. Furbringer, R. Borchellini. «**Evaluation of the multizone air flow simulation code COMIS**». Roomvent '96, 5th Conference on Air Distribution in Rooms, Yokohama, Japan, July 17 – 19, 1996
- [20] **TRNSYS 16: A Transient System Simulation Program, Volume 1**, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2004.
- [21] TRNSYS 16 «**stand-alone power system**» example project.
-

Παράρτημα

Κώδικας σε FORTRAN για το μοντέλο του φυσικού αερισμού στο διάκενο δικέλυφης τοιχοποιίας:

```

SUBROUTINE TYPE201 (TIME,XIN,OUT,T,DTDT,PAR,INFO,ICNTRL,*)
C*****
C Object: Natural ventilation of odsf
C IISIbat Model:
C
C Author: Stamatiou Lyssimachos
C Editor:
C Date: May 02, 2005 last modified: May 02, 2005
C
C ***
C *** Model Parameters
C ***
C      G      m^2/s [-Inf,+Inf]
C      H      m [-Inf,+Inf]
C      AG     m^2 [-Inf,+Inf]
C      AV     m^2 [-Inf,+Inf]
C
C ***
C *** Model Inputs
C ***
C      TS     C [-Inf,+Inf]
C      TM     C [-Inf,+Inf]
C
C      ACH     ach [-Inf,+Inf]
C
C ***
C *** Model Outputs
C ***
C
C ***
C *** Model Derivatives
C ***
C (Comments and routine interface generated by TRNSYS Studio)
C*****
C TRNSYS access functions (allow to access TIME etc.)
USE TrnsysConstants
USE TrnsysFunctions

```

```

C-----
C  REQUIRED BY THE MULTI-DLL VERSION OF TRNSYS
!DEC$ATTRIBUTES DLLEXPORT :: TYPE201  !SET THE CORRECT TYPE NUMBER HERE
C-----
C-----
C  TRNSYS DECLARATIONS
  IMPLICIT NONE

  !REQUIRES THE USER TO DEFINE ALL VARIABLES BEFORE USING THEM

  !THE ARRAY FROM WHICH THE INPUTS TO THIS TYPE WILL BE RETRIEVED
  !THE ARRAY WHICH WILL BE USED TO STORE THE OUTPUTS FROM THIS TYPE
  !THE CURRENT SIMULATION TIME - YOU MAY USE THIS VARIABLE BUT DO NOT SET IT!
  !THE ARRAY FROM WHICH THE PARAMETERS FOR THIS TYPE WILL BE RETRIEVED
  !THE STORAGE ARRAY FOR HOLDING VARIABLES FROM TIMESTEP TO TIMESTEP
  !AN ARRAY CONTAINING THE RESULTS FROM THE DIFFERENTIAL EQUATION SOLVER
  !AN ARRAY CONTAINING THE DERIVATIVES TO BE PASSED TO THE DIFF.EQ. SOLVER
  !THE INFO ARRAY STORES AND PASSES VALUABLE INFORMATION TO AND FROM THIS TYPE
  !VARIABLES FOR THE MAXIMUM NUMBER OF PARAMETERS,INPUTS,OUTPUTS AND DERIVATIVES
  !VARIABLES FOR THE CORRECT NUMBER OF PARAMETERS,INPUTS,OUTPUTS AND DERIVATIVES
  !THE UNIT NUMBER AND TYPE NUMBER FOR THIS COMPONENT
  !AN ARRAY FOR HOLDING VALUES OF CONTROL FUNCTIONS WITH THE NEW SOLVER
  !THE NUMBER OF VARIABLES THAT WILL BE PASSED INTO AND OUT OF STORAGE
  !AN ARRAY TO BE FILLED WITH THE CORRECT VARIABLE TYPES FOR THE OUTPUTS
  !AN ARRAY TO BE FILLED WITH THE CORRECT VARIABLE TYPES FOR THE INPUTS
C-----
C-----
C  USER DECLARATIONS - SET THE MAXIMUM NUMBER OF PARAMETERS (NP), INPUTS (NI),
C  OUTPUTS (NOUT), AND DERIVATIVES (ND) THAT MAY BE SUPPLIED FOR THIS TYPE
  PARAMETER (NP=4,NI=2,NOUT=1,ND=0,NSTORED=2)
C-----
C-----
C  REQUIRED TRNSYS DIMENSIONS
  DIMENSION XIN(NI),OUT(NOUT),PAR(NP),YCHECK(NI),OCHECK(NOUT),
  1  STORED(NSTORED),T(ND),D,DTDT(ND)
  INTEGER NITEMS
C-----
C-----

