



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ
ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ
(ΤΥΠΟΥ SANDWICH) ΥΠΟ ΣΥΝΘΕΤΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.**

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND FAILURE
MODES OF COMPOSITE STRUCTURAL SANDWICH PANELS UNDER MULTIPLE
LOADING CONDITIONS**



ΚΟΥΝΤΟΥΡΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: κ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
(ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π – ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΜΕΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ
Ε.Μ.Π.)

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όσους συνέβαλαν στη εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας και συγκεκριμένα προς:

Τον Καθηγητή , κ. Μανωλάκο Δημήτριο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Τεχνολογίας των Κατεργασιών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών ,για την εμπιστοσύνη και εκτίμηση την οποία επέδειξε προς το πρόσωπο μου αναθέτοντας μου την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής, όσο και γιατί υπήρξε πολύτιμος συνεργάτης και αρωγός σε οποιοδήποτε πρόβλημα ανέκυψε κατά το χρονικό διάστημα της σπουδής μου στο παρών αντικείμενο καθώς και για την διάθεση του εξοπλισμού του εργαστηρίου.

Τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Κουτρομπάκη Στυλιανό για τις πολύτιμες συμβουλές και διορθώσεις του καθώς και για την αμέριστη συμπαράσταση, ανοχή και βοήθεια του κατά την εκτέλεση των δοκιμών.

Τους γονείς μου για τη συνολική συμπαράστασή τους και κατ' επέκταση την οικογενειακή μας επιχείρηση Nicolaidis & Kountouris Metal company, για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχαν και κυρίως για την παραγωγή, την προετοιμασία και την αποστολή (από την Κύπρο) των δοκιμών – πάνελ και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήσαμε για την διεκπαιρέωση των δοκιμών.

Αθήνα, Οκτώμβριος 2009

Αντώνης Σ. Κουντούρης

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	2
Περιεχόμενα	3
Περίληψη	8
Abstract	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1.1	Εισαγωγή - Αντικείμενο και σημασία της θερμομόνωσης	10
1.2	Βασικές αρχές θερμομόνωσης	11
1.2.1	Η λειτουργία της θερμομόνωσης - Θερμικές απώλειες	11
1.2.2.	Ο ρόλος των θερμομονωτικών υλικών	13
1.2.3.	Συντελεστής θερμοπερατότητας (U – value)	13
1.3	Στοιχεία των κτιρίων ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή	14
1.4	Ορισμός των κρισιμότερων ιδιοτήτων των θερμομονωτικών Προϊόντων	16
1.4.1	Φυσικές ιδιότητες	17
1.4.2	Περιβαλλοντικές ιδιότητες	19
1.5	Κατηγορίες θερμομονωτικών υλικών	19
1.6	Ιδιότητες των σημαντικότερων θερμομονωτικών υλικών	21
1.6.1	Υαλοβάμβακας	21
1.6.1.1	Παραγωγή Υαλοβάμβακα	21
1.6.1.2	Ιδιότητες υαλοβάμβακα	22
1.6.1.3	Εφαρμογές υαλοβάμβακα	22
1.6.1.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υαλοβάμβακα	23
1.6.1.5	Αποθήκευση Υαλοβάμβακα	24
1.6.1.6	Εμπορικές μορφές υαλοβάμβακα και εφαρμογές	25
1.6.2	Πετροβάμβακας	28
1.6.2.1	Παραγωγή Πετροβάμβακα	28
1.6.2.2	Ιδιότητες πετροβάμβακα	30
1.6.2.3	Εφαρμογές Πετροβάμβακα	31
1.6.2.4	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πετροβάμβακα	31
1.6.2.5	Εμπορικές μορφές πετροβάμβακα	33
1.6.3	Διογκωμένη πολυστερίνη	35
1.6.3.1	Παραγωγή Διογκωμένης Πολυστερίνης	35
1.6.3.2	Ιδιότητες διογκωμένης πολυστερίνης	35
1.6.3.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Διογκωμένης Πολυστερίνης	36
1.6.3.4.	Εφαρμογές Διογκωμένης Πολυστερίνης	37
1.6.3.5	Εμπορικές μορφές διογκωμένης πολυστερίνης	38
1.6.4	Αφρώδης Εξηλασμένη πολυστερίνη	39
1.6.4.1.	Παραγωγή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης	40

1.6.4.2	Ιδιότητες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης	40
1.6.4.3	Πλεονεκτήματα αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης	41
1.6.4.4	Εφαρμογές αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης	41
1.6.4.5	Εμπορικές μορφές εξηλασμένης πολυστερίνης	42
1.6.5	Αφρός Πολυουρεθάνης	46
1.6.5.1.	Παραγωγή Αφρού Πολυουρεθάνης	46
1.6.5.2	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Αφρού 46 Πολυουρεθάνης	46
1.6.5.3	Ιδιότητες Αφρού Πολυουρεθάνης	47
1.6.5.4.	Εφαρμογές Αφρού Πολυουρεθάνης	48
1.6.5.5	Εμπορικές μορφές Αφρού Πολυουρεθάνης	49
1.7.	Λοιπά θερμομονωτικά υλικά	51
1.7.1.	Αφρώδης διογκωμένος φελλός	51
1.7.2.	Προβατόμαλλο	51
1.7.3	Βαμβακόμαλλο	52
1.7.4.	Αφρώδες γυαλί	53
1.7.5.	Περλίτης	54
1.7.6	Αφρός χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC)	55
1.7.7	Αφρός πολυμεθακρυλιϊμιδίων (PMI)	55
1.7.8	Ξυλόμαλλο (απλές και σύνθετες πλάκες)	56
1.7.9.	Διαφανή θερμομονωτικά υλικά	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

ΣΥΝΘΕΤΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΠΑΝΕΛ ΤΥΠΟΥ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ: ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.1.	Εισαγωγή στην τεχνολογία των σύνθετων πάνελ, τύπου σάντουιτς	60
2.2	Αποδοτικότητα και κόστος υλικών εξωτερικής επένδυσης σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς	61
2.3	Υλικά και προϋποθέσεις υλικών εξωτερικής επένδυσης σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς	62
2.4.	Πυρήνες σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς	63
2.4.1	Κυψελωτοί πυρήνες	63
2.4.2	Κυψελοειδείς αφροί	64
2.5	Επιλογή του υλικού του πυρήνα	65
2.6	Παραγωγικές διαδικασίες	67
2.6.1	Συγκόλληση των στρωμάτων με κόλλα	67
2.6.1.1	Συγκολλητικές ουσίες και ιδιότητές τους	67
2.6.2	Συνεχής “ελασματοποίηση” (Continuous foaming line)	69
2.7	Στατικά χαρακτηριστικά σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς	70
2.8	Μορφές αστοχίας σύνθετων πάνελ σάντουιτς	71
2.9	Υγρομετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΥΠΟΥ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΦΥΛΛΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Εισαγωγή	74
----------	----

3.1 Προδιαγραφές Εξωτερικών επιφανειών	74
3.1.1 Επιλογή Χάλυβα ως υλικό επένδυσης	74
3.1.1.1 Η Παραγωγή του χάλυβα	74
3.1.1.2 Ποιότητες του χάλυβα	76
3.1.1.3 Χαλύβδινα ρολά θερμής έλασης	78
3.1.1.4 Προδιαγραφές προβαμμένων ελασμάτων χάλυβα	80
3.1.1.5 Ανοχές Διαστάσεων ελασμάτων	81
3.1.1.6 Τυποποίηση χαλύβων	81
3.2 Προδιαγραφές του πυρήνα Πολυουρεθάνης	82
3.3 Παραγωγική διαδικασία Σύνθετων Πάνελ Χάλυβα με Πυρήνα Πολυουρεθάνης	84
3.3.1 Πρέσα διπλών Ιμάντων	84
3.3.2 Ψυχρή έλαση Φύλλου Χάλυβα	88
3.3.3 Θέρμανση μεταλλικών μορφοποιημένων επιφανειών	90
3.3.4 Σύστημα Παραγωγής Αφρού Πολυουρεθάνης	90
3.3.5 Έκχυση Αφρού Πολυουρεθάνης	91
3.3.6 Οδήγηση στους ιμάντες και θέρμανση Διπλών Ιμάντων	92
3.3.7 Κοπή	93
3.3.8 Τμήμα Πακεταρίσματος	93
3.3.9 Κεντρικός Υπολογιστής	95
3.4 Προφίλ και Βασικές Διαστάσεις Σύνθετων Πάνελ Χάλυβα με πυρήνα Πολυουρεθάνης	95
3.4.1 Διαστάσεις Επίπεδου Πάνελ (Πάνελ Πλαγιοκάλυψης- Wall Panel)	95
3.4.2 Διαστάσεις Τραπεζοειδούς Πάνελ (Roof Panel)	96
3.4.3 Πλεονεκτήματα σύνθετων πάνελ χάλυβα	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

4.1 Εταιρεία Παραγωγής	98
4.2 Μορφή Τελικού Προϊόντος (Προφίλ)	98
4.3 Εξωτερικές χαλύβδινες επιφάνειες	99
4.4 Μονωτικό υλικό	100
4.5 Ανοχές Πάνελ	101
4.6 Συντελεστής Θερμοπερατότητας	101
4.7 Χαρακτηριστικά παραγωγής	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΠΑΝΕΛ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ , ΜΕ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΧΑΛΥΒΑ.

5.1 Εισαγωγή	111
5.2. INSTRON 4482	112
5.3 Δοκιμή Θλίψης του πυρήνα του υλικού. Υπολογισμός Μέγιστης θλιπτικής τάσης καθώς και του Μέτρου Ελαστικότητας του πυρήνα Πολυουρεθάνης.	123

5.3.1	Σκοπός δοκιμής θλίψης	123
5.3.2	Διάταξη δοκιμής θλίψης	123
5.3.3	Δοκίμια δοκιμής θλίψης	123
5.3.4	Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών θλίψης	124
5.3.5	Θεωρητικό υπόβαθρο	125
5.3.6	Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί	126
5.3.7	Τελικά Αποτελέσματα – Συμπεράσματα	136
5.4	Δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων (4 point bending test)	138
5.4.1	Σκοπός δοκιμής κάμψης τεσσάρων σημείων	138
5.4.2	Διάταξη δοκιμής κάμψης τεσσάρων σημείων	138
5.4.3	Δοκίμια δοκιμής κάμψης τεσσάρων σημείων	141
5.4.4	Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης τεσσάρων σημείων	145
5.4.5	Θεωρητικό υπόβαθρο	146
	5.4.5.1 Διατμητική τάση στον πυρήνα πολυουρεθάνης (f_{cv})	146
	5.4.5.2 Μέτρο διάτμησης του πυρήνα πολυουρεθάνης (G_c)	147
5.4.6	Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί	149
5.4.7	Τελικά Αποτελέσματα – Υπολογισμοί	176
5.4.8	Συμπεράσματα	180
5.5	Δοκιμή κάμψης έξι σημείων	185
5.5.1	Σκοπός δοκιμής κάμψης έξι σημείων	185
5.5.2	Διάταξη δοκιμής κάμψης έξι σημείων – Δοκίμια	185
5.5.3	Δοκιμής Κάμψης έξι σημείων	188
5.5.4	Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης έξι σημείων	190
5.5.5	Θεωρητικό υπόβαθρο	190
	5.5.5.1. Προσδιορισμός της ροπής κάμψης M_u	190
	5.5.5.2. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων (wrinkling stress)	190
	5.5.5.2.1. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για επίπεδα πάνελ	190
	5.5.5.2.2. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για τραπεζοειδή πάνελ	191
	5.5.5.3. Προσδιορισμός του μέτρου διάτμησης G_c , του υλικού του πυρήνα.	191
5.5.6	Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί	192
5.5.7	Τελικά Αποτελέσματα – Υπολογισμοί	221
5.5.8	Συμπεράσματα	229
5.5.9	Σύγκριση αποτελεσμάτων τιμών μέτρου Διάτμησης για δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων και για δοκιμή κάμψης έξι σημείων	230
5.6	Δοκιμή κάμψης με ενδιάμεση στήριξη –Δοκιμή κάμψης επτά σημείων επτά σημείων (two span test)	231
5.6.1	Σκοπός δοκιμής κάμψης επτά σημείων	231
5.6.2	Διάταξη δοκιμής κάμψης επτά σημείων	231
5.6.3	Δοκίμια Δοκιμής Κάμψης επτά σημείων	232
5.6.4	Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης επτά σημείων	233

