



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη Κουφωμάτων Αλουμινίου και
Εφαρμογή σε Πραγματικό Τεχνικό
Έργο: Διαδικασίες από τη Μελέτη έως
την Τοποθέτηση**

ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΙΑΠΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2026

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη μελέτη κουφωμάτων αλουμινίου και την εφαρμογή τους σε πραγματικό τεχνικό έργο, με κεντρικό στόχο τη γεφύρωση μεταξύ θεωρητικής τεχνικής γνώσης και πρακτικής διαχείρισης της διαδικασίας υλοποίησης. Το ερώτημα που τη διατρέχει δεν είναι απλώς τι επιλέγεται, αλλά κυρίως πώς υλοποιείται — και πού η διαδικασία αυτή ενέχει κινδύνους αστοχίας.

Η έρευνα ακολουθεί συνδυαστική μεθοδολογία βιβλιογραφικής ανασκόπησης και μελέτης περίπτωσης. Το θεωρητικό μέρος παρέχει το αναγκαίο υπόβαθρο για την κατανόηση των τεχνικών χαρακτηριστικών και του κανονιστικού πλαισίου (KENAK, EN 14351-1, σχετικά EN πρότυπα), εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο οι δείκτες απόδοσης τεκμηριώνονται και συγκρίνονται μέσω της Δήλωσης Επιδόσεων. Το εμπειρικό μέρος αναλύει ένα πραγματικό έργο εγκατάστασης minimal κουφωμάτων αλουμινίου σε παραθαλάσσιο χώρο εστίασης και υποδοχής υψηλών αρχιτεκτονικών απαιτήσεων.

Η ανάλυση εστιάζει στη ροή εργασιών: αποτυπώνονται τα στάδια από τη μελέτη εφαρμογής έως την τελική παράδοση, καταγράφονται οι αποκλίσεις χρονοδιαγράμματος και εντοπίζονται τα σημεία που συγκεντρώνουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο τεχνικής ή οργανωτικής αστοχίας. Ιδιαίτερη προσοχή αποδίδεται στη ροή πληροφοριών μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου παραγωγής και εργοταξίου — η οποία αναδεικνύεται ως ο πιο κρίσιμος παράγοντας για την ομαλή εξέλιξη του έργου.

Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η επιτυχία έργων αντίστοιχης πολυπλοκότητας εξαρτάται πρωτίστως από την ακρίβεια της μελέτης εφαρμογής και των πρώτων σταδίων κατασκευής, που προκαθορίζουν όλη την επακόλουθη ροή. Αναδεικνύεται επίσης δυσκολία τεκμηρίωσης των επιδόσεων σε minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων, ιδίως όταν στις Δηλώσεις Επιδόσεων εμφανίζονται χαρακτηριστικά ως NPD. Διατυπώνονται προτάσεις για τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, την τυποποίηση διαδικασιών μέσω checklists και την ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων στη διαχείριση αντίστοιχων έργων.

Λέξεις-κλειδιά: *κουφώματα αλουμινίου, minimal συστήματα, ροή εργασιών, μελέτη εφαρμογής, διαχείριση έργου, EN 14351-1, NPĐ*

Abstract

This thesis examines aluminium window and door systems and their application in a real construction project, with the primary aim of bridging the gap between technical knowledge and the practical management of the installation process. The central question is not merely what is selected, but how it is implemented — and where that process is most vulnerable to technical or organisational failure.

The research follows a combined methodology of literature and regulatory review and single-case study analysis. The theoretical part provides the necessary background on the performance characteristics of aluminium systems and the regulatory framework governing them — including KENAK, EN 14351-1, and related European standards — with particular focus on how performance is declared, documented, and compared through the Declaration of Performance. The empirical part analyses a real installation project of minimal aluminium systems in a high-specification coastal resort restaurant and lobby space.

The analysis centres on the workflow: it maps the stages from application study to final handover, records deviations from the planned schedule, and identifies the points at which the risk of failure — technical or organisational — is most concentrated. Special attention is given to the flow of information between the technical office, the production factory, and the construction site, which emerges as the single most critical factor in the smooth execution of the project.

The findings show that the success of projects of equivalent complexity depends primarily on the precision of the application study and the early construction stages, which predetermine the entire subsequent workflow. A documentation challenge is also identified regarding oversized minimal systems regarding oversized minimal systems, where the absence of standardised test data shifts the documentation burden onto the designer. Recommendations are proposed for improving inter-party communication,

standardising procedures through stage-specific checklists, and integrating digital tools into the management of similar projects.

Keywords: *aluminium systems, minimal façades, workflow, application study, project management, EN 14351-1, NPD*

Περιεχόμενα

Εξώφυλλο	1
Περίληψη	2
Abstract.....	3
Περιεχόμενα	4
Κατάλογος Πινάκων.....	7
Κατάλογος Σχημάτων/Εικόνων	9
Κατάλογος Συντομογραφιών.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	13
1.1 Αντικείμενο και σημασία της εργασίας	13
1.2 Στόχος και ερευνητικά ερωτήματα	14
1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση	15
1.4 Δομή της εργασίας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο — Κουφώματα Αλουμινίου	17
2.1 Ιστορική εξέλιξη και χρήση αλουμινίου στην οικοδομή	17
2.2 Τύποι κουφωμάτων αλουμινίου	19
2.2.1 Ανοιγόμενα συστήματα.....	20
2.2.2 Συρόμενα συστήματα.....	21
2.2.3 Pivot συστήματα	22
2.2.4 Ειδικές και σύνθετες κατασκευές.....	23
2.2.5 Minimal συστήματα	25
2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά κουφωμάτων αλουμινίου	28
2.3.1 Θερμομονωτική απόδοση κουφωμάτων αλουμινίου	28
2.3.2 Ηχομονωτική ικανότητα — Δείκτης R_w	34
2.3.3 Αντοχή σε ανεμοπίεση — EN 12210.....	38

2.3.4 Αεροπερατότητα — EN 12207	40
2.3.5 Υδατοστεγανότητα — EN 12208	43
2.3.6 Αντιδιαρρηκτική προστασία — EN 1627	46
2.3.7 Επιφανειακές επεξεργασίες αλουμινίου και προστασία από διάβρωση	48
2.4 Υαλοπίνακες και τεχνικά χαρακτηριστικά.....	53
2.4.1 Τύποι υαλοπινάκων.....	54
2.4.2 Θερμική συμπεριφορά υάλωσης.....	57
2.4.3 Ακουστική συμπεριφορά υάλωσης.....	61
2.4.4 Υαλοπίνακες ασφαλείας.....	64
2.4.5 Ειδικοί υαλοπίνακες (Low-E, solar control και ενεργειακοί).....	68
2.5 Εξαρτήματα κουφωμάτων και λειτουργικά στοιχεία.....	71
2.5.1 Μηχανισμοί κύλισης και οδηγοί	71
2.5.2 Μεντεσέδες και μηχανισμοί περιστροφής	73
2.5.3 Μηχανισμοί κλειδώματος και ασφάλειας	74
2.5.4 Ελαστικά παρεμβύσματα και στοιχεία στεγάνωσης	76
2.5.5 Λαβές και λειτουργικά εξαρτήματα χειρισμού	78
2.5.6 Ψευτόκασες και υποδομές τοποθέτησης.....	79
2.6 Πρότυπα και κανονισμοί.....	83
2.6.1 KENAK.....	83
2.6.2 ΕΛΟΤ EN.....	84
2.6.3 Σήμανση CE.....	86
2.7 Παράγοντες επιλογής κουφωμάτων σε τεχνικά έργα	87
2.7.1 Αρχιτεκτονικές και αισθητικές απαιτήσεις.....	88
2.7.2 Ενεργειακή απόδοση και θερμομόνωση	89
2.7.3 Λειτουργικότητα και τρόπος χρήσης	90
2.7.4 Περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες.....	90
2.7.5 Ασφάλεια και προστασία χρηστών	91
2.7.6 Κόστος κατασκευής και συντήρησης	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία Έρευνας	93
3.1 Μεθοδολογία βιβλιογραφικής και κανονιστικής τεκμηρίωσης	93
3.2 Θεωρητική έρευνα — πηγές και κατηγορίες δεδομένων.....	94
3.3 Εμπειρική έρευνα — μελέτη περίπτωσης πραγματικού έργου.....	95

3.4 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων.....	96
3.4.1 Ανάλυση τεχνικών εγγράφων	97
3.5 Εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης	97
3.6 Περιορισμοί της μεθοδολογίας	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παρουσίαση Πραγματικού Έργου Εγκατάστασης Κουφωμάτων.....	99
4.1 Γενικά στοιχεία έργου.....	99
4.2 Απαιτήσεις πελάτη και τεχνικές προδιαγραφές	101
4.2.1 Αρχιτεκτονικές απαιτήσεις	101
4.2.2 Απαιτήσεις διαστάσεων και μηχανικής αντοχής	102
4.2.3 Ενεργειακές, ακουστικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις.....	102
4.2.4 Απαιτήσεις τοποθέτησης και ενσωμάτωσης συστημάτων.....	104
4.3 Προετοιμασία και συλλογή μετρήσεων στο έργο	104
4.3.1 Αποτύπωση ανοιγμάτων και γεωμετρικός έλεγχος.....	105
4.3.2 Έλεγχος υψομέτρων και θέσεων οδηγών.....	106
4.3.3 Καταγραφή στοιχείων για τη μελέτη εφαρμογής.....	107
4.4 Μελέτη και επιλογή συστημάτων κουφωμάτων	108
4.4.1 Minimal συρόμενα συστήματα	110
4.4.2 Pivot συστήματα	115
4.4.3 Συνδυασμός σταθερής υάλωσης και pivot κατασκευών.....	118
4.4.4 Μεγάλες σταθερές υαλώσεις.....	120
4.5 Σύνταξη προσφοράς και κοστολόγηση	122
4.6 Οργάνωση εργοταξίου και προγραμματισμός εργασιών	124
4.7 Παραγγελία και παρακολούθηση παραγωγής.....	132
4.8 Διαδικασία τοποθέτησης κουφωμάτων.....	135
4.9 Έλεγχος ποιότητας και παράδοση έργου	139
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Διαδικασιών και Ροής Εργασιών.....	141
5.1 Αποτύπωση της ροής πληροφοριών.....	141
5.2 Συνεργασία τεχνικού γραφείου – εργοστασίου – εργοταξίου	144
5.3 Εντοπισμός κρίσιμων σημείων και πιθανών καθυστερήσεων	147
5.3.1 Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών.....	148
5.3.2 Hidden frames, οδηγοί και κατασκευαστικές ανοχές	149

5.3.3 Αποκλίσεις δαπέδων και τελικών υψομέτρων	149
5.3.4 Παραγωγή κουφωμάτων στο εξωτερικό	149
5.3.5 Μεταφορά και διαχείριση μεγάλων υαλοπινάκων	150
5.3.6 Τοποθέτηση μεγάλων υαλοπινάκων	150
5.4 Τυπικές αστοχίες – τεχνικά και οργανωτικά προβλήματα	150
5.4.1 Προβλήματα ευθυγράμμισης συρόμενων συστημάτων	151
5.4.2 Αστοχίες στεγάνωσης και εφαρμογής σιλικόνης	152
5.4.3 Προβλήματα συνεργασίας με δάπεδα και επενδύσεις	152
5.4.4 Ρυθμίσεις ρινοτ μηχανισμών και μεγάλων φύλλων	153
5.5 Σύγκριση προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων	153
5.6 Διάγραμμα ροής (workflow) και αξιολόγηση αποτελεσματικότητας	157
5.7 Συνολική αξιολόγηση του έργου	162
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης	164
6.1 Συνοπτικά συμπεράσματα θεωρητικής ανάλυσης	164
6.2 Συμπεράσματα από το πραγματικό έργο	166
6.3 Προτάσεις για βελτιστοποίηση διαδικασιών	170
6.3.1 Βελτίωση επικοινωνίας	170
6.3.2 Τυποποίηση διαδικασιών και checklists	171
6.3.3 Βελτίωση διαδικασίας τεκμηρίωσης και πιστοποίησης	172
6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	174
Βιβλιογραφία	176

Κατάλογος Πινάκων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο — Κουφώματα Αλουμινίου

Πίνακας 2.1 — Ενδεικτική εξέλιξη θερμοπερατότητας πλαισίου (Uf) ανά τεχνολογική γενεά	18
Πίνακας 2.2 — Συγκριτική αξιολόγηση τυπολογιών κουφωμάτων αλουμινίου	28
Πίνακας 2.3 — Ενδεικτικές τιμές Uf ανά τεχνολογική κατηγορία συστήματος	30
Πίνακας 2.4 — Ενδεικτικές τιμές Ug για βασικούς τύπους υαλοπινάκων	32
Πίνακας 2.5 — Ενδεικτικές τιμές Ψg ανά τύπο αποστάτη	33
Πίνακας 2.6 — Ενδεικτικές τιμές Uw για θερμοδιακοπόμενο σύστημα	34

Πίνακας 2.7 — Ενδεικτικές τιμές R_w για βασικούς τύπους υαλοπινάκων	36
Πίνακας 2.8 — Κατηγορίες αντοχής σε ανεμοπίεση κατά EN 12210.....	39
Πίνακας 2.9 — Όρια παραμόρφωσης ανά κλάση κατά EN 12210.....	39
Πίνακας 2.10 — Κλάσεις αεροπερατότητας κατά EN 12207	41
Πίνακας 2.11 — Κλάσεις υδατοστεγανότητας κατά EN 12208	44
Πίνακας 2.12 — Κλάσεις αντιδιαρρηκτικής αντίστασης κατά EN 1627	46
Πίνακας 2.13 — Κατηγορίες πάχους QUALANOD	50
Πίνακας 2.14 — Ενδεικτικές τιμές U_g ανά τύπο υαλοπίνακα.....	59
Πίνακας 2.15 — Ενδεικτικές τιμές ηχομείωσης υαλοπινάκων.....	62
Πίνακας 2.16 — Κατηγορίες υαλοπινάκων ασφαλείας κατά EN 356.....	66
Πίνακας 2.17 — Σύγκριση χαρακτηριστικών tempered και laminated υαλοπινάκων	67
Πίνακας 2.18 — Ενδεικτικές τιμές ενεργειακών υαλοπινάκων.....	69
Πίνακας 2.19 — Απαιτήσεις μηχανισμών ανά κατηγορία RC	75
Πίνακας 2.20 — Μέγιστες τιμές U_w ανά κλιματική ζώνη κατά KENAK	83
Πίνακας 2.21 — Βασικά πρότυπα ΕΛΟΤ EN για κουφώματα αλουμινίου	85
Πίνακας 2.22 — Χαρακτηριστικά απόδοσης κουφωμάτων κατά σήμανση CE (EN 14351-1)	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία Έρευνας

Πίνακας 3.1 — Βασικά πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και ενότητα αναφοράς.....	94
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παρουσίαση Πραγματικού Έργου Εγκατάστασης Κουφωμάτων

Πίνακας 4.1 — Ενδεικτικές διαστάσεις ρινοί και συρόμενων συστημάτων του έργου	102
Πίνακας 4.2 — Πίνακας κουφωμάτων	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Διαδικασιών και Ροής Εργασιών

Πίνακας 5.1 — Κρίσιμα σημεία και πιθανοί κίνδυνοι κατά την υλοποίηση του έργου	147
Πίνακας 5.2 — Τυπικές τεχνικές αστοχίες και τρόποι αντιμετώπισης.....	151
Πίνακας 5.3 — Σύγκριση προγραμματισμένης και πραγματικής διάρκειας ανά στάδιο εργασιών.....	153

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης

Πίνακας 6.1 — Συνοπτικές απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	169
Πίνακας 6.2 — Σημεία ελέγχου ποιότητας και κριτήρια αποδοχής	171

Κατάλογος Σχημάτων/Εικόνων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο — Κουφώματα Αλουμινίου

Σχήμα 2.1 — Σύγκριση μη θερμοδιακοπτόμενου και θερμοδιακοπτόμενου προφίλ	19
Σχήμα 2.2 — Ανοιγόμενο σύστημα αλουμινίου με πλευρική άρθρωση	20
Σχήμα 2.3 — Συρόμενο σύστημα τύπου lift & slide	22
Σχήμα 2.4 — Pivot κούφωμα με κεντρικό άξονα περιστροφής	23
Σχήμα 2.5 — Σύστημα φουσαρμόνικα με αναδίπλωση φύλλων	24
Σχήμα 2.6 — Σύστημα υαλοπετάσματος με διάταξη ορθοστατών και τραβερσών	24
Σχήμα 2.7 — Minimal συρόμενο σύστημα με μειωμένο εμφανές προφίλ	27
Σχήμα 2.8 — Σχηματική απεικόνιση θερμικής ροής σε διατομή θερμοδιακοπτόμενου προφίλ	31
Σχήμα 2.9 — Διάταξη εργαστηριακής δοκιμής ηχομόνωσης κατά EN ISO 10140	37
Σχήμα 2.10 — Εργαστηριακή δοκιμή αντοχής σε ανεμοπίεση κατά EN 12211	40
Σχήμα 2.11 — Δοκιμή αεροπερατότητας κουφώματος κατά EN 1026	42
Σχήμα 2.12 — Εργαστηριακή δοκιμή υδατοστεγανότητας κατά EN 1027	45
Σχήμα 2.13 — Δοκιμή αντιδιαρρηκτικής προστασίας κατά EN 1627	47
Σχήμα 2.14 — Επιφάνειες προφίλ αλουμινίου με ηλεκτροστατική βαφή	50
Σχήμα 2.15 — Επιφάνειες ανοδιωμένου προφίλ αλουμινίου	52
Σχήμα 2.16 — Μονός υαλοπίνακας απλής διατομής	54
Σχήμα 2.17 — Διπλός υαλοπίνακας με ενδιάμεσο διάκενο και αποστάτη	55
Σχήμα 2.18 — Τριπλός υαλοπίνακας με διπλό διάκενο	56
Σχήμα 2.19 — Θερμική ροή σε διπλό υαλοπίνακα με Low-E και argon	60
Σχήμα 2.20 — Ενδεικτική καμπύλη ηχομείωσης υαλοπίνακα	63
Σχήμα 2.21 — Θραύση θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα	65
Σχήμα 2.22 — Πολυστρωματικός υαλοπίνακας μετά από θραύση	66
Σχήμα 2.23 — Διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα ηλιακού ελέγχου	70
Σχήμα 2.24 — Μηχανισμός κύλισης συρόμενου συστήματος αλουμινίου	73
Σχήμα 2.25 — Μηχανισμοί ανοιγμάτων κουφωμάτων	74
Σχήμα 2.26 — Μέρη μηχανισμού κλειδώματος παραθύρου	76

Σχήμα 2.27 — Ελαστικά παρεμβύσματα σε εφαρμογή	77
Σχήμα 2.28 — Χειρολαβές ανοίγματος	79
Σχήμα 2.29 — Ψευτόκασα από γαλβανιζέ λαμαρίνα για Minimal κούφωμα	81
Σχήμα 2.30 — Ψευτόκασα συνδυασμού χαλύβδινου κοιλοδοκού και γαλβανιζέ λαμαρίνας	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παρουσίαση Πραγματικού Έργου Εγκατάστασης Κουφωμάτων

Σχήμα 4.1 — Γενική άποψη restaurant-lobby μετά την εγκατάσταση	101
Σχήμα 4.2 — Πραγματική κατάσταση του χώρου πριν την εγκατάσταση των κουφωμάτων.....	105
Σχήμα 4.3 — Αποτύπωση ανοιγμάτων και έλεγχος γεωμετρικών αποκλίσεων.....	106
Σχήμα 4.4 — Έλεγχος υψομέτρου τελικού δαπέδου με χρήση laser.....	107
Σχήμα 4.5 — Αρχιτεκτονική κάτοψη του χώρου με θέσεις εφαρμογής κουφωμάτων.....	108
Σχήμα 4.6 — CE δίφυλλου συρόμενου συστήματος.....	112
Σχήμα 4.7 — CE τετράφυλλου συρόμενου συστήματος με μεγάλες διαστάσεις.....	113
Σχήμα 4.8 — Κάθετη τομή Δίφυλλου Συρόμενου — Λεπτομέρεια Οδηγού Δαπέδου.....	114
Σχήμα 4.9 — Κάθετη τομή Συρόμενου — Λεπτομέρεια πλαϊνού προφίλ	114
Σχήμα 4.10 — CE Μονόφυλλου Pivot	116
Σχήμα 4.11 — Οριζόντια τομή Pivot — Λεπτομέρεια πλαϊνού προφίλ και άξονα.....	117
Σχήμα 4.12 — Κάθετη τομή Pivot — Λεπτομέρεια κατακασίου	117
Σχήμα 4.13 — CE Σύνθεσης Σταθερών και Pivot.....	119
Σχήμα 4.14 — Κάθετη τομή Σύνθεσης Σταθερών και Pivot.....	120
Σχήμα 4.15 — CE Σύνθεσης Σταθερών Κουφωμάτων.....	122
Σχήμα 4.16 — Ενδεικτικός πίνακας κουφωμάτων και στοιχείων κοστολόγησης.....	123
Σχήμα 4.17 — Διάγραμμα Gantt και συνολικό workflow υλοποίησης.....	126
Σχήμα 4.18 — Απόσπασμα Gantt — Μελέτη εφαρμογής.....	127
Σχήμα 4.19 — Απόσπασμα Gantt — Τοποθέτηση ψευτόκασων	127
Σχήμα 4.20 — Απόσπασμα Gantt — Έλεγχος ανοιγμάτων	128
Σχήμα 4.21 — Απόσπασμα Gantt — Οριστικοποίηση σχεδίων.....	129
Σχήμα 4.22 — Απόσπασμα Gantt — Shop drawings	129
Σχήμα 4.23 — Απόσπασμα Gantt — Παραγωγή κουφωμάτων	130
Σχήμα 4.24 — Απόσπασμα Gantt — Μεταφορά στο εργοτάξιο.....	130
Σχήμα 4.25 — Απόσπασμα Gantt — Τοποθέτηση κουφωμάτων.....	131

Σχήμα 4.26 — Απόσπασμα Gantt — Τοποθέτηση υαλοπινάκων	131
Σχήμα 4.27 — Απόσπασμα Gantt — Ποιοτικός έλεγχος	132
Σχήμα 4.28 — Σχέδιο παραγωγής κουφώματος	133
Σχήμα 4.29 — Τελικό shop drawing συστήματος	134
Σχήμα 4.30 — Παραλαβή κουφωμάτων και υαλοπινάκων στο εργοτάξιο	135
Σχήμα 4.31 — Τοποθέτηση περιμετρικών κασωμάτων	136
Σχήμα 4.32 — Τοποθέτηση pivot κατασκευής, θέση 2-3.....	137
Σχήμα 4.33 — Τοποθέτηση φύλλων με ρομποτικό μηχάνημα.....	138
Σχήμα 4.34 — Έλεγχος λειτουργίας Pivot, θέση 2-3	140

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Διαδικασιών και Ροής Εργασιών

Σχήμα 5.1 — Βασική ροή πληροφοριών μεταξύ τμημάτων.....	142
Σχήμα 5.2 — Ροή πληροφοριών τεχνικού γραφείου - εργοστασίου	143
Σχήμα 5.3 — Συντονισμός εργοταξίου και τεχνικού γραφείου.....	144
Σχήμα 5.4 — Συνεργασία τεχνικού γραφείου, εργοστασίου, εργοταξίου	145
Σχήμα 5.5 — Συνεργείο τοποθέτησης	146
Σχήμα 5.6 — Λεπτομέρεια κρυφού οδηγού κύλισης.....	147
Σχήμα 5.7 — Συγκόλληση ψευτοκασών.....	148
Σχήμα 5.8 — Ευθυγράμμιση οδηγών με χρήση laser	152
Σχήμα 5.9 — Συγκριτικό διάγραμμα Gantt προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων	153
Σχήμα 5.10 — Workflow και αλληλουχία σταδίων υλοποίησης.....	160

Κατάλογος Συντομογραφιών

ΕΛΟΤ	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
KENAK.....	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΥΠΠΕΝ.....	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
Ψg.....	Γραμμικός συντελεστής θερμοπερατότητας αποστάτη (W/m·K)

CAD	Computer-Aided Design — Σχεδίαση με υπολογιστή
CE.....	Conformité Européenne — Σήμανση Συμμόρφωσης
CEN.....	Comité Européen de Normalisation — Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης
Ctr.....	Διορθωτικός όρος ηχομείωσης για κυκλοφοριακό θόρυβο
DoP.....	Declaration of Performance — Δήλωση Επιδόσεων
EN	European Norm — Ευρωπαϊκό Πρότυπο
Gantt.....	Διάγραμμα χρονοπρογραμματισμού εργασιών
g-value.....	Συντελεστής ηλιακών κερδών υαλοπίνακα
ISO	International Organization for Standardization
Low-E.....	Low Emissivity — επικάλυψη χαμηλής εκπεμπτικότητας
NPD.....	No Performance Determined — Δεν δηλώθηκε επίδοση
PMI.....	Project Management Institute
PVB.....	Polyvinyl Butyral — μεμβράνη πολυστρωματικού υαλοπίνακα
QUALANOD	Πρότυπο ποιότητας ανοδιωμένων προφίλ αλουμινίου
RC	Resistance Class — Κατηγορία αντιδιαρρηκτικής αντίστασης (RC1–RC6)
Rw	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης (dB)
TL.....	Light Transmission — Συντελεστής φωτεινής διαπερατότητας
Uf.....	Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου (W/m ² K)
Ug.....	Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα (W/m ² K)
Uw	Συντελεστής θερμοπερατότητας κουφώματος (W/m ² K)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σημασία της εργασίας

Τα κουφώματα αλουμινίου αποτελούν σήμερα αναπόσπαστο στοιχείο του κτιριακού κελύφους, επηρεάζοντας καθοριστικά τη θερμική απόδοση, την αεροστεγανότητα, την υδατοστεγανότητα, την ηχομόνωση και την αντιδιαρρηκτική προστασία των κτιρίων. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό ρόλο τους ως απλά δομικά στοιχεία πλήρωσης ανοιγμάτων, τα σύγχρονα συστήματα αλουμινίου λειτουργούν ως σύνθετα τεχνικά υποσυστήματα με επαληθεύσιμες και πιστοποιημένες επιδόσεις (CEN, 2016, σ. 5). Η ανάδειξη αυτής της μεταβολής απαιτεί συνδυαστική θεώρηση κανονιστικών, τεχνικών και λειτουργικών παραμέτρων.

Η εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με τις Τεχνικές Οδηγίες του TEE (TOTEE 20701-1), θεσπίζει δεσμευτικά όρια θερμοπερατότητας για τα στοιχεία του κτιριακού κελύφους (ΥΠΕΝ, 2017). Τα κουφώματα, ως ένα από τα πλέον ευάλωτα σημεία θερμικής απώλειας, οφείλουν να πληρούν τις απαιτήσεις αυτές μέσω τεκμηριωμένου συντελεστή θερμοπερατότητας U_w , υπολογισμένου σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 10077-1 (ISO, 2017). Ταυτόχρονα, η υποχρεωτική σήμανση CE σύμφωνα με το EN 14351-1 (CEN, 2016) υποχρεώνει τους κατασκευαστές να δηλώνουν τις επιδόσεις των συστημάτων τους ως προς την αεροπερατότητα, την υδατοστεγανότητα και την αντοχή σε ανεμοπίεση.

Η τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αλουμινίου — μέσω θερμοδιακοπτόμενων προφίλ, υαλοπινάκων χαμηλής εκπομπής (Low-E), minimal εφαρμογών με περιορισμένες εμφανείς διατομές και μηχανισμών υψηλής αντοχής — έχει μεταβάλει ουσιαστικά τόσο τα κριτήρια επιλογής όσο και τη διαδικασία υλοποίησης των σχετικών έργων. Σε κατασκευές minimal αρχιτεκτονικής με μεγάλα ανοίγματα, η εγκατάσταση κουφωμάτων αλουμινίου συνιστά σύνθετο τεχνικό έργο, που εκτείνεται από τη φάση της μελέτης εφαρμογής έως την τελική παράδοση, ενσωματώνοντας πλήθος σταδίων παραγωγής, μεταφοράς, τοποθέτησης και ποιοτικού ελέγχου (Gould & Joyce, 2008, σ. 142-178).

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τα κουφώματα αλουμινίου τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο, συνδέοντας το κανονιστικό πλαίσιο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά με την υλοποίηση πραγματικού έργου εγκατάστασης σε χώρο εστίασης και υποδοχής παραθαλάσσιου resort χαρακτήρα, υψηλών αρχιτεκτονικών απαιτήσεων. Η σημασία της εργασίας έγκειται στη γεφύρωση της θεωρητικής τεχνικής γνώσης με την πρακτική διαχείριση έργου — ένα κενό που η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία στο πεδίο του ελληνικού κατασκευαστικού κλάδου δεν έχει επαρκώς καλύψει (PMI, 2017, σ. 53-72).

1.2 Στόχος και ερευνητικά ερωτήματα

Κεντρικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ολοκληρωμένη τεχνική και διαχειριστική διερεύνηση των κουφωμάτων αλουμινίου, μέσω της σύνδεσης του κανονιστικού πλαισίου και των τεχνικών χαρακτηριστικών με τη διαδικασία υλοποίησης πραγματικού τεχνικού έργου εγκατάστασης, από τη φάση της μελέτης έως την τελική παράδοση.

Ειδικότερα, η εργασία επιδιώκει:

- Την ανάλυση των βασικών τεχνικών χαρακτηριστικών των συστημάτων — θερμοπερατότητα (U_w), ηχομείωση (R_w), αντοχή σε ανεμοπίεση, αεροπερατότητα, υδατοστεγανότητα — σύμφωνα με τα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα.
- Την παρουσίαση του κανονιστικού πλαισίου (KENAK, EN 14351-1, EN 12207, EN 12208, EN 12210, ISO 717-1) και της εφαρμογής του κατά τη μελέτη και επιλογή συστημάτων.
- Την αποτύπωση της ροής εργασιών σε πραγματικό τεχνικό έργο εγκατάστασης κουφωμάτων αλουμινίου.
- Τον εντοπισμό κρίσιμων σημείων και πιθανών πηγών αστοχίας στη διαδικασία υλοποίησης.

- Τη διατύπωση προτάσεων βελτιστοποίησης της ροής πληροφοριών μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου παραγωγής και εργοταξίου.

Με βάση τα παραπάνω, τίθενται τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- EP1: Ποια τεχνικά χαρακτηριστικά καθορίζουν την επιλογή κουφωμάτων αλουμινίου σε σύγχρονα έργα υψηλών απαιτήσεων και πώς τεκμηριώνονται μέσω του ισχύοντος κανονιστικού πλαισίου;
- EP2: Πώς επηρεάζει η υποχρεωτική σήμανση CE (EN 14351-1) τη διαδικασία αξιολόγησης και επιλογής συστημάτων;
- EP3: Ποια είναι τα βασικά στάδια από τη μελέτη εφαρμογής έως την τελική παράδοση σε ένα έργο κουφωμάτων minimal αρχιτεκτονικής;
- EP4: Ποια σημεία της διαδικασίας υλοποίησης εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο τεχνικών ή οργανωτικών αστοχιών;
- EP5: Πώς μπορεί να βελτιωθεί η ροή πληροφοριών μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου παραγωγής και εργοταξίου σε έργα αντίστοιχης πολυπλοκότητας;

1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η εργασία ακολουθεί συνδυαστική ερευνητική στρατηγική, που εντάσσεται στο πλαίσιο της ποιοτικής έρευνας μέσω μελέτης περίπτωσης (case study research). Η επιλογή της μεθόδου αυτής τεκμηριώνεται από τη φύση των ερευνητικών ερωτημάτων, τα οποία αφορούν σε ένα σύγχρονο, εξελισσόμενο φαινόμενο που μπορεί να μελετηθεί στο φυσικό του πλαίσιο, χωρίς να ελέγχεται πειραματικά (Yin, 2018, σ. 14-15).

Σύμφωνα με τον Yin (2018, σ. 46), η μελέτη περίπτωσης είναι ιδιαίτερα κατάλληλη όταν τίθενται ερωτήματα τύπου «πώς» και «γιατί», όταν ο ερευνητής δεν έχει έλεγχο επί των γεγονότων και όταν το υπό μελέτη φαινόμενο εντάσσεται σε σύγχρονο πλαίσιο. Και οι τρεις αυτές προϋποθέσεις ισχύουν για την παρούσα εργασία. Η εργασία υιοθετεί μεθοδολογικό σχήμα μονής μελέτης περίπτωσης (single-case study), καθώς εξετάζει σε βάθος ένα πραγματικό έργο αυξημένης τεχνικής πολυπλοκότητας, με πρόσβαση σε τεχνικά έγγραφα, δεδομένα χρονοδιαγράμματος και επιτόπιες παρατηρήσεις.

Το θεωρητικό μέρος της εργασίας βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση πρωτογενών και δευτερογενών πηγών: ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN, ISO), εθνικό

κανονιστικό πλαίσιο (KENAK/ΥΠΕΝ), επιστημονικά άρθρα και εξειδικευμένα τεχνικά συγγράμματα. Για τη διαχείριση της διαδικασίας υλοποίησης αξιοποιείται η θεωρητική προσέγγιση της διαχείρισης έργου, όπως αυτή αναπτύσσεται στον PMBOK® Guide (PMI, 2017) και εξειδικεύεται για κατασκευαστικά έργα από τους Gould & Joyce (2008).

Το εμπειρικό μέρος αναλύει πραγματικό έργο εγκατάστασης minimal κουφωμάτων αλουμινίου σε χώρο εστίασης και υποδοχής παραθαλάσσιου συγκροτήματος. Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια:

A) Στο πρώτο στάδιο συλλέχθηκαν αρχιτεκτονικά σχέδια, τεχνικές προδιαγραφές, πιστοποιητικά επιδόσεων (DoP) και αρχικές απαιτήσεις του έργου.

B) Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις και αυτοψίες κατά τη διάρκεια της κατασκευής, με καταγραφή πραγματικών συνθηκών και κατασκευαστικών αποκλίσεων.

Γ) Στο τρίτο στάδιο αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα υλοποίησης μέσω σύγκρισης προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων και εντοπισμού κρίσιμων σημείων της ροής εργασιών.

Η ανάλυση στηρίχθηκε στη μέθοδο της τριγωνοποίησης δεδομένων (data triangulation), κατά τον Yin (2018, σ. 134), μέσω συνδυασμού τεχνικών εγγράφων, επιτόπιων παρατηρήσεων και ποσοτικών δεδομένων χρονοδιαγράμματος. Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων ενισχύθηκε από τη δυνατότητα σύγκρισης των εμπειρικών ευρημάτων με τις θεωρητικές αρχές του Κεφαλαίου 2.

1.4 Δομή της εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε έξι κεφάλαια.

Το Κεφάλαιο 1 παρουσιάζει το αντικείμενο, τους στόχους, τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογία.

Το Κεφάλαιο 2 αναπτύσσει το θεωρητικό υπόβαθρο, καλύπτοντας την ιστορική εξέλιξη των κουφωμάτων αλουμινίου, τους τύπους συστημάτων, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και δείκτες απόδοσης (EN 12207, EN 12208, EN 12210, ISO 10077-1, ISO 717-1), την ενεργειακή τους συμπεριφορά και το κανονιστικό πλαίσιο (KENAK, EN 14351-1).

Το Κεφάλαιο 3 περιγράφει αναλυτικά τη μεθοδολογία της έρευνας, τις πηγές δεδομένων και τα εργαλεία ανάλυσης.

Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει το πραγματικό έργο εγκατάστασης κουφωμάτων, από τις αρχικές απαιτήσεις έως την παράδοση.

Το Κεφάλαιο 5 αναλύει τη ροή εργασιών, τα κρίσιμα σημεία και τις αποκλίσεις χρονοδιαγράμματος.

Το Κεφάλαιο 6 διατυπώνει τα συμπεράσματα, τις προτάσεις βελτιστοποίησης και τις κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο — Κουφώματα Αλουμινίου

2.1 Ιστορική εξέλιξη και χρήση αλουμινίου στην οικοδομή

Η βιομηχανική παραγωγή αλουμινίου, που ξεκίνησε στα τέλη του 19ου αιώνα, κατέστησε το υλικό αυτό εμπορικά βιώσιμο στις αρχές του 20ού αιώνα. Ωστόσο, η συστηματική αξιοποίησή του στην οικοδομή σημειώθηκε κατά τη δεκαετία του 1950, όταν η διεθνής εμπειρία στη διέλαση (extrusion) προφίλ πολύπλοκων διατομών έδωσε νέες δυνατότητες σχεδιασμού. Η υψηλή αναλογία αντοχής/βάρους, η φυσική αντίσταση στη διάβρωση και η δυνατότητα επεξεργασίας επιφάνειας κατέστησαν το αλουμίνιο ιδανικό υλικό για κουφώματα (Gould & Joyce, 2008, σ. 97).

Τα πρώτα κουφώματα αλουμινίου ήταν μη θερμοδιακοπτόμενα, αποτελούμενα από συνεχείς αγωγίμες διατομές χωρίς ενδιάμεση μόνωση. Λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας του αλουμινίου ($\lambda \approx 160\text{--}200 \text{ W/mK}$), τα συστήματα αυτά παρουσίαζαν έντονες θερμικές γέφυρες, φαινόμενα επιφανειακής συμπύκνωσης και αυξημένες θερμικές απώλειες. Κατά την εποχή εκείνη, η ενεργειακή συμπεριφορά δεν αποτελούσε κριτήριο σχεδιασμού, και η επιλογή κουφωμάτων βασιζόταν κυρίως σε αισθητικές και οικονομικές παραμέτρους.

Η πετρελαϊκή κρίση του 1973 σηματοδότησε σημαντική στροφή στην ενεργειακή πολιτική της Δύσης και δρομολόγησε ουσιαστικές τεχνολογικές εξελίξεις στον κλάδο των κουφωμάτων. Αναπτύχθηκαν τα θερμοδιακοπόμενα συστήματα, στα οποία παρεμβάλλεται υλικό χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας — κυρίως πολυαμίδιο ενισχυμένο με ίνες υάλου (PA66 GF25) — μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού τμήματος του προφίλ. Η τεχνολογία αυτή επέτρεψε τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας πλαισίου (Uf), από τιμές 5,5–7,0 W/m²K στα μη θερμοδιακοπόμενα συστήματα, σε τιμές 1,2–2,5 W/m²K στα σύγχρονα θερμοδιακοπόμενα (ISO, 2017).

Η ευρωπαϊκή τυποποίηση στον κλάδο κουφωμάτων συστηματοποιήθηκε στις δεκαετίες 1990–2000, με την ανάπτυξη σειράς εναρμονισμένων προτύπων από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN). Η θέσπιση του EN 14351-1 ως προτύπου προϊόντος (CEN, 2016) και η υποχρεωτική σήμανση CE βάσει του Κανονισμού (ΕΕ) 305/2011 μετέτρεψαν τις επιδόσεις των κουφωμάτων σε νομικά δεσμευτικά και επαληθεύσιμα δεδομένα. Παράλληλα, η ελληνική νομοθεσία εισήγαγε το ΚΕΝΑΚ (ΥΠΕΝ, 2017), θεσπίζοντας ελάχιστες απαιτήσεις θερμοπερατότητας ανά κλιματική ζώνη.

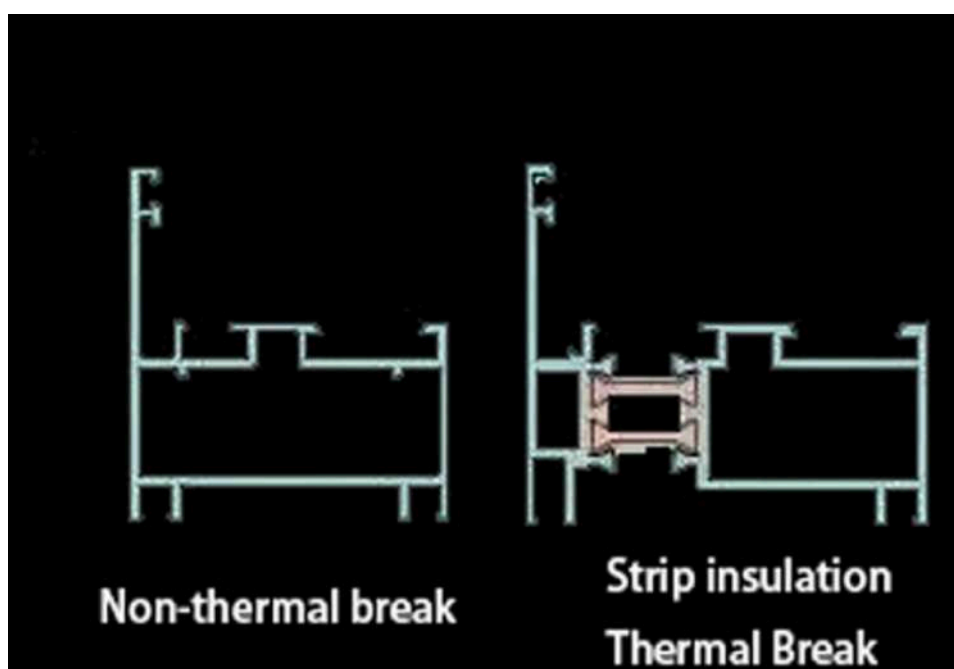
Η σύγχρονη φάση εξέλιξης χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη minimal συστημάτων — με ελαχιστοποιημένες εμφανείς διατομές και μεγιστοποιημένες επιφάνειες υάλωσης — που επαναπροσδιορίζουν τις τεχνικές απαιτήσεις ως προς τη στατική επάρκεια, τη θερμομόνωση και τη στεγανότητα. Σε αυτά τα συστήματα, η αναλογία πλαισίου προς υάλωση τείνει στο ελάχιστο, καθιστώντας τον υαλοπίνακα τον κυρίαρχο παράγοντα ενεργειακής απόδοσης (ISO, 2017, σ. 22-31).

Πίνακας 2.1 — Ενδεικτική εξέλιξη θερμοπερατότητας πλαισίου (Uf) ανά τεχνολογική γενεά

Τύπος συστήματος	Uf (W/m ² K)	Ενεργειακή αξιολόγηση
Μη θερμοδιακοπόμενο (έως 1970)	5,5 – 7,0	Πολύ χαμηλή
Πρώτης γενιάς θερμοδιακοπή (1970–1990)	3,0 – 4,0	Μέτρια

Τύπος συστήματος	Uf (W/m ² K)	Ενεργειακή αξιολόγηση
Σύγχρονο θερμοδιακοπτόμενο (1990–σήμερα)	1,8 – 2,5	Υψηλή
Ενισχυμένο ενεργειακό σύστημα (σήμερα)	1,2 – 1,8	Πολύ υψηλή

Πηγή: ISO (2017)· τεχνικές προδιαγραφές κατασκευαστών.



Σχήμα 2.1: Σύγκριση μη θερμοδιακοπτόμενου και θερμοδιακοπτόμενου προφίλ. Η ενδιάμεση ζώνη πολυαμιδίου μειώνει τη θερμική αγωγή μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος.

2.2 Τύποι κουφωμάτων αλουμινίου

Η λειτουργική τυπολογία των κουφωμάτων αλουμινίου καθορίζει τη γεωμετρική διαμόρφωση του ανοίγματος, τον τρόπο μεταφοράς φορτίων και τη συμπεριφορά του συστήματος κατά τη χρήση. Η κατηγοριοποίηση γίνεται βάσει της

κινηματικής λειτουργίας τους και εναρμονίζεται με το πρότυπο προϊόντος EN 14351-1 (CEN, 2016), το οποίο ορίζει τα χαρακτηριστικά απόδοσης που πρέπει να δηλώνονται για κάθε τύπο.

2.2.1 Ανοιγόμενα συστήματα

Τα ανοιγόμενα συστήματα βασίζονται στην περιστροφή του φύλλου γύρω από κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα, επιτυγχάνοντας στεγάνωση μέσω περιμετρικής σύσφιξης με ελαστικά παρεμβύσματα EPDM και πολυσημειακούς μηχανισμούς κλειδώματος. Η αυξημένη πίεση επαφής μεταξύ φύλλου και πλαισίου επιτρέπει υψηλές κατηγορίες αεροπερατότητας και υδατοστεγανότητας, συχνά κατηγορίας 4 και 7A αντίστοιχα, κατά EN 12207 και EN 12208 (CEN, 2016). Ωστόσο, τα ανοιγόμενα συστήματα περιορίζονται σε σχετικά μικρές διαστάσεις λόγω αυξανόμενων ροπών κάμψης.



Σχήμα 2.2: Ανοιγόμενο σύστημα αλουμινίου με πλευρική άρθρωση και περιμετρικό μηχανισμό σύσφιξης.

Πλεονεκτήματα

- Αποτελεσματική περιμετρική επαφή φύλλου–πλαισίου
- Πλήρης φυσικός αερισμός
- Απλή μηχανική λειτουργία

Περιορισμοί

- Απαιτεί ελεύθερο χώρο περιστροφής
- Περιορισμός σε πολύ μεγάλα ανοίγματα λόγω αυξημένων ροπών κάμψης

2.2.2 Συρόμενα συστήματα

Τα συρόμενα συστήματα λειτουργούν μέσω γραμμικής μετατόπισης του φύλλου επί οδηγών κύλισης και κατατάσσονται σε κλασικά συρόμενα, ανυψούμενα (lift & slide), minimal (με χωνευτούς οδηγούς και hidden frames) και υπερμεγέθη πολύφυλλα. Στα συστήματα τύπου lift & slide, ο μηχανισμός χειρισμού ανυψώνει ελαφρώς το φύλλο κατά το άνοιγμα, αποσύροντας την περιμετρική συμπίεση στεγάνωσης, γεγονός που επιτρέπει την κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων (έως 8–10 m) με επαρκή στεγανότητα (Gould & Joyce, 2008, σ. 203). Τα minimal συρόμενα συστήματα χαρακτηρίζονται από ελάχιστα εμφανή προφίλ, ενσωματωμένους οδηγούς στο δάπεδο και κρυφά κασώματα, αναδεικνύοντας τη μεγιστοποίηση της επιφάνειας υάλωσης.



