



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

ΓΥΑΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΚΑΤΣΙΚΑ ΑΣΠΑΣΙΑ



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2022

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Ευριπίδης Μυστακίδης
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Ολυμπία Παναγούλη
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Λάμπρος Κούτας
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της προπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Μυστακίδη Ευριπίδη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ 'αρχής, την πολύτιμη βοήθεια, την υπομονή και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου Νικόλαο και Γεωργία, τα αδέρφια μου, την γιαγιά μου καθώς και τους φίλους/φίλες μου για την στήριξη τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου και τη πολύπλευρη συμβολή τους στη μόρφωση του χαρακτήρα και της κοινωνικής μου υπόστασης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας εκτός αλλά και εντός του Δομοστατικού Τομέα καθώς, πέρα από την εκάστοτε θεωρητική γνώση, μου δίδαξαν να σκέφτομαι αναλυτικά, να λύνω προβλήματα, να βάζω σαν γνώμονα τη λογική και πάνω από όλα να αισθάνομαι μηχανικός.

Κατσίκια Ασπασία, Φεβρουάριος 2022

ΓΥΑΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Ασπασία Κατσίκια

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2022

Επιβλέπων Καθηγητής: Ευριπίδης Μυστακίδης, Καθηγητής

Περίληψη

Οι Υαλοπίνακες αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα των περισσότερων κτιρίων που κατασκευάζονται με την χρήση τους να είναι ευρέως διαδεδομένη από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα. Χρησιμοποιούνται άλλοτε ως μέλη του φέροντος οργανισμού και άλλοτε ως δευτερεύοντα στοιχεία της κατασκευής για το λόγο αυτό και χρήζουν σημαντικής σημασίας ως προς την διαστασιολόγησή τους. Στο πρώτο μέρος αυτής της διπλωματικής εργασίας γίνεται μία θεωρητική ανασκόπηση των υλικών που συνθέτουν ένα υαλοπίνακα και επιπλέον αναφέρονται μερικοί χαρακτηριστικοί τύποι υαλοπινάκων που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Παράλληλα αναλύεται εκτενέστερα η μεθοδολογία διαστασιολόγησης υαλοπινάκων βάση του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 16612:2019

Σε επόμενα κεφάλαια η διπλωματική εργασία πλαισιώνεται από τρία υπολογιστικά παραδείγματα διαστασιολόγησης υαλοπινάκων διαφορετικής μορφής το καθένα. Σε αυτά λαμβάνονται υπόψη σημαντικά χαρακτηριστικά των μονωτικών υαλοπινάκων (Insulating glass units) καθώς και των υαλοπινάκων πολλαπλών στρώσεων (laminated glass) που είναι η ανακατανομή της φόρτισης στα επιμέρους φύλλα του υαλοπίνακα και η συμβολή της ύπαρξης μεμβράνης στο εσωτερικό αντίστοιχα. Στόχος της διπλωματικής είναι να γίνει ο έλεγχος αντίστασης σε πλευρικά φορτία υαλοπινάκων με βάση τις απαιτήσεις και του υπολογισμού του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 16612:2019 για ορισμένες συνθήκες φόρτισης. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα των ελέγχων αντοχής των υαλοπινάκων τα οποία εξήχθησαν με την βοήθεια υπολογιστικού φύλλου του προγράμματος excel. Στα αναπτυσσόμενα παραδείγματα οι τελικές διαστάσεις και οι τύποι των υαλοπινάκων που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν μέσω διαδικασίας δοκιμών, μέχρι να ικανοποιούνται όλοι οι απαιτούμενοι έλεγχοι.

Λέξεις κλειδιά: Υαλοπίνακας, διαστασιολόγηση, μονωτικοί υαλοπίνακες, υαλοπίνακας πολλαπλών στρώσεων.

GLASS STRUCTURES

Aspasia Katsika

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2022

Supervisor: Euripides Mistakidis, Associate Professor

Abstract

A glass unit is a feature of most buildings under construction with their use being widespread from antiquity to the present days. They are used both as the main characteristics of the load bearing structure and also as the secondary elements of the construction and therefore, they are considered of great importance as far as their dimensioning is concerned. In the first part of this diplomatic assignment, there is a theoretical review of all the materials that make up a glass unit as well as some characteristic types of it that are used in practice. At the same time there is also an extensive analysis of the methodology used in glass unit's dimensioning based on the prototype ELOT EN 16612:2019.

In the next few chapters this diplomatic assignment is contexed of three calculating examples of glass unit dimensioning which are of different shapes. In these three examples, some very important characteristics of the insulating glass units as well as laminated glass units are included. These are the redistribution of loading to the individual parts of a glass unit and the contribution of membrane (interlayer) in the interior part of the glass unit respectively. The main goal of this diplomatic assignment is to check the resistance of lateral loads of a glass units based on the demands and the calculations of the prototype ELOT EN 16612:2019 under specific loading conditions.

This assignment presents thoroughly all the calculations alongside with the results of all the checking's as far as the glass unit's resistance is concerned. This output data was produced by excel. In this developed examples, the final dimensions as well as the glass unit types which have been used, came out through a specific testing procedure in order all the required tests to be satisfied.

Keywords: *Glass unit, dimensioning, insulating glass units, laminated glass.*

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	vii
Κατάλογος Σχημάτων	x
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο	1
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	2
1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασία	2
Κεφάλαιο 2 Το Δομικό γυαλί και χαρακτηριστικά του	4
2.1 Ιστορία του Γυαλιού	4
2.2 Το γυαλί ως υλικό	5
2.3 Τύποι γυαλιού	6
2.3.1 Ανοπτημένο γυαλί (Annealed glass)	6
2.3.2 Γυαλί με επαναφορά (Tempered glass)	7
2.3.3 Πολυστρωματικό Γυαλί (Laminated glass)	8
2.4 Μηχανικές Ιδιότητες του Γυαλιού	8
Κεφάλαιο 3 Μονωτικοί Υαλοπίνακες (Insulating glass units)	10
3.1 Περιγραφή μονωτικών υαλοπινάκων	10
Κεφάλαιο 4 Μεθοδολογία Διαστασιολόγησης Υαλοπινάκων	12
4.1 Υαλοπίνακας πολλαπλών στρώσεων (Laminated Glass Units)	12
4.1.1 Ενδιάμεση Μεμβράνη (Interlayer Membrane)	13
4.2 Μέθοδος Υπολογισμού Ισοδύναμου Πάχους κατά ΕΛΟΤ 16612:2019	14
4.2.1 Προσδιορισμός συντελεστή ω	15
4.3 Βασικές αρχές και βασικοί κανόνες σχεδιασμού υαλοπινάκων σύμφωνα με Ευρωπαϊκά Πρότυπα	16
4.3.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις	17
4.3.2 Τιμές σχεδιασμού τάσης από κάμψη για το ανοπτημένο γυαλί	18
4.3.3 Τιμές σχεδιασμού τάσης από κάμψη για το σκληρυμένο γυαλί	22
4.3.4 Τιμή σχεδιασμού βέλους κάμψης	23
4.4 Απαιτούμενοι Έλεγχοι Τάσεων και Παραμορφώσεων	23
4.4.1 Τύπος υπολογισμού μέγιστης εφελκυστικής τάσης και μέγιστης παραμόρφωσης	24
4.5 Υπολογιστική Διαδικασία Διαστασιολόγησης Μονωτικών Υαλοπινάκων	25
4.5.1 Διαστασιολόγηση διπλού μονωτικού υαλοπίνακα	26
Κεφάλαιο 5 Περιγραφή Παραδειγμάτων Διαστασιολόγησης	28
5.1 Περιπτώσεις υαλοπινάκων και δράσεις	28
5.1.1 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα	29
5.1.2 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα	31
5.2 Ανάλυση παραδειγμάτων διαστασιολόγησης	33

5.2.1	1 ^ο Παράδειγμα - Διπλός υαλοπίνακας με απλά μονολιθικά τμήματα	33
5.2.2	2 ^ο Παράδειγμα – Διπλός υαλοπίνακας με απλό φύλλο γυαλιού εξωτερικά και πολυστρωματικό φύλλο γυαλιού (laminated glass) εσωτερικά	52
5.2.3	3 ^ο Παράδειγμα – Μονωτικός υαλοπίνακας (insulating glass units) με πολυστρωματικά φύλλα γυαλιού (laminated glass) εξωτερικά και εσωτερικά.....	76
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα		100
6.1	Συμπεράσματα.....	100
Βιβλιογραφία		102

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1:	Μηχανικές Ιδιότητες κοινού τύπου γυαλιού (soda – lime -silicate glass).	9
Πίνακας 4.1:	Τιμές του συντελεστή ω βάση κατάσταση φόρτισης και ομάδας ακαμψίας.	16
Πίνακας 4.2:	Προτεινόμενες τιμές συντελεστών ψ για τα κτήρια.	18
Πίνακας 4.3:	Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_e	19
Πίνακας 4.4:	Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_{sp}	20
Πίνακας 4.5:	Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_{mod}	21
Πίνακας 4.6:	Τιμές Χαρακτηριστικής Αντοχής Κάμψης $f_{b,k}$	22
Πίνακας 4.7:	Προτεινόμενες τιμές συντελεστή k_v	22
Πίνακας 4.8:	Τιμές Συντελεστή k_1	25
Πίνακας 4.9:	Τιμές συντελεστή k_4	25
Πίνακας 4.10:	Κατανομή εξωτερικών φορτίων.	27
Πίνακας 4.11:	Κατανομή εσωτερικών φορτίων.	27
Πίνακας 5.1:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την Ο.Κ.Α.	30
Πίνακας 5.2:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	30
Πίνακας 5.3:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την αντιστρέψιμη	31
Πίνακας 5.4:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την Ο.Κ.Α... ..	32
Πίνακας 5.5:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	32
Πίνακας 5.6:	Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	32
Πίνακας 5.7:	Τιμές συντελεστή k_5 για τον υπολογισμό της μέγιστης τάσης.	35
Πίνακας 5.8:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.....	37
Πίνακας 5.9:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.....	38
Πίνακας 5.10:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	39
Πίνακας 5.11:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.....	40
Πίνακας 5.12:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	40
Πίνακας 5.13:	1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	41

Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 1 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	43
Πίνακας 5.15: 1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.	44
Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 1 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	45
Πίνακας 5.17: 1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	46
Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	49
Πίνακας 5.21: 1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	50
Πίνακας 5.22: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	50
Πίνακας 5.23: 1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.	51
Πίνακας 5.24: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	52
Πίνακας 5.25: 1 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	52
Πίνακας 5.26: Χαρακτηριστικά Μεμβράνης Trosifol Clear.	53
Πίνακας 5.27: Τιμές συντελεστή k_5	56
Πίνακας 5.28: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	60
Πίνακας 5.29: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	61
Πίνακας 5.30: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	62
Πίνακας 5.31: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	63
Πίνακας 5.32: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	63
Πίνακας 5.33: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	64
Πίνακας 5.34: : Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 2 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	65
Πίνακας 5.35: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.	67
Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 2 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	68
Πίνακας 5.37: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	68
Πίνακας 5.38: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	70
Πίνακας 5.39: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.	71
Πίνακας 5.40: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	72

Πίνακας 5.41: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	72
Πίνακας 5.42: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	73
Πίνακας 5.43: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.....	74
Πίνακας 5.44: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	75
Πίνακας 5.45: 2 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	75
Πίνακας 5.46: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.....	83
Πίνακας 5.47: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.....	84
Πίνακας 5.48: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	85
Πίνακας 5.49: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.....	86
Πίνακας 5.50: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.....	86
Πίνακας 5.51: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	87
Πίνακας 5.52: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 3 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	88
Πίνακας 5.53: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.	90
Πίνακας 5.54: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 3 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.	91
Πίνακας 5.55: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.....	92
Πίνακας 5.56: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3 ^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	93
Πίνακας 5.57: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.....	94
Πίνακας 5.58: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	95
Πίνακας 5.59: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	96
Πίνακας 5.60: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	97
Πίνακας 5.61: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1 ^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.....	97
Πίνακας 5.62: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3 ^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.	99
Πίνακας 5.63: 3 ^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2 ^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.	99

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Καθολική εκκλησία Sainte - Chapelle Παρίσι.....	4
Σχήμα 2.2: Κεντρικός Σιδηροδρομικός Σταθμός Βερολίνου.....	5
Σχήμα 2.3: Διαδικασία παραγωγής γυαλιού επίπλευσης	6
Σχήμα 2.4: Μορφές θραύσης διαφόρων τύπων γυαλιού.....	8
Σχήμα 2.5: Διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης (σ-ε) για το γυαλί και τον χάλυβα.....	9
Σχήμα 3.1: Σύνθεση διπλού μονωτικού υαλοπίνακα (insulating glass unit).....	10
Σχήμα 3.2: Συμπεριφορά μονωτικού υαλοπίνακα σε κλιματικά φορτία.....	11
Σχήμα 4.1: Σύνθεση γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.....	12
Σχήμα 4.2: Συμπεριφορά γυαλιού υπό κάμψη, (α) για δοκίμιο το οποίο αποτελείται από δύο φύλλα γυαλιού και (β) για ενιαίο δοκίμιο γυαλιού.....	13
Σχήμα 4.3: Σύνθεση υαλοπινάκων πολλαπλών στρώσεων.....	14
Σχήμα 4.4: Παράδειγμα διαστάσεων πάχους για υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων.....	15
Σχήμα 4.5: Τρόπος επίδρασης εξωτερικής και εσωτερικής φόρτισης σε έναν υαλοπίνακα παρουσία διακένου.....	26
Σχήμα 5.1: Παράδειγμα οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα περιμετρικά στηριζόμενου με ομοιόμορφη φόρτιση.....	29
Σχήμα 5.2: Παράδειγμα κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα περιμετρικά στηριζόμενου με ομοιόμορφη φόρτιση.....	31
Σχήμα 5.3: Τυπικό σχέδιο διπλού υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή.....	33
Σχήμα 5.4: Σχέδιο διπλού με υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή που αποτελείται από ένα απλό και ένα φύλλο γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.....	53
Σχήμα 5.5: Σχέδιο διπλού με υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή που αποτελείται από δύο φύλλα γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.....	76

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Παρόλο που το γυαλί είναι ένα τεχνικά μη στερεό υλικό λόγω του ότι τα μόρια που περιλαμβάνονται στην σύνθεσή του είναι αποδιοργανωμένα σαν ένα υγρό με την δυνατότητα ωστόσο να είναι άκαμπτα συνδεδεμένα σαν στερεό μπορεί να θεωρηθεί ένα από τα ιδανικότερα υλικά για τον κατασκευαστικό κλάδο (White, n.d.). Σαν υλικό το γυαλί χρησιμοποιείται εδώ και αρκετούς αιώνες έχοντας σαν κύρια χρήση του την διακοσμητική ή την κάλυψη ανοιγμάτων εξασφαλίζοντας έτσι προστασία από τα διάφορα καιρικά φαινόμενα και διατηρώντας την οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, στην σημερινή κατασκευαστική βιομηχανία μοιάζει να αποτελεί ένα από τα πιο ελκυστικά δομικά υλικά. Για αρκετούς αιώνες η χρήση του θεωρούνταν αμφίβολη εξαιτίας την μηχανικής συμπεριφοράς που εμφανίζει σαν υλικό κατά συνέπεια οτιδήποτε κατασκευάζονταν από γυαλί καταλάμβανε μικρότερη επιφάνεια και δεν είχε σαν κύρια χρήση την ανάληψη οποιουδήποτε φορτίου. Παρόλα αυτά με την πάροδο των χρόνων και χάρις την προηγμένη τεχνολογία το γυαλί έχει γίνει ένα από τα πιο αξιόπιστα δομικά υλικά. Οι απαιτήσεις των σύγχρονων κατασκευών, οδήγησαν στην δημιουργία κρυστάλλων με εξελιγμένες δυνατότητες και προδιαγραφές για όλες τις κατασκευαστικές και διακοσμητικές ανάγκες.

Αποδεδειγμένα οι αρετές του γυαλιού οδηγούν τους αρχιτέκτονες στην ευρεία χρήση του καθώς πρόκειται για ένα υλικό το οποίο είναι φιλικό προς το περιβάλλον, αφού δεν απαιτείται μεγάλο ποσό ενέργειας για την κατασκευή του και είναι απόλυτα ανακυκλώσιμο. Στα σύγχρονα κτήρια όπου η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι αυξημένη, το γυαλί είναι ένα από τα υλικά που συμβάλουν στην ενεργειακή απόδοση τους με αποτέλεσμα μικρότερη ανάγκη για κλιματισμό. Στα θετικά του γυαλιού συγκαταλέγονται η διαφάνεια, η ακαμψία, η αντίσταση στις ατμοσφαιρικές μολύνσεις, η δυνατότητα αντανάκλασης, φιλτραρίσματος της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η αντοχή του στις καιρικές συνθήκες και την διάβρωση. Παράλληλα με την επιλογή κατάλληλων τύπων γυαλιού δίνεται η δυνατότητα για θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες ενώ παρέχεται και αντιπυρική προστασία.

Ωστόσο πέραν των δυνατοτήτων που προσφέρει το γυαλί στην κατασκευαστική βιομηχανία, η διαδικασία σχεδιασμού περιλαμβάνει αρκετά περίπλοκα στάδια.

Σημαντικότερο εκ των οποίων είναι η αποφυγή συγκέντρωσης υψηλών τάσεων χρησιμοποιώντας υλικά με χαμηλή ακαμψία μεταξύ των τμημάτων γυαλιού όπως ο χάλυβας. Μια ακόμη πτυχή στο σχεδιασμό με γυαλί είναι και η διασφάλιση χρήσης των στοιχείων που έχουν εμφανίσει ρωγμές. Κατά συνέπεια για την ασφαλή χρήση γυάλινων στοιχείων σε μια κατασκευή λαμβάνουμε υπόψη τα ακόλουθα στάδια. Ξεκινώντας από την επιλογή του κατάλληλου τύπου γυαλιού το οποίο θα εξασφαλίζει την επιθυμητή φέρουσα ικανότητα, στη συνέχεια απαραίτητη προϋπόθεση είναι και η βελτιωμένη συμπεριφορά μετά την θραύση η οποία μπορεί να ελεγχθεί με την κατάλληλη επιλογή και τέλος δίνεται βάση στον τρόπο σχεδιασμού προκειμένου να αποφευχθεί η ολική αστοχία.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η περιγραφή των διαφορετικών τύπων γυαλιού που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή υαλοπινάκων. Παράλληλα αναλύεται εκτενέστερα το Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16612 με κύριο περιεχόμενο τον προσδιορισμό της πλευρικής αντίστασης υαλοπινάκων σε φορτία, το οποίο και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό και την διαστασιολόγηση υαλοπινάκων. Στη συνεισφορά αυτής της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνονται τρία διαφορετικά αριθμητικά παραδείγματα διαστασιολόγησης υαλοπινάκων υπό φορτία που επηρεάζουν κυρίως την χώρα μας όπως το χιόνι και ο άνεμος. Τα παραπάνω αριθμητικά παραδείγματα δεν λαμβάνουν υπόψη πιθανές φορτίσεις με δυναμικό χαρακτήρα, σεισμικά φορτία. Επομένως δεν καλύπτει τον καθολικό σχεδιασμό όλων των φορτίσεων και σεναρίων των προτύπων.

1.3 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας

Το υπόλοιπο της διπλωματικής εργασίας χωρίζεται σε πέντε ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 2 – 6, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται εν συντομία η ιστορία του γυαλιού, μερικές χαρακτηριστικές του ιδιότητες σαν υλικό, καθώς και διάφοροι τύποι γυαλιού που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των υαλοπινάκων που μελετώνται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μορφολογία και τα χαρακτηριστικά των μονωτικών υαλοπινάκων των οποίων η διαστασιολόγηση μελετάται στα παραδείγματα που συμπληρώνουν την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Εν συνεχεία στο Κεφάλαιο 4 γίνεται εκτενέστερη

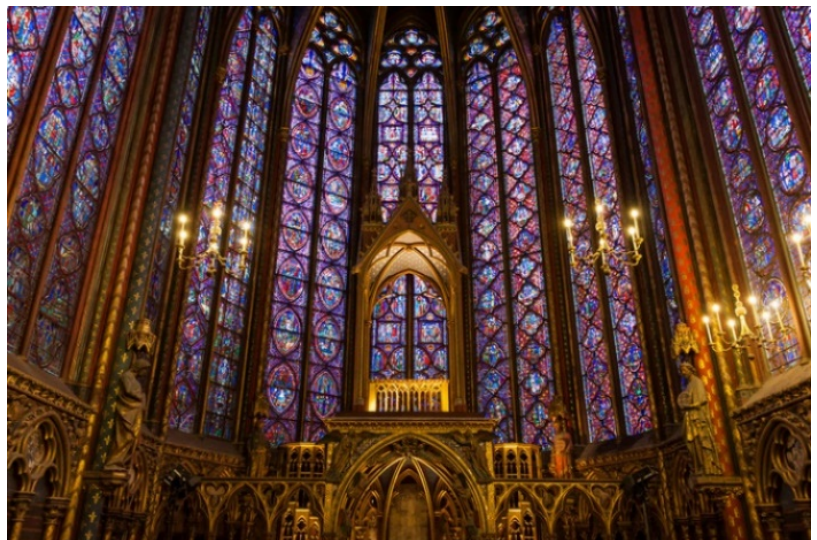
αναφορά στον τρόπο διαστασιολόγησης διπλών υαλοπινάκων βάση του Πρότυπου **ΕΛΟΤ EN 16612:2019**, καταλήγοντας στο Κεφάλαιο 5 όπου μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου που δημιουργήθηκε αναλύονται τρία διαφορετικά παραδείγματα διαστασιολόγησης υαλοπινάκων με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.

Κεφάλαιο 2 Το Δομικό γυαλί και χαρακτηριστικά του

2.1 Ιστορία του Γυαλιού

Η ύπαρξη του γυαλιού χρονολογείται από την εποχή του Λίθου τότε που οι κοινωνίες χρησιμοποιούσαν την πλέον φυσική του μορφή η προέρχονταν από ηφαιστειακά κυρίως μείγματα. Τέτοιες μορφές ηφαιστειακού γυαλιού προκύπτουν όταν η λάβα που εξωθείται από ένα ηφαίστειο ψύχεται γρήγορα με ελάχιστη ανάπτυξη κρυστάλλων, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κομμάτια τα οποία να έχουν αρκετά κοφτερές άκρες οι οποίες επέτρεπαν στον ιδανικό σχεδιασμό και στο σωστό κόψιμο εργαλείων και όπλων. Διάφορες αναφορές σε αρχαιολογικά ευρήματα αποδεικνύουν ότι οι πρώτες μορφές συνθετικού γυαλιού κατασκευάστηκαν περίπου 4000 χρόνια π.Χ. στην Μεσοποταμία, την Αίγυπτο ή την Συρία με κύρια χρήση τους κυρίως την διακοσμητική καθώς λόγω του ότι υφίσταται εύκολα επεξεργασία ήταν αρκετά απλό να δημιουργηθούν αντικείμενα όπως βάζα, μπουκάλια και άλλα. Στις πρώτες του μορφές το γυαλί σπάνια ήταν διαφανές ενώ συχνά περιείχε και ατέλειες ωστόσο περίπου στο 1500 π.Χ. ξεκινούν να εμφανίζονται τα πρώτα χρώματα βάση διάφορων ευρημάτων που είχαν ανακαλυφθεί (Macfarlane & Martin, 2004; Werner Sobek et al., 2007). Προχωρώντας στην ιστορία κατά την Ρωμαϊκή εποχή η ορολογία του γυαλιού φαίνεται να εδραιώνεται, μεταβαίνοντας έτσι στον Μεσαίωνα όπου το γυαλί στην Ευρώπη χρησιμοποιούνταν ευρέως στην κατασκευή μνημείων. Ακόμη ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και η χρήση του γυαλιού πλέον από αρχιτέκτονες στις αρχές του 13^{ου} αιώνα σε έργα όπως η

καθολική εκκλησία Sainte-Chapelle στο Παρίσι (σχ. 2.1) και ο καθεδρικός ναός Gloucester στην Αγγλία όπου επιβλητικά βιτρό παράθυρα κοσμούν και προσδίδουν έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα στους επιβλητικούς αυτούς ναούς. Κατά την διάρκεια του 13^{ου} αιώνα το νησί Μουράνο στην Βενετία γίνεται το



Σχήμα 2.1: Καθολική εκκλησία Sainte - Chapelle Παρίσι.

κέντρο παραγωγής γυαλιού όπου οι τεχνίτες βασιζόμενοι σε μεσαιωνικές τεχνικές ξεκινούν την παραγωγή πολύχρωμων διακοσμητικών σε μεγάλες ποσότητες. Με την πάροδο των χρόνων παρατηρείται μεγάλη εξέλιξη στον κλάδο της παραγωγής του γυαλιού καθώς και μαζί με αυτές τις νέες τεχνικές μαζικής παραγωγής κατά την διάρκεια του 20^{ου} οδηγούμαστε σε μια ευρέως διαδεδομένη χρήση του σαν οικοδομικό υλικό. Για την νεότερη ιστορία στα σύγχρονα κτήρια που κατασκευάζονται χρησιμοποιείται συχνά ένα εξωτερικό κάλυμμα εξ'ολοκλήρου από γυαλί το οποίο ωστόσο συμβάλει και στην προστασία από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ένα παράδειγμα κτηρίου του οποίου το κέλυφος κατασκευάστηκε από γυαλί είναι ο κεντρικός σταθμός στο Βερολίνο (σχ. 2.2), δείχνοντας κατά αυτόν τον τρόπο το μεγάλο εύρος στη χρήση του. Στην κατασκευαστική βιομηχανία ακόμη έχουν αναπτυχθεί διάφοροί τύποι γυαλιών για μια ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας μας.



Σχήμα 2.2: Κεντρικός Σιδηροδρομικός Σταθμός Βερολίνου.

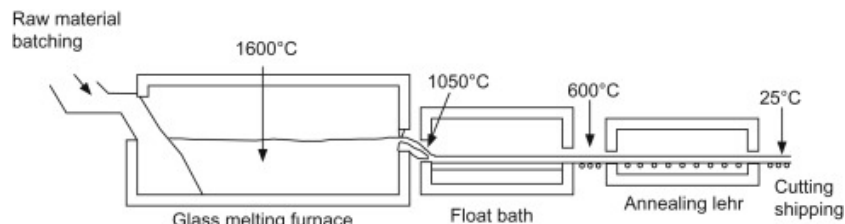
2.2 Το γυαλί ως υλικό

Το γυαλί αποτελεί την παγωμένη κατάσταση ενός υγρού το οποίο όμως στερεοποιείται χωρίς κρυστάλλωση (Laufs & Luibe, 2003). Μικροσκοπικά θα λέγαμε ότι πρόκειται για ένα άμορφο στερεό του οποίου τα άτομα δεν έχουν περιοδική διάταξη όπως ένας απλός κρύσταλλος. Οι σημαντικότεροι τύποι γυαλιού βασίζονται στην χημική ένωση πυρίτιο που είναι πρακτικά το κύριο συστατικό της άμμου. Στην οικοδομική βιομηχανία χρησιμοποιείται γυαλί το οποίο παρασκευάζεται με σύνταξη χαλαζιακής άμμου(SiO_2),

ανθρακικού νατρίου(Na_2CO_3), οξειδίου του καλίου(K_2O), ανθρακικό ασβέστιο(CaCO_3), ανθρακικό μαγνήσιο(MgCO_3) και οξείδιο του αργιλίου(Al_2O_3). Από τα παραπάνω συστατικά το διοξείδιο του πυριτίου(SiO_2) είναι και αυτό που βρίσκεται σε μεγαλύτερο ποσοστό συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Ωστόσο στην πράξη μπορούμε να συναντήσουμε και άλλες συνθέσεις ενώσεων οι οποίες προσδίδουν και διαφορετικές ιδιότητες στο παρασκευαζόμενο γυαλί όπως για παράδειγμα γυαλί από βοροπυρίτιο το οποίο έχει υψηλή χημική σταθερότητα και μεγάλη αντίσταση σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

2.3 Τύποι γυαλιού

Στον κλάδο των κατασκευών ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η χρήση του γυαλιού επίπλευσης (float glass) το οποίο εφευρέθηκε από τον Alastair Pilkington γύρω στο 1950, με βασική μέθοδο παραγωγής του την έγχυση του πάνω σε λιωμένο μέταλλο συνήθως κασσίτερο που έχει ως αποτέλεσμα το ομοιόμορφο πάχος και την δημιουργία μιας κατάλληλα επίπεδης επιφάνειας (σχ. 2.3).