5.6.5	Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί	234
5.6.6	Σύγκριση της αντοχής του πάνελ πολυουρεθάνης, σε κάμψη όταν υπάρχει ενδιάμεση απλή στήριξη με το όταν δεν υπάρχει.	239
5.7	Δοκιμή κάμψης με φορτίο στο κέντρο – Δοκιμή κάμψης τριών σημείων (Simulated central support test)	239
5.7.1	Σκοπός της δοκιμής κάμψης τριών σημείων	239
5.7.2	Διάταξη δοκιμής κάμψης τριών σημείων	239
5.7.3	Δοκίμια δοκιμής κάμψης τριών σημείων	242
5.7.4	Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών	243
5.7.5	Θεωρητικό υπόβαθρο	243
5.7.5.1	Δύναμη θλίψης	243
5.7.5.2	Ροπή Κάμψης	244
5.7.5.3	Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων	244
5.7.5.3.1	Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για επίπεδα πάνελ	244
5.7.5.3.2	Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για τραπεζοειδή πάνελ	245
5.7.6	Καταγραφή Αποτελεσμάτων	245
5.7.7	Αποτελέσματα – Υπολογισμοί	275
5.7.8	Συμπεράσματα	278
5.8	Διαγράμματα και πίνακες σύγκρισης της Συμπεριφοράς του κάθε δοκιμίου – πάνελ , σε όλες τις περιπτώσεις φορτίσεως.	281
5.9	Πίνακας Αστοχιών	290
5.10	Κατασκευή Πινάκα Επιτρεπόμενων Φορτίων (Load Table)	292
5.10.1	Μελέτη του υλικού ως προς την ομοιομορφία των μηχανικών του ιδιοτήτων	292
5.10.2	Πίνακας Κρίσιμου Φορτίου Δημιουργίας Πτυχώσεων	294
5.10.3	Πίνακας Ασφαλών Ορίων Φόρτισης (Επιτρεπόμενα Φορτία) – Συσχέτιση με τρόπο στήριξης των πάνελ	296
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	300
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	303

Περίληψη

Τα σύνθετα υλικά (τύπου σάντουιτς) που χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία σε οποιαδήποτε εφαρμογή, είναι ειδικές κατασκευές που προκύπτουν από συγκόλληση διαφορετικών υλικών. Η σύνδεση του ενός υλικού με το άλλο, δίνει την δυνατότητα να αξιοποιηθούν οι ιδιότητες του κάθε υλικού ξεχωριστά, από το οποίο αποτελείται το πάνελ, με αποτέλεσμα να προκύπτουν βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τυπικά ένα σύνθετο πάνελ αποτελείται από τρία κύρια μέρη: δύο λεπτά σκληρά και ανθεκτικά φύλλα στις εξωτερικές επιφάνειες, με ένα ελαφρύ, συμπαγή και χαμηλής πυκνότητας πυρήνα.

Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό συνδυασμό υλικών που εφαρμόζεται συχνά στις μέρες μας. Μελετάται σύνθετο πάνελ με επένδυση δύο λεπτών φύλλων χάλυβα (πάχους 0,5 mm) με μη τοξικό πυρήνα αφρού πολυουρεθάνης χαμηλής πυκνότητας, ιδανικός συνδυασμός για χρήση σε τοίχους, οροφές και ψυκτικούς θαλάμους. Τα δύο αυτά υλικά συνδυάζουν τις θετικές ιδιότητες του χάλυβα, όπως την αντοχή του σε κάμψη και τις θετικές ιδιότητες της πολυουρεθάνης όπως την καλή θερμομόνωση που παρέχει αλλά και τη προστασία της από τις έντονες καιρικές συνθήκες και τη διάβρωση.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η πειραματική μελέτη και αξιολόγηση της αντοχής των σύνθετων υλικών, καθώς και η επαλήθευση/επιβεβαίωση των κυριότερων θεωρητικών μορφών αστοχίας, όπως αυτές αναφέρονται στα διεθνή πρότυπα και κανονισμούς:

1. Η διάτμηση του αφρού πολυουρεθάνης.
2. Ο τοπικός λυγισμός του χάλυβα που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πτυχώσεων (wrinkling) καθώς και την αποκόλληση του χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

Για την επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων, διενεργήσαμε στο εργαστήριο, δοκιμές κάμψης και θλίψης σύνθετων υλικών, των οποίων η ανάλυση έδωσε χρήσιμα συμπεράσματα για τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των υλικών.

Στην μελέτη αυτή, η αξιολόγηση της αντοχής των σύνθετων υλικών, ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό των ορίων αστοχίας για όλες τις καταπονήσεις που μελετήθηκαν, και τον καθορισμό των ασφαλών ορίων φόρτισης, στοιχεία απαραίτητα για την κατάλληλη και την ορθή χρήση του υλικού στις διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.

Abstract

Sandwich panels have been extensively used in single-storey and multi-storey building construction because they combine low weight, energy efficiency, and aesthetic attractiveness. Their cost is relatively low and they are easily handled and erected. Because of these advantages their use is continuously increasing.

Sandwich panels are simple structural components, which can be analyzed using the conventional principles of structural mechanics. Provided that a small number of mechanical properties are known, they can be designed on the basis of structural analysis, which predicts the stresses and deflections.

In our research we will focus on factory engineered sandwich panels, consisting of steel facings and a foamed polyurethane core.

We will consider the method of their production and all aspects of their design parameters and we will investigate their mechanical properties and examine by testing their main failure modes.

Further, we will investigate the following:

2. The influence of the shear flexibility of the polyurethane core.

2. The influence of the core in restraining local buckling (wrinkling) of the steel faces.

This research will consider how the stresses and deflections caused by conventional loads are determined analytically. We will show how the strength of panels may be calculated with respect to the alternative failure modes. A deterministic approach will be used for the calculation model, which is based on characteristic values of the properties of the face and core materials.

At the end of the research, we will consider how the calculated strengths may be compared under prescribed conditions of safety in order to complete the design. The safety analysis will be based on limit state principles with partial factors of safety for materials (γ_m) and loads (γ_f).

ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

1.1 Εισαγωγή - Αντικείμενο και σημασία της θερμομόνωσης

Η θερμότητα είναι γνωστή από τη φυσική ως μορφή ενέργειας. Στην καθημερινότητα είναι διαφορετικά αντιληπτή. Είναι η προϋπόθεση να ζει και να εργάζεται κανείς άνετα οποιαδήποτε εποχή του χρόνου και σε οποιαδήποτε γεωγραφική περιοχή, κάτι που επιτυγχάνεται με την παραγωγή από μιας άλλης μορφής ενέργειας σε θερμότητα. Η θερμότητα όμως, δεν διατηρείται εύκολα σε ένα χώρο. Έχει την ιδιότητα να μετακινείται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα. Αυτή η μετακίνηση έχει σαν αποτέλεσμα αυτό που ονομάζουμε θερμικές απώλειες. Οι θερμικές απώλειες δεν μπορούν να εμποδιστούν τελείως. Μπορούν όμως να περιοριστούν γνωρίζοντας αφ' ενός τους παράγοντες που τις επηρεάζουν και αφ' ετέρου, χρησιμοποιώντας στα κτίρια με κατάλληλο τρόπο κατάλληλα υλικά με συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες, τα Θερμομονωτικά Υλικά.

Η θερμομόνωση σε ένα κτίριο, ουσιαστικά, παρέχει σε αυτό ένα «προστατευτικό περίβλημα» το οποίο μειώνει τη μετάδοση θερμότητας από και προς το εσωτερικό του. Το χειμώνα μειώνει το ρυθμό με τον οποίο η θερμότητα χάνεται από το κτίριο και το καλοκαίρι μειώνεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισάγεται σε αυτό.

Η μείωση των θερμικών διαφυγών από και προς τους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου, έχει ως συνέπεια τη μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας με την οποία τροφοδοτούνται τα διάφορα τεχνητά συστήματα θέρμανσης – ψύξης. Η μείωση αυτή είναι σημαντική, αρκεί η θερμομόνωση να εφαρμόζεται ορθολογικά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις του σχετικού διατάγματος που καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας (.U-value) των επιμέρους δομικών στοιχείων του κελύφους.

Στις περισσότερες χώρες με ψυχρότερα κλίματα ισχύουν εδώ και πολλά χρόνια κανονισμοί και τεχνικές προδιαγραφές, που καθορίζουν τις απαιτήσεις, τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών. Οι κανονισμοί αυτοί, μαζί με τις τεχνικές προδιαγραφές, εξασφαλίζουν μια τεχνοοικονομικά σωστή θερμομόνωση. Τέτοια, θεωρείται αυτή που για να γίνει δεν απαιτείται υπερβολικά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης και που, ωστόσο, εξασφαλίζει μακροχρόνια οικονομία στη χρήση του κτιρίου και περιορίζει στην εφαρμογή ενεργοβόρων τεχνητών συστημάτων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Κάτω από συνθήκες οικονομικά προσιτές, μια καλή θερμική μόνωση πρέπει να εξασφαλίζει:

- Την υγιεινή, άνετη και ευχάριστη διαβίωση, χωρίς να διαταράσσεται το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και να προκαλούνται σοβαρές θερμικές αλληλοεπιδράσεις κρύου ή ζέστης ανάμεσα σ' αυτό και στο χώρο που το περιβάλλει. Το θερμικό ισοζύγιο είναι αυτό που κυρίως καθορίζει το αίσθημα άνεσης, του ανθρώπινου οργανισμού.

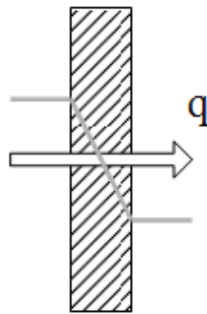
- Την οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας , με τον περιορισμό των θερμικών απωλειών από το κέλυφος του κτιρίου.
- Τον περιορισμό του αρχικού κόστους κατασκευής της εγκατάστασης του συστήματος κεντρικής θέρμανσης ή κλιματισμού.
- Την ταυτόχρονη προστασία από τους θορύβους ,αφού τα περισσότερα από τα θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά.
- Την βελτίωση της προστασίας του περιβάλλοντος γενικότερα ,αφού μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας , ελαττώνεται αντίστοιχα και η ποσότητα των εκλυόμενων καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.

1.2 Βασικές αρχές θερμομόνωσης

1.2.1 Η λειτουργία της θερμομόνωσης - Θερμικές απώλειες

Είναι γνωστό από το επιστημονικό πεδίο της Μετάδοσης Θερμότητας πως όταν έρθουν σε επαφή δύο αντικείμενα με διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε εμφανίζεται ροή θερμικής ενέργειας από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σώμα . Η ροή αυτή χαρακτηρίζεται ως θερμοροή . Συμβολίζεται ως q και εκφράζεται σε μονάδες W (Watt). Το μέγεθος της θερμοροής υπολογίζεται από το νόμο του Fourier . Για το επίπεδο τοίχωμα πάχους d και εμβαδού S του σχήματος 1.1 , ο νόμος του Fourier εκφράζεται με την εξίσωση:

$$q = S \lambda \frac{\Delta\theta}{d}$$



Σχήμα 1.1: Σχηματική παράσταση της ροής θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου όταν στις δύο όψεις του επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία.

Όπου λ : ,ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ο οποίος χαρακτηρίζει το υλικό από άποψη θερμικής συμπεριφοράς και εκφράζεται σε W/(mK).

Το παραπάνω φαινόμενο δημιουργεί προβλήματα απωλειών ενέργειας. Στη περίπτωση των κτιρίων η θερμότητα ρέει με φυσικό τρόπο από ένα θερμό χώρο σε έναν ψυχρότερο. Κατά τη χειμερινή περίοδο (ή περίοδο θέρμανσης) αυτή η ροή θερμότητας κινείται είτε άμεσα από όλους τους θερμαινόμενους χώρους του κτιρίου προς τους παρακείμενους μη θερμαινόμενους χώρους (σοφίτες, αποθήκες, υπόγεια) και προς το εξωτερικό περιβάλλον, είτε έμμεσα

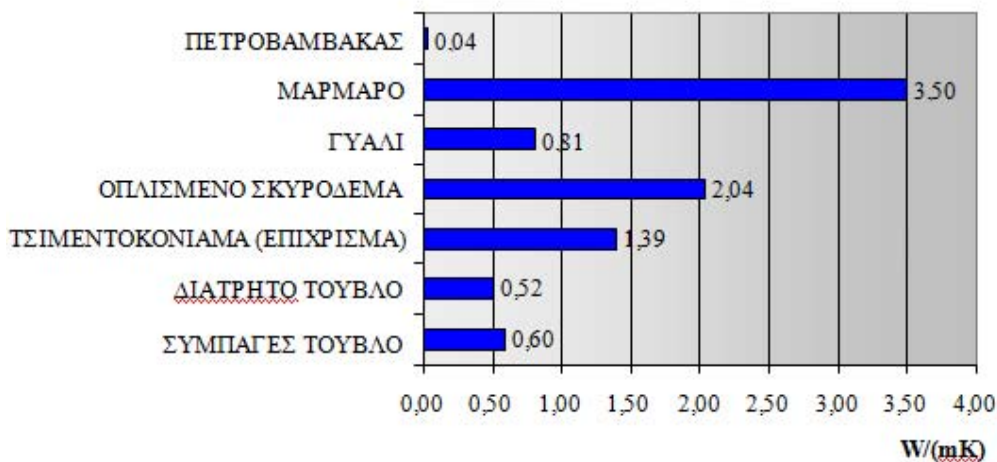
διαμέσου των εσωτερικών οροφών, τοίχων και δαπέδων, οπουδήποτε ή οποτεδήποτε παρουσιάζεται θερμοκρασιακή διαφορά. Αντίθετα, κατά τη θερινή περίοδο (ή περίοδο δροσισμού) η θερμότητα ρέει από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του κτιρίου. Για να διατηρηθούν ικανοποιητικές συνθήκες θερμικής άνεσης στο κτίριο και να μειωθεί η ενέργεια που προσδίδεται στο κτίριο από τα μηχανικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού είναι απαραίτητη η χρήση θερμομόνωσης, η οποία και έχει ως τελικό σκοπό τη μείωση της θερμοροής παρέχοντας μία αποτελεσματική αντίσταση στη ροή της θερμότητας.