Σχήμα 2.3: Συρόμενο σύστημα τύπου lift & slide με κάτω οδηγό κύλισης και μηχανισμό ανύψωσης.

Πλεονεκτήματα

- Κατάλληλα για μεγάλα ανοίγματα
- Περιορισμένη απαίτηση ελεύθερου χώρου
- Αυξημένη επιφάνεια υάλωσης

Περιορισμοί

- Αυξημένες απαιτήσεις ευθυγράμμισης
- Περιορισμένη πλήρης εκμετάλλευση ανοίγματος σε επάλληλα συστήματα

2.2.3 Pivot συστήματα

Τα pivot συστήματα περιστρέφονται γύρω από κατακόρυφο άξονα, ο οποίος δεν ταυτίζεται με το πλαϊνό πλαίσιο αλλά τοποθετείται σε ενδιάμεση θέση, επιτρέποντας τη δημιουργία εντυπωσιακών ανοιγμάτων μεγάλων διαστάσεων. Η μεταφορά φορτίων πραγματοποιείται μέσω ειδικών αξονικών εδράνων, ικανών να

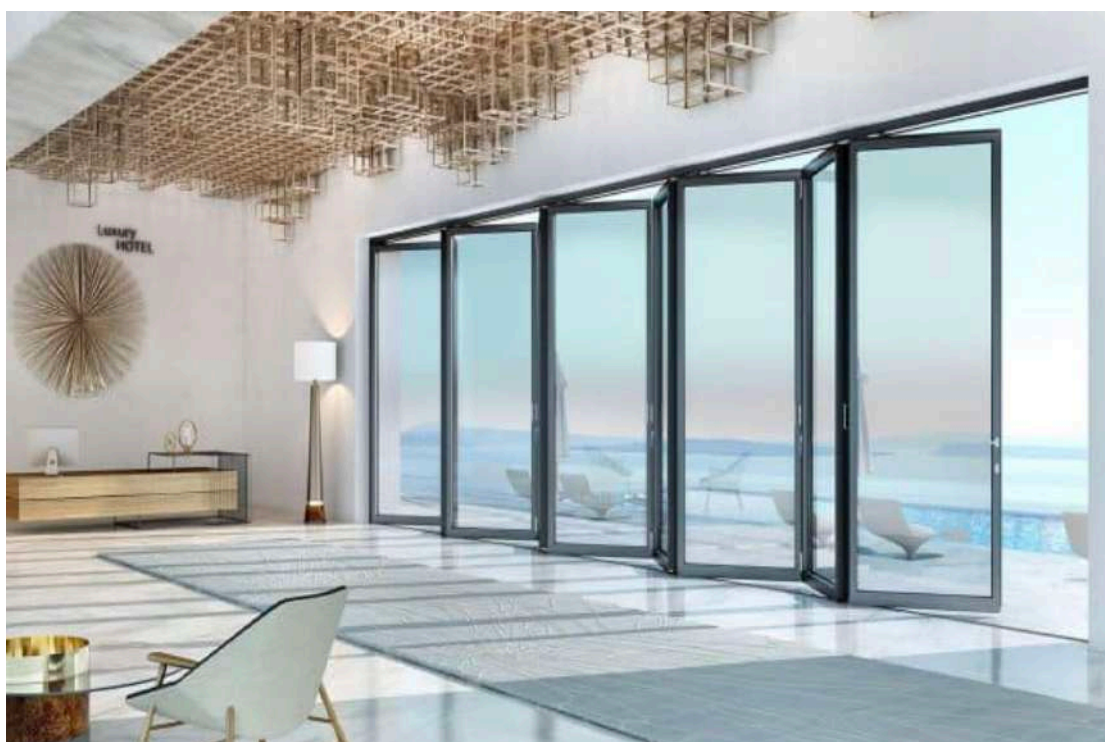
φέρουν φύλλα βάρους έως 400 kg και ύψους άνω των 3 m. Η γεωμετρία της λειτουργίας απαιτεί ακριβή ευθυγράμμιση των άνω και κάτω ρίνωτ μηχανισμών, ελαχιστοποιώντας τα διαστηματικά σφάλματα κατά την τοποθέτηση (CEN, 2016, σ. 18-21).



Σχήμα 2.4: Pivot κούφωμα με κεντρικό άξονα περιστροφής.

2.2.4 Ειδικές και σύνθετες κατασκευές

Στην κατηγορία των ειδικών κατασκευών εντάσσονται τα φυσαρμόνικα (folding systems), τα υαλοπετάσματα (curtain wall systems) και οι συνδυαστικές κατασκευές σταθερής υάλωσης με κινητά στοιχεία. Τα φυσαρμόνικα επιτρέπουν πλήρη ανάπτυξη του ανοίγματος μέσω αναδίπλωσης πολλαπλών φύλλων, εξασφαλίζοντας μέγιστη αξιοποίηση της επιφάνειας. Τα υαλοπετάσματα αποτελούν ολόκληρες εξωτερικές προσόψεις στηριζόμενες στον φέροντα οργανισμό, αξιολογούμενες κατά διαφορετικά πρότυπα (ETAG 002, EN 13830), ενώ οι συνδυαστικές κατασκευές σταθερής υάλωσης και ρίνωτ ή συρόμενων στοιχείων παρέχουν ενιαία αισθητική εικόνα με λειτουργική ευελιξία (CEN, 2016, σ. 19-20).



Σχήμα 2.5: Σύστημα φουσαρμόνικα με αναδίπλωση φύλλων προς μία πλευρά.



Σχήμα 2.6: Σύστημα υαλοπετάσματος με διάταξη ορθοστατών και τραβερσών.

2.2.5 Minimal συστήματα

Τα minimal συστήματα αποτελούν εξελεγμένη κατηγορία κουφωμάτων αλουμινίου που χαρακτηρίζεται από τη ριζική μείωση της εμφανούς διατομής των προφίλ σε συνδυασμό με τη μεγιστοποίηση της επιφάνειας υάλωσης. Η αρχιτεκτονική φιλοσοφία που τα διέπει επιδιώκει την "αόρατη" ενσωμάτωση του κουφώματος στο κτιριακό κέλυφος, δημιουργώντας ενιαίες γυάλινες επιφάνειες με ελάχιστη ή καθόλου ορατή υποδομή αλουμινίου (Gould & Joyce, 2008, σ. 218-225).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα minimal συστήματα από τα κλασικά κουφώματα αλουμινίου είναι:

- Μειωμένο εμφανές πλάτος προφίλ: τυπικά 20–50 mm έναντι 70–120 mm των συμβατικών συστημάτων, απαιτώντας ανώτερης αντοχής κράματα αλουμινίου (EN AW-6063 ή EN AW-6082) και βελτιστοποιημένες διατομές για επαρκή ακαμψία.
- Χωνευτοί οδηγοί (flush floor guides): ενσωματωμένοι στο δάπεδο χωρίς ορατό ανύψωμα, με ειδικές διατάξεις αποστράγγισης υδάτων απαραίτητες ιδίως σε παραθαλάσσιες εφαρμογές.
- Hidden frames (κρυφά κασώματα): τα περιμετρικά πλαίσια είναι ενσωματωμένα στην τοιχοποιία ή τις επενδύσεις, αφήνοντας ορατό μόνο το φύλλο υάλωσης.
- Μεγάλες και βαριές υαλώσεις: διαστάσεις άνω των 3.000 × 3.000 mm και βάρη έως 40 kg/m², απαιτώντας εξειδικευμένο εξοπλισμό εγκατάστασης (spider cranes, βακουμικά ανυψωτικά).
- Αυστηρές κατασκευαστικές ανοχές: αποκλίσεις ± 1 mm στην ευθυγράμμιση οδηγών επηρεάζουν σημαντικά τη λειτουργία, απαιτώντας υψηλή ακρίβεια σε όλα τα προηγούμενα στάδια κατασκευής.

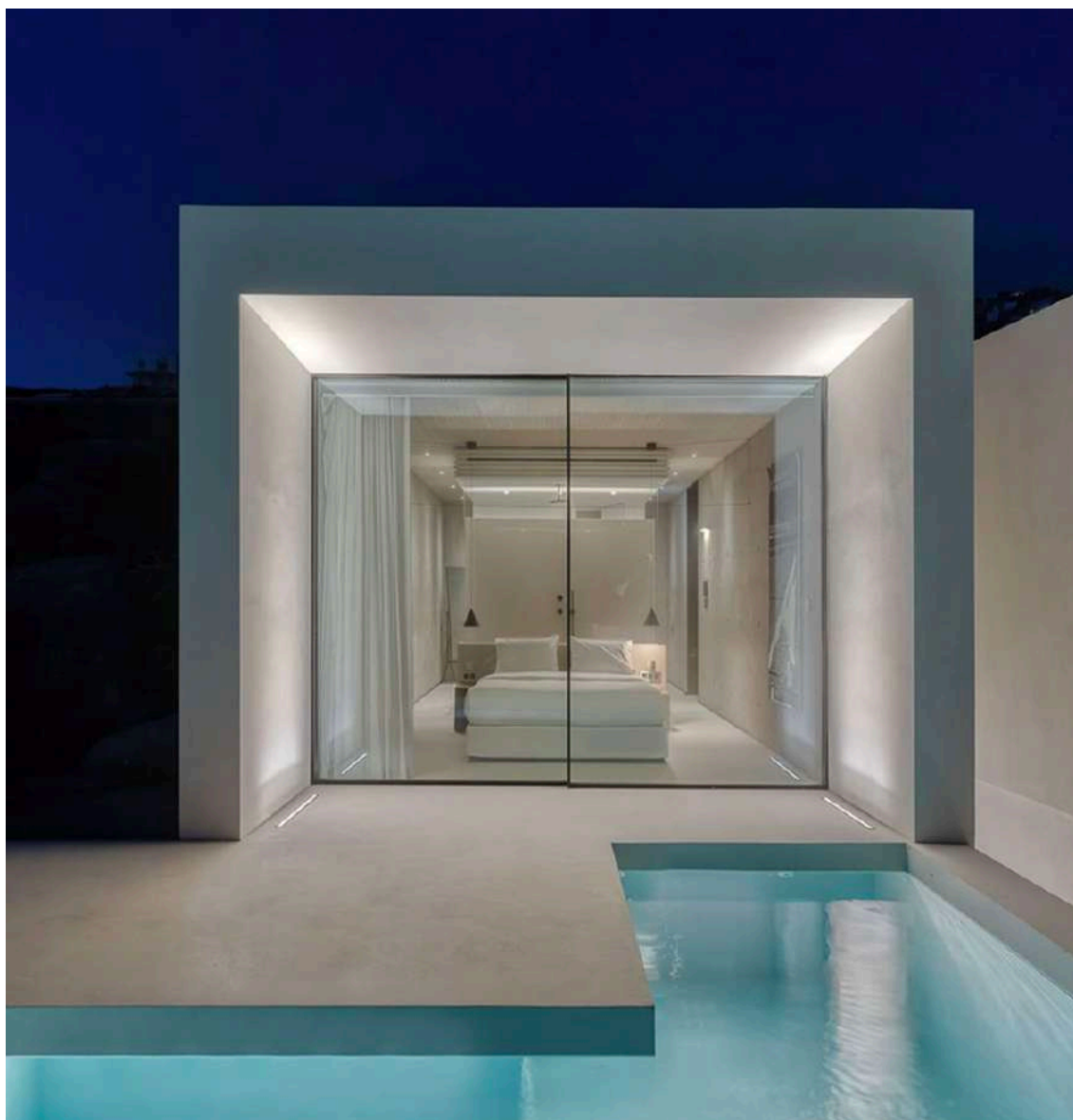
Ενεργειακή πρόκληση των minimal συστημάτων

Παρότι τα minimal συστήματα παρουσιάζουν ευνοϊκή αναλογία πλαισίου/υάλωσης — με αποτέλεσμα χαμηλότερο U_w σε σχέση με συμβατικά κουφώματα ισοδύναμης σειράς — η μείωση της διατομής δημιουργεί νέες προκλήσεις: (α) ο περιορισμός του χώρου θερμοδιακοπής μειώνει δυνητικά την

αποτελεσματικότητα της μόνωσης, (β) η μεγάλη επιφάνεια υάλωσης αναδεικνύει τον U_g ως κυρίαρχο παράγοντα του U_w (ISO, 2017, σ. 22), και (γ) η ενσωμάτωση hidden frames εισάγει νέα σημεία θερμικής γέφυρας που πρέπει να αντιμετωπιστούν στη λεπτομέρεια τοποθέτησης.

Κανονιστικό πλαίσιο και NPD

Ένα από τα κρισιμότερα ζητήματα για τα minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων είναι η συχνή εμφάνιση NPD (No Performance Determined) στις δηλώσεις επιδόσεων (DoP) κατά EN 14351-1 (CEN, 2016), ιδίως στις κατηγορίες αεροπερατότητας, υδατοστεγανότητας και ανεμοπίεσης. Αυτό δεν υποδηλώνει απουσία επίδοσης, αλλά το γεγονός ότι οι διαστάσεις του συγκεκριμένου συστήματος υπερβαίνουν τα όρια των τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών. Το κενό αυτό στο κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί σημαντικό ζήτημα για τον κλάδο, ιδίως καθώς τα minimal συστήματα κερδίζουν ολοένα μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς σε κατασκευές υψηλών αρχιτεκτονικών απαιτήσεων.



Σχήμα 2.7: Minimal συρόμενο σύστημα με μειωμένο εμφανές προφίλ.

Πίνακας 2.2 — Συγκριτική αξιολόγηση τυπολογιών κουφωμάτων αλουμινίου

Τυπολογία	Κάλυψη μεγάλων ανοιγμάτων	Πολυπλοκότητα	Αρχιτ. ένταση
Ανοιγόμενο	Χαμηλή–Μέτρια	Χαμηλή	Μέτρια
Συρόμενο (κλασικό)	Υψηλή	Μέτρια	Υψηλή
Minimal συρόμενο / pivot	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Εξαιρετικά υψηλή
Pivot	Υψηλή	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Φυσαρμόνικα	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή
Υαλοπέτασμα	Εξαιρετικά υψηλή	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή

Πηγή: CEN (2016)· Gould & Joyce (2008, σ. 201-215).

2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά κουφωμάτων αλουμινίου

Η αξιολόγηση των κουφωμάτων αλουμινίου πραγματοποιείται μέσω τυποποιημένων δεικτών επίδοσης, που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα. Η συνολική απόδοση ενός κουφώματος δεν αποτελεί άθροισμα επιμέρους χαρακτηριστικών, αλλά συνδυαστικό αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πλαισίου, υαλοπίνακα, εξαρτημάτων, παρεμβυσμάτων και τρόπου τοποθέτησης στο δομικό άνοιγμα (ISO, 2017, σ. 7).

2.3.1 Θερμομονωτική απόδοση κουφωμάτων αλουμινίου

Η θερμομονωτική απόδοση ενός κουφώματος αλουμινίου εκφράζεται μέσω του συνολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U_w (W/m^2K), ο οποίος αποτυπώνει τη θερμική ροή που διέρχεται από το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα διαφοράς θερμοκρασίας. Όσο μικρότερη η τιμή U_w , τόσο καλύτερη η θερμομονωτική συμπεριφορά. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται σύμφωνα με το EN ISO 10077-1 (ISO, 2017) και βασίζεται στη συνδυαστική συμβολή τριών παραμέτρων:

$$U_w = (A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + L_g \cdot \Psi_g) / A_{tot}$$

όπου: A_f = επιφάνεια πλαισίου (m^2), A_g = επιφάνεια υαλοπίνακα (m^2), L_g = μήκος επαφής υάλωσης-πλαισίου (m), A_{tot} = συνολική επιφάνεια κουφώματος (m^2). Ο συντελεστής U_w δεν αποτελεί σταθερά ιδιότητα ενός συστήματος, αλλά εξαρτάται από τη γεωμετρία και τις διαστάσεις του συγκεκριμένου κουφώματος. Δύο κουφώματα της ίδιας σειράς ενδέχεται να παρουσιάζουν διαφορετικό U_w λόγω διαφορετικής αναλογίας A_g/A_f (ISO, 2017, σ. 18-22).

Στις επόμενες υποενότητες αναλύεται η φυσική σημασία και οι παράγοντες που επηρεάζουν κάθε μία από τις τρεις επιμέρους παραμέτρους.

(α) Συντελεστής θερμοπερατότητας πλαισίου (U_f)

Ο συντελεστής U_f (W/m^2K) εκφράζει την θερμική συμπεριφορά της διατομής του πλαισίου και αποτελεί το κύριο μέτρο θερμομονωτικής ικανότητας του προφίλ αλουμινίου. Η τιμή του προκύπτει από δισδιάστατη αριθμητική προσομοίωση (ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων) σύμφωνα με το EN ISO 10077-2, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία της διατομής, τις θερμικές αγωγιμότητες των υλικών και τις συνοριακές συνθήκες θερμοκρασίας.

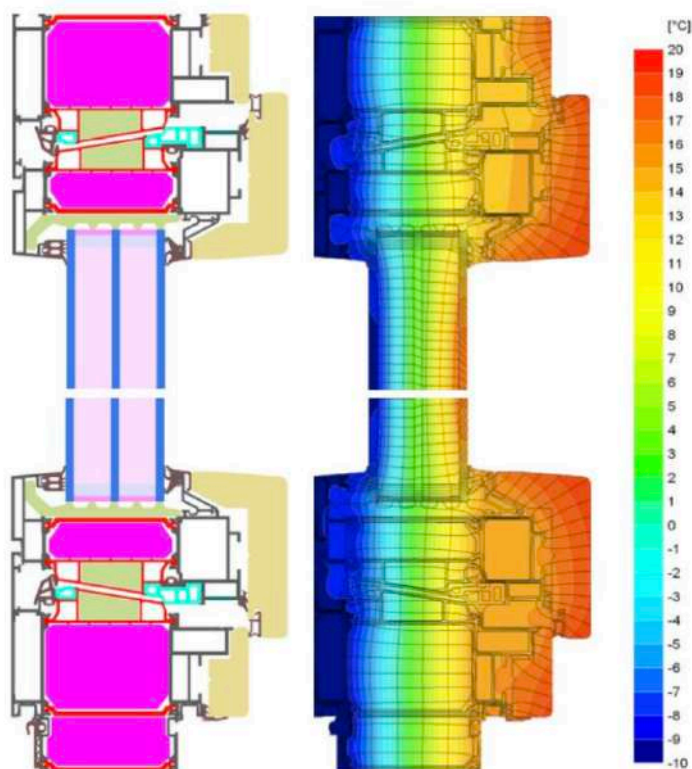
Ο U_f επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Γεωμετρία της διατομής: το πλάτος, το βάθος και η διάταξη των εσωτερικών θαλάμων αέρα επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση του προφίλ. Πολύπλοκες διατομές με πολλαπλούς εσωτερικούς θαλάμους παρουσιάζουν γενικά καλύτερη θερμική συμπεριφορά.
- Πάχος και υλικό θερμοδιακοπής: η θερμοδιακοπή από πολυαμίδιο PA66 GF25 ($\lambda \approx 0,30 W/mK$) αντικαθιστά τη συνεχή αλυσίδα αγωγής αλουμινίου ($\lambda \approx 160 W/mK$). Μεγαλύτερο πάχος θερμοδιακοπής οδηγεί σε χαμηλότερο U_f , με τιμές 32 mm να αποτελούν τυπική λύση και 40+ mm να χρησιμοποιούνται σε ενισχυμένα ενεργειακά συστήματα.
- Ύπαρξη εσωτερικών θαλάμων αέρα: οι κλειστοί θάλαμοι αέρα εντός του προφίλ λειτουργούν ως πρόσθετη θερμική αντίσταση, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση.
- Θερμική αγωγιμότητα τελικής επεξεργασίας: η ηλεκτροστατική βαφή και η ανοδίωση έχουν αμελητέα επίδραση στον U_f , σε αντίθεση με ειδικές θερμομονωτικές επικαλύψεις.

Πίνακας 2.3 — Ενδεικτικές τιμές U_f ανά τεχνολογική κατηγορία συστήματος

Τύπος συστήματος	U_f (W/m ² K)	Ενεργειακή αξιολόγηση
Μη θερμοδιακοπτόμενο	5,5 – 7,0	Πολύ χαμηλή
Βασική θερμοδιακοπή (~24 mm)	3,0 – 4,0	Μέτρια
Σύγχρονο θερμοδιακοπτόμενο (~32 mm)	1,8 – 2,5	Υψηλή
Ενισχυμένο ενεργειακό (~40+ mm)	1,2 – 1,8	Πολύ υψηλή

Πηγή: ISO (2017)· τεχνικές προδιαγραφές κατασκευαστών.



Σχήμα 2.8: Σχηματική απεικόνιση θερμικής ροής σε διατομή θερμοδιακοπτόμενου προφίλ αλουμινίου. Η παρεμβολή πολυαμιδίου περιορίζει τη θερμική αγωγή και μειώνει τη θερμική γέφυρα μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού τμήματος.

Η επίδραση της θερμοδιακοπής αποτυπώνεται στη διακοπή της συνεχούς αγωγίμης διαδρομής μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού τμήματος του προφίλ. Σε ανοίγματα μικρών διαστάσεων, όπου το ποσοστό επιφάνειας πλαισίου είναι αυξημένο, ο U_f αποκτά μεγαλύτερη σχετική βαρύτητα στη διαμόρφωση του τελικού U_w .

(β) Συντελεστής θερμοπερατότητας υαλοπίνακα (U_g)

Ο συντελεστής U_g (W/m^2K) εκφράζει τη θερμική συμπεριφορά της υάλωσης και υπολογίζεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 673 βάσει της ολικής θερμικής αντίστασης της διάταξης:

$$U_g = 1 / R_{tot}, \text{ όπου } R_{tot} = R_{si} + R_{\gamma\alpha\lambda\acute{\iota}} + R_{\delta\acute{\iota}\alpha\kappa\epsilon\nu\omicron} + R_{\gamma\alpha\lambda\acute{\iota}} + R_{se}$$

Η τιμή U_g επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Αριθμός υαλοπινάκων: η μετάβαση από μονό ($U_g \approx 5,8 W/m^2K$) σε διπλό ($U_g \approx 2,8 W/m^2K$) και τριπλό ($U_g \approx 0,7 W/m^2K$) σύστημα οδηγεί σε εκθετική βελτίωση, λόγω της προσθήκης εσωτερικών ακίνητων στρωμάτων αερίου.
- Επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής (Low-E): λεπτές μεταλλικές επιστρώσεις (κυρίως Ag ή SnO_2) μειώνουν σημαντικά την ανταλλαγή θερμικής ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών. Τοποθετούνται στην εσωτερική επιφάνεια του εξωτερικού υαλοπίνακα (θέση #2 σε διπλό) ή στις επιφάνειες #2 και #5 (σε τριπλό).
- Είδος αερίου πλήρωσης: ο αέρας ($\lambda = 0,025 W/mK$) αντικαθίσταται από αδρανή αέρια χαμηλότερης αγωγιμότητας: argon ($\lambda = 0,017 W/mK$, συνηθέστερο, συγκέντρωση 90%) ή krypton ($\lambda = 0,009 W/mK$, υψηλότερο κόστος, χρήση σε τριπλούς).
- Πάχος διακένου: υπάρχει βέλτιστο εύρος (12–16 mm για argon), πέραν του οποίου αναπτύσσονται ρεύματα συναγωγής που αντισταθμίζουν το όφελος. Μεγαλύτερο διάκενο δεν σημαίνει αναγκαστικά καλύτερη θερμομόνωση.

Πίνακας 2.4 — Ενδεικτικές τιμές U_g για βασικούς τύπους υαλοπινάκων

Τύπος υάλωσης	Σύνθεση	U_g (W/m ² K)
Μονός	6 mm γυαλί	5,5 – 6,0
Διπλός (αέρας)	4-12-4	2,7 – 3,0
Διπλός Low-E (argon 90%)	4-16-4 Low-E	1,0 – 1,4
Τριπλός Low-E (argon)	4-12-4-12-4 Low-E	0,5 – 0,8
Τριπλός Low-E (krypton)	4-10-4-10-4 Low-E	0,4 – 0,6

Πηγή: CEN (2011)· ISO (2017, σ. 28).

Σε συστήματα μεγάλων διαστάσεων minimal αρχιτεκτονικής, όπου η επιφάνεια υάλωσης υπερβαίνει κατά πολύ την επιφάνεια πλαισίου, ο U_g επηρεάζει καθοριστικά τον τελικό U_w . Για παράδειγμα, σε κούφωμα με αναλογία $A_g/A_{tot} = 0,90$, η αντικατάσταση υαλοπίνακα $U_g = 2,8$ W/m²K με $U_g = 1,1$ W/m²K μειώνει τον U_w κατά $\approx 1,5$ W/m²K, ενώ η βελτίωση U_f δεν θα επέφερε παρά μικρή επίδραση.

(γ) Γραμμικός συντελεστής θερμοπερατότητας (Ψ_g)

Ο γραμμικός συντελεστής Ψ_g (W/mK) εκφράζει τη θερμική γέφυρα που αναπτύσσεται κατά μήκος της ένωσης μεταξύ υαλοπίνακα και πλαισίου. Πρόκειται για φαινόμενο που προκύπτει από τη διακοπή της θερμικής αντίστασης του υαλοπίνακα στο σημείο επαφής του με τον αποστάτη (spacer) και το πλαίσιο. Υπολογίζεται

σύμφωνα με το EN ISO 10077-1 (ISO, 2017) ως η διαφορά μεταξύ της δισδιάστατης θερμικής ροής και του αθροίσματος των μονοδιάστατων συνεισφορών πλαισίου και υαλοπίνακα.

Ο τύπος αποστάτη αποτελεί τον κυρίαρχο παράγοντα που καθορίζει την τιμή Ψ_g :

- Αποστάτης αλουμινίου: υψηλή θερμική αγωγιμότητα ($\lambda \approx 160 \text{ W/mK}$) δημιουργεί έντονη γραμμική θερμική γέφυρα ($\Psi_g = 0,06\text{--}0,08 \text{ W/mK}$). Πρόκειται για τον παλαιότερο και οικονομικότερο τύπο, με αρνητικές συνέπειες στον U_w και κίνδυνο τοπικής επιφανειακής συμπύκνωσης στη γραμμή επαφής υαλοπίνακα-πλαισίου.
- Warm edge αποστάτες: κατασκευάζονται από πολυμερή υλικά ή σύνθετα (stainless steel + πολυμερές), με θερμική αγωγιμότητα $\lambda = 0,10\text{--}0,20 \text{ W/mK}$. Μειώνουν σημαντικά τον Ψ_g ($0,030\text{--}0,045 \text{ W/mK}$), βελτιώνοντας τον τελικό U_w και περιορίζοντας τον κίνδυνο συμπύκνωσης στην περιφέρεια του υαλοπίνακα.

Πίνακας 2.5 — Ενδεικτικές τιμές Ψ_g ανά τύπο αποστάτη

Τύπος αποστάτη	Υλικό	$\Psi_g \text{ (W/mK)}$	Παρατήρηση
Αλουμινίου	Al 6063	0,06 – 0,08	Σχηματίζει θερμική γέφυρα
Warm edge (TGI®)	Ανοξείδωτο + πολυμερές	0,033 – 0,040	Βέλτιστη πρακτική
Warm edge (Swisspacer®)	Πολυμερές σύνθετο	0,030 – 0,038	Υψηλή απόδοση
Foam spacer	PU αφρός	0,028 – 0,035	Εξαιρετική μόνωση

Πηγή: ISO (2017, σ. 35)· τεχνικές προδιαγραφές κατασκευαστών.

Η σημασία του Ψ_g αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος L_g της γραμμής επαφής υάλωσης-πλαισίου σε σχέση με τη συνολική επιφάνεια A_{tot} . Σε μικρά κουφώματα, ο Ψ_g μπορεί να συνεισφέρει έως 10–15% στον τελικό U_w , ενώ σε μεγάλες

μονολιθικές υαλώσεις minimal αρχιτεκτονικής η συνεισφορά του $L_g \cdot \Psi_g$ καθίσταται αμελητέα.

Ερμηνεία και κανονιστικές απαιτήσεις

Η τελική τιμή U_w εξαρτάται από τη γεωμετρία του κουφώματος, γεγονός που σημαίνει ότι πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε άνοιγμα και όχι να λαμβάνεται γενικευμένα / αυθαίρετα από τον κατάλογο του κατασκευαστή. Ο Πίνακας 2.6 παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές U_w για τυπικά κουφώματα θερμοδιακοπόμενου συστήματος με διάφορες υαλώσεις.

Πίνακας 2.6 — Ενδεικτικές τιμές U_w για θερμοδιακοπόμενο σύστημα ($U_f \approx 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, Ψ_g warm edge, τυπική αναλογία $A_g/A_{tot} \approx 0,70$)

Τύπος υαλοπίνακα	$U_g \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$U_w \text{ (W/m}^2\text{K)}$	Συμμόρφωση KENAK Ζώνη B
Διπλός (αέρας)	2,8	$\approx 2,5$	Οριακή / Όχι
Διπλός Low-E (argon)	1,1	$\approx 1,5$	Ναι
Τριπλός Low-E (argon)	0,7	$\approx 1,2$	Ναι (με άνεση)

Πηγή: ISO (2017)· ΥΠΕΝ (2017).

Η συμμόρφωση με τον KENAK (ΥΠΕΝ, 2017) απαιτεί επιλογή συστημάτων με κατάλληλη τιμή U_w ανάλογα με την κλιματική ζώνη και τη χρήση του κτιρίου. Η τεκμηρίωση της τιμής U_w αποτελεί υποχρεωτικό στοιχείο της Δήλωσης Επιδόσεων (DoP) κατά EN 14351-1 (CEN, 2016), εξασφαλίζοντας τη δυνατότητα αντικειμενικής σύγκρισης διαφορετικών συστημάτων.

2.3.2 Ηχομονωτική ικανότητα — Δείκτης R_w

Η ηχομονωτική ικανότητα εκφράζει την ικανότητα του κουφώματος να μειώνει τη μεταφορά αερόφερτου θορύβου μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου. Ο βασικός δείκτης αξιολόγησης είναι ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης R_w (dB), που

ορίζεται ως η διαφορά στάθμης ηχητικής πίεσης μεταξύ χώρου πηγής (L_1) και χώρου λήψης (L_2), διορθωμένη ως προς την ισοδύναμη απορρόφηση (ISO, 2013, σ. 7):

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(S / A) \text{ [dB]}$$

όπου S η επιφάνεια του διαχωριστικού στοιχείου (m^2) και A η ισοδύναμη απορρόφηση (m^2). Η στάθμιση κατά EN ISO 717-1 (ISO, 2013, σ. 9-12) μετατρέπει την καμπύλη $R(f)$ σε αντιπροσωπευτική τιμή R_w μέσω σύγκρισης με τυποποιημένη αναφορική καμπύλη. Η εργαστηριακή μέτρηση πραγματοποιείται κατά EN ISO 10140-2 (ISO, 2010).

Διορθωτικοί όροι C και C_{tr}

Ο R_w συνοδεύεται από δύο διορθωτικούς όρους που προβλέπει το EN ISO 717-1 (ISO, 2013, σ. 10-17):

- C (dB): διόρθωση για θόρυβο μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων — αεροπλάνα, ανεμιστήρες, μουσική. Υπολογίζεται ως $C = -10 \cdot \log \Sigma 10^{(0,1 \cdot R_{w,i})} - R_w$ για συχνότητες 100–3.150 Hz (ISO, 2013, σ. 11).
- C_{tr} (dB): διόρθωση για χαμηλόσυχο κυκλοφοριακό θόρυβο — αυτοκίνητα, τρένα, θαλάσσιος θόρυβος. Η τιμή C_{tr} είναι πάντα αρνητική και κρίσιμη σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα (ISO, 2013, σ. 13).

Η πλήρης δήλωση έχει τη μορφή R_w (C ; C_{tr}), π.χ. 38 (–1; –5) dB. Ο αποτελεσματικός δείκτης έναντι χαμηλόσυχου θορύβου είναι $R_w + C_{tr}$ (ISO, 2013, σ. 15).

Νόμος μάζας και παράγοντες που επηρεάζουν τον R_w

Η θεμελιώδης αρχή ηχομόνωσης ομογενών στοιχείων εκφράζεται από τον νόμο μάζας (Gould & Joyce, 2008, σ. 189):

$$R_w \approx 20 \cdot \log(m \cdot f) - 47 \text{ [dB]}$$

όπου m η επιφανειακή μάζα (kg/m^2) και f η συχνότητα (Hz). Ο διπλασιασμός της μάζας αυξάνει τον R_w κατά 6 dB. Η πρακτική συμπεριφορά επηρεάζεται επιπλέον από (ISO, 2013, σ. 18-20):

- Κρίσιμη συχνότητα (coincidence dip): κάθε υαλοπίνακας παρουσιάζει συχνότητα f_c όπου ο R_w ελαχιστοποιείται λόγω σύμπτωσης κυματαριθμού ήχου και κάμψης. Για 6 mm $f_c \approx 2.000$ Hz, για 12 mm $f_c \approx 1.000$ Hz. Ασύμμετρες

διατάξεις (π.χ. 6-12-8) διαχωρίζουν τα coincidence dip βελτιώνοντας τον R_w (ISO, 2013, σ. 19).

- Πάχος αεροδιακένου: μεγαλύτερο διάκενο βελτιώνει τον R_w στις χαμηλές συχνότητες λόγω αποσύνδεσης των φύλλων (Gould & Joyce, 2008, σ. 191).
- Laminated υαλοπίνακες (PVB): η μεμβράνη PVB δρα ως αποσβεστήρας ταλαντώσεων, βελτιώνοντας τον R_w κατά 2–5 dB και ομαλοποιώντας το coincidence dip (CEN, 2011, σ. 8).
- Αεροστεγανότητα: μια μοναδική μικρορωγμή μπορεί να μειώσει τον R_w κατά 10–15 dB, ακυρώνοντας κάθε βελτίωση της υάλωσης (ISO, 2013, σ. 20).

Πίνακας 2.7 — Ενδεικτικές τιμές R_w για βασικούς τύπους υαλοπινάκων

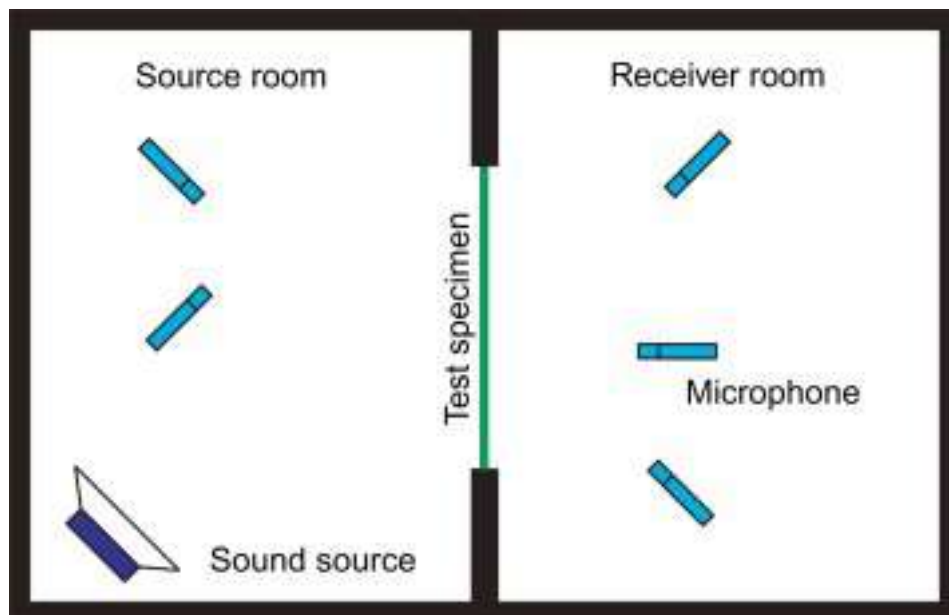
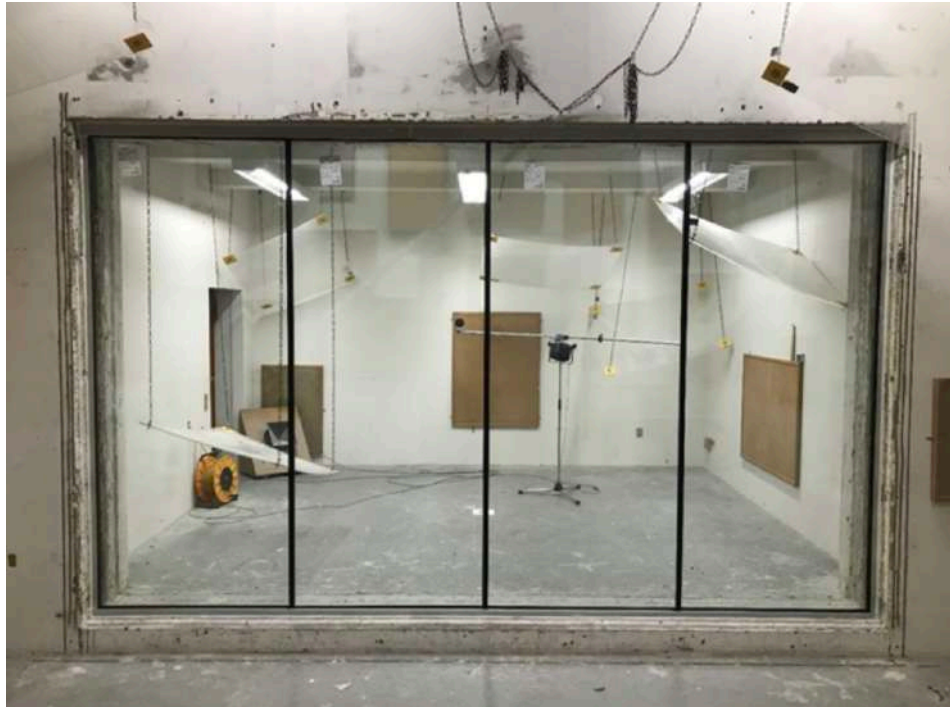
Τύπος υάλωσης	Σύνθεση	R_w (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Μονός	6 mm	28 – 30	23 – 25
Διπλός συμμετρικός	4-12-4	30 – 32	24 – 26
Διπλός ασύμμετρος	6-12-4	33 – 35	27 – 29
Laminated ασύμμετρος	44.2-16-6	37 – 40	31 – 34
Τριπλός ηχομονωτικός	66.2-16-44.2	42 – 46	36 – 40

Πηγή: ISO (2013)· CEN (2011)· τεχνικές προδιαγραφές κατασκευαστών.

Σε παραθαλάσσιες εγκαταστάσεις με κυρίαρχο χαμηλόσυχο θόρυβο, ο χρήσιμος δείκτης είναι $R_w + C_{tr}$ και όχι ο R_w μόνος (ISO, 2013, σ. 15).

Εργαστηριακή δοκιμή ηχομόνωσης

Η μέτρηση της ηχομονωτικής απόδοσης πραγματοποιείται σε ειδικό εργαστήριο δύο θαλάμων, όπου το δοκίμιο τοποθετείται σε διαχωριστικό τοίχωμα και καταγράφεται η διαφορά στάθμης ηχητικής πίεσης μεταξύ των χώρων.



Σχήμα 2.9: Διάταξη εργαστηριακής δοκιμής ηχομόνωσης κουφώματος σύμφωνα με EN ISO 10140. Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ θαλάμου πηγής και θαλάμου λήψης για τη μέτρηση της ηχομείωσης

2.3.3 Αντοχή σε ανεμοπίεση — EN 12210

Η αντοχή σε ανεμοπίεση εκφράζει την ικανότητα του κουφώματος να παραλαμβάνει δυναμικά φορτία ανέμου χωρίς δομική αστοχία ή υπερβολική παραμόρφωση. Η αεροδυναμική πίεση υπολογίζεται από την εξίσωση Bernoulli (CEN, 2016, σ. 22):

$$q_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \text{ [Pa]}$$

όπου $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ η πυκνότητα αέρα και V η χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου (m/s). Ο τετραγωνικός εκθέτης σημαίνει ότι αύξηση ταχύτητας κατά 40% διπλασιάζει την πίεση: $V = 28 \text{ m/s} \rightarrow q_w \approx 490 \text{ Pa}$, $V = 40 \text{ m/s} \rightarrow q_w \approx 1.000 \text{ Pa}$ (CEN, 2016, σ. 22). Για τον υπολογισμό της πίεσης σχεδιασμού χρησιμοποιείται EN 1991-1-4 (Ευρωκώδικας 1), λαμβάνοντας υπόψη τοπογραφικούς συντελεστές, ύψος κτιρίου και κατηγορία εδάφους.

Δοκιμή κατά EN 12211

Η εργαστηριακή δοκιμή κατά EN 12211 (CEN, 2016, σ. 23) εφαρμόζει εναλλασσόμενες παλμικές πιέσεις (50 παλμοί ανά επίπεδο) σε σταθερά αυξανόμενα επίπεδα, ελέγχοντας:

- Μόνιμη παραμόρφωση (residual deflection): μετράται μετά αποφόρτιση. Αποδεκτή τιμή $\leq 1/1.000$ του ελεύθερου ανοίγματος (CEN, 2016, σ. 25).
- Μέγιστη ελαστική παραμόρφωση: μετράται κατά φόρτιση στα κρίσιμα σημεία φύλλου και πλαισίου. Το επιτρεπόμενο όριο εξαρτάται από την κλάση παραμόρφωσης (CEN, 2016, σ. 26).
- Λειτουργικότητα μετά δοκιμή: το κούφωμα πρέπει να ανοίγει και να κλείνει ομαλά χωρίς παραμένονσα δυσλειτουργία (CEN, 2016, σ. 24).

Κατηγορίες και κλάσεις παραμόρφωσης

Η ταξινόμηση κατά EN 12210 (CEN, 2016, σ. 24-26) συνδυάζει κατηγορία πίεσης (1–5) και κλάση παραμόρφωσης (A, B, C):

- Κλάση A: $f/L \leq 1/150$ — γενική χρήση, τυπικά ανοιγόμενα και συρόμενα (CEN, 2016, σ. 26).
- Κλάση B: $f/L \leq 1/200$ — αυξημένες απαιτήσεις ακαμψίας (CEN, 2016, σ. 26).

- Κλάση C: $f/L \leq 1/300$ — minimal συστήματα μεγάλων ανοιγμάτων, υψηλή αισθητική απαίτηση (CEN, 2016, σ. 26).

Πίνακας 2.8 — Κατηγορίες αντοχής σε ανεμοπίεση κατά EN 12210

Κατηγορία	Πίεση δοκιμής (Pa)	Ισοδύναμη V (m/s)	Τυπικό πεδίο εφαρμογής
1	400	≈ 25	Προφυλαγμένες θέσεις εντός πόλης
2	800	≈ 36	Αστικές περιοχές
3	1.200	≈ 44	Ημικτεθειμένες θέσεις
4	1.600	≈ 51	Εκτεθειμένες / παραθαλάσσιες
5	2.000	≈ 57	Ειδικές / ακραία εκτεθειμένες

Πηγή: CEN (2016, σ. 24).

Πίνακας 2.9 — Όρια παραμόρφωσης ανά κλάση κατά EN 12210

Κλάση	Επιτρεπόμενη βύθιση f	Τυπική εφαρμογή
A	$f \leq L/150$	Συμβατικά συστήματα
B	$f \leq L/200$	Αυξημένες απαιτήσεις
C	$f \leq L/300$	Minimal — μεγάλα ανοίγματα

Πηγή: CEN (2016, σ. 26).

Σε παραθαλάσσιες εγκαταστάσεις όπως αυτή του εξεταζόμενου έργου, συνιστάται ελάχιστη κατηγορία 4 και κλάση C για ανοίγματα μεγάλων διαστάσεων (Gould & Joyce, 2008, σ. 205).



Σχήμα 2.10: Εργαστηριακή δοκιμή αντοχής σε ανεμοπίεση σύμφωνα με EN 12211. Το κούφωμα υποβάλλεται σε ελεγχόμενη διαφορική πίεση.

2.3.4 Αεροπερατότητα — EN 12207

Η αεροπερατότητα εκφράζει την ανεξέλεγκτη διείσδυση αέρα μέσω αρμών και κινούμενων επαφών υπό διαφορική πίεση ΔP . Αποτελεί βασική παράμετρο ενεργειακής απόδοσης και ηχομόνωσης (CEN, 2016, σ. 12).

Νόμος δύναμης — σχέση παροχής/πίεσης

Η παροχή αέρα qL ($m^3/h \cdot m$) ανά μήκος αρμού συνδέεται με τη ΔP (Pa) μέσω του νόμου δύναμης που περιγράφεται στο EN 12207 (CEN, 2016, σ. 12):

$$qL = k \cdot \Delta P^n \quad [m^3/h \cdot m]$$

όπου k ο συντελεστής αεροπερατότητας και n ο εκθέτης ροής ($0,5 < n < 1,0$). Για τυπικούς αρμούς $n \approx 0,65$ (CEN, 2016, σ. 13). Η δοκιμή πραγματοποιείται κατά EN 1026 με σημείο αναφοράς $\Delta P = 100$ Pa.