Σχήμα 2.3: Διαδικασία παραγωγής γυαλιού επίπλευσης .

Είναι συνήθως φθινό υλικό και χάρης την υψηλή ποιότητα σε συνδυασμό με την κατασκευαστική του ευελιξία δίνει την δυνατότητα να παραχθεί πληθώρα αντικειμένων από γυαλί. Εν συνεχεία ανάλογα με τον τρόπο επεξεργασίας που μπορεί να υποστεί το κοινό γυαλί μπορούν να προκύψουν οι εξής χαρακτηριστικοί τύποι: του ανοπτημένου γυαλιού (Annealed glass), του γυαλιού με επαναφορά (Tempered glass) , του θερμικά ενισχυμένου γυαλιού(Heat strengthened glass), του γυαλιού πολλαπλών στρώσεων (Laminated glass).

2.3.1 Ανοπτημένο γυαλί (Annealed glass)

Το ανοπτημένο γυαλί υπόκειται σε μία διαδικασία αργής ψύξης μετά τον σχηματισμό του προκειμένου να αποβληθούν οι υπολειπόμενες εσωτερικές τάσεις που αναπτύσσονται μέσα στην κρυσταλλική του δομή. Η διαδικασία αυτή συμβάλει σημαντικά

στην αύξηση αντοχής του γυαλιού και προηγείται της κοπής και της υπόλοιπης επεξεργασίας του. Εν αντίθεση το επαρκώς ανοπτημένο γυαλί είναι πολύ πιθανό να σπάσει ή να θρυμματιστεί όταν υποβληθεί σε θερμικό ή μηχανικό σοκ. Με σκοπό την αποφυγή τέτοιων περιπτώσεων και όταν υπάρχει έντονη εναλλαγή θερμοκρασιών είναι σημαντική η διαδικασία επαναφοράς.

2.3.2 Γυαλί με επαναφορά (Tempered glass)

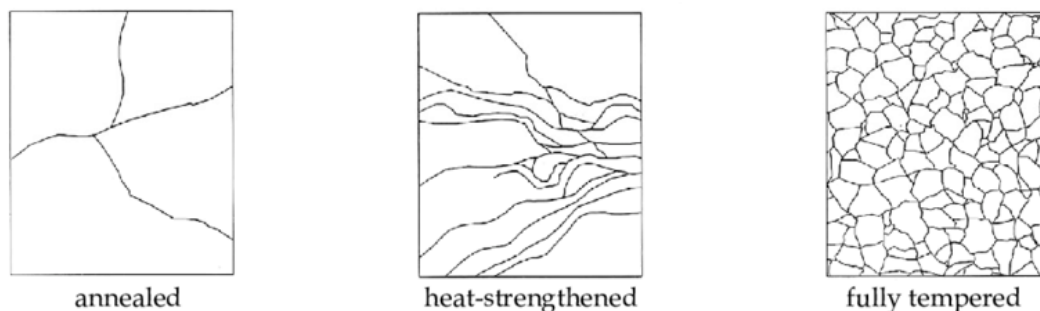
Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας του ανοπτημένου γυαλιού ενδείκνυται μια επιπλέον διαδικασία επαναθέρμανσης και ταχείας ψύξης η οποία έχει ως αποτέλεσμα να σκληραίνει η εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού και να δημιουργούνται θλιπτικές τάσεις ενώ στο εσωτερικό του έχουμε αύξηση των εφελκυστικών τάσεων προσδίδοντας έτσι μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανική και θερμική καταπόνηση. Βέβαια ο συγκεκριμένος τύπος γυαλιού έχει δύο βασικές ποιότητες:

α) Σκληρυμένο γυαλί (Toughened glass)

Το οποίο μέσω αυτής της διαδικασίας καθίσταται τέσσερις έως πέντε φορές ισχυρότερο και ασφαλέστερο από το ανοπτημένο ή μη επεξεργασμένο γυαλί. Με αυτή του την ιδιότητα το σκληρυμένο γυαλί όταν υποστεί θραύση, σπάει σε πολύ μικρά κοκκώδη κομμάτια τα οποία ωστόσο είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν τραυματισμό.

β) Θερμικά ενισχυμένο γυαλί (Heat strengthened glass)

Στο οποίο η παραγωγική διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή του σκληρυμένου γυαλιού με την διαφορά ότι η διαδικασία ψύξης γίνεται πιο αργά και έχει ως αποτέλεσμα διαφορά στο βαθμό παραμενουσών επιφανειακών τάσεων. Το θερμικά επεξεργασμένο γυαλί θεωρείται δύο φορές πιο ισχυρό από το ανοπτημένο γυαλί. Ωστόσο τα κομμάτια γυαλιού που προκύπτουν σε περίπτωση θραύσης έχουν παρόμοια δομή με αυτά του κοινού γυαλιού και για το λόγο αυτό συνίσταται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιο άλλο τύπο γυαλιού (σχ. 2.4).



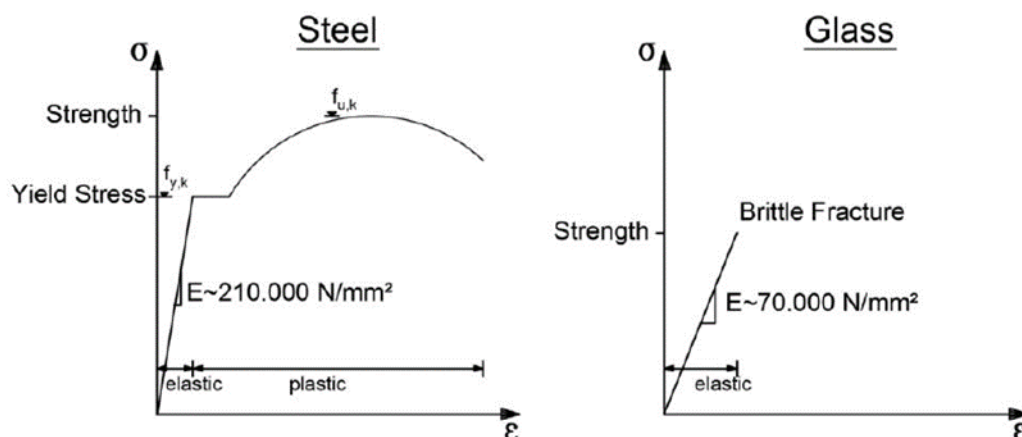
Σχήμα 2.4: Μορφές θραύσης διαφόρων τύπων γυαλιού.

2.3.3 Πολυστρωματικό Γυαλί (Laminated glass)

Ο συγκεκριμένος τύπος γυαλιού εξασφαλίζει υψηλά ποσοστά ασφαλείας καθώς σε περίπτωση θραύσης τα δύο φύλλα γυαλιού συγκρατούνται στο εσωτερικό τους από μία μεμβράνη κυρίως το πολυβινυλοβουτυλένιο (PVB). Έτσι σε περίπτωση που η δύναμη του χτυπήματος υπερβαίνει την αντοχή του γυαλιού η μεμβράνη λειτουργεί συγκολλητικά και αποτρέπει την δημιουργία μεγάλων αιχμηρών κομματιών όταν σπάσει το γυαλί, αφού τα κομμάτια παραμένουν κολλημένα σε αυτή. Τέτοιου είδους τύποι γυαλιού χρησιμοποιούνται ευρέως στον κατασκευαστικό κλάδο τόσο για την κατασκευή υαλοπινάκων, όσο και την δημιουργία ασφαλούς τζαμιών αυτοκινήτων αλλά και σε φωτοβολταϊκά.

2.4 Μηχανικές Ιδιότητες του Γυαλιού

Το γυαλί είναι ελαστικό υλικό που παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα στη καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων παρατηρείται μια γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι την θραύση χωρίς να υπάρχει δυνατότητα πλαστικής παραμόρφωσης και κατά συνέπεια ανακατανομής της έντασης στα στοιχεία όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τον χάλυβα. Το γεγονός αυτό αποτελεί και έναν από τους κύριους λόγους που συχνά το γυαλί θεωρείται επικίνδυνο καθώς δεν δέχεται πλαστικές παραμορφώσεις και συνεπώς δεν προειδοποιεί πριν την θραύση του, σε αντίθεση με τον χάλυβα ο οποίος εισέρχεται στην πλαστική ζώνη και συνεπώς αποτελεί ένα όλκιμο υλικό(σχ. 2.5).



Σχήμα 2.5: Διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης (σ - ϵ) για το γυαλί και τον χάλυβα.

Θεωρητικά το γυαλί αρκετά υψηλή εφελκυστική αντοχή μεγαλύτερη από αυτή των 32 MPa. Ωστόσο η πραγματική τιμή της μπορεί να διαφέρει καθώς εξαρτάται από τα ελαττώματα που μπορεί να φέρει η γυάλινη επιφάνεια. Παράλληλα η θλιπτική αντοχή του γυαλιού είναι θεωρητικά μεγαλύτερη από την εφελκυστική όταν δεν υπάρχουν ελαττώματα στην επιφάνεια ή δεν έχουμε αστοχία σε θλίψη. Όταν λοιπόν δεν υπάρχουν συγκεκριμένες ενδείξεις σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες του γυαλιού, γίνεται χρήση για όλους τους τύπους γυαλιών των ακόλουθων τιμών (soda-lime-silicate glass):

Πίνακας 4.1: Μηχανικές Ιδιότητες κοινού τύπου γυαλιού (soda – lime -silicate glass).

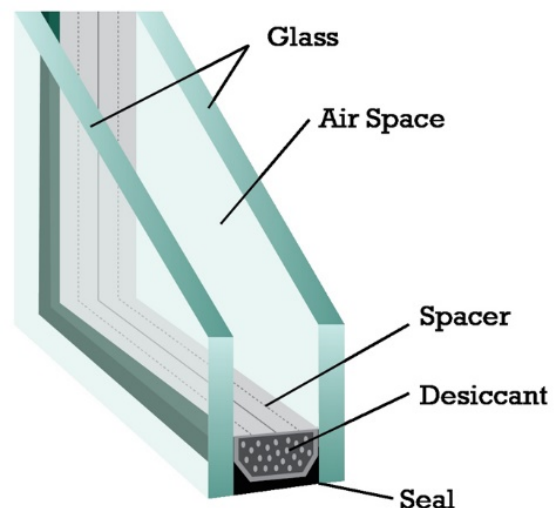
Glass density	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$
Young's modulus	$E = 70000 \text{ MPa}$
Poisson number	$\mu = 0.23$
Tensile strength	30 – 90 MPa
Bending strength	30 – 100 MPa
Compressive strength	880 - 930 MPa

Επιπλέον βάση του Προτύπου **EN 16612:2019** έχουν οριστεί χαρακτηριστικές τιμές κάμψης για το ανοπτημένο γυαλί στα 45MPa, για το θερμικά ενισχυμένο γυαλί στα 70MPa και τέλος για το πλήρως σκληρυμένο γυαλί στα 120MPa.

Κεφάλαιο 3 Μονωτικοί Υαλοπίνακες (Insulating glass units)

3.1 Περιγραφή μονωτικών υαλοπινάκων

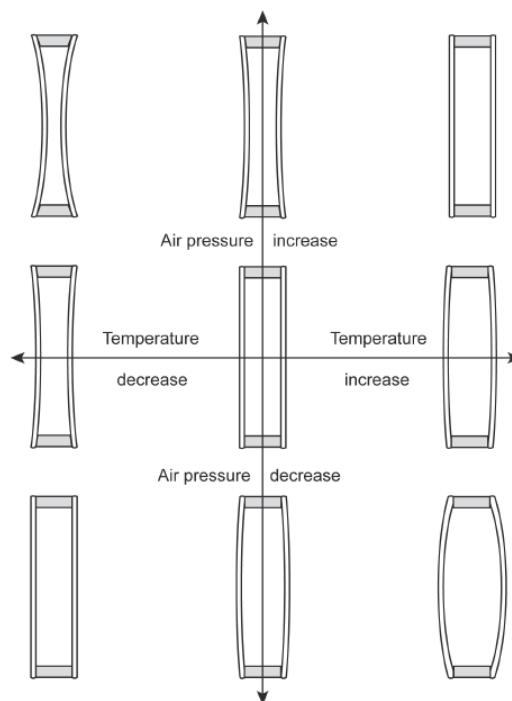
Καθώς ο κοινός τύπος υαλοπινάκων παρουσιάζει υψηλή πιθανότητα αστοχίας σε έντονες καιρικές συνθήκες και σε συνδυασμό με τις όλο ένα αυξανόμενες απαιτήσεις για εξοικονόμηση ενέργειας, ο κατασκευαστικός κλάδος οδηγήθηκε στην δημιουργία πιο ενισχυμένων τύπων υαλοπινάκων ώστε να υπάρχει αυξημένη αντοχή των δομικών στοιχείων, καθιστώντας τα έτσι πιο ανθεκτικά και ασφαλή. Τέτοιοι είναι οι τύποι των μονωτικών υαλοπινάκων που αποτελούνται συνήθως σύνθεση δύο ή και περισσότερων φύλλων γυαλιού μεταξύ των οποίων υπάρχει διάκενο προκειμένου να μειώνεται η απώλεια θερμότητας που εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου ενώ παράλληλα μπορούν να μειώσουν και την μετάδοση του ορατού φωτός. Με την ιδιότητα αυτή βελτιώνεται σημαντικά η θερμική απόδοση και μειώνεται το ενεργειακό κόστος. Επιπλέον οι μονωτικοί υαλοπίνακες αποτελούν το τέλειο εμπόδιο ενάντια στον ανεπιθύμητο θόρυβο όπως οδική, σιδηροδρομική και εναέρια κυκλοφορία. Τα επιλεγόμενα πάχη των φύλλων γυαλιού για την κατασκευή των μονωτικών υαλοπινάκων κυμαίνονται από 3mm έως και 10mm, με την επιλογή του φύλλου με το μεγαλύτερο πάχος να ορίζεται για συγκεκριμένο σκοπό. Στους περισσότερους μονωτικούς υαλοπίνακες τα πάχη των φύλλων είναι τα ίδια χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί κατασκευαστική απαίτηση. Εκτός από τα απλά φύλλα γυαλιού μπορούν να χρησιμοποιηθεί και ο τύπος του πολυστρωματικού γυαλιού (laminated glass). Το διάκενο που υπάρχει μεταξύ των φύλλων γυαλιού μπορεί να γεμίσει με αέρα ή αργό όπως και γίνεται συχνά καθώς το δεύτερο προσδίδει καλύτερη μόνωση (Buddenberg et al., 2016; Respondek & Major, 2019; Weller & Köhler, 2016).



Σχήμα 3.6: Σύνθεση διπλού μονωτικού υαλοπίνακα (insulating glass unit).

Σημαντικά χαρακτηριστικά των μονωτικών υαλοπινάκων είναι τα εξής:

- Λόγω παρουσίας συγκεκριμένης ποσότητας αερίου στο διάκενο αναπτύσσεται το φαινόμενο της ανακατανομής φόρτισης. Πιο συγκεκριμένα μπορεί ένας τέτοιος τύπος υαλοπίνακα να εκτίθεται σε εξωτερικά φορτία όπως ο άνεμος ή το χιόνι ωστόσο κάθε φύλλο του υαλοπίνακα θα επιδέχεται διαφορετική τιμή φόρτισης η οποία εξαρτάται και από την ακαμψία του κάθε τμήματος του υαλοπίνακα.
- Η διαφορά μεταξύ της πίεσης του περιβάλλοντος και του αερίου που υπάρχει στο διάκενο του υαλοπίνακα δημιουργεί μια επιπλέον φόρτιση σε κάθε τμήμα (Buddenberg et al., 2016). Το επιπλέον φορτίο που αναπτύσσεται ονομάζεται κλιματικό φορτίο και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η διαφορά θερμοκρασίας και η υψομετρική διαφορά. Για παράδειγμα η αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης ή η μείωση της θερμοκρασίας του αερίου που υπάρχει στο διάκενο έχει ως αποτέλεσμα την κοίλη εκτροπή του υαλοπίνακα ενώ αντίθετα με την μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης ή την αύξηση της θερμοκρασίας ο υαλοπίνακας παίρνει κυρτή μορφή (σχ. 3.2).

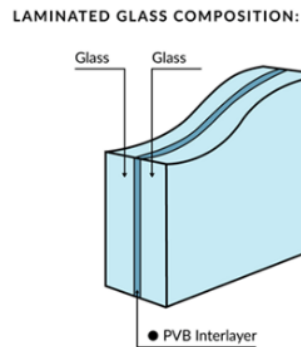


Σχήμα 3.7: Συμπεριφορά μονωτικού υαλοπίνακα σε κλιματικά φορτία.

Κεφάλαιο 4 Μεθοδολογία Διαστασιολόγησης Υαλοπινάκων

4.1 Υαλοπίνακας πολλαπλών στρώσεων (Laminated Glass Units)

Καθώς το γυαλί είναι από την φύση του ψαθυρό υλικό χωρίς να υπάρχει δυνατότητα πλαστικής παραμόρφωσης υπήρχε η ανάγκη για αναζήτηση υλικών τα οποία συνεργασία με αυτό θα μπορούσαν να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο αστοχίας και όχι μόνο. Ο Γάλλος χημικός Édouard Bénédictus ήταν αυτός που εφηύρε το πολυστρωματικό γυαλί το 1903. Ο συγκεκριμένος τύπος γυαλιού αποτελείται συνήθως από δύο άκαμπτα φύλλα που συνδέονται ενδιάμεσα συνήθως με μία μεμβράνη (σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1: Σύνθεση γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.

Η χρήση του πολυστρωματικού γυαλιού είναι ευρέως διαδεδομένη στο κλάδο της μηχανικής καθώς η συμπεριφορά της μεμβράνης που βρίσκεται στο εσωτερικό προσφέρει βελτιωμένες ιδιότητες στο γυαλί. Το υλικό από το οποίο φτιάχνονται κυρίως αυτές οι μεμβράνες είναι τα πολυμερή, ωστόσο υπάρχουν διαφορετικά είδη μεμβρανών τα οποία εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες. Στους υαλοπίνακες αυτή η σύνθεση υλικών αποτελεί πλεονέκτημα για την συμπεριφορά του γυαλιού που υπόκεινται σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης καθώς και σε πιο δυσμενής συνθήκες όπως είναι η θραύση. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μια δοκιμή κάμψης εκτός επιπέδου και πριν από την θραύση βασικός ρόλος της μεμβράνης στο εσωτερικό των δύο κολλημένων υαλοπινάκων είναι η μεταφορά διατμητικών τάσεων μεταξύ των επιφανειών περιορίζοντας έτσι την ολίσθηση μεταξύ τους. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η συμπεριφορά δύο δοκιμών που υπόκεινται σε κάμψη όταν το ένα αποτελείται από δύο ξεχωριστά φύλλα γυαλιού και το άλλο είναι ένα ενιαίο τμήμα. Η μηχανική συμπεριφορά που επιδεικνύει ο τύπος των πολυστρωματικών υαλοπινάκων βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα στους

δύο τύπους δοκιμών που αναφέρθηκαν, ωστόσο στην πραγματικότητα θα πρέπει να γίνει ανάλυση με την χρήση πεπερασμένων στοιχείων για να υπάρξουν βέβαια αποτελέσματα ως προς τον τρόπο συμπεριφοράς τους. (Bucher & Kolbitsch, 2018; Galuppi et al., 2013; Martín et al., 2020)

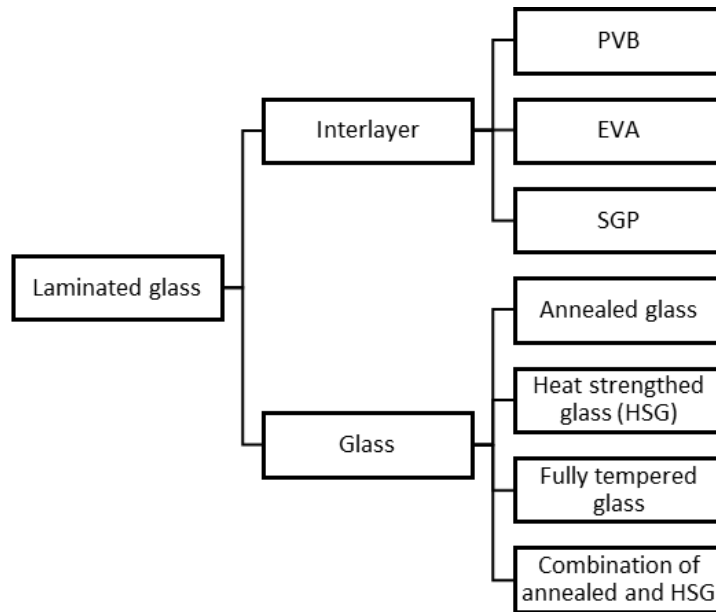


Σχήμα 4.2: Συμπεριφορά γυαλιού υπό κάμψη, (α) για δοκίμιο το οποίο αποτελείται από δύο φύλλα γυαλιού και (β) για ενιαίο δοκίμιο γυαλιού.

Μετά από την θραύση σημαντικό πλεονέκτημα της ύπαρξης των μεμβρανών είναι ότι διατηρούν τα σπασμένα κομμάτια μεταξύ τους αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο για τραυματισμό αλλά και για πιθανή ολική κατάρρευση.

4.1.1 Ενδιάμεση Μεμβράνη (Interlayer Membrane)

Μερικοί χαρακτηριστικοί τύποι μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πολυστρωματικών υαλοπινάκων είναι η πολυβινυλοβουτυράλη (polyvinyl butyral – PVB), ο Αιθυλένιο-οξικός βινυλεστέρας (ethylene vinyl acetate – EVA) και ο τύπος Sentry Glass Plus (SGP) της εταιρίας DuPont, Kuarary. Πέρα από την ιδιότητα που προσφέρουν με το να συγκρατούν τα φύλλα γυαλιού σε έναν πολυστρωματικό υαλοπίνακα οι μεμβράνες αυτές μπορεί να προσφέρουν προστασία από τον θόρυβο, την ακτινοβολία, ακόμη και την φωτιά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή υαλοπινάκων έχουν ιξωδοελαστική συμπεριφορά, με αυτό να σημαίνει ότι οι ιδιότητες τους μπορεί να εξαρτώνται από τον χρόνο, την θερμοκρασία και άλλους παράγοντες. Για το λόγο αυτό κατατάσσονται σε συγκεκριμένες ομάδες ακαμψίας. Περισσότερες λεπτομέρειες για τις διαφορές των μεμβρανών δεν θα αναφερθούν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.



Σχήμα 4.3: Σύνθεση υαλοπινάκων πολλαπλών στρώσεων.

4.2 Μέθοδος Υπολογισμού Ισοδύναμου Πάχους κατά ΕΛΟΤ 16612:2019

Σκοπός της μεθόδου υπολογισμού του ισοδύναμου πάχους προκειμένου λοιπόν να ληφθεί υπόψη η ύπαρξη της μεμβράνης στην διαστασιολόγηση θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ενιαίο πάχος για την περίπτωση των πολυστρωματικών υαλοπινάκων (laminated glass) στις υπολογιστικές διαδικασίες. Ωστόσο επειδή ο ακριβής υπολογισμός των τάσεων και των παραμορφώσεων είναι περίπλοκος καθώς τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες οι υπολογισμοί γίνονται αρκετά πιο σύνθετοι. Για το λόγο αυτό και βάση του Προτύπου **ΕΛΟΤ 16612:2019** προτείνεται η απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού ισοδύναμου πάχους η οποία δύναται να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των γραμμικά υποστηριζόμενων υαλοπινάκων που υποβάλλονται σε ομοιόμορφα κατανεμημένη φόρτιση.

Βάση της απλοποιημένης μεθόδου υπολογισμού ισοδύναμου πάχους κατά **ΕΛΟΤ 16612:2019** υπολογίζονται τα εξής:

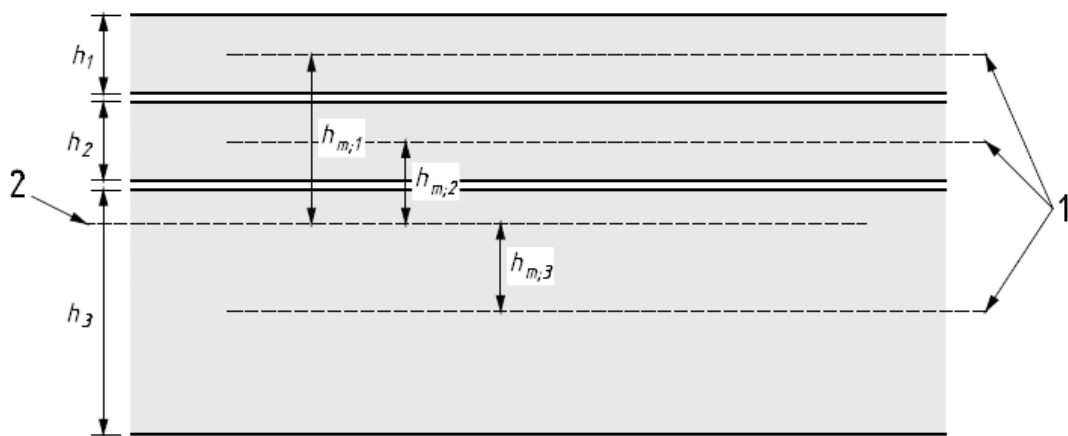
Το ισοδύναμο πάχος για τον υπολογισμό καμπτικής παραμόρφωσης δίνεται από την εξίσωση (4.1):

$$h_{ef;w} = \sqrt[3]{\sum_k h_h^3 + 12 \omega (\sum_i h_i h_{m,i}^2)} \quad (4.1)$$

Το ισοδύναμο πάχος για τον υπολογισμό τάσεων δίνεται από την εξίσωση (4.2) :

$$h_{ef;\sigma;j} = \sqrt{\frac{(h_{ef;w})^3}{(h_{j+2} \omega h_{m;j})}} \quad (4.2)$$

Όπου ω είναι ο συντελεστής μεταφοράς διάτμησης με τιμές να κυμαίνονται από το 0 έως και το 1 και αναλύεται στην συνέχεια και τα $h_k, h_j, h_{m,k}, h_{m,j}$ για την περίπτωση τριών φύλλων γυαλιού λαμβάνονται σύμφωνα με το σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Παράδειγμα διαστάσεων πάχους για υαλοπίνακα πολλαπλών στρώσεων.

4.2.1 Προσδιορισμός συντελεστή ω

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ω σχετίζεται με διάφορους παράγοντες, ωστόσο με την χρήση της απλοποιημένης μεθόδου δίνεται βάση στο είδος και την διάρκεια της φόρτισης. Οι τιμές του συντελεστή ω μπορεί να κυμαίνονται από το 0 έως το 1. Η τιμή του συντελεστή ω λαμβάνεται 0 όταν τα φύλλα γυαλιού πρακτικά λειτουργούν ξεχωριστά για συγκεκριμένο είδος φόρτισης και συνεπώς ολισθαίνουν μεταξύ τους ενώ η τιμή 1 όταν υπάρχει πλήρης διατμητική σύζευξη των φύλλων γυαλιού. Η λειτουργία των επιμέρους φύλλων γυαλιού ενός πολυστρωματικού υαλοπίνακα σαν ενιαίο τμήμα ή μη σχετίζεται άμεσα από τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται ενδιάμεσα, επομένως στην επιλογή της τιμής του συντελεστή θα έχουν σημασία. Έτσι λοιπόν εκτός από την ιδιότητα που έχουν να προσφέρουν στον υαλοπίνακα πλήρη σύζευξη μεταξύ των φύλλων γυαλιού ώστε να αποφεύγονται δυσμενή φαινόμενα, κατατάσσονται σε μια ομάδα ακαμψίας και με βάση την φόρτιση που

μπορεί να επιδέχεται ο υαλοπίνακας λαμβάνεται συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή ω . Η κατάσταση φόρτισης καθώς και η διάρκεια βάση της οποίας θα προσδιορίζονται οι τιμές του συντελεστή ω για τις μεμβράνες δίνονται στον πίνακα 4.1, παράλληλα με τις ομάδες ακαμψίας (stiffness family) στις οποίες κατατάσσονται οι μεμβράνες έχουν ληφθεί υπόψη σε μεθόδους δοκιμής και αξιολόγησης στο **Πρότυπο EN 16613**.