```



```
C ADD DECLARATIONS AND DEFINITIONS FOR THE USER-VARIABLES HERE

C PARAMETERS
DOUBLE PRECISION G
DOUBLE PRECISION H
DOUBLE PRECISION AG
DOUBLE PRECISION AV

C INPUTS
DOUBLE PRECISION TS
DOUBLE PRECISION TM

C OUTPUTS
DOUBLE PRECISION ACH

C DIAFORA
DOUBLE PRECISION RIZA1
DOUBLE PRECISION RIZA2
DOUBLE PRECISION PARONOMASTHS

C-----
C READ IN THE VALUES OF THE PARAMETERS IN SEQUENTIAL ORDER
G=PAR(1)
H=PAR(2)
AG=PAR(3)
AV=PAR(4)

C-----
C RETRIEVE THE CURRENT VALUES OF THE INPUTS TO THIS MODEL FROM THE XIN ARRAY IN SEQUENTIAL ORDER
TS=XIN(1)
TM=XIN(2)
IUNIT=INFO(1)
ITYPE=INFO(2)

C-----
C SET THE VERSION INFORMATION FOR TRNSYS
IF(INFO(7).EQ.-2) THEN
```

```
INFO(12)=16
  RETURN 1
ENDIF
C-----
C
C DO ALL THE VERY LAST CALL OF THE SIMULATION MANIPULATIONS HERE
IF (INFO(8).EQ.-1) THEN
  RETURN 1
ENDIF
C-----
C
C PERFORM ANY 'AFTER-ITERATION' MANIPULATIONS THAT ARE REQUIRED HERE
C e.g. save variables to storage array for the next timestep
IF (INFO(13).GT.0) THEN
  RETURN 1
ENDIF
C-----
C
C DO ALL THE VERY FIRST CALL OF THE SIMULATION MANIPULATIONS HERE
IF (INFO(7).EQ.-1) THEN
C SET SOME INFO ARRAY VARIABLES TO TELL THE TRNSYS ENGINE HOW THIS TYPE IS TO WORK
INFO(6)=NOUT
INFO(9)=1
  INFO(10)=0 !STORAGE FOR VERSION 16 HAS BEEN CHANGED
  !reserve space in the double precision storage structure
  CALL setStorageSize(NSTORED,INFO)
C SET THE REQUIRED NUMBER OF INPUTS, PARAMETERS AND DERIVATIVES THAT THE USER SHOULD SUPPLY IN THE INPUT FILE
C IN SOME CASES, THE NUMBER OF VARIABLES MAY DEPEND ON THE VALUE OF PARAMETERS TO THIS MODEL....
  NIN=NI
  NPAR=NP
  NDER=ND
```

```

C CALL THE TYPE CHECK SUBROUTINE TO COMPARE WHAT THIS COMPONENT REQUIRES TO WHAT IS SUPPLIED IN
C THE TRNSYS INPUT FILE
  CALL TYPECK(1,INFO,NIN,NPAR,NDER)
C SET THE NUMBER OF STORAGE SPOTS NEEDED FOR THIS COMPONENT
C CALL SET_STORAGE_SIZE(NITEMS,INFO)
C RETURN TO THE CALLING PROGRAM
  RETURN 1
ENDIF
C-----
C-----
C DO ALL OF THE INITIAL TIMESTEP MANIPULATIONS HERE - THERE ARE NO ITERATIONS AT THE INITIAL TIME
IF (TIME .LT. (getSimulationStartTime() +
  .getSimulationTimeStep()/2.D0)) THEN
C SET THE UNIT NUMBER FOR FUTURE CALLS
  IUNIT=INFO(1)
  ITYPE=INFO(2)
C CHECK THE PARAMETERS FOR PROBLEMS AND RETURN FROM THE SUBROUTINE IF AN ERROR IS FOUND
  IF(...) CALL TYPECK(-4,INFO,0,"BAD PARAMETER #",0)
C PERFORM ANY REQUIRED CALCULATIONS TO SET THE INITIAL VALUES OF THE OUTPUTS HERE
  ACH
  OUT(1)=0
C PERFORM ANY REQUIRED CALCULATIONS TO SET THE INITIAL STORAGE VARIABLES HERE
C STORED(1)=...
  STORED(1) = TS
  STORED(2) = ACH
  CALL setStorageVars(STORED,NSTORED,INFO)
C PUT THE STORED ARRAY IN THE GLOBAL STORED ARRAY
C CALL SET_STORAGE_VARS(STORED,NITEMS,INFO)