Επίδραση στην ενεργειακή απόδοση και ηχομόνωση

- Θερμικές απώλειες: η ανεξέλεγκτη ροή αέρα μεταφέρει θερμότητα μέσω μάζας, μειώνοντας την πραγματική θερμομονωτική απόδοση. Για κλάση 4 η συνεισφορά είναι αμελητέα, για κλάση 1 μπορεί να είναι σημαντική (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 40).
- Ηχομόνωση: μικρά ανοίγματα αρμών λειτουργούν ως ακουστικές διαρροές. Η μείωση R_w κατά 5–15 dB λόγω μη στεγανού αρμού είναι τεκμηριωμένη (ISO, 2013, σ. 20). Κουφώματα υψηλής ηχομονωτικής απαίτησης πρέπει παράλληλα να πληρούν κλάση 4 αεροπερατότητας (CEN, 2016, σ. 15).

Παράγοντες που επηρεάζουν την αεροπερατότητα

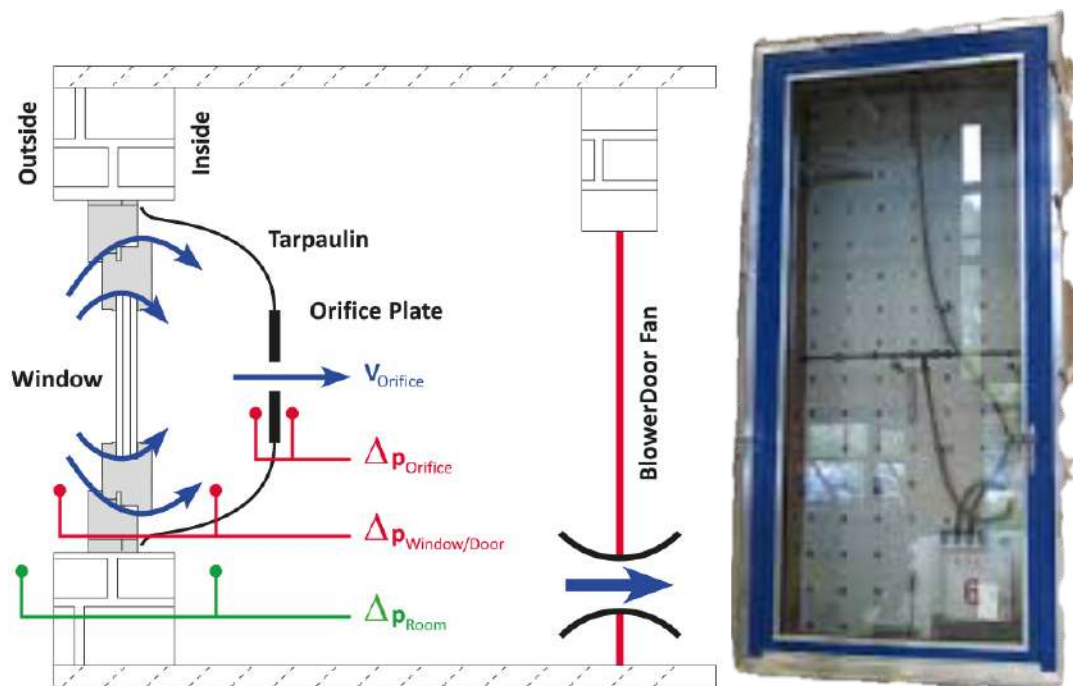
- Τύπος συστήματος: ανοιγόμενα με περιμετρική σύσφιξη επιτυγχάνουν κλάση 4. Συρόμενα χωρίς ανύψωση περιορίζονται στις κλάσεις 1–2. Lift & slide βελτιώνουν ουσιαστικά την κλάση (CEN, 2016, σ. 14).
- Ποιότητα παρεμβυσμάτων: τα EPDM παρέχουν καλύτερη ελαστικότητα και αντοχή σε γήρανση σε σχέση με PVC (Gould & Joyce, 2008, σ. 197).
- Γεωμετρία αρμού: βαθύτερες αυλακώσεις και πολλαπλές γραμμές στεγάνωσης μειώνουν σημαντικά την αεροπερατότητα (CEN, 2016, σ. 14).

Πίνακας 2.10 — Κλάσεις αεροπερατότητας κατά EN 12207

Κλάση	qL σε 100 Pa ($m^3/h \cdot m$)	qA σε 100 Pa ($m^3/h \cdot m^2$)	Τυπικό σύστημα
0	Μη δοκιμασμένο	Μη δοκιμασμένο	Απλά / παλαιά κουφώματα

Κλάση	qL σε 100 Pa ($m^3/h \cdot m$)	qA σε 100 Pa ($m^3/h \cdot m^2$)	Τυπικό σύστημα
1	≤ 50	≤ 150	Βασικά συρόμενα
2	≤ 27	≤ 90	Βελτιωμένα συρόμενα
3	≤ 9	≤ 30	Lift & slide, ανοιγόμενα
4	≤ 3	≤ 10	Ανοιγόμενα υψηλής απόδοσης

Πηγή: CEN (2016, σ. 15-16).



Σχήμα 2.11: Δοκιμή αεροπερατότητας κουφώματος σύμφωνα με EN 1026. Καταγράφεται η παροχή αέρα $\dot{V}$ σε διαδοχικά επίπεδα διαφορικής πίεσης ΔP .

2.3.5 Υδατοστεγανότητα — EN 12208

Η υδατοστεγανότητα εκφράζει την ικανότητα αποτροπής διείσδυσης νερού υπό ταυτόχρονη δράση βροχόπτωσης και ανεμοπίεσης. Δεν ταυτίζεται με τη στατική στεγανότητα, αλλά αντιστοιχεί στη δυναμική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια καταιγίδας (CEN, 1999, σ. 4).

Δοκιμή κατά EN 1027

Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με EN 1027 (CEN, 2016, σ. 17) εφαρμόζοντας ταυτόχρονα:

- Ψεκασμό νερού: παροχή $2 \text{ L/min} \cdot \text{m}^2$ ομοιόμορφα κατανεμημένη, ισοδύναμη βροχόπτωσης $\sim 120 \text{ mm/h}$ (CEN, 1999, σ. 5).
- Διαφορική στατική πίεση ΔP : ασκείται εσωτερικά και αυξάνεται σταδιακά κατά βήματα, με χρόνο παραμονής 15 min ανά επίπεδο, έως εμφάνιση διείσδυσης (CEN, 1999, σ. 6).

Η διείσδυση ορίζεται ως εμφάνιση νερού στην εσωτερική επιφάνεια ή στον αέριο χώρο σε διαφορετικά από τα εγκεκριμένα σημεία αποστράγγισης (CEN, 1999, σ. 7).

Μηχανισμοί αποστράγγισης

Τα κουφώματα αλουμινίου σχεδιάζονται με συστήματα αποστράγγισης που απομακρύνουν το εισερχόμενο νερό χωρίς διείσδυση (Gould & Joyce, 2008, σ. 199):

- Θάλαμοι αποστράγγισης (drain chambers): εσωτερικές κοιλότητες κατωφλιού που απομακρύνουν νερό μέσω οπών εκτόνωσης (CEN, 1999, σ. 8).
- Νεροσταλάκτες (water deflectors): εξωτερικά τμήματα κατωφλιού με κλίση $\geq 5\%$ προς τα έξω (CEN, 1999, σ. 9).
- Σύστημα ισορρόπησης πίεσης (pressure equalization): οπές εξαερισμού ισορροπούν την πίεση μεταξύ εξωτερικού και θαλάμου αποστράγγισης, εξουδετερώνοντας τη διαφορά που ωθεί το νερό (Gould & Joyce, 2008, σ. 200).

Παράγοντες που επηρεάζουν την υδατοστεγανότητα

- Ποιότητα παρεμβυσμάτων: τα EPDM παρεμβύσματα αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας. Γήρανση ή ανομοιόμορφη συμπίεση αλλοιώνει ουσιαστικά την απόδοση (CEN, 1999, σ. 10).

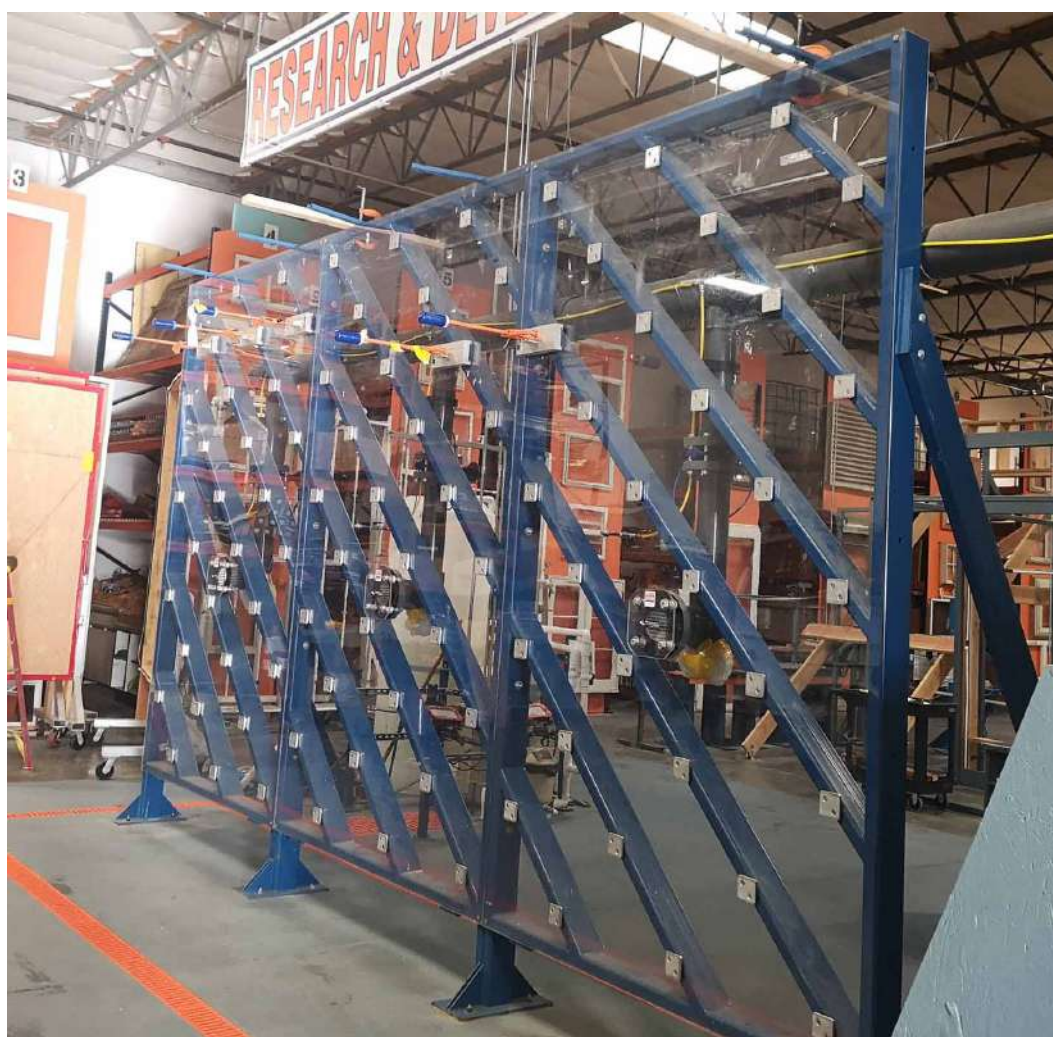
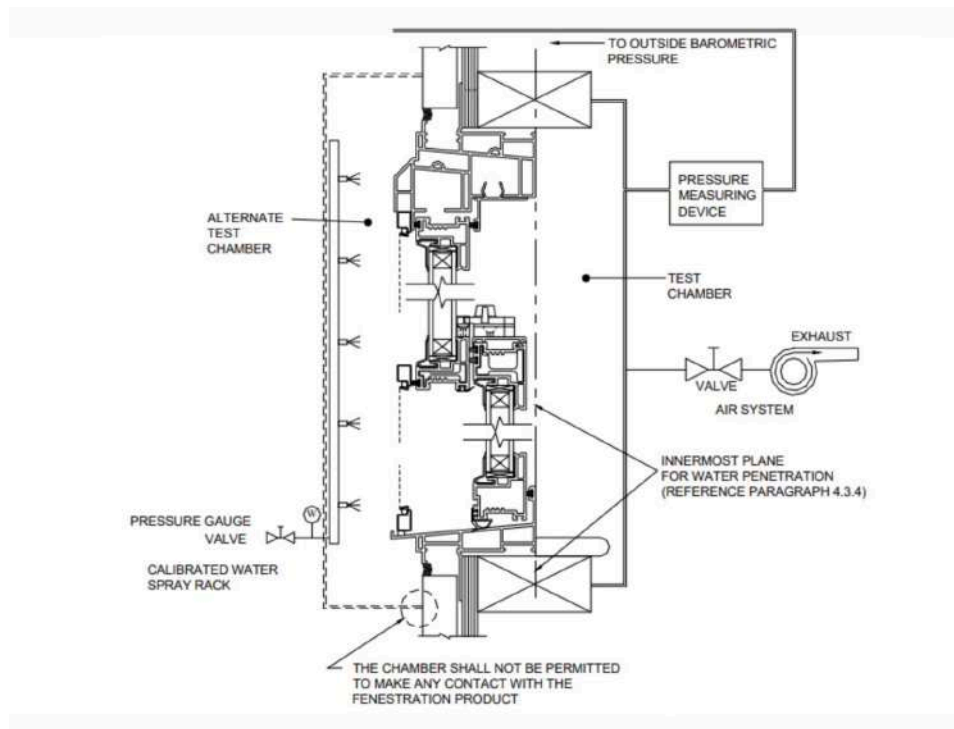
- Γεωμετρία κατωφλιού: επαρκές βάθος θαλάμου αποστράγγισης και ανεμπόδιστες οπές εκτόνωσης (CEN, 1999, σ. 8).
- Τοποθέτηση: κλίση, ταινίες στεγάνωσης στο σύνδεσμο κουφώματος-τοίχου και αποφυγή θερμαινόμενων συνδέσεων επηρεάζουν άμεσα την απόδοση (Gould & Joyce, 2008, σ. 201).
- Μέγεθος κουφώματος: minimal χωρίς κατώφλι παρουσιάζουν αυξημένη πρόκληση. Η δήλωση NPD στη DoP για υδατοστεγανότητα είναι συνηθισμένη σε minimal μεγάλων διαστάσεων (CEN, 2016, σ. 12).

Πίνακας 2.11 — Κλάσεις υδατοστεγανότητας κατά EN 12208

Κλάση	Μέγιστη ΔΡ (Pa)	Χρόνος δοκιμής (min)	Τυπική εφαρμογή
1A	0	15	Εσωτερικά / προφυλαγμένα
2A	50	15	Ελαφρά εκτεθειμένες θέσεις
4A	100	15	Αστικές περιοχές
6A	200	15	Μέτρια εκτεθειμένες
7A	300	15	Εκτεθειμένες θέσεις
8A	450	15	Ισχυρά εκτεθειμένες
9A	600	15	Ακραία εκτεθειμένες
Exxx (π.χ. E900)	> 600	15	Παραθαλάσσιες / ειδικές

Πηγή: CEN (1999, σ. 5-8).

Για παραθαλάσσια κτίρια εκτεθειμένα σε ισχυρούς ανέμους, η επιλογή κλάσης $\geq 7A$ ή E300+ κρίνεται απαραίτητη (Gould & Joyce, 2008, σ. 202). Στο εξεταζόμενο έργο επιλέχθηκε κλάση αντίστοιχη με τις αυξημένες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.



Σχήμα 2.12: Εργαστηριακή δοκιμή υδατοστεγανότητας σύμφωνα με EN 1027. Το κούφωμα ψεκάζεται με νερό ενώ εφαρμόζεται διαφορική πίεση ΔΡ.

2.3.6 Αντιδιαρρηκτική προστασία — EN 1627

Η αντιδιαρρηκτική αντίσταση αξιολογεί την ικανότητα αντίστασης σε απόπειρα παραβίασης για καθορισμένο χρόνο και με καθορισμένα εργαλεία. Η ταξινόμηση κατά EN 1627 (CEN, 2011, σ. 5) ορίζει έξι κλάσεις (RC1–RC6), βαθμιαία αυξανόμενης δυσκολίας παραβίασης.

Δοκιμές κατά EN 1627

Κάθε κλάση RC αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες δοκιμές (CEN, 2011, σ. 10-14):

- Στατική φόρτιση: εφαρμογή δύναμης (kN) στα κρίσιμα σημεία — κλειδαριές, μεντεσέδες, επαφές (CEN, 2011, σ. 10).
- Δυναμική κρούση: σφαίρα από καθορισμένο ύψος εκτελεί κρούση στο στοιχείο (CEN, 2011, σ. 11).
- Χειρωνακτική παραβίαση (manipulation test): εξειδικευμένος δοκιμαστής επιχειρεί παραβίαση εντός καθορισμένου χρόνου (CEN, 2011, σ. 12).

Πίνακας 2.12 — Κλάσεις αντιδιαρρηκτικής αντίστασης κατά EN 1627

Κλάση	Χρόνος αντίστασης	Εργαλεία παραβίασης	Τυπική εφαρμογή
RC1	< 3 min	Σωματική δύναμη	Ελάχιστη προστασία
RC2	≥ 3 min	Κατσαβίδι, ξεσφηνωτήρας	Κατοικίες — βασική
RC3	≥ 5 min	Μοχλός 2ης κατηγορίας	Κατοικίες — αυξημένη
RC4	≥ 10 min	Ισχυρά εργαλεία	Εμπορικά / τράπεζες
RC5	≥ 15 min	Ηλεκτρικά εργαλεία	Ειδικές εγκαταστάσεις
RC6	≥ 20 min	Υψηλής ισχύος εργαλεία	Οχυρωμένα κτίρια

Πηγή: CEN (2011, σ. 10-14).

Η επίτευξη υψηλής κλάσης RC απαιτεί συνδυασμό: πολυσημιακά κλειδώματα με ακίδες ανά 600 mm, ενισχυμένα προφίλ πλαισίου, laminated υαλοπίνακες κατά EN 356 (CEN, 2000, κατηγορίες P1A–P8B) και αντιδιαρρηκτικούς μεντεσέδες (CEN, 2011, σ. 15). Στα minimal συστήματα, όπου το προφίλ είναι λεπτό, η επίτευξη RC3 απαιτεί ειδική μελέτη ενίσχυσης (Gould & Joyce, 2008, σ. 210).



Σχήμα 2.13: Δοκιμή αντιδιαρρηκτικής προστασίας κουφώματος σύμφωνα με EN 1627

2.3.7 Επιφανειακές επεξεργασίες αλουμινίου και προστασία από διάβρωση

Οι επιφανειακές επεξεργασίες των προφίλ αλουμινίου καθορίζουν τη μακροχρόνια αντοχή, την αισθητική ποιότητα και τη συμπεριφορά των κουφωμάτων σε διαβρωτικά περιβάλλοντα. Η επιλογή της κατάλληλης επεξεργασίας εξαρτάται από (CEN, 2016, σ. 30):

- το περιβάλλον εγκατάστασης και την έκθεση σε διαβρωτικούς παράγοντες,
- τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις αισθητικής,
- τις απαιτήσεις αντοχής και μακροχρόνιας συντήρησης του έργου.

Σε παραθαλάσσιες ή έντονα βιομηχανικές περιοχές, η αυξημένη αλατότητα και υγρασία επιταχύνουν σημαντικά τα φαινόμενα οξείδωσης, καθιστώντας την επιλογή κατάλληλης επεξεργασίας ιδιαίτερα κρίσιμη (Gould & Joyce, 2008, σ. 145). Οι τρεις κύριες κατηγορίες επεξεργασίας — ηλεκτροστατική βαφή, ανοδίωση και προανοδίωση — αναλύονται στις επόμενες υποενότητες.

2.3.7.1 Ηλεκτροστατική βαφή

Η ηλεκτροστατική βαφή αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο επιφανειακής επεξεργασίας προφίλ αλουμινίου (Gould & Joyce, 2008, σ. 146). Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια (CEN, 2016, σ. 31):

- **Χημική προεπεξεργασία:** αποφωσφάτωση, αλκαλική αποτελείωση και εφαρμογή χρωματικού ή ζirkονιακού προεπεξεργαστή για βελτίωση πρόσφυσης και αντιδιαβρωτικής βάσης.
- **Εφαρμογή πούδρας βαφής:** ηλεκτροστατική φόρτιση σωματιδίων πούδρας polyester ή PVDF που προσελκύονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του προφίλ.
- **Πολυμερισμός σε φούρνο:** ανάπτυξη θερμοκρασίας 180–200°C για 10–20 min, ώστε η πούδρα να τήξει και να σχηματίσει συνεχές ομοιόμορφο στρώμα (Gould & Joyce, 2008, σ. 146).

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση της ηλεκτροστατικής βαφής είναι:

- **Πάχος επίστρωσης:** τυπικά 60–80 μm , μετρούμενο σύμφωνα με Qualicoat (CEN, 2016, σ. 31).
- **Αντοχή σε UV ακτινοβολία:** βαφές PVDF παρουσιάζουν ανώτερη σταθερότητα χρώματος σε σχέση με standard polyester (Gould & Joyce, 2008, σ. 147).
- **Αντοχή σε κρούση:** ελάχιστη 80 $\text{kg}\cdot\text{cm}$ κατά Qualicoat.
- **Γκάμα χρωμάτων:** πλήρης κωδικοποίηση RAL, ειδικά ral, NCS και custom αποχρώσεις για minimal εφαρμογές (CEN, 2016, σ. 32).

Πιστοποίηση — Qualicoat

Η ποιότητα της ηλεκτροστατικής βαφής πιστοποιείται κατά Qualicoat, το οποίο καθορίζει (CEN, 2016, σ. 32):

- Class 1: standard εφαρμογές, δοκιμή αλατονέφους 500 h.
- Class 2: ενισχυμένη απόδοση, δοκιμή αλατονέφους 1.000 h.
- Class 3 (Seaside): παραθαλάσσιες εφαρμογές, δοκιμή αλατονέφους 2.000 h.

Σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα η χρήση κατηγορίας κατώτερης των Class 2 ή 3 ενέχει σοβαρό κίνδυνο πρόωρης υποστρωματικής οξείδωσης και απολέπισης (Gould & Joyce, 2008, σ. 148).



Σχήμα 2.14: Ενδεικτικές επιφάνειες προφίλ αλουμινίου με ηλεκτροστατική βαφή.

2.3.7.2 Ανοδίωση

Η ανοδίωση αποτελεί ηλεκτροχημική διαδικασία κατά την οποία δημιουργείται ελεγχόμενο στρώμα οξειδίου αλουμινίου (Al_2O_3) απευθείας στην επιφάνεια του μετάλλου μέσω ηλεκτρόλυσης σε διάλυμα θεικού οξέος (Gould & Joyce, 2008, σ. 150). Σε αντίθεση με την ηλεκτροστατική βαφή, η ανοδίωση δεν εφαρμόζει εξωτερική επικάλυψη αλλά μετατρέπει την ίδια την επιφάνεια του αλουμινίου, αποτελώντας αδιαχώριστο τμήμα του μετάλλου (CEN, 2016, σ. 33).

Κατηγορίες πάχους — QUALANOD

Το πρότυπο QUALANOD ταξινομεί τα ανοδιωμένα στρώματα ανάλογα με το πάχος (Gould & Joyce, 2008, σ. 151):

Πίνακας 2.13 — Κατηγορίες πάχους QUALANOD

Κατηγορία	Πάχος στρώματος	Πεδίο εφαρμογής
AA5	$\geq 5 \mu\text{m}$	Εσωτερικές εφαρμογές
AA10	$\geq 10 \mu\text{m}$	Ημι-εκτεθειμένες θέσεις

Κατηγορία	Πάχος στρώματος	Πεδίο εφαρμογής
AA15	$\geq 15 \mu\text{m}$	Εξωτερικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές
AA20	$\geq 20 \mu\text{m}$	Εκτεθειμένα περιβάλλοντα
AA25	$\geq 25 \mu\text{m}$	Αυξημένης αντοχής εφαρμογές

Πηγή: Gould & Joyce (2008, σ. 151)· CEN (2016, σ. 33).

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της ανοδίσωσης:

- **Σκληρότητα επιφάνειας:** σημαντικά ανώτερη από τη βαφή, λόγω φύσεως του Al_2O_3 (Gould & Joyce, 2008, σ. 151).
- **Αντοχή σε UV:** εξαιρετική — δεν παρατηρείται αλλαγή αποχρώσεως με τον χρόνο (CEN, 2016, σ. 33).
- **Αντοχή σε φθορά:** ιδιαίτερα υψηλή λόγω δομής οξειδίου, κατάλληλη για επιφάνειες υψηλής επαφής (Gould & Joyce, 2008, σ. 152).
- **Αισθητική:** χαρακτηριστική μεταλλική εμφάνιση — ευρέως χρησιμοποιούμενη σε minimal εφαρμογές (CEN, 2016, σ. 33).
- **Χρωματισμός:** δυνατότητα χρωματισμού με εμβάπτιση ή ηλεκτρολυτικές μεθόδους πριν τη σφράγιση (Gould & Joyce, 2008, σ. 152).



Σχήμα 2.15: Ενδεικτικές επιφάνειες ανοδιωμένου προφίλ αλουμινίου.

2.3.7.3 Προανοδίωση και παραθαλάσσιες εφαρμογές

Η προανοδίωση αποτελεί συνδυαστική διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζεται λεπτό ανοδιωμένο στρώμα (5–8 μm) στην επιφάνεια του αλουμινίου πριν από την ηλεκτροστατική βαφή (CEN, 2016, σ. 35). Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε περιβάλλοντα αυξημένης διαβρωτικής καταπόνησης και επιτυγχάνει τριπλό στόχο:

- Βελτίωση πρόσφυσης της βαφής στο μέταλλο μέσω αυξημένης διαμόρφωσης της επιφάνειας (Gould & Joyce, 2008, σ. 153).
- Ενίσχυση αντιδιαβρωτικής προστασίας της βάσης, ακόμα και σε σημεία φθοράς ή κοπής της βαφής (CEN, 2016, σ. 35).
- Αύξηση αντοχής σε υποστρωματική οξείδωση υπό συνθήκες αλατότητας και υγρασίας (Gould & Joyce, 2008, σ. 153).

Πιστοποίηση παραθαλάσσιων εφαρμογών — Qualicoat Seaside Class 3

Το πρότυπο Qualicoat Seaside (Class 3) καθορίζει εκτεταμένες δοκιμές αντοχής ειδικά για παραθαλάσσιες εφαρμογές (CEN, 2016, σ. 36):

- Δοκιμή αλατονέφους (salt spray test): **2.000 h** χωρίς εμφάνιση υποστρωματικής διάβρωσης.
- Δοκιμή ρητινοποίησης (filiform corrosion): ελάχιστη αντοχή σε ινώδη διάβρωση.
- Δοκιμή υγρασίας συμπίκνωσης: 1.000 h χωρίς φουσκάλες ή απολέπιση.

Πηγή: CEN (2016, σ. 35-36).

Η χρήση προανοδίωσης με βαφή Class 3 θεωρείται βέλτιστη πρακτική για παραθαλάσσια κτίρια, ξενοδοχεία και resort εγκαταστάσεις (Gould & Joyce, 2008, σ. 153). Στο υπό μελέτη έργο, λόγω της παραθαλάσσιας θέσης και της άμεσης έκθεσης σε θαλάσσιο αέρα, η επιλογή συστήματος βαφής με πιστοποίηση Qualicoat Class 3 αποτέλεσε βασικό κριτήριο επιλογής, εξασφαλίζοντας τη μακροχρόνια διατήρηση αισθητικής ποιότητας και τη μείωση κόστους συντήρησης.

2.4 Υαλοπίνακες και τεχνικά χαρακτηριστικά

Οι υαλοπίνακες αποτελούν το κυρίαρχο στοιχείο των σύγχρονων κουφωμάτων αλουμινίου, επηρεάζοντας καθοριστικά τη θερμική, ακουστική και λειτουργική τους απόδοση. Σε εφαρμογές minimal αρχιτεκτονικής με μεγάλα ανοίγματα, η επιφάνεια υάλωσης υπερβαίνει σημαντικά την επιφάνεια πλαισίου, καθιστώντας την επιλογή κατάλληλου τύπου υαλοπίνακα κρίσιμη παράμετρο για τη συνολική συμπεριφορά του συστήματος (ISO, 2017, σ. 22). Η αξιολόγηση των υαλοπινάκων βασίζεται σε ευρωπαϊκά πρότυπα, κυρίως EN 673 για τον υπολογισμό θερμοπερατότητας, EN ISO 717-1 για την ακουστική απόδοση, EN 12150 για θερμικά σκληρυμένους και EN 356 για laminated υαλοπίνακες ασφαλείας (CEN, 2016, σ. 40).

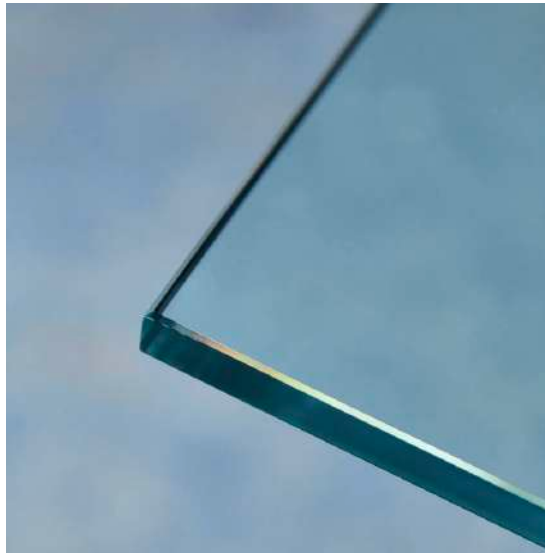
2.4.1 Τύποι υαλοπινάκων

Οι υαλοπίνακες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη δομή και τον αριθμό των φύλλων τους.

(α) Μονοί υαλοπίνακες

Αποτελούνται από ένα μόνο φύλλο γυαλιού. Παρουσιάζουν (CEN, 2011, σ. 5):

- $U_g = 5,5\text{--}6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ — εξαιρετικά υψηλή θερμοπερατότητα.
- Πρακτικά μηδενική θερμομονωτική απόδοση.
- Χρήση αποκλειστικά σε εσωτερικά διαχωριστικά ή προσωρινές κατασκευές.



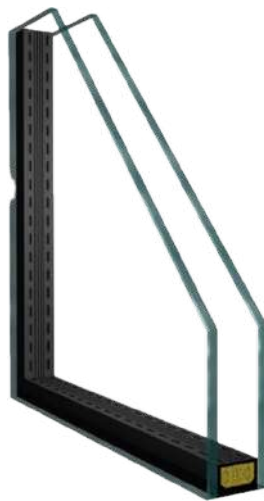
Σχήμα 2.16: Μονός υαλοπίνακας απλής διατομής.

(β) Διπλοί υαλοπίνακες

Αποτελούνται από δύο φύλλα γυαλιού που διαχωρίζονται από ενδιάμεσο διάκενο γεμάτο αέρα ή αδρανές αέριο. Η δομή αυτή επιτυγχάνει (ISO, 2017, σ. 24):

- Σημαντική μείωση U_g σε σχέση με μονό φύλλο.
- Βελτίωση ηχομονωτικής συμπεριφοράς μέσω αποσύνδεσης των δύο φύλλων.
- Δυνατότητα συνδυασμού με Low-E επίστρωση και αδρανή αέρια για περαιτέρω βελτίωση επίδοσης.

Αποτελούν την πλέον διαδεδομένη επιλογή σε σύγχρονα κουφώματα εξωτερικών χώρων (CEN, 2016, σ. 41).



Σχήμα 2.17: Διπλός υαλοπίνακας με ενδιάμεσο διάκενο και αποστάτη.

(γ) Τριπλοί υαλοπίνακες

Αποτελούνται από τρία φύλλα γυαλιού και δύο ενδιάμεσα διάκενα. Χαρακτηρίζονται από (ISO, 2017, σ. 25):

- $U_g = 0,5\text{--}0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ — εξαιρετική θερμομονωτική απόδοση.
- Αυξημένο βάρος (τυπικά $30\text{--}45 \text{ kg/m}^2$) που απαιτεί ενισχυμένους μηχανισμούς και ψευτόκασες.
- Αυξημένο κόστος κατασκευής και τοποθέτησης.
- Χρήση κυρίως σε κτίρια πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) ή σε ακραία κλίματα.



Σχήμα 2.18: Τριπλός υαλοπίνακας με διπλό διάκενο.

(δ) Δομή υαλοπίνακα — συμβολισμός

Η σύνθεση δηλώνεται με αριθμητικό συμβολισμό που εκφράζει τα πάχη (mm) των φύλλων γυαλιού και των διακένων (ISO, 2017, σ. 15):

- **4 – 16 – 4:** δύο φύλλα 4 mm με διάκενο 16 mm αέρα ή αερίου.
- **6 – 12 – 4:** ασύμμετρη διάταξη για βελτίωση ακουστικής απόδοσης.
- **44.2 – 16 – 6:** laminated εξωτερικό φύλλο (2×4 mm + μεμβράνη PVB) με διάκενο 16 mm και απλό εσωτερικό 6 mm.
- **4 – 12 – 4 – 12 – 4:** τριπλός με δύο διάκενα 12 mm.

(ε) Ρόλος αποστάτη και διακένου

Ο αποστάτης (spacer) εξασφαλίζει σταθερή απόσταση μεταξύ των φύλλων και επηρεάζει (ISO, 2017, σ. 35):

- **Θερμική συμπεριφορά:** ο τύπος αποστάτη (αλουμινίου ή warm edge) καθορίζει τον γραμμικό συντελεστή Ψ_g , όπως αναλύθηκε στην ενότητα 2.3.1(γ).
- **Υγρασία:** περιέχει αφυγραντικό υλικό που απορροφά την υγρασία εντός του διακένου, αποτρέποντας εμφάνιση συμπύκνωσης.
- **Στεγανότητα:** η διπλή σφράγιση (primary + secondary sealant) εξασφαλίζει την αεροστεγανότητα και την ακεραιότητα της μονάδας (CEN, 2011, σ. 6).

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Στο εξεταζόμενο έργο χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά διπλοί υαλοπίνακες με warm edge αποστάτη, καθώς οι μεγάλες επιφάνειες υάλωσης (έως 27 m² ανά φύλλο) καθιστούσαν τον τριπλό υαλοπίνακα απαγορευτικό λόγω βάρους (ISO, 2017, σ. 22).

2.4.2 Θερμική συμπεριφορά υάλωσης

Η θερμική συμπεριφορά εκφράζεται μέσω του συντελεστή θερμοπερατότητας U_g (W/m²K), ο οποίος υπολογίζεται κατά EN 673 μέσω της συνολικής θερμικής αντίστασης (ISO, 2017, σ. 18):

$$U_g = 1 / R_{tot}$$

όπου:

$$R_{tot} = R_{si} + \Sigma(R_{glass}) + \Sigma(R_{gap}) + R_{se}$$

- R_{si} , R_{se} = εσωτερική και εξωτερική συναλλακτική αντίσταση (m²K/W)
- R_{glass} = αντίσταση κάθε φύλλου γυαλιού
- R_{gap} = αντίσταση κάθε διακένου — συνάρτηση αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας

(α) Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας

Η ροή θερμότητας μέσω του υαλοπίνακα πραγματοποιείται μέσω τριών μηχανισμών που ενεργούν ταυτόχρονα (ISO, 2017, σ. 18-20):

Αγωγή

- Μεταφορά μέσω του στερεού γυαλιού ($\lambda \approx 1,0 \text{ W/mK}$).
- Εξαρτάται από το πάχος κάθε φύλλου.
- Σχετικά μικρή συνεισφορά στη συνολική θερμική αντίσταση (Gould & Joyce, 2008, σ. 165).

Συναγωγή

- Αναπτύσσεται στο αέριο του διακένου λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ φύλλων.
- Εξαρτάται από: πάχος διακένου, είδος αερίου, προσανατολισμό του ανοίγματος (ISO, 2017, σ. 19).
- Μειώνεται με χρήση αερίων χαμηλής αγωγιμότητας (argon, krypton).

Ακτινοβολία

- Ανταλλαγή θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας μεταξύ αντικριστών επιφανειών.
- Αποτελεί τον **κυρίαρχο** μηχανισμό θερμικής απώλειας σε τυπικά διπλά συστήματα (ISO, 2017, σ. 20).
- Ελέγχεται αποτελεσματικά με επιστρώσεις Low-E.

(β) Υπολογισμός του U_g

Ο U_g εξαρτάται κυρίως από (CEN, 2011, σ. 8):

- τον αριθμό των φύλλων και διακένων,
- την παρουσία ή απουσία Low-E επίστρωσης,
- το είδος και τη συγκέντρωση του αερίου πλήρωσης,
- το πάχος του διακένου.

(γ) Ρόλος επιστρώσεων Low-E

Οι επιστρώσεις Low-E (low emissivity) εφαρμόζονται στην επιφάνεια του γυαλιού και μειώνουν δραστικά τον συντελεστή εκπομπής ε , περιορίζοντας τη ραδιομετρική ανταλλαγή μεταξύ φύλλων (ISO, 2017, σ. 28). Ανάλογα με τη θέση τοποθέτησης (επιφάνεια #2 ή #3 σε διπλό σύστημα):

- **Hard coat (on-line):** εφαρμόζεται κατά την παραγωγή, υψηλότερος $\varepsilon \approx 0,15$ — κατάλληλο για εξωτερική επιφάνεια.
- **Soft coat (off-line / sputtered):** εφαρμόζεται μετά την παραγωγή, $\varepsilon = 0,02-0,05$ — υψηλότερη απόδοση αλλά μόνο για προστατευμένη εσωτερική επιφάνεια (ISO, 2017, σ. 28).

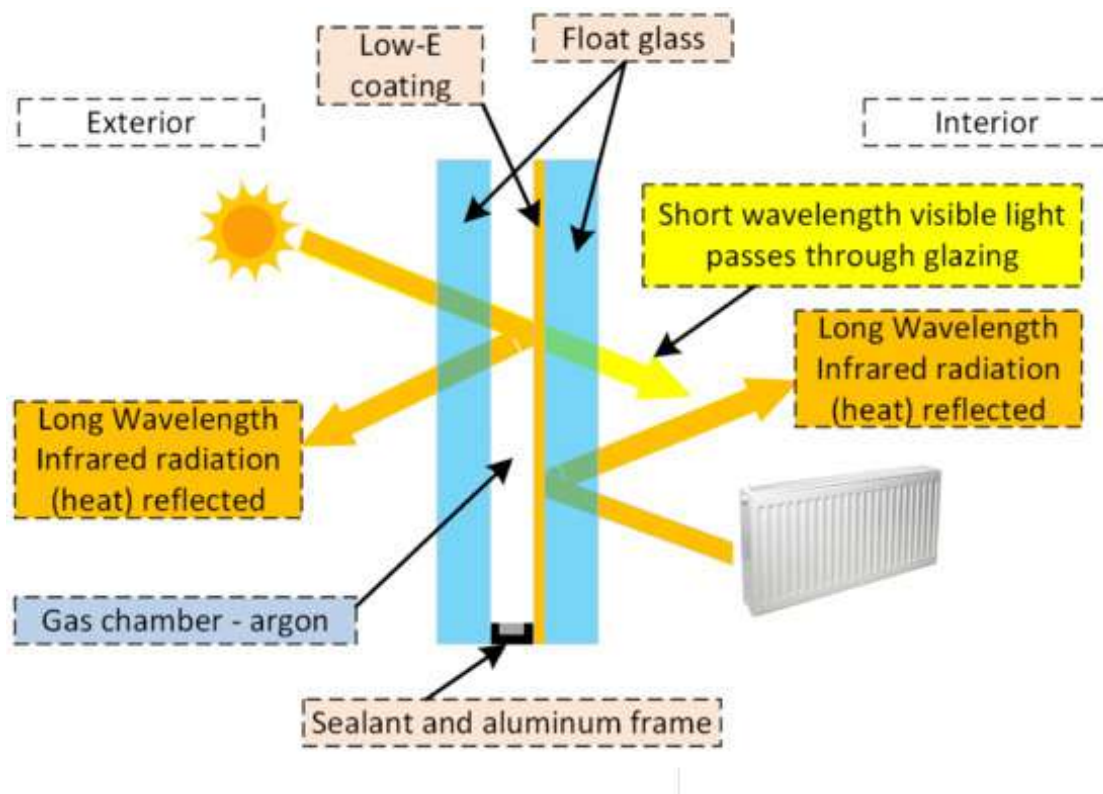
(δ) Ρόλος αερίων πλήρωσης

Η αντικατάσταση αέρα με αδρανή αέρια μειώνει τη συναγωγή εντός του διακένου (ISO, 2017, σ. 21):

- **Αέρας:** $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$ — βασική επιλογή χωρίς πρόσθετο κόστος.
- **Argon (Ar):** $\lambda = 0,017 \text{ W/mK}$, συγκέντρωση 90% — η πλέον διαδεδομένη επιλογή, βελτίωση U_g κατά 10–15% έναντι αέρα (CEN, 2011, σ. 9).
- **Krypton (Kr):** $\lambda = 0,009 \text{ W/mK}$ — ανώτερη απόδοση, χρήση κυρίως σε τριπλούς με στενό διάκενο (ISO, 2017, σ. 21).

Πίνακας 2.14 — Ενδεικτικές τιμές U_g ανά τύπο υαλοπίνακα

Τύπος υάλωσης	Σύνθεση	$U_g \text{ (W/m}^2\text{K)}$
Μονός	6 mm	5,5 – 6,0
Διπλός (αέρας)	4-12-4	2,7 – 3,0
Διπλός Low-E (argon 90%)	4-16-4 Low-E	1,0 – 1,4
Τριπλός Low-E (argon)	4-12-4-12-4 Low-E	0,5 – 0,8
Τριπλός Low-E (krypton)	4-10-4-10-4 Low-E	0,4 – 0,6



Σχήμα 2.19: Θερμική ροή σε διπλό υαλοπίνακα με επικάλυψη Low-E και πλήρωση αργον. Διακρίνεται η μείωση ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών.

(ε) Επίδραση γεωμετρίας και διακένου

Το πάχος διακένου δεν βελτιώνει γραμμικά τον U_g — υπάρχει βέλτιστο εύρος (ISO, 2017, σ. 22):

- Διάκενο < 9 mm: αυξημένη αγωγή, χαμηλή απόδοση.
- Διάκενο 12–16 mm: **βέλτιστη ζώνη** — ισορροπία αγωγής και συναγωγής.
- Διάκενο > 20 mm: ανάπτυξη έντονων ρευμάτων συναγωγής που μειώνουν την αντίσταση.

Για αργον, το βέλτιστο πάχος διακένου είναι 14–16 mm· για krypton 8–12 mm (ISO, 2017, σ. 22).

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Στο εξεταζόμενο έργο επιλέχθηκε διπλός Low-E υαλοπίνακας με argon 90% και warm edge αποστάτη ($U_g \approx 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Η επιλογή αυτή, σε συνδυασμό με θερμοδιακοπτόμενο πλαίσιο, επέτρεψε την επίτευξη $U_w = 1,254\text{--}1,597 \text{ W/m}^2\text{K}$ ανά τύπο κουφώματος, πληρώνοντας πλήρως τις απαιτήσεις KENAK (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 45).

2.4.3 Ακουστική συμπεριφορά υάλωσης

Η ακουστική απόδοση του υαλοπίνακα εκφράζεται μέσω του δείκτη R_w (dB) κατά EN ISO 717-1, μετρούμενου εργαστηριακά κατά EN ISO 10140-2 (ISO, 2013, σ. 7).

(α) Νόμος της μάζας

Η ηχομείωση ακολουθεί προσεγγιστικά τον νόμο μάζας (Gould & Joyce, 2008, σ. 189):

$$R_w \approx 20 \cdot \log(m \cdot f) - 47 \text{ [dB]}$$

- m = επιφανειακή μάζα (kg/m^2)
- f = συχνότητα (Hz)

Διπλασιασμός μάζας $\rightarrow$ αύξηση R_w κατά 6 dB (ISO, 2013, σ. 18).

(β) Φαινόμενο συντονισμού μάζας–ελατηρίου–μάζας

Σε διπλούς υαλοπίνακες το αέριο του διακένου λειτουργεί ως ελατήριο μεταξύ των δύο φύλλων-μαζών, δημιουργώντας συχνότητα συντονισμού f_0 (Hz) στην οποία ο R_w ελαχιστοποιείται (ISO, 2013, σ. 19):

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{(m_1 + m_2) / (d \cdot m_1 \cdot m_2)}$$

- m_1, m_2 = μάζες φύλλων (kg/m^2)
- d = πάχος διακένου (m)

Αντιμετωπίζεται με (ISO, 2013, σ. 19):

- **Ασύμμετρη διάταξη** (π.χ. 6-12-4 αντί 4-12-4): διαχωρισμός coincidence dip των δύο φύλλων σε διαφορετικές συχνότητες.

- **Αύξηση πάχους διακένου:** μετατόπιση f_0 σε χαμηλότερες συχνότητες.
- **Χρήση laminated φύλλων:** εσωτερική απόσβεση ταλαντώσεων μέσω PVB.

(γ) Ρόλος πολυστρωματικών υαλοπινάκων (laminated)

Η μεμβράνη PVB (polyvinyl butyral) εντός του laminated φύλλου δρα ως αποσβεστήρας ταλαντώσεων, επιτυγχάνοντας (CEN, 2011, σ. 8):

- Αύξηση R_w κατά 2–5 dB έναντι απλού ισόπαχου φύλλου.
- Ομαλοποίηση του coincidence dip — εξάλειψη έντονης ελάττωσης σε συγκεκριμένη συχνότητα.
- Βελτίωση C_{tr} (χαμηλόσυχνος θόρυβος) λόγω αυξημένης απόσβεσης σε χαμηλές συχνότητες.