Για παράδειγμα, σε μια κατοικία, η εσωτερική θερμοκρασία κατά τη χειμερινή περίοδο πρέπει να διατηρείται στους 18-22°C, έτσι ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες θερμικής άνεσης. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι πολύ χαμηλότερη, με αποτέλεσμα να υπάρχει ροή θερμότητας διαμέσου των δομικών στοιχείων, από το εσωτερικό της κατοικίας προς το περιβάλλον. Επομένως, απαιτείται επιπλέον ενέργεια για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Πέρα από την αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση, η συγκέντρωση επικίνδυνων εκπομπών αυξάνεται, αφού αυξάνεται και η λειτουργία του λέβητα της κατοικίας.

Από το νόμο του Fourier, διαπιστώνεται ότι για να μειωθούν οι απώλειες λόγω θερμοροής, επιβάλλεται η χρήση υλικών με χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Ακριβώς αυτά τα υλικά, χαρακτηρίζονται ως θερμομονωτικά. Η θερμομόνωση επομένως στα ομοιογενή υλικά, τουλάχιστον, ταξινομείται με όρους όπως το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ , του οποίου η φυσική σημασία έγκειται στην αντίσταση στη θερμοροή. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση στη θερμοροή και επομένως η αποτελεσματικότητα θερμομονωτικού υλικού.

Η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από το θερμομονωτικό υλικό, τη δομή του (πορώδες, πυκνότητα) τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση.

Ενδεικτικά, στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας διάφορων δομικών στοιχείων σε σύγκριση με ένα θερμομονωτικό υλικό, ώστε να γίνει κατανοητός ο λόγος χρήσης τους.



Σχήμα 1.2: Τιμές συντελεστή θερμοπερατότητας λ , για διάφορα δομικά στοιχεία (σε W/(mK)).

1.2.2 Ο ρόλος των θερμομονωτικών υλικών

Τα θερμομονωτικά υλικά καθορίζουν τη συμπεριφορά του κτιριακού κελύφους από πλευράς δομικής φυσικής και έχουν ως προορισμό τους να μειώσουν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων με στόχο τη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη χειμερινή περίοδο και μείωση της θερμικής προσόδου κατά τη περίοδο δροσισμού .

Η μετάδοση της θερμότητας μέσα από τα αδιαφανή δομικά στοιχεία και υλικά γίνεται στο μεγαλύτερο ποσοστό με αγωγιμότητα , η οποία ποσοτικοποιείται, στα ομοιογενή και ισότροπα υλικά, όπως προαναφέρθηκε, με τη βοήθεια του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Στα σύνθετα δομικά στοιχεία η αγωγιμότητα ποσοτικοποιείται με τη βοήθεια του συντελεστή θερμοπερατότητας U .

Γενικά, τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν την ιδιότητα της θερμικής αντίστασης στον αέρα που περιέχεται μέσα τους. Ο αέρας θεωρείται «κακός αγωγός» της θερμότητας, δηλαδή, έχει χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Σε θεωρητικό επίπεδο η θερμική αγωγιμότητα ελαχιστοποιείται σε συνθήκες κενού, επειδή η έλλειψη μάζας καθιστά αδύνατη τη μεταφορά της θερμότητας με αγωγιμότητα. Στην πράξη, η μικρότερη δυνατή θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται όταν υπάρχει ακίνητος, ξηρός αέρας. Τα θερμομονωτικά υλικά επιτυγχάνουν το σκοπό τους, ακριβώς επειδή διαθέτουν, στην «πορώδη» μάζα τους, πολλούς μικρούς θύλακες ακίνητου αέρα, εγκλωβισμένου σε κυψέλες ή μέσα σε ένα πλέγμα ινών. Για το λόγο αυτό τα θερμομονωτικά υλικά έχουν κατά κανόνα και μικρό φαινόμενο βάρος. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ ενός πορώδους υλικού είναι μικρότερος σε σχέση με το λ του ίδιου υλικού εάν αυτό ήταν πιο συμπαγές. Το φαινόμενο αυτό και η λειτουργία του πορώδους των υλικών οδήγησε στην ανάπτυξη θερμομονωτικών υλικών, κοινό γνώρισμα των οποίων είναι η ύπαρξη σε μεγάλο ποσοστό πόρων που περιέχουν είτε αέρα είτε κάποιο άλλο αέριο που χαρακτηρίζεται ως κακός αγωγός της θερμότητας και άρα διαθέτει μικρό συντελεστή αγωγιμότητας λ . Η πορώδης δομή των βιομηχανικά παραγόμενων μονωτικών υλικών επιτυγχάνεται με τη χρήση λεπτών ακανόνιστων ινών ή με την παραγωγή κυψελίδων από στερεοποιητικά υλικά.

Η θερμική τους αγωγιμότητα καθορίζεται πρωταρχικά από τον αριθμό και το μέγεθος των κυψελών που υπάρχουν στη μάζα του υλικού τους και που περιέχουν τον ακίνητο, με θερμομονωτικές ιδιότητες, αέρα.

Σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του υλικού, τη θερμοκρασία και την υγρασία στην οποία βρίσκονται. Η αύξηση της υγρασίας σημαίνει και αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, ανεπιθύμητη για ένα θερμομονωτικό υλικό, καθώς το εγκλωβισμένο νερό, με το κατά πολύ μεγαλύτερο λ από αυτό του αέρα καταλαμβάνει τη θέση του τελευταίου. Σημειώνεται ότι το νερό και ο πάγος έχουν περίπου 24 και 92 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ από τον αέρα. Για το λόγο αυτό η υγρασία θεωρείται και το μεγαλύτερο αίτιο προβλημάτων της θερμομόνωσης σε μια κατασκευή.

1.2.3 Συντελεστής θερμοπερατότητας (U – value)

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθορίζει τη θερμομονωτική ικανότητα του στοιχείου κατασκευής και δίδει την ποσότητα της θερμότητας σε Wh η οποία

μεταδίδεται, σε σταθερή θερμική κατάσταση, ωριαία, από επιφάνεια 1m^2 του στοιχείου κατασκευής, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα που βρίσκεται σε επαφή με τις δυο πλευρές του στοιχείου είναι 1 βαθμός Κέλβιν . Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την επιφάνεια της κατασκευής , το πάχος και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ των οικοδομικών υλικών και η μονάδα μέτρησης είναι $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Οι απαιτήσεις για θερμομόνωση του κελύφους ενός κτιρίου καθορίζονται στο περί Απαιτήσεων Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου Διάταγμα, που εκδίδεται από τον Υπουργό Εμπορίου κάθε χώρας .Το διάταγμα αυτό καθορίζει τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας U για:

- τους εξωτερικούς τοίχους
- τα εξωτερικά οριζόντια δομικά στοιχεία (δώματα, στέγες, εκτεθειμένα δάπεδα) και οροφές που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.
- δάπεδα υπερκείμενα κλειστού μη θερμαινόμενου υπόγειου ή ημιυπόγειου χώρου.
- τα εξωτερικά κουφώματα (πόρτες, παράθυρα) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου.

Στη παρούσα μελέτη όλες οι τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας που θα υπολογιστούν κατά την μελέτη της αντοχής των σύνθετων πανέλων πολυουρεθάνης θα συγκριθούν με τους μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας U που καθορίζονται στο περί Απαιτήσεων Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου Διάταγμα, που εκδίδεται από τον Υπουργό Εμπορίου δυνάμει του άρθρου 15(1) του περί Ρύθμισης της Ενεργειακής Απόδοσης των Κτιρίων Νόμου του 2006 και δημοσιεύεται στην Επίσημη Εφημερίδα της Δημοκρατίας .

Το διάταγμα καθορίζει μέγιστους συντελεστές θερμοπερατότητας U ως εξής:

- για τους εξωτερικούς τοίχους και στοιχεία της φέρουσας κατασκευής του κτιρίου (κολόνες, δοκοί και τοιχία) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου: $U < 0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.
- για τα εξωτερικά οριζόντια δομικά στοιχεία (δώματα, στέγες, εκτεθειμένα δάπεδα) και οροφές που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου: $U < 0,75 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.
- για δάπεδα υπερκείμενα κλειστού μη θερμαινόμενου υπόγειου ή ημιυπόγειου χώρου : $U < 2,00 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.
- τα εξωτερικά κουφώματα (πόρτες, παράθυρα) που συνιστούν μέρος του κελύφους του κτιρίου: $U < 3,8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

1.3 Στοιχεία των κτιρίων ευάλωτα στη θερμοδιαφυγή

Η κατασκευή της θερμομόνωσης ενός κτιρίου πρέπει να εκτελείται σύμφωνα με ορισμένες προϋποθέσεις που καθορίζονται από τη μελέτη θερμομόνωσης, τη θέση της επιφάνειας που πρόκειται να προστατευθεί, τη θέση της μονωτικής στρώσης μέσα στην κατασκευή (εσωτερικά ή εξωτερικά). Είναι ευνόητο ότι δεν μπορούν να αγνοηθούν και οι προϋποθέσεις που επιβάλλουν οι απαιτήσεις προστασίας από την υγρασία. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της θερμομόνωσης - όπως ήδη τονίστηκε- δεν μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα, αλλά σε συνδυασμό με άλλες απαιτήσεις προστασίας.

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική αναφορά στα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός

κτιρίου, που έχουν ανάγκη θερμικής προστασίας.

Αυτά είναι:

- Η οροφή (επίπεδη ή κεκλιμένη) και η στέγη, που παρουσιάζουν μεγάλες θερμικές απώλειες, μια και είναι τα μέρη εκείνα του κτιρίου που δέχονται άμεσα όλες τις επιδράσεις των καιρικών συνθηκών.

- Τα εξωτερικά τοιχώματα, που υπόκεινται σε μια σειρά επιδράσεων και τα οποία ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, προκαλούν μεγάλες θερμικές απώλειες. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η προστασία των εξωτερικών τοιχωμάτων μπορεί να γίνει εσωτερικά ή εξωτερικά, ανάλογα με τη χρήση των χώρων που προστατεύουν και το βασικό μέρος της δομής τους. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις τοιχωμάτων, στις οποίες η θερμική μόνωση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο κατακόρυφα στρώματα ομοιογενών ή ανομοιογενών υλικών και είναι σχετικά απλή λύση η οποία όμως, όπως και οι προηγούμενες, έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πάντως σε όλες τις περιπτώσεις πλευρικών εξωτερικών τοιχωμάτων παίρνονται μέτρα για:

- Προστασία του θερμομονωτικού υλικού από συμπύκνωση και δρόσο, με φράγμα υδρατμών.

- Παρεμπόδιση της διείσδυσης νερών βροχής, που θα έχει ως συνέπεια την πρόκληση ανεπανόρθωτης ζημιάς στο θερμομονωτικό υλικό, και

- Αποφυγή της δημιουργίας θερμογεφυρών που αυξάνουν τις θερμικές απώλειες και δημιουργούν θερμικές τάσεις στα επιμέρους υλικά που συνθέτουν την κατασκευή. (Σχήμα 1.3).

Επιπλέον πρέπει να αποφεύγεται η διάτρηση των εξωτερικών τοιχωμάτων για να περάσουν σωληνώσεις εγκαταστάσεων ή άλλου είδους κατασκευές. Όπου αυτό είναι απαραίτητο, τότε επιβάλλεται ιδιαίτερη μέριμνα για την προστασία των ευάλωτων αυτών στοιχείων, τόσο από τη θερμότητα, όσο και από την υγρασία.