Πίνακας 4.1: Τιμές του συντελεστή ω βάση κατάστασης φόρτισης και ομάδας ακαμψίας.

Κατάσταση φόρτισης		Family 0	Family 1	Family 2	Διάρκεια φόρτισης	Εύρος θερμοκρασίας ενδιάμεσων
1	Φορτίο ριπής ανέμου (Μεσογειακές περιοχές)	0	0.1	0.5	3 s	0 °C < θ < 35 °C
2	Φορτίο ριπής ανέμου (άλλες περιοχές)	0	0.3	0.7	3 s	0 °C < θ < 20 °C
3	Φορτίο ανεμοθύελλας (Μεσογειακές περιοχές)	0	0	0.1	10 min	0 °C < θ < 35 °C
4	Φορτίο ανεμοθύελλας (άλλες περιοχές)	0	0.1	0.5	10 min	0 °C < θ < 20 °C
5	Φορτία κιγκλιδωμάτων - χωρίς συνωστισμό (π.χ. κατηγορίες χρήσης κτιρίων A, B, C1 και E)	0	0.1	0.5	30 s	0 °C < θ < 30 °C ^b
6	Φορτώνει κιγκλίδωμα - κοσμοσυρροή	0	0.1	0.3	5 min	0 °C < θ < 30 °C ^b
7	Φορτία συντήρησης	0	0	0.1	30 min	0 °C < θ < 40 °C
8	Φορτίο χιονιού - εξωτερικά στέγαστρα και στέγες μη θερμαινόμενων κτιρίων	0	0.1	0.3	3 εβδομάδες	-20 °C < θ < 0 °C
9	Φορτίο χιονιού - στέγες θερμαινόμενων κτιρίων	0	0	0.1	5 ημέρες	-20 °C < θ < 20 °C
10	Διακυμάνσεις πίεσης κοιλότητας σε μονωτικές γυάλινες μονάδες: καλοκαίρι	0	0	0.1	6 h	20 °C < θ < 40 °C
11	Διακυμάνσεις πίεσης κοιλότητας σε μονωτικές μονάδες γυαλιού: χειμώνας	0	0.1	0.3	12 h	-30 °C < θ < 20 °C
12	Μόνιμα	0	0	0	50 χρόνια	-20 °C < θ < 60 °C

4.3 Βασικές αρχές και βασικοί κανόνες σχεδιασμού υαλοπινάκων σύμφωνα με Ευρωπαϊκά Πρότυπα

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αναπτύσσεται ο προσδιορισμός της αντοχής υαλοπινάκων που βασίζεται στην μέθοδο προσδιορισμού αντίστασης σε πλευρικά φορτία γραμμικά στηριζόμενων υαλοπινάκων του Προτύπου **ΕΛΟΤ EN 16612:2019**. Η μέθοδος είναι σύμφωνη με τις αρχές του Ευρωκώδικα EN 1990: Βάσεις Σχεδιασμού Δομημάτων. Παράλληλα οι δράσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη βάση του Ευρωκώδικα 1 και των τμημάτων EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 και EN1991-1-4 συμπεριλαμβανομένων και των εθνικών παραρτημάτων.

Στα βασικά βήματα σχεδιασμού ανήκουν ο προσδιορισμός του φορτίου σχεδιασμού, ο προσδιορισμός της αντοχής σχεδιασμού για την κάθε περίπτωση υαλοπίνακα η οποία σχετίζεται με τις φορτίσεις που επιβάλλονται στην αντίστοιχη επιφάνεια καθώς και την διάρκεια αυτών και επιπλέον ο υπολογισμός της μέγιστης τάσης και της παραμόρφωσης του βέλους. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται σε έναν υαλοπίνακα να είναι μεγαλύτερες από το συνολικό του πάχος δηλαδή προκύπτει το θέμα της ανάπτυξης μεγάλων παραμορφώσεων του οποίου η λύση δίνεται μέσω μη γραμμικής ανάλυσης, ωστόσο στο πρότυπο δίνεται μία απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού τάσεων και παραμορφώσεων για γραμμικά υποστηριζόμενους ορθογωνικούς υαλοπίνακες.

4.3.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις

Συνδυασμοί Δράσεων

Οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων είναι οι εξής:

Για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ultimate Limit State - ULS):

$$F_d = \gamma_G * G + \gamma_Q * Q_{k,1} + \gamma_Q * \sum_i \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (4.3)$$

Η Οριακή Κατάσταση Αστοχίας αφορά την ασφάλεια των ανθρώπων και την ασφάλεια της κατασκευής. Τμήμα της κατασκευής ή και ολόκληρη η κατασκευή φτάνει σε οριακή κατάσταση αντοχής ή παραμόρφωσης.

Για την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (Serviceability Limit State - SLS):

- Μη αναστρέψιμη χαρακτηριστική κατάσταση λειτουργικότητας:

$$F_d = G + Q_{k,1} + \gamma_Q * \sum_i \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (4.4)$$

- Αναστρέψιμη χαρακτηριστική κατάσταση λειτουργικότητας:

$$F_d = G + \psi_1 * Q_{k,1} + \gamma_Q * \sum_i \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (4.5)$$

Η Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας αφορά την λειτουργικότητα της κατασκευής και σχετίζεται με την άνεση των ανθρώπων και την εμφάνιση της . Τμήμα της κατασκευής παρουσιάζει παραμορφώσεις με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η καθημερινή άνετη χρήση της.

Οι συντελεστές ασφαλείας που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στις εξισώσεις (4.3), (4.4) και (4.5) λαμβάνονται βάση Ευρωκώδικα EN 1990:2002 και είναι:

Για Μόνιμες Δράσεις Με Δυσμενή επιρροή: $\gamma_G = 1.35$

Για Μόνιμες Δράσεις Με Ευμενή επιρροή: $\gamma_G = 1.00$

Για Μεταβλητές Δράσεις Με Δυσμενή επιρροή: $\gamma_G = 1.5$

Για Μεταβλητές Δράσεις Με Ευμενή επιρροή: $\gamma_G = 0$

Και παράλληλα οι συντελεστές ψ για τον συνδυασμό δράσεων βάση του πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Προτεινόμενες τιμές συντελεστών ψ για τα κτήρια.

Δράσεις	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)			
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία B: χώροι γραφείων			
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7	0,5	0,3
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$	1,0	0,9	0,8
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Κατηγορία H: στέγες	0,7	0,5	0,3
	0	0	0
Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*			
Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$	0,70	0,50	0,20
Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$	0,50	0,20	0
Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

4.3.2 Τιμές σχεδιασμού τάσης από κάμψη για το ανοπτημένο γυαλί

Για το ανοπτημένο γυαλί (annealed glass) οι τιμές σχεδιασμού της καμπτικής δύναμης δίνονται από τον τύπο:

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod} * k_{sp} * k_e * f_{g;k}}{\gamma_{M,A}} \quad (4.6)$$

Όπου για τους επιμέρους συντελεστές της εξίσωσης ισχύει:

Συντελεστής k_e

Ο συντελεστής k_e ονομάζεται συντελεστής αντοχής άκρου και η τιμή του εξαρτάται από την στήριξη των άκρων του υαλοπίνακα. Για παράδειγμα εάν ο υαλοπίνακας αναπτύσσει χαμηλές τιμές τάσεων υπό κάμψη δηλαδή είναι στηριζόμενος και στις τέσσερις πλευρές τότε η τιμή του συντελεστή k_e λαμβάνεται ίση με 1. Εάν ο υαλοπίνακας αναπτύσσει υψηλές τιμές τάσεων υπό κάμψη δηλαδή είναι είτε στηριζόμενος στις δύο απέναντι πλευρές είτε στις τρεις πλευρές του τότε οι τιμές του μπορεί να είναι και χαμηλότερες από την τιμή 1.

Να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που οι άκρες του γυαλιού έχουν υποστεί κάποιας μορφής μηχανική βλάβη που μπορεί να προκύψει είτε από την κοπή αλλά είτε από την λείανση τότε η μέση αντοχή των άκρων μπορεί να χαρακτηριστεί χαμηλότερη από την μέση αντοχή της υπόλοιπης γυάλινης επιφάνειας. Εάν έχουν δημιουργηθεί ρωγμές οι οποίες εκτείνονται και στο κύριο μέρος της γυάλινης επιφάνειας τότε θεωρούμε την τιμή της μέσης αντοχής ίδια τόσο στις άκρες όσο και στην υπόλοιπη επιφάνεια. Επιπλέον όμως επειδή δεν γίνεται να μην ληφθεί υπόψη η επιρροή των ρωγμών και βάση παλαιότερων προσεγγίσεων στον σχεδιασμό η εφελκυστική αντοχή των άκρων του γυαλιού μπορεί να θεωρηθεί χαμηλότερη από την αντοχή της μέσης επιφάνειας βάση της Εξ. (4.7) και των τιμών του συντελεστή k_e που δίνονται στον πίνακα :

$$f_{eg;d} = k_e f_{g;d} \quad (4.7)$$

Πίνακας 4.3: Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_e .

Τύπος γυαλιού των υαλοπινάκων	Συντελεστής ενίσχυσης άκρων, k_e		
	Όπως κόπηκε, με μία άκρη λεία, ή με λείες άκρες	Σημαδεμένες άκρες	Γυαλισμένες άκρες
Γυαλί επίπλευσης ή φύλλα γυαλιού	0.8	0.9	1
Γυαλί με σχέδια	0.8	0.8	0.8
Γυαλισμένο γυαλί και ενισχυμένο με σύρματα	0.8	0.8	0.8
Γυαλί με σχέδια και ενισχυμένο με σύρματα	0.8	0.8	0.8

Συντελεστής προφίλ επιφάνειας γυαλιού k_{sp}

Οι τιμές του δίνονται στον πίνακα 4.4 και αφορούν την μορφή της επιφάνειας του γυαλιού ανάλογα με την διαδικασία παραγωγής του.

Πίνακας 4.4: Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_{sp} .

Υλικό υαλοπινάκων (για οποιαδήποτε σύνθεση)	Συντελεστής για το προφίλ γυάλινης επιφάνειας k_{sp}	
	Όπως παράγεται	Γυαλί που παράγεται με διαδικασία αμβολής
Γυαλί επίπλευσης	1	0.6
Γυαλί ελκυστό σε φύλλα	1	0.6
Επισμαλτωμένο γυαλί	1	0.6
Γυαλί με σχέδια	0.75	0.45
Επισμαλτωμένο γυαλί με σχέδια	0.5	0.45
Γυαλισμένο γυαλί ενισχυμένο με σύρματα	0.75	0.45
Γυαλί με σχέδια και ενισχυμένο με σύρματα	0.6	0.36

Συντελεστής για την διάρκεια φόρτισης k_{mod}

Οι τιμές του συντελεστή k_{mod} για την περίπτωση του ανοπτημένου γυαλιού δίνονται από την σχέση:

$$k_{mod} = 0.663 t^{-1/16} \quad (4.8)$$

Όπου t η διάρκεια της φόρτισης σε ώρες.

Ωστόσο μερικές τιμές του συντελεστή έχουν ορισθεί πειραματικά και δίνονται στον πίνακα 4.5. Τα φορτία με διαφορετική διάρκεια πρέπει να αντιμετωπιστούν συνδυαστικά, η προτεινόμενη τιμή του k_{mod} για το συνδυασμό φορτίου είναι η υψηλότερη τιμή από τον Πίνακα 5, η οποία σχετίζεται με οποιοδήποτε από τα φορτία του συνδυασμού. Για παράδειγμα, εάν το γυαλί υπόκειται σε φορτία ανέμου, χιονιού και ίδιου βάρους, τα αποτελέσματα ενός συνδυασμού χιονιού και ίδιου βάρους θα αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας ένα k_{mod} 0,45 και τα αποτελέσματα ενός συνδυασμού ανέμου, χιονιού και εαυτού Τα φορτία βάρους θα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας k_{mod} 0,74 (ή 1,0). Όλοι οι σχετικοί συνδυασμοί πρέπει να ελέγχονται.

Πίνακας 4.5: Προτεινόμενες τιμές του συντελεστή k_{mod} .

Φόρτιση	Διάρκεια φόρτισης	k_{mod}
Ριπές ανέμου ^a	5 s	1
Συσσωρευμένη ανεμοθύελλα	10 min equivalent ^b	0.74
Φράγμα προσωπικών φορτίων - κανονική εργασία	30 s ^c	0.89
Φράγμα προσωπικών φορτίων - πλήθους	5 min ^c	0.77
Συντήρηση	30 min	0.69
Χιόνι	3 weeks ^d	0.45
Διακυμάνσεις πίεσης κοιλότητας σε μονωμένες μονάδες γυαλιού	8 h ^e	0.58
Μόνιμο φορτίο, ίδιο βάρος, υψόμετρο σε μονωμένες μονάδες γυαλιού	permanent (50 years)	0.29
<p>a Εάν η αντίσταση διαστασιολόγησης έναντι της πίεσης ανέμου με μέγιστη ταχύτητα ($q_p(z) = C_e(z) q_b$, διάρκεια φορτίου 3s), θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί $k_{mod} = 1,0$.</p> <p>b Η τιμή του $k_{mod} = 0,74$ βασίζεται σε μια αθροιστική ισοδύναμη διάρκεια 10 λεπτών, η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική της επίδρασης μιας καταιγίδας που μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες. Για τον άνεμο μπορούν να ληφθούν υπόψη υψηλότερες τιμές k_{mod}.</p> <p>c Η τιμή του $k_{mod} = 0,89$ βασίζεται σε φορτίο προσωπικού διάρκειας 30 δευτερολέπτων. Μπορούν να ληφθούν υπόψη και άλλες τιμές ανάλογα με τον τύπο του φορτίου προσωπικού που αξιολογείται και επίσης τη χρήση του κτιρίου.</p> <p>d Η τιμή του $k_{mod} = 0,45$ μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για φορτία χιονιού που διαρκούν από 5 ημέρες ($k_{mod} = 0,49$) έως 3 μήνες ($k_{mod} = 0,41$). Άλλες τιμές του k_{mod} μπορεί να είναι κατάλληλες ανάλογα με το τοπικό κλίμα.</p> <p>e Η τιμή $k_{mod} = 0,58$ μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για διακυμάνσεις της πίεσης κοιλότητας που διαρκούν μεταξύ 6 h ($k_{mod} = 0,59$) και 12 h ($k_{mod} = 0,57$). Άλλες τιμές του k_{mod} μπορεί να είναι κατάλληλες ανάλογα με το τοπικό κλίμα.</p>		

Τα φορτία με διαφορετική διάρκεια πρέπει να αντιμετωπιστούν συνδυαστικά, η προτεινόμενη τιμή του k_{mod} για το συνδυασμό φορτίου είναι η υψηλότερη τιμή από τον Πίνακα 5, η οποία σχετίζεται με οποιοδήποτε από τα φορτία του συνδυασμού.

Για παράδειγμα, εάν το γυαλί υπόκειται σε φορτία ανέμου, χιονιού και ίδιου βάρους, τα αποτελέσματα ενός συνδυασμού χιονιού και ίδιου βάρους θα αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας ένα $k_{mod} = 0,45$ και τα αποτελέσματα ενός συνδυασμού ανέμου, χιονιού και τα φορτία ίδιου βάρους θα αξιολογούνται χρησιμοποιώντας $k_{mod} = 0,74$ (ή 1,0). Όλοι οι σχετικοί συνδυασμοί πρέπει να ελέγχονται.

4.3.3 Τιμές σχεδιασμού τάσης από κάμψη για το σκληρυμένο γυαλί

Για το σκληρυμένο γυαλί (prestressed glass) οι τιμές σχεδιασμού της καμπτικής δύναμής δίνονται μέσω της εξίσωσης (4.8):

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod} * k_{sp} * f_{g;k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v(f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M;v}} \quad (4.9)$$

Όπου οι τιμές της χαρακτηριστικής καμπτικής αντοχής $f_{b;k}$ για το ενισχυμένο γυαλί δίνονται στον πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Τιμές Χαρακτηριστικής Αντοχής Κάμψης $f_{b;k}$.

Υλικό υαλοπίνακα ανά προϊόν (όποια και αν είναι η σύνθεση)	Τιμές για τη χαρακτηριστική αντοχή κάμψης $f_{b;k}$ ενισχυμένου υαλοπίνακα επεξεργασμένο από:		
	Θερμικά σκληρυμένο υαλοπίνακα ασφαλείας κατά EN 12150-1 και θερμικά εμποτισμένο-σκληρυμένο υαλοπίνακα ασφαλείας κατά EN 14179-1	Θερμικά ενισχυμένο υαλοπίνακα κατά EN 1863-1	χημικά ενισχυμένο υαλοπίνακα κατά EN 12337-1
Γυαλί επίπλευσης ή γυαλί ελκυστό σε φύλλα	120 N/mm ²	70 N/mm ²	150 N/mm ²
Γυαλί με σχέδια	90 N/mm ²	55 N/mm ²	100 N/mm ²
Επισμαλτωμένο γυαλί επίπλευσης με σχέδια ή γυαλί ελκυστό σε φύλλα	75 N/mm ²	45 N/mm ²	
Επισμαλτωμένο γυαλί με σχέδια	75 N/mm ²	45 N/mm ²	

Συντελεστής k_v

Η παρουσία λαβής κατά την κάθετη σκλήρυνση γυαλιού τείνει να μειώσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας σε σχέση οριζόντια σκλήρυνση γυαλιού επομένως ο συντελεστής ενίσχυσης μπορεί να λάβει τις εξής τιμές βάση του πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Προτεινόμενες τιμές συντελεστή k_v .

Διαδικασία παραγωγής	Συντελεστής ενίσχυσης (Strengthening factor), k_v
Οριζόντια σκλήρυνση (ή άλλη διαδικασία χωρίς τη χρήση λαβίδων ή άλλων συσκευών για τη συγκράτηση του γυαλιού)	1
Κάθετη σκλήρυνση (ή άλλη διαδικασία που χρησιμοποιεί λαβίδες ή άλλες συσκευές για τη συγκράτηση του γυαλιού)	0.6

4.3.4 Τιμή σχεδιασμού βέλους κάμψης

Στη μηχανική αποτέλεσμα της φόρτισης ενός δομικού στοιχείου είναι η παραμόρφωση. Η παραμόρφωση συχνά αναφέρεται σε κάποια απόσταση μετατόπισης που ονομάζεται αλλιώς και βέλος κάμψης ή μπορεί να εκφράζεται μέσω κάποιας γωνίας. Στην περίπτωση των υαλοπινάκων δεν υπάρχει κάποια ακριβής απαίτηση της αντοχής τους ώστε να περιορίζεται η παραμόρφωση υπό συνθήκες φόρτισης. Ωστόσο προκειμένου να διασφαλισθεί ότι οι παραμορφώσεις του υαλοπίνακα θα είναι εντός επιτρεπόμενων ορίων και δεν θα υπάρχει πρόβλημα εξάρθρωσης τους από τις στηρίξεις, θα πρέπει είτε να περιοριστεί η παραμόρφωση αλλά είτε να εξασφαλισθεί η επαρκής στήριξη των πλευρών του υαλοπίνακα. Στο **Πρότυπο EN16612:2019** προτείνεται μια τιμή παραμόρφωσης σχεδιασμού, w_d , με επιπλέον γνώμονα ότι ο υαλοπίνακας που χρησιμοποιείτε δεν είναι υπερβολικά εύκαμπτος υπό την ύπαρξη φορτίων καθώς αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στην χρήση της κατασκευής. Η Εξ. (4.10) δίνει την τιμή της παραμόρφωσης σχεδιασμού w_d .

$$w_d = \frac{span}{65} \text{ ή } 50mm \quad (4.10)$$

Όπου ο όρος $span$ αναφέρεται στην τιμή του μήκους της πλευράς του υαλοπίνακα και επιλέγεται ως εξής:

- Όταν ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος σε δύο πλευρές τότε λαμβάνεται υπόψη το μεγαλύτερο μήκος από τις πλευρές που είναι αστήριχτες.
- Όταν ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος στις τρεις πλευρές τότε λαμβάνεται υπόψη το μήκος της πλευράς που είναι αστήριχτη.
- Όταν ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος και στις τέσσερις πλευρές τότε λαμβάνεται υπόψη το μήκος της μικρότερης πλευράς.

4.4 Απαιτούμενοι Έλεγχοι Τάσεων και Παραμορφώσεών

Για τον ικανοποιητικό σχεδιασμός ενός υαλοπίνακα στην τελική οριακή κατάσταση αστοχίας οι μέγιστες τάσεις λόγω κάμψης, σ_{max} , που αναπτύσσονται λόγω φορτίων σχεδιασμού δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή σχεδιασμού καμπτικής δύναμης, $f_{g;d}$, δηλαδή θα πρέπει να ικανοποιείται ο παρακάτω έλεγχος:

$$\sigma_{max} \leq f_{g;d} \quad (4.11)$$

Σχετικά με τον περιορισμό των παραμορφώσεων του βέλους που μπορούν να αναπτυχθούν σε έναν υαλοπίνακα ισχύει ότι η μέγιστη τιμή της παραμόρφωσης, w_{max} , δεν θα πρέπει ξεπερνά την τιμή σχεδιασμού παραμόρφωσης, w_d , δηλαδή θα πρέπει να ικανοποιείται ο παρακάτω έλεγχος:

$$w_{max} \leq w_d \quad (4.12)$$

Στους παραπάνω ελέγχους θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι συνδυασμοί των δράσεων.

4.4.1 Τύπος υπολογισμού μέγιστης εφελκυστικής τάσης και μέγιστης παραμόρφωσης

Ο τύπος που δίνει το αποτέλεσμα της μέγιστης εφελκυστικής τάσης κάμψης για τους υαλοπίνακες είναι ο εξής:

$$\sigma_{max} = k_1 \frac{a^2}{h^2} F_d \quad (4.13)$$

Οι υπολογισμοί αφορούν ορθογωνικούς υαλοπίνακες διαστάσεων $a \times b$, όπου ως τιμή a λαμβάνεται υπόψη η μικρότερη εκ των δύο διαστάσεων.

Στην περίπτωση όπου ο υαλοπίνακας αποτελείται από πολυστρωματικό γυαλί (laminated glass) τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς το ισοδύναμο πάχος $h_{eq,\sigma}$, αντί για το πάχος h .

Ο τύπος που δίνει το αποτέλεσμα της μέγιστης παραμόρφωσης για τους υαλοπίνακες είναι ο εξής:

$$w_{max} = k_4 \frac{a^4}{h^3} \frac{F_d}{E} \quad (4.14)$$

Στην περίπτωση όπου ο υαλοπίνακας αποτελείται από πολυστρωματικό γυαλί (laminated glass) τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς το ισοδύναμο πάχος $h_{eq,w}$, αντί για το πάχος h .

Οι τιμές των συντελεστών k_1 και k_4 θα λαμβάνονται από τον πίνακα 4.8 και τον πίνακα 4.9 αντίστοιχα.

Πίνακας 4.8: Τιμές Συντελεστή κ₁.

λ = a / b	ρ*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1	0.268	0.261	0.244	0.223	0.19	0.152	0.135	0.13	0.129	0.128	0.128
0.9	0.319	0.309	0.286	0.26	0.218	0.172	0.152	0.145	0.14	0.144	0.144
0.8	0.38	0.369	0.341	0.309	0.257	0.199	0.173	0.164	0.162	0.162	0.162
0.7	0.449	0.437	0.408	0.372	0.311	0.236	0.199	0.186	0.184	0.184	0.184
0.6	0.524	0.515	0.49	0.457	0.391	0.294	0.238	0.215	0.212	0.211	0.211
0.5	0.6	0.595	0.58	0.559	0.506	0.395	0.302	0.255	0.247	0.245	0.245
0.4	0.671	0.669	0.664	0.655	0.631	0.551	0.429	0.322	0.297	0.29	0.289
0.3	0.724	0.723	0.722	0.721	0.716	0.694	0.629	0.471	0.388	0.356	0.349
0.2	0.747	0.747	0.747	0.747	0.747	0.745	0.738	0.699	0.613	0.502	0.457
0.1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.749	0.748	0.74	0.729

Πίνακας 4.9. Τιμές συντελεστή κ₄.

λ = a / b	ρ*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1	0.0461	0.0414	0.0354	0.031	0.0255	0.0189	0.0137	0.0088	0.0062	0.0044	0.0036
0.9	0.0559	0.0505	0.0434	0.0381	0.0314	0.0233	0.0168	0.0108	0.0077	0.0054	0.0044
0.8	0.0683	0.0624	0.054	0.0477	0.0395	0.0293	0.0213	0.0137	0.0097	0.0069	0.0056
0.7	0.0826	0.0769	0.068	0.0607	0.0507	0.038	0.0277	0.0178	0.0127	0.009	0.0073
0.6	0.0984	0.0941	0.0858	0.0781	0.0666	0.0508	0.0373	0.0242	0.0172	0.0122	0.01
0.5	0.1148	0.1125	0.1069	0.1005	0.0889	0.0703	0.027	0.0345	0.0247	0.0176	0.0144
0.4	0.1303	0.1295	0.1273	0.1242	0.1166	0.0994	0.0781	0.0528	0.0382	0.0273	0.0224
0.3	0.1421	0.1419	0.1416	0.141	0.192	0.1324	0.117	0.0872	0.0654	0.0477	0.0393
0.2	0.1474	0.1474	0.1474	0.1473	0.1472	0.1468	0.1452	0.1363	0.1195	0.0962	0.0822
0.1	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.148	0.1479	0.1477	0.1471	0.146

Στην περίπτωση υπολογισμού μεγάλων παραμορφώσεων θα πρέπει να γίνει υπολογισμός του φορτίου ρ* βάση της Εξ. (4.15) και έπειτα μέσω γραμμικής παρεμβολής στους πίνακες 4.8 και 4.9 να ληφθούν οι τιμές κ₁ και κ₄.

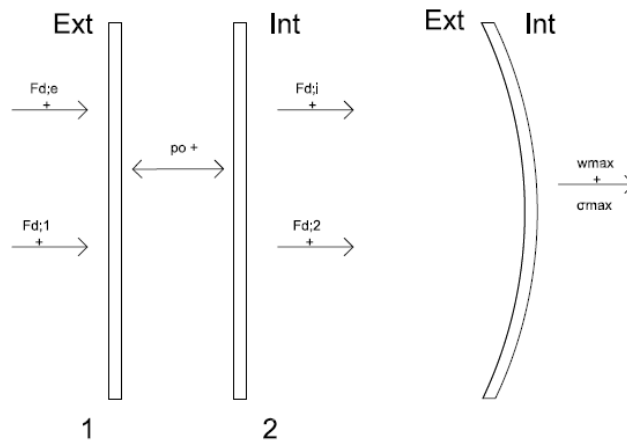
$$p^* = \left(\frac{A}{4h^2} \right)^2 * \frac{F_d}{E} \quad (4.15)$$

4.5 Υπολογιστική Διαδικασία Διαστασιολόγησης Μονωτικών Υαλοπινάκων

Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δείχνει κάθε μηχανικός στην περίπτωση διαστασιολόγησης υαλοπινάκων καθώς αρκετοί είναι και οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Εκτός λοιπόν από τις εξωτερικές φορτίσεις που μπορεί να επιδέχονται οι υαλοπίνακες, όταν ο σχεδιασμός αφορά μονωτικούς υαλοπίνακες (insulating glass units), θα πρέπει να γίνει ιδιαίτερα αντιληπτός και κατανοητός ο τρόπος μεταφοράς των αντίστοιχων φορτίσεων στα φύλλα τμήματα του υαλοπίνακα αφού εξαρτάται από την ακαμψία των επιμέρους τμημάτων του.

Εξίσου σημαντικό θέμα της διαδικασίας είναι και οι επιπλέον φορτίσεις που δημιουργούνται λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος και του αερίου που υπάρχει στο διάκενο του υαλοπίνακα.