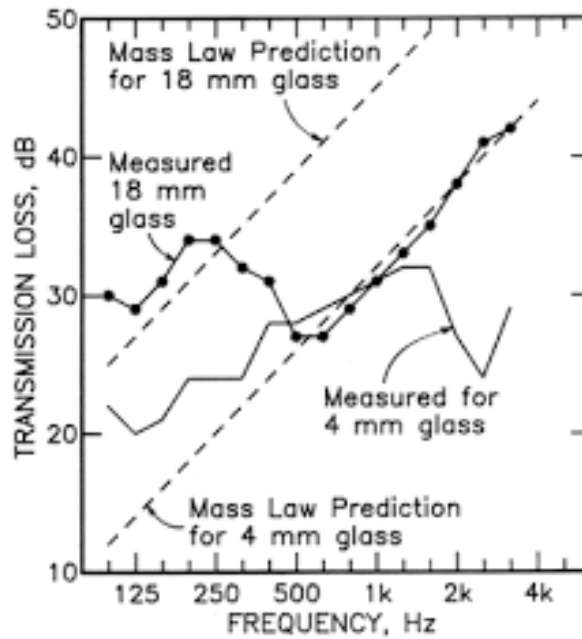
Ειδικές ακουστικές μεμβράνες (acoustic PVB) παρουσιάζουν ακόμη υψηλότερη απόδοση σε 100–1.000 Hz (CEN, 2011, σ. 8).

(δ) Επίδραση διακένου και αερίου

- Αύξηση πάχους διακένου → μετατόπιση f_0 προς χαμηλότερες συχνότητες → βελτίωση R_w στις μεσαίες συχνότητες (ISO, 2013, σ. 20).
- Αέρια (argon, krypton) επηρεάζουν ελάχιστα την ακουστική απόδοση — η χρήση τους δικαιολογείται κυρίως από θερμομονωτικούς λόγους (Gould & Joyce, 2008, σ. 191).

Πίνακας 2.15 — Ενδεικτικές τιμές ηχομείωσης υαλοπινάκων

Τύπος υάλωσης	Σύνθεση	R_w (dB)	R_w+C_{tr} (dB)
Μονός	6 mm	28 – 30	23 – 25
Διπλός συμμετρικός	4-12-4	30 – 32	24 – 26
Διπλός ασύμμετρος	6-12-4	33 – 35	27 – 29
Laminated ασύμμετρος	44.2-16-6	37 – 40	31 – 34
Τριπλός laminated	66.2-16-44.2	42 – 46	36 – 40



Σχήμα 2.20: Ενδεικτική καμπύλη ηχομείωσης υαλοπίνακα και επίδραση συντονισμού μάζας–ελατηρίου–μάζας.

(ε) Σχέση με συνολική απόδοση κουφώματος

Ο υαλοπίνακας καθορίζει την ακουστική απόδοση του κουφώματος, αλλά η τελική τιμή R_w του συνολικού συστήματος εξαρτάται επίσης από (ISO, 2013, σ. 20):

- την αεροστεγανότητα κλάσης 4 (EN 12207) — έστω και μικρή ακουστική διαρροή μέσω αρμών μπορεί να μειώσει τον R_w κατά 10–15 dB,
- την ποιότητα τοποθέτησης και σφράγισης στο άνοιγμα (Gould & Joyce, 2008, σ. 193).

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Οι υαλοπίνακες του έργου (ασύμμετρη σύνθεση laminated solar control) επέτυχαν $R_w = 38\text{--}40\text{ dB}$, καλύπτοντας πλήρως τις απαιτήσεις ακουστικής άνεσης σε χώρο εστίασης υψηλών προδιαγραφών (ISO, 2013, σ. 15).

2.4.4 Υαλοπίνακες ασφαλείας

Σε μεγάλα ανοίγματα, όπου η θραύση ενός υαλοπίνακα ενέχει σοβαρό κίνδυνο για τους χρήστες, η χρήση υαλοπινάκων ασφαλείας είναι υποχρεωτική (CEN, 2011, σ. 12). Οι δύο κύριοι τύποι είναι οι:

- θερμικά σκληρυμένοι (tempered) και
- οι πολυστρωματικοί (laminated).

(α) Θερμικά σκληρυμένοι υαλοπίνακες (Tempered) — EN 12150

Παράγονται με θέρμανση στους 620–680°C και απότομη ψύξη, δημιουργώντας εσωτερικές τάσεις (CEN, 2011, σ. 13):

- Θλιπτικές τάσεις στην επιφάνεια: βελτίωση αντοχής σε κάμψη και κρούση.
- Εφελκυστικές τάσεις στον πυρήνα: ευαισθησία σε κεντρική κρούση.

Χαρακτηριστικά (CEN, 2011, σ. 13):

- Αντοχή σε κάμψη 4–5 φορές ανώτερη απλού γυαλιού.
- Θραύση σε μικρά κοκκώδη μη αιχμηρά τεμάχια — μειωμένος κίνδυνος τραυματισμού.
- Αδυναμία κοπής ή επεξεργασίας μετά τη σκλήρυνση.
- **Δεν παρέχει αντιδιαρρηκτική προστασία** — κατά τη θραύση χάνεται πλήρως η ακεραιότητα (CEN, 2016, σ. 43).



Σχήμα 2.21: Θραύση θερμικά σκληρυμένου υαλοπίνακα σε μικρά κοκκώδη τεμάχια.

(β) Πολυστρωματικοί υαλοπίνακες (Laminated)

Αποτελούνται από δύο ή περισσότερα φύλλα γυαλιού συγκολλημένα με ενδιάμεση μεμβράνη PVB ή SGP (ionoplast) (Gould & Joyce, 2008, σ. 205):

- Σε περίπτωση θραύσης: τα θραύσματα παραμένουν προσκολλημένα στη μεμβράνη — διατήρηση ακεραιότητας ανοίγματος.
- Παρέχουν αντιδιαρρηκτική προστασία ανάλογα με τη σύνθεση (EN 356).
- Βελτιωμένη ακουστική συμπεριφορά λόγω εσωτερικής απόσβεσης PVB.
- Αυξημένο βάρος και κόστος έναντι tempered (CEN, 2011, σ. 14).



Σχήμα 2.22: Πολυστρωματικός υαλοπίνακας μετά από θραύση – τα θραύσματα παραμένουν συγκρατημένα από τη μεμβράνη.

(γ) Κατηγορίες αντοχής — EN 356

Οι laminated υαλοπίνακες ταξινομούνται κατά αντοχή σε μηχανική επίθεση (CEN, 2000, σ. 5):

Πίνακας 2.16 — Κατηγορίες υαλοπινάκων ασφαλείας κατά EN 356

Κατηγορία	Μέθοδος δοκιμής	Αντοχή
P1A	Πτώση σφαίρας 4,11 kg, ύψος 1,5 m	Χαμηλή
P2A	Πτώση σφαίρας 4,11 kg, ύψος 3,0 m	Μέτρια
P3A	Πτώση σφαίρας 4,11 kg, ύψος 6,0 m	Μέτρια–υψηλή
P4A	Πτώση σφαίρας 4,11 kg, ύψος 9,0 m	Υψηλή
P5A	Πτώση σφαίρας 4,11 kg, ύψος 9,0 m + διείδυση	Υψηλή
P6B	30 κτυπήματα σφύρας	Αυξημένη
P7B	51 κτυπήματα σφύρας	Πολύ υψηλή
P8B	71 κτυπήματα σφύρας	Εξαιρετική

(δ) Σύγκριση tempered και laminated

Πίνακας 2.17 — Σύγκριση χαρακτηριστικών tempered και laminated υαλοπινάκων

Ιδιότητα	Tempered	Laminated
Αντοχή σε κρούση	Πολύ υψηλή	Μέτρια–υψηλή
Συμπεριφορά σε θραύση	Θρυμματισμός σε κοκκία	Συγκράτηση θραυσμάτων
Αντιδιαρρηκτική προστασία	Καμία	Υψηλή (ανάλογα P-class)
Ακουστική απόδοση	Χαμηλή	Υψηλή
Επεξεργασία μετά παραγωγή	Αδύνατη	Εφικτή (κοπή πριν lamination)

Πηγή: CEN (2000)· CEN (2011)· Gould & Joyce (2008, σ. 206).

(ε) Συνδυασμένες διατάξεις

Στην πράξη συνδυάζονται οι δύο τύποι για ταυτόχρονη επίτευξη πολλαπλών επιδόσεων (Gould & Joyce, 2008, σ. 207):

- **Tempered + laminated:** υψηλή μηχανική αντοχή και ακεραιότητα σε θραύση — τυπική επιλογή σε μεγάλα ανοίγματα.
- **Laminated + Low-E:** συνδυασμός ασφάλειας και θερμομόνωσης.
- **Laminated + acoustic PVB:** αντιδιαρρηκτική προστασία με βελτιστοποιημένη ακουστική.

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Λόγω των μεγάλων διαστάσεων (έως 27 m² ανά φύλλο) και του βάρους (40 kg/m²), χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά tempered + laminated σε συνδυαστική σύνθεση,

εξασφαλίζοντας μηχανική επάρκεια και ακεραιότητα σε ενδεχόμενη θραύση (CEN, 2000, σ. 6).

2.4.5 Ειδικοί υαλοπίνακες (Low-E, solar control και ενεργειακοί)

(α) Υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (Low-E)

Φέρουν λεπτή μεταλλική επίστρωση (κυρίως Ag) που μειώνει τον συντελεστή εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας ϵ από $\sim 0,89$ (απλό γυαλί) σε $0,02\text{--}0,15$ (ISO, 2017, σ. 28). Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

- Μείωση U_g έως 50% σε σχέση με διπλό χωρίς επίστρωση.
- Διατήρηση υψηλής φωτεινής διαπερατότητας TL (70–80%).
- Ουδέτερη ή ελαφρώς επιλεκτική οπτική εμφάνιση ανάλογα με τον τύπο επίστρωσης (CEN, 2011, σ. 10).

(β) Υαλοπίνακες ηλιακού ελέγχου (Solar control)

Περιορίζουν τη διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας μέσω επιλεκτικής απορρόφησης ή ανάκλασης, εκφραζόμενη ως ηλιακός συντελεστής g (ISO, 2017, σ. 32):

g = άμεση διαπερατότητα + δευτερεύουσα εκπομπή θερμότητας εσωτερικά

Χαρακτηριστικά (CEN, 2011, σ. 11):

- $g = 0,25\text{--}0,50$ — σημαντική μείωση ηλιακής φόρτισης καλοκαίρι.
- Χρωματική απόκλιση: ελαφρώς μπλε ή γκρι εμφάνιση λόγω επίστρωσης.
- Μειωμένη TL σε σχέση με Low-E χωρίς solar control.

(γ) Συνδυαστικοί ενεργειακοί υαλοπίνακες

Ενσωματώνουν ταυτόχρονα Low-E και solar control επιστρώσεις, επιτυγχάνοντας (ISO, 2017, σ. 33):

- Χαμηλό U_g (θερμομόνωση χειμώνα).
- Χαμηλό g (ηλιακός έλεγχος καλοκαίρι).
- Ικανοποιητικό TL (φυσικός φωτισμός).

(δ) Οπτικές και ενεργειακές ιδιότητες

Οι τρεις κύριοι δείκτες αξιολόγησης ενεργειακών υαλοπινάκων είναι (ISO, 2017, σ. 30-34):

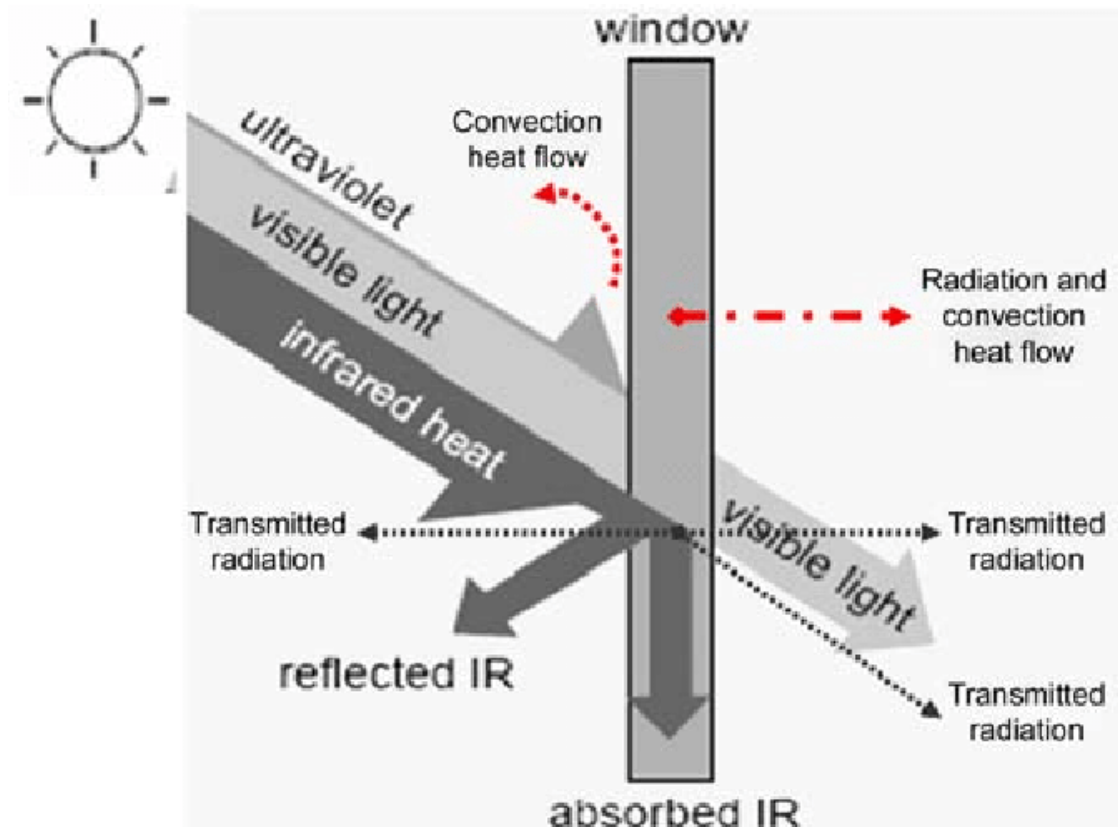
- **U_g (W/m²K):** θερμοπερατότητα — όσο μικρότερος τόσο καλύτερη θερμομόνωση.
- **g (-):** ηλιακός συντελεστής — όσο μικρότερος τόσο μικρότερη ηλιακή φόρτιση.
- **TL (-):** φωτεινή διαπερατότητα — όσο μεγαλύτερη τόσο περισσότερος φυσικός φωτισμός.

Η επιλογή αποτελεί ισορροπία μεταξύ των τριών — η μείωση του g συνήθως συνεπάγεται μείωση TL (ISO, 2017, σ. 34).

Πίνακας 2.18 — Ενδεικτικές τιμές ενεργειακών υαλοπινάκων

Τύπος υάλωσης	U _g (W/m ² K)	g (-)	TL (-)
Διπλός Low-E (argon)	1,0 – 1,4	0,60 – 0,70	0,70 – 0,80
Solar control	1,0 – 1,4	0,30 – 0,50	0,50 – 0,65
Συνδυαστικός Low-E + solar	0,6 – 1,0	0,25 – 0,45	0,55 – 0,70

Πηγή: CEN (2011, σ. 10-11)· ISO (2017, σ. 32-34).



Σχήμα 2.23: Διείσδυσης ηλιακής ακτινοβολίας σε υαλοπίνακα ηλιακού ελέγχου.

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Στο εξεταζόμενο έργο επιλέχθηκε συνδυαστικός υαλοπίνακας solar control + Low-E με argon 90%, επιτυγχάνοντας $g \approx 37\%$ και $TL \approx 69\%$ — βέλτιστη ισορροπία για παραθαλάσσιο χώρο εστίασης με έντονη ηλιακή έκθεση και παράλληλη ανάγκη φυσικού φωτισμού (ISO, 2017, σ. 34· ΥΠΕΝ, 2017, σ. 48).

2.5 Εξαρτήματα κουφωμάτων και λειτουργικά στοιχεία

Η λειτουργία και η απόδοση των κουφωμάτων αλουμινίου δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από τα προφίλ και τους υαλοπίνακες, αλλά και από τα επιμέρους εξαρτήματα που συμμετέχουν στη στήριξη, κίνηση, στεγάνωση και ασφάλεια των συστημάτων. Η επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων επηρεάζει άμεσα (Gould & Joyce, 2008, σ. 195):

- τη λειτουργικότητα και ομαλή κίνηση του κουφώματος,
- τη μηχανική αντοχή και αντιδιαρρηκτική προστασία,
- τη στεγανότητα έναντι αέρα και νερού,
- τη διάρκεια ζωής του συστήματος και τις απαιτήσεις συντήρησης.

Τα εξαρτήματα διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τον τύπο και τον τρόπο λειτουργίας του κουφώματος (CEN, 2016, σ. 45).

2.5.1 Μηχανισμοί κύλισης και οδηγοί

Οι μηχανισμοί κύλισης χρησιμοποιούνται σε συρόμενα, lift & slide και minimal συστήματα για τη γραμμική μετακίνηση των φύλλων επάνω σε οδηγούς (Gould & Joyce, 2008, σ. 196). Τα κύρια στοιχεία τους είναι:

- **Ράουλα (rollers):** φέρουν το βάρος του φύλλου και επιτρέπουν την κύλιση. Κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα ή πολυαμίδιο ενισχυμένο με ίνες υάλου (PA66 GF). Σε ανοίγματα μεγάλων διαστάσεων με βάρος φύλλου > 200 kg απαιτούνται ράουλα με δυνατότητα φορτίου ≥ 300 kg (CEN, 2016, σ. 46).
- **Κάτω οδηγός (bottom track):** παραλαμβάνει το βάρος και καθοδηγεί την κίνηση. Διατίθεται σε εκτεθειμένη ή χωνευτή (flush) εκδοχή για minimal εφαρμογές. Οι χωνευτοί οδηγοί απαιτούν ενσωματωμένο σύστημα αποστράγγισης υδάτων (CEN, 1999, σ. 8).

- **Άνω οδηγός (top track):** εξασφαλίζει σταθερότητα και ευθυγράμμιση του φύλλου, παραλαμβάνει πλευρικές δυνάμεις από ανεμοπίεση (Gould & Joyce, 2008, σ. 196).
- **Μηχανισμός ανύψωσης (lift & slide):** επιτρέπει ανύψωση του φύλλου κατά 8–12 mm με στροφή της λαβής, δημιουργώντας περιμετρική σύσφιξη και κλάση αεροπερατότητας 3–4 (CEN, 2016, σ. 47).

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μηχανισμού κύλισης:

- Βάρος φύλλου — καθορίζει τη φέρουσα ικανότητα ράουλων (Gould & Joyce, 2008, σ. 197).
- Συχνότητα χρήσης — εμπορικοί χώροι απαιτούν ανοξείδωτους μηχανισμούς ≥ 100.000 κύκλων.
- Περιβάλλον εγκατάστασης — παραθαλάσσιες εφαρμογές απαιτούν αντιδιαβρωτική επεξεργασία (CEN, 2016, σ. 46).
- Ακρίβεια τοποθέτησης — αποκλίσεις ± 1 mm στους οδηγούς επηρεάζουν καθοριστικά τη λειτουργία (Gould & Joyce, 2008, σ. 197).



Σχήμα 2.24: Ενδεικτικός μηχανισμός κύλισης συρόμενου συστήματος αλουμινίου.

2.5.2 Μεντεσέδες και μηχανισμοί περιστροφής

Χρησιμοποιούνται σε ανοιγόμενα, ανακλινόμενα και ρίνοτ συστήματα για τη στήριξη και κίνηση του φύλλου γύρω από άξονα περιστροφής (Gould & Joyce, 2008, σ. 198). Διακρίνονται σε:

Συμβατικοί μεντεσέδες ανοιγόμενων:

- Ορατοί ή κρυφοί (concealed hinges).
- Κατηγορίες φέρουσας ικανότητας: 80 kg, 120 kg, 160 kg ανά μεντεσέ (CEN, 2011, σ. 15).
- Δυνατότητα τρισδιάστατης ρύθμισης (x, y, z) για ευθυγράμμιση φύλλου μετά την τοποθέτηση.
- Υλικό: ανοξείδωτος χάλυβας ή αλουμίνιο με αντιδιαβρωτική επεξεργασία (Gould & Joyce, 2008, σ. 198).

Pivot μηχανισμοί:

- Αποτελούνται από άνω και κάτω ρίνοτ σημείο που φέρουν ολόκληρο το βάρος του φύλλου (CEN, 2016, σ. 48).
- Σε φύλλα > 100 kg χρησιμοποιούνται ειδικοί μηχανισμοί δαπέδου (floor closer) με υδραυλική απόσβεση επιστροφής.
- Ο άξονας περιστροφής δεν ταυτίζεται με την πλαϊνή ακμή — τυπικά τοποθετείται σε απόσταση 1/5 έως 1/3 του πλάτους φύλλου (Gould & Joyce, 2008, σ. 199).
- Απαιτείται ακριβής ευθυγράμμιση άνω και κάτω ρίνοτ — απόκλιση > 1 mm προκαλεί λειτουργικά προβλήματα (CEN, 2016, σ. 48).

Παράγοντες επιλογής μεντεσέδων:

- Βάρος φύλλου και φέρουσα ικανότητα (Gould & Joyce, 2008, σ. 198).
- Αντιδιαρρηκτική κατηγορία RC — απαιτούνται πιστοποιημένοι μεντεσέδες κατά EN 1627 (CEN, 2011, σ. 15).

- Ορατότητα — κρυφοί μεντεσέδες για minimal εφαρμογές (CEN, 2016, σ. 48).
- Δυνατότητα ρύθμισης μετά την τοποθέτηση (Gould & Joyce, 2008, σ. 199).



Μεντεσές κρυφός παραθύρου

Μηχανισμός περιστροφής Pivot

Σχήμα 2.25: Ενδεικτικοί μηχανισμοί ανοιγμάτων κουφωμάτων.

2.5.3 Μηχανισμοί κλειδώματος και ασφάλειας

Οι μηχανισμοί κλειδώματος συμβάλλουν τόσο στη λειτουργική ασφάλεια όσο και στην αεροστεγανότητα και υδατοστεγανότητα του κουφώματος, μέσω της περιμετρικής σύσφιξης που δημιουργούν (CEN, 2011, σ. 10). Διακρίνονται σε:

Μονοσημειακά συστήματα:

- Κλείδωμα σε ένα μόνο σημείο — χρήση σε μικρά ανοίγματα εσωτερικά.
- Χαμηλή αντιδιαρρηκτική προστασία — κατηγορία RC1 (CEN, 2011, σ. 10).

Πολυσημειακά συστήματα (multipoint locking):

- Κλείδωμα ταυτόχρονα σε 3–7 σημεία μέσω ράβδου ενεργοποίησης (CEN, 2011, σ. 12).

- Εξασφαλίζουν ομοιόμορφη περιμετρική πίεση παρεμβυσμάτων → βελτίωση αεροπερατότητας (κλάση 3–4) και υδατοστεγανότητας (CEN, 2016, σ. 49).
- Απαραίτητα για επίτευξη RC2 και RC3 (CEN, 2011, σ. 12).

Κλειδαριές ασφαλείας:

- Κύλινδρος ασφαλείας με μανιτάρια (security pins) κατά EN 1303.
- Αντικλεπτικές πλάκες (security plates) για προστασία κυλίνδρου από εκκόλαψη (CEN, 2011, σ. 13).

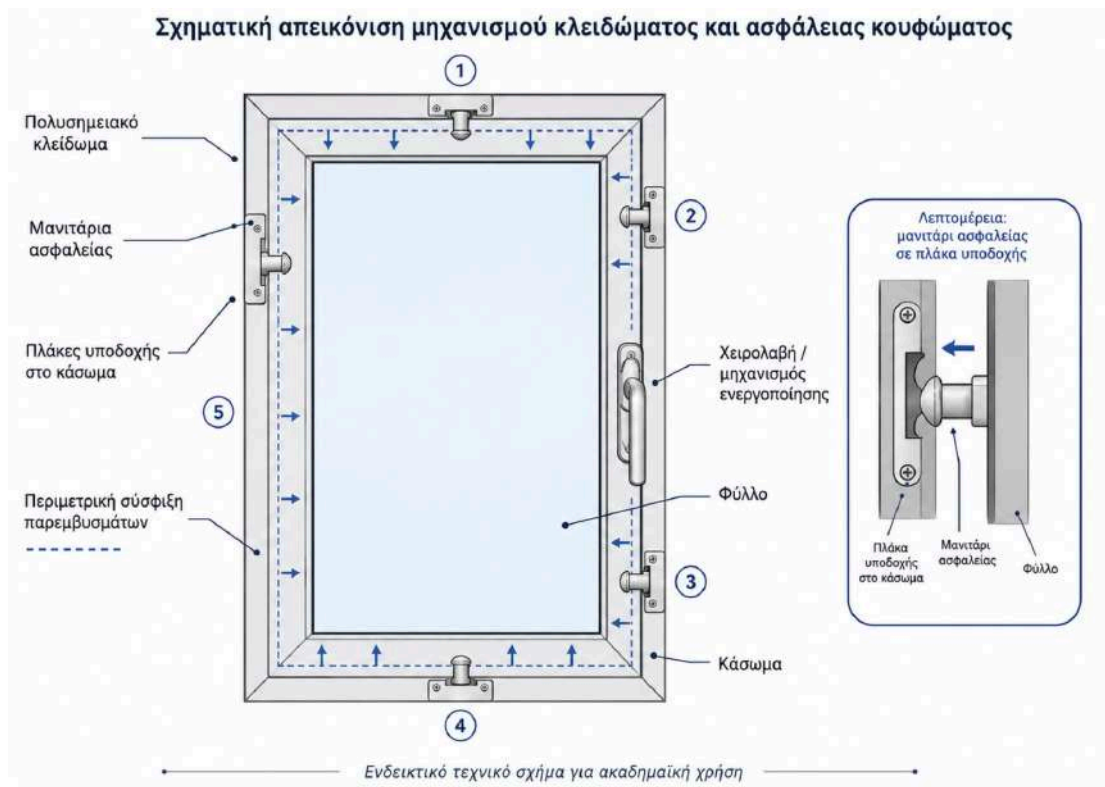
Μανιτάρια ασφαλείας (security mushroom cams):

- Τοποθετούνται ανά 600 mm κατά μήκος κλειδαριάς.
- Εισέρχονται σε πλάκες υποδοχής στο κάσωμα, αντιστεκόμενα σε δυνάμεις εκτίναξης (Gould & Joyce, 2008, σ. 210).
- Διατίθενται σε αντιδιαρρηκτικές κατηγορίες RC2–RC4 (CEN, 2011, σ. 13).

Πίνακας 2.19 — Απαιτήσεις μηχανισμών ανά κατηγορία RC

Κατηγορία RC	Τύπος κλειδώματος	Μανιτάρια	Απαίτηση κλειδαριάς
RC1	Μονοσημειακό	Όχι	Απλός κύλινδρος
RC2	Πολυσημειακό	Ανά 800 mm	EN 1303 Class 2
RC3	Πολυσημειακό	Ανά 600 mm	EN 1303 Class 3
RC4	Πολυσημειακό ενισχυμένο	+ Ανά 400 mm	EN 1303 Class 5

Πηγή: CEN (2011, σ. 10-14).



Σχήμα 2.26: Μέρη μηχανισμού κλειδώματος παραθύρου

2.5.4 Ελαστικά παρεμβύσματα και στοιχεία στεγάνωσης

Τα παρεμβύσματα αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας του κουφώματος έναντι αέρα, νερού και ήχου (CEN, 1999, σ. 10). Διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Ελαστικά παρεμβύσματα (gaskets):

- **EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer):** το πλέον διαδεδομένο υλικό. Χαρακτηρίζεται από (Gould & Joyce, 2008, σ. 200):
 - Εξαιρετική αντοχή σε UV, όζον και ατμοσφαιρικές συνθήκες.
 - Αντοχή σε θερμοκρασίες -40°C έως $+120^{\circ}\text{C}$.
 - Διατήρηση ελαστικότητας μετά από μακροχρόνια συμπίεση (χαμηλό compression set).

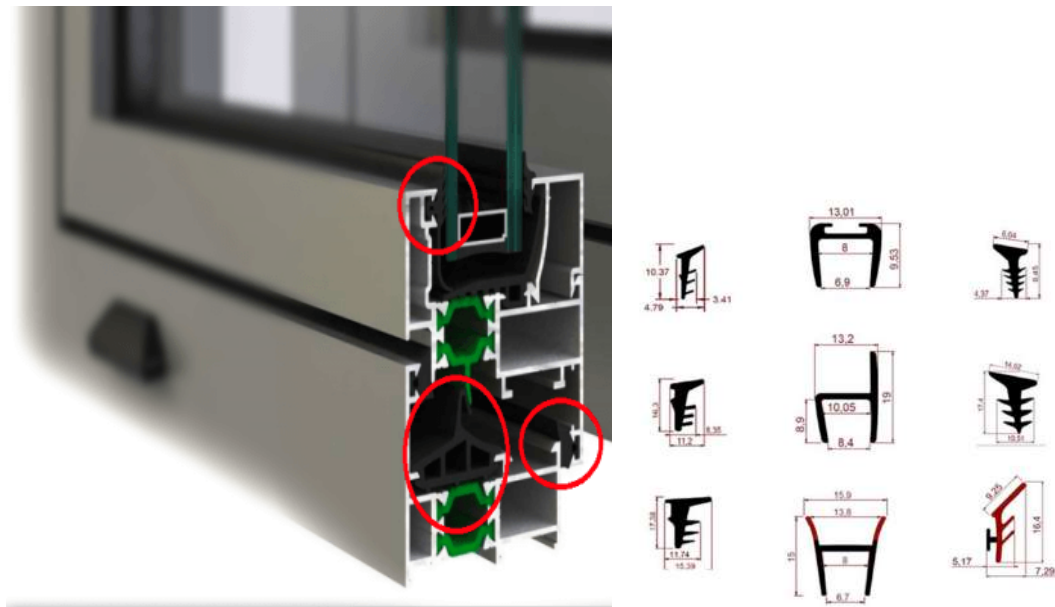
- **Σιλικόνη:** χρήση σε εξαιρετικά εκτεθειμένες θέσεις, ανώτερη αντοχή σε UV, υψηλότερο κόστος (CEN, 2016, σ. 51).
- **PVC:** χαμηλότερο κόστος, μειωμένη αντοχή σε γήρανση — αποφεύγεται σε εξωτερικές εφαρμογές (Gould & Joyce, 2008, σ. 200).

Διάταξη παρεμβυσμάτων:

- **Τριπλή στεγάνωση:** εξωτερικό παρέμβυσμα (αποτροπή εισόδου νερού) + ενδιάμεσος θάλαμος αποστράγγισης + εσωτερικό παρέμβυσμα (αεροστεγανότητα) (CEN, 1999, σ. 10).
- Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται κρίσιμα από την **ομοιόμορφη συμπίεση** σε όλη την περίμετρο (CEN, 2016, σ. 51).

Ταινίες στεγάνωσης τοποθέτησης:

- **Εξωτερική (αδιάβροχη):** αποτρέπει διείσδυση νερού στο σύνδεσμο κουφώματος-τοίχου (Gould & Joyce, 2008, σ. 201).
- **Εσωτερική (ατμοφραγός):** αποτρέπει μεταφορά υδρατμών — κρίσιμη για αποφυγή συμπύκνωσης εντός κατασκευής (CEN, 2016, σ. 52).
- **Αρχή:** εξωτερική ταινία πρέπει να είναι **πιο ανοιχτή** από εσωτερική ώστε τυχόν υγρασία να διαφεύγει προς τα έξω (Gould & Joyce, 2008, σ. 201).



Σχήμα 2.27: Ενδεικτική φωτογραφία από ελαστικά παρεμβύσματα σε εφαρμογή.

2.5.5 Λαβές και λειτουργικά εξαρτήματα χειρισμού

Οι λαβές και τα εξαρτήματα χειρισμού επιτρέπουν τη χρήση και τον έλεγχο του κουφώματος από τον χρήστη και επηρεάζουν παράλληλα την αισθητική εικόνα του συστήματος (Gould & Joyce, 2008, σ. 202). Διακρίνονται ανά τύπο συστήματος:

Συρόμενα συστήματα:

- Χειρολαβή βαρέος τύπου για κούφωμα χωρίς ανύψωση.
- Μηχανισμός ανύψωσης (lift & slide) με μοχλό — η στροφή ανυψώνει το φύλλο και αποδεσμεύει τα παρεμβύσματα για ομαλή κύλιση (CEN, 2016, σ. 53).
- Σε minimal εφαρμογές: κρυφές χειρολαβές εντός κοιλώματος προφίλ για εξάλειψη εξοχής (Gould & Joyce, 2008, σ. 202).

Ανοιγόμενα συστήματα:

- Πόμολα με συνδεδεμένο μηχανισμό πολυσημειακού κλειδώματος.
- Στροφή 90° για ανοιχτό / κλειστό, 180° για ανακλινόμενο (tilt) σε συστήματα tilt-and-turn (CEN, 2016, σ. 53).

Pivot συστήματα:

- Ειδικές λαβές μεγάλου μήκους για εύκολο χειρισμό βαρέων φύλλων.
- Συχνά ενσωματωμένες στο προφίλ χωρίς εξωτερική πρόσβαση (flush pull handle) για minimal αισθητική (Gould & Joyce, 2008, σ. 203).

Τεχνικές προδιαγραφές λαβών:

- Αντοχή σε δύναμη χειρισμού ≥ 1.000 N κατά EN 13126 (CEN, 2016, σ. 53).
- Κύκλοι λειτουργίας ≥ 50.000 για εμπορικές εφαρμογές.
- Κατηγορία αντιδιαβρωτικής προστασίας ανάλογη με την επιφανειακή επεξεργασία του συστήματος (Gould & Joyce, 2008, σ. 203).



Χειρολαβή συρόμενου Minimal κουφώματος.

Χειρολαβή ανοιγ. παραθύρου

Σχήμα 2.28: Ενδεικτική φωτογραφία από χειρολαβές ανοίγματος.

2.5.6 Ψευτόकाσες και υποδομές τοποθέτησης

Οι ψευτόकाσες (subframes) τοποθετούνται στο δομικό άνοιγμα πριν από την εγκατάσταση του τελικού κουφώματος, λειτουργώντας ως ενδιάμεσο στοιχείο στήριξης μεταξύ φέροντος οργανισμού και συστήματος αλουμινίου (Gould & Joyce, 2008, σ. 215). Η χρήση τους συμβάλλει (CEN, 2016, σ. 54):

- στη σωστή ευθυγράμμιση του κουφώματος ανεξάρτητα από ανοχές δομικής κατασκευής,
- στη διασφάλιση των τελικών διαστάσεων ανοίγματος πριν παραγγελθεί το κούφωμα,
- στη βελτίωση αγκύρωσης, ιδίως σε ανοίγματα μεγάλων φορτίων,
- στη διευκόλυνση ενσωμάτωσης κρυφών στοιχείων (hidden frames, χωνευτοί οδηγοί).

Τύποι ψευτόकाσων ανά εφαρμογή:

- **Διαμορφωμένη γαλβανισμένη λαμαρίνα:** οικονομική λύση για συνήθη ανοίγματα. Πάχος 1,5–2,0 mm, γαλβάνισμα $Zn \geq 275 \text{ g/m}^2$ (Gould & Joyce, 2008, σ. 215).
- **Χαλύβδινοι κοιλοδοκοί (SHS/RHS):** χρήση σε βαριά συστήματα με φύλλα > 200 kg ή μεγάλα ανοίγματα ανεμοπίεσης. Απαιτείται αντιδιαβρωτική προστασία (βαφή ή γαλβάνισμα) (CEN, 2016, σ. 55).
- **Κόντρα πλακέ θαλάσσης:** χρήση σε minimal κατασκευές για ευκολότερη αγκύρωση οδηγών και επενδύσεων — συνήθης λύση στα χωνευτά συστήματα (Gould & Joyce, 2008, σ. 216).
- **Σύνθετες υποδομές** (κοιλοδοκός + λαμαρίνα + κόντρα πλακέ): για ειδικές εφαρμογές με πολλαπλές απαιτήσεις (φόρτιση + ευθυγράμμιση + επένδυση) (CEN, 2016, σ. 55).

Κρίσιμες παράμετροι σχεδιασμού ψευτόκασας:

- **Κατακορυφότητα:** απόκλιση $\leq 1 \text{ mm/m}$ για εξασφάλιση ομαλής λειτουργίας κινητών φύλλων (CEN, 2016, σ. 55).
- **Επιπεδότητα οδηγών:** $\leq 2 \text{ mm}$ στο συνολικό μήκος — κρίσιμο σε συρόμενα minimal (Gould & Joyce, 2008, σ. 216).
- **Κλίση αποστράγγισης:** ελάχιστη κλίση 1% προς εξωτερικό στους χωνευτούς οδηγούς για αποφυγή στάσιμου νερού (CEN, 1999, σ. 9).
- **Αγκύρωση:** μηχανικά ή χημικά αγκύρια ανά 300–600 mm ανάλογα με τα φορτία (CEN, 2016, σ. 56).
- **Θερμική διαστολή:** πρόβλεψη αρμών διαστολής σε μεταλλικές ψευτόκασες μεγάλου μήκους (Gould & Joyce, 2008, σ. 217).

Σύνδεση με το υπό μελέτη έργο

Στο εξεταζόμενο έργο χρησιμοποιήθηκαν σύνθετες υποδομές (κοιλοδοκοί + γαλβανισμένη λαμαρίνα + κόντρα πλακέ θαλάσσης) για την υποστήριξη των minimal συρόμενων και pinot συστημάτων μεγάλων διαστάσεων. Η τοποθέτησή τους αποτέλεσε το κρίσιμότερο εργοταξιακό στάδιο, καθώς αποκλίσεις στους χωνευτούς οδηγούς άνω των $\pm 1 \text{ mm}$ θα καθιστούσαν αδύνατη την ομαλή κύλιση φύλλων βάρους > 300 kg (CEN, 2016, σ. 55· Gould & Joyce, 2008, σ. 217).



Σχήμα 2.29: Ψευτόκασα από διαμορφωμένη γαλβανιζέ λαμαρίνα για υποστήριξη συρόμενου Minimal κουφώματος.



Σχήμα 2.30: Ενδεικτική τοποθέτηση ψευτόκασας συνδιασμού χαλύβδινου κοιλοδοκού και διαμορφωμένης γαλβανιζέ λαμαρίνας.

2.6 Πρότυπα και κανονισμοί

Η κατασκευή, πιστοποίηση και εγκατάσταση κουφωμάτων αλουμινίου διέπονται από ευρωπαϊκά πρότυπα και εθνικούς κανονισμούς που καθορίζουν τις απαιτήσεις απόδοσης, τις διαδικασίες δοκιμών και τα κριτήρια αξιολόγησης. Η εφαρμογή τους είναι απαραίτητη για (CEN, 2016, σ. 58):

- τη διασφάλιση ποιότητας και ασφάλειας των κατασκευών,
- την αντικειμενική σύγκριση και επιλογή συστημάτων βάσει μετρήσιμων επιδόσεων,
- τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης,
- τη νόμιμη διάθεση των προϊόντων στην ευρωπαϊκή αγορά.

2.6.1 KENAK

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) αποτελεί το βασικό θεσμικό πλαίσιο για την ενεργειακή απόδοση στην Ελλάδα, εφαρμοζόμενο τόσο σε νέα κτίρια όσο και σε υφιστάμενα που υποβάλλονται σε ριζική ανακαίνιση (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 5). Θεσπίστηκε με ΦΕΚ Β' 2367/2017 σε εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων.

Απαιτήσεις για κουφώματα

Ο KENAK καθορίζει μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές U_w ανά κλιματική ζώνη και τύπο κτιρίου. Η Ελλάδα κατανέμεται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (Α–Δ), με αυστηρότερες απαιτήσεις προς τον βορρά (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 38):

Πίνακας 2.20 — Μέγιστες τιμές U_w ανά κλιματική ζώνη κατά KENAK

Κλιματική ζώνη	Περιοχή αναφοράς	Μέγιστο U_w ανοιγόμενων (W/m^2K)	Μέγιστο U_w συρόμενων (W/m^2K)
A	Ηράκλειο	3,2	3,5
B	Αθήνα	2,4	2,6
Γ	Λάρισα	2,0	2,2

Κλιματική ζώνη	Περιοχή αναφοράς	Μέγιστο U_w ανοιγόμενων (W/m^2K)	Μέγιστο U_w συρόμενων (W/m^2K)
Δ	Φλώρινα	1,8	2,0

Πηγή: ΥΠΕΝ (2017, σ. 38-40).

Οι απαιτήσεις αυτές οδήγησαν στην επικράτηση (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 40):

- θερμοδιακοπτόμενων συστημάτων αλουμινίου σε όλες τις κλιματικές ζώνες,
- διπλών Low-E υαλοπινάκων με argon ως ελάχιστη επιλογή για ζώνες B–Δ,
- warm edge αποστατών για περαιτέρω μείωση Ψ_g ,
- συστημάτων ηλιακού ελέγχου σε ανοίγματα νότιου προσανατολισμού.

Επιπλέον παράμετροι KENAK για κουφώματα:

- **Ηλιακός συντελεστής g:** λαμβάνεται υπόψη στους ενεργειακούς υπολογισμούς ψύξης — ιδιαίτερα κρίσιμος σε μεγάλες νότιες επιφάνειες υάλωσης (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 42).
- **Αεροστεγανότητα:** η ανεξέλεγκτη διείσδυση αέρα συνυπολογίζεται στις θερμικές απώλειες (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 43).
- **Θερμικές γέφυρες:** περιμετρικές θερμικές γέφυρες στο σύνδεσμο κουφώματος-τοίχου συνεισφέρουν στις θερμικές απώλειες — απαιτείται σωστή μελέτη λεπτομέρειας (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 45).

2.6.2 ΕΛΟΤ EN

Τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN αποτελούν την ελληνική υιοθέτηση των ευρωπαϊκών προτύπων (EN) και καθορίζουν τεχνικές απαιτήσεις, διαδικασίες δοκιμών και κριτήρια αξιολόγησης. Η εφαρμογή τους διασφαλίζει συγκρίσιμη αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και κατασκευαστών (CEN, 2016, σ. 60).

Βασικά πρότυπα κουφωμάτων αλουμινίου:

Πίνακας 2.21 — Βασικά πρότυπα ΕΛΟΤ EN για κουφώματα αλουμινίου

Πρότυπο	Αντικείμενο	Κύριοι δείκτες
EN 14351-1	Πρότυπο προϊόντος εξωτερικών κουφωμάτων	DoP, CE σήμανση
EN 12207	Αεροπερατότητα	Κλάσεις 0–4, qL, qA
EN 12208	Υδατοστεγανότητα	Κλάσεις 1A–9A, Exxx
EN 12210	Αντοχή σε ανεμοπίεση	Κατηγορίες 1–5, κλάσεις A–C
EN ISO 10077-1	Θερμοπερατότητα κουφωμάτων	Uw, Uf, Ug, Ψg
EN ISO 717-1	Ακουστική απόδοση	Rw, C, Ctr
EN ISO 10140-2	Μέτρηση ηχομείωσης εργαστηριακά	R(f)
EN 1627	Αντιδιαρρηκτική προστασία	RC1–RC6
EN 356	Αντοχή υαλοπινάκων σε επίθεση	P1A–P8B
EN 1063	Αλεξίσφαιρη προστασία	BR1–BR7

Πηγή: CEN (2016)· ISO (2017)· ISO (2013)· CEN (2011)· CEN (2000)· CEN (1999).

Δομή αξιολόγησης κατά EN 14351-1

Το EN 14351-1 αποτελεί το κεντρικό πρότυπο προϊόντος και καθορίζει (CEN, 2016, σ. 10-15):

- τις **ουσιώδεις απαιτήσεις** που πρέπει να αξιολογούνται (essential characteristics),
- τις **μεθόδους δοκιμών** που εφαρμόζονται για κάθε χαρακτηριστικό (με παραπομπή στα επιμέρους πρότυπα),
- τον **τρόπο δήλωσης** των επιδόσεων (αριθμητική τιμή, κατηγορία ή NPD),
- τις **απαιτήσεις επαλήθευσης** συνέπειας της παραγωγής (Factory Production Control — FPC).

Έννοια NPD (No Performance Determined):

Η δήλωση NPD δεν υποδηλώνει αρνητική επίδοση, αλλά ότι (CEN, 2016, σ. 12):

- ο κατασκευαστής δεν πραγματοποίησε δοκιμή για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, ή
- οι διαστάσεις του κουφώματος υπερβαίνουν τα όρια του τυποποιημένου δοκιμαστικού πλαισίου.

Στα minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων, η εμφάνιση NPD σε αεροπερατότητα, υδατοστεγανότητα και ανεμοπίεση είναι συνηθισμένη — το κενό αυτό αποτελεί σημαντικό ζήτημα του κλάδου (CEN, 2016, σ. 12· Gould & Joyce, 2008, σ. 220).

2.6.3 Σήμανση CE

Η σήμανση CE αποτελεί υποχρεωτική διαδικασία για κουφώματα αλουμινίου που διατίθενται στην ευρωπαϊκή αγορά, δηλώνοντας συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του EN 14351-1 (CEN, 2016, σ. 62). Δεν αποτελεί πιστοποίηση ποιότητας αλλά **δήλωση συμμόρφωσης** του κατασκευαστή.

Δήλωση Επιδόσεων (Declaration of Performance — DoP)

Κεντρικό στοιχείο της σήμανσης CE είναι η DoP, στην οποία ο κατασκευαστής υποχρεούται να δηλώνει (CEN, 2016, σ. 63):

- αριθμητική τιμή ή κατηγορία για κάθε ουσιώδες χαρακτηριστικό,
- το πρότυπο δοκιμής βάσει του οποίου προέκυψε κάθε τιμή,
- NPD για χαρακτηριστικά που δεν αξιολογήθηκαν.