```



```
C RETURN TO THE CALLING PROGRAM
RETURN 1
ENDIF
-----
C
C
C *** ITS AN ITERATIVE CALL TO THIS COMPONENT ***
C
-----
C
C RETRIEVE THE VALUES IN THE STORAGE ARRAY FOR THIS ITERATION
CALL getStorageVars(STORED,NSTORED,INFO)
STORED(1) = TS
STORED(2) = ACH
CALL GET_STORAGE_VARS(STORED,NITEMS,INFO)
STORED(1)=
-----
C
C CHECK THE INPUTS FOR PROBLEMS
IF (...) CALL TYPECK(-3,INFO,'BAD INPUT #,0,0)
IF(IERROR.GT.0) RETURN 1
-----
C
C *** PERFORM ALL THE CALCULATION HERE FOR THIS MODEL. ***
-----
C
C ADD YOUR COMPONENT EQUATIONS HERE; BASICALLY THE EQUATIONS THAT WILL
C CALCULATE THE OUTPUTS BASED ON THE PARAMETERS AND THE INPUTS. REFER TO
C CHAPTER 3 OF THE TRNSYS VOLUME 1 MANUAL FOR DETAILED INFORMATION ON
C WRITING TRNSYS COMPONENTS.
```

```

PARONOMASTHS = (8*((PAR(3))/(PAR(4))*((PAR(3))/(PAR(4))))+2)
RIZA2=SQRT((2*(PAR(1))*(PAR(2))*(TS-TM)/TS)/PARONOMASTHS)
RIZA1=SQRT((2*(PAR(1))*(PAR(2))*(TM-TS)/TM)/PARONOMASTHS)
IF (TM>TS) THEN
ACH=(PAR(4))*3600/((PAR(3))*(PAR(2)))*RIZA1
ELSEIF (TM<TS) THEN
ACH=(PAR(4))*3600/((PAR(3))*(PAR(2)))*RIZA2

```

END IF

```

C-----
C-----
C-----
C SET THE STORAGE ARRAY AT THE END OF THIS ITERATION IF NECESSARY
C NITEMS=
C STORED(1)=
C CALL SET_STORAGE_VARS(STORED,NITEMS,INFO)
C-----
C-----
C REPORT ANY PROBLEMS THAT HAVE BEEN FOUND USING CALLS LIKE THIS:
C CALL MESSAGES(-1,'put your message here','MESSAGE',IUNIT,ITYPE)
C CALL MESSAGES(-1,'put your message here','WARNING',IUNIT,ITYPE)
C CALL MESSAGES(-1,'put your message here','SEVERE',IUNIT,ITYPE)
C CALL MESSAGES(-1,'put your message here','FATAL',IUNIT,ITYPE)
C-----
C-----
C SET THE OUTPUTS FROM THIS MODEL IN SEQUENTIAL ORDER AND GET OUT
C
C ACH
C OUT(1)=ACH
C-----
C EVERYTHING IS DONE - RETURN FROM THIS SUBROUTINE AND MOVE ON
RETURN 1
END
C-----

```