4.5.1 Διαστασιολόγηση διπλού μονωτικού υαλοπίνακα



Σχήμα 4.5: Τρόπος επίδρασης εξωτερικής και εσωτερικής φόρτισης σε έναν υαλοπίνακα παρουσία διακένου

Η κατανομή της φόρτισης η οποία εξαρτάται από την ακαμψία των υαλοπινάκων σχετίζεται με την διάσταση του πάχους αυτών. Στην περίπτωση του διπλού υαλοπίνακα εάν το πάχος του εξωτερικού υαλοπίνακα ισούται με h_1 και το πάχος του εσωτερικού υαλοπίνακα ισούται με h_2 θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην κατανομή των ομοιόμορφα κατανεμημένων φορτίων ορισμένοι υπολογισμοί όπως φαίνεται στην συνέχεια.

Κατανομή ακαμψίας για τον εξωτερικό υαλοπίνακα πάχους h_1 :

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} \quad (4.16)$$

Κατανομή ακαμψίας για τον εσωτερικό υαλοπίνακα πάχους h_2 :

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = 1 - \delta_1 \quad (4.17)$$

Παράλληλα στην κατανομή των φορτίων λαμβάνεται υπόψη και ο μονωτικός συντελεστής μονάδας ϕ :

$$\phi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} \quad (4.18)$$

Όπου: α^* ονομάζεται το χαρακτηριστικό μήκος μίας μονάδας υαλοπίνακα και

$$\alpha^* = 28.9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} \quad (4.19)$$

s: στην περίπτωση των μονωτικών υαλοπινάκων s είναι η απόσταση (διάκενο) μεταξύ των υαλοπινάκων στο οποίο υπάρχει κάποιο αέριο.

Σε όλους τους παραπάνω υπολογισμούς όταν ο υαλοπίνακας αποτελείται από πολυστρωματικό γυαλί (laminated glass) θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντί για τα πάχη h_1 και h_2 το ισοδύναμο πάχος $h_{eq,w}$. Στην συνέχεια η κατανομή της εξωτερικής φόρτισης στον εξωτερικό και εσωτερικό υαλοπίνακα γίνεται βάση των σχέσεων που δίνονται στον πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10: Κατανομή εξωτερικών φορτίων.

Φόρτιση	Μέρος της φόρτισης που απορροφάται από τον εξωτερικό υαλοπίνακα (pane 1)	Μέρος της φόρτισης που απορροφάται από τον εσωτερικό υαλοπίνακα (pane 2)
Εξωτερικό φορτίο που δρά στον εξωτερικό υαλοπίνακα (pane1)	$F_{d,e} = (\delta_1 + \varphi \delta_2) F_{d;1}$	$F_{d,i} = (1 - \varphi) \delta_2 F_{d;1}$
Εξωτερικό φορτίο που δρά στον εσωτερικό υαλοπίνακα (pane2)	$F_{d,e} = (1 - \varphi) \delta_1 F_{d;2}$	$F_{d,i} = (\varphi \delta_1 + \delta_2) F_{d;2}$

Ενώ όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 4 στις περιπτώσεις όπου διαστασιολογούμε μονωτικούς υαλοπίνακες, η παρουσία σταθερής ποσότητας αερίου στο διάκενο οδηγεί σε μία ανακατανομή των φορτίσεων που επιδέχεται ο κάθε υαλοπίνακας και γίνεται βάση των σχέσεων που δίνονται στον πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11. Κατανομή εσωτερικών φορτίων.

	Φορτίο που απορροφάται από τον εξωτερικό υαλοπίνακα (pane 1)	Φορτίο που απορροφάται από τον εσωτερικό υαλοπίνακα (pane 2)
Ισόχωρη Πίεση p_0	$-\varphi p_0$	φp_0

Κεφάλαιο 5 Περιγραφή Παραδειγμάτων Διαστασιολόγησης

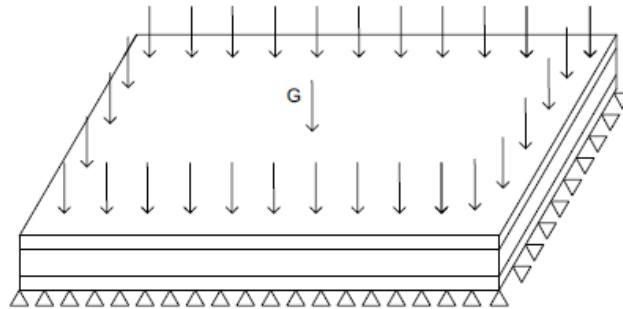
5.1 Περιπτώσεις υαλοπινάκων και δράσεις

Αρχικά προκειμένου να μελετηθεί η κάθε περίπτωση υαλοπίνακα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τρόπος τοποθέτησης τους. Πιο αναλυτικά στην πράξη μπορεί να έχουμε υαλοπίνακες οι οποίοι πρέπει να τοποθετηθούν οριζόντια, κατακόρυφα αλλά είτε και υπό κάποια κλίση. Σε κάθε περίπτωση λόγω της τοποθέτησης τους η επίδραση των φορτίσεων είναι διαφορετική επομένως θα πρέπει να μελετάτε και να ελέγχετε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετώνται οι περιπτώσεις οριζόντιας και κατακόρυφης τοποθέτησης υαλοπινάκων. Παράλληλα σύμφωνα με το Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 16612:2019** θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση και οι συνδυασμοί δράσεων όπως αυτοί προκύπτουν από τον Ευρωκώδικα EN 1990 και το Εθνικό Παράρτημα, βάση των οποίων πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί συνδυασμοί δράσεων όταν πρόκειται για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ULS) όπου γίνεται έλεγχος των τάσεων και διαφορετικοί συνδυασμοί όταν πρόκειται για την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS) όταν πρόκειται για τον έλεγχο των παραμορφώσεων. Σημαντικό στοιχείο επίσης της διαστασιολόγησης των υαλοπινάκων είναι και η διάρκεια της φόρτισης η οποία προσδιορίζεται μέσω του συντελεστή k_{mod} .

Στο κεφάλαιο 3 όπου αναλύεται εκτενώς η περίπτωση των μονωτικών υαλοπινάκων (insulating glass units), γίνεται αναφορά σχετικά με το αέριο που περικλείεται στο διάκενο και την πρόσθετη πίεση που αυτή η κατάσταση δημιουργεί στα επιμέρους τμήματα του υαλοπίνακα. Η πρόσθετη λοιπόν αυτή πίεση μπορεί να σημειωθεί ως κλιματικό φορτίο καθώς οι παράγοντες που συντελούν στη δημιουργία της πέρα από την ύπαρξη αερίου στο διάκενο και την διαφορά πίεσης με το εξωτερικό περιβάλλον, σχετίζονται με τις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες. Τέτοιες είναι οι συνθήκες πίεσης που δημιουργούνται λόγω διαφοράς υψομέτρου και λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Παράλληλα εκτός από την συνεισφορά των παραπάνω παραγόντων θα πρέπει υπόψη ότι το κλιματικό φορτίο έχει θετική επίδραση (προσημαίνετε θετικά) τους θερινούς μήνες ώστε να εκφράζει την υπερβολική πίεση που δημιουργείται στο διάκενο ενώ το κλιματικό φορτίο έχει αρνητική επίδραση τους χειμερινούς μήνες (προσημαίνετε αρνητικά) ώστε εκφράζει την χαμηλή εσωτερική πίεση .

5.1.1 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι φορτίσεις που μπορεί να υφίσταται ένας υαλοπίνακας σχετίζεται με τον τρόπο που βρίσκεται τοποθετημένος. Στην περίπτωση λοιπόν που ο υαλοπίνακας είναι οριζόντια τοποθετημένος τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση είναι το ίδιο Βάρος (G), το κλιματικό φορτίο (Climatic Load) στην περίπτωση που μελετώνται οι μονωτικοί υαλοπίνακες (insulating glass units), το φορτίο χιονιού (Snow Load) και το φορτίο του ανέμου (Wind Load). Οι δράσεις του ανέμου σε μία κατασκευή ή σε ένα δομικό της στοιχείο είναι αποτέλεσμα της διαφοράς πίεσης μεταξύ του εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας ή οποία μπορεί είτε τελικά να έχει κατεύθυνση προς την επιφάνεια και προσημαίνεται με θετικό πρόσημο, είτε μπορεί να απομακρύνεται από την επιφάνεια και προσημαίνεται με αρνητικό πρόσημο.



Σχήμα 5.1: Παράδειγμα οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα περιμετρικά στηριζόμενου με ομοιόμορφη φόρτιση.

Για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ULS) οι συνδυασμοί δράσεων λαμβάνονται σύμφωνα με την Εξ. (4.3) και προκύπτει να είναι έντεκα διαφορετικοί για κάθε πιθανή περίπτωση επίδρασης φορτίσεων δίνονται στον πίνακα 5.1. Στις μόνιμες δράσεις ανήκει το ίδιο Βάρος (G) και το Κλιματικό Φορτίο (Climatic Load) ενώ στις Μεταβλητές το φορτίο χιονιού (Snow Load) και το φορτίο ανέμου (Wind Load). Σε κάθε πιθανό συνδυασμό ο συντελεστής k_{mod} εξαρτάται από την κυρίαρχη δράση κάθε φορά δηλαδή το χιόνι (snow load) ή τον άνεμο (wind load).

Πίνακας 5.1: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x1.5x ψ_0	kmod factor acc. to
LC1	G +Clwinter	Snow	Wind ($\psi_0 = 0.6$)	snow action
LC2	G +Clwinter	Snow		snow action
LC3	G +Clwinter	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$) Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	wind action
LC4	G +Clwinter	Wind		wind action
LC5	G +Clwinter	Wind	(-) Wind ($\psi_0 = 0.6$)	wind action
LC6	G +Clsummer	Wind		snow action
LC7	G +Clwinter	Snow	Snow($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	wind action
LC8	G +Clwinter	(-)Wind		wind action
LC9	G +Clwinter	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.7, H \geq 1000m$)	wind action
LC10	G +Clsummer	(-)Wind		wind action
LC11	G +Clwinter	(-)Wind		wind action

Για τους συνδυασμούς δράσεων στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS) στην περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα προκύπτουν για την μη αντιστρέψιμη περίπτωση (irreversible) βάση της εξίσωσης 4.4 έντεκα διαφορετικοί συνδυασμοί ενώ για την αντιστρέψιμη κατάσταση (reversible) βάση τις εξίσωσης 4.5 προκύπτουν 14 διαφορετικοί συνδυασμοί. Οι συνδυασμοί των δράσεων παρατίθενται στους πίνακες 5.2 και 5.3 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.2: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

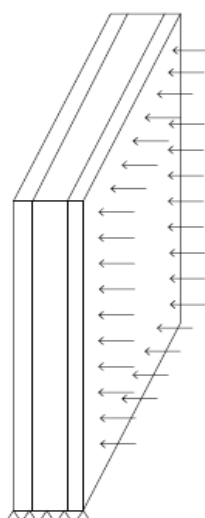
Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_0
LC1	G +Clwinter	Snow	Wind ($\psi_0 = 0.6$)
LC2	G +Clwinter	Snow	
LC3	G +Clwinter	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$) Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)
LC4	G +Clwinter	Wind	
LC5	G +Clwinter	Wind	(-) Wind ($\psi_0 = 0.6$)
LC6	G +Clsummer	Wind	
LC7	G +Clwinter	Snow	Snow($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)
LC8	G +Clwinter	(-)Wind	
LC9	G +Clwinter	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.7, H \geq 1000m$)
LC10	G +Clsummer	(-)Wind	
LC11	G +Clwinter	(-)Wind	

Πίνακας 5.3: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2
LC 1	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	
LC 2	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	
LC 3	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	wind ($\psi_2 = 0$)
LC 4	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	wind ($\psi_2 = 0$)
LC 5	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	
LC 6	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)
LC 7	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)
LC 8	G + Clsummer	wind ($\psi_1=0.2$)	
LC 9	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	(-) wind ($\psi_2 = 0$)
LC 10	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	(-) wind ($\psi_2 = 0$)
LC 11	G + Clwinter	(-) wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)
LC 12	G + Clwinter	(-) wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)
LC 13	G + Clsummer	(-) wind ($\psi_1 = 0.2$)	
LC 14	G + Clwinter	(-) wind ($\psi_1 = 0.2$)	

5.1.2 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα

Στην περίπτωση λοιπόν που ο υαλοπίνακας είναι κατακόρυφα τοποθετημένος στα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση δεν ανήκει το ίδιο Βάρος (G) καθώς δεν υπάρχει προβολή αυτού στη διεύθυνση που εξετάζουμε καθώς ούτε και το φορτίο χιονιού (Snow Load). Όμως συναντάται το κλιματικό φορτίο (Climatic Load) στην περίπτωση που μελετώνται οι μονωτικοί υαλοπίνακες (insulating glass units) και το φορτίο του ανέμου (Wind Load).



Σχήμα 5.2: Παράδειγμα κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα περιμετρικά στηριζόμενου με ομοιόμορφη φόρτιση.

Για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ULS) οι συνδυασμοί δράσεων λαμβάνονται σύμφωνα με την Εξ. (4.3) και προκύπτει να είναι τέσσερις διαφορετικοί για κάθε πιθανή περίπτωση επίδρασης φορτίσεων (πίνακας 5.4). Στις μόνιμες δράσεις το Κλιματικό Φορτίο (Climatic Load) ενώ στις Μεταβλητές το φορτίο ανέμου (Wind Load).

Πίνακας 5.4: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	kmod factor acc. to
LC1	Clwinter	Wind		wind action
LC2	Clwinter	(-)Wind		wind action
LC3	Csummer	Wind		wind action
LC4	Csummer	(-)Wind		wind action

Ενώ για τους συνδυασμούς δράσεων στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS) ακολουθείται η ίδια διαδικασία αλλά σύμφωνα με τις εξισώσεις 4.4 και 4.5 και παρατίθενται στους πίνακες 5.5 και 5.6 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.5: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0
LC 1	Clwinter	Wind	
LC 2	Clwinter	(-)Wind	
LC 3	Csummer	Wind	
LC 4	Csummer	(-)Wind	

Πίνακας 5.6: Συνδυασμοί Δράσεων (LC) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για την αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.

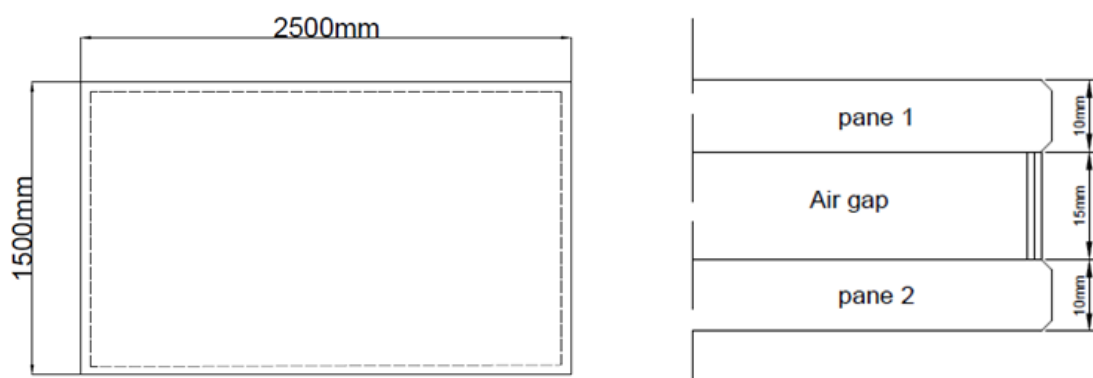
Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ2
LC 1	Clwinter	Wind (ψ1 = 0.2)	
LC 2	Clwinter	(-) Wind (ψ1 = 0.2)	
LC 3	Csummer	Wind (ψ1 = 0.2)	
LC 4	Csummer	(-) Wind (ψ1 = 0.2)	

5.2 Ανάλυση παραδειγμάτων διαστασιολόγησης

Προς εκπλήρωση του σκοπού της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε η μεθοδολογία διαστασιολόγησης υαλοπινάκων σε πρόγραμμα excel. Μέσω αυτού μελετώνται τρεις περιπτώσεις υαλοπινάκων οι οποίες είναι (α) Διπλός υαλοπίνακας με απλά μονολιθικά φύλλα γυαλιού, (β) Διπλός υαλοπίνακας με απλό φύλλο γυαλιού εξωτερικά και πολυστρωματικό φύλλο γυαλιού (laminated glass) εσωτερικά και (γ) Διπλός υαλοπίνακας με πολυστρωματικά φύλλα γυαλιού εξωτερικά και εσωτερικά. Κάθε περίπτωση μελετάται ξεχωριστά και επιπλέον λαμβάνεται υπόψη τόσο η οριζόντια όσο και η κατακόρυφη στήριξη των υαλοπινάκων. Στην συνέχεια αναπτύσσονται παραδείγματα για κάθε μία περίπτωση για τυχαίες τιμές διαστάσεων υαλοπίνακα όσο και φορτίσεων, οι οποίες μπορούν και να αλλάξουν ανάλογα με το πρόβλημα που πρέπει να μελετηθεί.

5.2.1 1^ο Παράδειγμα - Διπλός υαλοπίνακας με απλά μονολιθικά τμήματα

Προς ανάπτυξη του πρώτου παραδείγματος διαστασιολόγησης υαλοπινάκων χρησιμοποιήθηκε ένας μονωτικός υαλοπίνακας (Insulating glass unit) διαστάσεων 1500 mm x 2500 mm, με διάκενο s 15 mm, ο οποίος αποτελείται από απλού τύπου φύλλα υαλοπίνακα πάχους 10mm το κάθε ένα, με το εξωτερικό να είναι επιπλέον θερμικά ενισχυμένο (Heat Strengthened glass – HSG) και το εσωτερικό να είναι κοινού τύπου (annealed glass). Ο υαλοπίνακας θεωρείται περιμετρικά στηριζόμενος. Θα μελετηθούν οι περιπτώσεις οριζόντιας και κατακόρυφης στήριξης.



Σχήμα 5.3: Τυπικό σχέδιο διπλού υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή.

Τα φορτία στα οποία υπόκεινται ο υαλοπίνακας είναι τα εξής:

Μόνιμα Φορτία

- **Ίδιο βάρος υαλοπινάκων**

Με δεδομένη την πυκνότητα του γυαλιού $g = 2500 \text{ kg/m}^3$ και διαστάσεις $h_1 = 10\text{mm}$ (εξωτερικό φύλλο υαλοπίνακα) και $h_2 = 10\text{mm}$ (εσωτερικό φύλλο υαλοπίνακα) προκύπτουν:

$$g_1 (\text{external pane}) = 10 \text{ mm} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 0.01 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3 = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 (\text{internal pane}) = 10 \text{ mm} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 0.01 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3 = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total Weight} = (2 \times 0.25 \text{ kN/m}^2 \times 100) \times 1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm} = 187.5 \text{ kg}$$

- **Φορτίο Ανέμου**

Έστω ότι η ανεμοπίεση που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 1 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ανέμου θα είναι ίσο με $P_{\text{wind}} = 1 \text{ kN/m}^2$.

- **Φορτίο χιονιού**

Έστω ότι το φορτίο χιονιού που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 0.5 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού θα είναι ίσο με $P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$.

- **Κλιματικό Φορτίο**

Θεωρώντας ότι το τελικό αποτέλεσμα της πίεσης που επιδέχεται ένας υαλοπίνακας προκύπτει από την πίεση που προκαλεί η διαφορά υψομέτρου καθώς και η διαφορά θερμοκρασίας ή και πίεσης της ατμόσφαιρας, λαμβάνεται σαν τελική τιμή το κλιματικό φορτίο των $p_0 = 16 \text{ kPa}$. Όμως επειδή η συγκεκριμένη φόρτιση επηρεάζεται και από τον εποχικό παράγοντα, θα πρέπει στους υπολογισμούς να ληφθεί υπόψη η τιμή της για τους θερινούς μήνες με θετικό πρόσημο και για τους χειμερινούς μήνες με αρνητικό πρόσημο.

$$p_0(\text{summer}) = + 16 \text{ kPa}$$

$$p_0(\text{winter}) = - 16 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός κατανομής φορτίων ανά φύλλο γυαλιού

Βάση του Προτύπου **ΕΛΟΤ EN 16612:2019**, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι δείκτες ακαμψίας δ_1 και δ_2 , το χαρακτηριστικό μήκος α^* , και ο συντελεστής κατανομής ϕ , με την βοήθεια των οποίων προσδιορίζεται το φορτίο που παραλαμβάνει κάθε φύλλο υαλοπίνακα.

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{10^3}{10^3 + 10^3} = 0.5$$

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{10^3}{10^3 + 10^3} = 0.5$$

$$\alpha^* = 28,9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} = 28,9 \left(\frac{15 * 10^3 * 10^3}{(10^3 + 10^3) * 0.042} \right)^{0.25} = 541.9 \text{ mm}$$

Όπου:

s: η απόσταση μεταξύ των δύο φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα (s = 15mm)

k₅: ο συντελεστής που σχετίζεται με την μεταβολή όγκου και λαμβάνεται μέσω του πίνακα 5.7, για λ = α/b = 1500/2500 = 0.6.

Πίνακας 5.7: Τιμές συντελεστή k₅ για τον υπολογισμό της μέγιστης τάσης.

λ = a / b	ρ*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1	0.0193	0.0175	0.0152	0.0138	0.0117	0.0091	0.007	0.0052	0.0039	0.003	0.0022
0.9	0.0235	0.0214	0.0186	0.0169	0.0144	0.0112	0.0086	0.0065	0.0048	0.0036	0.0027
0.8	0.0287	0.0264	0.0232	0.0211	0.018	0.0141	0.0108	0.0081	0.006	0.0046	0.0034
0.7	0.0349	0.0327	0.0293	0.0268	0.0231	0.0181	0.0138	0.0104	0.0077	0.0059	0.0043
0.6	0.042	0.0403	0.0371	0.0345	0.0301	0.0239	0.0183	0.0137	0.0102	0.0078	0.0057
0.5	0.0499	0.049	0.0468	0.0445	0.04	0.0326	0.0252	0.019	0.0141	0.0108	0.0079
0.4	0.0585	0.0582	0.0572	0.0559	0.0528	0.0455	0.0366	0.0281	0.021	0.016	0.0118
0.3	0.0675	0.0674	0.0672	0.0668	0.0656	0.0618	0.0544	0.0445	0.0345	0.0267	0.0197
0.2	0.0766	0.0766	0.0766	0.0765	0.0764	0.0756	0.0734	0.0682	0.0599	0.0504	0.0395
0.1	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0856	0.0856	0.0856	0.0855	0.085	0.0837	0.0793

Και υπολογίζεται τελικά ο συντελεστής φ:

$$\varphi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} = \frac{1}{1 + (1500/549.1)^4} = 0.024$$

Όπου:

α: είναι η μικρότερη διάσταση του υαλοπίνακα (α = min(1500mm , 2500mm) = 150mm).

Η κατανομή των εξωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.10:

Για το φορτίο του ανέμου (P_{wind} = 1 kN/m²):

$$W (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \varphi * \delta_2) * P_{wind} = (0.5 + 0.024 * 0.5) * 1 = 0.512 \text{ kN/m}^2$$

$$W (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{wind}} = (1 - 0.024) * 0.5 * 1 = 0.488 \text{ kN/m}^2$$

Για το φορτίο του χιονιού ($P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$):

$$S (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{snow}} = (0.5 + 0.024 * 0.5) * 0.5 = 0.256 \text{ kN/m}^2$$

$$S (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{snow}} = (1 - 0.024) * 0.5 * 0.5 = 0.244 \text{ kN/m}^2$$

Η κατανομή των εσωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.11:

Για το κλιματικό φορτίο p_0 (summer) = + 16 kPa και p_0 (winter) = - 16 kPa:

$$C_{\text{Isummer}} = p_0(\text{pane1, summer}) = - \phi * p_0 = - 0.024 * 16 = - 0.384 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Isummer}} = p_0(\text{pane2, summer}) = + \phi * p_0 = 0.024 * 16 = 0.384 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Iwinter}} = p_0(\text{pane1, winter}) = - \phi * p_0 = - 0.024 * (- 16) = + 0.384 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Iwinter}} = p_0(\text{pane2, winter}) = + \phi * p_0 = 0.024 * (- 16) = - 0.384 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός – Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού F_d

Ο υπολογισμός του φορτίου σχεδιασμού F_d γίνεται βάση των συνδυασμών φόρτισης που δίνονται στο Πρότυπο **ΕΛΟΤ EN 16612:2019** και διαφοροποιείται στην περίπτωση της Οριακής Κατάσταση Αστοχίας (ULS) και στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS). Όπως επίσης λόγω διαφορετικής επιρροής φορτίσεων στην οριζόντια και στην κατακόρυφη στήριξη υαλοπινάκων το φορτίο σχεδιασμού θα διαφοροποιείται. Οι συνδυασμοί των δράσεων έχουν ληφθεί υπόψη στην παράγραφο 5.1.

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α.

Στη περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη οι συνδυασμοί δράσεων βάση του πίνακα 5.1 και τα αποτελέσματα προκύπτουν δίνονται στον πίνακα 5.8.

Έστω για τον υπολογισμό του 1^{ου} Συνδυασμού Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας (pane 1):

$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (Snow \text{ Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση (Additional Load)} =$

$$F_d = 1.35 \times (0.25 + 0.384) + (1.5 \times 0.256) = 1.240 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας (pane 2):

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (Snow \text{ Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} =$$

$$F_d = 1.35 \times (0.25 - 0.384) + (1.5 \times 0.244) = 0.185 \text{ kN/m}^2$$

Πίνακας 5.8: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ_0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	G +Cl_{winter}	Snow		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.384		1.240
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.366		0.185
LC2	G +Cl_{winter}	Snow	Wind ($\psi_0 = 0.6$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.384	0.461	1.701
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.366	0.439	0.624
LC3	G +Cl_{winter}	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.768		1.624
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.732		0.551
LC4	G +Cl_{winter}	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.768	0.192	1.816
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.732	0.183	0.734
LC5	G +Cl_{winter}	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.7, H \leq 1000m$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.768	0.269	1.893
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.732	0.256	0.807
LC6	G +Cl_{summer}	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.181	0.768		0.587
pane 2 (Annealed)	0.856	0.732		1.588
LC7	G +Cl_{winter}	Snow	(-) Wind ($\psi_0 = 0.6$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	0.384	-0.461	0.779
pane 2 (Annealed)	-0.181	0.366	-0.439	-0.254
LC8	G +Cl_{winter}	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	-0.768	0.192	0.280
pane 2 (Annealed)	-0.181	-0.732	0.183	-0.730
LC9	G +Cl_{winter}	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.7, H \geq 1000m$)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	-0.768	0.269	0.357
pane 2 (Annealed)	-0.181	-0.732	0.256	-0.657
LC10	G +Cl_{summer}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.181	-0.768		-0.949
pane 2 (Annealed)	0.856	-0.732		0.124
LC11	G +Cl_{winter}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.856	-0.768		0.088
pane 2 (Annealed)	-0.181	-0.732		-0.913

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Στην προκειμένη περίπτωση για την Μη Αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας της οποίας ο έλεγχος αφορά τις παραμορφώσεις, εξάγονται τα αποτελέσματα βάση του πίνακα 5.2. Έστω για τον υπολογισμό του 2^{ου} Συνδυασμού Φορτίσεων (LC2):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας (pane 1):

$$F_d = 1.00 \times (0.25 + 0.384) + 1.00 \times (0.256) + 0.6 \times (0.512) = 1.197 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας (pane 2):

$$F_d = 1.00 \times (0.25 - 0.384) + 1.00 \times (0.244) + 0.6 \times 0.488 = 0.403 \text{ kN/m}^2$$

Πίνακας 5.9: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	G +Clwinter	Snow		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.256		0.890
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.244		0.110
LC2	G +Clwinter	Snow	Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.256	0.307	1.197
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.244	0.293	0.403
LC3	G +Clwinter	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.512		1.146
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.488		0.354
LC4	G +Clwinter	Wind	Snow (ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.512	0.128	1.274
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.488	0.122	0.476
LC5	G +Clwinter	Wind	Snow (ψ0 = 0.7, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.512	0.179	1.325
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.488	0.171	0.525
LC6	G +Clsummer	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.134	0.512		0.378
pane 2 (Annealed)	0.634	0.488		1.122
LC7	G +Clwinter	Snow	(-) Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.256	-0.307	0.583
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.244	-0.293	-0.183
LC8	G +Clwinter	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.512	0.128	0.250
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.488	0.122	-0.500
LC9	G +Clwinter	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.7, H≥1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.512	0.179	0.301
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.488	0.171	-0.451
LC10	G +Clsummer	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.134	-0.512		-0.646
pane 2 (Annealed)	0.634	-0.488		0.146
LC11	G +Clwinter	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.512		0.122
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.488		-0.622

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, εξάγονται και δίνονται τα αποτελέσματα του φορτίου σχεδιασμού στον πίνακα 5.10 βάση των συνδυασμών δράσεων του πίνακα 5.3 για την Αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας.