Υποχρεωτικά χαρακτηριστικά DoP κατά EN 14351-1:

Πίνακας 2.22 — Χαρακτηριστικά απόδοσης κουφωμάτων κατά σήμανση CE (EN 14351-1)

Χαρακτηριστικό	Πρότυπο δοκιμής	Τυπική δήλωση
Αεροπερατότητα	EN 1026 / EN 12207	Κλάση 1–4 ή NPD
Υδατοστεγανότητα	EN 1027 / EN 12208	Κλάση 1A–Exxx ή NPD
Αντοχή σε ανεμοπίεση	EN 12211 / EN 12210	Κατηγορία + κλάση ή NPD

Χαρακτηριστικό	Πρότυπο δοκιμής	Τυπική δήλωση
Θερμοπερατότητα U_w	EN ISO 10077-1	W/m^2K
Ηχομείωση R_w	EN ISO 717-1	dB (C; Ctr) ή NPD
Αντιδιαρρηκτική αντοχή	EN 1627	RC1–RC6 ή NPD

Πηγή: CEN (2016, σ. 63-65).

Διαδικασία αξιολόγησης και επαλήθευσης σταθερότητας επίδοσης (AVCP)

Η σήμανση CE εξασφαλίζει τη σταθερότητα της παραγωγής μέσω συστήματος AVCP (Assessment and Verification of Constancy of Performance). Για τα εξωτερικά κουφώματα εφαρμόζεται σύστημα **AVCP 3**, το οποίο απαιτεί (CEN, 2016, σ. 64):

- αρχική δοκιμή τύπου (ITT) από διαπιστευμένο εργαστήριο,
- εσωτερικό έλεγχο παραγωγής (FPC) από τον κατασκευαστή,
- διατήρηση πλήρους τεχνικού φακέλου τεκμηρίωσης.

Σημασία CE σήμανσης για τον μελετητή και τον εγκαταστάτη:

- Παρέχει αντικειμενικά και συγκρίσιμα δεδομένα επίδοσης για την επιλογή συστημάτων (Gould & Joyce, 2008, σ. 221).
- Αποτελεί προϋπόθεση για χρήση σε δημόσια έργα και τεχνικά έργα υψηλών προδιαγραφών (CEN, 2016, σ. 65).
- Η αρχειοθέτηση DoP αποτελεί υποχρέωση του εγκαταστάτη για λόγους ιχνηλασιμότητας (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 52).
- Σε περίπτωση NPD, βαρύνει τον μελετητή η τεκμηρίωση της καταλληλότητας του συστήματος μέσω συμπληρωματικής τεχνικής ανάλυσης (CEN, 2016, σ. 12).

Organized technical section structure with subsections and citations

2.7 Παράγοντες επιλογής κουφωμάτων σε τεχνικά έργα

Η επιλογή κουφωμάτων αλουμινίου σε ένα τεχνικό έργο αποτελεί σύνθετη διαδικασία που επηρεάζεται από λειτουργικές, τεχνικές, ενεργειακές, περιβαλλοντικές και οικονομικές παραμέτρους. Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική, τα κουφώματα δεν

λειτουργούν ως απλά στοιχεία κάλυψης ανοιγμάτων αλλά αποτελούν ενεργό τμήμα του κτιριακού κελύφους που επηρεάζει άμεσα τη συνολική ενεργειακή και λειτουργική συμπεριφορά του κτιρίου (Gould & Joyce, 2008, σ. 222). Η βέλτιστη επιλογή απαιτεί συνδυαστική αξιολόγηση όλων των παρακάτω παραγόντων, καθώς η υπερβολική έμφαση σε έναν μόνο — π.χ. αποκλειστικά στο κόστος ή αποκλειστικά στην αισθητική — οδηγεί σε τεχνικώς ανεπαρκείς ή λειτουργικά προβληματικές λύσεις (CEN, 2016, σ. 68).

2.7.1 Αρχιτεκτονικές και αισθητικές απαιτήσεις

Η αρχιτεκτονική μορφή και το αισθητικό ύφος του κτιρίου αποτελούν συχνά την αφετηρία της διαδικασίας επιλογής, ιδίως σε έργα υψηλών αρχιτεκτονικών προδιαγραφών (Gould & Joyce, 2008, σ. 218). Οι κύριοι αρχιτεκτονικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή συστήματος είναι:

- **Εμφανές πλάτος προφίλ:** σε minimal αρχιτεκτονική επιδιώκεται ελαχιστοποίηση της ορατής διατομής (20–50 mm), απαιτώντας εξειδικευμένα minimal συστήματα υψηλότερου κόστους και απαιτήσεων (CEN, 2016, σ. 20).
- **Αναλογία υάλωσης/πλαισίου:** ποσοστό υάλωσης $A_g/A_{tot} > 80\%$ απαιτεί ανάλογη τεχνική τεκμηρίωση U_w βάσει EN ISO 10077-1 (ISO, 2017, σ. 22).
- **Χρώμα και φινίρισμα προφίλ:** επιλογή μεταξύ ηλεκτροστατικής βαφής (πλήρης κωδικοποίηση RAL), ανοδίωσης (μεταλλική αισθητική) ή συνδυαστικής προανοδίωσης (CEN, 2016, σ. 30).
- **Τυπολογία ανοίγματος:** ανοιγόμενο, συρόμενο, pivot ή φυσαρμόνικα — η επιλογή επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα, την αεροστεγανότητα και το κόστος (Gould & Joyce, 2008, σ. 218).
- **Ενσωμάτωση στο κτιριακό κέλυφος:** κρυφά κασώματα (hidden frames), χωνευτοί οδηγοί και flush κατώφλια για οπτική συνέχεια επιφανειών (CEN, 2016, σ. 20).

Σε περιπτώσεις σύγκρουσης μεταξύ αρχιτεκτονικής επιθυμίας και τεχνικής επάρκειας — π.χ. απαίτηση για minimal διατομή σε άνοιγμα υψηλής ανεμοπίεσης — η τεχνική

μελέτη οφείλει να τεκμηριώνει τη στατική επάρκεια του συστήματος ανεξαρτήτως αισθητικής επιλογής (Gould & Joyce, 2008, σ. 219).

2.7.2 Ενεργειακή απόδοση και θερμομόνωση

Η ενεργειακή απόδοση αποτελεί κεντρικό κριτήριο επιλογής στο πλαίσιο των απαιτήσεων KENAK και των ευρωπαϊκών στόχων για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB) (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 5). Οι βασικές ενεργειακές παράμετροι επιλογής είναι:

- **Συντελεστής U_w (W/m^2K):** η κύρια παράμετρος συμμόρφωσης με KENAK — πρέπει να πληροί τις μέγιστες τιμές ανά κλιματική ζώνη (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 38). Υπολογίζεται κατά EN ISO 10077-1 για κάθε άνοιγμα ξεχωριστά, καθώς εξαρτάται από τη γεωμετρία (ISO, 2017, σ. 22).
- **Ηλιακός συντελεστής g :** επιδρά καθοριστικά σε ανοίγματα νότιου ή δυτικού προσανατολισμού — χαμηλό g μειώνει ηλιακή φόρτιση καλοκαίρι αλλά και θερμικά κέρδη χειμώνα (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 42).
- **Αεροστεγανότητα:** κλάση 4 κατά EN 12207 μειώνει τις θερμικές απώλειες λόγω ανεξέλεγκτης διείσδυσης αέρα — ιδιαίτερα κρίσιμο σε ζώνες Γ και Δ (CEN, 2016, σ. 12).
- **Θερμικές γέφυρες:** ο γραμμικός συντελεστής Ψ_g και οι περιμετρικές θερμικές γέφυρες στο σύνδεσμο κουφώματος-τοίχου επηρεάζουν τις πραγματικές θερμικές απώλειες — απαιτείται λεπτομερής μελέτη εφαρμογής (ISO, 2017, σ. 35· ΥΠΕΝ, 2017, σ. 45).
- **Συνολική ενεργειακή απόδοση κελύφους:** σε κτίρια με μεγάλα ανοίγματα, η συνεισφορά κουφωμάτων στις θερμικές απώλειες μπορεί να υπερβαίνει το 40% του συνόλου — ιδιαίτερα σε minimal εφαρμογές (Gould & Joyce, 2008, σ. 221).

2.7.3 Λειτουργικότητα και τρόπος χρήσης

Ο τρόπος λειτουργίας του χώρου και η συχνότητα χρήσης επηρεάζουν άμεσα τις απαιτήσεις μηχανικής αντοχής, αξιοπιστίας και συντήρησης των συστημάτων (Gould & Joyce, 2008, σ. 223). Οι βασικές λειτουργικές παράμετροι είναι:

- **Συχνότητα χρήσης:** εμπορικοί χώροι και ξενοδοχεία απαιτούν μηχανισμούς πιστοποιημένους για ≥ 100.000 κύκλους λειτουργίας κατά EN 13126, έναντι 10.000–25.000 για οικιακή χρήση (CEN, 2016, σ. 53).
- **Τύπος ανοίγματος:** ανοιγόμενα παρέχουν ανώτερη αεροστεγανότητα (κλάση 4) αλλά απαιτούν ελεύθερο χώρο περιστροφής· συρόμενα κατάλληλα για μεγάλα ανοίγματα αλλά με χαμηλότερη αεροστεγανότητα (CEN, 2016, σ. 14).
- **Βάρος φύλλου:** υαλοπίνακες 40 kg/m^2 σε ανοίγματα $> 5 \text{ m}^2$ οδηγούν σε φύλλα $> 200 \text{ kg}$ — απαιτούνται εξειδικευμένοι μηχανισμοί κύλισης ή ρίνοτ υψηλής αντοχής (Gould & Joyce, 2008, σ. 196).
- **Προσβασιμότητα ΑΜΕΑ:** ελάχιστη δύναμη λειτουργίας $\leq 30 \text{ N}$ και κατώφλι δαπέδου $\leq 20 \text{ mm}$ κατά τις απαιτήσεις καθολικής σχεδίασης (CEN, 2016, σ. 54).
- **Φυσικός αερισμός:** η δυνατότητα ελεγχόμενης ανοικτής θέσης επηρεάζει την επιλογή μηχανισμού — tilt-and-turn, ρίνοτ ή ανοιγόμενο με σύστημα παύσης (Gould & Joyce, 2008, σ. 224).

2.7.4 Περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες της θέσης εγκατάστασης καθορίζουν τις απαιτήσεις στεγανότητας, αντοχής και αντιδιαβρωτικής προστασίας (Gould & Joyce, 2008, σ. 202). Οι κύριοι περιβαλλοντικοί παράγοντες επιλογής είναι:

- **Ανεμοπίεση:** προσδιορίζεται βάσει EN 1991-1-4 (Ευρωκώδικας 1) λαμβάνοντας υπόψη γεωγραφική θέση, ύψος κτιρίου, κατηγορία εδάφους και τοπογραφικούς συντελεστές. Καθορίζει την ελάχιστη κατηγορία κατά EN 12210 (CEN, 2016, σ. 22).

- **Έκθεση σε θαλάσσιο αέρα:** απαιτεί επιφανειακή επεξεργασία Qualicoat Class 3, προανοδίωση, ανοξείδωτους μηχανισμούς και αποστάτη υαλοπίνακα με αντιδιαβρωτική σφράγιση (CEN, 2016, σ. 36· Gould & Joyce, 2008, σ. 153).
- **Υδατοστεγανότητα:** η γεωγραφική θέση και η έκθεση ορίζουν την ελάχιστη κλάση EN 12208. Παραθαλάσσιες θέσεις απαιτούν κλάση $\geq 7A$ ή Exxx (CEN, 1999, σ. 10).
- **Θερμοκρασιακές μεταβολές:** διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού έως 40°C δημιουργεί θερμική διαστολή αλουμινίου περίπου 0,7 mm/m — απαιτούνται αρμοί διαστολής σε κατασκευές μεγάλου μήκους (Gould & Joyce, 2008, σ. 225).
- **Ηλιακή ακτινοβολία:** ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων επηρεάζει την επιλογή g-value υαλοπίνακα και την ανάγκη εξωτερικής σκίασης (YPIEN, 2017, σ. 42).

2.7.5 Ασφάλεια και προστασία χρηστών

Η ασφάλεια αποτελεί πολυδιάστατο κριτήριο που περιλαμβάνει αντιδιαρρηκτική προστασία, ασφάλεια έναντι θραύσης υάλωσης και προστασία χρηστών κατά τη λειτουργία (CEN, 2011, σ. 5). Οι βασικές παράμετροι ασφάλειας είναι:

- **Κατηγορία αντιδιαρρηκτικής προστασίας RC:** η επιλογή RC2 ή RC3 απαιτεί πολυσημειακό κλείδωμα, ενισχυμένα εξαρτήματα και laminated υαλοπίνακες κατά EN 356 (CEN, 2011, σ. 12). Για εμπορικές εφαρμογές υψηλής επισκεψιμότητας συνιστάται RC3 ως ελάχιστη κατηγορία (Gould & Joyce, 2008, σ. 210).
- **Ασφάλεια υάλωσης:** σε ανοίγματα με επιφάνεια φύλλου $> 1,5 \text{ m}^2$ ή κατώφλι δαπέδου $< 900 \text{ mm}$ από το δάπεδο απαιτείται υαλοπίνακας ασφαλείας κατά EN 12600 (CEN, 2016, σ. 43).
- **Αντοχή κιγκλιδωμάτων:** σε ανοίγματα που λειτουργούν ως κιγκλίδωμα (παραπέτο) απαιτείται δυνατότητα παραλαβής οριζόντιου φορτίου $\geq 1,0 \text{ kN/m}$ (Gould & Joyce, 2008, σ. 211).

- **Ασφάλεια παιδιών:** περιορισμός ανοίγματος σε ≤ 100 mm σε παιδικές εγκαταστάσεις — εφαρμόζονται ειδικοί περιοριστές ανοίγματος (CEN, 2016, σ. 54).
- **Πυράντοχα κουφώματα:** σε κτίρια με απαιτήσεις πυροπροστασίας εφαρμόζονται ειδικά πιστοποιημένα συστήματα κατά EN 13501 (Gould & Joyce, 2008, σ. 212).

2.7.6 Κόστος κατασκευής και συντήρησης

Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Life Cycle Cost) αποτελεί ορθότερο κριτήριο επιλογής από το αρχικό κόστος προμήθειας, καθώς περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης, επισκευής και ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια ζωής του κουφώματος (Gould & Joyce, 2008, σ. 226). Τα βασικά στοιχεία κόστους είναι:

- **Αρχικό κόστος:** περιλαμβάνει υλικά (προφίλ, υαλοπίνακας, εξαρτήματα), επιφανειακή επεξεργασία, μεταφορά και εγκατάσταση. Τα minimal συστήματα εμφανίζουν σημαντικά υψηλότερο αρχικό κόστος λόγω εξειδικευμένης παραγωγής (CEN, 2016, σ. 20).
- **Κόστος συντήρησης:** αλουμίνιο με ανοδίωση ή Qualicoat Class 3 εμφανίζει ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης έναντι χαλύβδινων ή ξύλινων κουφωμάτων. Παραθαλάσσιες εφαρμογές χωρίς κατάλληλη επεξεργασία οδηγούν σε αυξημένο κόστος αντικατάστασης (Gould & Joyce, 2008, σ. 148).
- **Ενεργειακή εξοικονόμηση:** αναβάθμιση U_w από 2,8 σε 1,2 W/m²K σε κτίριο με 200 m² ανοιγμάτων αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση θέρμανσης ~3.000 kWh/έτος (ΥΠΕΝ, 2017, σ. 48) — αποσβένεται σε 5–8 έτη για τα περισσότερα κλίματα.
- **Κόστος αντικατάστασης εξαρτημάτων:** μηχανισμοί χαμηλής ποιότητας σε εμπορικές εφαρμογές υψηλής χρήσης οδηγούν σε συχνές αντικαταστάσεις — η επένδυση σε ποιοτικούς μηχανισμούς ≥ 100.000 κύκλων αποδεικνύεται οικονομικά συμφέρουσα μακροπρόθεσμα (Gould & Joyce, 2008, σ. 226).
- **Κόστος εγκατάστασης:** τα minimal συστήματα με hidden frames και χωνευτούς οδηγούς απαιτούν εξειδικευμένο συνεργείο και αυστηρή ακρίβεια

τοποθέτησης — το κόστος εγκατάστασης μπορεί να ανέλθει στο 30–40% του συνολικού κόστους (CEN, 2016, σ. 56).

Συνολική αξιολόγηση

Η βέλτιστη επιλογή κουφώματος δεν αντιστοιχεί πάντα στο ακριβότερο ή στο φθηνότερο σύστημα, αλλά σε εκείνο που ικανοποιεί ταυτόχρονα τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου έργου σε αρχιτεκτονική, ενεργειακή απόδοση, λειτουργικότητα, ασφάλεια, περιβάλλον εγκατάστασης και συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Gould & Joyce, 2008, σ. 227· CEN, 2016, σ. 68). Η συστηματική καταγραφή και βαθμολόγηση των παραπάνω παραγόντων από το αρχικό στάδιο της μελέτης αποτελεί βέλτιστη πρακτική που μειώνει τον κίνδυνο αστοχιών και καθυστερήσεων στη φάση κατασκευής και εγκατάστασης (PMI, 2017, σ. 53).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μεθοδολογία Έρευνας

3.1 Μεθοδολογία βιβλιογραφικής και κανονιστικής τεκμηρίωσης

Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας αφορά τη συστηματική συλλογή και ανάλυση βιβλιογραφικών και κανονιστικών δεδομένων που σχετίζονται με τα κουφώματα αλουμινίου. Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκαν (PMI, 2017, σ. 53):

ανασκόπηση επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικής με την κατασκευαστική φυσική, τη θερμική και ακουστική συμπεριφορά δομικών στοιχείων και τη μηχανική συμπεριφορά υαλοστασίων μεγάλων διαστάσεων,

μελέτη των ευρωπαϊκών προτύπων που καθορίζουν τις απαιτήσεις απόδοσης, τις διαδικασίες δοκιμών και τα κριτήρια αξιολόγησης των κουφωμάτων,

ανάλυση του εθνικού κανονιστικού πλαισίου (KENAK) και των απαιτήσεών του για τα δομικά στοιχεία κελύφους.

Η επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων οδήγησε στη διαμόρφωση του θεωρητικού υποβάθρου που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2 — το οποίο καλύπτει τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά (ενότητες 2.3.1–2.3.7), τους υαλοπίνακες (ενότητα 2.4), τα εξαρτήματα (ενότητα 2.5), το κανονιστικό πλαίσιο (ενότητα 2.6) και τους παράγοντες επιλογής (ενότητα 2.7).

3.2 Θεωρητική έρευνα — πηγές και κατηγορίες δεδομένων

Η θεωρητική έρευνα βασίστηκε στη συλλογή και ανάλυση τριών κατηγοριών πηγών, με στόχο την πλήρη κατανόηση των τεχνικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και επιλογή των κουφωμάτων αλουμινίου.

(α) Επιστημονική βιβλιογραφία

Μελετήθηκαν επιστημονικά συγγράμματα και τεχνικές δημοσιεύσεις που αφορούν (Gould & Joyce, 2008):

κατασκευαστική φυσική και θερμική συμπεριφορά δομικών στοιχείων, θερμομόνωση και ηχομόνωση κουφωμάτων, μηχανική συμπεριφορά υαλοστασίων μεγάλων διαστάσεων, αρχές σχεδιασμού minimal συστημάτων αλουμινίου, επιφανειακές επεξεργασίες και αντιδιαβρωτική προστασία σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση συνέβαλε στην κατανόηση των φυσικών μηχανισμών που διέπουν τους συντελεστές U_w , U_g , U_f , Ψ_g και R_w , όπως αναλύονται στις ενότητες 2.3.1 και 2.4.2–2.4.3, καθώς και στην τεκμηρίωση της επιλογής συστημάτων που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

(β) Ευρωπαϊκά πρότυπα και κανονισμοί

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα ακόλουθα πρότυπα, τα οποία αποτέλεσαν τη βάση αξιολόγησης τόσο της θεωρητικής ανάλυσης όσο και της επιλογής συστημάτων στο πραγματικό έργο:

Πίνακας 3.1 — Βασικά πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και ενότητα αναφοράς

Πρότυπο	Αντικείμενο	Ενότητα Κεφ. 2
EN 14351-1 (CEN, 2016)	Πρότυπο προϊόντος, DoP, CE σήμανση	2.6.3
EN 12207 (CEN, 2016)	Αεροπερατότητα	2.3.4
EN 12208 (CEN, 1999)	Υδατοστεγανότητα	2.3.5
EN 12210 (CEN, 2016)	Αντοχή σε ανεμοπίεση	2.3.3
EN ISO 10077-1 (ISO, 2017)	Θερμοπερατότητα U_w , U_f , U_g , Ψ_g	2.3.1

Πρότυπο	Αντικείμενο	Ενότητα Κεφ. 2
EN ISO 717-1 (ISO, 2013)	Ακουστική απόδοση R_w , C, Ctr	2.3.2
EN ISO 10140-2 (ISO, 2010)	Εργαστηριακή μέτρηση ηχομείωσης	2.3.2
EN 1627 (CEN, 2011)	Αντιδιαρρηκτική προστασία RC1–RC6	2.3.6
EN 356 (CEN, 2000)	Κατηγορίες ασφαλείας υαλοπινάκων P1A–P8B	2.4.4
KENAK (ΥΠΕΝ, 2017)	Μέγιστες τιμές U_w ανά κλιματική ζώνη	2.6.1

(γ) Τεχνικά δεδομένα κατασκευαστών

Σημαντικό μέρος της έρευνας βασίστηκε σε τεχνικά έγγραφα κατασκευαστών συστημάτων αλουμινίου και υαλοπινάκων. Τα δεδομένα αυτά περιλάμβαναν:

τεχνικά φυλλάδια και διατομές προφίλ,

Δηλώσεις Επιδόσεων (DoP) κατά EN 14351-1 για όλους τους τύπους κουφωμάτων του έργου,

πίνακες θερμομονωτικών και ακουστικών χαρακτηριστικών,

πιστοποιήσεις επιφανειακών επεξεργασιών (Qualicoat Class 3 για παραθαλάσσιες εφαρμογές),

τεχνικές προδιαγραφές υαλοπινάκων (U_g , g, TL) για τους solar control υαλοπίνακες του έργου.

Η αξιοποίηση τεχνικών δεδομένων κατασκευαστών επέτρεψε τη σύνδεση θεωρητικής ανάλυσης και πρακτικής εφαρμογής — ιδίως για τις Δηλώσεις Επιδόσεων που αναλύονται στην ενότητα 4.4 του Κεφαλαίου 4 (CEN, 2016, σ. 63).

3.3 Εμπειρική έρευνα — μελέτη περίπτωσης πραγματικού έργου

Η εμπειρική έρευνα βασίζεται στη μελέτη περίπτωσης (case study) πραγματικού έργου εγκατάστασης κουφωμάτων αλουμινίου σε χώρο εστίασης και υποδοχής (restaurant–lobby) παραθαλάσσιου resort χαρακτήρα. Η μέθοδος της μελέτης περίπτωσης επιλέχθηκε διότι επιτρέπει τη διεξοδική διερεύνηση ενός σύνθετου φαινομένου στο φυσικό του πλαίσιο, όπου οι συνθήκες δεν μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά (Yin, 2018, σ. 14-15).

Το συγκεκριμένο έργο επιλέχθηκε λόγω (Yin, 2018, σ. 48):

της τεχνικής πολυπλοκότητας των κατασκευών — minimal συρόμενα, pínovt και σταθερές υαλώσεις μεγάλων διαστάσεων (έως 8.700×3.150 mm), της εμφάνισης του φαινομένου NPD στα συστήματα μεγάλων διαστάσεων, που αναδεικνύει ένα κρίσιμο ζήτημα του κανονιστικού πλαισίου (CEN, 2016, σ. 12), της δυνατότητας σύνδεσης του θεωρητικού υποβάθρου (Κεφάλαιο 2) με πραγματικές συνθήκες μελέτης, παραγωγής και εγκατάστασης, της παραθαλάσσιας θέσης, που δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις σε ανεμοπίεση, υδατοστεγανότητα και αντιδιαβρωτική προστασία — παράμετροι που αναλύονται εκτενώς στις ενότητες 2.3.3–2.3.5 και 2.3.7.

Η ανάλυση του έργου καλύπτει όλα τα στάδια υλοποίησης, από τη συλλογή απαιτήσεων και τη λήψη μετρήσεων έως την επιλογή συστημάτων, την παραγωγή και την τελική εγκατάσταση, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4 (PMI, 2017, σ. 72).

3.4 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε τρία διακριτά και αλληλοσυμπληρούμενα στάδια (Yin, 2018, σ. 110-115):

Στάδιο 1 — Συλλογή αρχικών στοιχείων έργου

Αρχιτεκτονικές κατόψεις και τομές του χώρου.

Τεχνικές προδιαγραφές πελάτη ως προς αισθητική, διαστάσεις, ενεργειακές και ακουστικές απαιτήσεις (Κεφάλαιο 4.2).

Τεχνικά φυλλάδια υποψήφιων συστημάτων και DoP κατά EN 14351-1.

Κοστολογικά δεδομένα για τη σύνταξη τεχνικής και οικονομικής προσφοράς (Κεφάλαιο 4.5).

Στάδιο 2 — Επιτόπιες μετρήσεις και αυτοψίες

Αποτύπωση πραγματικών διαστάσεων ανοιγμάτων και έλεγχος κατασκευαστικών ανοχών (Κεφάλαιο 4.3).

Έλεγχος υψομέτρων και θέσεων χωνευτών οδηγών.

Καταγραφή κατασκευαστικών αποκλίσεων δαπέδων και τοίχων κατά τη διάρκεια τοποθέτησης ψευτόκασων.

Φωτογραφική τεκμηρίωση κρίσιμων σταδίων εγκατάστασης (Κεφάλαιο 4.8).

Στάδιο 3 — Αξιολόγηση αποτελεσμάτων υλοποίησης

Σύγκριση προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων ανά στάδιο εργασιών (Κεφάλαιο 5.5).

Εντοπισμός κρίσιμων σημείων και πιθανών καθυστερήσεων (Κεφάλαιο 5.3).

Αποτύπωση ροής πληροφοριών μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου παραγωγής και εργοταξίου (Κεφάλαιο 5.1–5.2).

Αξιολόγηση τυπικών τεχνικών αστοχιών και τρόπων αντιμετώπισής τους (Κεφάλαιο 5.4).

3.4.1 Ανάλυση τεχνικών εγγράφων

Βασικό εργαλείο συλλογής δεδομένων αποτέλεσε η ανάλυση τεχνικών εγγράφων, που περιλάμβανε (Yin, 2018, σ. 119):

αρχιτεκτονικά σχέδια και κατόψεις του έργου,

σχέδια εφαρμογής κουφωμάτων και λεπτομέρειες hidden frames και χωνευτών οδηγών,

DoP (Δηλώσεις Επιδόσεων) κατά EN 14351-1 για κάθε τύπο κουφώματος — συρόμενα, pivot, συνδυαστικά pivot+σταθερά, σταθερές υαλώσεις,

shop drawings εργοστασίου παραγωγής,

έγγραφα παραγγελίας και παρακολούθησης παραγωγής,

χρονοδιαγράμματα Gantt αρχικού προγραμματισμού και πραγματικής εξέλιξης (Κεφάλαιο 4.6 και 5.5).

Η ανάλυση των DoP αποκάλυψε το φαινόμενο NPD στα συρόμενα συστήματα μεγάλων διαστάσεων (4.229×3.150 mm και 8.700×3.150 mm) για αεροπερατότητα, υδατοστεγανότητα και ανεμοπίεση — εύρημα που αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.4 και σχολιάζεται στα συμπεράσματα του Κεφαλαίου 6.2 (CEN, 2016, σ. 12).

3.5 Εργαλεία επεξεργασίας και ανάλυσης

Για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής εργαλεία (PMI, 2017, σ. 87):

Σχεδιαστικά εργαλεία CAD: ανάπτυξη σχεδίων εφαρμογής, έλεγχος διαστάσεων, μελέτη λεπτομερειών hidden frames, χωνευτών οδηγών και ψευτόκασων.

Διάγραμμα Gantt: αποτύπωση αλληλουχίας εργασιών και παρακολούθηση αποκλίσεων χρόνου ανά στάδιο (Κεφάλαιο 4.6 και 5.5).

Τεχνικά δεδομένα DoP: σύγκριση δηλωμένων επιδόσεων μεταξύ εναλλακτικών συστημάτων βάσει U_w , R_w , κατηγορίας αεροπερατότητας, υδατοστεγανότητας και ανεμοπίεσης.

Φωτογραφική τεκμηρίωση: καταγραφή κρίσιμων σταδίων τοποθέτησης, κατασκευαστικών λεπτομερειών και τελικής αισθητικής εικόνας.

Laser μετρητές και στάθμες: επιτόπια μέτρηση κατακορυφότητας, επιπεδότητας και υψομέτρων κατά την τοποθέτηση ψευτόκασων και οδηγών (Κεφάλαιο 4.3).

3.6 Περιορισμοί της μεθοδολογίας

Παρά τη συνδυαστική προσέγγιση, η μεθοδολογία παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Yin, 2018, σ. 48):

Εμπιστευτικότητα έργου: λόγω προστασίας εμπορικών δεδομένων δεν γίνεται αναφορά στην εμπορική ονομασία ή ακριβή τοποθεσία. Η φωτογραφική τεκμηρίωση επικεντρώνεται σε τεχνικές λεπτομέρειες και τελικές φάσεις, χωρίς στοιχεία ταυτοποίησης (Yin, 2018, σ. 49).

Απουσία ανεξάρτητων εργαστηριακών δοκιμών: η έρευνα βασίζεται σε πιστοποιημένα δεδομένα DoP κατά EN 14351-1 και δεδομένα κατασκευαστών — δεν πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητες μετρήσεις επίτοπου (CEN, 2016, σ. 63).

Φαινόμενο NPD: τα minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων εμφανίζουν NPD σε κρίσιμες κατηγορίες επίδοσης, αποτελώντας κενό του κανονιστικού πλαισίου που δεν μπορεί να καλυφθεί από υπάρχουσα βιβλιογραφία — αναλύεται στα Κεφάλαια 4.4 και 6.2 (CEN, 2016, σ. 12).

Μονή μελέτη περίπτωσης: τα αποτελέσματα αφορούν συγκεκριμένο τύπο έργου (παραθαλάσσιο resort, minimal αρχιτεκτονική, μεγάλα ανοίγματα) και δεν γενικεύονται αυτόματα σε άλλες κατηγορίες κατασκευών (Yin, 2018, σ. 20). Τα ευρήματα ωστόσο παρουσιάζουν αναλυτική γενίκευση (analytic generalization) στις αρχές που διέπουν κάθε εφαρμογή minimal συστημάτων (Yin, 2018, σ. 21).

Χρονοδιαγράμματα: η σύγκριση προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων (Κεφάλαιο 5.5) βασίζεται στον αρχικό προγραμματισμό που εκπονήθηκε πριν την έναρξη του έργου — πιθανές αναθεωρήσεις του χρονοδιαγράμματος κατά την εκτέλεση δεν αποτελούν μέρος της σύγκρισης (PMI, 2017, σ. 88).

Παρά τους παραπάνω περιορισμούς, η συνδυαστική αξιοποίηση θεωρητικής τεκμηρίωσης, Δηλώσεων Επιδόσεων, τεχνικών εγγράφων και επιτόπιας παρατήρησης εξασφαλίζει επαρκή εγκυρότητα και αξιοπιστία των ευρημάτων (Yin, 2018, σ. 45· PMI, 2017, σ. 90).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παρουσίαση Πραγματικού Έργου Εγκατάστασης Κουφωμάτων

4.1 Γενικά στοιχεία έργου

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αφορά έργο επαγγελματικού χώρου εστίασης και υποδοχής (restaurant–lobby) υψηλών αρχιτεκτονικών απαιτήσεων, το οποίο εντάσσεται σε παραθαλάσσιο συγκρότημα φιλοξενίας resort χαρακτήρα.

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του έργου βασίζεται στις αρχές της σύγχρονης minimal αρχιτεκτονικής, με κύρια χαρακτηριστικά τις μεγάλες επιφάνειες υάλωσης, τις περιορισμένες εμφανείς διατομές αλουμινίου και τη δημιουργία άμεσης οπτικής σύνδεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

Η μορφολογία του χώρου απαιτούσε την εφαρμογή συστημάτων κουφωμάτων υψηλής αισθητικής και αυξημένης τεχνικής ακρίβειας, καθώς η συνολική αρχιτεκτονική σύνθεση στηρίζεται στη διαφάνεια, στον φυσικό φωτισμό και στη σχεδόν “αόρατη” ενσωμάτωση των κουφωμάτων στο κτιριακό κέλυφος.

Στο έργο χρησιμοποιήθηκαν:

- minimal συρόμενα συστήματα με κρυφούς οδηγούς και κρυφά κασώματα,
- pivot κατασκευές μεγάλων διαστάσεων,
- σταθερά υαλοστάσια,
- συνδυασμοί σταθερών και pivot στοιχείων.

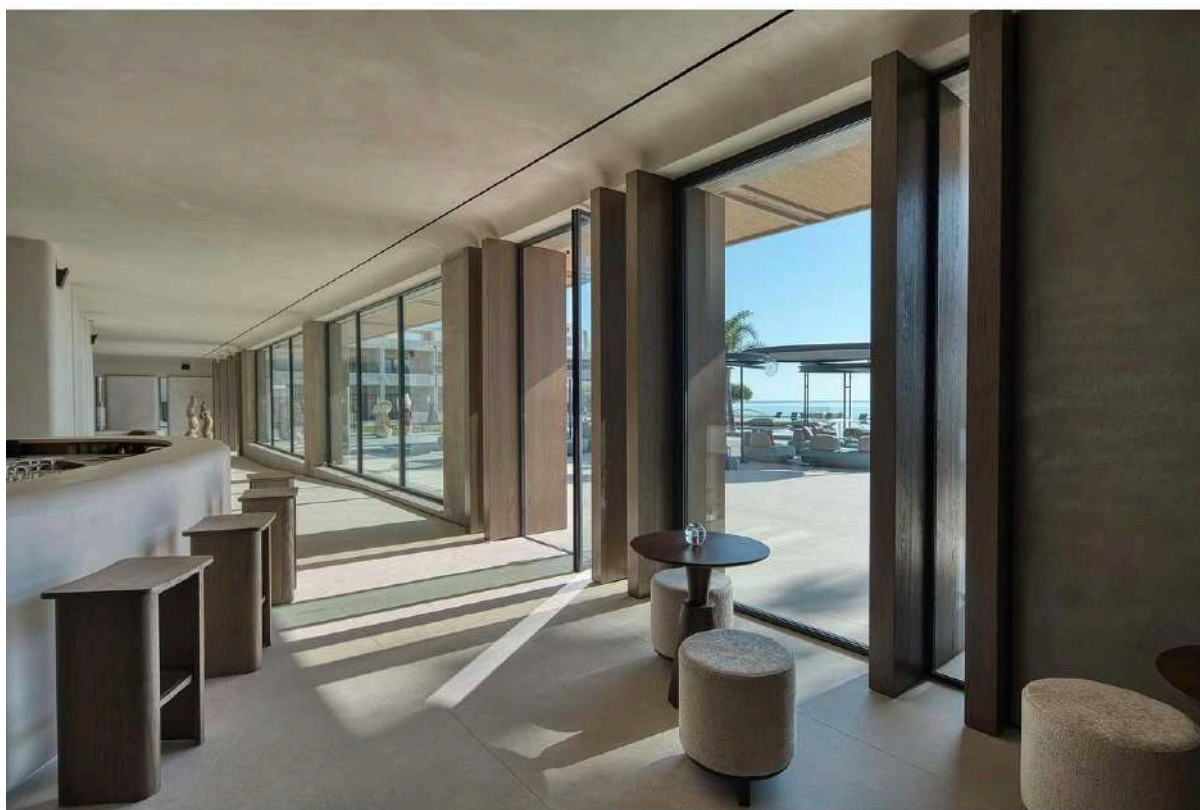
Ιδιαίτερο τεχνικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μεγάλες διαστάσεις των κατασκευών. Ενδεικτικά, στο έργο περιλαμβάνονται pivot φύλλα διαστάσεων περίπου 1600×3386 mm, καθώς και τετράφυλλο συρόμενο σύστημα συνολικού ανοίγματος περίπου 8700×3150 mm.

Οι μεγάλες επιφάνειες υάλωσης και η παραθαλάσσια θέση του έργου δημιούργησαν αυξημένες απαιτήσεις ως προς:

- τη θερμομονωτική απόδοση των συστημάτων,
- την αντοχή σε ανεμοπίεση και υγρασία,
- τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας,
- τη στεγανότητα και τη λειτουργικότητα των κουφωμάτων.

Για την κάλυψη των απαιτήσεων του έργου χρησιμοποιήθηκαν θερμοδιακοπόμενα συστήματα αλουμινίου και ενεργειακοί υαλοπίνακες τύπου solar control με πλήρωση αργού, οι οποίοι συνδυάζουν υψηλή διαπερατότητα φυσικού φωτισμού με περιορισμό των ηλιακών κερδών και βελτιωμένη θερμομονωτική και ακουστική συμπεριφορά.

Η επιλογή του συγκεκριμένου έργου ως μελέτη περίπτωσης πραγματοποιήθηκε λόγω της τεχνικής πολυπλοκότητας των κατασκευών, της χρήσης minimal συστημάτων μεγάλων διαστάσεων και της δυνατότητας σύνδεσης των θεωρητικών αρχών που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια με πραγματικές συνθήκες μελέτης και υλοποίησης έργου.



Σχήμα 4.1: Γενική άποψη του χώρου restaurant-lobby μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης κουφωμάτων αλουμινίου.

4.2 Απαιτήσεις πελάτη και τεχνικές προδιαγραφές

Το έργο παρουσίαζε αυξημένες αρχιτεκτονικές και τεχνικές απαιτήσεις λόγω της χρήσης του ως χώρου lobby και εστίασης υψηλών προδιαγραφών σε παραθαλάσσιο συγκρότημα resort χαρακτήρα. Η επιλογή των συστημάτων κουφωμάτων έπρεπε να ικανοποιεί ταυτόχρονα απαιτήσεις αισθητικής, λειτουργικότητας, ενεργειακής απόδοσης και κατασκευαστικής ακρίβειας.

Η μελέτη των κουφωμάτων πραγματοποιήθηκε με βάση τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του έργου, τις μεγάλες επιφάνειες υάλωσης και τη minimal αρχιτεκτονική προσέγγιση του χώρου.

4.2.1 Αρχιτεκτονικές απαιτήσεις

Βασική απαίτηση της αρχιτεκτονικής μελέτης ήταν η δημιουργία ενιαίας οπτικής σύνδεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, με όσο το δυνατόν μικρότερη οπτική παρουσία των συστημάτων αλουμινίου.

Για τον λόγο αυτό ζητήθηκε η χρήση:

- minimal συρόμενων συστημάτων,
- κρυφών οδηγών δαπέδου,
- κρυφών κασωμάτων και περιμετρικών πλαισίων,
- μεγάλων σταθερών υαλώσεων,
- pivot κατασκευών μεγάλων διαστάσεων.

Η συνολική αρχιτεκτονική σύνθεση απαιτούσε υψηλό επίπεδο ακρίβειας τόσο στη μελέτη όσο και στην τοποθέτηση των συστημάτων, ώστε να επιτευχθεί η οπτική συνέχεια των επιφανειών και η πλήρης ενσωμάτωση των κουφωμάτων στο κτιριακό κέλυφος.

4.2.2 Απαιτήσεις διαστάσεων και μηχανικής αντοχής

Το έργο περιλάμβανε κατασκευές ιδιαίτερα μεγάλων διαστάσεων, γεγονός που δημιούργησε αυξημένες απαιτήσεις ως προς τη μηχανική αντοχή των συστημάτων και τη σωστή λειτουργία των μηχανισμών.

Ενδεικτικά, στο έργο χρησιμοποιήθηκαν:

Πίνακας 4.1 — Ενδεικτικές διαστάσεις pivot και συρόμενων συστημάτων του έργου

Τύπος συστήματος	Διαστάσεις
Pivot φύλλο	1600 × 3386 mm
Τετράφυλλο συρόμενο	8700 × 3150 mm
Συνδυασμός Pivot και Σταθερών Κουφωμάτων	7500 x 3355 mm

Οι μεγάλες διαστάσεις των ανοιγμάτων απαίτησαν:

- ενισχυμένα προφίλ αλουμινίου,
- μηχανισμούς κύλισης υψηλής αντοχής,
- ειδικούς pivot μηχανισμούς μεγάλου φορτίου,
- αυξημένη ακρίβεια ευθυγράμμισης κατά την τοποθέτηση.

Παράλληλα, το αυξημένο βάρος των υαλοπινάκων επηρέασε σημαντικά τη μελέτη των στηρίξεων, των ψευτόκασων και των υποδομών τοποθέτησης.

4.2.3 Ενεργειακές,ακουστικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις

Η παραθαλάσσια θέση του έργου και οι μεγάλες επιφάνειες υάλωσης δημιούργησαν αυξημένες απαιτήσεις ως προς:

- τη θερμομονωτική απόδοση των συστημάτων (U_w),
- τον περιορισμό της ηλιακής επιβάρυνσης (g),
- τη στεγανότητα έναντι αέρα και νερού,

- την αντοχή σε συνθήκες υγρασίας και θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Για την κάλυψη των απαιτήσεων αυτών επιλέχθηκαν θερμοδιακοπτόμενα συστήματα αλουμινίου πιστοποιημένα σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14351-1 (CEN, 2016), σε συνδυασμό με ενεργειακούς διπλούς υαλοπίνακες solar control. Όλα τα συστήματα συνοδεύονται από Δήλωση Επιδόσεων (Declaration of Performance — DoP), στην οποία τεκμηριώνονται οι δηλωμένες επιδόσεις τους σύμφωνα με τα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Θερμομονωτική απόδοση

Οι δηλωμένες τιμές θερμοπερατότητας των συστημάτων κυμαίνονται:

- $U_w = 1,254 - 1,597 \text{ W/m}^2\text{K}$ ανάλογα με τον τύπο κουφώματος

Οι τιμές αυτές εντάσσονται στην κατηγορία σύγχρονων θερμοδιακοπτόμενων συστημάτων υψηλής απόδοσης (βλ. Πίνακα 2.2) και πληρούν τις απαιτήσεις του KENAK (ΥΠΕΝ, 2017).

Ηλιακή συμπεριφορά υαλοπινάκων

Οι υαλοπίνακες solar control που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζουν:

- Ηλιακός συντελεστής: $g \approx 37\%$
- Φωτεινή διαπερατότητα: $TL \approx 69\%$

Ο συνδυασμός χαμηλού g και υψηλού TL επιτρέπει τη διατήρηση φυσικού φωτισμού με ταυτόχρονο περιορισμό της ηλιακής φόρτισης, σύμφωνα με τις αρχές που αναλύονται στην ενότητα 2.4.5.

Ακουστική απόδοση

Η ακουστική απόδοση των συστημάτων κυμαίνεται:

- $R_w = 38 - 40$ dB ανάλογα με τον τύπο κουφώματος

Οι τιμές αυτές καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις ακουστικής άνεσης για χώρο εστίασης και υποδοχής υψηλών προδιαγραφών, σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 717-1 (ISO, 2013) και την ανάλυση της ενότητας 2.3.2.

Αναλυτική παρουσίαση των πιστοποιημένων επιδόσεων κάθε συστήματος πραγματοποιείται στην ενότητα 4.4.5.

4.2.4 Απαιτήσεις τοποθέτησης και ενσωμάτωσης συστημάτων

Η εφαρμογή minimal συστημάτων με κρυφούς οδηγούς και κρυφά κασώματα δημιούργησε αυξημένες απαιτήσεις ως προς την ακρίβεια τοποθέτησης και τις κατασκευαστικές ανοχές του έργου.

Για την ορθή εγκατάσταση των συστημάτων απαιτήθηκαν:

- ακριβείς μετρήσεις των δομικών ανοιγμάτων,
- σωστή ευθυγράμμιση ψευτόκασων και οδηγών,
- πρόβλεψη απορροής υδάτων στους χωνευτούς οδηγούς,
- αυστηρός έλεγχος κατακορυφότητας και επιπεδότητας.

Η σωστή προετοιμασία των υποδομών τοποθέτησης αποτέλεσε κρίσιμο παράγοντα για τη λειτουργία και τη συνολική αισθητική του έργου, ιδιαίτερα λόγω των μεγάλων διαστάσεων και της minimal αρχιτεκτονικής προσέγγισης των συστημάτων.

4.3 Προετοιμασία και συλλογή μετρήσεων στο έργο

Η προετοιμασία και η συλλογή μετρήσεων αποτέλεσαν βασικό στάδιο πριν την οριστική μελέτη των κουφωμάτων, καθώς το έργο περιλάμβανε minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων με αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας.

Βασικός στόχος της διαδικασίας ήταν:

- η αποτύπωση των πραγματικών διαστάσεων των ανοιγμάτων,
- ο έλεγχος των κατασκευαστικών αποκλίσεων,
- η επιβεβαίωση των διαθέσιμων χώρων ενσωμάτωσης των συστημάτων,
- η συλλογή στοιχείων για τη μελέτη εφαρμογής.



Σχήμα 4.2: Πραγματική κατάσταση του χώρου πριν την εγκατάσταση των κουφωμάτων.