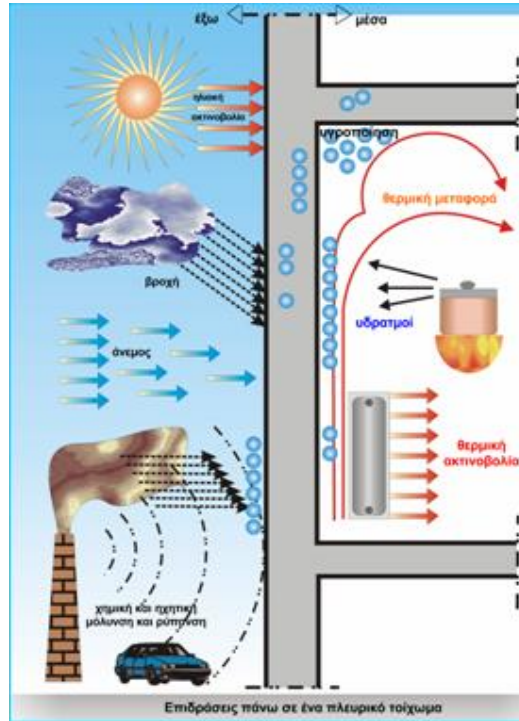
- Τα ανοίγματα, που είναι από τα πιο ευάλωτα στοιχεία ενός κτιρίου. Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών, πρέπει οι αρμοί συναρμογής των πλαισίων να είναι απόλυτα αδιαπέραστοι από τον αέρα. Τα υλικά που συγκροτούν το κούφωμα (ξύλο, αλουμίνιο, πλαστικό) να είναι αρίστης ποιότητας ώστε να αποφεύγονται οι παραμορφώσεις των φύλλων. Για ξύλινα παράθυρα ή πόρτες, αυτό δεν είναι εύκολα κατορθωτό εξαιτίας της φύσης του υλικού. Στην περίπτωση όμως κουφωμάτων αλουμινίου, η πρόβλεψη ειδικών παρεμβυσμάτων στους αρμούς επαφής δίνει συνήθως άριστα αποτελέσματα. Επιπλέον τα υαλοστάσια των ανοιγμάτων θα πρέπει να έχουν χαμηλό συντελεστή θερμοπερατότητας.

- Το κατώτερο δάπεδο του κτιρίου το οποίο όμως δεν χρειάζεται πάντα θερμική προστασία, εκτός εάν χρησιμοποιείται ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (δάπεδο ισογείου σε επαφή με το έδαφος). Οποσδήποτε, όμως, απαιτείται θερμική προστασία στις περιπτώσεις δαπέδου εκτεθειμένου προς το εξωτερικό περιβάλλον (π.χ. κτίριο σε πυλωτή).

- Τα στηθαία των παραθύρων, όπου συνήθως τοποθετούνται τα θερμαντικά σώματα, επειδή λειτουργικοί λόγοι επιβάλλουν συχνά τη μείωση του πάχους του τοιχώματος στις θέσεις αυτές. Επίσης, η έντονη θερμική ακτινοβολία προκαλεί συμπύκνωση στις θέσεις αυτές γρηγορότερα παρά στις υπόλοιπες επιφάνειες του χώρου, με αποτέλεσμα να καταπονούνται περισσότερο τα δομικά στοιχεία που γειτονεύουν με σώματα θέρμανσης.

- Τα μπαλκόνια και οι προεξοχές της πλάκας, όταν δεν προστατεύονται από τη θερμότητα, λειτουργούν σαν θερμογέφυρες, με

αποτέλεσμα να μην ελέγχονται απόλυτα οι θερμικές απώλειες των εσωτερικών χώρων και να προκαλούνται βλάβες στις κατασκευές, λόγω συμπύκνωσης. Όμως η μόνωσή τους είναι συχνά προβληματική, γιατί ανεβάζει υπέρμετρα το ολικό κόστος για τη θερμομόνωση του κτιρίου.



Σχήμα 1.3: Επιδράσεις σε ένα πλινθικό τοίχωμα

Συνοψίζοντας ,τα πιο βασικά μέρη ενός κτιρίου τα οποία πρέπει να θερμομονώνονται είναι:

- Εξωτερική τοιχοποιία-δοκοί-υποστυλώματα
- Εξωτερικά κουφώματα
- Οροφές και στέγες
- Δάπεδα εκτεθειμένα στο εξωτερικό περιβάλλον
- Δομικά στοιχεία σε επαφή με μη κλιματιζόμενους χώρους
-

1.4 Ορισμός των κρισιμότερων ιδιοτήτων των θερμομονωτικών Προϊόντων

Οι ιδιότητες των θερμομονωτικών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- τις φυσικές ιδιότητες, που περιγράφουν τη συμπεριφορά του υλικού υπό ορισμένες συνθήκες και
- τις περιβαλλοντικές ιδιότητες, που περιγράφουν τον οικολογικό χαρακτήρα του υλικού.

Στη παρούσα εργασία η προσοχή θα εστιασθεί κυρίως στις φυσικές ιδιότητες των υλικών. Παρακάτω σχολιάζεται κάθε ιδιότητα που αποτελεί ταυτόχρονα και κριτήριο για την επιλογή θερμομονωτικών υλικών .

1.4.1 Φυσικές ιδιότητες

- Πυκνότητα: Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και την απαίτηση της τελικής χρήσης, κάθε υλικό παράγεται για ένα εύρος πυκνοτήτων. Όπως προαναφέρθηκε, η πυκνότητα του υλικού επηρεάζει την τιμή του συντελεστή θερμικήςαγωγιμότητας λ.

- Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ: Είναι ο συντελεστής που περιγράφει το ποσό της θερμότητας που περνά ανά μονάδα επιφάνειας του υλικού και για διαφορά θερμοκρασίας μιας μονάδας μεταξύ των δύο όψεών του. Όσο χαμηλότερος ο συντελεστής λ, τόσο μικρότερη η θερμοροή και, επομένως, τόσο καλύτερη η θερμομονωτική του ικανότητα. Αναλυτικότερα στοιχεία για τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ αναφέρθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους (βλ. Παρ. 1.2.1).

- Εύρος χρήσης: Όπως όλα τα υλικά, έτσι και τα θερμομονωτικά έχουν ένα όριο θερμικής αντοχής. Ως εύρος χρήσης ορίζεται το θερμοκρασιακό διάστημα, μέσα στο οποίο η χημική σύσταση, η θερμομονωτική ικανότητα και η μηχανική αντοχή του υλικού είναι σε επιθυμητά επίπεδα, τέτοια ώστε να είναι ομαλή η απόδοση του υλικού.

- Αντοχή στην επίδραση της υγρασίας: Η αντοχή στην επίδραση της υγρασίας εκφράζεται με δύο μεγέθη, τον συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών και την ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης:

- Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών: Ο συντελεστής αυτός δηλώνει πόσο μεγαλύτερη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών παρουσιάζει το υλικό από ένα στρώμα αέρα ίδιου πάχους και στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Η φυσική σημασία του συντελεστή, ο οποίος πρακτικά θεωρείται ανεξάρτητος από τη θερμοκρασία και την πίεση, είναι ευκολία με την οποία διαπερνούν οι διαχεόμενοι υδρατμοί το θερμομονωτικό υλικό. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του, τόσο δυσκολότερα οι υδρατμοί διέρχονται μέσω της μάζας του.

- Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης: Τα θερμομονωτικά υλικά απορροφούν νερό σε υγρή κατάσταση ή σε μορφή υδρατμών. Η ποσότητα της απορροφούμενης υγρασίας, που εξαρτάται από το πορώδες του υλικού, την υδρατμοστεγανότητα και την κατανομή των τριχοειδών αγγείων στη μάζα του, προκαλεί αισθητή αλλαγή στις ιδιότητες του υλικού και κυρίως του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ. Για την περιγραφή των παραπάνω ορίζεται η τιμή της ποσότητας υγρασίας εξομοίωσης, η οποία εκφράζει το ποσό της υγρασίας που απορροφήθηκε στο υλικό υπό ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και σχετικής υγρασίας.

- Αντίσταση στη φωτιά - πυραντοχή: Η συμπεριφορά των υλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς, προσδιορίζεται κατά το DIN 4102, σύμφωνα με το οποίο τα υλικά κατατάσσονται σε κλάσεις πυραντοχής, ανάλογα με το χρονικό διάστημα, μέσα στο οποίο το υλικό διατηρεί τις βασικές του ιδιότητες κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Οι κλάσεις της πυραντοχής από την καλύτερη (μεγάλη διάρκεια αντοχής κατά την πυρκαγιά) είναι: A1/A2/A3/B1/B2/B3/C1/C2/C3. Πιο αναλυτικά:

- τα μη εύφλεκτα δομικά υλικά τυποποιούνται ως A1 ή A2,
- τα υλικά που αντιστέκονται στη φωτιά ως B1,
- κανονικά υλικά ως B2 και εύφλεκτα υλικά ως B3.

Τα υλικά της κατηγορίας A1 δεν επιτρέπεται να παρουσιάσουν καμιά ανάφλεξη, ενώ τα υλικά της κατηγορίας A2 μπορούν να αναφλεγούν για χρόνο μέχρι 20s. Τα μη αναφλέξιμα υλικά της κατηγορίας A, καθώς και τα υλικά της κατηγορίας B1 που αντιστέκονται στη φωτιά, χρειάζονται ένα πιστοποιητικό

αποτελεσματικότητας σύμφωνα με το νέο γερμανικό νόμο ή άδεια από το DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik).

Για τα μη αναφλέξιμα υλικά και τους επιβραδυντές της φωτιάς της κλάσης A, απαιτείται τα αέρια της καύσης να μην είναι τοξικά. Η συμπεριφορά των δομικώνυλικών σε περίπτωση πυρκαγιάς προσδιορίζεται με βαθμούς «ανάφλεξης» από F30 έως F90, όπου ο αριθμός δείχνει τον ελάχιστο χρόνο σε λεπτά, που το δομικό υλικό αντέχει στη φωτιά ή αποτρέπει την εξάπλωση της φωτιάς. Η μη αναφλεξιμότητα χαρακτηρίζεται από το γράμμα A ή B π.χ F30-B. Σε περίπτωση που σημαντικά συστατικά του δομικού υλικού δεν καίγονται, το δομικό υλικό χαρακτηρίζεται με τα γράμματα AB.

- Αντοχή σε εφελκυσμό και όριο θραύσης: Πρόκειται για τα όρια αντοχής του υλικού σε τάσεις και εκφράζεται με τα μεγέθη αντοχής σε εφελκυσμό, του ορίου θραύσης και της θλιπτικής τάσης σε βράχυνση. Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι η τάση, μετά την οποία το υλικό παραμορφώνεται πλαστικά. Το όριο θραύσης είναι η τιμή της τάσης, μετά την οποία το υλικό χάνει τη συνοχή του, δηλαδή κόβεται. Όπως είναι αναμενόμενο, τα οργανικά αφρώδη υλικά, έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις από τα ανόργανα ινώδη.

- Βαθμός απορρόφησης ήχου: Οι ηχομονωτικές ιδιότητες, που ενώ αποτελούν διαφορετική παράμετρο της δομικής φυσικής, σε ότι αφορά τα υλικά οφείλουν να συνεξετάζονται με τις θερμομονωτικές ιδιότητες. Με την έννοια ηχομόνωση εννοούμε την προσπάθεια προστασίας των χρηστών ενός χώρου από τους θορύβους, δηλαδή από την επίδραση κάθε ενοχλητικού ή δυσάρεστου ήχου. Οι θόρυβοι μπορεί να προέρχονται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον π.χ. κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανημάτων, είτε από το εσωτερικό περιβάλλον των κτιρίων. Οι απαιτήσεις για ηχοπροστασία βασίζονται σε προδιαγραμμένες τιμές ανεκτής στάθμης θορύβων, οι οποίες υπολογίζονται σε μονάδες Decibel. Κάθε μια μονάδα Decibel αντιστοιχεί σε αύξηση της έντασης του θορύβου κατά 26%. Ο βαθμός απορρόφησης ήχου περιγράφει την ηχοαπορροφητικότητα του υλικού για διάφορες συχνότητες ήχου. Όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής, τόσο καλύτερη η ηχοαπορροφητικότητα του υλικού.

- Ευκολία κατεργασίας και τοποθέτησης: Πρόκειται για μία πολύ σημαντική ιδιότητα, αφού αφορά άμεσα στους πραγματικούς χρήστες των υλικών, στους τεχνίτες στο εργοτάξιο. Είναι εύλογο, ότι ένα υλικό που είναι ελαφρύ, μεταφέρεται εύκολα στο εργοτάξιο ενός κτιριακού έργου. Ένα υλικό που είναι μαλακό και όχι εύθρυπτο κόβεται εύκολα και προσαρμόζεται στις κατασκευαστικές διαμορφώσεις ενός ξυλότυπου ή μίας τοιχοποιίας. Ένα υλικό που ψεκάζεται με μορφή αφρού, μπορεί να καλύψει μία γεωμετρικά περίπλοκη επιφάνεια, όπως έναν θόλο, μεταλλικές κατασκευές, κ.ό.κ. Η αξιολόγηση και ταξινόμηση των υλικών γίνεται ως προς την κατεργασία και τοποθέτηση ποιοτικά, με βάση τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους, και ανάλογα με τις ικανότητες του συγκεκριμένου εργατικού δυναμικού.

- Η διάρκεια ζωής σε σχέση με τη φθορά στο χρόνο: Η αντοχή στο χρόνο αποτελεί ακόμη μια παράμετρο των θερμομονωτικών υλικών, παράμετρο που εκφράζεται σε έτη διάρκειας ζωής, όπως προκύπτει από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες.