Πίνακας 5.10: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.051		0.685
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.049		-0.085
LC2	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.128		0.762
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.122		-0.012
LC3	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.051	0	0.685
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.049	0	-0.085
LC4	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.128	0	0.762
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.122	0	-0.012
LC5	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.102		0.737
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.098		-0.037
LC6	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.102	0	0.737
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.098	0	-0.037
LC7	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.102	0.0512	0.788
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.098	0.0488	0.012
LC8	G + Clsummer	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.134	0.102		-0.032
pane 2 (Annealed)	0.634	0.098		0.732
LC9	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.051	0	0.685
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.049	0	-0.085
LC10	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	0.128	0	0.762
pane 2 (Annealed)	-0.134	0.122	0	-0.012
LC11	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.102	0	0.532
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.098	0	-0.232
LC12	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.102	0.0512	0.583
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.098	0.0488	-0.183
LC13	G + Clsummer	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.134	-0.102	0	-0.237
pane 2 (Annealed)	0.634	-0.098	0	0.537
LC14	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.634	-0.102	0	0.532
pane 2 (Annealed)	-0.134	-0.098	0	-0.232

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α.

Όπως προαναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη ενός κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα είναι το κλιματικό φορτίο (Climate Load) και το φορτίο του ανέμου (Wind Load). Επομένως με βάση τον πίνακα 5.4 θα προκύψουν τα αποτελέσματα που δίνονται στον πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 (HSG)	0.519	0.768		1.287
pane 2 (Annealed)	-0.519	0.732		0.213
LC2	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 (HSG)	0.519	-0.768		-0.249
pane 2 (Annealed)	-0.519	-0.732		-1.251
LC3	Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 (HSG)	-0.519	0.768		0.249
pane 2 (Annealed)	0.519	0.732		1.251
LC4	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 (HSG)	-0.519	-0.768		-1.287
pane 2 (Annealed)	0.519	-0.732		-0.213

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Βάση του πίνακα 5.5 για τους συνδυασμούς δράσεων για την μη αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.12.

Πίνακας 5.12: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	Clwinter	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.384	0.512		0.896
pane 2 (Annealed)	-0.384	0.488		0.104
LC2	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	0.384	-0.512		-0.128
pane 2 (Annealed)	-0.384	-0.488		-0.872
LC3	Clsummer	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	0.512		0.128
pane 2 (Annealed)	0.384	0.488		0.872
LC4	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	-0.512		-0.896
pane 2 (Annealed)	0.384	-0.488		-0.104

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Βάση του πίνακα 5.6 για τους συνδυασμούς δράσεων για την Αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1	Clwinter	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	0.102		0.487
pane 2 (Annealed)	0.384	0.098		-0.287
LC2	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	-0.102		0.282
pane 2 (Annealed)	0.384	-0.098		-0.482
LC3	Csummer	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	0.102		-0.282
pane 2 (Annealed)	0.384	0.098		0.482
LC4	Csummer	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 (HSG)	-0.384	-0.102		-0.487
pane 2 (Annealed)	0.384	-0.098		0.287

Εφόσον έχουν υπολογιστεί τα φορτία σχεδιασμού F_d για κάθε περίπτωση τοποθέτησης του υαλοπίνακα είτε αυτή είναι οριζόντια είτε είναι κατακόρυφη στην συνέχεια πρέπει να γίνουν οι έλεγχοι των αναπτυσσόμενων τάσεων σ_{max} σε σχέση με την μέγιστη εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού $f_{g,d}$ για την Ο.Κ.Α. και οι έλεγχοι μεγίστων βελών παραμόρφωσης w_{max} σε σχέση με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές βέλους παραμόρφωσης w_d για την Ο.Κ.Λ., αφού πρώτα υπολογιστούν τα αδιάστατα φορτία p^* και οι συντελεστές k_1 και k_4 που είναι απαραίτητοι για τις εξισώσεις. Οι έλεγχοι γίνονται βάση των Εξ. (4.11) και (4.12).

Έλεγχος Τάσεων στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην διαστασιολόγηση των υαλοπινάκων οι τύποι των φορτίσεων και η διάρκειά τους επηρεάζει σημαντικά την απόκρισή τους και αυτό λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή k_{mod} . Στα αναπτυσσόμενα παραδείγματα κυρίαρχες δράσεις όπως προκύπτει από τους συνδυασμούς μπορεί να είναι το χιόνι (Snow Load) ή ο άνεμος (Wind Load) και για το λόγο αυτό λαμβάνονται οι τιμές $k_{mod} = 0.45$ και $k_{mod} = 1$ αντίστοιχα στους υπολογισμούς. Ο υαλοπίνακας και στις δυο περιπτώσεις τοποθέτησης είναι στηριζόμενος περιμετρικά οπότε ο συντελεστής k_e είναι ίσος με 1 και ο συντελεστής k_{sp} λαμβάνεται μέσω του πίνακα 4.4 ίσος με 1. Για τον τύπο του ανοπτημένου γυαλιού (Annealed glass) η τιμή της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής είναι 45 N/mm². Για τον τύπο του

Θερμικά ενισχυμένου γυαλιού (Heat Strengthened glass) η τιμή της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής είναι 70 N/mm^2 . Ακόμη οι τιμές της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής θα πρέπει να υπολογιστούν βάση την Εξ. (4.6) για την περίπτωση του ανοπτημένου γυαλιού (annealed glass) και με βάση την Εξ. (4.9) για το θερμικά ενισχυμένο γυαλί (HSG). Για τους μερικούς συντελεστές ισχύει ότι $\gamma_{M;A} = 1.8$ και $\gamma_{M;N} = 1.2$. Προκειμένου λοιπόν να εξαχθούν οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης του, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_1 μέσω του πίνακα 4.8 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής.

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.240 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.240 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.56$$

$$\text{Για } p^* = 1.56 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή } k_1 = 0.501.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.185 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.185 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.23$$

$$\text{Για } p^* = 0.23 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή } k_1 = 0.522.$$

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC2):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.701 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.701 \times 10^{-3}) / 70000 = 2.14$$

$$\text{Για } p^* = 2.14 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή } k_1 = 0.485.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 0.624 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.624 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.78$

Για $p^* = 0.78$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.5$.

Πίνακας 5.14: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 1^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1
LC1			LC7		
pane 1 (HSG)	1.56	0.501	pane 1 (HSG)	0.98	0.515
pane 2 (Annealed)	0.23	0.522	pane 2 (Annealed)	-0.32	0.503
LC2			LC8		
pane 1 (HSG)	2.14	0.485	pane 1 (HSG)	0.35	0.521
pane 2 (Annealed)	0.78	0.517	pane 2 (Annealed)	-0.92	0.516
LC3			LC9		
pane 1 (HSG)	2.04	0.489	pane 1 (HSG)	0.45	0.520
pane 2 (Annealed)	0.69	0.518	pane 2 (Annealed)	-0.82	0.517
LC4			LC10		
pane 1 (HSG)	2.28	0.481	pane 1 (HSG)	-1.19	0.510
pane 2 (Annealed)	0.92	0.516	pane 2 (Annealed)	0.16	0.523
LC5			LC11		
pane 1 (HSG)	2.38	0.477	pane 1 (HSG)	0.11	0.522
pane 2 (Annealed)	1.01	0.515	pane 2 (Annealed)	-1.15	0.511
LC6					
pane 1 (HSG)	0.74	0.517			
pane 2 (Annealed)	1.99	0.490			

Οπότε με βάση τις τιμές των συντελεστών k_1 του πίνακα 5.14 υπολογίζονται οι μέγιστες τάσεις σ_{\max} και εξάγονται τα αποτελέσματα ελέγχου τάσεων στην Ο.Κ.Α για την περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα που δίνονται στον πίνακα 5.15. Δίνεται παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα τύπου Heat Strengthened glass και όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 0.45$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 0.45 \times 45)/1.8) + [1 \times (70 - 45)/1.2] = 32.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.501 \times (1500^2/10^2) \times 1.240/1000 = 13.98 \text{ N/mm}^2 < 32.08 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εσωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 0.45$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 0.45 \times 1 \times 45)/1.8) = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.522 \times (1500^2/10^2) \times 0.185/1000 = 2.17 \text{ N/mm}^2 < 11.25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Πίνακας 5.15: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{\max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $f_{g,d}$ (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	13.98	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	2.17	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	18.56	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	7.26	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	17.87	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	6.42	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	19.66	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	8.52	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5			
pane 1 (HSG)	20.32	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	9.35	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6			
pane 1 (HSG)	6.83	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	17.51	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7			
pane 1 (HSG)	9.03	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-2.88	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8			
pane 1 (HSG)	3.28	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-8.48	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9			
pane 1 (HSG)	4.18	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-7.64	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10			
pane 1 (HSG)	-10.89	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	1.46	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11			
pane 1 (HSG)	1.04	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-10.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ομοίως για την περίπτωση του κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα πρώτα υπολογίζονται οι τιμές του αδιάστατου φορτίου p^* και του συντελεστή k_1 :

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 1.287 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.287 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.62$

Για $p^* = 1.62$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.500$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 0.213 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.213 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.27$

Για $p^* = 0.27$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.522$.

Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 1^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1
LC1		
pane 1 (HSG)	1.62	0.500
pane 2 (Annealed)	0.27	0.522
LC2		
pane 1 (HSG)	-0.31	0.521
pane 2 (Annealed)	-1.57	0.501
LC3		
pane 1 (HSG)	0.31	0.521
pane 2 (Annealed)	1.57	0.501
LC4		
pane 1 (HSG)	-1.62	0.500
pane 2 (Annealed)	-0.27	0.522

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα τύπου Heat Strengthened glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{mod} = 1$):

$$f_{g,d} = ((1 \times 1 \times 45)/1.8) + [1 \times (70 - 45)/1.2] = 45.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 0.500 \times (1500^2/10^2) \times 1.287/1000 = 14.48 \text{ N/mm}^2 < 45.83 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εσωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{mod} = 1$):

$$f_{g,d} = ((1 \times 1 \times 1 \times 45)/1.8) = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 0.522 \times (1500^2/10^2) \times 0.213/1000 = 2.5 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Πίνακας 5.17: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση f_{gd} (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	14.48	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	2.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	-2.92	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-14.10	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	2.92	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	14.10	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	-14.48	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-2.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Φυσικά οι έλεγχοι πραγματοποιούνται για τις απόλυτες τιμές των αποτελεσμάτων.

Έλεγχος Παραμορφώσεων στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Στην Ο.Κ.Α. οι έλεγχοι γίνονται για τις παραμορφώσεις που αναπτύσσουν οι υαλοπίνακες, για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές των μεγίστων βελών παραμόρφωσης για κάθε περίπτωση με βάση την Εξ. (4.14). Οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι για οριζόντια τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. καθώς επίσης και για κατακόρυφη τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. Προκειμένου να εξαχθούν οι μέγιστες τιμές βελών κάμψης w_{max} που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης που επιδέχεται, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_4 μέσω του πίνακα 4.9 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής. Δίνεται παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή k_4 .

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.890 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.890 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.12$$

Για $\rho^* = 1.12$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.093$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 0.110 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.110 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.14$

Για $\rho^* = 0.14$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.098$.

Πίνακας 5.18: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4
LC1			LC7		
pane 1 (HSG)	1.12	0.093	pane 1 (HSG)	0.73	0.095
pane 2 (Annealed)	0.14	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.23	0.097
LC2			LC8		
pane 1 (HSG)	1.50	0.090	pane 1 (HSG)	0.31	0.096
pane 2 (Annealed)	0.51	0.096	pane 2 (Annealed)	-0.63	0.097
LC3			LC9		
pane 1 (HSG)	1.44	0.090	pane 1 (HSG)	0.38	0.096
pane 2 (Annealed)	0.44	0.097	pane 2 (Annealed)	-0.57	0.097
LC4			LC10		
pane 1 (HSG)	1.60	0.089	pane 1 (HSG)	-0.81	0.095
pane 2 (Annealed)	0.60	0.096	pane 2 (Annealed)	0.18	0.098
LC5			LC11		
pane 1 (HSG)	1.66	0.089	pane 1 (HSG)	0.15	0.095
pane 2 (Annealed)	0.66	0.096	pane 2 (Annealed)	-0.78	0.098
LC6					
pane 1 (HSG)	0.47	0.096			
pane 2 (Annealed)	1.41	0.091			

Εν συνέχεια η επιτρεπόμενη τιμή παραμόρφωσης βέλους, προσδιορίζεται μέσω της Εξ. (4.10) και εφόσον ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος περιμετρικά (δηλαδή και στις τέσσερις πλευρές του), στην τιμή του όρου span αντιστοιχεί το μήκος της μικρότερης πλευράς οπότε:

Min Span ($a = 1500\text{mm}$, $b = 2500\text{mm}$) = 1500mm

$w_d = 1500/65 = 23.08\text{mm}$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$w_{\max} = [0.093 \times (1500^2/10^3) \times (0.89/70000)]/1000 = 5.99 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

$w_{\max} = [0.098 \times (1500^2/10^3) \times (0.110/70000)]/1000 = 0.78 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

Πίνακας 5.19: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	5.99	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	0.78	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	7.79	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	2.79	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	7.46	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	2.48	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	8.20	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	3.30	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5			
pane 1 (HSG)	8.53	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	3.64	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6			
pane 1 (HSG)	2.62	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	7.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7			
pane 1 (HSG)	4.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-1.28	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8			
pane 1 (HSG)	1.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-3.51	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9			
pane 1 (HSG)	2.09	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-3.17	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10			
pane 1 (HSG)	-4.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	1.04	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11			
pane 1 (HSG)	0.84	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-4.41	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.896 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.896 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.125$$

Για $\rho^* = 1.125$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.093$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 0.104 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.104 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.13$

Για $\rho^* = 0.13$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.098$.

Πίνακας 5.20: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4
LC1		
pane 1 (HSG)	1.13	0.093
pane 2 (Annealed)	0.13	0.098
LC2		
pane 1 (HSG)	-0.16	0.098
pane 2 (Annealed)	-1.10	0.093
LC3		
pane 1 (HSG)	0.16	0.098
pane 2 (Annealed)	1.10	0.093
LC4		
pane 1 (HSG)	-1.13	0.093
pane 2 (Annealed)	-0.13	0.098

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$w_{\max} = [0.093 \times (1500^2/10^3) \times (0.896/70000)]/1000 = 6.03 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

$w_{\max} = [0.098 \times (1500^2/10^3) \times (0.104/70000)]/1000 = 0.74 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων δίνονται στον πίνακα 5.21.

Πίνακας 5.21: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	6.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	0.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	-0.91	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-5.87	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	0.91	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	5.87	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	-6.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Η ίδια διαδικασία ελέγχου ακολουθείται και για την Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ τόσο για τον οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα όσο και για τον κατακόρυφα τοποθετημένο. Τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.22 και 5.23 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.22: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1			LC8		
pane 1 (HSG)	0.86	0.095	pane 1 (HSG)	-0.04	0.098
pane 2 (Annealed)	-0.11	0.098	pane 2 (Annealed)	0.92	0.094
LC2			LC9		
pane 1 (HSG)	0.96	0.094	pane 1 (HSG)	0.86	0.095
pane 2 (Annealed)	-0.02	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.11	0.098
LC3			LC10		
pane 1 (HSG)	0.86	0.095	pane 1 (HSG)	0.96	0.094
pane 2 (Annealed)	-0.11	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.02	0.098
LC4			LC11		
pane 1 (HSG)	0.96	0.094	pane 1 (HSG)	0.67	0.096
pane 2 (Annealed)	-0.02	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.29	0.097
LC5			LC12		
pane 1 (HSG)	0.92	0.094	pane 1 (HSG)	0.73	0.095
pane 2 (Annealed)	-0.05	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.23	0.097
LC6			LC13		
pane 1 (HSG)	0.92	0.094	pane 1 (HSG)	-0.30	0.097
pane 2 (Annealed)	-0.05	0.098	pane 2 (Annealed)	0.67	0.096
LC7			LC14		
pane 1 (HSG)	0.99	0.094	pane 1 (HSG)	0.67	0.096
pane 2 (Annealed)	0.02	0.098	pane 2 (Annealed)	-0.29	0.097

Πίνακας 5.23: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	4.71	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.61	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	5.18	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.09	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	4.71	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.61	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	5.18	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.09	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5			
pane 1 (HSG)	5.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.26	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6			
pane 1 (HSG)	5.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.26	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7			
pane 1 (HSG)	5.36	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	0.09	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8			
pane 1 (HSG)	-0.23	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	4.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9			
pane 1 (HSG)	4.71	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.61	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10			
pane 1 (HSG)	5.18	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-0.09	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11			
pane 1 (HSG)	3.69	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-1.63	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC12			
pane 1 (HSG)	4.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-1.28	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC13			
pane 1 (HSG)	-1.66	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	3.73	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC14			
pane 1 (HSG)	3.69	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-1.63	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ενώ τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.24 και 5.25 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.24: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 1^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1		
pane 1 (HSG)	0.61	0.095
pane 2 (Annealed)	-0.36	0.097
LC2		
pane 1 (HSG)	0.35	0.097
pane 2 (Annealed)	-0.60	0.098
LC3		
pane 1 (HSG)	-0.35	0.097
pane 2 (Annealed)	0.60	0.098
LC4		
pane 1 (HSG)	-0.61	0.095
pane 2 (Annealed)	0.36	0.097

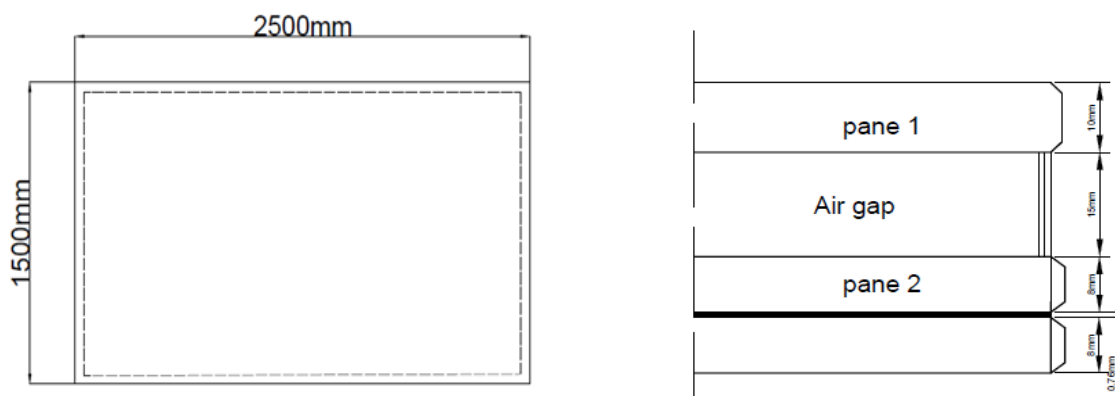
Πίνακας 5.25: 1^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1			
pane 1 (HSG)	3.34	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-2.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2			
pane 1 (HSG)	1.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	-3.42	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3			
pane 1 (HSG)	-1.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	3.42	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4			
pane 1 (HSG)	-3.34	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 (Annealed)	2.01	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

5.2.2 2^ο Παράδειγμα – Διπλός υαλοπίνακας με απλό φύλλο γυαλιού εξωτερικά και πολυστρωματικό φύλλο γυαλιού (laminated glass) εσωτερικά

Προς ανάπτυξη του δευτέρου παραδείγματος διαστασιολόγησης υαλοπινάκων χρησιμοποιήθηκε ένας μονωτικός υαλοπίνακας (Insulating glass unit) διαστάσεων 1500 mm x 2500 mm, με διάκενο s 15 mm, ο οποίος εξωτερικά αποτελείται από θερμικά ενισχυμένου (heat strengthened glass) τύπου υαλοπίνακα πάχους 10mm και εσωτερικά αποτελείται από πολυστρωματικού τύπου υαλοπίνακα (laminated glass). Ο πολυστρωματικός υαλοπίνακας συντίθεται από δύο φύλλα γυαλιού πάχους 8 mm το καθένα και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μία μεμβράνη πάχους 0.76 mm, η οποία είναι τύπου Trosifol Clear. Ο υαλοπίνακας

στηρίζεται περιμετρικά και θα μελετηθούν οι περιπτώσεις οριζόντιας και κατακόρυφης τοποθέτησης.



Σχήμα 5.4: Σχέδιο διπλού με υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή που αποτελείται από ένα απλό και ένα φύλλο γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διαδικασία διαφοροποιείται σχετικά με το πρώτο παράδειγμα που αναπτύχθηκε καθώς το εσωτερικό φύλλο γυαλιού του υαλοπίνακα είναι πολυστρωματικού τύπου (laminated glass) και επομένως η συνολική απόκριση του υαλοπίνακα αλλάζει λόγω ύπαρξης ενός πιο ενισχυμένου φύλλου και των πλεονεκτημάτων που αυτό προσφέρει. Παράλληλα για το εσωτερικό φύλλο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαδικασία υπολογισμού του ισοδύναμου πάχους.

Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης PVB Trosifol Clear που χρησιμοποιείται για την πλαισίωση του παραδείγματος είναι η πυκνότητα (density) όπως δίνεται από τον κατασκευαστή και ο συντελεστής ακαμψίας ω για διάφορες φορτίσεις βάση του **Προτύπου EN 16612:2019**:

Πίνακας 5.26: Χαρακτηριστικά Μεμβράνης Trosifol Clear.

Density =	1056	kg/m ³
Load Case	ω	Stiffness family
Wind gust Load (Mediterranean areas)	0.1	1
Snow loads	0	0 & 1
Permanent	0	0 & 1 & 2

Τα φορτία στα οποία υπόκεινται ο υαλοπίνακας είναι τα εξής:

Μόνιμα Φορτία

- **Ίδιο βάρος υαλοπινάκων**

Με δεδομένη την πυκνότητα του γυαλιού $g = 2500 \text{ kg/m}^3$ και διαστάσεις $h_1 = 10 \text{ mm}$ (εξωτερικό φύλλο υαλοπίνακα) και $h_{2.1} = 8 \text{ mm}$ / $h_{\text{inter}} = 0.76 \text{ mm}$ / $h_{2.2} = 8 \text{ mm}$ (εσωτερικό φύλλο υαλοπίνακα) προκύπτουν:

$$g_1 (\text{external pane}) = 10 \text{ mm} \times 2500 \text{ kg/m}^3 = 0.01 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3 = 0.25 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 (\text{internal pane}) = (8 \text{ mm} + 8 \text{ mm}) \times 2500 \text{ kg/m}^3 + 0.76 \text{ mm} \times 1056 \text{ kg/m}^3 = (0.016 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3) + (0.0076 \text{ m} \times 0.01056 \text{ kN/m}^3) = 0.41 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total Weight} = (0.25 \text{ kN/m}^2 + 0.41 \text{ kN/m}^2) \times 100 \times 1.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} = 246.76 \text{ kg}$$

- **Φορτίο Ανέμου**

Έστω ότι η ανεμοπίεση που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 1.5 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ανέμου θα είναι ίσο με $P_{\text{wind}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$.

- **Φορτίο χιονιού**

Έστω ότι το φορτίο χιονιού που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 0.5 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού θα είναι ίσο με $P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$.

- **Κλιματικό Φορτίο**

Θεωρώντας ότι το τελικό αποτέλεσμα της πίεσης που επιδέχεται ένας υαλοπίνακας προκύπτει από την πίεση που προκαλεί η διαφορά υψομέτρου καθώς και η διαφορά θερμοκρασίας ή και πίεσης της ατμόσφαιρας, λαμβάνεται σαν τελική τιμή το κλιματικό φορτίο των $p_0 = 16 \text{ kPa}$. Όμως επειδή η συγκεκριμένη φόρτιση επηρεάζεται και από τον εποχικό παράγοντα, θα πρέπει στους υπολογισμούς να ληφθεί υπόψη η τιμή της για τους θερινούς μήνες με θετικό πρόσημο και για τους χειμερινούς μήνες με αρνητικό πρόσημο.

$$p_0(\text{summer}) = + 16 \text{ kPa}$$

$$p_0(\text{winter}) = - 16 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός Ισοδύναμου Πάχους

Έπειτα θα πρέπει να υπολογιστεί το ενεργό πάχος για το πολυστρωματικό γυαλί μέσω της διαδικασίας που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4.2 :

$$h_s = 0.5 * (h_{2.1} + h_{2.2}) + h_{inter} = 0.5 * (8 + 8) + 0.76 = 8.76 \text{ mm}$$

$$h_{s,1} = \frac{h_s * h_{2.1}}{h_{2.1} + h_{2.2}} = \frac{8.76 * 8}{8 + 8} = 4.38 \text{ mm}$$

$$h_{s,2} = \frac{h_s * h_{2.2}}{h_{2.1} + h_{2.2}} = \frac{8.76 * 8}{8 + 8} = 4.38 \text{ mm}$$

$$I_s = h_{2.1} * h_{s,2}^2 + h_{2.2} * h_{s,1}^2 = 8 * 4.38^2 + 8 * 4.38^2 = 306.95 \text{ mm}^3$$

Όπως έχει προαναφερθεί οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην πράξη κατατάσσονται σε προκαθορισμένες ομάδες ακαμψίας. Επομένως βάση της φόρτισης που μπορεί να επιδέχεται ο υαλοπίνακας, υπάρχουν διαφορετικές τιμές του συντελεστή ω που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη. Βάση του Προτύπου EN 16612:2019 και τους συνδυασμούς δράσεων πρέπει να ελεγχθούν οι περιπτώσεις όπου α) το φορτίο χιονιού θα είναι η κυρίαρχη δράση ($\omega = 0$) και β) το φορτίο ανέμου θα είναι η κυρίαρχη δράση ($\omega = 0.1$).

Άρα αν το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση τότε $\omega = 0$ για την μεμβράνη Trosifol Clear το ισοδύναμο πάχος υπολογίζεται ως εξής από Εξ (4.1) και (4.2):

$$h_{ef,w} = \sqrt[3]{8^3 + 8^3 + 12 * 0 * 4.38^3} = 10.08 \text{ mm}$$

$$h_{ef,\sigma;1} = h_{ef,\sigma;2} = \sqrt{\frac{(10.08)^3}{(8+2 * 0 * 4.38)}} = 11.31 \text{ mm}$$

Αν όμως ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση τότε $\omega = 0.1$ για την μεμβράνη Trosifol Clear το ισοδύναμο πάχος υπολογίζεται ως εξής από Εξ. (4.1) και (4.2):

$$h_{ef,w} = \sqrt[3]{8^3 + 8^3 + 12 * 0.1 * 4.38^3} = 11.17 \text{ mm}$$

$$h_{ef,\sigma;1} = h_{ef,\sigma;2} = \sqrt{\frac{(11.17)^3}{(8+2 * 0.1 * 4.38)}} = 12.52 \text{ mm}$$

Εν συνεχεία θα πρέπει να γίνει η κατανομή των φορτίσεων στα εκάστοτε φύλλα γυαλιού του υαλοπίνακα. Εφόσον λοιπόν η κατανομή της φόρτισης εξαρτάται και από το πάχος των

φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ισοδύναμα πάχη που υπολογίστηκαν παραπάνω ανά περίπτωση.

Υπολογισμός κατανομής φορτίων ανά φύλλο γυαλιού

Βάση του Προτύπου EN 16612:2019, θα υπολογιστούν οι δείκτες ακαμψίας δ_1 και δ_2 , το χαρακτηριστικό μήκος a^* , και ο συντελεστής κατανομής ϕ για τις περιπτώσεις α) όπου το φορτίο χιονιού είναι η κυρίαρχη δράση και β) όπου το φορτίο του ανέμου είναι η κυρίαρχη δράση.