4.3.1 Αποτύπωση ανοιγμάτων και γεωμετρικός έλεγχος

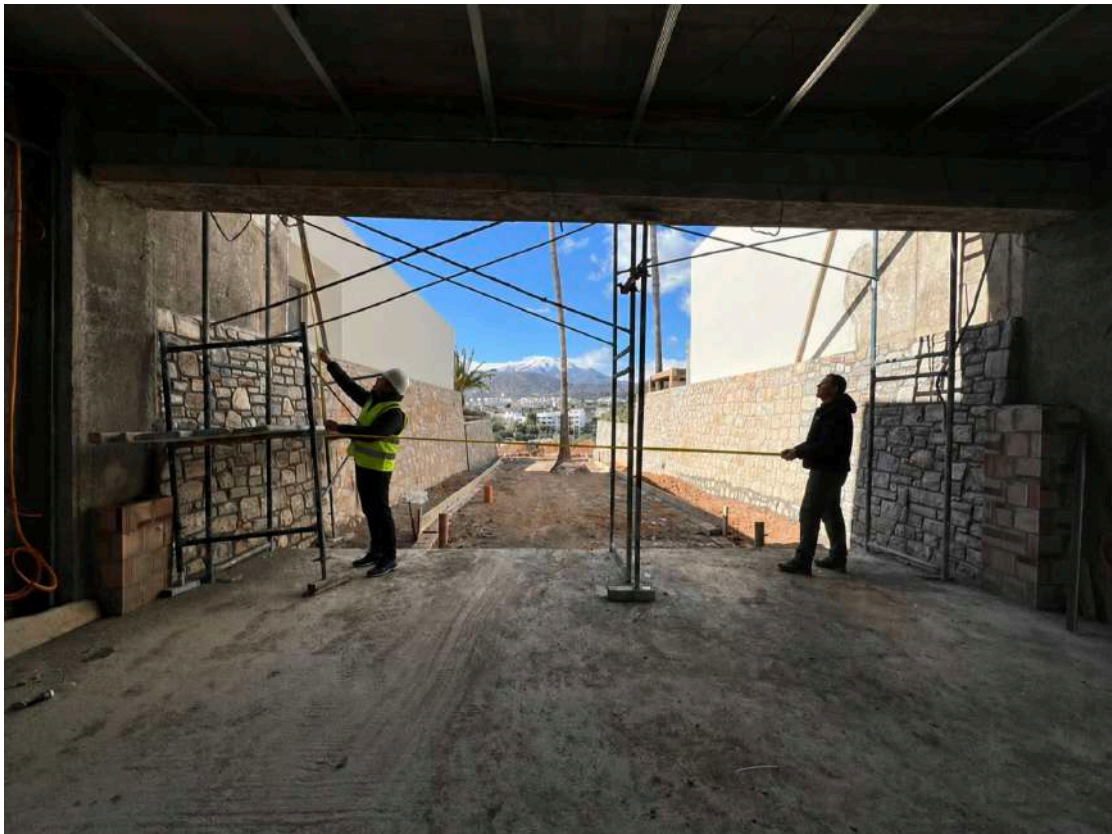
Κατά την πρώτη επίσκεψη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των βασικών ανοιγμάτων και έλεγχος των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων.

Οι εργασίες περιλάμβαναν:

- μέτρηση πλάτους και ύψους ανοιγμάτων,
- έλεγχο κατακορυφότητας στοιχείων σκυροδέματος,
- έλεγχο επιπεδότητας επιφανειών στήριξης,
- έλεγχο διαγωνίων και παραλληλίας,

- καταγραφή κατασκευαστικών αποκλίσεων.

Η διαδικασία αυτή ήταν ιδιαίτερα σημαντική λόγω των περιορισμένων ανοχών των minimal συστημάτων και των μεγάλων διαστάσεων των κουφωμάτων.



Σχήμα 4.3: Αποτύπωση ανοιγμάτων και έλεγχος γεωμετρικών αποκλίσεων.

4.3.2 Έλεγχος υψομέτρων και θέσεων οδηγών

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στον έλεγχο των τελικών υψομέτρων και στις περιοχές εγκατάστασης των χωνευτών οδηγών των συρόμενων συστημάτων.

Ο έλεγχος περιλάμβανε:

- στάθμες δαπέδων,
- διαθέσιμα βάθη χωνευτών οδηγών,
- σημεία απορροής υδάτων,
- συνεργασία κουφωμάτων με επενδύσεις δαπέδου.

Η σωστή διαμόρφωση των περιοχών αυτών ήταν κρίσιμη για:

- τη σωστή κύλιση των φύλλων,
- τη στεγανότητα των συστημάτων,
- την αισθητική ενσωμάτωση των οδηγών στο δάπεδο.



Σχήμα 4.4: Έλεγχος υψομέτρου τελικού δαπέδου με χρήση laser.

4.3.3 Καταγραφή στοιχείων για τη μελέτη εφαρμογής

Μετά την ολοκλήρωση της αυτοψίας πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και καταγραφή των δεδομένων που συλλέχθηκαν στο εργοτάξιο.

Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν:

- για την επιλογή των κατάλληλων συστημάτων,
- για την ανάπτυξη των σχεδίων εφαρμογής,

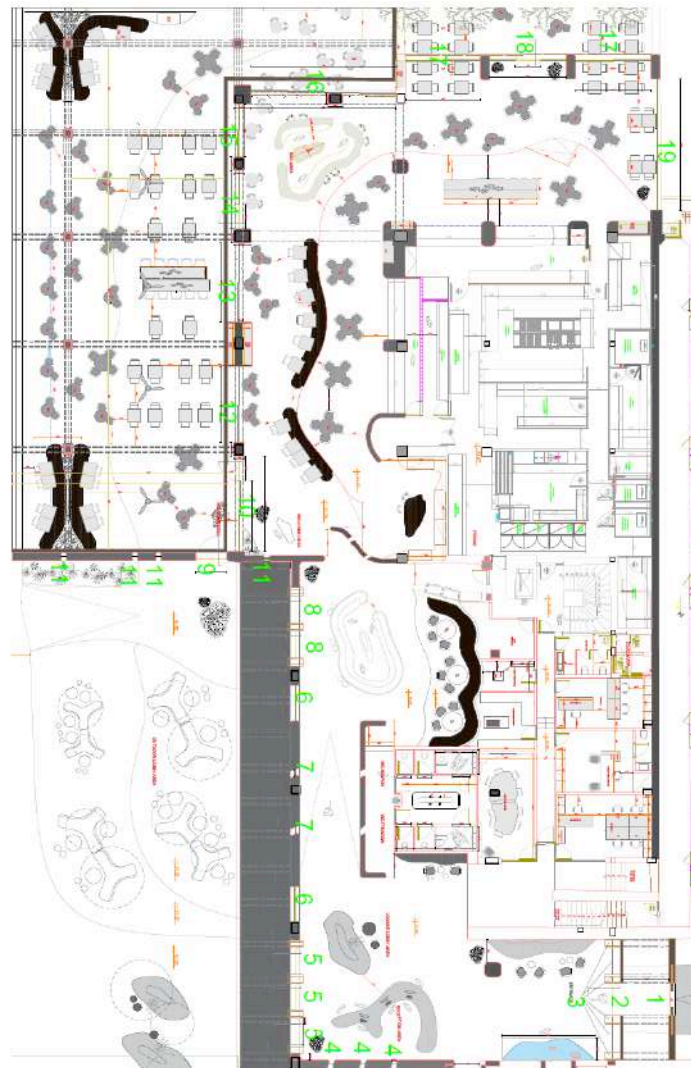
- για τον σχεδιασμό των ψευτόκασων και των υποδομών στήριξης,
- για τη σύνταξη της τεχνικής και οικονομικής προσφοράς.

Η ακρίβεια των αρχικών μετρήσεων αποτέλεσε βασικό παράγοντα για την ορθή μελέτη και την ομαλή εξέλιξη των επόμενων φάσεων του έργου.

4.4 Μελέτη και επιλογή συστημάτων κουφωμάτων

Η μελέτη των κουφωμάτων πραγματοποιήθηκε με βάση τις αρχιτεκτονικές κατόψεις του έργου και τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2.

Από τις κατόψεις του έργου προέκυψαν οι βασικές τυπολογίες κουφωμάτων και οι θέσεις εφαρμογής τους στον χώρο.



Σχήμα 4.5: Αρχιτεκτονική κάτοψη του χώρου με τις θέσεις εφαρμογής των κουφωμάτων.

Με βάση τις κατόψεις δημιουργήθηκε αναλυτικός πίνακας κουφωμάτων, στον οποίο καταγράφηκαν:

- οι κωδικοί των κουφωμάτων,
- οι διαστάσεις,
- οι τυπολογίες ανοίγματος,
- οι απαιτήσεις υάλωσης,
- οι βασικές τεχνικές απαιτήσεις κάθε ανοίγματος.

Πίνακας 4.2 — Πίνακας κουφωμάτων

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΥΦΩΜΑΤΩΝ - Hotel							
A/A	Κωδικός Βάση κάτοψης	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Ποσ.	Τύπος κουφώματος	Επιφάνεια μον. (m ²)	Συνολική επιφ. (m ²)
1	2-3	7524	3376	1	Σύνθεση σταθερό + pivot + σταθερό	25,40	25,40
2	5	1635	3386	3	Μονό φύλλο pivot	5,54	16,61
3	8	1635	3016	2	Μονό φύλλο pivot	4,93	9,86
4	9	1835	3016	1	Μονό φύλλο pivot	5,53	5,53
5	10	4229	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	13,32	13,32
6	10	1601	3067	1	Μονό φύλλο pivot	4,91	4,91

7	12	4731	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	14,90	14,90
8	13	4951	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	15,60	15,60
9	14	3485	3016	1	Σύνθεση ρίντο + σταθερό	10,51	10,51
10	15	3491	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	11,00	11,00
11	16	8701	3150	1	Τετράφυλλο συρόμενο	27,41	27,41
12	17	4541	2850	1	Δίφυλλο συρόμενο	12,94	12,94
13	17	4541	2850	1	Δίφυλλο συρόμενο	12,94	12,94
14	18	4425	2716	1	Σύνθεση σταθερό + ρίντο + σταθερό	12,02	12,02
15	19	6986	2425	1	Τρίφυλλη σταθερή σύνθεση	16,94	16,94
ΣΥΝΟΛΑ							190,03

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επιλογή των συστημάτων αλουμινίου και η ανάπτυξη της μελέτης εφαρμογής για κάθε κατηγορία κουφώματος του έργου.

4.4.1 Minimal συρόμενα συστήματα

Επιλογή συστήματος

Για τα συρόμενα συστήματα του έργου επιλέχθηκαν minimal συρόμενα συστήματα με χωνευτούς οδηγούς και κρυφά περιμετρικά κασώματα, ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις του έργου ως προς:

- τη minimal αισθητική και τη μεγιστοποίηση των επιφανειών υάλωσης,
- τη θερμομονωτική απόδοση,
- τη δυνατότητα κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων,
- τη χρήση hidden drainage σης σε παραθαλάσσιο περιβάλλον.

Το μεγαλύτερο συρόμενο σύστημα του έργου σχεδιάστηκε ως τετράφυλλη κατασκευή συνολικών διαστάσεων περίπου 8700×3150 mm, αποτελώντας ένα από τα πιο απαιτητικά ανοίγματα του έργου από πλευράς μηχανικής αντοχής και λειτουργικότητας.

Πιστοποιημένες επιδόσεις

Οι δηλωμένες επιδόσεις των συρόμενων συστημάτων τεκμηριώνονται μέσω Δήλωσης Επιδόσεων (DoP) σύμφωνα με το πρότυπο EN 14351-1 (CEN, 2016). Για το δίφυλλο συρόμενο σύστημα αναφοράς (διαστάσεων 3491×3150 mm) οι δηλωμένες επιδόσεις είναι:

- Αεροπερατότητα: **Κλάση 4** (EN 12207) — υψηλότερη κατηγορία, ελάχιστη διαρροή αέρα
- Υδατοστεγανότητα: **Κλάση 7A** (EN 12208) — αντοχή έως 300 Pa, κατάλληλη για παραθαλάσσιο περιβάλλον
- Αντοχή σε ανεμοπίεση: **Κλάση B4** (EN 12210) — αντοχή έως 1600 Pa
- Θερμοπερατότητα: **$U_w = 1,539 \text{ W/m}^2\text{K}$** (EN ISO 10077)
- Ακουστική απόδοση: **$R_w = 38 \text{ dB}$** (EN ISO 717-1)

Οι επιδόσεις αυτές συνδέονται άμεσα με τις κατηγορίες αξιολόγησης που αναλύονται στις ενότητες 2.3.1 έως 2.3.5, επιβεβαιώνοντας την καταλληλότητα του συστήματος για έργο παραθαλάσσιου χαρακτήρα με αυξημένες απαιτήσεις.

CE		
24		
NP EN 14351-1:2006+A2:2019		
Sistema EXP 36 HR		
2-leaf window		
Company		
Morada		
3750-753 Travassô		
Nº Obra P20246001		
Work Hotel		
Frame(s)	v9	Width 3 491 mm Height 3 150 mm
Wind resistance - test pressure	Classe B4	
Water tightness - not protected	Classe 7A	
Air permeability	Classe 4	
Thermal transmittance	1,539 w/m2.k	
Acoustic performance	38 dB	
Solar Factor	36,977 %	
Light Transmittance Factor	68,95 %	
Doc.01-V0		

Σχήμα 4.6: CE δίφυλλου συρόμενου συστήματος

- Για το τετράφυλλο συρόμενο σύστημα μεγαλύτερων διαστάσεων (8700×3150 mm), οι επιδόσεις αεροπερατότητας, υδατοστεγανότητας και ανεμοπίεσης εμφανίζονται στη διαθέσιμη Δήλωση Επιδόσεων ως NPD (No Performance Determined). Ωστόσο, οι θερμομονωτικές και ακουστικές επιδόσεις του συστήματος τεκμηριώνονται μέσω των δηλωμένων τιμών U_w και R_w .
- Τετράφυλλο (8700×3150 mm): $U_w = 1,460 \text{ W/m}^2\text{K}$, $R_w = 38 \text{ dB}$

CE		
24		
NP EN 14351-1:2006+A2:2019		
Sistema EXP 36 HR 4-leaf window		
Company		
Morada		
3750-753 Travassô		
Nº Obra P20246001		
Work Hotel		
Frame(s)	v10	Width 8 701 mm Height 3 150 mm
Wind resistance - test pressure		
NPD		
Water tightness - not protected		
NPD		
Air permeability		
NPD		
Thermal transmittance		
1,460 w/m2.k		
Acoustic performance		
38 dB		
Solar Factor		
36,991 %		
Light Transmittance Factor		
68,98 %		
Doc.01-V0		

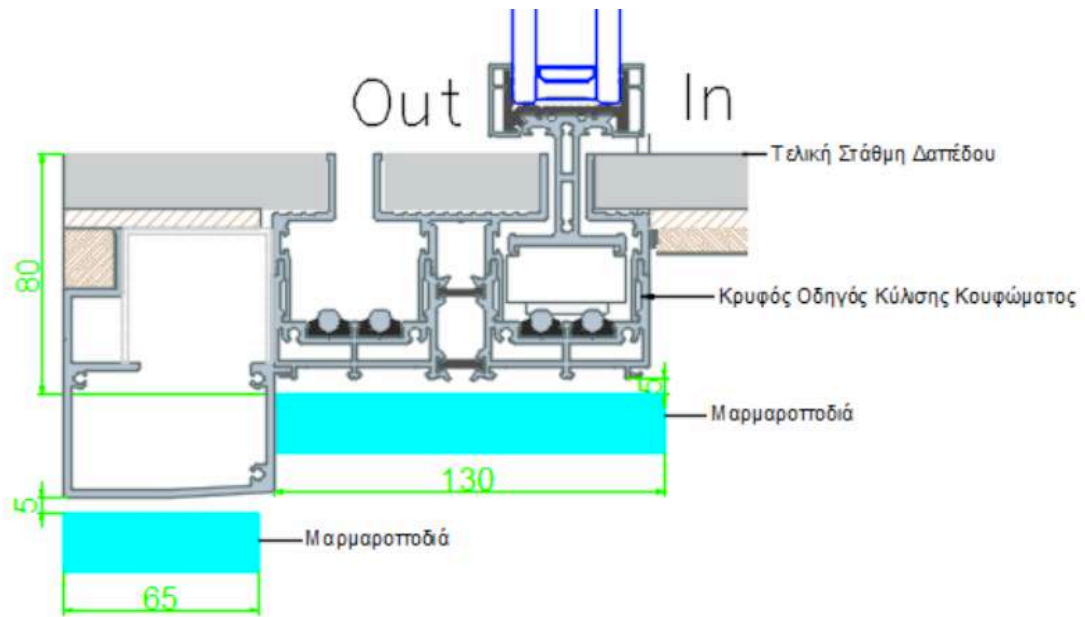
Σχήμα 4.7: CE τετράφυλλου συρόμενου συστήματος με μεγάλες διαστάσεις

Σχέδια εφαρμογής

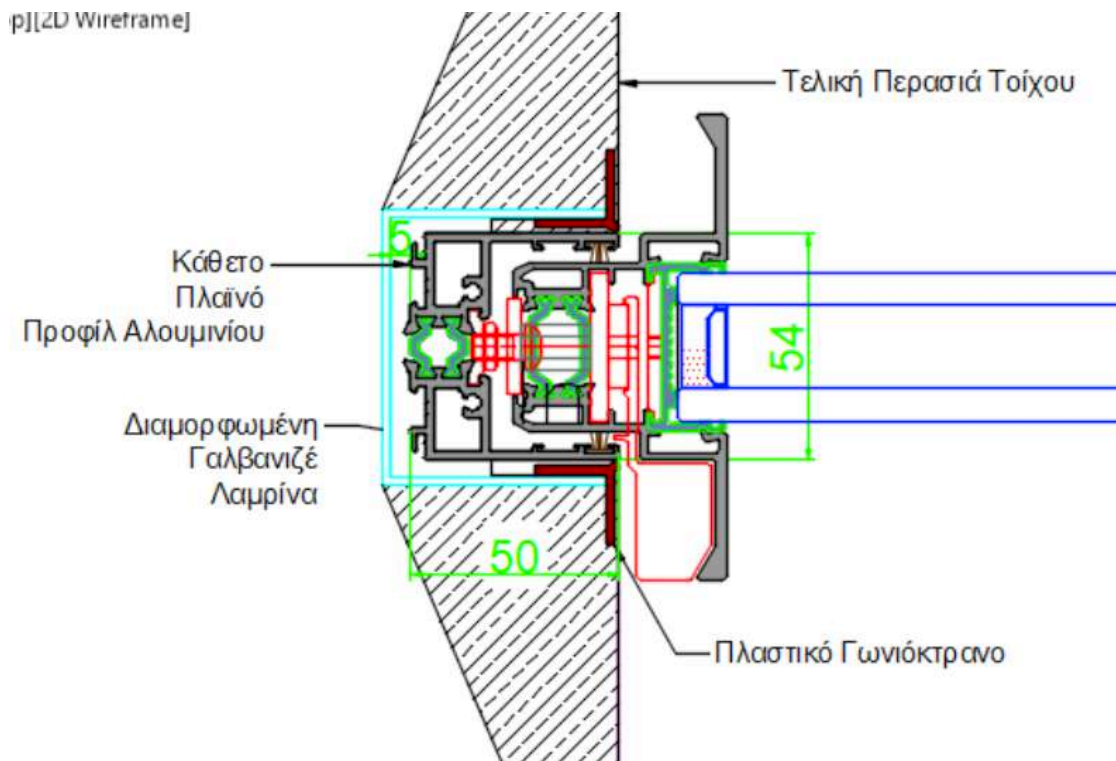
Μετά την επιλογή του συστήματος αναπτύχθηκαν τα σχέδια εφαρμογής των συρόμενων κατασκευών. Η μελέτη εφαρμογής περιλάμβανε:

- λεπτομέρειες χωνευτών οδηγών,
- περιμετρικά hidden frames,
- λεπτομέρειες απορροής υδάτων,
- λεπτομέρειες ψευτόκασων,
- συνεργασία με ξύλινες επενδύσεις και δάπεδα.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις κατασκευαστικές ανοχές, στην ευθυγράμμιση των οδηγών, στις στάθμες δαπέδου και στη δυνατότητα κρυφών οδηγών κύλισης.



Σχήμα 4.8: Κάθετη τομή Διφ. Συρόμενου Κουφώματος, Λεπτομέρεια Οδηγού Δαπέδου με κρυφή απορροή υδάτων.



Σχήμα 4.9: Κάθετη τομή Συρόμενου Κουφώματος, Λεπτομέρεια πλαϊνού προφίλ κρυμμένο στην τοιχοποιία.

4.4.2 Pivot συστήματα

Επιλογή συστήματος

Σε επιλεγμένα ανοίγματα του έργου εφαρμόστηκαν pivot συστήματα μεγάλων διαστάσεων, με στόχο τη διατήρηση της minimal αισθητικής και τη δημιουργία ενιαίας αρχιτεκτονικής εικόνας. Οι pivot κατασκευές του έργου είχαν διαστάσεις περίπου 1600×3386 mm, αποτελώντας ιδιαίτερα απαιτητικές κατασκευές λόγω του αυξημένου βάρους του φύλλου και των μεγάλων φορτίων που ασκούνται στους pivot μηχανισμούς.

Κατά την επιλογή του συστήματος αξιολογήθηκαν:

- η δυνατότητα κατασκευής μεγάλων φύλλων,
- τα επιτρεπόμενα φορτία των pivot μηχανισμών,
- η σταθερότητα λειτουργίας υπό συνθήκες καθημερινής και έντονης χρήσης,
- η αισθητική ενσωμάτωση με τα σταθερά στοιχεία και τα συρόμενα συστήματα του έργου,
- η καταλληλότητα για παραθαλάσσιο περιβάλλον.

Πιστοποιημένες επιδόσεις

Οι δηλωμένες επιδόσεις του pivot συστήματος τεκμηριώνονται μέσω Δήλωσης Επιδόσεων (DoP) σύμφωνα με το πρότυπο EN 14351-1 (CEN, 2016). Για το μονόφυλλο pivot (διαστάσεων 1635×3386 mm) οι δηλωμένες επιδόσεις είναι:

- Αεροπερατότητα: **Κλάση 4** (EN 12207) — υψηλότερη κατηγορία, ελάχιστη διαρροή αέρα
- Υδατοστεγανότητα: **Κλάση 7A** (EN 12208) — αντοχή έως 300 Pa, κατάλληλη για παραθαλάσσιο περιβάλλον
- Αντοχή σε ανεμοπίεση: **Κλάση B4** (EN 12210) — αντοχή έως 1600 Pa
- Θερμοπερατότητα: **$U_w = 1,254 \text{ W/m}^2\text{K}$** (EN ISO 10077) — χαμηλότερη τιμή όλων των συστημάτων του έργου
- Ακουστική απόδοση: **$R_w = 38 \text{ dB}$** (EN ISO 717-1)

- Ηλιακός συντελεστής: $g = 36,651\%$
- Φωτεινή διαπερατότητα: $TL = 68,224\%$

Το ρίνοτ σύστημα παρουσιάζει την καλύτερη δηλωμένη θερμομονωτική απόδοση μεταξύ των συστημάτων του έργου ($U_w = 1,254 \text{ W/m}^2\text{K}$). Η τιμή αυτή σχετίζεται με τον συνδυασμό της γεωμετρίας του συγκεκριμένου κουφώματος, των χαρακτηριστικών του πλαισίου και της επιλεγμένης υάλωσης, σύμφωνα με την αρχή υπολογισμού του U_w που αναλύεται στην ενότητα 2.3.1.

CE		
24		
NP EN 14351-1:2006+A2:2019		
Sistema EXP-PIV 1-leaf window		
Company		
Morada		
3750-753 Travassô		
Nº Obra P20246001		
Work Hotel		
Frame(s)	v1	Width 1 635 mm Height 3 386 mm
Wind resistance - test pressure		
Classe B4		
Water tightness - not protected		
Classe 7A		
Air permeability		
Classe 4		
Thermal transmittance		
1,254 w/m2.k		
Acoustic performance		
38 dB		
Solar Factor		
36,651 %		
Light Transmittance Factor		
68,224 %		
Doc.01-V0		

Σχήμα 4.10: CE Μονόφυλλου Pivot

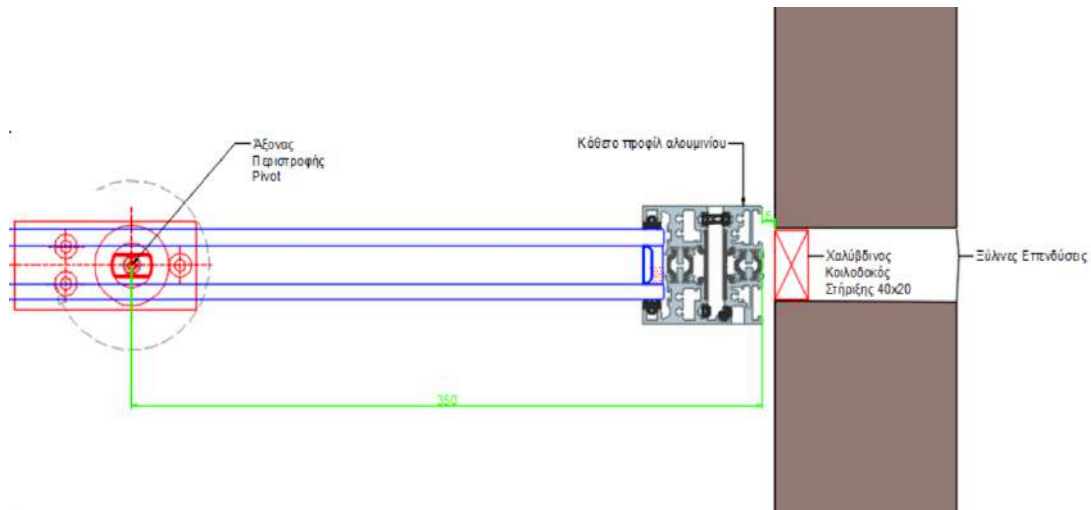
Σχέδια εφαρμογής

Μετά την επιλογή του συστήματος αναπτύχθηκαν οι λεπτομέρειες εφαρμογής των ρίνοτ κατασκευών. Η μελέτη εφαρμογής περιλάμβανε:

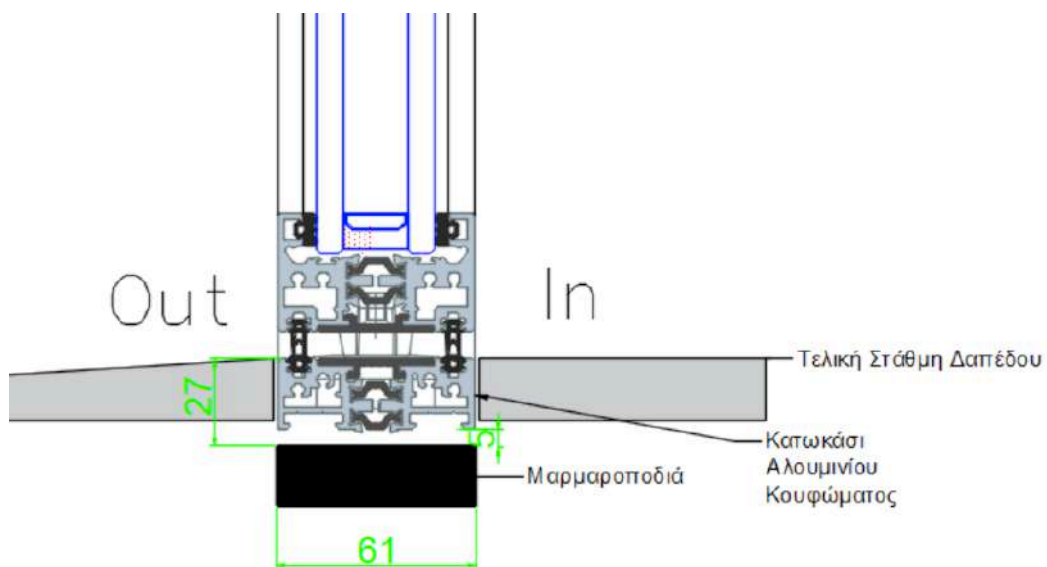
- λεπτομέρειες στήριξης ρίνοτ μηχανισμών άνω και κάτω,
- ενσωμάτωση hidden frame,
- συνεργασία ρίνοτ φύλλων με σταθερές υαλώσεις,

- λεπτομέρειες στεγάνωσης και απορροής υδάτων.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις ανοχές τοποθέτησης, στην ευθυγράμμιση των ρινοτ αξόνων και στη στήριξη των μεγάλων φύλλων λόγω του αυξημένου βάρους των κατασκευών.



Σχήμα 4.11: Οριζόντια τομή Pivot Κουφώματος, Λεπτομέρεια πλαϊνού προφίλ και άξονα περιστροφής



Σχήμα 4.12: Κάθετη τομή Pivot Κουφώματος, Λεπτομέρεια κατωκάσιου αλουμινίου.

4.4.3 Συνδυασμός σταθερής υάλωσης και ρίνοτ κατασκευών

Επιλογή συστήματος

Σε ορισμένα ανοίγματα του έργου εφαρμόστηκε συνδυασμός σταθερών υαλώσεων και ρίνοτ φύλλων, ώστε να διατηρηθεί η ενιαία αισθητική των μεγάλων υαλώσεων και παράλληλα να εξασφαλιστεί η λειτουργικότητα των εισόδων. Οι κατασκευές αυτές είχαν συνολικές διαστάσεις περίπου 4425×2695 mm και αποτελούνταν από τρία στοιχεία — ένα κινητό ρίνοτ φύλλο και δύο σταθερές υαλώσεις — διαμορφώνοντας ενιαία συνεχή επιφάνεια υάλωσης.

Η επιλογή της συγκεκριμένης λύσης πραγματοποιήθηκε λόγω:

- των μεγάλων διαστάσεων των ανοιγμάτων και της ανάγκης περιορισμού των εμφανών διατομών,
- της επιθυμίας δημιουργίας συνεχόμενων επιφανειών υάλωσης με ελάχιστη οπτική διακοπή,
- της λειτουργικής απαίτησης για άνοιγμα εισόδου με ταυτόχρονη διατήρηση της minimal αισθητικής.

Κατά τη μελέτη αξιολογήθηκαν ιδιαίτερα:

- η συνεργασία κινητών και σταθερών στοιχείων στο ίδιο σύστημα,
- οι απαιτήσεις στεγάνωσης στις ενώσεις μεταξύ ρίνοτ και σταθερών στοιχείων,
- οι λεπτομέρειες σύνδεσης των συστημάτων και στήριξης των μεγάλων υαλοπινάκων,
- η αισθητική συνέχεια με τα υπόλοιπα συστήματα του έργου.

Πιστοποιημένες επιδόσεις

Οι δηλωμένες επιδόσεις του συνδυαστικού συστήματος τεκμηριώνονται μέσω Δήλωσης Επιδόσεων (DoP) σύμφωνα με το πρότυπο EN 14351-1 (CEN, 2016). Οι δηλωμένες επιδόσεις είναι:

- Αεροπερατότητα: **Κλάση 4** (EN 12207) — υψηλότερη κατηγορία, ελάχιστη διαρροή αέρα
- Υδατοστεγανότητα: **Κλάση 7A** (EN 12208) — αντοχή έως 300 Pa, κατάλληλη για παραθαλάσσιο περιβάλλον
- Αντοχή σε ανεμοπίεση: **Κλάση B4** (EN 12210) — αντοχή έως 1600 Pa
- Θερμοπερατότητα: **$U_w = 1,597 \text{ W/m}^2\text{K}$** (EN ISO 10077)
- Ακουστική απόδοση: **$R_w = 38 \text{ dB}$** (EN ISO 717-1)
- Ηλιακός συντελεστής: **$g = 36,845\%$**
- Φωτεινή διαπερατότητα: **$TL = 68,655\%$**

Η υψηλότερη τιμή U_w σε σχέση με το μονόφυλλο pivot (1,597 έναντι 1,254 $\text{W/m}^2\text{K}$) οφείλεται στη μεγαλύτερη αναλογία πλαισίου προς υάλωση που προκύπτει από τον συνδυασμό των δύο τύπων στοιχείων στο ίδιο άνοιγμα, σύμφωνα με την αρχή υπολογισμού του U_w που αναλύεται στην ενότητα 2.3.1.

CE		
24		
NP EN 14351-1:2006+A2:2019		
Sistema EXP-PIV 3-leaf window		
Company		
Morada		
3750-753 Travassô		
Nº Obra P20246001		
Work Hotel		
Frame(s)	v13	Width 4 425 mm Height 2 695 mm
Wind resistance - test pressure		Calculos
Water tightness - not protected		Classe 7A
Air permeability		Classe 4
Thermal transmittance		1,597 w/m2.k
Acoustic performance		38 dB
Solar Factor		36,845 %
Light Transmittance Factor		68,655 %
Doc.01-V		

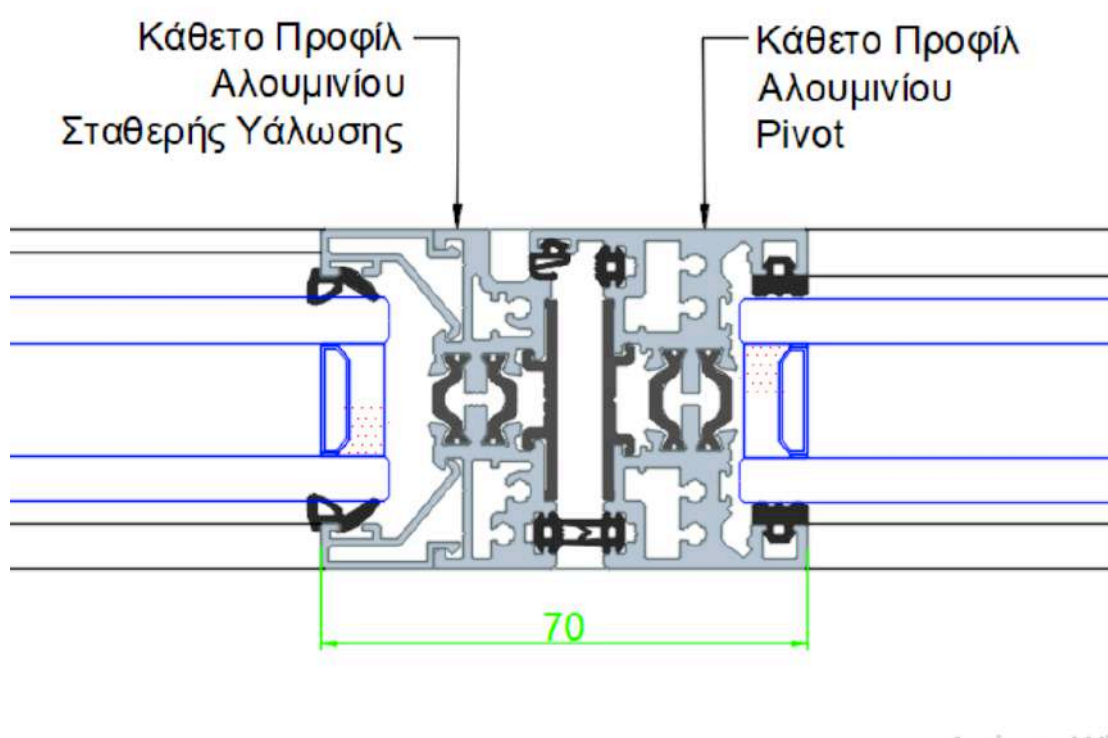
Σχήμα 4.13: CE Σύνθεσης Σταθερών και Pivot

Σχέδια εφαρμογής

Η μελέτη εφαρμογής του συνδυαστικού συστήματος περιλάμβανε:

- λεπτομέρειες σύνδεσης σταθερών και κινητών στοιχείων,
- λεπτομέρειες στεγάνωσης στις ενώσεις,
- hidden frame περιμετρικά,
- σημεία στήριξης των μεγάλων υαλοπινάκων,
- συνεργασία με τις ξύλινες επενδύσεις του έργου.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη συνέχεια των επιφανειών υάλωσης μεταξύ κινητού και σταθερών στοιχείων, καθώς η ελάχιστη οπτική διακοπή αποτελούσε βασική αρχιτεκτονική απαίτηση του έργου.



**Σχήμα 4.14: Κάθετη τομή κουφώματος σύνθεσης Σταθερών και Pivot, Λεπτομέρεια σύνδεσης
κάθετων ορατών προφίλ σύνδεσης των φύλλων**

4.4.4 Μεγάλες σταθερές υαλώσεις

Επιλογή συστήματος

Στο έργο εφαρμόστηκαν επίσης μεγάλες σταθερές υαλώσεις με minimal περιμετρικές διατομές, με στόχο τη μεγιστοποίηση της διαφάνειας και του φυσικού φωτισμού του χώρου. Οι κατασκευές αυτές είχαν συνολικές διαστάσεις περίπου 6986 × 2425 mm, αποτελώντας τις μεγαλύτερες σταθερές επιφάνειες υάλωσης του έργου.

Κατά την επιλογή του συστήματος αξιολογήθηκαν:

- οι δυνατότητες κάλυψης μεγάλων επιφανειών με minimal εμφανή διατομή,
- τα φορτία των υαλοπινάκων και οι απαιτήσεις στήριξης,
- η συνεργασία με τα υπόλοιπα συστήματα του έργου,
- οι απαιτήσεις θερμομόνωσης και ηχομόνωσης,
- η καταλληλότητα για παραθαλάσσιο περιβάλλον.

Πιστοποιημένες επιδόσεις

Οι δηλωμένες επιδόσεις της σταθερής υάλωσης τεκμηριώνονται μέσω Δήλωσης Επιδόσεων (DoP) σύμφωνα με το πρότυπο EN 14351-1 (CEN, 2016). Οι δηλωμένες επιδόσεις είναι:

- Αεροπερατότητα: **Κλάση 4** (EN 12207)
- Υδατοστεγανότητα: **Κλάση 7A** (EN 12208) — αντοχή έως 300 Pa
- Αντοχή σε ανεμοπίεση: **Κλάση B4** (EN 12210) — αντοχή έως 1600 Pa
- Θερμοπερατότητα: **$U_w = 1,303 \text{ W/m}^2\text{K}$** (EN ISO 10077)
- Ακουστική απόδοση: **$R_w = 40 \text{ dB}$** (EN ISO 717-1)
- Ηλιακός συντελεστής: **$g = 36,836\%$**
- Φωτεινή διαπερατότητα: **$TL = 68,592\%$**

Αξίζει να επισημανθούν δύο στοιχεία που διαφοροποιούν τη σταθερή υάλωση από τα υπόλοιπα συστήματα του έργου. Πρώτον, η θερμοπερατότητα $U_w = 1,303 \text{ W/m}^2\text{K}$ αποτελεί τη δεύτερη καλύτερη τιμή μετά το μονόφυλλο pínovt, γεγονός που οφείλεται

στην ελάχιστη αναλογία πλαισίου προς υάλωση που χαρακτηρίζει τις σταθερές κατασκευές, σύμφωνα με τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενότητας 2.3.1. Δεύτερον, η ακουστική απόδοση $R_w = 40$ dB είναι η υψηλότερη μεταξύ όλων των συστημάτων του έργου, καθώς η απουσία κινητών μηχανισμών και αρμών εξασφαλίζει βέλτιστη αεροστεγανότητα και κατά συνέπεια βέλτιστη ηχομονωτική συμπεριφορά, σύμφωνα με τις αρχές που αναλύονται στην ενότητα 2.3.2.

CE			
24			
NP EN 14351-1:2006+A2:2019			
Sistema EXP-X 3-leaf window			
Company			
Morada			
3750-753 Travassô			
Nº Obra P20246001			
Work Hotel			
Frame(s)	v14	Width	6 986 mm
		Height	2 425 mm
Wind resistance - test pressure		NPD	
Water tightness - not protected		NPD	
Air permeability		NPD	
Thermal transmittance		1,303 w/m2.k	
Acoustic performance		40 dB	
Solar Factor		36,836 %	
Light Transmittance Factor		68,592 %	
Doc.01-V0			

Σχήμα 4.15: CE Σύνθεσης Σταθερών Κουφωμάτων

4.5 Σύνταξη προσφοράς και κοστολόγηση

Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης εφαρμογής και την οριστικοποίηση των συστημάτων του έργου, πραγματοποιήθηκε η σύνταξη της τεχνικής και οικονομικής προσφοράς.

Η διαδικασία κοστολόγησης βασίστηκε:

- στον τελικό πίνακα κουφωμάτων,
- στις διαστάσεις και τις τυπολογίες των συστημάτων,
- στα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων συστημάτων,
- στις απαιτήσεις υάλωσης,

- στις ειδικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες του έργου.

ΕΝΔ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ										
Έργο: Hotel										
A/A	Θέση	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Ποσ.	Περιγραφή	μ²/τεμ.	Συνολ. μ²	Ενδ. τιμή €/μ²	Κόστος προ ΦΠΑ	Παρατήρηση
1	2-3	7524	3376	1	Σύνθεση 1 σταθερό + pivot + σταθερό	25,40	25,40	810 €	20.575 €	Ειδική σύνθεση
2	5A-B-C	1635	3386	3	Μονό φύλλο pivot	5,54	16,61	690 €	11.460 €	3 όμοια τεμάχια
3	8A-B	1635	3016	2	Μονό φύλλο pivot	4,93	9,86	690 €	6.805 €	2 όμοια τεμάχια
4	9	1835	3016	1	Μονό φύλλο pivot	5,53	5,53	690 €	3.819 €	
5	10A	4229	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	13,32	13,32	790 €	10.524 €	
6	10B	1601	3067	1	Μονό φύλλο pivot	4,91	4,91	690 €	3.388 €	
7	12	4731	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	14,90	14,90	790 €	11.773 €	
8	13	4951	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	15,60	15,60	790 €	12.321 €	
9	14	3485	3016	1	Σύνθεση pivot + σταθερό	10,51	10,51	690 €	7.252 €	
10	15	3491	3150	1	Δίφυλλο συρόμενο	11,00	11,00	790 €	8.687 €	
11	16	8701	3150	1	Τετράφυλλο συρόμενο	27,41	27,41	790 €	21.652 €	Μεγάλο άνοιγμα
12	17A	4541	2850	1	Δίφυλλο συρόμενο	12,94	12,94	790 €	10.224 €	
13	17B	4541	2850	1	Δίφυλλο συρόμενο	12,94	12,94	790 €	10.224 €	
14	18	4425	2716	1	Σύνθεση 1 σταθερό + pivot + σταθερό	12,02	12,02	690 €	8.293 €	
15	19	6986	2425	1	Τρίφυλλη 1 σταθερή σύνθεση	16,94	16,94	850 €	14.400 €	
ΣΥΝΟΛΑ				18			209,89		161.397 €	

Σχήμα 4.16: Ενδεικτικός πίνακας κουφωμάτων και στοιχείων κοστολόγησης.

Η κοστολόγηση των κουφωμάτων πραγματοποιήθηκε ανά κατασκευή και περιλάμβανε:

- προφίλ αλουμινίου,
- μηχανισμούς και εξαρτήματα,
- υαλοπίνακες,
- επιφανειακές επεξεργασίες,
- ειδικές κατασκευές και custom λεπτομέρειες,
- μεταφορές και τοποθέτηση.

Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στις κατασκευές μεγάλων διαστάσεων, καθώς οι απαιτήσεις μηχανικής αντοχής και τα αυξημένα βάρη υάλωσης επηρέαζαν σημαντικά το συνολικό κόστος των συστημάτων.

Κατά τη σύνταξη της προσφοράς λήφθηκαν επίσης υπόψη:

- οι απαιτήσεις hidden frame εφαρμογών,
- οι χωνευτοί οδηγοί και τα συστήματα κρυφών οδηγών κύλισης,
- οι custom made ξύλινες επενδύσεις,
- οι απαιτήσεις προανοδίωσης και τελικής ανοδίωσης,
- οι δυσκολίες μεταφοράς και εγκατάστασης των μεγάλων υαλοπινάκων.

Οι παράγοντες αυτοί επηρέασαν σημαντικά τόσο την τεχνική μελέτη όσο και τον συνολικό προγραμματισμό του έργου.

Μετά την ολοκλήρωση της οικονομικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε η υποβολή της τεχνικής και οικονομικής προσφοράς προς τον πελάτη, συνοδευόμενη από:

- σχέδια εφαρμογής,
- τεχνικά χαρακτηριστικά συστημάτων,
- πιστοποιήσεις,
- τεχνικές προδιαγραφές υαλοπινάκων,
- χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του έργου.