1.4.2 Περιβαλλοντικές ιδιότητες

Τα θερμομονωτικά υλικά πέρα από τη σημαντική συνεισφορά τους στην προστασία του περιβάλλοντος που επιτυγχάνεται από τη μείωση των απωλειών θερμότητας με συνέπεια τη μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση, η οποία και οδηγεί στην ελάττωση της ποσότητας των εκπεμπόμενων αέριων ρύπων, δεν παύουν να επιβαρύνουν το περιβάλλον από την παραγωγή έως την τελική απόθεσή τους, όπως άλλωστε και κάθε υλικό γενικότερα. Η περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι είτε άμεση είτε έμμεση. Η έμμεση περιβαλλοντική επιβάρυνση οφείλεται στην ενσωματωμένη ενέργεια στα θερμομονωτικά υλικά που αποτελείται από το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας των υλικών και της ενέργειας που καταναλώθηκε για την παραγωγή τους. Η ενσωματωμένη ενέργεια των θερμομονωτικών υλικών συνδέεται και εντέλει μετατρέπεται σε ισοδύναμη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής (διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου αντίστοιχα).

- Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια: Η περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μιας μονάδας όγκου θερμομονωτικού υλικού, συνήθως σε μονάδες kWh/m³ ή kWh/kg. Τα τελευταία χρόνια διαπιστώνεται μία τάση για χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον, τάση που δεν περιορίζεται ασφαλώς μόνο στα θερμομονωτικά υλικά, αλλά γενικότερα στο σύνολο του πεδίου των κατασκευών. Επομένως, προτιμώνται υλικά με χαμηλή περιεχόμενη ενέργεια.

- Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα: Τα θερμομονωτικά υλικά κινδυνεύουν από έντομα, σκώρο, τρωκτικά και μύκητες. Για το λόγο αυτό, προστίθενται σ' αυτά διάφορες πρόσθετες χημικές ουσίες, που στόχο έχουν την προστασία των θερμομονωτικών υλικών από βιολογικούς παράγοντες. Επειδή οι ουσίες αυτές επιβαρύνουν το περιβάλλον συνιστάται να αποφεύγεται η χρήση τους και να αναζητούνται άλλοι τρόποι αντιμετώπισης επιθέσεων από μικροοργανισμούς. Η αντοχή σε προσβολές από μικροοργανισμούς και έντομα εκφράζεται ποιοτικά, με το αν ένα υλικό είναι ευπρόσβλητο ή όχι, μετά από εργαστηριακές δοκιμές γήρανσης των υλικών και από πολυετείς παρατηρήσεις σε πραγματικές συνθήκες.

Στον Πίνακα 1.1 δίνονται συγκεντρωτικά οι σημαντικότερες ιδιότητες των περισσότερων συνηθισμένων θερμομονωτικών υλικών.

1.5 Κατηγορίες θερμομονωτικών υλικών

Ενας τρόπος ταξινόμησης των μονωτικών υλικών είναι με βάση τη χημική σύνθεση των συστατικών τους. Επομένως, μπορούν να ταξινομηθούν σε οργανικά, ανόργανα ή σύνθετα, που περιέχουν τόσο οργανικές όσο και ανόργανες ενώσεις.

Με βάση την πρώτη ύλη των χρησιμοποιούμενων υλικών για την παραγωγή μονωτικών υλικών τα θερμομονωτικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, και βέβαια και συνδυασμούς αυτών:

1. Ορυκτά υλικά, όπως η άμμος, ο βασάλτης, ο βωξίτης, ο δολομίτης και το γυαλί (καινούριο ή ανακυκλωμένο).
2. Πετροχημικές πρώτες ύλες για αφρώδες πλαστικό, όπως το στυρόλιο, η ουρεθάνη και η φορμαλδεΐδη.
3. Οργανικά φυσικά υλικά, όπως ο φελλός, το ξύλο, οι φυτικές ίνες, η κυτταρίνη, το μαλλί.

Άλλος τρόπος ταξινόμησης μπορεί να γίνει με βάση τη δομή τους. Δυο κατηγορίες υπάρχουν:

1. τα αφρώδη, στα οποία ο αέρας υπάρχει μέσα τους με μορφή φυσαλίδων και

2. τα ινώδη, στα οποία ο αέρας περιέχεται ανάμεσα στις ίνες τους, όπως ακριβώς συμβαίνει σε ένα μάλλινο ύφασμα.

Για την παραγωγή των θερμομονωτικών υλικών, πέραν των πρώτων υλών, χρησιμοποιείται και μία σειρά από βοηθητικές ύλες, ως συνδετικά και ενισχυτικά μέσα για τη δημιουργία των κυψελωτών δομών, αλλά και την επίτευξη των υπολοίπων, πέραν της θερμομόνωσης, επιθυμητών ιδιοτήτων.

ΥΛΙΚΟ		ΥΛΛΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΠΕΤΡΟΒΑΜΒΑΚΑΣ	ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΔΙΟΓΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ	ΑΦΡΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ	
Φυσικές ιδιότητες	Πυκνότητα [kg/m ³]	min	13	30	20	8	30
		max	100	180	80	50	80
	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ [W/mK]	min	0,030	0,033	0,025	0,029	0,020
		max	0,045	0,045	0,035	0,041	0,027
	Εύρος χρήσης (°C)	min	-100	-100	-60	-80	-50
		max	500	750	75	80	120
	Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	min	<1	<1	80	25	50
		max	1	1	200	200	>100
	Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C/80%RH	min	<0,1	<0,1	<1*	5*	5*
		max	1	1,5			
	Κατηγορία πυραντοχής		A1 A2 B1	A1 A2 B2	B1 B2	B1 B2	B1 B2
	Αντογή στον εφελκυσμό [N/mm ²]	min	0,005*		0,30	0,15	
		max			0,35	0,52	
	Όριο θραύσης [N/mm ²]	min	0,00500	0,00012		0,09000	
max		0,01500	0,00750		0,22000		
Βαθμός απορρόφησης στα 125 Hz	min	0,10	0,05				
	max	0,79	0,19				
Βαθμός απορρόφησης στα 1000 Hz	min	0,71	0,92				
	max	0,97	0,99				
Περιβαλλοντικές	Πρόσθετα για προστασία από βιολογικούς παράγοντες	OXI	OXI	OXI	OXI	NAI	
	Περιεχόμενη πρωτογενής ενέργεια [kWh/m ³]	min	90	110	85	151	15,8
max		430	660	114	269	36,1	

*Μέση τιμή

Πίνακας 1.1 : Βασικές φυσικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες των κυριότερων θερμομονωτικών υλικών

1.6 Ιδιότητες των σημαντικότερων θερμομονωτικών υλικών

1.6.1 Υαλοβάμβακας

Ο υαλοβάμβακας (βλ. Σχήμα 1.4) προέρχεται από ορυκτές πρώτες ύλες, ανήκει στα ανόργανα ινώδη υλικά και τα βασικά συστατικά του είναι το διοξείδιο του πυριτίου, ο δολομίτης, ο ασβεστόλιθος, η ανθρακική σόδα και η αλουμίνα.

1.6.1.1 Παραγωγή Υαλοβάμβακα

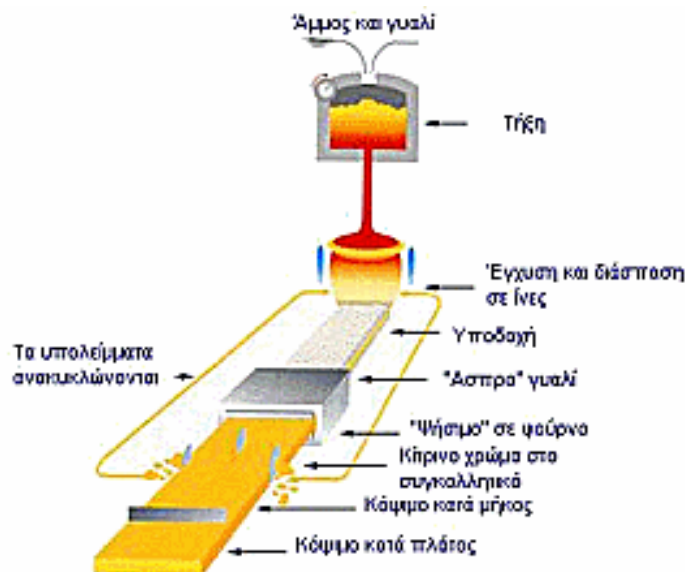
Ο υαλοβάμβακας παρασκευάζεται σε κλίβανο μέσω μιας διαδικασίας φυγόκεντρησης, κατά την οποία τα υλικά εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης υπό τη μορφή ινών παγιδεύουν τον αέρα.

Διαδικασία Παραγωγής (βλ. Σχήμα 1.5) :

Το μείγμα λιώνει στους 1100 °C σε ηλεκτρικό φούρνο. Το ρευστό γυαλί πλέον, διοχετεύεται με ταχύτητα σε στρεφόμενο δίσκο με σπές. Εξαιτίας της φυγόκεντρης δύναμης, δημιουργούνται λεπτότατες ίνες, που στην συνέχεια με την προσθήκη συνδετικών υλών συνενώνονται, δίνοντας το τελικό προϊόν, που διαμορφώνεται πλέον σε ρολλά, πλάκες ή κοχύλια, χωρίς ή με επικάλυψη φύλλου αλουμινίου, υαλοφάσματος ή ασφαλτικού χαρτιού, σε διάφορες διαστάσεις και πυκνότητες (13-110 Kgr/m³) με ποικίλες φυσικές και μηχανικές αντοχές. Ο αέρας που εγκλωβίζεται ανάμεσα στις ίνες, δίνει στο υλικό τις θερμομονωτικές και ηχοαπορροφητικές του ιδιότητες.



Σχήμα 1.4: Υαλοβάμβακας



Σχήμα 1.5: Η διαδικασία παραγωγής υαλοβάμβακα

1.6.1.2. Ιδιότητες υαλοβάμβακα

Ο υαλοβάμβακας αποτελεί μία καλή θερμομονωτική λύση υπό την προϋπόθεση ότι προστατεύεται από τη διείσδυση της υγρασίας. Όσο μικρότερο είναι το πάχος των ινών και όσο μεγαλύτερο το μήκος τους τόσο υψηλότερη θερμική προστασία προσφέρει αλλά και μεγαλύτερο κόστος αποκτά. Η προσβολή από την υγρασία έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ . Για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται ως μονωτικό υλικό στα κτίρια, κρίνεται απαραίτητη η προστασία του με φράγμα υδρατμών στη θερμή όψη. Αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της ινώδους μορφής του, ο υαλοβάμβακας σε ελεύθερη κατάσταση δεν απορροφά υγρασία. Επειδή όμως συχνά βρίσκεται κλεισμένος στα άλλα δομικά υλικά, η υγρασία που εγκλωβίζεται στα τελευταία τον προσβάλλει και εξαπλώνεται σε όλη την έκτασή του.

Όσον αφορά στις ιδιότητες πυραντοχής του υαλοβάμβακα, προσοχή απαιτείται στα υλικά που προστίθενται για την βελτίωση της συνοχής (υδρίδιο του πυριτίου), στα συνδετικά υλικά (ρητίνες φαινοφορμαλδεΐδης), καθώς και στα υδατοαπωθητικά έλαια (σιλικόνες ή ορυκτέλαια), διότι αυτά τα υλικά δύναται να υποβαθμίσουν την αντοχή του υαλοβάμβακα σε περίπτωση πυρκαγιάς. Γενικότερα, πάντως, ο υαλοβάμβακας παρουσιάζει καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Ο υαλοβάμβακας διαθέτει επίσης ανθεκτικότητα στη θερμοκρασία για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών από 100°C έως 500°C . Η αντοχή στον εφελκυσμό ($0,005\text{ N/mm}^2$) και το όριο θραύσης ($0,005\text{-}0,015\text{ N/mm}^2$) κρίνονται ικανοποιητικές. Ωστόσο, εμφανίζει μικρή αντοχή σε συμπίεση και ως εκ τούτου δεν προσφέρεται η χρήση του για δάπεδα και δώματα με ισχυρές φορτίσεις. Η απόδοσή του ως ηχομονωτικό υλικό θεωρείται ιδιαίτερα καλή σε σύγκριση με άλλα ως προς αυτήν την ιδιότητα υλικά. Ο υαλοβάμβακας δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε από χημικές ενώσεις με εξαίρεση το υδροχλωρικό οξύ.

Ο Πίνακας 1.2 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του υαλοβάμβακα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές να οφείλονται σε διαφοροποιήσεις που παρουσιάζονται από τεχνολογικής πλευράς κατά την διαδικασία παραγωγής.