α) Κυρίαρχη δράση το φορτίο χιονιού

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{10^3}{10^3 + 10.08^3} = 0.494$$

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{10.08^3}{10^3 + 10.08^3} = 0.506$$

$$a^* = 28,9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} = 28,9 \left(\frac{15 * 10^3 * 10.08^3}{(10^3 + 10.08^3) * 0.042} \right)^{0.25} = 595.84 \text{ mm}$$

Όπου:

s: η απόσταση μεταξύ των δύο φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα ($s = 15 \text{ mm}$)

k₅: ο συντελεστής που σχετίζεται με την μεταβολή όγκου και λαμβάνεται μέσω του πίνακα 5.27, για $\lambda = a/b = 1500/2500 = 0.6$.

Πίνακας 5.27: Τιμές συντελεστή k₅.

$\lambda = a/b$	ρ^*										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1	0.0193	0.0175	0.0152	0.0138	0.0117	0.0091	0.007	0.0052	0.0039	0.003	0.0022
0.9	0.0235	0.0214	0.0186	0.0169	0.0144	0.0112	0.0086	0.0065	0.0048	0.0036	0.0027
0.8	0.0287	0.0264	0.0232	0.0211	0.018	0.0141	0.0108	0.0081	0.006	0.0046	0.0034
0.7	0.0349	0.0327	0.0293	0.0268	0.0231	0.0181	0.0138	0.0104	0.0077	0.0059	0.0043
0.6	0.042	0.0403	0.0371	0.0345	0.0301	0.0239	0.0183	0.0137	0.0102	0.0078	0.0057
0.5	0.0499	0.049	0.0468	0.0445	0.04	0.0326	0.0252	0.019	0.0141	0.0108	0.0079
0.4	0.0585	0.0582	0.0572	0.0559	0.0528	0.0455	0.0366	0.0281	0.021	0.016	0.0118
0.3	0.0675	0.0674	0.0672	0.0668	0.0656	0.0618	0.0544	0.0445	0.0345	0.0267	0.0197
0.2	0.0766	0.0766	0.0766	0.0765	0.0764	0.0756	0.0734	0.0682	0.0599	0.0504	0.0395
0.1	0.0857	0.0857	0.0857	0.0857	0.0856	0.0856	0.0856	0.0855	0.085	0.0837	0.0793

Και υπολογίζεται τελικά ο συντελεστής ϕ :

$$\varphi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} = \frac{1}{1 + (1500/595.84)^4} = 0.0243$$

Όπου:

α : είναι η μικρότερη διάσταση του υαλοπίνακα ($\alpha = \min(1500 \text{ mm} , 2500 \text{ mm}) = 1500 \text{ mm}$).

α) Κυρίαρχη δράση το φορτίο ανέμου

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{10^3}{10^3 + 11.17^3} = 0.418$$

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{11.17^3}{10^3 + 11.17^3} = 0.582$$

$$\alpha^* = 28,9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} = 28,9 \left(\frac{15 * 10^3 * 11.07^3}{(10^3 + 11.07^3) * 0.042} \right)^{0.25} = 617.08 \text{ mm}$$

Όπου:

s : η απόσταση μεταξύ των δύο φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα ($s = 15 \text{ mm}$)

k_5 : ο συντελεστής που σχετίζεται με την μεταβολή όγκου και λαμβάνεται μέσω του πίνακα 5.27.

Και υπολογίζεται τελικά ο συντελεστής φ :

$$\varphi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} = \frac{1}{1 + (1500/617.08)^4} = 0.0278$$

Όπου:

α : είναι η μικρότερη διάσταση του υαλοπίνακα ($\alpha = \min(1500 \text{ mm} , 2500 \text{ mm}) = 1500 \text{ mm}$).

Η κατανομή των εξωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.10 και θα διακρίνεται πάλι σε δύο περιπτώσεις α) με το φορτίο χιονιού σαν κυρίαρχη δράση και β) με το φορτίο ανέμου σαν κυρίαρχη δράση:

α) Λαμβάνοντας υπόψη των συντελεστή κατανομής φ που προέκυψε με κυρίαρχη δράση το φορτίο του χιονιού.

Κατανομή του φορτίου ανέμου ($P_{\text{wind}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$):

$$W (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{wind}} = (0.494 + 0.0243 * 0.506) * 1.5 = 0.760 \text{ kN/m}^2$$

$$W (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{wind}} = (1 - 0.0243) * 0.506 * 1.5 = 0.740 \text{ kN/m}^2$$

Για το φορτίο του χιονιού ($P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$):

$$S (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{snow}} = (0.494 + 0.0243 * 0.506) * 0.5 = 0.253 \text{ kN/m}^2$$

$$S (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{snow}} = (1 - 0.0243) * 0.506 * 0.5 = 0.247 \text{ kN/m}^2$$

Η κατανομή των εσωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.11:

Για το κλιματικό φορτίο p_0 (summer) = + 16 kPa και p_0 (winter) = - 16 kPa:

$$C_{\text{Isummer}} = p_0(\text{pane1, summer}) = - \phi * p_0 = - 0.0243 * 16 = - 0.389 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Isummer}} = p_0(\text{pane2, summer}) = + \phi * p_0 = 0.0243 * 16 = 0.389 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Iwinter}} = p_0(\text{pane1, winter}) = - \phi * p_0 = - 0.0243 * (- 16) = + 0.389 \text{ kPa}$$

$$C_{\text{Iwinter}} = p_0(\text{pane2, winter}) = + \phi * p_0 = 0.0243 * (- 16) = - 0.389 \text{ kPa}$$

β) Λαμβάνοντας υπόψη των συντελεστή κατανομής ϕ που προέκυψε με κυρίαρχη δράση το φορτίο του ανέμου.

Κατανομή του φορτίου ανέμου ($P_{\text{wind}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$):

$$W (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{wind}} = (0.418 + 0.0278 * 0.582) * 1.5 = 0.651 \text{ kN/m}^2$$

$$W (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{wind}} = (1 - 0.0278) * 0.582 * 1.5 = 0.849 \text{ kN/m}^2$$

Για το φορτίο του χιονιού ($P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$):

$$S (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{snow}} = (0.418 + 0.0278 * 0.582) * 0.5 = 0.217 \text{ kN/m}^2$$

$$S (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{snow}} = (1 - 0.0278) * 0.582 * 1 = 0.238 \text{ kN/m}^2$$

Η κατανομή των εσωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.11:

Για το κλιματικό φορτίο p_0 (summer) = + 16 kPa και p_0 (winter) = - 16 kPa:

$$C_{lsummer} = p_0(\text{pane1, summer}) = - \phi * p_0 = - 0.0278 * 16 = - 0.445 \text{ kPa}$$

$$C_{lsummer} = p_0(\text{pane2, summer}) = + \phi * p_0 = 0.0278 * 16 = 0.445 \text{ kPa}$$

$$C_{lwinter} = p_0(\text{pane1, winter}) = - \phi * p_0 = - 0.0278 * (- 16) = + 0.445 \text{ kPa}$$

$$C_{lwinter} = p_0(\text{pane2, winter}) = + \phi * p_0 = 0.0278 * (- 16) = - 0.445 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός – Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού F_d

Ο υπολογισμός του φορτίου σχεδιασμού F_d γίνεται βάση των συνδυασμών φόρτισης που δίνονται στο Πρότυπο EN 16612:2019 και διαφοροποιείται στην περίπτωση της Οριακής Κατάσταση Αστοχίας (ULS) και στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS). Όπως επίσης λόγω διαφορετικής επιρροής φορτίσεων στην οριζόντια και στην κατακόρυφη στήριξη υαλοπινάκων το φορτίο σχεδιασμού θα διαφοροποιείται. Οι συνδυασμοί των δράσεων έχουν ληφθεί υπόψη στην παράγραφο 5.1.

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α.

Στη περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη οι συνδυασμοί δράσεων βάση του πίνακα 5.1 και τα αποτελέσματα προκύπτουν δίνονται στον πίνακα .

Έστω για τον υπολογισμό του 1^{ου} Συνδυασμού (LC1) με κυρίαρχη δράση το φορτίο χιονιού:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + C_{lwinter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση (Additional Load)} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.25 + 0.389) + (1.5 \times 0.253) = 1.242 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + C_{lwinter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.56 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.41 - 0.389) + (1.5 \times 0.247) = 0.396 \text{ kN/m}^2$$

Έστω για τον υπολογισμό του 3^{ου} Συνδυασμού (LC3) με κυρίαρχη δράση το φορτίο ανέμου:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.56 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.25 + 0.445) + (1.5 \times 0.217) = 1.916 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.56 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.41 - 0.445) + (1.5 \times 0.283) = 1.222 \text{ kN/m}^2$$

Πίνακας 5.28: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0)	G + Cl_{winter}	Snow		F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.862	0.38		1.242
pane 2 / Annealed	0.026	0.37		0.396
LC2 (ω = 0)	G + Cl_{winter}	Snow	Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.862	0.380	0.684	1.926
pane 2 / Annealed	0.026	0.370	0.666	1.063
LC3 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	0.977		1.916
pane 2 / Annealed	-0.051	1.273		1.222
LC4 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	Wind	Snow (ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	0.977	0.163	2.079
pane 2 / Annealed	-0.051	1.273	0.212	1.435
LC5 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	Wind	Snow (ψ0 = 0.7, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	0.977	0.228	2.144
pane 2 / Annealed	-0.051	1.273	0.297	1.519
LC6 (ω = 0.1)	G + Cl_{summer}	Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.2639	0.977		0.713
pane 2 / Annealed	1.1523	1.273		2.425
LC7 (ω = 0)	G + Cl_{winter}	Snow	(-) Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.862	0.380	-0.684	0.558
pane 2 / Annealed	0.026	0.370	-0.666	-0.270
LC8 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	-0.977	0.163	0.125
pane 2 / Annealed	-0.051	-1.273	0.212	-1.111
LC9 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.7, H≥1000m)	F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	-0.977	0.228	0.190
pane 2 / Annealed	-0.051	-1.273	0.297	-1.027
LC10 (ω = 0.1)	G + Cl_{summer}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.2639	-0.977		-1.241
pane 2 / Annealed	1.1523	-1.273		-0.121
LC11 (ω = 0.1)	G + Cl_{winter}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.939	-0.977		-0.038
pane 2 / Annealed	-0.051	-1.273		-1.324

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Στην προκείμενη περίπτωση για τη Μη Αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας της οποίας ο έλεγχος αφορά τις παραμορφώσεις, εξάγονται τα αποτελέσματα βάση του πίνακα 5.2 για τους συνδυασμούς στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.. Έστω για τον υπολογισμό του 2^{ου} Συνδυασμού Φορτίσεων (LC2):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας (pane 1):

$$F_d = 1.00 \times (0.25 + 0.389) + 1.00 \times (0.253) + 0.6 \times (0.760) = 1.438 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας (pane 2):

$$F_d = 1.00 \times (0.41 - 0.389) + 1.00 \times (0.247) + 0.6 \times (0.740) = 0.710 \text{ kN/m}^2$$

Πίνακας 5.29: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0)	G +Clwinter	Snow		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.639	0.253		0.892
pane 2 / Annealed	0.019	0.247		0.266
LC2 (ω = 0)	G +Clwinter	Snow	Wind (ψ0 = 0.6)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.639	0.253	0.456	1.348
pane 2 / Annealed	0.019	0.247	0.444	0.710
LC3 (ω = 0.1)	G +Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	0.651		1.347
pane 2 / Annealed	-0.037	0.849		0.811
LC4 (ω = 0.1)	G +Clwinter	Wind	Snow (ψ0 = 0.5, H≤1000m)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	0.651	0.109	1.455
pane 2 / Annealed	-0.037	0.849	0.141	0.953
LC5 (ω = 0.1)	G +Clwinter	Wind	Snow (ψ0 = 0.7, H≤1000m)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	0.651	0.152	1.499
pane 2 / Annealed	-0.037	0.849	0.198	1.009
LC6 (ω = 0.1)	G +Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.195	0.651		0.456
pane 2 / Annealed	0.695	0.849		1.544
LC7 (ω = 0)	G +Clwinter	Snow	(-) Wind (ψ0 = 0.6)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.639	0.253	-0.456	0.436
pane 2 / Annealed	0.019	0.247	-0.444	-0.178
LC8 (ω = 0.1)	G +Clwinter	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.5, H≤1000m)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	-0.651	0.109	0.153
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.849	0.141	-0.745
LC9 (ω = 0.1)	G +Clwinter	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.7, H≥1000m)	Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	-0.651	0.152	0.196
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.849	0.198	-0.688
LC10 (ω = 0.1)	G +Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.195	-0.651		-0.847
pane 2 / Annealed	0.695	-0.849		-0.153
LC11 (ω = 0.1)	G +Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.695	-0.651		0.044
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.849		-0.886

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, εξάγονται και δίνονται τα αποτελέσματα του φορτίου σχεδιασμού στον πίνακα 5.10 βάση των συνδυασμών δράσεων του πίνακα 5.3 για την αντιστρέψιμη κατάσταση.

Πίνακας 5.30: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.639	0.051		0.689
pane 2 / Annealed	0.019	0.049		0.069
LC2 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.639	0.127		0.765
pane 2 / Annealed	0.019	0.123		0.143
LC3 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.639	0.051	0	0.689
pane 2 / Annealed	0.019	0.049	0	0.069
LC4 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.639	0.127	0	0.765
pane 2 / Annealed	0.019	0.123	0	0.143
LC5 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	0.130		0.826
pane 2 / Annealed	-0.037	0.170		0.132
LC6 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	0.130	0	0.826
pane 2 / Annealed	-0.037	0.170	0	0.132
LC7 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	0.130	0.043	0.869
pane 2 / Annealed	-0.037	0.170	0.057	0.189
LC8 ($\omega = 0.1$)	G + Clsummer	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.195	0.130		-0.065
pane 2 / Annealed	0.695	0.170		0.865
LC9 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.416	0.051	0	0.467
pane 2 / Annealed	0.092	0.049	0	0.141
LC10 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.639	0.127	0	0.765
pane 2 / Annealed	0.019	0.123	0	0.143
LC11 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	-0.130	0	0.565
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.170	0	-0.207
LC12 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	-0.130	0.043	0.609
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.170	0.057	-0.151
LC13 ($\omega = 0.1$)	G + Clsummer	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.195	-0.130	0	-0.326
pane 2 / Annealed	0.695	-0.170	0	0.526
LC14 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.695	-0.130	0	0.565
pane 2 / Annealed	-0.037	-0.170	0	-0.207

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α

Για την κατακόρυφη τοποθέτηση του υαλοπίνακα τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη είναι το κλιματικό φορτίο (Climate Load) και το φορτίο του ανέμου (Wind Load). Επομένως με βάση τον πίνακα 5.4 θα προκύψουν τα αποτελέσματα που δίνονται στον πίνακα 5.31.

Πίνακας 5.31: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0.1)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.601	0.977		1.578
pane 2 / Annealed	-0.601	1.273		0.672
LC2 (ω = 0.1)	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.601	-0.977		-0.376
pane 2 / Annealed	-0.601	-1.273		-1.874
LC3 (ω = 0.1)	Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.601	0.977		0.376
pane 2 / Annealed	0.601	1.273		1.874
LC4 (ω = 0.1)	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.601	-0.977		-1.578
pane 2 / Annealed	0.601	-1.273		-0.672

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Βάση του πίνακα 5.5 για τους συνδυασμούς δράσεων για την μη αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.32.

Πίνακας 5.32: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0.1)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.445	0.651		1.097
pane 2 / Annealed	-0.445	0.849		0.403
LC2 (ω = 0.1)	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	0.445	-0.651		-0.206
pane 2 / Annealed	-0.445	-0.849		-1.294
LC3 (ω = 0.1)	Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.445	0.651		0.206
pane 2 / Annealed	0.445	0.849		1.294
LC4 (ω = 0.1)	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
pane 1 / HSG	-0.445	-0.651		-1.097
pane 2 / Annealed	0.445	-0.849		-0.403

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Βάση του πίνακα 5.5 για τους συνδυασμούς δράσεων για την μη αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.33.

Πίνακας 5.33: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 ($\omega = 0.1$)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.445	0.130		0.575
pane 2 / Annealed	-0.445	0.170		-0.275
LC2 ($\omega = 0.1$)	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	0.445	-0.130		0.315
pane 2 / Annealed	-0.445	-0.170		-0.615
LC3 ($\omega = 0.1$)	CIssummer	Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.445	0.130		-0.315
pane 2 / Annealed	0.445	0.170		0.615
LC4 ($\omega = 0.1$)	CIssummer	(-)Wind		Fd (kN/m²)
pane 1 / HSG	-0.445	-0.130		-0.575
pane 2 / Annealed	0.445	-0.170		0.275

Έχοντας υπολογιστεί τα φορτία σχεδιασμού F_d για κάθε περίπτωση τοποθέτησης του υαλοπίνακα οριζόντια ή κατακόρυφη στην συνέχεια γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι των αναπτυσσόμενων τάσεων σ_{max} σε σχέση με την μέγιστη εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού $f_{g,d}$ για την Ο.Κ.Α. και οι έλεγχοι μεγίστων βελών παραμόρφωσης w_{max} σε σχέση με τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές βέλους παραμόρφωσης w_d για την Ο.Κ.Λ., αφού πρώτα υπολογιστούν τα αδιάστατα φορτία p^* και οι συντελεστές k_1 και k_4 που είναι απαραίτητοι για τις εξισώσεις. Οι έλεγχοι γίνονται βάση των Εξ. (4.11) και (4.12).

Έλεγχος Τάσεων στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Και στο 2^ο παράδειγμα για τους συνδυασμούς δράσεων που μελετώνται λαμβάνονται διαφορετικές τιμές για τον συντελεστή k_{mod} ανάλογα και πάλι με την κυρίαρχη δράση. Δηλαδή αν το χιόνι (Snow Load) ή ο άνεμος (Wind Load) είναι η κυρίαρχη δράση λαμβάνονται οι τιμές $k_{mod} = 0.45$ και $k_{mod} = 1$ αντίστοιχα στους υπολογισμούς. Ο υαλοπίνακας και στις δυο περιπτώσεις τοποθέτησης είναι στηριζόμενος περιμετρικά οπότε ο συντελεστής k_e είναι ίσος με 1 και ο συντελεστής k_{sp} λαμβάνεται μέσω του πίνακα 4.4 ίσος με 1. Παρατηρείται ότι οι τύποι γυαλιού που χρησιμοποιούνται στην σύνθεση του υαλοπίνακα δεν είναι οι ίδιοι επομένως πρέπει να υπολογιστεί ξεχωριστά η αντοχή του καθενός. Για τον τύπο του ανοπτημένου γυαλιού (Annealed glass) η τιμή της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής είναι 45 N/mm^2 . Για τον τύπο του θερμικά ενισχυμένου γυαλιού (Heat Strengthened glass) η τιμή της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής είναι 70 N/mm^2 . Ακόμη οι τιμές της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής θα πρέπει να υπολογιστούν βάση την Εξ. (4.6) για την

περίπτωση του ανοπτημένου γυαλιού (annealed glass) και με βάση την Εξ. (4.9) για το θερμικά ενισχυμένο γυαλί (HSG). Για τους μερικούς συντελεστές ισχύει ότι $\gamma_{M;A} = 1.8$ και $\gamma_{M;N} = 1.2$. Προκειμένου λοιπόν να εξαχθούν οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης του, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_1 μέσω του πίνακα 4.8 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής.

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.242 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.242 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.56$$

Για $p^* = 1.56$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.501$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.396 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.396 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.48$$

Για $p^* = 0.48$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.520$.

Πίνακας 5.34: : Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 2^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1
LC1 ($\omega = 0$)			LC7 ($\omega = 0$)		
pane 1 / HSG	1.56	0.501	pane 1 / HSG	0.70	0.518
pane 2 / Annealed	0.48	0.520	pane 2 / Annealed	-0.33	0.521
LC2 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	2.42	0.476	pane 1 / HSG	0.16	0.523
pane 2 / Annealed	1.29	0.508	pane 2 / Annealed	-0.90	0.516
LC3 ($\omega = 0.1$)			LC9 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	2.41	0.476	pane 1 / HSG	0.24	0.522
pane 2 / Annealed	0.99	0.515	pane 2 / Annealed	-0.83	0.517
LC4 ($\omega = 0.1$)			LC10 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	2.61	0.476	pane 1 / HSG	-1.56	0.501
pane 2 / Annealed	1.16	0.511	pane 2 / Annealed	-0.10	0.523
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	2.69	0.467	pane 1 / HSG	-0.05	0.524
pane 2 / Annealed	1.23	0.509	pane 2 / Annealed	-1.07	0.513
LC6 ($\omega = 0.1$)					
pane 1 / HSG	0.90	0.516			
pane 2 / Annealed	1.96	0.491			

Οπότε με βάση τις τιμές των συντελεστών k_1 του πίνακα 5.34 υπολογίζονται οι μέγιστες τάσεις σ_{\max} και εξάγονται τα αποτελέσματα ελέγχου τάσεων στην Ο.Κ.Α για την περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα που δίνονται στον πίνακα 5.35.

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό φύλλο τύπου Heat Strengthened glass όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 0.45$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 0.45 \times 45)/1.8) + [1 \times (70 - 45)/1.2] = 32.08 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.501 \times (1500^2/10^2) \times 1.242/1000 = 14.00 \text{ N/mm}^2 < 32.08 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εσωτερικό φύλλο τύπου Annealed glass όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 0.45$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 0.45 \times 1)/1.8) \times 45 = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.520 \times (1500^2/10^2) \times 0.396/1000 = 3.62 \text{ N/mm}^2 < 11.25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 3^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό φύλλο τύπου Heat Strengthened glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 45)/1.8) + [1 \times (70 - 45)/1.2] = 45.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.476 \times (1500^2/10^2) \times 1.916/1000 = 20.52 \text{ N/mm}^2 < 45.83 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 3^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εσωτερικό φύλλο τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 1)/1.8) \times 45 = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.515 \times (1500^2/10^2) \times 1.222 /1000 = 9.03 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Τελικά τα αποτελέσματα ελέγχου τάσεων στην Ο.Κ.Α για την περίπτωση οριζόντια και τοποθετημένου υαλοπίνακα δίνονται στον πίνακα 5.35.

Πίνακας 5.35: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{\max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $f_{g;d}$ (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	14.00	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	3.62	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	20.62	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	9.49	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	20.52	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	9.03	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	22.26	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	10.52	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	22.53	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	11.09	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	8.28	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	17.08	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	6.51	32.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-2.47	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	1.47	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-8.23	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	2.23	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-7.61	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-13.99	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-0.91	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-0.45	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-9.74	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ομοίως για την περίπτωση του κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα πρώτα υπολογίζονται οι τιμές του αδιάστατου φορτίου p^* και του συντελεστή k_1 :

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.578 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.578 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.98$$

$$\text{Για } p^* = 1.98 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή } k_1 = 0.491.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.672 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.672 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.54$$

Για $\rho^* = 0.54$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.519$.

Πίνακας 5.36: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 2^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_1
LC1 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.98	0.491
pane 2 / Annealed	0.54	0.519
LC2 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	-0.47	0.520
pane 2 / Annealed	-1.51	0.502
LC3 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	0.47	0.520
pane 2 / Annealed	1.51	0.502
LC4 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	-1.98	0.491
pane 2 / Annealed	-0.54	0.519

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα τύπου Heat Strengthened glass και για το εσωτερικό φύλλο υαλοπίνακα τύπου όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{mod} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 45)/1.8) + [1 \times (70 - 45)/1.2] = 45.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 0.491 \times (1500^2/10^2) \times 1.578/1000 = 17.44 \text{ N/mm}^2 < 45.83 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Πίνακας 5.37: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $f_{g;d}$ (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	17.44	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	5.00	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-4.39	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-13.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	4.39	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	13.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-17.44	45.83	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-5.00	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Έλεγχος Παραμορφώσεων στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Στην Ο.Κ.Λ. οι έλεγχοι γίνονται για τις παραμορφώσεις που αναπτύσσουν οι υαλοπίνακες, για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές των μεγίστων βελών παραμόρφωσης για κάθε περίπτωση με βάση την Εξ. (4.14). Οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι για οριζόντια τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. καθώς επίσης και για κατακόρυφη τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. Προκειμένου να εξαχθούν οι μέγιστες τιμές βελών κάμψης w_{max} που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης που επιδέχεται, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_4 μέσω του πίνακα 4.9 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής. Δίνεται παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή k_4 .

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.892 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.892 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.12$$

$$\text{Για } p^* = 1.12 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.093.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.266 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.266 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.32$$

$$\text{Για } p^* = 0.32 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.097.$$

Τα αποτελέσματα των τιμών του συντελεστή k_4 δίνονται στον πίνακα 5.38.

Πίνακας 5.38: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0$)			LC7 ($\omega = 0$)		
pane 1 / HSG	1.12	0.093	pane 1 / HSG	0.55	0.096
pane 2 / Annealed	0.32	0.097	pane 2 / Annealed	-0.22	0.097
LC2 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.69	0.088	pane 1 / HSG	0.19	0.098
pane 2 / Annealed	0.86	0.095	pane 2 / Annealed	-0.60	0.098
LC3 ($\omega = 0.1$)			LC9 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.69	0.088	pane 1 / HSG	0.25	0.097
pane 2 / Annealed	0.66	0.096	pane 2 / Annealed	-0.56	0.096
LC4 ($\omega = 0.1$)			LC10 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.83	0.087	pane 1 / HSG	-1.06	0.094
pane 2 / Annealed	0.77	0.095	pane 2 / Annealed	-0.12	0.098
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.88	0.087	pane 1 / HSG	0.06	0.098
pane 2 / Annealed	0.82	0.095	pane 2 / Annealed	-0.72	0.095
LC6 ($\omega = 0.1$)					
pane 1 / HSG	0.57	0.096			
pane 2 / Annealed	1.25	0.092			

Εν συνέχεια η επιτρεπόμενη τιμή παραμόρφωσης βέλους, προσδιορίζεται μέσω της Εξ. (4.10) και εφόσον ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος περιμετρικά (δηλαδή και στις τέσσερις πλευρές του), στην τιμή του όρου span αντιστοιχεί το μήκος της μικρότερης πλευράς οπότε:

$$\text{Min Span (a = 1500mm, b = 2500mm)} = 1500\text{mm}$$

$$w_d = 1500/65 = 23.08\text{mm}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$$w_{\max} = [0.093 \times (1500^2/10^3) \times (0.892/70000)]/1000 = 6.00 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm, Ικανοποιείται.}$$

$$w_{\max} = [0.097 \times (1500^2/10^3) \times (0.266/70000)]/1000 = 1.82 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm, Ικανοποιείται.}$$

Τα αποτελέσματα του ελέγχου δίνονται στον πίνακα 5.39.

Πίνακας 5.39: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{\max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	6.00	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	1.82	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	8.58	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	4.77	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	8.57	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	4.05	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	9.16	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	4.70	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	9.43	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	4.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	3.16	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	7.38	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	3.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-1.22	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	1.08	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-3.79	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	1.38	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-3.43	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-5.76	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-0.78	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	0.31	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-4.37	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.097 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.097 \times 10^{-3}) / 70000 = 1.38$$

Για $p^* = 1.38$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.091$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.403 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.403 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.33$$

Για $\rho^* = 0.33$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.097$.

Πίνακας 5.40: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.38	0.091
pane 2 / Annealed	0.33	0.097
LC2 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	-0.26	0.097
pane 2 / Annealed	-1.05	0.094
LC3 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	0.26	0.097
pane 2 / Annealed	1.05	0.094
LC4 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	-1.38	0.091
pane 2 / Annealed	-0.33	0.097

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$$w_{\max} = [0.091 \times (1500^2/10^3) \times (1.097/70000)]/1000 = 7.22 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}, \text{ Ικανοποιείται.}$$

$$w_{\max} = [0.097 \times (1500^2/10^3) \times (0.403/70000)]/1000 = 2.03 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Τα αποτελέσματα των ελέγχων δίνονται στον πίνακα 5.41.