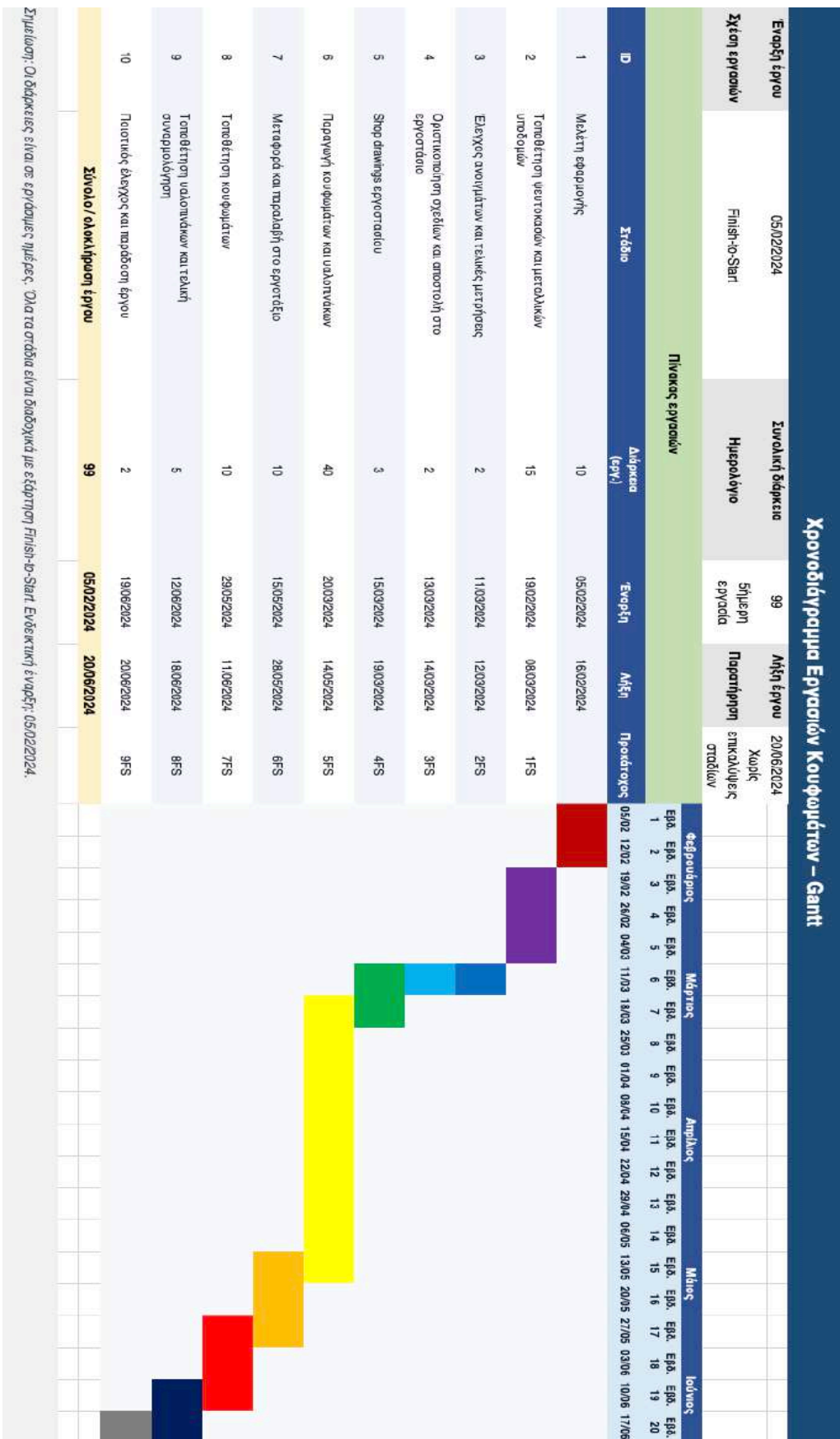
Μετά την αποδοχή της προσφοράς ξεκίνησε η διαδικασία οριστικοποίησης των κατασκευών και προετοιμασίας για παραγωγή.

4.6 Οργάνωση εργοταξίου και προγραμματισμός εργασιών

Για την υλοποίηση του έργου οργανώθηκε συγκεκριμένη αλληλουχία εργασιών, με στόχο τον σωστό συντονισμό των συνεργειών, την ομαλή εξέλιξη της παραγωγής και την έγκαιρη ολοκλήρωση των εγκαταστάσεων.

Για την παρακολούθηση και οργάνωση των σταδίων του έργου χρησιμοποιήθηκε διάγραμμα Gantt, στο οποίο αποτυπώθηκαν η χρονική διάρκεια και η αλληλουχία των εργασιών.

Η ροή του έργου βασίστηκε σε διαδοχικά εξαρτώμενα στάδια, όπου κάθε επόμενο βήμα μπορούσε να ξεκινήσει μόνο μετά την ολοκλήρωση του προηγούμενου σταδίου.



Στάδιο 1 — Μελέτη εφαρμογής

Διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Ανάπτυξη σχεδίων εφαρμογής και τεχνικών λεπτομερειών του έργου.

Πίνακας εργασιών						Φεβρουάριος			
						Εβδ.	Εβδ.	Εβδ.	Εβδ.
						1	2	3	4
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	05/02	12/02	19/02	26/02
1	Μελέτη εφαρμογής	10	05/02/2024	16/02/2024					

Σχήμα 4.18: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Μελέτη εφαρμογής.

Στάδιο 2 — Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών

Διάρκεια: 15 εργάσιμες ημέρες

Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών στήριξης.

Πίνακας εργασιών						Φεβρουάριος		Μάρτιος	
						Εβδ.	Εβδ.	Εβδ.	Εβδ.
						3	4	5	6
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	19/02	26/02	04/03	11/03
2	Τοποθέτηση ψευτοκασών και μεταλλικών υποδομών	15	19/02/2024	08/03/2024	1FS				

Σχήμα 4.19: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών

Στάδιο 3 — Έλεγχος ανοιγμάτων και τελικές μετρήσεις

Διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Έλεγχος υψομέτρων, ανοιγμάτων και τελικών κατασκευαστικών ανοχών.

Πίνακας εργασιών						Μάρτιος		
						Εβδ. 6	Εβδ. 7	Εβδ. 8
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	11/03	18/03	25/03
3	Έλεγχος ανοιγμάτων και τελικές μετρήσεις	2	11/03/2024	12/03/2024	2FS			

Σχήμα 4.20: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Έλεγχος ανοιγμάτων και τελικές μετρήσεις

Στάδιο 4 — Οριστικοποίηση σχεδίων και αποστολή στο εργοστάσιο

Διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Ενημέρωση σχεδίων εφαρμογής και δημιουργία τεχνικού φακέλου παραγωγής.

Πίνακας εργασιών						Μάρτιος		
						Εβδ. 6	Εβδ. 7	Εβδ. 8
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	11/03	18/03	25/03
4	Οριστικοποίηση σχεδίων και αποστολή στο εργοστάσιο	2	13/03/2024	14/03/2024	3FS			

Σχήμα 4.21: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Οριστικοποίηση σχεδίων και αποστολή στο εργοστάσιο

Στάδιο 5 — Shop drawings εργοστασίου

Διάρκεια: 3 εργάσιμες ημέρες

Ανάπτυξη και επιβεβαίωση των τελικών shop drawings των κουφωμάτων.

Πίνακας εργασιών						Μάρτιος		
						Εβδ. 6	Εβδ. 7	Εβδ. 8
I D	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	11/03	18/03	25/03
5	Shop drawings εργοστασίου	3	15/03/2024	19/03/2024	4FS			

Σχήμα 4.22: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Shop drawings εργοστασίου

Στάδιο 6 — Παραγωγή κουφωμάτων και υαλοπινάκων

Διάρκεια: 40 εργάσιμες ημέρες

Παραγωγή κουφωμάτων, υαλοπινάκων και επιμέρους στοιχείων των συστημάτων.

Πίνακας εργασιών				Μάρτιος		Απρίλιος						Μάιος	
				Εβδ. 7	Εβδ. 8	Εβδ. 9	Εβδ. 10	Εβδ. 11	Εβδ. 12	Εβδ. 13	Εβδ. 14	Εβδ. 15	Εβδ. 16

I D	Στάδι ο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	# # # #	25 /0 3	01 /0 4	08 /0 4	15 /0 4	22 /0 4	29 /0 4	06/ 05	13 /0 5
6	Παρ. κουφωμάτων και υαλοπινάκων	40	20/03/2024	14/05/2024	5FS									

Σχήμα 4.23: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Παραγωγή κουφωμάτων και υαλοπινάκων

Στάδιο 7 — Μεταφορά και παραλαβή στο εργοτάξιο

Διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Μεταφορά των συστημάτων από το εξωτερικό και παραλαβή τους στο έργο.

Πίνακας εργασιών						Μάιος		
						Εβδ. 15	Εβδ. 16	Εβδ. 17
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	13/05	20/05	27/05
7	Μεταφορά και παραλαβή στο εργοτάξιο	10	15/05/2024	28/05/2024	6FS			

Σχήμα 4.24: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Μεταφορά και παραλαβή στο εργοτάξιο

Στάδιο 8 — Τοποθέτηση κουφωμάτων

Διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Εγκατάσταση κασωμάτων, οδηγών και βασικών μηχανισμών των συστημάτων.

Πίνακας εργασιών						Μάιος	Ιούνιος		
						Εβδ. 17	Εβδ. 18	Εβδ. 19	Εβδ. 20
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	27/05	03/06	10/06	17/06
8	Τοποθέτηση κουφωμάτων	10	29/05/2024	11/06/2024	7FS				

Σχήμα 4.25: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Τοποθέτηση κουφωμάτων

Στάδιο 9 — Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελική συναρμολόγηση

Διάρκεια: 5 εργάσιμες ημέρες

Τοποθέτηση υαλοπινάκων, εργασίες στεγάνωσης και τελικές ρυθμίσεις.

Πίνακας εργασιών						Ιούνιος	
						Εβδ. 19	Εβδ. 20
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	10/06	17/06
9	Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελική συναρμολόγηση	5	12/06/2024	18/06/2024	8FS		

Σχήμα 4.26: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελική συναρμολόγηση

Στάδιο 10 — Ποιοτικός έλεγχος και παράδοση έργου

Διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Τελικοί έλεγχοι λειτουργίας και παράδοση των εγκαταστάσεων.

Πίνακας εργασιών						Ιούνιος
						Εβδ. 20
ID	Στάδιο	Διάρκεια (εργ.)	Έναρξη	Λήξη	Προκάτοχος	17/06
10	Ποιοτικός έλεγχος και παράδοση έργου	2	19/06/2024	20/06/2024	9FS	

Σχήμα 4.27: Απόσπασμα διαγράμματος Gantt, Ποιοτικός έλεγχος και παράδοση έργου

4.7 Παραγγελία και παρακολούθηση παραγωγής

Μετά την ολοκλήρωση των υποδομών του έργου και την τοποθέτηση των ψευτόκασων πραγματοποιήθηκαν οι τελικές επιβεβαιωτικές μετρήσεις των ανοιγμάτων.

Τα τελικά κατασκευαστικά μέτρα εφαρμόστηκαν στα σχέδια εφαρμογής, ώστε να οριστικοποιηθούν:

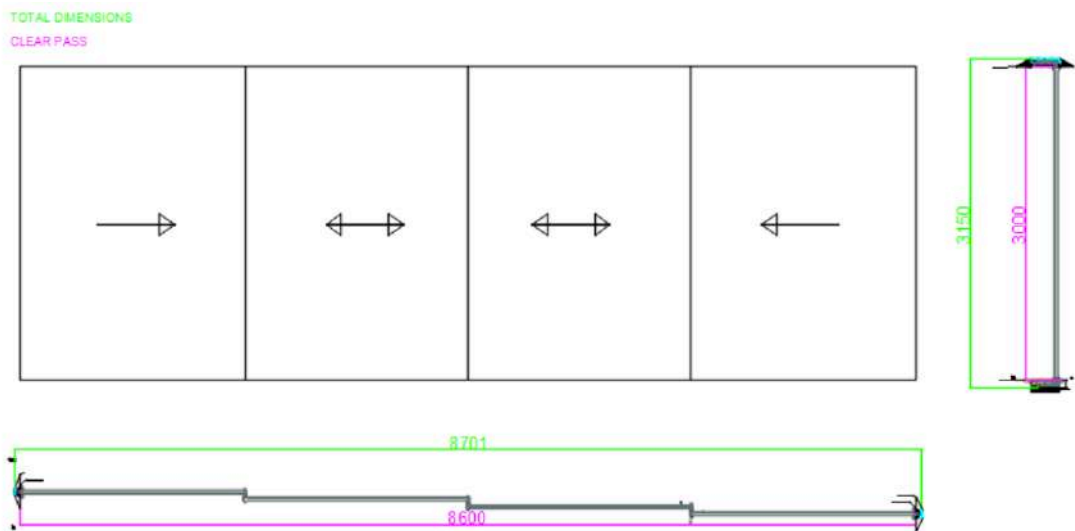
- οι τελικές διαστάσεις των κουφωμάτων,
- οι λεπτομέρειες των hidden frames,
- οι θέσεις των οδηγών και των ρινοτ μηχανισμών,
- οι απαιτούμενες ανοχές τοποθέτησης.

Μετά την ολοκλήρωση των τελικών σχεδίων εφαρμογής πραγματοποιήθηκε αποστολή του τεχνικού φακέλου στο εργοστάσιο παραγωγής του εξωτερικού.

Ο φάκελος περιλάμβανε:

- τα σχέδια εφαρμογής,
- τις τελικές διαστάσεις,

- τις τυπολογίες των συστημάτων,
- τις απαιτήσεις υάλωσης,
- τις λεπτομέρειες επιφανειακών επεξεργασιών και εξαρτημάτων.



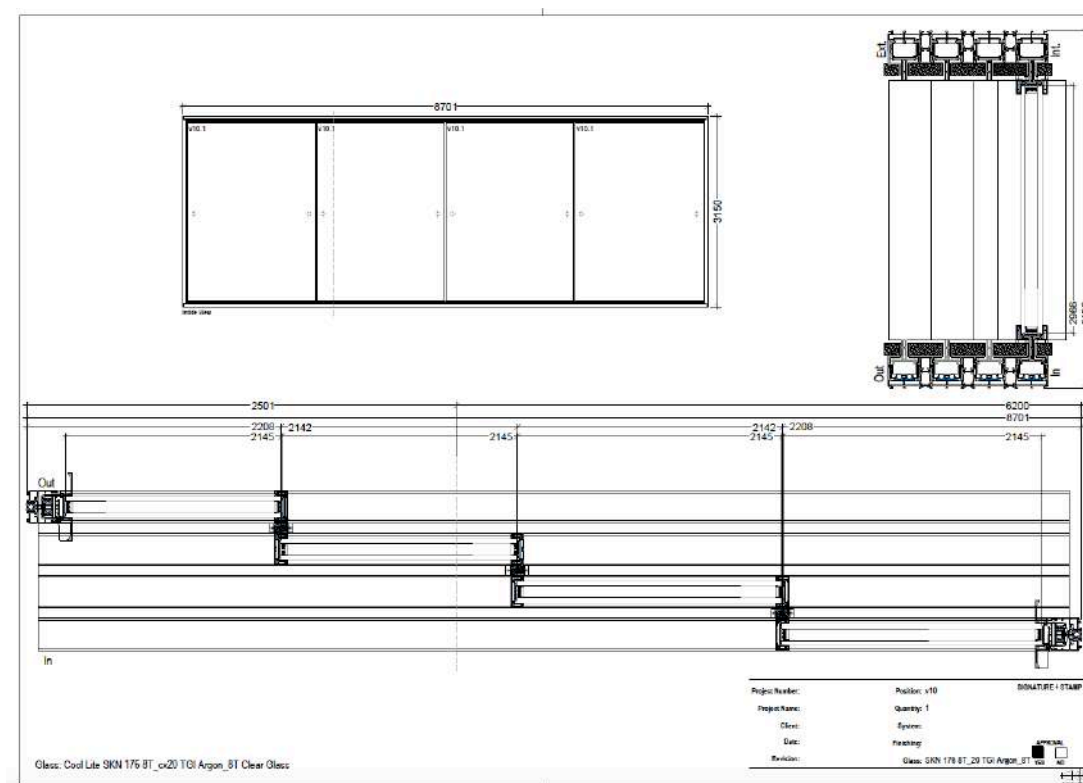
Σχήμα 4.28: Ενδεικτικό σχέδιο παραγωγής κουφώματος.

Στη συνέχεια το εργοστάσιο προχώρησε στην ανάπτυξη των τελικών shop drawings των κουφωμάτων, τα οποία αφορούσαν αποκλειστικά τις κατασκευές αλουμινίου χωρίς τις εργοταξιακές υποδομές και τις λεπτομέρειες των ψευτόκασων.

Τα σχέδια αυτά περιλάμβαναν:

- τελικές διαστάσεις προφίλ,
- διαμορφώσεις φύλλων,
- θέσεις μηχανισμών,
- λεπτομέρειες συναρμολόγησης,
- συνθέσεις υαλοπινάκων.

Μετά την παραλαβή τους πραγματοποιήθηκε τεχνικός έλεγχος και επιβεβαίωση των σχεδίων πριν την έναρξη της παραγωγής.



Σχήμα 4.29: Τελικό shop drawing συστήματος πριν την παραγωγή.

Τα κουφώματα και οι υαλοπίνακες παραδόθηκαν στο έργο σε επιμέρους τμήματα, με τα φύλλα και τους υαλοπίνακες προετοιμασμένα εργοστασιακά για τη διαδικασία συναρμολόγησης στο εργοτάξιο.

Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε λόγω:

- των μεγάλων διαστάσεων των κατασκευών,
- των απαιτήσεων ασφαλούς μεταφοράς,
- των περιορισμών πρόσβασης στο έργο,
- των απαιτήσεων τοποθέτησης των μεγάλων tempered υαλοπινάκων.



Σχήμα 4.30: Παραλαβή κουφωμάτων και υαλοπινάκων στο εργοτάξιο.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παραγωγής και μεταφοράς ξεκίνησε η φάση τοποθέτησης και συναρμολόγησης των συστημάτων στο έργο.

4.8 Διαδικασία τοποθέτησης κουφωμάτων

Η τοποθέτηση των κουφωμάτων πραγματοποιήθηκε σταδιακά ανά περιοχή του έργου και σύμφωνα με τα σχέδια εφαρμογής που είχαν προηγουμένως εγκριθεί.

Λόγω των μεγάλων διαστάσεων των κατασκευών και των minimal εφαρμογών απαιτήθηκε αυξημένη ακρίβεια κατά την εγκατάσταση και συνεχής έλεγχος ευθυγράμμισης των συστημάτων.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση των περιμετρικών κασωμάτων σε όλα τα κουφώματα του έργου, ανεξαρτήτως τυπολογίας. Κατά τη διαδικασία έγινε έλεγχος

κατακορυφότητα, ευθυγράμμισης και σωστής τοποθέτησης των κασωμάτων σε σχέση με τα τελικά τελειώματα του έργου.



Σχήμα 4.31: Τοποθέτηση περιμετρικών κασωμάτων.

Στα minimal συρόμενα συστήματα τοποθετήθηκε αρχικά ο άνω οδηγός, στη συνέχεια τα πλαϊνά στοιχεία και τέλος ο κάτω οδηγός του συστήματος. Μετά την ολοκλήρωση των οδηγών πραγματοποιήθηκε έλεγχος ευθυγράμμισης και στάθμης πριν την εγκατάσταση των φύλλων.

Στις pivot κατασκευές πραγματοποιήθηκε αρχικά η εγκατάσταση των περιμετρικών κασωμάτων και στη συνέχεια η τοποθέτηση των pivot φύλλων και των μηχανισμών στήριξης.



Σχήμα 4.32: Τοποθέτηση πινot κατασκευής, θέση 2-3

Τα φύλλα των κουφωμάτων έφταναν στο έργο με τους υαλοπίνακες ήδη τοποθετημένους εργοστασιακά. Λόγω των αυξημένων διαστάσεων και βαρών χρησιμοποιήθηκε ρομποτικό ανυψωτικό μηχάνημα τύπου “αράχνης” για τη μεταφορά και εγκατάσταση των συστημάτων.



Σχήμα 4.33: Τοποθέτηση φύλλων με χρήση ρομποτικού τύπου αράχνης μηχανήματος.

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης πραγματοποιήθηκαν οι τελικές ρυθμίσεις των μηχανισμών, ο έλεγχος λειτουργίας των συστημάτων και οι εργασίες στεγάνωσης με ειδική σιλικόνη κουφωμάτων.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε:

- στο ζύγισμα των φύλλων,
- στην τελική ευθυγράμμιση,
- στη σωστή κύλιση των συστημάτων,
- στη στεγάνωση των αρμών.

4.9 Έλεγχος ποιότητας και παράδοση έργου

Μετά την ολοκλήρωση των εργασιών τοποθέτησης πραγματοποιήθηκε ο τελικός ποιοτικός έλεγχος των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων του έργου.

Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε τόσο κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης όσο και μετά την ολοκλήρωση όλων των εργασιών, με στόχο την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας και της τελικής ποιότητας των κατασκευών.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε έλεγχος των περιμετρικών κασωμάτων και των σημείων στήριξης των συστημάτων, ώστε να επιβεβαιωθεί η σωστή ευθυγράμμιση και η σταθερότητα των κατασκευών.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος λειτουργίας όλων των κινητών φύλλων, συμπεριλαμβανομένων:

- της κύλισης των συρόμενων συστημάτων,
- της λειτουργίας των pivot μηχανισμών,
- της ομαλής λειτουργίας των κλειδαριών και των μηχανισμών.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη σωστή λειτουργία των μεγάλων φύλλων λόγω των αυξημένων βαρών των κατασκευών.



Σχήμα 4.34: Έλεγχος λειτουργίας σύνθεσης κουφώματος Pivot, θέση 2-3

Παράλληλα πραγματοποιήθηκε έλεγχος:

- των sealing εργασιών,
- των σημείων στεγάνωσης,
- των αρμών σύνδεσης,
- των επιφανειακών φθορών και γρατζουνιών.

Ελέγχθηκαν επίσης οι επιφανειακές επεξεργασίες των προφίλ και η συνολική αισθητική εικόνα των minimal εφαρμογών.

Μετά την ολοκλήρωση των τελικών ελέγχων πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μικρορυθμίσεις των συστημάτων και ο τελικός καθαρισμός των υαλοπινάκων και των προφίλ αλουμινίου.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η παράδοση του έργου, συνοδευόμενη από:

- τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων,
- πιστοποιήσεις,
- οδηγίες συντήρησης και καθαρισμού,
- τελική επιβεβαίωση καλής λειτουργίας των κατασκευών.

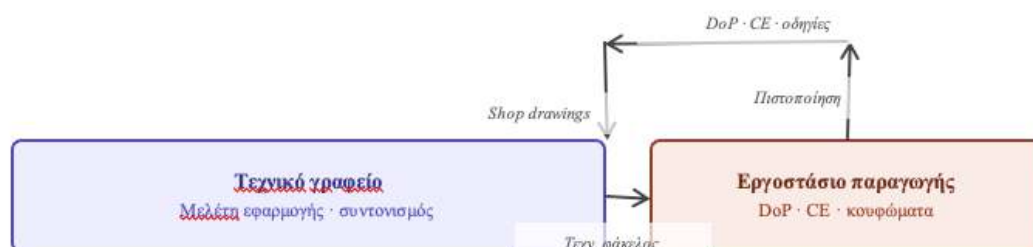
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ανάλυση Διαδικασιών και Ροής Εργασιών

5.1 Αποτύπωση της ροής πληροφοριών

Η ροή πληροφοριών του έργου βασίστηκε στη συνεχή επικοινωνία μεταξύ του αρχιτεκτονικού γραφείου, του τεχνικού γραφείου κουφωμάτων, του εργοστασίου παραγωγής και του εργοταξίου.

Αρχικά, το αρχιτεκτονικό γραφείο παρείχε τις κατόψεις του έργου και τις βασικές απαιτήσεις των κουφωμάτων ως προς την αισθητική, τις διαστάσεις και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων.

Στη συνέχεια το εργοστάσιο παρήγαγε τα τελικά shop drawings των κουφωμάτων, τα οποία ελέγχονταν και εγκρίνονταν από το μελετητικό τμήμα του εμπόρου των συστημάτων πριν την έναρξη της παραγωγής.



Σχήμα 5.2: Ροή πληροφοριών μεταξύ τεχνικού γραφείου και εργοστασίου παραγωγής.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών στο εργοτάξιο υπήρχε συνεχής ενημέρωση σχετικά με:

- πραγματικές διαστάσεις ανοιγμάτων,
- κατασκευαστικές αποκλίσεις,
- απαιτήσεις προσαρμογών,
- επιβεβαίωση τελικών κατασκευαστικών μέτρων.

Η ροή πληροφοριών του έργου παρέμεινε σχετικά σταθερή κατά τη διάρκεια της κατασκευής, χωρίς σημαντικές αλλαγές στις βασικές απαιτήσεις ή στις αρχικές τυπολογίες των συστημάτων.



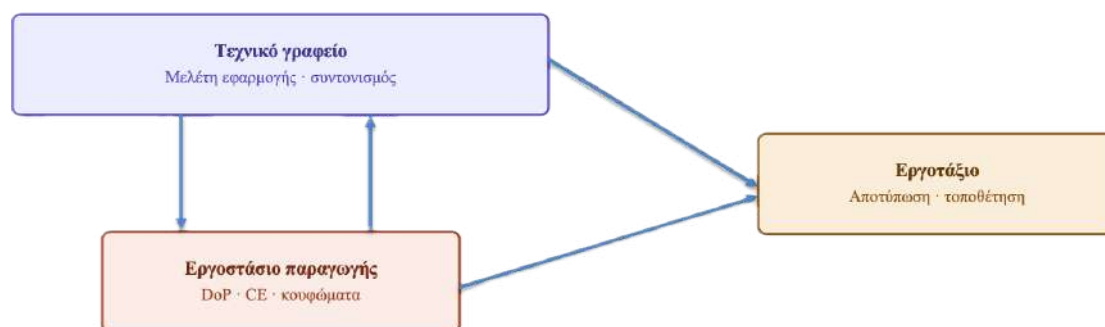
Σχήμα 5.3: Συντονισμός μεταξύ εργοταξίου και τεχνικού γραφείου κατά την εκτέλεση του έργου.

5.2 Συνεργασία τεχνικού γραφείου – εργοστασίου – εργοταξίου

Η υλοποίηση του έργου απαιτούσε συνεχή συνεργασία μεταξύ του τεχνικού γραφείου κουφωμάτων, του εργοστασίου παραγωγής, του κατασκευαστή του έργου και του συνεργείου τοποθέτησης.

Το τεχνικό γραφείο κουφωμάτων είχε τον βασικό ρόλο συντονισμού της διαδικασίας, αναλαμβάνοντας:

- τη μελέτη εφαρμογής,
- τις επιμετρήσεις του έργου,
- την οριστικοποίηση των κατασκευαστικών λεπτομερειών,
- την επικοινωνία με το εργοστάσιο παραγωγής,
- τον συντονισμό του συνεργείου τοποθέτησης.



Σχήμα 5.4: Συνεργασία τεχνικού γραφείου, εργοστασίου και εργοταξίου.

Ο κατασκευαστής του έργου είχε την ευθύνη της τήρησης των τελικών κατασκευαστικών απαιτήσεων που προέκυπταν από τα σχέδια εφαρμογής, καθώς και του συντονισμού των υπόλοιπων συνεργείων του έργου.

Η συνεργασία μεταξύ εργοταξίου και τεχνικού γραφείου ήταν ιδιαίτερα σημαντική κατά:

- την τοποθέτηση των ψευτόκασων,
- τον έλεγχο των τελικών υψομέτρων,
- τη συνεργασία με τις επενδύσεις,
- τη διαμόρφωση των hidden frames και των κρυφών υδρορροών των συρόμενων συστημάτων.

Το εργοστάσιο παραγωγής συμμετείχε αποκλειστικά στη διαδικασία παραγωγής των κουφωμάτων και των υαλοπινάκων, με βάση τα τελικά σχέδια και τις εγκρίσεις που αποστέλλονταν από το τεχνικό γραφείο.

Παράλληλα, το συνεργείο τοποθέτησης ανήκε στον προμηθευτή των κουφωμάτων, γεγονός που διευκόλυνε τη σωστή εφαρμογή των συστημάτων σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του έργου.



Σχήμα 5.5: Συνεργείο τοποθέτησης κατά την εγκατάσταση των συστημάτων.

Το πιο κρίσιμο σημείο συνεργασίας κατά τη διάρκεια του έργου ήταν η ακριβής εφαρμογή των σχεδίων εφαρμογής στο εργοτάξιο.

Οι μεγάλες διαστάσεις των κατασκευών, τα hidden frames, οι κρυφές υδρορροές και οι περιορισμένες ανοχές των minimal συστημάτων απαιτούσαν συνεχή έλεγχο και συντονισμό μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων πλευρών, ώστε να αποφευχθούν αποκλίσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη λειτουργία και την αισθητική των κατασκευών.



Σχήμα 5.6: Λεπτομέρεια κρυφού οδηγού κύλισης.

5.3 Εντοπισμός κρίσιμων σημείων και πιθανών καθυστερήσεων

Κατά την ανάλυση της διαδικασίας υλοποίησης του έργου εντοπίστηκαν ορισμένα στάδια με αυξημένο βαθμό τεχνικής δυσκολίας και πιθανότητας καθυστέρησης.

Τα κρίσιμα σημεία σχετίζονταν κυρίως με:

- τις περιορισμένες ανοχές των minimal συστημάτων,
- τις μεγάλες διαστάσεις των κατασκευών,
- τις εργοταξιακές συνθήκες,
- τη συνεργασία των κουφωμάτων με τα τελικά τελειώματα του έργου.

Πίνακας 5.1 — Κρίσιμα σημεία και πιθανοί κίνδυνοι κατά την υλοποίηση του έργου

Κρίσιμο σημείο	Πιθανός κίνδυνος	Επίπτωση στο έργο
Τοποθέτηση ψευτόκασων	Κακοκαιρία κατά τις συγκολλήσεις	Καθυστέρηση επόμενων σταδίων
Hidden frames και οδηγοί	Μη σωστή ευθυγράμμιση	Προβλήματα λειτουργίας και sealing
Αποκλίσεις δαπέδων	Λανθασμένα υψόμετρα	Επεμβάσεις σε δάπεδα και οροφές

Κρίσιμο σημείο	Πιθανός κίνδυνος	Επίπτωση στο έργο
Παραγωγή εξωτερικού	Καθυστερήσεις εργοστασίου	Μετατόπιση χρονοδιαγράμματος
Μεταφορά υαλοπινάκων	Θραύσεις ή φθορές	Αντικατάσταση υλικών
Τοποθέτηση μεγάλων υαλοπινάκων	Δυσκολία χειρισμού και ανύψωσης	Τεχνικές αστοχίες και καθυστερήσεις

5.3.1 Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών

Η τοποθέτηση των ψευτόκασων αποτέλεσε κρίσιμο στάδιο του έργου, καθώς πραγματοποιήθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο και περιλάμβανε συγκολλήσεις και μεταλλικές εργασίες στο εργοτάξιο.

Η έντονη βροχόπτωση μπορούσε να επηρεάσει την πρόοδο των εργασιών και να προκαλέσει καθυστερήσεις στις επόμενες φάσεις του έργου.



Σχήμα 5.7: Συγκόλληση ψευτοκασών.

5.3.2 Hidden frames, οδηγοί και κατασκευαστικές ανοχές

Τα minimal συστήματα του έργου απαιτούσαν ιδιαίτερα αυστηρές ανοχές σε όλα τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης.

Τα hidden frames, οι χωνευτοί οδηγοί, οι κρυφές υδρορροές και οι ρίνοι μηχανισμοί απαιτούσαν υψηλή ακρίβεια κατά την εφαρμογή, καθώς ακόμη και μικρές αποκλίσεις μπορούσαν να επηρεάσουν:

- τη λειτουργία των συστημάτων,
- τη στεγανότητα,
- την τελική αισθητική εικόνα των κατασκευών.

5.3.3 Αποκλίσεις δαπέδων και τελικών υψομέτρων

Κατά τη διάρκεια του έργου παρατηρήθηκαν αποκλίσεις στις τελικές στάθμες των δαπέδων, γεγονός που απαιτούσε συνεχείς ελέγχους και προσαρμογές κατά την εγκατάσταση των οδηγών και των κασωμάτων.

Λόγω της συνεργασίας των κουφωμάτων με τα τελικά τελειώματα του έργου, πιθανές αστοχίες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε επεμβάσεις σε δάπεδα και οροφές.

5.3.4 Παραγωγή κουφωμάτων στο εξωτερικό

Η παραγωγή των συστημάτων στο εξωτερικό αποτελούσε στάδιο με αυξημένη εξάρτηση από τον χρόνο παραγωγής και τον φόρτο εργασίας του εργοστασίου.

Πιθανές καθυστερήσεις στην παραγωγή μπορούσαν να μεταφερθούν άμεσα στο συνολικό χρονοδιάγραμμα του έργου.

5.3.5 Μεταφορά και διαχείριση μεγάλων υαλοπινάκων

Οι μεγάλες διαστάσεις των υαλοπινάκων δημιούργησαν αυξημένες απαιτήσεις κατά τη μεταφορά και τη διαχείριση των συστημάτων.

Η ασφαλής μεταφορά ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την αποφυγή:

- θραύσεων,
- φθορών στα προφίλ,
- καθυστερήσεων λόγω αντικαταστάσεων.

5.3.6 Τοποθέτηση μεγάλων υαλοπινάκων

Η τοποθέτηση των μεγάλων υαλοπινάκων αποτέλεσε ένα από τα πιο απαιτητικά στάδια του έργου.

Οι μεγάλες διαστάσεις και τα αυξημένα βάρη δημιούργησαν δυσκολίες ως προς:

- την πρόσβαση στο εργοτάξιο,
- την ανύψωση,
- τον χειρισμό,
- τις τελικές ρυθμίσεις και ευθυγραμμίσεις των συστημάτων.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ρομποτικό ανυψωτικό μηχάνημα τύπου “αράχνης” κατά την εγκατάσταση των φύλλων.

5.4 Τυπικές αστοχίες – τεχνικά και οργανωτικά προβλήματα

Κατά την εφαρμογή minimal συστημάτων αλουμινίου μεγάλων διαστάσεων είναι πιθανό να εμφανιστούν τεχνικές αστοχίες ή προβλήματα εφαρμογής, κυρίως λόγω των περιορισμένων ανοχών των συστημάτων και της συνεργασίας τους με τα τελικά τελειώματα του έργου.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βασικότερες πιθανές αστοχίες που μπορούν να εμφανιστούν σε αντίστοιχες εφαρμογές, καθώς και οι πιθανές αιτίες και τρόποι αντιμετώπισής τους.

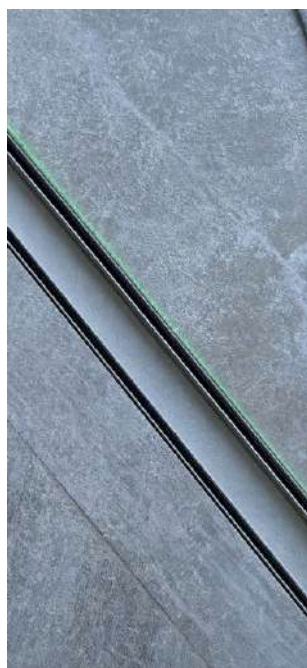
Πίνακας 5.2 — Τυπικές τεχνικές αστοχίες και τρόποι αντιμετώπισης

Τυπική αστοχία	Πιθανή αιτία	Τρόπος αντιμετώπισης
Δυσκολία κύλισης συρόμενων φύλλων	Μη σωστή ευθυγράμμιση οδηγών	Έλεγχος στάθμης και alignment
Ανεπαρκής στεγάνωση	Κακή sealing εφαρμογή	Επανατοποθέτηση sealing και έλεγχος αρμών
Προβλήματα κρυφών οδηγών κύλισης	Λανθασμένες κλίσεις ή εμπόδια απορροής	Έλεγχος απορροής πριν την ολοκλήρωση
Μη σωστή εφαρμογή κρυφών κασωμάτων	Αποκλίσεις υποδομών	Επαναρύθμιση ή τοπικές διορθώσεις
Αποκλίσεις στις ενώσεις με επενδύσεις	Διαφορές τελικών υψομέτρων	Συντονισμός με τα υπόλοιπα συνεργεία
Κακή λειτουργία pivot φύλλων	Μη σωστή ρύθμιση μηχανισμών	Επαναρύθμιση pivot μηχανισμών
Μικροφθορές σε προφίλ ή υαλοπίνακες	Μεταφορά ή χειρισμός	Προστασία επιφανειών και έλεγχος παραλαβής

5.4.1 Προβλήματα ευθυγράμμισης συρόμενων συστημάτων

Η σωστή ευθυγράμμιση των οδηγών αποτέλεσε ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για την ομαλή κύλιση των μεγάλων συρόμενων φύλλων.

Ακόμη και μικρές αποκλίσεις στις στάθμες ή στις θέσεις των οδηγών μπορούσαν να δημιουργήσουν δυσκολίες στη λειτουργία των συστημάτων.



Σχήμα 5.8: Ευθυγράμμιση οδηγών με χρήση laser.

5.4.2 Αστοχίες στεγάνωσης και εφαρμογής σιλικόνης

Οι εργασίες στεγάνωσης ήταν ιδιαίτερα κρίσιμες λόγω των hidden frame εφαρμογών και των κρυφών υδρορροών των συστημάτων.

Μη σωστή εφαρμογή της σιλικόνης ή αστοχίες στους αρμούς μπορούσαν να επηρεάσουν τη στεγανότητα των κατασκευών.

5.4.3 Προβλήματα συνεργασίας με δάπεδα και επενδύσεις

Η συνεργασία των κουφωμάτων με τα τελικά δάπεδα, τις οροφές και τις ξύλινες επενδύσεις απαιτούσε υψηλή ακρίβεια εφαρμογής.

Πιθανές αποκλίσεις στα τελειώματα μπορούσαν να επηρεάσουν την τελική αισθητική εικόνα και τη σωστή λειτουργία των hidden frame συστημάτων.

5.4.4 Ρυθμίσεις ρινοτ μηχανισμών και μεγάλων φύλλων

Τα ρινοτ φύλλα μεγάλων διαστάσεων απαιτούσαν ιδιαίτερα προσεκτική ρύθμιση λόγω των αυξημένων βαρών των κατασκευών.

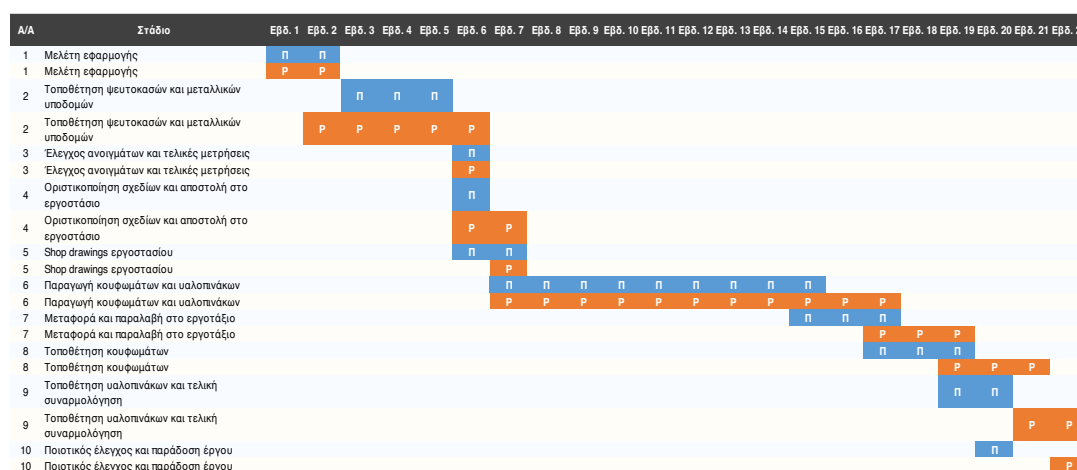
Οι τελικές ρυθμίσεις των μηχανισμών ήταν απαραίτητες για:

- την ομαλή λειτουργία,
- τη σωστή επαναφορά των φύλλων,
- τη διατήρηση των τελικών ανοχών λειτουργίας.

5.5 Σύγκριση προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του προγραμματισμού πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των αρχικά προγραμματισμένων και των πραγματικών χρόνων υλοποίησης κάθε σταδίου του έργου.

Η σύγκριση βασίστηκε στο αρχικό διάγραμμα Gantt του Κεφαλαίου 4.6 και στα πραγματικά στοιχεία διάρκειας που καταγράφηκαν κατά την εξέλιξη του έργου.



Σχήμα 5.9: Συγκριτικό διάγραμμα Gantt προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων υλοποίησης.

Πίνακας 5.3 — Σύγκριση προγραμματισμένης και πραγματικής διάρκειας ανά στάδιο εργασιών

Στάδιο εργασιών	Προγραμματισμένη διάρκεια	Πραγματική διάρκεια	Απόκλιση
Μελέτη εφαρμογής	10 ημέρες	8 ημέρες	-2
Ψευτόκασες και μεταλλικές υποδομές	15 ημέρες	19 ημέρες	+4
Έλεγχος ανοιγμάτων και τελικές μετρήσεις	2 ημέρες	2 ημέρες	0
Οριστικοποίηση σχεδίων και αποστολή στο εργοστάσιο	2 ημέρες	3 ημέρες	+1
Shop drawings εργοστασίου	3 ημέρες	2 ημέρες	-1
Παραγωγή κουφωμάτων και υαλοπινάκων	40 ημέρες	48 ημέρες	+8
Μεταφορά και παραλαβή στο εργοτάξιο	10 ημέρες	12 ημέρες	+2
Τοποθέτηση κουφωμάτων	10 ημέρες	9 ημέρες	-1
Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελική συναρμολόγηση	5 ημέρες	3 ημέρες	-2
Ποιοτικός έλεγχος και παράδοση έργου	2 ημέρες	1 ημέρα	-1

Από τη σύγκριση των προγραμματισμένων και πραγματικών χρόνων προκύπτει ότι:

- ο συνολικός προγραμματισμένος χρόνος του έργου ήταν **99 εργάσιμες ημέρες**,
- ενώ ο πραγματικός χρόνος ολοκλήρωσης διαμορφώθηκε στις **107 εργάσιμες ημέρες**.

Στάδιο 1 — Μελέτη εφαρμογής

Προγραμματισμένη διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 8 εργάσιμες ημέρες

Η μελέτη εφαρμογής ολοκληρώθηκε σε μικρότερο χρονικό διάστημα από το αρχικά προγραμματισμένο, καθώς οι απαιτήσεις του έργου παρέμειναν σχετικά σταθερές και δεν υπήρξαν σημαντικές αλλαγές κατά την ανάπτυξη των σχεδίων εφαρμογής.

Στάδιο 2 — Ψευτόκασες και μεταλλικές υποδομές

Προγραμματισμένη διάρκεια: 15 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 19 εργάσιμες ημέρες

Η τοποθέτηση των ψευτόκασων και των μεταλλικών υποδομών παρουσίασε καθυστέρηση τεσσάρων εργάσιμων ημερών λόγω των εργοταξιακών συνθηκών κατά τη χειμερινή περίοδο και της αυξημένης ακρίβειας που απαιτούσαν οι hidden frame εφαρμογές.

Στάδιο 3 — Έλεγχος ανοιγμάτων και τελικές μετρήσεις

Προγραμματισμένη διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Το στάδιο των τελικών μετρήσεων ολοκληρώθηκε σύμφωνα με τον αρχικό προγραμματισμό χωρίς αποκλίσεις ή καθυστερήσεις.

Στάδιο 4 — Οριστικοποίηση σχεδίων και αποστολή στο εργοστάσιο

Προγραμματισμένη διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 3 εργάσιμες ημέρες

Παρουσιάστηκε μικρή καθυστέρηση μίας εργάσιμης ημέρας λόγω της τελικής επιβεβαίωσης των κατασκευαστικών λεπτομερειών και της ενημέρωσης των τελικών σχεδίων εφαρμογής.

Στάδιο 5 — Shop drawings εργοστασίου

Προγραμματισμένη διάρκεια: 3 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Η διαδικασία ανάπτυξης και επιβεβαίωσης των shop drawings ολοκληρώθηκε ταχύτερα από τον αρχικό προγραμματισμό λόγω της σωστής προετοιμασίας των σχεδίων εφαρμογής.

Στάδιο 6 — Παραγωγή κουφωμάτων και υαλοπινάκων

Προγραμματισμένη διάρκεια: 40 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 48 εργάσιμες ημέρες

Η μεγαλύτερη χρονική απόκλιση του έργου εμφανίστηκε στο στάδιο της παραγωγής, κυρίως λόγω του φόρτου εργασίας του εργοστασίου παραγωγής και της φύσης των ειδικών minimal κατασκευών μεγάλων διαστάσεων.

Στάδιο 7 — Μεταφορά και παραλαβή στο εργοτάξιο

Προγραμματισμένη διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 12 εργάσιμες ημέρες

Η μεταφορά και παραλαβή των συστημάτων παρουσίασε μικρή καθυστέρηση λόγω των μεγάλων διαστάσεων των υαλοπινάκων και των αυξημένων απαιτήσεων ασφαλούς μεταφοράς και εκφόρτωσης.

Στάδιο 8 — Τοποθέτηση κουφωμάτων

Προγραμματισμένη διάρκεια: 10 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 9 εργάσιμες ημέρες

Η τοποθέτηση των κουφωμάτων ολοκληρώθηκε σε μικρότερο χρονικό διάστημα λόγω της σωστής προετοιμασίας των υποδομών και του αποτελεσματικού συντονισμού του συνεργείου εγκατάστασης.

Στάδιο 9 — Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελική συναρμολόγηση

Προγραμματισμένη διάρκεια: 5 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 3 εργάσιμες ημέρες

Η τοποθέτηση των υαλοπινάκων και οι τελικές εργασίες συναρμολόγησης ολοκληρώθηκαν ταχύτερα από τον αρχικό προγραμματισμό λόγω της χρήσης εξειδικευμένου ανυψωτικού εξοπλισμού και της εργοστασιακής προετοιμασίας των φύλλων.