1.6.1.3 Εφαρμογές υαλοβάμβακα

Ο υαλοβάμβακας, έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στα κτίρια και στη βιομηχανία. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, επιλέγεται και η αντίστοιχη μορφή του υαλοβάμβακα για θερμομόνωση ή ηχομόνωση σε κατασκευές:

- Εσωτερικής ή εξωτερικής τοιχοποιίας
- Στεγών
- Δαπέδων
- Συστημάτων Ξηράς Δόμησης και Ακουστικών Ψευδοροφών
- Αεραγωγών θέρμανσης – κλιματισμού
- Μηχανολογικών και Υδραυλικών εγκαταστάσεων

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1	3/4/5/8/10/12/14 /	18
Πυκνότητα	kg/m ³	13	18/23/60/65/80	100
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0,005	
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,005		0,015
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		0,1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,030	0,0338	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100	-	500
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και		<0,1	0,2/0,5...1	1
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B1	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα	-	0,1		0,79
στα 250Hz	-	0,26		0,79
στα 1000Hz	-	0,71		0,97
στα 4000Hz	-	0,96		0,95
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	5	8/12/18	>35
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³	>25	17/13/10	<5
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	90	110	430

Πίνακας 1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά υαλοβάμβακα

1.6.1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υαλοβάμβακα

Πλεονεκτήματα Υαλοβάμβακα :

- Είναι άκαυστο υλικό.
- Δεν φθείρεται με το πέρασμα του χρόνου, διατηρώντας παράλληλα όλες τις ιδιότητές του.
- Λόγω του υδροφοβισμού των γυάλινων ινών κατά τη φάση της παραγωγής του (επιφανειακή κάλυψη με κατάλληλες ουσίες), η απορρόφηση νερού στη μάζα του είναι πρακτικά μηδενική.
- Δεν προσβάλλεται από διαλύτες και δεν προσβάλλει τα μέταλλα.
- Δεν προσβάλλεται από έντομα και παράσιτα.
- Οι ιδιότητές του δεν επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Είναι άοσμος.
- Μεταφέρεται και τοποθετείται εύκολα.

Μειονεκτήματα Υαλοβάμβακα:

- Στις χαμηλές πυκνότητες δεν έχει μηχανικές αντοχές.
- Σε σχέση με τον πετροβάμβακα υστερεί στην αντοχή στη φωτιά.

1.6.1.5 Αποθήκευση Υαλοβάμβακα

Τα προϊόντα υαλοβάμβακα θερμοσυμπιέζονται και συσκευάζονται σε φιλμ πολυαιθυλενίου, προκειμένου να μειωθεί ο αρχικός όγκος για ευκολότερη μεταφορά και αποθήκευση. Αποθηκεύονται σε στεγασμένους χώρους για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες.

1.6.1.6 Εμπορικές μορφές υαλοβάμβακα και εφαρμογές

Ο υαλοβάμβακας συναντάται στις εξής εμπορικές μορφές:

- **Παπλώματα Υαλοβάμβακα**
 - **Ενισχυμένο Οικοδομικό Πάπλωμα**



Σχήμα 1.6 : Ενισχυμένο Οικοδομικό Πάπλωμα Υαλοβάμβακα

Τυπικές εφαρμογές:

Θερμομόνωση και ηχομόνωση στεγών, ξύλινων δαπέδων, ψευδοροφών.



Σχήμα 1.7: Θερμομόνωση ξύλινη δαπέδου με Ενισχυμένο Οικοδομικό πάπλωμα Υαλοβάμβακα

- **Ενισχυμένο οικοδομικό Πάπλωμα με Υαλούφασμα**

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση διαχωριστικών τοίχων από γυψοσανίδες, ψευδοροφών, ξύλινων δαπέδων, στεγών.

➤ **Πάπλωμα με Ενίσχυση Αλουμινίου**



Σχήμα 1.8: Πάπλωμα Υαλοβάμβακα με Ενίσχυση Αλουμινίου

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση κεκλιμένων στεγών, ψευδοροφών και αεραγωγών θέρμανσης-κλιματισμού.

➤ **Βιομηχανικό Πάπλωμα Ενισχυμένο με Κοτετσόσυρμα**



Σχήμα 1.9: Βιομηχανικό Πάπλωμα Υαλοβάμβακα Ενισχυμένο με Κοτετσόσυρμα

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση βιομηχανικών εγκαταστάσεων και μηχανολογικών εξοπλισμών, υψηλών θερμοκρασιών.

• **Πλάκες Υαλοβάμβακα**

➤ **Ενισχυμένες Οικοδομικές Πλάκες**

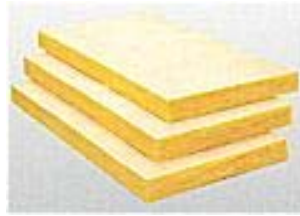


Σχήμα 1.10: Ενισχυμένες Οικοδομικές Πλάκες Υαλοβάμβακα

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση εξωτερικών και διαχωριστικών τοίχων και ψευδοροφών.

➤ **Ενισχυμένες Οικοδομικές Πλάκες με Υαλοϋφασμα**

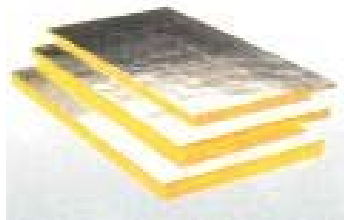


Σχήμα 1.11: Ενισχυμένες Οικοδομικές Πλάκες με Υαλοϋφασμα

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση εξωτερικών και διαχωριστικών τοίχων και ψευδοροφών.

- **Ενισχυμένες Πλάκες με Αλουμίνιο**



Σχήμα 1.12 : Ενισχυμένες Πλάκες Υαλοβάμβακα με Αλουμίνιο

Τυπικές εφαρμογές:

Θερμομόνωση και ηχομόνωση στεγών, αεραγωγών, σωληνώσεων και δεξαμενών.

- **Σκληρές Οικοδομικές Πλάκες**

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση εξωτερικών τοίχων, δωματίων, στεγών και ψευδοροφών.

- **Σκληρές Πλάκες Δαπέδων**



Σχήμα 1.13 : Σκληρές Πλάκες Δαπέδων

Τυπικές εφαρμογές

Κατασκευή πλωτών (αντιθορυβικών) δαπέδων κάτω από οπλισμένη τσιμεντοκονία για κτιριακές εφαρμογές.

➤ **Σκληρές Πλάκες Μεγάλων Φορτίων**



Σχήμα 1.14 : Σκληρές Πλάκες Υαλοβάμβακα Μεγάλων Φορτίων

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση δαπέδων κάτω από οπλισμένη τσιμεντοκονία για δώματα, δάπεδα βαρειάς κυκλοφορίας και βιομηχανιών.

• **Χύμα υαλοβάμβακας**



Σχήμα 1.15: Χύμα υαλοβάμβακας

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση σε θέσεις με υψηλές θερμοκρασίες, πλήρωση κοιλοτήτων και κενών σε εξοπλισμούς εργαστηρίων και οικιακές συσκευές.

Συσκευασία

Το προϊόν συναντάται στο εμπόριο συσκευασμένο σε σάκους των 20 Kgr.

• **Κοχύλια Υαλοβάμβακα**



Σχήμα 1.16: Κοχύλια Υαλοβάμβακα

Τυπικές εφαρμογές

Θερμομόνωση και ηχομόνωση σωληνώσεων, δεξαμενών και συστημάτων κλιματισμού.

1.6.2 Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας είναι ένα μονωτικό υλικό ανόργανης προελεύσεως για την θερμική και ακουστική μόνωση, καθώς και για πυροπροστασία προορισμένο για τη δομική, τη βιομηχανία και την ναυπηγική.

1.6.2.1 Παραγωγή Πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας είναι ινώδους μορφής, καθώς αποτελείται από μια μάζα εξαιρετικά λεπτών ινών (διάμετρος < 4 ή 5 μm) και παρασκευάζεται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων, που αφθονούν στη φύση, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, διαβάση, αμφιβολίτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη.

Οι κύριες χημικές ενώσεις που περιλαμβάνονται στη σύνθεση των προαναφερθέντων ακατέργαστων υλικών είναι τα οξειδία του πυρίτιου, αλουμίνιο, ασβέστιο, μαγνήσιο και σίδηρος. Σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές, τα ακατέργαστα υλικά τοποθετούνται σε ένα κλίβανο όπου τήκονται σε θερμοκρασία των 1300°C. Σε αυτή τη φάση τήξης των ακατέργαστων υλικών, χρησιμοποιείται γαιάνθρακας ως ενεργειακή πηγή. Ως πρόσθετη πηγή, χρησιμοποιείται πετρέλαιο για την αποτέφρωση των αερίων του καπναγωγού.

Με ένα εκσυγχρονισμένο σύστημα καθαρισμού των αερίων του καπναγωγού, σκόνη και μονοξειδίο του άνθρακα κατακρατούνται, ενώ ένα μεγάλο μέρος ενέργειας επιστρέφει στην διαδικασία παραγωγής. Η μάζα που παράγεται από τη διαδικασία τήξης στον κλίβανο καταλήγει σε διάταξη όπου με τη βοήθεια της φυγοκέντρησης διαμορφώνεται στην τελική ινώδη μορφή. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη συνθετικής φαινολικής ρητίνης και σιλικονέλαιου. Έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός αρχικού στρώματος πετροβάμβακα.



Σχήμα 1.17: Αρχικό στρώμα πετροβάμβακα πριν την εισαγωγή στον θάλαμο ξήρανσης

Το αρχικό στρώμα (Σχήμα 1.17) καταλήγει σε ένα σύστημα εναπόθεσης, το λεγόμενο εκκρεμές το οποίο επιτρέπει την δημιουργία εξαιρετικών μονωτικών χαρακτηριστικών προσδίδοντας μια ομοιόμορφη κατανομή των ινών και υψηλά ποσοστά συνύφανσης, και έτσι παράγεται περισσότερος χώρος για την συγκράτηση του αέρα, που

είναι από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του μονωτικού υλικού. Στον θάλαμο ξήρανσης, πραγματοποιείται η διαδικασία της ξήρανσης και ωρίμανσης η οποία μαζί με τη στερέωση των ινών παρέχουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Η διαδικασία διεξάγεται στους 270°C με εξάτμιση του νερού και ωρίμανση του συνδέτη που είχε προστεθεί σε προηγούμενο στάδιο. Όλα τα απαέρια αποτεφρώνονται και φιλτράρονται. Έτσι κλείνει ο κύκλος της χρήσης των απαερίων.

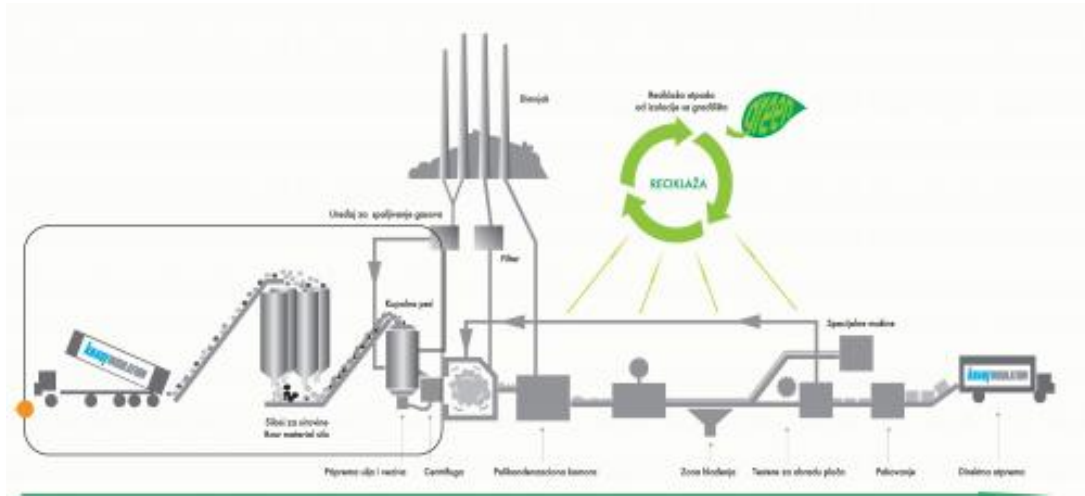


Σχήμα 1.18: Στρώμα πετροβάμβακα που εξέρχεται από το θάλαμο ξήρανσης

Μετά την διαδικασία της ξήρανσης / ωρίμανσης ακολουθεί το κόψιμο των τελικών προϊόντων στις απαιτούμενες διαστάσεις(Σχήμα 1.19), το στοιβάγμα και το πακετάρισμα.



Σχήμα 1.19: Το κόψιμο των πλακών στις απαιτούμενες διαστάσεις.



Σχήμα 1.20 : Ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής - κλειστός κύκλος παραγωγής πετροβάμβακα .