Πίνακας 5.41: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{\max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	7.22	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	2.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-1.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-6.32	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	1.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	6.32	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-7.22	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-2.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Η ίδια διαδικασία ελέγχου ακολουθείται και για την Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ τόσο για τον οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα όσο και για τον κατακόρυφα τοποθετημένο. Τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.42 και 5.43 αντίστοιχα.

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.689 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.689 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.87$$

$$\text{Για } \rho^* = 0.87 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.095.$$

Πίνακας 5.42: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	0.87	0.095	pane 1 / HSG	-0.08	0.098
pane 2 / Annealed	0.08	0.098	pane 2 / Annealed	0.70	0.095
LC2 ($\omega = 0$)			LC9 ($\omega = 0$)		
pane 1 / HSG	0.96	0.098	pane 1 / HSG	0.59	0.095
pane 2 / Annealed	0.17	0.098	pane 2 / Annealed	0.17	0.098
LC3 ($\omega = 0$)			LC10 ($\omega = 0$)		
pane 1 / HSG	0.87	0.095	pane 1 / HSG	0.96	0.094
pane 2 / Annealed	0.08	0.098	pane 2 / Annealed	0.17	0.098
LC4 ($\omega = 0$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	0.96	0.098	pane 1 / HSG	0.71	0.095
pane 2 / Annealed	0.17	0.098	pane 2 / Annealed	-0.17	0.098
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC12 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.04	0.094	pane 1 / HSG	0.76	0.095
pane 2 / Annealed	0.11	0.098	pane 2 / Annealed	-0.12	0.098
LC6 ($\omega = 0.1$)			LC13 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.04	0.094	pane 1 / HSG	-0.41	0.097
pane 2 / Annealed	0.11	0.098	pane 2 / Annealed	0.42	0.097
LC7 ($\omega = 0.1$)			LC14 ($\omega = 0.1$)		
pane 1 / HSG	1.09	0.093	pane 1 / HSG	0.71	0.095
pane 2 / Annealed	0.15	0.098	pane 2 / Annealed	-0.17	0.098

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$w_{\max} = [0.095 \times (1500^2/10^3) \times (0.689/70000)]/1000 = 4.74 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm, Ικανοποιείται.}$$

Πίνακας 5.43: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	4.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.48	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	5.42	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.99	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	4.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.48	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	5.42	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.99	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	5.61	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.67	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	5.61	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.67	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	5.85	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.96	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-0.46	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	4.27	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	4.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.48	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0$)			
pane 1 / HSG	4.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	0.48	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	3.88	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-1.05	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC12 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	4.18	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-0.77	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC13 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-2.29	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	2.65	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC14 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	3.88	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-1.05	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ενώ τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.44 και 5.45 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.44: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 2^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

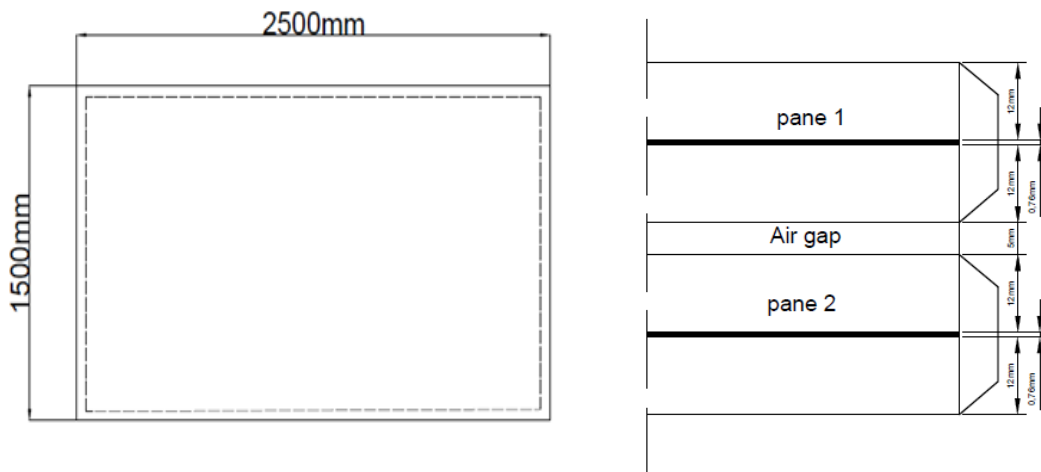
Nr.	Φορτίο Σχεδιασμού	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0.1$)	Fd (kN/m²)		
pane 1 / HSG	0.575	0.72	0.095
pane 2 / Annealed	-0.275	-0.22	0.097
LC2 ($\omega = 0.1$)	Fd (kN/m²)		
pane 1 / HSG	0.315	0.40	0.097
pane 2 / Annealed	-0.615	-0.50	0.096
LC3 ($\omega = 0.1$)	Fd (kN/m²)		
pane 1 / HSG	-0.315	-0.40	0.097
pane 2 / Annealed	0.615	0.50	0.096
LC4 ($\omega = 0.1$)	Fd (kN/m²)		
pane 1 / HSG	-0.575	-0.72	0.095
pane 2 / Annealed	0.275	0.22	0.097

Πίνακας 5.45: 2^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{\max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	3.96	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-1.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	2.21	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	-3.07	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-2.21	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	3.07	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
pane 1 / HSG	-3.96	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
pane 2 / Annealed	1.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

5.2.3 3^ο Παράδειγμα – Μονωτικός υαλοπίνακας (insulating glass units) με πολυστρωματικά φύλλα γυαλιού (laminated glass) εξωτερικά και εσωτερικά

Προς ανάπτυξη του τρίτου παραδείγματος διαστασιολόγησης υαλοπινάκων χρησιμοποιήθηκε ένας μονωτικός υαλοπίνακας (Insulating glass unit) διαστάσεων 1500 mm x 2500mm, με διάκενο s 5 mm, ο οποίος εξωτερικά και εσωτερικά αποτελείται από πολυστρωματικού τύπου υαλοπίνακα (laminated glass) με διαστάσεις 12mm/0.76mm/12mm και 12mm/0.76mm/12mm αντίστοιχα. Η μεμβράνη με την οποία συνδέονται τα φύλλα γυαλιού είναι πάχους 0.76mm και τύπου Trosifol Clear. Ο υαλοπίνακας στηρίζεται περιμετρικά και θα μελετηθούν οι περιπτώσεις οριζόντιας και κατακόρυφης στήριξης.



Σχήμα 5.5: Σχέδιο διπλού με υαλοπίνακα σε κάτοψη και τομή που αποτελείται από δύο φύλλα γυαλιού πολλαπλών στρώσεων.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η διαδικασία που ακολουθείται λαμβάνει υπόψη ότι ο υαλοπίνακας αποτελείται από πολυστρωματικά φύλλα γυαλιού (laminated glass) εξωτερικά και εσωτερικά επομένως η συνολική απόκριση του υαλοπίνακα διαφοροποιείται. Παράλληλα για το κάθε φύλλο του υαλοπίνακα θα γίνει προσαρμογή του κατάλληλου πάχους μέσω της διαδικασίας υπολογισμού του ισοδύναμου πάχους. Τα χαρακτηριστικά της μεμβράνης PVB Trosifol Clear που χρησιμοποιείται παραμένουν ίδια με αυτά που δίνονται στον πίνακα 5.20.

Τα φορτία στα οποία υπόκεινται ο υαλοπίνακας είναι τα εξής:

Μόνιμα Φορτία

- **Ίδιο βάρος υαλοπινάκων**

Εξωτερικό φύλλο (External pane): $h_{1.1} = 12\text{mm} / h_{\text{inter}} = 0.76\text{mm} / h_{1.2} = 12\text{mm}$

$$g_1 (\text{external pane}) = (12 \text{ mm} + 12 \text{ mm}) \times 2500 \text{ kg/m}^3 + 0.76 \text{ mm} \times 1056 \text{ kg/m}^3 = (0.024 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3) + (0.0076 \text{ m} \times 0.01056 \text{ kN/m}^3) = 0.61 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικό φύλλο (Internal pane): $h_{2.1} = 12 \text{ mm} / h_{\text{inter}} = 0.76 \text{ mm} / h_{2.2} = 12 \text{ mm}$

$$g_2 (\text{internal pane}) = (12 \text{ mm} + 12 \text{ mm}) \times 2500 \text{ kg/m}^3 + 0.76 \text{ mm} \times 1056 \text{ kg/m}^3 = (0.024 \text{ m} \times 0.025 \text{ kN/m}^3) + (0.0076 \text{ m} \times 0.01056 \text{ kN/m}^3) = 0.61 \text{ kN/m}^2$$

Total Weight = 456.0192 kg

- **Φορτίο Ανέμου**

Έστω ότι η ανεμοπίεση που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 1.5 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο ανέμου θα είναι ίσο με $P_{\text{wind}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$.

- **Φορτίο χιονιού**

Έστω ότι το φορτίο χιονιού που δέχεται ο υαλοπίνακας είναι 0.5 kN/m^2 , άρα το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο χιονιού θα είναι ίσο με $P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$.

- **Κλιματικό Φορτίο**

Θεωρώντας ότι το τελικό αποτέλεσμα της πίεσης που επιδέχεται ένας υαλοπίνακας προκύπτει από την πίεση που προκαλεί η διαφορά υψομέτρου καθώς και η διαφορά θερμοκρασίας ή και πίεσης της ατμόσφαιρας, λαμβάνεται σαν τελική τιμή το κλιματικό φορτίο των $p_0 = 16 \text{ kPa}$. Όμως επειδή η συγκεκριμένη φόρτιση επηρεάζεται και από τον εποχικό παράγοντα, θα πρέπει στους υπολογισμούς να ληφθεί υπόψη η τιμή της για τους θερινούς μήνες με θετικό πρόσημο και για τους χειμερινούς μήνες με αρνητικό πρόσημο.

$$p_0(\text{summer}) = + 16 \text{ kPa} / p_0(\text{winter}) = - 16 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός Ισοδύναμου Πάχους

Για κάθε φύλλο υαλοπίνακα θα πρέπει να υπολογιστεί το ισοδύναμο πάχος βάση της διαδικασίας του κεφαλαίου επομένως θα προκύψουν:

External Pane			Internal Pane		
hs,ex =	12.76	mm	hs,in =	12.76	mm
hs,ex1 =	6.38	mm	hs,in1 =	6.38	mm
hs,ex2 =	6.38	mm	hs,in2 =	6.38	mm
Is,ex =	976.90	mm ³	Is,in=	976.90	mm ³

Παράλληλα επειδή οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην πράξη κατατάσσονται σε προκαθορισμένες ομάδες ακαμψίας και ακόμη επειδή το είδος της φόρτισης που επιδέχεται ο υαλοπίνακας μπορεί να διαφέρει πρέπει να γίνει χρήση των ανάλογων τιμών του συντελεστή ω . Βάση του **Προτύπου EN 16612:2019** και τους συνδυασμούς δράσεων πρέπει να ελεγχθούν οι περιπτώσεις όπου α) το φορτίο χιονιού θα είναι η κυρίαρχη δράση ($\omega = 0$) και β) το φορτίο ανέμου θα είναι η κυρίαρχη δράση ($\omega = 0.1$).

Άρα αν το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση τότε $\omega = 0$ για την μεμβράνη Trosifol Clear το ισοδύναμο πάχος που υπολογίζεται για κάθε φύλλο του υαλοπίνακα είναι:

External Pane		Internal Pane	
$\omega =$	0	$\omega =$	0
hef, w,ex (mm) =	15.12	hef, w,in (mm) =	15.12
hef,σ,ex1 (mm)=	16.67	hef,σ,in1 (mm)=	16.67
hef,σ,ex2 (mm) =	16.67	hef,σ,in2 (mm) =	16.67

Αν όμως ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση τότε $\omega = 0.1$ για την μεμβράνη Trosifol Clear το ισοδύναμο πάχος που υπολογίζεται για κάθε φύλλο υαλοπίνακα:

External Pane		Internal Pane	
$\omega =$	0.1	$\omega =$	0.1
hef, w,ex (mm)=	16.67	hef, w,in (mm)=	16.67
hef,σ,ex1 (mm) =	18.67	hef,σ,in1 (mm) =	18.67
hef,σ,ex2 (mm) =	18.67	hef,σ,in2 (mm) =	18.67

Εν συνεχεία θα πρέπει να γίνει η κατανομή των φορτίσεων στα εκάστοτε φύλλα γυαλιού του υαλοπίνακα. Εφόσον λοιπόν η κατανομή της φόρτισης εξαρτάται και από το πάχος των φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ισοδύναμα πάχη που υπολογίστηκαν παραπάνω ανά περίπτωση.

Υπολογισμός κατανομής φορτίων ανά φύλλο γυαλιού

Βάση του **Προτύπου EN 16612:2019**, θα υπολογιστούν οι δείκτες ακαμψίας δ_1 και δ_2 , το χαρακτηριστικό μήκος α^* , και ο συντελεστής κατανομής ϕ για τις περιπτώσεις α) όπου το

φορτίο χιονιού είναι η κυρίαρχη δράση και β) όπου το φορτίο του ανέμου είναι η κυρίαρχη δράση.

α) Κυρίαρχη δράση το φορτίο χιονιού

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{15.12^3}{15.12^3 + 15.12^3} = 0.50$$

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{15.12^3}{15.12^3 + 15.12^3} = 0.50$$

$$\alpha^* = 28,9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} = 28,9 \left(\frac{5 * 15.12^3 * 15.12^3}{(15.12^3 + 15.12^3) * 0.042} \right)^{0.25} = 615.48 \text{ mm}$$

Όπου:

s: η απόσταση μεταξύ των δύο φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα (s = 5 mm)

k₅: ο συντελεστής που σχετίζεται με την μεταβολή όγκου και λαμβάνεται μέσω του πίνακα 5.21, για λ = α/b = 1500/2500 = 0.6.

Και υπολογίζεται τελικά ο συντελεστής φ:

$$\varphi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} = \frac{1}{1 + (1500/615.48)^4} = 0.0276$$

Όπου:

α: είναι η μικρότερη διάσταση του υαλοπίνακα (α = min(1500 mm , 2500 mm) = 1500 mm).

α) Κυρίαρχη δράση το φορτίο ανέμου

$$\delta_1 = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{16.67^3}{16.67^3 + 16.67^3} = 0.5$$

$$\delta_2 = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3} = \frac{16.67^3}{16.67^3 + 16.67^3} = 0.5$$

$$\alpha^* = 28,9 \left(\frac{s h_1^3 h_2^3}{(h_1^3 + h_2^3) k_5} \right)^{0.25} = 28,9 \left(\frac{5 * 16.67^3 * 16.67^3}{(16.67^3 + 16.67^3) * 0.042} \right)^{0.25} = 662.10 \text{ mm}$$

Όπου:

s: η απόσταση μεταξύ των δύο φύλλων γυαλιού του υαλοπίνακα (s = 5 mm)

k5: ο συντελεστής που σχετίζεται με την μεταβολή όγκου και λαμβάνεται μέσω του πίνακα 5.21

Και υπολογίζεται τελικά ο συντελεστής ϕ :

$$\phi = \frac{1}{1 + (\alpha/\alpha^*)^4} = \frac{1}{1 + (1500/662.10)^4} = 0.0365$$

Όπου:

α : είναι η μικρότερη διάσταση του υαλοπίνακα ($\alpha = \min(1500 \text{ mm}, 2500 \text{ mm}) = 1500 \text{ mm}$).

Η κατανομή των εξωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.10 και θα χωρίζεται πάλι σε δύο περιπτώσεις α) με το φορτίο χιονιού σαν κυρίαρχη δράση και β) με το φορτίο ανέμου σαν κυρίαρχη δράση:

α) Λαμβάνοντας υπόψη των συντελεστή κατανομής ϕ που προέκυψε με κυρίαρχη δράση το φορτίο του χιονιού.

Κατανομή του φορτίου ανέμου ($P_{\text{wind}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$):

$$W (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{wind}} = (0.5 + 0.0276 * 0.5) * 1.5 = 0.771 \text{ kN/m}^2$$

$$W (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{wind}} = (1 - 0.0276) * 0.5 * 1.5 = 0.729 \text{ kN/m}^2$$

Για το φορτίο του χιονιού ($P_{\text{snow}} = 0.5 \text{ kN/m}^2$):

$$S (\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{\text{snow}} = (0.5 + 0.0276 * 0.5) * 0.5 = 0.257 \text{ kN/m}^2$$

$$S (\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{\text{snow}} = (1 - 0.0276) * 0.5 * 1 = 0.243 \text{ kN/m}^2$$

Η κατανομή των εσωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.11:

Για το κλιματικό φορτίο p_0 (summer) = + 16 kPa και p_0 (winter) = - 16 kPa:

$$Cl_{\text{summer}} = p_0(\text{pane1, summer}) = - \phi * p_0 = - 0.0276 * 16 = - 0.441 \text{ kPa}$$

$$Cl_{\text{summer}} = p_0(\text{pane2, summer}) = + \phi * p_0 = 0.0276 * 16 = 0.441 \text{ kPa}$$

$$Cl_{\text{winter}} = p_0(\text{pane1, winter}) = - \phi * p_0 = - 0.0276 * (- 16) = + 0.441 \text{ kPa}$$

$$Cl_{winter} = p_0(\text{pane2, winter}) = + \phi * p_0 = 0.0276 * (-16) = -0.441 \text{ kPa}$$

β) Λαμβάνοντας υπόψη των συντελεστή κατανομής ϕ που προέκυψε με κυρίαρχη δράση το φορτίο του ανέμου.

Κατανομή του φορτίου ανέμου ($P_{wind} = 1.5 \text{ kN/m}^2$):

$$W(\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{wind} = (0.5 + 0.0365 * 0.5) * 1.5 = 0.777 \text{ kN/m}^2$$

$$W(\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{wind} = (1 - 0.0365) * 0.5 * 1.5 = 0.723 \text{ kN/m}^2$$

Για το φορτίο του χιονιού ($P_{snow} = 0.5 \text{ kN/m}^2$):

$$S(\text{pane 1, external}) = (\delta_1 + \phi * \delta_2) * P_{snow} = (0.5 + 0.0365 * 0.5) * 1 = 0.259 \text{ kN/m}^2$$

$$S(\text{pane 2, internal}) = (1 - \phi) * \delta_2 * P_{snow} = (1 - 0.0365) * 0.5 * 1 = 0.241 \text{ kN/m}^2$$

Η κατανομή των εσωτερικών φορτίων σε κάθε φύλλο του υαλοπίνακα γίνεται με βάση τον πίνακα 4.11:

Για το κλιματικό φορτίο $p_0(\text{summer}) = +16 \text{ kPa}$ και $p_0(\text{winter}) = -16 \text{ kPa}$:

$$Cl_{summer} = p_0(\text{pane1, summer}) = -\phi * p_0 = -0.0365 * 16 = -0.585 \text{ kPa}$$

$$Cl_{summer} = p_0(\text{pane2, summer}) = +\phi * p_0 = 0.0365 * 16 = 0.585 \text{ kPa}$$

$$Cl_{winter} = p_0(\text{pane1, winter}) = -\phi * p_0 = -0.0365 * (-16) = +0.585 \text{ kPa}$$

$$Cl_{winter} = p_0(\text{pane2, winter}) = +\phi * p_0 = 0.0365 * (-16) = -0.585 \text{ kPa}$$

Υπολογισμός – Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού F_d

Ο υπολογισμός του φορτίου σχεδιασμού F_d γίνεται βάση των συνδυασμών φόρτισης που δίνονται στο Πρότυπο EN 16612:2019 για τις περιπτώσεις της Οριακής Κατάσταση Αστοχίας (ULS) και της Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (SLS). Όμως λόγω διαφορετικής επιρροής φορτίσεων στην οριζόντια και στην κατακόρυφη στήριξη υαλοπινάκων το φορτίο σχεδιασμού διαφοροποιείται. Οι συνδυασμοί των δράσεων έχουν ληφθεί υπόψη στην παράγραφο 5.1.

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α

Στη περίπτωση αυτή λαμβάνονται υπόψη οι συνδυασμοί δράσεων βάση του πίνακα 5.1 και τα αποτελέσματα προκύπτουν δίνονται στον πίνακα .

Έστω για τον υπολογισμό του 1^{ου} Συνδυασμού (Load Case 1) λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία που προέκυψαν από την κατανομή θεωρώντας κυρίαρχη δράση το φορτίο χιονιού:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 + 0.441) + (1.5 \times 0.257) = 1.801 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 - 0.441) + (1.5 \times 0.243) = 0.590 \text{ kN/m}^2$$

Έστω για τον υπολογισμό του 3^{ου} Συνδυασμού (Load Case 3) λαμβάνοντας υπόψη τα φορτία που προέκυψαν από την κατανομή θεωρώντας κυρίαρχη δράση το φορτίο ανέμου.

Εξωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 + 0.585) + (1.5 \times 0.777) = 2.77 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 - 0.585) + (1.5 \times 0.723) = 1.115 \text{ kN/m}^2$$

Έστω για τον υπολογισμό του 4^{ου} Συνδυασμού (Load Case 4) όπου έχουμε συνδυασμό όλων των δυνατών φορτίσεων με κυρίαρχη δράση το φορτίο του ανέμου.

Εξωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Wind Load}) + 1.5 \times (\psi_0 \times \text{Snow Load}) \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 + 0.585) + (1.5 \times 0.777) + 1.5 \times 0.6 \times 0.259 = 2.972 \text{ kN/m}^2$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας :

$$F_d = 1.35 \times (G + Cl_{winter}) + 1.5 \times (\text{Snow Load}) + 1.5 \times \psi_0 \times \text{Additional Load} \Rightarrow$$

$$F_d = 1.35 \times (0.61 - 0.585) + (1.5 \times 0.723) + 1.5 \times 0.6 \times 0.241 = 1.295 \text{ kN/m}^2$$

Παρατηρείται ότι η υπολογιστική διαδικασία γίνεται αρκετά περιπλοκή αφού και τα δύο τμήματα του υαλοπίνακα αποτελούνται από γυαλί πολλαπλών στρώσεων (laminated glass), επομένως τόσο στη διαδικασία υπολογισμού του ισοδύναμου πάχους όσο και στη κατανομή των φορτίσεων πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διαφοροποιημένες παράμετροι.

Πίνακας 5.46: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0)	G +Cl_{winter}	Snow		F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.416	0.385		1.801
Pane 2(Annealed)	0.225	0.365		0.590
LC2 (ω = 0)	G +Cl_{winter}	Snow	Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.416	0.385	0.694	2.495
Pane 2(Annealed)	0.225	0.365	0.656	1.246
LC3 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	Wind		F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	1.166		2.777
Pane 2(Annealed)	0.031	1.084		1.115
LC4 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	Wind	Snow (ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	1.166	0.194	2.972
Pane 2(Annealed)	0.031	1.084	0.181	1.295
LC5 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	Wind	Snow (ψ0 = 0.7, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	1.166	0.272	3.049
Pane 2(Annealed)	0.031	1.084	0.253	1.368
LC6 (ω = 0.1)	G +Cl_{summer}	Wind		F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	0.031	1.166		1.197
Pane 2(Annealed)	1.611	1.084		2.695
LC7 (ω = 0)	G +Cl_{winter}	Snow	(-) Wind (ψ0 = 0.6)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.416	0.385	-0.694	1.108
Pane 2(Annealed)	0.225	0.365	-0.656	-0.067
LC8 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.5, H≤1000m)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	-1.166	0.194	0.639
Pane 2(Annealed)	0.031	-1.084	0.181	-0.872
LC9 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	(-)Wind	Snow(ψ0 = 0.7, H≥1000m)	F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	-1.166	0.272	0.717
Pane 2(Annealed)	0.031	-1.084	0.253	-0.800
LC10 (ω = 0.1)	G +Cl_{summer}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	0.031	-1.166		-1.135
Pane 2(Annealed)	1.611	-1.084		0.527
LC11 (ω = 0.1)	G +Cl_{winter}	(-)Wind		F_d (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.611	-1.166		0.445
Pane 2(Annealed)	0.031	-1.084		-1.053

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Τοποθετημένος Υαλοπίνακας – Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας της οποίας ο έλεγχος αφορά τις παραμορφώσεις, μελετώνται δύο περιπτώσεις στην προκειμένη περίπτωση εξάγονται τα αποτελέσματα βάση του πίνακα 5.2 για τους συνδυασμούς στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.. Η διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων δεν διαφέρει με τις προηγούμενη διαδικασία στην Ο.Κ.Α. Οπότε παρατίθενται τα αποτελέσματα του φορτίο σχεδιασμού για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Πίνακας 5.47: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 ($\omega = 0$)	G +Clwinter	Snow		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.257		1.306
Pane 2(Annealed)	0.167	0.243		0.410
LC2 ($\omega = 0$)	G +Clwinter	Snow	Wind ($\psi_0 = 0.6$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.257	0.462	1.768
Pane 2(Annealed)	0.167	0.243	0.438	0.848
LC3 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.777		1.970
Pane 2(Annealed)	0.023	0.723		0.746
LC4 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.777	0.130	2.100
Pane 2(Annealed)	0.023	0.723	0.120	0.866
LC5 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	Wind	Snow ($\psi_0 = 0.7, H \leq 1000m$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.777	0.181	2.152
Pane 2(Annealed)	0.023	0.723	0.169	0.914
LC6 ($\omega = 0.1$)	G +Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.023	0.777		0.800
Pane 2(Annealed)	0.585	0.723		1.308
LC7 ($\omega = 0$)	G +Clwinter	Snow	(-) Wind ($\psi_0 = 0.6$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.257	-0.462	0.843
Pane 2(Annealed)	0.167	0.243	-0.438	-0.027
LC8 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.5, H \leq 1000m$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	-0.777	0.130	0.545
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.723	0.120	-0.579
LC9 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	(-)Wind	Snow($\psi_0 = 0.7, H \geq 1000m$)	Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	-0.777	0.181	0.597
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.723	0.169	-0.531
LC10 ($\omega = 0.1$)	G +Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.023	-0.777		-0.754
Pane 2(Annealed)	0.585	-0.723		-0.138
LC11 ($\omega = 0.1$)	G +Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	1.193	-0.777		0.416
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.723		-0.700

1^η Περίπτωση – Οριζόντια Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Ανάλογα με τις προηγούμενες περιπτώσεις εξάγονται και δίνονται τα αποτελέσματα του φορτίου σχεδιασμού στον πίνακα 5.10 βάση των συνδυασμών δράσεων του πίνακα 5.3 για την αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ..

Πίνακας 5.48: 3ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Οριζόντια Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.051		1.100
Pane 2(Annealed)	0.167	0.049		0.216
LC2 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.128		1.177
Pane 2(Annealed)	0.167	0.122		0.289
LC3 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.051	0	1.100
Pane 2(Annealed)	0.167	0.049	0	0.216
LC4 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.128	0	1.177
Pane 2(Annealed)	0.167	0.122	0	0.289
LC5 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.155		1.348
Pane 2(Annealed)	0.023	0.145		0.168
LC6 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.155	0	1.348
Pane 2(Annealed)	0.023	0.145	0	0.168
LC7 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.193	0.155	0.052	1.400
Pane 2(Annealed)	0.023	0.145	0.048	0.216
LC8 ($\omega = 0.1$)	G + Clsummer	wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	0.023	0.155		0.178
Pane 2(Annealed)	1.193	0.145		1.338
LC9 ($\omega = 0$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.2$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.051	0	1.100
Pane 2(Annealed)	0.167	0.049	0	0.216
LC10 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	snow ($\psi_1 = 0.5$)	(-)wind ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.049	0.128	0	1.177
Pane 2(Annealed)	0.167	0.122	0	0.289
LC11 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.193	-0.155	0	1.038
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.145	0	-0.122
LC12 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)	snow ($\psi_2 = 0.2$)	Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.193	-0.155	0.052	1.090
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.145	0.048	-0.074
LC13 ($\omega = 0.1$)	G + Clsummer	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	0.023	-0.155	0	-0.132
Pane 2(Annealed)	1.193	-0.145	0	1.048
LC14 ($\omega = 0.1$)	G + Clwinter	(-)wind ($\psi_1 = 0.2$)		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	1.093	-0.155	0	0.938
Pane 2(Annealed)	0.023	-0.145	0	-0.122

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Ο.Κ.Α.