Στάδιο 10 — Ποιοτικός έλεγχος και παράδοση έργου

Προγραμματισμένη διάρκεια: 2 εργάσιμες ημέρες

Πραγματική διάρκεια: 1 εργάσιμη ημέρα

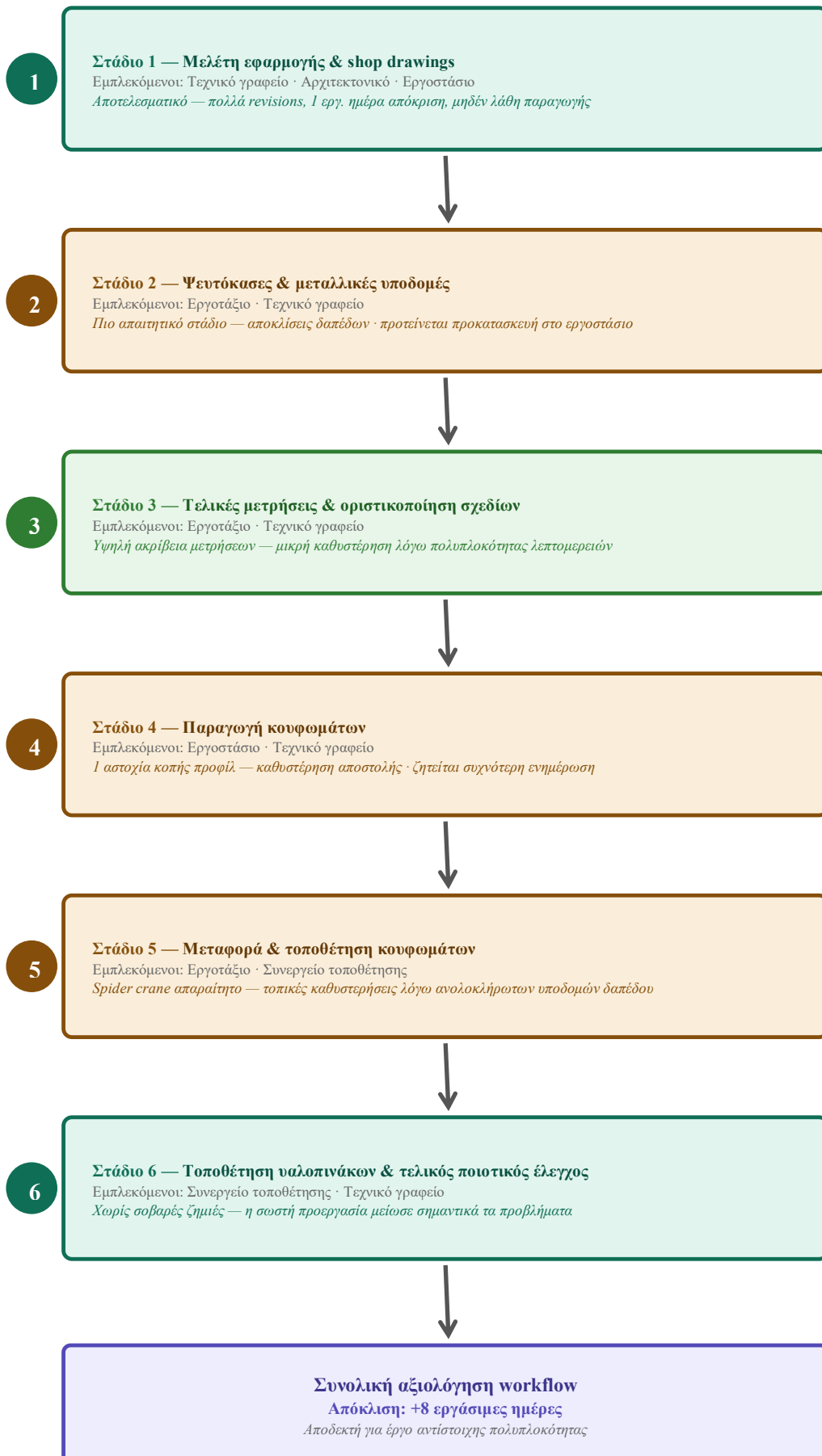
Ο τελικός ποιοτικός έλεγχος και η διαδικασία παράδοσης ολοκληρώθηκαν σε μικρότερο χρονικό διάστημα, καθώς δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές τεχνικές αστοχίες ή ανάγκες επαναληπτικών ρυθμίσεων.

5.6 Διάγραμμα ροής (workflow) και αξιολόγηση αποτελεσματικότητας

Η υλοποίηση του έργου οργανώθηκε μέσω διαδοχικών και αλληλοεξαρτώμενων σταδίων εργασιών, τα οποία αποτυπώθηκαν μέσω workflow και διαγράμματος Gantt.

Η συγκεκριμένη δομή workflow επέτρεψε τον αποτελεσματικό συντονισμό μεταξύ:

- τεχνικού γραφείου,
- εργοστασίου παραγωγής,
- εργοταξίου,
- συνεργείων εγκατάστασης.



Σχήμα 5.10: Workflow και αλληλουχία σταδίων υλοποίησης του έργου

Στάδιο 1 — Μελέτη εφαρμογής και shop drawings

Το στάδιο της μελέτης εφαρμογής και των shop drawings λειτούργησε ιδιαίτερα αποτελεσματικά, παρά τον μεγάλο αριθμό revisions που πραγματοποιήθηκαν κατά την εξέλιξη του έργου.

Η συνεχής επικοινωνία μεταξύ αρχιτέκτονα, προμηθευτή και εργοστασίου, με μέσο χρόνο απόκρισης περίπου μίας εργάσιμης ημέρας, επέτρεψε τη γρήγορη επίλυση ζητημάτων χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις στο workflow.

Η σωστή ανάπτυξη των σχεδίων εφαρμογής συνέβαλε ουσιαστικά στη μείωση λαθών παραγωγής και εγκατάστασης, καθώς δεν παραλήφθηκε κανένα κούφωμα με λανθασμένες διαστάσεις.

Στάδιο 2 — Ψευτόκασες και μεταλλικές υποδομές

Το στάδιο των ψευτόκασων αποτέλεσε το πιο απαιτητικό εργοταξιακά στάδιο του workflow λόγω της εκτεταμένης σιδηροκατασκευής και των αυξημένων απαιτήσεων ακρίβειας.

Οι αποκλίσεις δαπέδων και οροφών δημιούργησαν πρόσθετο χρόνο συνεννόησης σχετικά με τα τελικά υψόμετρα αναφοράς των κατασκευών.

Παρότι οι συγκολλήσεις στο εργοτάξιο δεν δημιούργησαν άμεσες καθυστερήσεις, η προκατασκευή και συγκόλληση μεγαλύτερου μέρους των ψευτόκασων στο εργοστάσιο θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά τον συνολικό χρόνο εγκατάστασης.

Στάδιο 3 — Τελικές μετρήσεις και οριστικοποίηση σχεδίων

Οι τελικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με μεγάλη ακρίβεια και συνέβαλαν ουσιαστικά στην αποφυγή λαθών κατά την παραγωγή.

Η συνεργασία μεταξύ εργοταξίου και τεχνικού γραφείου λειτούργησε ικανοποιητικά, ωστόσο υπήρχε περιθώριο περαιτέρω βελτίωσης στον συντονισμό και στη διαχείριση των τελικών πληροφοριών.

Η διαδικασία οριστικοποίησης των σχεδίων παρουσίασε μικρή καθυστέρηση λόγω της μεγάλης λεπτομέρειας και πολυπλοκότητας των κατασκευαστικών λύσεων.

Στάδιο 4 — Παραγωγή κουφωμάτων

Η ροή πληροφοριών μεταξύ εργοστασίου και τεχνικού γραφείου λειτούργησε σε αρκετά καλό επίπεδο και τα shop drawings συνέβαλαν σημαντικά στον περιορισμό λαθών παραγωγής.

Κατά την παραγωγή παρουσιάστηκε μία αστοχία κοπής προφίλ, η οποία εντοπίστηκε κατά το στάδιο συσκευασίας και προκάλεσε καθυστέρηση στην αποστολή της παραγγελίας.

Η συχνότερη ενημέρωση από το εργοστάσιο θα μπορούσε να βελτιώσει περαιτέρω το workflow, επιτρέποντας τμηματική αποστολή των συστημάτων χωρίς συνολική καθυστέρηση του έργου.

Στάδιο 5 — Μεταφορά και τοποθέτηση κουφωμάτων

Η διαδικασία μεταφοράς και εγκατάστασης οργανώθηκε σε ικανοποιητικό επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες διαστάσεις και τα αυξημένα βάρη των συστημάτων.

Η χρήση ρομποτικού ανυψωτικού μηχανήματος τύπου spider crane κρίθηκε απαραίτητη για την ασφαλή διαχείριση των υαλοπινάκων.

Κατά την τοποθέτηση παρουσιάστηκαν τοπικές καθυστερήσεις λόγω μη ολοκληρωμένων υποδομών δαπέδων από το εργοτάξιο.

Η αύξηση του αριθμού ατόμων του συνεργείου εγκατάστασης θα μπορούσε να μειώσει περαιτέρω τον χρόνο τοποθέτησης.

Στάδιο 6 — Τοποθέτηση υαλοπινάκων και τελικός ποιοτικός έλεγχος

Η τοποθέτηση των υαλοπινάκων αποτέλεσε απαιτητικό στάδιο λόγω του μεγάλου βάρους και των αυξημένων απαιτήσεων χειρισμού.

Παρότι υπήρξαν σημαντικές δυσκολίες κατά την εγκατάσταση, δεν παρουσιάστηκαν σοβαρές ζημιές ή επαναληπτικές εργασίες λόγω της εμπειρίας και του επαγγελματισμού του συνεργείου.

Η σωστή προεργασία των προηγούμενων σταδίων συνέβαλε σημαντικά στη μείωση προβλημάτων κατά τον τελικό ποιοτικό έλεγχο και στην περιορισμένη εμφάνιση τεχνικών αστοχιών.

Συνολική αξιολόγηση workflow

Συνολικά, το workflow του έργου λειτούργησε αποτελεσματικά και επέτρεψε την ομαλή ολοκλήρωση των εργασιών χωρίς σημαντικά reworks ή οργανωτικές αστοχίες.

Η συνολική απόκλιση των +8 εργάσιμων ημερών σε σχέση με τον αρχικό προγραμματισμό θεωρείται αποδεκτή για έργο αντίστοιχης πολυπλοκότητας και μεγέθους.

Η σωστή ανάπτυξη της μελέτης εφαρμογής και των shop drawings αποτέλεσε τον σημαντικότερο παράγοντα επιτυχίας του workflow, συμβάλλοντας στη μείωση προβλημάτων τόσο στην παραγωγή όσο και στην εγκατάσταση των συστημάτων.

5.7 Συνολική αξιολόγηση του έργου

Το έργο των minimal συστημάτων αλουμινίου ολοκληρώθηκε επιτυχώς, καλύπτοντας τις αρχιτεκτονικές και κατασκευαστικές απαιτήσεις που είχαν τεθεί από τη φάση σχεδιασμού.

Τα σημαντικότερα στοιχεία για την επιτυχημένη εξέλιξη του έργου ήταν:

- η σωστή ανάπτυξη της μελέτης εφαρμογής και των shop drawings,

- η ακρίβεια κατά την τοποθέτηση των ψευτόκασων και των μεταλλικών υποδομών.

Η σωστή ανάπτυξη των σχεδίων εφαρμογής συνέβαλε σημαντικά στη μείωση λαθών παραγωγής και εγκατάστασης, ενώ η ακρίβεια στις μεταλλικές υποδομές επέτρεψε την ομαλή τοποθέτηση των minimal συστημάτων και των μεγάλων υαλοπινάκων.

Παράλληλα, η εφαρμογή οργανωμένου workflow και διαγράμματος Gantt βοήθησε στον συντονισμό μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου και εργοταξίου, επιτρέποντας την παρακολούθηση των επιμέρους αποκλίσεων του χρονοδιαγράμματος.

Παρότι παρουσιάστηκαν επιμέρους καθυστερήσεις κυρίως:

- στην παραγωγή,
- στις μεταλλικές υποδομές,
- και στην προετοιμασία ορισμένων εργοταξιακών σημείων,

η συνολική απόκλιση του έργου παρέμεινε σε αποδεκτά επίπεδα σε σχέση με την πολυπλοκότητα των κατασκευών.

Η εμπειρία του συνεργείου εγκατάστασης συνέβαλε ουσιαστικά στη σωστή διαχείριση των μεγάλων υαλοπινάκων και στη μείωση τεχνικών αστοχιών κατά την τοποθέτηση.

Ωστόσο, από την αξιολόγηση του έργου προέκυψαν και ορισμένα σημεία που μπορούν να βελτιωθούν σε μελλοντικές αντίστοιχες εφαρμογές, κυρίως σε θέματα:

- επικοινωνίας μεταξύ εργοστασίου και εργοταξίου,
- προκατασκευής μεταλλικών υποδομών,
- συντονισμού των εργοταξιακών εργασιών,
- και οργάνωσης της διαδικασίας εγκατάστασης.

Συνολικά, το έργο αξιολογείται ως επιτυχημένο τόσο τεχνικά όσο και οργανωτικά, παρουσιάζοντας υψηλό επίπεδο ποιότητας κατασκευής και αποτελεσματικής

διαχείρισης των minimal συστημάτων αλουμινίου. Η ανάλυση των παραπάνω σημείων βελτίωσης αποτελεί αφετηρία για τη διατύπωση συγκεκριμένων προτάσεων και συμπερασμάτων, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης

6.1 Συνοπτικά συμπεράσματα θεωρητικής ανάλυσης

Η θεωρητική ανάλυση του Κεφαλαίου 2 ανέδειξε ότι η επιλογή και αξιολόγηση κουφωμάτων αλουμινίου σε σύγχρονα έργα υψηλών απαιτήσεων δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί αποσπασματικά. Το κανονιστικό πλαίσιο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και οι επιδόσεις των υαλοπινάκων αποτελούν αλληλένδετες παραμέτρους που συνδιαμορφώνουν τη συνολική απόδοση του κουφώματος ως ενιαίο σύστημα.

Το κανονιστικό πλαίσιο ως βάση αξιολόγησης

Η ανάλυση κατέδειξε ότι το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο δεν αποτελεί απλώς υποχρέωση συμμόρφωσης, αλλά παρέχει ένα δομημένο εργαλείο αξιολόγησης και σύγκρισης συστημάτων:

- Το πρότυπο EN 14351-1 καθιστά υποχρεωτική τη Δήλωση Επιδόσεων (DoP), εξασφαλίζοντας τη διαφάνεια και τη συγκρισιμότητα των δηλωμένων επιδόσεων μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών και συστημάτων.
- Τα πρότυπα EN 12207, EN 12208 και EN 12210 παρέχουν κοινή γλώσσα κατηγοριοποίησης για αεροπερατότητα, υδατοστεγανότητα και ανεμοπίεση, επιτρέποντας την αντικειμενική επιλογή συστήματος βάσει των απαιτήσεων κάθε έργου.

- Ο KENAK μεταφράζει αυτές τις τεχνικές παραμέτρους σε ελάχιστα όρια θερμοπερατότητας (U_w) ανά κλιματική ζώνη, δημιουργώντας τη σύνδεση μεταξύ τεχνικής επίδοσης και ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου.

Το κανονιστικό πλαίσιο, συνεπώς, ορίζει το κατώτατο επίπεδο απαιτήσεων — η επιλογή όμως του βέλτιστου συστήματος για κάθε έργο απαιτεί βαθύτερη κατανόηση των τεχνικών χαρακτηριστικών που κρύβονται πίσω από τους αριθμούς.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ως αλληλένδετο σύστημα

Η βαθύτερη ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών κατέδειξε ότι οι επιδόσεις ενός κουφώματος δεν προκύπτουν από μεμονωμένα στοιχεία αλλά από τη συνεργασία τους:

- Η θερμοπερατότητα U_w δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση του πλαισίου (U_f) ή του υαλοπίνακα (U_g) χωριστά, αλλά από τον συνδυασμό και των δύο μαζί με τον γραμμικό συντελεστή της ένωσης τους (Ψ). Αυτό σημαίνει ότι ένα άριστο πλαίσιο με ακατάλληλο υαλοπίνακα — ή το αντίστροφο — δεν παράγει βέλτιστο αποτέλεσμα.
- Η ακουστική απόδοση R_w καθορίζεται πρωτίστως από τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα — το πάχος και τη μάζα των φύλλων, το πλάτος της κοιλότητας και το είδος πλήρωσής της — και δευτερευόντως από την αεροστεγανότητα του πλαισίου. Η επιλογή του κατάλληλου υαλοπίνακα αποτελεί συνεπώς τον καθοριστικό παράγοντα για την ακουστική απόδοση του συνολικού συστήματος.
- Ο ηλιακός συντελεστής g και η φωτεινή διαπερατότητα TL του υαλοπίνακα συνδέονται άμεσα με την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου — και μάλιστα αντίρροπα, καθώς η μείωση του ηλιακού κέρδους συνήθως συνεπάγεται μείωση και της φωτεινής διαπερατότητας. Η εύρεση της βέλτιστης ισορροπίας μεταξύ g και TL αποτελεί ένα από τα κρίσιμα ζητήματα επιλογής υαλοπίνακα σε κτίρια με μεγάλες επιφάνειες υάλωσης.

Τα minimal συστήματα ως ιδιαίτερη κατηγορία

Η ανάλυση κατέδειξε επίσης ότι τα minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων — που αποτελούν και το αντικείμενο του παρόντος έργου — εισάγουν πρόσθετες προκλήσεις που δεν καλύπτονται επαρκώς από το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο:

- Η μείωση της εμφανούς διατομής αυξάνει τις στατικές απαιτήσεις στα πλαίσια και τους μηχανισμούς, απαιτώντας ιδιαίτερα προσεγμένο σχεδιασμό μεταλλικών υποδομών.
- Τα μεγάλα ανοίγματα υπερβαίνουν συχνά τα όρια των τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση NPD (No Performance Determined) σε κατηγορίες όπου μικρότερα συστήματα πιστοποιούνται πλήρως.
- Η αναλογία πλαισίου προς υάλωση, που στα minimal συστήματα είναι ιδιαίτερα μικρή, επηρεάζει καθοριστικά την τελική τιμή U_w — γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της επιλογής υαλοπίνακα ως κυρίαρχης παραμέτρου θερμομονωτικής απόδοσης.

Τα παραπάνω συμπεράσματα αποτέλεσαν τη θεωρητική βάση για την επιλογή και αξιολόγηση των συστημάτων του πραγματικού έργου, τα οποία αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

6.2 Συμπεράσματα από το πραγματικό έργο

Η ανάλυση του πραγματικού έργου εγκατάστασης κουφωμάτων αλουμινίου σε χώρο εστίασης και υποδοχής resort χαρακτήρα επιβεβαίωσε στην πράξη τις θεωρητικές αρχές του Κεφαλαίου 2 και ανέδειξε με σαφήνεια τα κρίσιμα σημεία που καθορίζουν την επιτυχή υλοποίηση έργων αντίστοιχης πολυπλοκότητας.

Επιλογή συστημάτων και τεκμηρίωση επιδόσεων

Η επιλογή των συστημάτων του έργου βασίστηκε σε συνδυασμό αρχιτεκτονικών, τεχνικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων. Η παραθαλάσσια θέση του έργου και οι μεγάλες επιφάνειες υάλωσης κατέστησαν απαραίτητη την επιλογή συστημάτων με:

- Αεροπερατότητα **Κλάσης 4** (EN 12207) — υψηλότερη διαθέσιμη κατηγορία

- Υδατοστεγανότητα **Κλάσης 7A** (EN 12208) — αντοχή έως 300 Pa
- Αντοχή σε ανεμοπίεση **Κλάσης B4** (EN 12210) — αντοχή έως 1600 Pa
- Θερμοπερατότητα U_w μεταξύ **1,254 και 1,597 W/m²K** ανάλογα με τον τύπο κουφώματος

Η τεκμηρίωση των επιδόσεων αυτών μέσω Δηλώσεων Επιδόσεων (DoP) σύμφωνα με το EN 14351-1 αποτέλεσε ουσιαστικό στοιχείο της διαδικασίας επιλογής, καθώς επέτρεψε την αντικειμενική σύγκριση εναλλακτικών συστημάτων και την τεκμηριωμένη απόφαση επιλογής βάσει μετρήσιμων δεδομένων.

Ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα αποτέλεσε η διαπίστωση ότι τα συρόμενα συστήματα μεγάλων διαστάσεων (4229 × 3150 mm και 8700 × 3150 mm) εμφάνισαν NPD στις κατηγορίες αεροπερατότητας, υδατοστεγανότητας και ανεμοπίεσης. Το γεγονός αυτό δεν υποδηλώνει απουσία επίδοσης, αλλά αναδεικνύει ένα ουσιαστικό κενό στο υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο: τα *minimal* συστήματα μεγάλων διαστάσεων υπερβαίνουν συχνά τα όρια των τυποποιημένων εργαστηριακών δοκιμών, αφήνοντας χωρίς τυποποιημένη τεκμηρίωση ορισμένες από τις πιο απαιτητικές εφαρμογές της σύγχρονης αρχιτεκτονικής.

Υαλοπίνακες ως καθοριστικός παράγοντας απόδοσης

Η επιλογή διπλού ενεργειακού υαλοπίνακα solar control με επίστρωση Low-E και πλήρωση argon 90% επιβεβαίωσε στην πράξη την αρχή που αναδείχθηκε στη θεωρητική ανάλυση: ο υαλοπίνακας αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα τόσο για τη θερμομονωτική όσο και για την ακουστική απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα:

- Η τιμή $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ συνέβαλε καθοριστικά στην επίτευξη χαμηλών τιμών U_w για όλους τους τύπους κουφωμάτων.
- Ο ηλιακός συντελεστής $g = 0,37$ σε συνδυασμό με φωτεινή διαπερατότητα $TL = 69\%$ αποτέλεσε βέλτιστο συνδυασμό για παραθαλάσσιο κτίριο με έντονη ηλιακή ακτινοβολία, επιτρέποντας επαρκή φυσικό φωτισμό με ταυτόχρονο περιορισμό της ηλιακής φόρτισης.
- Η ακουστική απόδοση $R_w = 38 \text{ dB}$ του υαλοπίνακα καθόρισε την αντίστοιχη επίδοση όλων των κινητών συστημάτων, ενώ η σταθερή υάλωση επέτυχε $R_w = 40 \text{ dB}$ λόγω της απουσίας κινητών μηχανισμών και αρμών.

Διαδικασία υλοποίησης και κρίσιμα σημεία

Η ανάλυση της ροής εργασιών κατέδειξε ότι η ποιότητα του αποτελέσματος καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό στα πρώτα στάδια της διαδικασίας. Η ακρίβεια της μελέτης εφαρμογής, η σωστή τοποθέτηση των μεταλλικών υποδομών και ψευτόκασων και η τεκμηριωμένη επικοινωνία με το εργοστάσιο παραγωγής αποτέλεσαν τους πιο καθοριστικούς παράγοντες για την αποφυγή λαθών παραγωγής και εγκατάστασης.

Τα κρίσιμότερα σημεία που εντοπίστηκαν κατά την υλοποίηση είναι:

- **Μελέτη εφαρμογής:** Η ακρίβεια των σχεδίων εφαρμογής και των shop drawings αποτέλεσε την πιο καθοριστική παράμετρο για την αποφυγή λαθών παραγωγής. Χαρακτηριστικά, δεν παραλήφθηκε κανένα κούφωμα με λανθασμένες διαστάσεις.
- **Μεταλλικές υποδομές:** Η τοποθέτηση ψευτόκασων και χωνευτών οδηγών αποτέλεσε το στάδιο με τη μεγαλύτερη απαίτηση ακρίβειας, καθώς οποιαδήποτε απόκλιση στο στάδιο αυτό μεταφέρεται αυτόματα σε όλα τα επόμενα.
- **Παραγωγή:** Η κύρια πηγή χρονικής απόκλισης (+8 εργάσιμες ημέρες συνολικά) εντοπίστηκε στο στάδιο παραγωγής, αναδεικνύοντας τη σημασία της έγκαιρης και δομημένης επικοινωνίας με το εργοστάσιο.
- **Διαχείριση μεγάλων υαλοπινάκων:** Η μεταφορά και εγκατάσταση υαλοπινάκων βάρους 40 kg/m² και επιφάνειας έως 27 m² απαίτησε εξειδικευμένο εξοπλισμό και έμπειρο συνεργείο, αναδεικνύοντας την εμπειρία εγκατάστασης ως κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας.

Σύνδεση με τα ερευνητικά ερωτήματα

Η ανάλυση του πραγματικού έργου παρέχει τεκμηριωμένες απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην ενότητα 1.2:

Ως προς τα **τεχνικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την επιλογή**, το έργο κατέδειξε ότι σε minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων οι αποφασιστικοί παράγοντες δεν είναι μόνο η θερμομονωτική απόδοση, αλλά η δυνατότητα κάλυψης

ακραίων διαστάσεων, η μηχανική αντοχή των μηχανισμών, η αισθητική ενσωμάτωση και η συμβατότητα με τα τελικά τελειώματα του έργου.

Ως προς την **επίδραση του κανονιστικού πλαισίου**, η υποχρεωτική τεκμηρίωση μέσω DoP και CE σήμανσης αποδείχθηκε ουσιαστικό εργαλείο επιλογής και όχι απλή γραφειοκρατική υποχρέωση, καθώς επέτρεψε την αντικειμενική σύγκριση και αξιολόγηση των συστημάτων.

Ως προς τα **βασικά στάδια από τη μελέτη έως την τοποθέτηση**, η ανάλυση κατέδειξε ότι η διαδικασία αποτελείται από 10 διακριτά στάδια συνολικής διάρκειας 99 εργάσιμων ημερών, με κρίσιμο κόμβο τη μελέτη εφαρμογής και την τοποθέτηση μεταλλικών υποδομών.

Ως προς τα **σημεία αυξημένου κινδύνου**, εντοπίστηκαν τέσσερα κρίσιμα σημεία: η ακρίβεια της μελέτης εφαρμογής, η τοποθέτηση μεταλλικών υποδομών, η επικοινωνία με το εργοστάσιο παραγωγής και η διαχείριση μεγάλων υαλοπινάκων.

Ως προς τη **βελτίωση ροής πληροφοριών**, η εμπειρία του έργου κατέδειξε ότι η έλλειψη δομημένης ενδιάμεσης ενημέρωσης από το εργοστάσιο παραγωγής αποτέλεσε τον κυριότερο παράγοντα χρονικής απόκλισης, αναδεικνύοντας την ανάγκη για συστηματική τυποποίηση της επικοινωνίας μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου και εργοταξίου.

Για την ολοκλήρωση της σύνδεσης μεταξύ στόχων, ερευνητικών ερωτημάτων και ευρημάτων, στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά ο τρόπος με τον οποίο απαντώνται τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας.

Πίνακας 6.1 — Συνοπτικές απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

Ερευνητικό ερώτημα	Συνοπτική απάντηση	Κεφάλαια τεκμηρίωσης
EP1	Τα βασικά χαρακτηριστικά είναι U_w , R_w , αεροπερατότητα, υδατοστεγανότητα, ανεμοπίεση και CE/DoP.	Κεφ. 2, 4

Ερευνητικό ερώτημα	Συνοπτική απάντηση	Κεφάλαια τεκμηρίωσης
EP2	Η σήμανση CE βοηθά τη σύγκριση, αλλά όταν εμφανίζεται NPD απαιτείται πρόσθετη τεκμηρίωση.	Κεφ. 2.6, 4.4, 6.3
EP3	Η υλοποίηση οργανώνεται σε στάδια από μελέτη εφαρμογής έως παράδοση.	Κεφ. 4, 5
EP4	Τα κρίσιμα σημεία είναι ψευτόκασες, υψόμετρα, hidden frames, παραγωγή και μεταφορά υαλοπινάκων.	Κεφ. 5.3
EP5	Η ροή πληροφοριών βελτιώνεται με checklists, ψηφιακό φάκελο και τυποποίηση επικοινωνίας.	Κεφ. 6.3

6.3 Προτάσεις για βελτιστοποίηση διαδικασιών

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη θεωρητική ανάλυση και την εμπειρία του πραγματικού έργου, διατυπώνονται στη συνέχεια συγκεκριμένες προτάσεις βελτιστοποίησης που αφορούν την επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, την τυποποίηση των διαδικασιών υλοποίησης και τη βελτίωση της διαδικασίας τεκμηρίωσης και πιστοποίησης.

6.3.1 Βελτίωση επικοινωνίας

Η ανάλυση του έργου κατέδειξε ότι η επικοινωνία μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου παραγωγής και εργοταξίου αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για την ομαλή εξέλιξη του έργου, ιδιαίτερα όταν η παραγωγή πραγματοποιείται στο εξωτερικό και τα συστήματα χαρακτηρίζονται από υψηλή πολυπλοκότητα.

Η πρώτη πρόταση αφορά την καθιέρωση **δομημένης ενδιάμεσης ενημέρωσης** από το εργοστάσιο παραγωγής προς το τεχνικό γραφείο σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Η ενημέρωση αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Την πρόοδο παραγωγής ανά κατηγορία κουφώματος και ανά τύπο συστήματος.

- Τυχόν αποκλίσεις ή αστοχίες που εντοπίστηκαν κατά την παραγωγή.
- Την εκτιμώμενη ημερομηνία αποστολής ανά παρτίδα.
- Τη δυνατότητα τμηματικής αποστολής, όπου αυτό είναι εφικτό, ώστε να επιτρέπεται η παράλληλη πρόοδος εργασιών στο εργοτάξιο.

Η δεύτερη πρόταση αφορά τη βελτίωση του **συντονισμού εργοταξίου και τεχνικού γραφείου** κατά τα στάδια τοποθέτησης μεταλλικών υποδομών και ψευτόκασων. Συγκεκριμένα προτείνεται:

- Η ανάθεση υπεύθυνου συντονιστή ανά έργο, ο οποίος θα παρακολουθεί την εφαρμογή των σχεδίων εφαρμογής στο εργοτάξιο και θα αναφέρει άμεσα τυχόν αποκλίσεις.
- Η καθιέρωση εβδομαδιαίας τηλεδιάσκεψης μεταξύ τεχνικού γραφείου, εργοστασίου και εργοταξίου κατά τη διάρκεια των κρίσιμων σταδίων του έργου.
- Η χρήση κοινής ψηφιακής πλατφόρμας διαχείρισης έργου για την παρακολούθηση της προόδου, την καταγραφή αποκλίσεων και την άμεση κοινοποίηση αποφάσεων σε όλους τους εμπλεκόμενους.

6.3.2 Τυποποίηση διαδικασιών και checklists

Η τυποποίηση των διαδικασιών υλοποίησης αποτελεί βασικό εργαλείο για τη διασφάλιση της ποιότητας και την αποφυγή επαναλαμβανόμενων σφαλμάτων σε έργα κουφωμάτων αλουμινίου. Η εισαγωγή δομημένων checklists ανά στάδιο εργασιών επιτρέπει τον συστηματικό έλεγχο των κρίσιμων παραμέτρων πριν τη μετάβαση στο επόμενο στάδιο, μειώνοντας την εξάρτηση από την εμπειρία του εκάστοτε συνεργείου και διασφαλίζοντας ομοιόμορφο επίπεδο ποιότητας σε κάθε εφαρμογή.

Προτείνεται η ανάπτυξη τυποποιημένων checklists για τα ακόλουθα στάδια:

- Αποτύπωση ανοιγμάτων και έλεγχος κατασκευαστικών ανοχών.
- Τοποθέτηση ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών.
- Παραλαβή κουφωμάτων από το εργοστάσιο.
- Τοποθέτηση κουφωμάτων και υαλοπινάκων.
- Τελικός ποιοτικός έλεγχος και παράδοση.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται ενδεικτικό checklist ελέγχου για το στάδιο τοποθέτησης ψευτόκασων και μεταλλικών υποδομών, το οποίο αποτέλεσε ένα από τα κρισιμότερα στάδια του υπό μελέτη έργου:

Πίνακας 6.2 — Σημεία ελέγχου ποιότητας και κριτήρια αποδοχής

Σημείο ελέγχου	Κριτήριο αποδοχής	Έλεγχος
Κατακορυφότητα ψευτόκασας	Απόκλιση $\leq 1 \text{ mm/m}$	✓ / ✗
Επιπεδότητα οδηγών	Απόκλιση $\leq 2 \text{ mm}$ στο σύνολο	✓ / ✗
Ύψος χωνευτού οδηγού	Σύμφωνα με σχέδιο εφαρμογής	✓ / ✗
Κλίση απορροής υδάτων	Ελάχιστη κλίση 1% προς εξωτερικό	✓ / ✗
Αγκύρωση ψευτόκασας	Σύμφωνα με στατική μελέτη	✓ / ✗
Διαθέσιμος χώρος hidden frame	Σύμφωνα με σχέδιο εφαρμογής	✓ / ✗
Συνεργασία με τελικά υψόμετρα δαπέδου	Επιβεβαίωση από επιστάτη έργου	✓ / ✗
Προστασία επιφανειών από βλάβες	Κάλυψη εκτεθειμένων στοιχείων	✓ / ✗

Η χρήση αντίστοιχων checklists για κάθε στάδιο του έργου θα συνέβαλλε στη δημιουργία ενός τυποποιημένου πρωτοκόλλου υλοποίησης, το οποίο μπορεί να προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες κάθε έργου διατηρώντας κοινή βάση ελέγχου και τεκμηρίωσης.

6.3.3 Βελτίωση διαδικασίας τεκμηρίωσης και πιστοποίησης

Η εμπειρία του παρόντος έργου ανέδειξε ότι η διαδικασία τεκμηρίωσης και πιστοποίησης των συστημάτων — αν και τελικά ολοκληρώθηκε επιτυχώς — δεν αποτέλεσε μέρος μιας δομημένης και προκαθορισμένης διαδικασίας από τα πρώτα στάδια του έργου. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί σε τρεις συγκεκριμένες προτάσεις βελτίωσης.

Η πρώτη πρόταση αφορά την **ενσωμάτωση της τεκμηρίωσης DoP και CE στη φάση επιλογής συστημάτων**. Συγκεκριμένα προτείνεται:

- Η συλλογή και αξιολόγηση των DoP όλων των υπό εξέταση συστημάτων να αποτελεί υποχρεωτικό βήμα της διαδικασίας επιλογής, και όχι εκ των υστέρων επιβεβαίωση.
- Οι δηλωμένες επιδόσεις (Uw, κατηγορίες αεροπερατότητας, υδατοστεγανότητας, ανεμοπίεσης) να αποτελούν ρητά κριτήρια αξιολόγησης στη φάση προσφορών.
- Η αρχειοθέτηση όλων των DoP και CE να πραγματοποιείται από την έναρξη του έργου σε ψηφιακό φάκελο τεχνικής τεκμηρίωσης, ο οποίος να ενημερώνεται σε κάθε στάδιο.

Η δεύτερη πρόταση αφορά την **αντιμετώπιση του NPD ως σήμα για πρόσθετη τεκμηρίωση**. Η εμφάνιση NPD σε κατηγορίες επίδοσης — όπως διαπιστώθηκε στα συρόμενα συστήματα μεγάλων διαστάσεων — δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται ως αποδεκτό κενό, αλλά ως σήμα για επιπλέον τεχνική τεκμηρίωση που να καλύπτει το κενό της μη πιστοποίησης. Προτείνεται συγκεκριμένα:

- Για κάθε σύστημα με NPD σε κατηγορία ανεμοπίεσης, να εκπονείται στατική μελέτη που να τεκμηριώνει την επάρκεια του συστήματος για τις συγκεκριμένες διαστάσεις και συνθήκες.
- Για κάθε σύστημα με NPD σε κατηγορία υδατοστεγανότητας, να προβλέπονται πρόσθετα μέτρα στεγάνωσης και να τεκμηριώνονται στα σχέδια εφαρμογής.
- Τα αποτελέσματα της πρόσθετης τεκμηρίωσης να εντάσσονται στον φάκελο τεχνικής τεκμηρίωσης του έργου.

Η τρίτη πρόταση αφορά την **ενσωμάτωση των δεδομένων DoP στη μελέτη εφαρμογής**. Προτείνεται οι δηλωμένες επιδόσεις κάθε συστήματος να αναγράφονται ρητά στα σχέδια εφαρμογής και στον τεχνικό φάκελο παραγωγής, ώστε:

- Το εργοστάσιο παραγωγής να γνωρίζει εξ αρχής τις απαιτούμενες επιδόσεις και να τις λαμβάνει υπόψη κατά την παραγωγή.
- Το συνεργείο εγκατάστασης να έχει πρόσβαση στα τεχνικά δεδομένα κατά την τοποθέτηση.
- Ο τελικός ποιοτικός έλεγχος να περιλαμβάνει επαλήθευση των επιτευχθεισών επιδόσεων έναντι των δηλωμένων

6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα εργασία εστίασε στη μελέτη και υλοποίηση ενός συγκεκριμένου έργου εγκατάστασης minimal κουφωμάτων αλουμινίου, αναδεικνύοντας τεχνικές, κανονιστικές και οργανωτικές παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Ωστόσο, ο τομέας αυτός εξελίσσεται ταχύτατα και παρουσιάζει σημαντικά ερευνητικά ενδιαφέροντα που αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω.

Κανονιστικό πλαίσιο για minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων

Το σημαντικότερο ερευνητικό κενό που αναδείχθηκε από την παρούσα εργασία αφορά την απουσία τυποποιημένης μεθοδολογίας αξιολόγησης για minimal συστήματα μεγάλων διαστάσεων. Η εμφάνιση NPD σε κρίσιμες κατηγορίες επίδοσης αναδεικνύει ότι το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο δεν έχει προσαρμοστεί επαρκώς στις απαιτήσεις της σύγχρονης minimal αρχιτεκτονικής. Η ανάπτυξη εξειδικευμένων μεθοδολογιών δοκιμών και αξιολόγησης για συστήματα που υπερβαίνουν τα τυποποιημένα όρια διαστάσεων αποτελεί ένα πεδίο με άμεση πρακτική σημασία για τον κλάδο.

Ενσωμάτωση BIM στη διαδικασία μελέτης και υλοποίησης κουφωμάτων

Μία από τις πιο σημαντικές κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας αφορά την ενσωμάτωση της μεθοδολογίας BIM (Building Information Modeling) στη διαδικασία μελέτης και υλοποίησης έργων κουφωμάτων. Η χρήση BIM επιτρέπει:

- Την τρισδιάστατη μοντελοποίηση των συστημάτων και τον έλεγχο συγκρούσεων με τα υπόλοιπα στοιχεία του κτιρίου πριν την έναρξη παραγωγής.
- Την ενσωμάτωση των δεδομένων DoP και CE απευθείας στο ψηφιακό μοντέλο, επιτρέποντας την αυτόματη επαλήθευση συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις.
- Τη συνεχή ενημέρωση του ψηφιακού μοντέλου κατά τη διάρκεια κατασκευής, μειώνοντας σημαντικά τα σφάλματα στη φάση εγκατάστασης.
- Την παραγωγή shop drawings απευθείας από το BIM μοντέλο, εξαλείφοντας πιθανά λάθη μεταφοράς πληροφορίας μεταξύ μελέτης εφαρμογής και εργοστασίου παραγωγής.

Σε σύγχρονα έργα υψηλών απαιτήσεων, η ενσωμάτωση BIM στη ροή εργασιών κουφωμάτων αποτελεί πλέον ερευνητικό αλλά και πρακτικό ζητούμενο που αναμένεται να αποτελέσει τον κανόνα στα επόμενα χρόνια.

Έξυπνα συστήματα κουφωμάτων και αυτοματισμός

Μία δεύτερη σημαντική κατεύθυνση αφορά τη διερεύνηση των έξυπνων συστημάτων κουφωμάτων (smart façade systems), τα οποία ενσωματώνουν αισθητήρες, κινητήρες και συστήματα αυτοματισμού για τον δυναμικό έλεγχο:

- Της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμικής άνεσης μέσω αυτόματα ρυθμιζόμενων ηλιοπροστασιών ενσωματωμένων στο κούφωμα.
- Του φυσικού αερισμού μέσω αυτόματης ρύθμισης ανοίγματος βάσει εσωτερικής ποιότητας αέρα.
- Της ενεργειακής κατανάλωσης μέσω ολοκλήρωσης με συστήματα BMS (Building Management System).

Η αξιολόγηση της ενεργειακής συμπεριφοράς και του κόστους ζωής αυτών των συστημάτων σε σχέση με παθητικές λύσεις αποτελεί ένα πεδίο με αυξανόμενο ερευνητικό και εμπορικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των απαιτήσεων για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (nZEB).

Κλιματική αλλαγή και αναθεώρηση απαιτήσεων κουφωμάτων

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις απαιτήσεις απόδοσης των κουφωμάτων αποτελεί ένα αναδυόμενο και ιδιαίτερα επίκαιρο ερευνητικό ζήτημα. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η εντατικοποίηση ακραίων καιρικών φαινομένων και η αύξηση της έντασης των ανέμων επηρεάζουν άμεσα:

- Τις απαιτούμενες κατηγορίες ανεμοπίεσης, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες και εκτεθειμένες τοποθεσίες.
- Τις απαιτήσεις υδατοστεγανότητας υπό συνθήκες έντονης βροχόπτωσης συνδυασμένης με ισχυρούς ανέμους.
- Την ενεργειακή συμπεριφορά των συστημάτων υπό νέες κλιματικές συνθήκες που διαφέρουν από αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκαν.

Η διερεύνηση της μακροχρόνιας συμπεριφοράς των minimal συστημάτων υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες, καθώς και η αναθεώρηση των κανονιστικών απαιτήσεων βάσει νέων κλιματικών δεδομένων, αποτελούν πεδία με άμεση πρακτική σημασία για τον σχεδιασμό κτιρίων υψηλών απαιτήσεων.

Κυκλική οικονομία και βιωσιμότητα κουφωμάτων αλουμινίου

Ένα τελευταίο ερευνητικό πεδίο που αποκτά ολοένα μεγαλύτερη σημασία αφορά τη διερεύνηση της συμβολής των κουφωμάτων αλουμινίου στην κυκλική οικονομία. Το αλουμίνιο αποτελεί ένα από τα πλέον ανακυκλώσιμα υλικά — η ανακύκλωσή του απαιτεί μόλις το 5% της ενέργειας παραγωγής πρωτογενούς αλουμινίου — γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα ελκυστικό στο πλαίσιο της πράσινης μετάβασης. Ερευνητικά ζητήματα που αξίζει να διερευνηθούν περαιτέρω είναι:

- Η ανάπτυξη μεθοδολογιών αποσυναρμολόγησης και ανακύκλωσης κουφωμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους.
- Η αξιολόγηση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα (carbon footprint) των συστημάτων κατά τη διάρκεια του πλήρους κύκλου ζωής τους, συμπεριλαμβανομένης και της φάσης ανακύκλωσης.
- Η ενσωμάτωση κριτηρίων κυκλικής οικονομίας στη διαδικασία επιλογής κουφωμάτων σε δημόσια και ιδιωτικά έργα.

Βιβλιογραφία

- CEN (1999a). *EN 12207: Windows and Doors — Airpermeability — Classification*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (1999b). *EN 12208: Windows and Doors — Watertightness — Classification*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2000a). *EN 356: Glass in Building — Security Glazing — Testing and Classification of Resistance against Manual Attack*. Brussels: European Committee for Standardization.

- CEN (2000b). *EN 1063: Glass in Building — Security Glazing — Testing and Classification of Resistance against Bullet Attack*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2000c). *EN 12150-1: Glass in Building — Thermally Toughened Soda Lime Silicate Safety Glass — Part 1: Definition and Description*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2002). *EN 12600: Glass in Building — Pendulum Test — Impact Test Method and Classification for Flat Glass*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2003). *EN 13830: Curtain Walling — Product Standard*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2004). *EN 13126-1: Building Hardware — Requirements and Test Methods for Windows and Door-Height Windows — Part 1: Requirements Common to All Types of Hardware*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2005a). *EN 1303: Building Hardware — Cylinders for Locks — Requirements and Test Methods*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2005b). *EN 1991-1-4: Eurocode 1 — Actions on Structures — Part 1-4: General Actions — Wind Actions*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2011a). *EN 673: Glass in Building — Determination of Thermal Transmittance (U value) — Calculation Method*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2011b). *EN 1627: Pedestrian Doorsets, Windows, Curtain Walling, Grilles and Shutters — Burglar Resistance — Requirements and Classification*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2011c). *EN 12210: Windows and Doors — Resistance to Wind Load — Classification*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2016a). *EN 1026: Windows and Doors — Airpermeability — Test Method*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2016b). *EN 1027: Windows and Doors — Watertightness — Test Method*. Brussels: European Committee for Standardization.

- CEN (2016c). *EN 12211: Windows and Doors — Resistance to Wind Load — Test Method*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2016d). *EN 13501-2: Fire Classification of Construction Products and Building Elements — Part 2: Classification Using Data from Fire Resistance Tests, Excluding Ventilation Services*. Brussels: European Committee for Standardization.
- CEN (2016e). *EN 14351-1+A2: Windows and Doors — Product Standard, Performance Characteristics — Part 1: Windows and External Pedestrian Doorsets*. Brussels: European Committee for Standardization.
- EOTA (2012). *ETAG 002: Guideline for European Technical Approval of Structural Sealant Glazing Kits (SSGK). Part 1: Supported and Unsupported Systems*. Brussels: European Organisation for Technical Assessment.
- Gould, F.E. & Joyce, N.E. (2008). *Construction Project Management*. 3η έκδ. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- ISO (2010). *EN ISO 10140-2: Acoustics — Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements — Part 2: Measurement of Airborne Sound Insulation*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (2012). *EN ISO 10077-2: Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters — Calculation of Thermal Transmittance — Part 2: Numerical Method for Frames*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (2013). *EN ISO 717-1: Acoustics — Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements — Part 1: Airborne Sound Insulation*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (2017). *EN ISO 10077-1: Thermal Performance of Windows, Doors and Shutters — Calculation of Thermal Transmittance — Part 1: General*. Geneva: International Organization for Standardization.
- PMI (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. 6η έκδ. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- ΥΠΙΕΝ (2017). *Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. ΦΕΚ Β΄ 2367/12.07.2017.
- Yin, R.K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. 6η έκδ. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.