1.6.2.2 Ιδιότητες πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας έχει υψηλή πυκνότητα (30 kg/m^3) και ιδιαίτερα καλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,033 ως 0,045 W/(mK) .Η υψηλή θερμομονωτική ικανότητά του όμως επηρεάζεται σημαντικά στην περίπτωση προσβολής του από την υγρασία, έτσι ώστε να κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων προστασίας από την υγρασία είτε με την προσθήκη οργανικών ενώσεων του πυριτίου (σιλάνια) είτε με την τοποθέτηση επικάλυψης φύλλων αλουμινίου ή γύψου. Η θερμομονωτική ικανότητα του πετροβάμβακα επηρεάζεται αρνητικά επίσης και από την αυξημένη παρουσία συμπαγών σφαιριδίων τήξης, χρώματος καφέ ή μαύρου, που δημιουργούνται παράλληλα με τις επιθυμητές ίνες στη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Ο πετροβάμβακας διαθέτει ιδιαίτερα υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρώτες ύλες και τα πρόσθετα στον πετροβάμβακα κατά την παραγωγή λιώνουν σε μεγάλες θερμοκρασίες. Η ανώτερη θερμοκρασία εφαρμογής ($750 \text{ }^\circ\text{C}$) καθορίζει μέχρι ποια θερμοκρασία διατηρεί το μονωτικό υλικό τις ιδιότητές του. Για αυτό και ο πετροβάμβακας βρίσκει εφαρμογή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στη μόνωση λεβήτων, σε πόρτες πυρασφαλείας, σε κατασκευές που αφορούν στην πυρασφάλεια σε πλοία, καθώς και στην περιοχή της τεχνολογίας του εξαερισμού (αγωγοί εξαερισμού).

Ο πετροβάμβακας διαθέτει πολύ καλή συμπεριφορά στην πυρκαγιά, καθώς ανήκει στις A1, A2 και B1 κατηγορίες πυραντοχής. Αντίθετα, εμφανίζει μικρή αντοχή στον εφελκυσμό ($0,005 \text{ N/mm}^2$) και χαμηλό όριο θραύσης από $0,00012$ έως $0,0075 \text{ N/mm}^3$. Όσον αφορά στις ακουστικές ιδιότητές του παρουσιάζει χαμηλό βαθμό απορρόφησης του ήχου σε σχέση με τον υαλοβάμβακα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά στις υψηλές συχνότητες εμφανίζει πολύ καλές. Δεν προσβάλλεται από έντομα και τρωκτικά ούτε και από χημικές ενώσεις.

Ο Πίνακας 1.3 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφαλείας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του πετροβάμβακα.

1.6.2.3 Εφαρμογές Πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας έχει θερμομονωτικές και ηχοαπορροφητικές ιδιότητες, όπως άλλωστε και ο υαλοβάμβακας, υπερτερώντας όμως στην αντοχή στη φωτιά (οι ίνες του αντέχουν μέχρι και στους 1000°C). Έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στα κτίρια, αντίστοιχο με του υαλοβάμβακα, αλλά και περισσότερες χρήσεις για βιομηχανικές μονώσεις.

Ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται σε οικοδομικές και βιομηχανικές εφαρμογές, για θερμο-ηχομόνωση, σε :

- Εσωτερική ή εξωτερική τοιχοποιία
- Στέγες
- Δάπεδα και Οροφές
- Συστήματα Ξηράς Δόμησης και Ψευδοροφές
- Αεραγωγούς θέρμανσης - κλιματισμού - καυσαερίων.
- Σωληνώσεις και δεξαμενές με ρευστά πολύ υψηλών ή πολύ χαμηλών

θερμοκρασιών

1.6.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα πετροβάμβακα

Τα βασικότερα πλεονεκτήματά του πετροβάμβακα είναι τα εξής :

- Είναι άκαυστο υλικό.
- Σε μεγάλες πυκνότητες, έχει υψηλές μηχανικές αντοχές.
- Εφαρμόζεται σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών.
- Δεν φθείρεται με το πέρασμα του χρόνου, διατηρώντας παράλληλα όλες τις ιδιότητές του και την σταθερότητα των διαστάσεών του.
- Δεν προσβάλλεται από διαλύτες και δεν προσβάλλει τα μέταλλα.
- Δεν προσβάλλεται από έντομα και παράσιτα.
- Οι ιδιότητές του δεν επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Είναι άοσμος.

Όπως και ο υαλοβάμβακας, είναι από τα λίγα υλικά που εξασφαλίζει συγχρόνως θερμομόνωση, ηχοαπορρόφηση και πυραντίσταση

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	3-6/8/10/11/16	18
Πυκνότητα	kg/m ³	30	30-40/55/90/100/130	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,00012	0,0003/0,002	0,0075
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,005	0,02	0,05
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση				
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,033	0,0375	0,045
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		750
Ιδιότητες υγρασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	<1		1
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σ.χ. υγρασία		<0,1	0,2	1,5
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2	A2	A1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,05	0,14	0
στα 250Hz	-	0,34	0,37/0,55	0,37
στα 1000Hz	-	0,92	0,93/0,96	0,93
στα 4000Hz	-	0,92	0,93	0
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	5	11/12/15/30	11/12
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	110	250/450/540/600	660

Πίνακας 1.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά πετροβάμβακα

1.6.2.5 Εμπορικές μορφές πετροβάμβακα

Ο πετροβάμβακας συναντάται στις εξής εμπορικές μορφές:

- **Μονωτικά Ρολό Πετροβάμβακα**



Σχήμα 1.21: Μονωτικό Ρολό Πετροβάμβακα

Τυπικές εφαρμογές

Θερμο-ηχομόνωση, σε εφαρμογές, στην τοιχοποιία, ξηρά δόμηση, στέγες.

- **Πάπλωμα πετροβάμβακα με Κοτετσόσυρμα**



Σχήμα 1.22: Πάπλωμα πετροβάμβακα με Κοτετσόσυρμα

Το πάπλωμα του πετροβάμβακα με κοτετσόσυρμα παράγεται και συναντάται στο εμπόριο κυρίως σε 3 πυκνότητες 65, 80 και 100 kg/m³ και χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.

- **Πλάκες Πετροβάμβακα**



Σχήμα 1.23: Πλάκες Πετροβάμβακα

Επικαλύψεις πλακών πετροβάμβακα

Οι πλάκες πετροβάμβακα μπορούν να παραχθούν με διάφορες επικαλύψεις, όπως :
Φύλλο αλουμινίου, Υαλούφασμα άσπρο και μαύρο, Χαρτί



Σχήμα 1.24 : Επικαλύψεις πλακών πετροβάμβακα

- **Πλάκες Πετροβάμβακα με ασφαλτική στρώση**

Οι πλάκες πετροβάμβακα με ασφαλτική στρώση , χρησιμοποιούνται για θερμο-ηχομόνωση, δαπέδων και δωματίων.

- **Χύμα Πετροβάμβακας**



Σχήμα 1.25 : Χύμα Πετροβάμβακας

Τυπικές εφαρμογές

Ο χύμα πετροβάμβακας εφαρμόζεται σε Boiler, σε Container κ.ο.κ.

Συσκευασία

Το προϊόν συναντάται στο εμπόριο συσκευασμένο σε σάκους των 80 και των 400Kgr.

- **Κοχύλια Πετροβάμβακα**



Σχήμα 1.26 : Κοχύλια Πετροβάμβακα

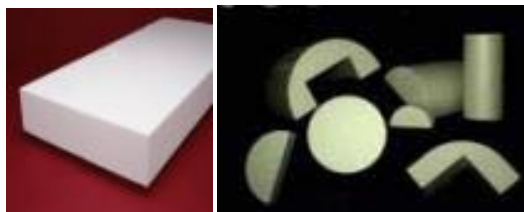
Τυπικέςεφαρμογές

Τα κοχύλια πετροβάμβακα διατίθενται με ή χωρίς επικάλυψη αλουμινίου και χρησιμοποιούνται για θερμο-ηχομόνωση σωλήνων σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας λόγω υψηλών θερμοκρασιών.

1.6.3 Διογκωμένη πολυστερίνη

Ο αφρός πολυστερίνης παράγεται από διόγκωση πολυμερισμένου στυρολίου και αποτελείται σύμφωνα με το DIN 18164 από 1,5 έως 2% πολυστερίνη και 98 με 98,5% αέρα, ανάλογα με την πυκνότητα. Ο αέρας βρίσκεται εγκλωβισμένος μέσα σε μεγάλο αριθμό κυψελίδων.

Η διογκωμένη πολυστερίνη ήταν από τα πρώτα θερμομονωτικά υλικά που εμφανίστηκαν και επί δεκαετίες υπήρξε ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στις κτιριακές εφαρμογές της θερμομόνωσης. Στη συνέχεια, με την εμφάνιση της εξηλασμένης που υπερτερεί σαφώς ως υλικό σε όλες της τις ιδιότητες, αλλά και με την εξάπλωση των Συστημάτων Ξηράς Δόμησης (όπου χρησιμοποιούνται τα ινώδη υλικά) η χρήση της έχει περιοριστεί.



Σχήμα 1.27 : Διογκωμένη πολυστερίνη

1.6.3.1 Παραγωγή Διογκωμένης Πολυστερίνης

Η διογκωμένη πολυστερίνη (περισσότερο γνωστή στην ελληνική αγορά ως *φελιζόλ*) ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά. Η πολυστερίνη, που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη είναι αρωματική ουσία της οικογένειας των βενζολίων προερχόμενη από την πετροχημική βιομηχανία.

Με ειδική επεξεργασία πολυμερισμού η πρώτη ύλη παίρνει τη μορφή μικρών κόκκων με σταθερή χημική σύσταση και θερμοπλαστικές ιδιότητες. Οι κόκκοι διογκώνονται και μετατρέπονται σε σφαιρίδια διαμέτρου 5-6mm. Από κει και πέρα οδηγούνται σε ειδικές πρέσες για επιπλέον διόγκωση και συγκόλληση των σφαιριδίων και υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής:

- Με τον πρώτο τρόπο το προϊόν βγαίνει στην τελική του μορφή από το καλούπι με τυποποιημένες διαστάσεις και διαμορφωμένη επιφάνεια (η λεγόμενη καλουπωτή ή χυτή πολυστερίνη).
- Με τον δεύτερο τρόπο το προϊόν βγαίνει από την πρέσσα σε μορφή μεγάλων blocks, τα οποία στη συνέχεια σε κοπτικές μηχανές ή παντογράφους κόβονται δίνοντας πλάκες ή ειδικά κομμάτια διαφόρων σχημάτων (πχ. κυλίνδρων) και διαστάσεων.
- Η πυκνότητα της πολυστερίνης κυμαίνεται από 10-40 Kgr/m³ και είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει το υλικό.

1.6.3.2 Ιδιότητες διογκωμένης πολυστερίνης

Η διογκωμένη πολυστερίνη διαθέτει ικανοποιητική θερμομονωτική ικανότητα (0,029-0,041 W/mK). Ωστόσο απαιτείται προσοχή κατά την παραγωγή της, διότι αν σχηματιστούν κενά που δε διαμορφώνουν κλειστούς πόρους, είναι δυνατόν να εισχωρήσει νερό και να αυξηθεί σημαντικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ. Γενικότερα πάντως η διογκωμένη πολυστερίνη παρουσιάζει καλή αντοχή στη διάχυση υδρατμών και στην απορρόφηση υγρασίας. Επιπρόσθετα, διαθέτει καλές ιδιότητες όσον αφορά στην αντοχή στον εφελκυσμό και στη συμπίεση.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι μικρότερο από αυτό του υαλοβάμβακα

και του πετροβάμβακα καθώς κυμαίνεται από -70°C ως Ξ ως μέσο αύξησης της πυραντοχής κατατάσσεται στις κατηγορίες πυραντοχής B1 και B2. Η διογκωμένη πολυστερίνη προσβάλλεται από έντομα, τρωκτικά και ποικιλία χημικών διαλυτών (κετόνες, βενζόλιο, βενζίνη κ.ά.) και δεν προτείνεται η χρήση ασφαλτόπανων. Είναι ευαίσθητη στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς σε εκτεταμένης διάρκειας έκθεση στον ήλιο, μετά την αλλαγή του χρώματός της σε ελαφρώς κιτρινωπό, σκληραίνεται και θρυμματίζεται.

Τέλος, η διογκωμένη πολυστερίνη δεν παρουσιάζει ηχοαπορροφητικές ιδιότητες και επομένως δεν χρησιμοποιείται για ηχομόνωση.

Ο πίνακας 1.4 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας και αντοχής στη χρήση) της διογκωμένης πολυστερίνης.

1.6.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Διογκωμένης Πολυστερίνης

Τα πλεονεκτήματά της:

- Εύχρηστο υλικό (μεταφέρεται, κόβεται και τοποθετείται πολύ εύκολα).
- Έχει χαμηλό κόστος, με αποδεκτές θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Καλή συνεργασία' με όλα τα οικοδομικά υλικά.
- Δίνει λύσεις -ίσως και μοναδικές- σε εφαρμογές όπου απαιτούνται ειδικές διαστάσεις (αρμοί) και ειδικά σχήματα (κορνίζες).