Για την κατακόρυφη τοποθέτηση του υαλοπίνακα τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη είναι το κλιματικό φορτίο (Climate Load) και το φορτίο του ανέμου (Wind Load). Επομένως με βάση τον πίνακα 5.4 θα προκύψουν τα αποτελέσματα που δίνονται στον πίνακα 5.49.

Πίνακας 5.49: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.35	Μεταβλητή Δράση x 1.5	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x 1.5 x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0.1)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.790	1.166		1.956
Pane 2(Annealed)	-0.790	1.084		0.294
LC2 (ω = 0.1)	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.790	-1.166		-0.376
Pane 2(Annealed)	-0.790	-1.084		-1.874
LC3 (ω = 0.1)	Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	-0.790	1.166		0.376
Pane 2(Annealed)	0.790	1.084		1.874
LC4 (ω = 0.1)	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	-0.790	-1.166		-1.956
Pane 2(Annealed)	0.790	-1.084		-0.294

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Μη αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.

Βάση του πίνακα 5.5 για τους συνδυασμούς δράσεων για την μη αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.50.

Πίνακας 5.50: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x 1.00	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ0	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 (ω = 0.1)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.585	0.777		1.362
Pane 2(Annealed)	-0.585	0.723		0.138
LC2 (ω = 0.1)	Clwinter	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	0.585	-0.777		-0.192
Pane 2(Annealed)	-0.585	-0.723		-1.308
LC3 (ω = 0.1)	Clsummer	Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	-0.585	0.777		0.192
Pane 2(Annealed)	0.585	0.723		1.308
LC4 (ω = 0.1)	Clsummer	(-)Wind		Fd (kN/m2)
Pane 1(Annealed)	-0.585	-0.777		-1.362
Pane 2(Annealed)	0.585	-0.723		-0.138

2^η Περίπτωση – Κατακόρυφα Στηριζόμενος Υαλοπίνακας – Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Βάση του πίνακα 5.6 για τους συνδυασμούς δράσεων για την Αντιστρέψιμη Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 5.51.

Πίνακας 5.51: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Φορτίου Σχεδιασμού για Κατακόρυφα Τοποθετημένο Υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Μόνιμη Δράση x 1.00	Μεταβλητή Δράση x ψ_1	Επιπρόσθετη Μεταβλητή Δράση x ψ_2	Φορτίο Σχεδιασμού
LC1 ($\omega = 0.1$)	Clwinter	Wind		Fd (kN/m²)
Pane 1(Annealed)	0.585	0.155		0.741
Pane 2(Annealed)	-0.585	0.145		-0.441
LC2 ($\omega = 0.1$)	Clwinter	(-)Wind		
Pane 1(Annealed)	0.585	-0.155		0.430
Pane 2(Annealed)	-0.585	-0.145		-0.730
LC3 ($\omega = 0.1$)	Csummer	Wind		
Pane 1(Annealed)	-0.585	0.155		-0.430
Pane 2(Annealed)	0.585	0.145		0.730
LC4 ($\omega = 0.1$)	Csummer	(-)Wind		
Pane 1(Annealed)	-0.585	-0.155		-0.741
Pane 2(Annealed)	0.585	-0.145		0.441

Έλεγχος Τάσεων στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας

Στο 3^ο παράδειγμα όπως και στα δύο προηγούμενα, για τους συνδυασμούς δράσεων που μελετώνται λαμβάνονται διαφορετικές τιμές για τον συντελεστή k_{mod} ανάλογα και πάλι με την κυρίαρχη δράση. Δηλαδή αν το χιόνι (Snow Load) ή ο άνεμος (Wind Load) είναι η κυρίαρχη δράση λαμβάνονται οι τιμές $k_{mod} = 0.45$ και $k_{mod} = 1$ αντίστοιχα στους υπολογισμούς. Ο υαλοπίνακας και στις δυο περιπτώσεις τοποθέτησης είναι στηριζόμενος περιμετρικά οπότε ο συντελεστής k_e είναι ίσος με 1 και ο συντελεστής k_{sp} λαμβάνεται μέσω του πίνακα 4.4 ίσος με 1. Παρατηρείται ότι οι τύποι γυαλιού που χρησιμοποιούνται στην σύνθεση του υαλοπίνακα ανήκουν στον ίδιο τύπο αυτόν του ανοπτημένου (annealed glass) όπου η τιμή της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής είναι 45 N/mm^2 . Οι τιμές της μέγιστης εφελκυστικής αντοχής θα πρέπει να υπολογιστούν βάση την Εξ. (4.6) για την περίπτωση του ανοπτημένου γυαλιού (annealed glass) και η τιμή του μερικού συντελεστή $\gamma_{M;A} = 1.8$. Προκειμένου λοιπόν να εξαχθούν οι μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης του, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_1 μέσω του πίνακα 4.8 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής.

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.801 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.801 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.43$$

Για $p^* = 0.43$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.520$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.590 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.590 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.48$$

Για $p^* = 0.590$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.523$.

Πίνακας 5.52: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 3^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_1
LC1 ($\omega = 0$)			LC7 ($\omega = 0$)		
Pane 1(Annealed)	0.43	0.520	Pane 1(Annealed)	0.27	0.522
Pane 2(Annealed)	0.14	0.523	Pane 2(Annealed)	-0.02	0.524
LC2 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.60	0.519	Pane 1(Annealed)	0.10	0.523
Pane 2(Annealed)	0.30	0.521	Pane 2(Annealed)	-0.14	0.523
LC3 ($\omega = 0.1$)			LC9 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.45	0.520	Pane 1(Annealed)	0.12	0.523
Pane 2(Annealed)	0.18	0.522	Pane 2(Annealed)	-0.13	0.523
LC4 ($\omega = 0.1$)			LC10 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.48	0.520	Pane 1(Annealed)	-0.19	0.522
Pane 2(Annealed)	0.21	0.522	Pane 2(Annealed)	0.09	0.523
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.50	0.520	Pane 1(Annealed)	0.07	0.523
Pane 2(Annealed)	0.22	0.522	Pane 2(Annealed)	-0.17	0.522
LC6 ($\omega = 0.1$)					
Pane 1(Annealed)	0.20	0.522			
Pane 2(Annealed)	0.44	0.520			

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{mod} = 0.45$):

$$f_{g,d} = ((1 \times 0.45 \times 1) / 1.8) \times 45 = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max} = 0.520 \times (1500^2 / 10^2) \times 1.801 / 1000 = 7.32 \text{ N/mm}^2 < 11.25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εσωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου το χιόνι είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{mod} = 0.45$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 0.45 \times 1)/1.8) \times 45 = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.523 \times (1500^2/10^2) \times 0.590/1000 = 2.41 \text{ N/mm}^2 < 11.25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 3^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 1)/1.8) \times 45 = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.520 \times (1500^2/10^2) \times 2.77/1000 = 9.32 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 3^ο Συνδυασμό Φορτίσεων το εσωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η κυρίαρχη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 1)/1.8) \times 45 = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.522 \times (1500^2/10^2) \times 1.115 /1000 = 3.76 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 4^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η επικρατέστερη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 1)/1.8) \times 45 = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.520 \times (1500^2/10^2) \times 2.972/1000 = 9.97 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 4^ο Συνδυασμό Φορτίσεων για το εξωτερικό πολυστρωματικό υαλοπίνακα τύπου Annealed glass όπου ο άνεμος είναι η επικρατέστερη δράση ($k_{\text{mod}} = 1$):

$$f_{g;d} = ((1 \times 1 \times 1)/1.8) \times 45 = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 0.522 \times (1500^2/10^2) \times 1.295 /1000 = 4.36 \text{ N/mm}^2 < 25 \text{ N/mm}^2, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Τελικά τα αποτελέσματα ελέγχου τάσεων στην Ο.Κ.Α για την περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα δίνονται στον πίνακα 5.33.

Πίνακας 5.53: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{\max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $f_{g,d}$ (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	7.32	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	2.41	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	10.12	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	5.07	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	9.32	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	3.76	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	9.97	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	4.36	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	10.23	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	4.61	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	4.03	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	9.04	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	4.52	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.27	11.25	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.16	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-2.94	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.42	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-2.70	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-3.82	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.78	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	1.50	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-3.55	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ομοίως για την περίπτωση του κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα πρώτα υπολογίζονται οι τιμές του αδιάστατου φορτίου p^* και του συντελεστή k_1 :

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1):

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.956 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.956 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.32$$

Για $\rho^* = 0.32$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.521$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

Για $F_d = 0.294 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.294 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.05$

Για $\rho^* = 0.05$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.8 λαμβάνεται η τιμή $k_1 = 0.524$.

Πίνακας 5.54: Αποτελέσματα Συντελεστή k_1 3^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Ο.Κ.Α.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_1
LC1 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.32	0.521
Pane 2(Annealed)	0.05	0.524
LC2 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.06	0.523
Pane 2(Annealed)	-0.31	0.521
LC3 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.06	0.520
Pane 2(Annealed)	0.31	0.521
LC4 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.32	0.521
Pane 2(Annealed)	-0.05	0.524

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$w_{\max} = [0.521 \times (1500^2/10^3) \times (1.956/70000)]/1000 = 6.58 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

$w_{\max} = [0.524 \times (1500^2/10^3) \times (0.294/70000)]/1000 = 0.99 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}$, Ικανοποιείται.

Τα αποτελέσματα των ελέγχων δίνονται στον πίνακα 5.55.

Πίνακας 5.55: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου Τάσεων στην Ο.Κ.Α. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση σ_{\max} (N/mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη τάση $f_{g,d}$ (N/mm ²)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	6.58	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.99	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-1.27	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-6.30	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	1.26	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	6.30	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-6.58	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.99	25.00	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Έλεγχος Παραμορφώσεων στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας

Οι έλεγχοι στην Ο.Κ.Α. εξακολουθούν να γίνονται για τις παραμορφώσεις που αναπτύσσονται οι υαλοπίνακες και για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπολογιστούν οι τιμές των μεγίστων βελών παραμόρφωσης για κάθε περίπτωση με βάση την Εξ. (4.14). Οι περιπτώσεις που εξετάζονται είναι για οριζόντια τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. καθώς επίσης και για κατακόρυφη τοποθέτηση του υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. και στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α. Προκειμένου να εξαχθούν οι μέγιστες τιμές βελών κάμψης w_{\max} που αναπτύσσονται για κάθε πιθανό συνδυασμό στον υαλοπίνακα λόγω φόρτισης που επιδέχεται, θα πρέπει να υπολογιστεί το αδιάστατο φορτίο p^* μέσω της Εξ. (4.15) και στην συνέχεια να βρεθούν οι συντελεστές k_4 μέσω του πίνακα 4.9 και όπου χρειάζεται με την διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής. Δίνεται παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή k_4 .

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Α.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.306 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.306 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.31$$

$$\text{Για } p^* = 0.31 \text{ \& } \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \text{ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.097.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.410 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow \rho^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.410 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.10$$

Για $\rho^* = 0.10$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.098$.

Τα αποτελέσματα των τιμών του συντελεστή k_4 δίνονται στον πίνακα 5.38.

Πίνακας 5.56: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3^{ου} παραδείγματος για οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο ρ^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0$)			LC7 ($\omega = 0$)		
Pane 1(Annealed)	0.31	0.097	Pane 1(Annealed)	0.20	0.097
Pane 2(Annealed)	0.10	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.01	0.094
LC2 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.42	0.097	Pane 1(Annealed)	0.09	0.098
Pane 2(Annealed)	0.20	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.09	0.098
LC3 ($\omega = 0.1$)			LC9 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.32	0.097	Pane 1(Annealed)	0.10	0.098
Pane 2(Annealed)	0.12	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.09	0.098
LC4 ($\omega = 0.1$)			LC10 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.34	0.097	Pane 1(Annealed)	-0.12	0.098
Pane 2(Annealed)	0.14	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.02	0.098
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.35	0.097	Pane 1(Annealed)	0.07	0.098
Pane 2(Annealed)	0.15	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.11	0.098
LC6 ($\omega = 0.1$)					
Pane 1(Annealed)	0.13	0.098			
Pane 2(Annealed)	0.21	0.097			

Έπειτα η επιτρεπόμενη τιμή παραμόρφωσης βέλους, προσδιορίζεται μέσω της Εξ. (4.10) και εφόσον ο υαλοπίνακας είναι στηριζόμενος περιμετρικά (δηλαδή και στις τέσσερις πλευρές του), στην τιμή του όρου span αντιστοιχεί η το μήκος της μικρότερης πλευράς οπότε:

$$\text{Min Span (a = 1500mm, b = 2500mm) = 1500mm}$$

$$w_d = 1500/65 = 23.08\text{mm}$$

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα:

$$w_{\max} = [0.097 \times (1500^2/10^3) \times (1.306/70000)]/1000 = 2.65 \text{ mm} < 23.08\text{mm, Ικανοποιείται.}$$

$$w_{\max} = [0.098 \times (1500^2/10^3) \times (0.410/70000)]/1000 = 0.84 \text{ mm} < 23.08\text{mm, Ικανοποιείται.}$$

Παρατηρείται ότι στους ελέγχους παραμορφώσεων δεν διαφοροποιείται η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή των παραμορφώσεων ανάλογα με τον τύπο γυαλιού που χρησιμοποιείται για τον υαλοπίνακα. Τα αποτελέσματα για τους ελέγχους οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα για την Μη Αναστρέψιμη Ο.Κ.Λ δίνονται στον πίνακα 5.57.

Πίνακας 5.57: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.65	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.84	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	3.59	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.99	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.14	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	3.18	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.33	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	3.26	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.40	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	1.23	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	1.71	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.05	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.84	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.89	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.91	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.81	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-1.16	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.21	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.64	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-1.07	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.362 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.362 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.22$$

Για $p^* = 0.22$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.097$.

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.138 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.138 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.02$$

Για $p^* = 0.02$ & $\lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6$ από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή $k_4 = 0.098$.

Πίνακας 5.58: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.22	0.097
Pane 2(Annealed)	0.02	0.098
LC2 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.03	0.098
Pane 2(Annealed)	-0.21	0.097
LC3 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.03	0.098
Pane 2(Annealed)	0.21	0.097
LC4 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.22	0.097
Pane 2(Annealed)	-0.02	0.098

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα για το εξωτερικό και το εσωτερικό φύλλο:

$$w_{\max} = [0.097 \times (1500^2/10^3) \times (1.362/70000)]/1000 = 2.07 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm, Ικανοποιείται.}$$

$$w_{\max} = [0.098 \times (1500^2/10^3) \times (0.403/70000)]/1000 = 0.21 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm, Ικανοποιείται.}$$

Τα αποτελέσματα των ελέγχων δίνονται στον πίνακα 5.59.

Πίνακας 5.59: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στη Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.07	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.21	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-0.29	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-1.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.29	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.98	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-2.07	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.21	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Με την ίδια διαδικασία ελέγχου βρίσκουμε τα αποτελέσματα και για την Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. τόσο για τον οριζόντια τοποθετημένο υαλοπίνακα όσο και για τον κατακόρυφα τοποθετημένο. Τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.60 και 5.61 αντίστοιχα.

Έστω για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων (LC1) κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.:

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 1.100 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (1.100 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.27$$

$$\text{Για } p^* = 0.27 \ \& \ \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \ \text{από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.097.$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$\text{Για } F_d = 0.216 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow p^* = [(1500 \text{ mm} \times 2500 \text{ mm}) / (4 \times 10^2 \text{ mm})] \times (0.216 \times 10^{-3}) / 70000 = 0.05$$

$$\text{Για } p^* = 0.05 \ \& \ \lambda = (a/b = 1500/2500) = 0.6 \ \text{από τον πίνακα 4.9 λαμβάνεται η τιμή } k_4 = 0.098.$$

Πίνακας 5.60: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4	Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0$)			LC8 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.27	0.097	Pane 1(Annealed)	0.03	0.098
Pane 2(Annealed)	0.05	0.098	Pane 2(Annealed)	0.22	0.097
LC2 ($\omega = 0$)			LC9 ($\omega = 0$)		
Pane 1(Annealed)	0.28	0.097	Pane 1(Annealed)	0.27	0.097
Pane 2(Annealed)	0.07	0.098	Pane 2(Annealed)	0.05	0.098
LC3 ($\omega = 0$)			LC10 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.27	0.097	Pane 1(Annealed)	0.28	0.097
Pane 2(Annealed)	0.05	0.098	Pane 2(Annealed)	0.07	0.098
LC4 ($\omega = 0$)			LC11 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.28	0.097	Pane 1(Annealed)	0.17	0.098
Pane 2(Annealed)	0.07	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.02	0.098
LC5 ($\omega = 0.1$)			LC12 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.22	0.097	Pane 1(Annealed)	0.18	0.098
Pane 2(Annealed)	0.03	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.01	0.098
LC6 ($\omega = 0.1$)			LC13 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.22	0.097	Pane 1(Annealed)	-0.02	0.098
Pane 2(Annealed)	0.03	0.098	Pane 2(Annealed)	0.17	0.098
LC7 ($\omega = 0$)			LC14 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.23	0.097	Pane 1(Annealed)	0.17	0.098
Pane 2(Annealed)	0.04	0.098	Pane 2(Annealed)	-0.02	0.098

Παράδειγμα ελέγχου για τον 1^ο Συνδυασμό Φορτίσεων κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Εξωτερικός Υαλοπίνακας:

$$w_{\max} = [0.097 \times (1500^2/10^3) \times (1.100/70000)]/1000 = 2.24 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Εσωτερικός Υαλοπίνακας:

$$w_{\max} = [0.098 \times (1500^2/10^3) \times (0.216/70000)]/1000 = 0.33 \text{ mm} < 23.08 \text{ mm}, \text{ Ικανοποιείται.}$$

Τα αποτελέσματα των ελέγχων δίνονται στον πίνακα 5.61

Πίνακας 5.61: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 1^η περίπτωση οριζόντια τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.24	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.33	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.24	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.33	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC5 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.26	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC6 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.74	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.26	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC7 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.85	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.33	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC8 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.37	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	2.03	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC9 ($\omega = 0$)			
Pane 1(Annealed)	2.24	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.33	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC10 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.39	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.44	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC11 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.13	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.19	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC12 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.24	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.11	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC13 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-0.27	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.60	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC14 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	2.13	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.19	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Ενώ τα αποτελέσματα για τους συντελεστές k_4 και για τους απαιτούμενους ελέγχους στην περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου δίνονται στους πίνακες 5.62 και 5.63 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.62: Αποτελέσματα Συντελεστή k_4 3^{ου} παραδείγματος για κατακόρυφα τοποθετημένο υαλοπίνακα στην Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ.

Nr.	Αδιάστατο Φορτίο p^*	Συντελεστής k_4
LC1 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.12	0.098
Pane 2(Annealed)	-0.07	0.098
LC2 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	0.07	0.098
Pane 2(Annealed)	-0.12	0.098
LC3 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.07	0.098
Pane 2(Annealed)	0.12	0.098
LC4 ($\omega = 0.1$)		
Pane 1(Annealed)	-0.12	0.098
Pane 2(Annealed)	0.07	0.098

Πίνακας 5.63: 3^ο Παράδειγμα - Αποτελέσματα Ελέγχου παραμορφώσεων στην Μη Αντιστρέψιμη Ο.Κ.Λ. για την 2^η περίπτωση κατακόρυφα τοποθετημένου υαλοπίνακα.

Nr.	Μέγιστη αναπτυσσόμενη παραμόρφωση W_{\max} (mm)	Μέγιστη επιτρεπόμενη παραμόρφωση w_d (mm)	Έλεγχος
LC1 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	1.522	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-0.674	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC2 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	0.883	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	-1.116	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC3 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-0.883	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	1.116	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
LC4 ($\omega = 0.1$)			
Pane 1(Annealed)	-1.522	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ
Pane 2(Annealed)	0.674	23.08	ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση της εργασίας με ταυτόχρονη παρουσίαση τελικών συμπερασμάτων μέσω των παρατηρήσεων των αποτελεσμάτων.

6.1 Συμπεράσματα

Το θέμα διερεύνησης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας ήταν η απόκριση υαλοπινάκων σε πλευρικά φορτία. Οι υαλοπίνακες γενικά αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των κτιρίων και πολλές φορές ακόμη συναντώνται ως κυρίαρχα μέλη του φέροντος οργανισμού. Πλέον στην σύγχρονη εποχή με την ανάπτυξη των υλικών και με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι υαλοπίνακες συμβάλουν σημαντικά στην βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των κτιρίων που είναι ζήτημα ζωτικής σημασίας.

Για την διεκπεραίωση του προβλήματος της διαστασιολόγησης των υαλοπινάκων έπρεπε αρχικά να γίνει θεωρητική θεμελίωση του θέματος. Αυτό έγινε στα πρώτα τέσσερα κεφάλαια της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα ήταν απαραίτητη η κατανόηση του γυαλιού ως υλικό και ορισμένων τύπων του που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των υαλοπινάκων καθώς τα είδη αυτών χρησιμοποιήθηκαν σε επόμενο κεφάλαιο για ανάπτυξη των ορισμένων παραδειγμάτων. Επιπλέον ήταν σημαντικό να γίνει εκτενής αναφορά στην διαδικασία διαστασιολόγησης με βάση το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 16612:2019 στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί. Σημαντικό κομμάτι επίσης ήταν η κατανόηση της κατανομής φορτίσεων στους μονωτικούς υαλοπίνακες (insulating glass units) και πώς αυτή επηρεάζει την μελέτη.

Προς εκπλήρωση λοιπόν του σκοπού της εργασίας λοιπόν και επειδή κάθε μελέτη πρέπει να βασίζεται σε αριθμητικά δεδομένα υπολογισμών, στο επόμενο κεφάλαιο πέντε αναπτύχθηκαν μερικά παραδείγματα διαστασιολόγησης υαλοπινάκων μέσω ενός υπολογιστικού φύλλου που δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του προγράμματος excel. Στο κεφάλαιο αυτό επίσης παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι υπολογισμοί, τα αποτελέσματα και οι τελικοί έλεγχοι που ήταν απαραίτητοι για την διαστασιολόγηση των υαλοπινάκων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μελέτη έγινε για ορισμένες τιμές φορτίσεων, ενώ παράλληλα έπρεπε να βρεθεί ο τύπος του καταλληλότερου υαλοπίνακα που να πληροί όλες τις προϋποθέσεις και να συμφωνεί με τους ελέγχους, για το λόγο αυτό καταλήξαμε στους συγκεκριμένους τύπους υαλοπινάκων (δηλαδή ορισμένων παχών, είδους υλικού, σύνθεσης).

Στα παραδείγματα που αναπτύσσονται μελετήθηκαν κυρίως οι τύποι των μονωτικών υαλοπινάκων (insulating glass units), χαρακτηριστικό των οποίων είναι η ύπαρξη διακένου μεταξύ των φύλλων του υαλοπίνακα όπου περικλείεται αέριο. Αυτό λοιπόν που παρατηρήθηκε μέσω της μελέτης διαστασιολόγησης των υαλοπινάκων ήταν ότι η φέρουσα ικανότητα αυτών εξαρτάται άμεσα από το πάχος των υαλοπινάκων, το είδος του γυαλιού, την ύπαρξη του διακένου το οποίο προκαλεί ανακατανομή της φόρτισης καθώς και από την ύπαρξη μεμβράνης σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται ο τύπος του πολυστρωματικού υαλοπίνακα. Ειδικότερα στη μελέτη του 1^{ου} παραδείγματος όπου ο υαλοπίνακας αποτελείται από μονολιθικά τμήματα υαλοπινάκων εάν ο τύπος του γυαλιού είναι απλός (Annealed glass) τόσο στο εξωτερικό όσο και στο εσωτερικό φύλλο, δεν ικανοποιούνται όλοι οι έλεγχοι, για το λόγο αυτό στο τελικό παράδειγμα στο εξωτερικό φύλλο του υαλοπίνακα χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του θερμικά ενισχυμένου γυαλιού (Heat Strengthened glass) ο οποίος έχει μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή. Στο 2^ο και στο 3^ο παράδειγμα όπου στην σύνθεση του υαλοπίνακα υπάρχουν οι τύποι του πολυστρωματικού γυαλιού (laminated glass) η μελέτη γίνεται αρκετά πιο περίπλοκη καθώς η ύπαρξη μεμβράνης στο εσωτερικό των φύλλων επηρεάζεται ανάλογα με τον τύπο και την διάρκεια της φόρτισης γεγονός που λαμβάνεται υπόψη.

Σε ένα γενικότερο συμπέρασμα με την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας διαπιστώνεται ότι η μελέτη των υαλοπινάκων είναι σύνθετη διαδικασία καθώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες από το είδος μέχρι και την διάρκεια φόρτισης, τον τύπο του υαλοπίνακα, την ύπαρξη ή όχι ατελειών σε τμήματα του υαλοπίνακα και σαφώς να δίνεται έμφαση στην επιλογή του καταλληλότερου υαλοπίνακα ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε έργου κάθε φορά.

Βιβλιογραφία

- EN 1990-09-03:2002, Ευρωκώδικας – Βάσεις σχεδιασμού δομημάτων.
- EN 1991-1-3:2002, Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις επί των κατασκευών, Μέρος 1.3: Δράσεις Χιονιού.
- EN 1991-1-4:2005, Ευρωκώδικας 1 – Δράσεις επί των κατασκευών, Μέρος 1.4: Δράσεις Ανέμου.
- EN 16612:2019, Δομική Ύαλος – Προσδιορισμός, με την βοήθεια υπολογισμών, με την βοήθεια υπολογισμών αντίστασης υαλοπετασμάτων σε φορτία.
- Bucher, B., & Kolbitsch, A. (2018). *Comparison of various design methods in glass construction*. Technische Universität Wien Fakultät für Bauingenieurwesen.
- Buddenberg, S., Hof, P., & Oechsner, M. (2016). Climate loads in insulating glass units: Comparison of theory and experimental results. *Glass Structures & Engineering*, 1. <https://doi.org/10.1007/s40940-016-0028-z>
- Galuppi, L., Manara, G., & Royer Carfagni, G. (2013). Practical expressions for the design of laminated glass. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1677–1688. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.073>
- Hána, T., Vokáč, M., Eliášová, M., & Machalická, K. V. (2019, December 3). *Advanced computational methods of perpendicularly loaded laminated glass panes*. The 13th international scientific conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”, Vilnius Gediminas Technical University. <https://doi.org/10.3846/mbmst.2019.027>
- Laufs, W., & Luibe, A. (2003). *Introduction on use of glass in modern buildings*.
- Louter, C. (2007). Adhesively bonded reinforced glass beams. *HERON*, 52.
- Macfarlane, A., & Martin, G. (2004). A World of Glass. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1093597>
- Martín, M., Centelles, X., Solé, A., Barreneche, C., Fernández, A. I., & Cabeza, L. F. (2020). Polymeric interlayer materials for laminated glass: A review. *Construction and Building Materials*, 230, 116897. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116897>
- Pözl, F. (2016). *Mechanical Behavior of Cold-Bent Insulating Glass Units*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20913.58729>
- Respondek, Z., & Major, I. (2019). Study of Deflection in Insulating Glass Units Under Climatic Loads Simulation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603(3), 032060. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/3/032060>
- Weller, B., & Köhler, M. (2016). *Insulated glass units with pressure compensation*.

Werner Sobek, C. S., Gerald Staib, D. B., & Matthias Schuler. (2007). *Glass Construction Manual* (2nd ed.).

White, R. L. (n.d.). *GLASS AS A STRUCTURAL MATERIAL*. 87.

Πηγές Σχημάτων

Σχήμα 2.1: (<https://el.garynevillegasm.com>)

Σχήμα 2.2: (www.orangesmile.com)

Σχήμα 2.3: (<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/float-glass-process>)

Σχήμα 2.4: (Louter, 2007)

Σχήμα 2.5: (Pölzl, 2016)

Σχήμα 3.1: (<http://www.premierglassfl.com/glassandmirrorpros/what-is-an-insulated-glass-unit-igu/>)

Σχήμα 3.2: (Weller & Köhler, 2016)

Σχήμα 4.1: (<https://www.protenders.com/products/project-glass-laminated-glass-09>)

Σχήμα 4.2: (Hána et al., 2019)

Άλλες Πηγές

(<https://www.trosifol.com/products/architecture/safety/>)

(<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%AF>)