Τα μειονεκτήματά της:

- Εάν χρησιμοποιηθεί χωρίς να σταθεροποιηθεί, συρρικνώνεται και επίσης κρατά την υγρασία που εισχωρεί στη μάζα της.
- Στις χαμηλές πυκνότητες δεν έχει μηχανικές αντοχές.
- Αποκλείεται η εφαρμογή της σε χώρους όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες.
- Προσβάλλεται από την ηλιακή ακτινοβολία.
- Προσβάλλεται από διαλύτες, έντομα και τρωκτικά.
- Είναι εύφλεκτη (η καλουπωτή είναι αυτοσβενδόμενη) και στη φωτιά εκλύει αέρια.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1,4	1,6/2/2,5/3/3,5	4,0
Πυκνότητα ¹	kg/m ³	8	13/15/20/30	50
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,15		0,52
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,09		0,22
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,07		0,26
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C ²	W/(mK)	0,029		0,041
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-70		90
Ιδιότητες υγρασιακής προστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	25	30/40/50/60/70	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ²	60		100
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	50		
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	151	190	269

Πίνακας 1.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Διογκωμένης πολυστερίνης

1.6.3.4. Εφαρμογές Διογκωμένης Πολυστερίνης

Η διογκωμένη πολυστερίνη ήταν από τα πρώτα θερμομονωτικά υλικά που εμφανίστηκαν και επί δεκαετίες υπήρξε ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στις κτιριακές εφαρμογές της θερμομόνωσης. Στη συνέχεια, με την εμφάνιση της εξηλασμένης που υπερτερεί σαφώς ως υλικό σε όλες της τις ιδιότητες, αλλά και με την εξάπλωση των Συστημάτων Ξηράς Δόμησης (όπου χρησιμοποιούνται τα ινώδη υλικά) η χρήση της έχει περιοριστεί.

Εξακολουθεί όμως και έχει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών στις κατασκευές, όπως στη:

- Θερμομόνωση εξωτερικής τοιχοποιίας.
- Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα.
- Θερμομόνωση στεγών.
- Πλήρωση κενών μεγάλων αρμών διαστολής.
- Καλούπια για κορνίζες ή σχήματα στις επιφάνειες σκυροδέματος.



Σχήμα 1.28 : Θερμομόνωση στοιχείων από σκυρόδεμα με διογκωμένη πολυστερίνη



Σχήμα 1. 29 : Θερμομόνωση στέγης με διογκωμένη Πολυστερίνη

1.6.3.5 Εμπορικές μορφές διογκωμένης πολυστερίνης

- **Διογκωμένη πολυστερίνη Λευκή Απλή**



Σχήμα 1.30: Διογκωμένη πολυστερίνη Λευκή Απλή

Η Λευκή απλή διογκωμένη πολυστερίνη ανήκει στα τεχνητά θερμομονωτικά υλικά με δομή "κλειστών κυψελών".

Τα διογκωμένα σφαιρίδια της πολυστερίνης αφού συγκολληθούν, βγαίνουν από την πρέσα διαμορφωμένα σε μεγάλα blocks , τα οποία στη συνέχεια σε κοπτικές μηχανές ή παντογράφους κόβονται δίνοντας πλάκες ή ειδικά κομμάτια διαφόρων σχημάτων (πχ. κυλίνδρων) και διαστάσεων.

Η πυκνότητα της λευκής απλής πολυστερίνης κυμαίνεται από 10-40 Kgr/m³ και αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό της, που καθορίζει και τις εφαρμογές της.

- **Ειδικά τεμάχια διογκωμένης πολυστερίνης**

Η Διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί να κοπεί σε ειδικά τεμάχια διάφορων σχημάτων (π.χ. κυλινδρικά, καμπύλα κλπ) και σε διάφορες διαστάσεις.

Η πυκνότητα της πολυστερίνης κυμαίνεται από 10-40 Kgr/m³ και είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει το υλικό.

- **Κορνίζες διογκωμένης πολυστερίνης**

Μία σειρά από διαμορφωμένα προφίλ διογκωμένης πολυστερίνης, είναι οι κορνίζες οι οποίες χρησιμοποιούνται για μορφοποίηση σκυροδέματος.

Διατίθενται σε πολλά τυποποιημένα σχέδια και διαστάσεις (συνήθως 1m μήκους), αλλά και σε ειδικές διαστάσεις κατόπιν παραγγελίας.



Σχήμα 1.31 : Παραδείγματα κορνιζών διογκωμένης πολυστερίνης

1.6.4 Αφρώδης Εξηλασμένη πολυστερίνη



Σχήμα 1.32: Αφρώδης Εξηλασμένη πολυστερίνη

Η εξηλασμένη πολυστερίνη ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά "κλειστής κυψελικής δομής".

1.6.4.1. Παραγωγή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη, συγγενές θερμομονωτικό υλικό της διογκωμένης πολυστερίνης, έχει όμοια σύσταση με αυτήν, αλλά διαφορετική μέθοδο επεξεργασίας. Για την παραγωγή αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη η πολυστερίνη, το CO₂ ως προωθητικό αέριο σε ποσοστό από 3 ως 7%, στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 ως 6% και ως βοηθητικές ύλες το ταλκ και χρωστικές ουσίες, που δίνουν το χαρακτηριστικό για κάθε εταιρία χρώμα στο τελικό προϊόν.

Παράγεται σε μορφή πλακών, διαφορετικής πυκνότητας ανάλογα με την εφαρμογή, με επίπεδη ή ανάγλυφη επιφάνεια, για την επίτευξη καλύτερης πρόσφυσης του κονιάματος του επιχρίσματος. Ακόμη παράγονται πλάκες με επικάλυψη τσιμεντοκονιάς ή ψηφίδας, στη μία τους πλευρά, για χρήση στο αντεστραμμένο δώμα.

1.6.4.2 Ιδιότητες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης

Η αφρώδης εξηλασμένη πολυστερίνη διαθέτει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας που κυμαίνεται από 0,025 έως 0,035 W/(mK). Η τιμή του συντελεστή αυτού οφείλεται κατά κύριο λόγο στην θερμική αγωγιμότητα του μίγματος αέρα και αερίων που κατέχουν περίπου το 95% του όγκου του υλικού. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας αποτελούν τις τιμές κατά τη χρήση της εξηλασμένης πολυστερίνης. Στην πραγματικότητα κατά την παραγωγή της ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας είναι μικρότερος αλλά σταδιακά αυξάνεται, γεγονός το οποίο οφείλεται στη διαδικασία εξισορρόπησης του R12 του αέριου μίγματος με τον εξωτερικό αέρα. Έχει υπολογιστεί μάλιστα πως το αέριο σε R12 υποδιπλασιάζεται κάθε 50 έτη, περίπου δηλαδή όσο και η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης της είναι σχετικά περιορισμένο, καθώς το κατώτερο σε -60⁰C και το ανώτερο όριο ανέρχεται σε 75⁰C. Ο τρόπος παραγωγής της εξηλασμένης πολυστερίνης, δηλαδή η κατεργασία της εξέλασης, αποτελεί τον κύριο υπεύθυνο για τη μεγάλη αντοχή που παρουσιάζει στον εφελκυσμό (0,30 ως 0,35 N/mm²) και στη συμπίεση, στην αυξημένη αντίσταση στη διάχυση υδρατμών (80 ως 200) και στην απορρόφηση νερού. Η μέγιστη απορροφητικότητα φθάνει το 0,1 με 0,2% του όγκου του υλικού.

Η εξηλασμένη πολυστερίνη έχει όμοια συμπεριφορά με την διογκωμένη πολυστερίνη σε ότι αφορά την προσβολή της από έντομα και τρωκτικά και την ευαισθησία της σε διαλύτες και στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποχρωματίζει την επιφάνειά της και καθιστά τις κυψέλες της εύθραυστες. Η τεχνική λύση για την αποφυγή της προσβολής από έντομα και τρωκτικά συστήνει τον εγκλωβισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης στο δομικό στοιχείο ή την επικάλυψη με επίχρισμα. Η προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία επιτυγχάνεται επίσης με επικάλυψη με τσιμεντοσανίδες, πλάκες ορυκτών ινών και ψευδομωσαϊκού, γυψοσανίδες ή ξηρή χαλικόστρωση.

Παρά τη χρήση επιβραδυντών καύσης με τον εμπλουτισμό της εξηλασμένης πολυστερίνης με στοιχεία αύξησης της πυραντοχής σε ποσοστό από 1 έως 6% κατά τη διαδικασία παραγωγής της, παραμένει ελαφρώς εύφλεκτο υλικό και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής.

Τέλος, δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό, καθώς δεν διαθέτει ικανοποιητικές ιδιότητες ηχοαπορρόφησης.

Ο πίνακας 1.5 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυραντοχής και αντοχής στη χρήση) της εξηλασμένης πολυστερίνης.

1.6.4.3 Πλεονεκτήματα αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης

Τα κυριότερα πλεονεκτήματά της είναι:

- Οι υψηλές θερμομονωτικές ιδιότητες.
- Η αντοχή στην υγρασία και σχεδόν μηδενική υδατοαπορρόφηση.
- Η υψηλή αντοχή σε συμπίεση.
- Ότι δεν προσβάλλεται από μύκητες και βακτηρίδια.
- Ότι μεταφέρεται και τοποθετείται πολύ εύκολα.
- Αυτοσβενόμενο υλικό.
- Έχει ομοιομορφία μάζας και σταθερότητα διαστάσεων.
- Οι ειδικές πλάκες με εγκοπές προσφέρουν άριστη πρόσφυση σε σκυρόδεμα και επιχρίσματα.
- Έχει άριστη συνεργασία με τα οικοδομικά υλικά (τσιμέντο, γύψο, ασβέστη, ανυδρίτη, άμμο).

1.6.4.4 Εφαρμογές αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης

Η εξηλασμένη πολυστερίνη χρησιμοποιείται κατεξοχήν σε κτιριακά έργα, για θερμομόνωση :

- Σε εξωτερική τοιχοποιία και στοιχεία από σκυρόδεμα
- Σε δώματα και στέγες
- Σε τοιχία υπόγειων χώρων
- Σε δάπεδα
- Σε ψυκτικούς θαλάμους

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5	12
Πυκνότητα	kg/m ³	20	30/35/40/60	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,30	0,33/0,34	0,35
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% Βράχυνση	N/mm ²	0,15	0,20/0,25/0,30/0,5	0,70
Ιδιότητες θερμοκτικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,025	0,032/0,33	0,035
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-60		75
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	80	100/160/200	200
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. Υγρασία			<1	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	23	28	32

Πίνακας 1.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά εξηλασμένης πολυστερίνης

1.6.4.5 Εμπορικές μορφές εξηλασμένης πολυστερίνης

- Εξηλασμένη

πολυστερίνη

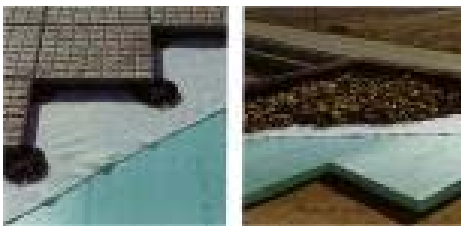
Δωματίων



Σχήμα 1.33: Εξηλασμένη πολυστερίνη δωματίων

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη Δωματίων, εφαρμόζεται για θερμομόνωση δωματίων (βλ. Σχήμα 1.34), στεγών, τοίχων υπογείων.



Σχήμα 1.34: Εφαρμογή Εξηλασμένης πολυστερίνης δωματίων σε δώμα

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη Τοιχοποιίας**



Σχήμα 1.35: Εξηλασμένη πολυστερίνη τοιχοποιίας

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη Τοιχοποιίας, εφαρμόζεται για θερμομόνωση διπλής εξωτερικής τοιχοποιίας (Σχήμα 1.36).



Σχήμα 1.36: Εφαρμογή Εξηλασμένης πολυστερίνης τοιχοποιίας, για θερμομόνωση διπλής εξωτερικής τοιχοποιίας

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη Ξυλοτύπων**



Σχήμα 1.37: Εξηλασμένη πολυστερίνη Ξυλοτύπων

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη Ξυλοτύπων, εφαρμόζεται για θερμομόνωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος (Σχήμα 1.38).και γενικά όπου απαιτείται καλή πρόσφυση του υλικού με κονιοδέματα.



Σχήμα 1.38: Εφαρμογή εξηλασμένης πολυστερίνης ξυλοτύπων για θερμομόνωση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη Γκοφρέ**



Σχήμα 1.39: Εξηλασμένη πολυστερίνη Γκοφρέ

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη Γκοφρέ, εφαρμόζεται για κάθε τύπο θερμομόνωσης.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη Δαπέδων**



Σχήμα 1.40: Εξηλασμένη πολυστερίνη Δαπέδων

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη , εφαρμόζεται για θερμομόνωση δαπέδων με μεγάλα φορτία.

- **Ταρατσόπλακα**



Σχήμα 1.41: Ταρατσόπλακα

Τυπικές εφαρμογές

Η ταρατσόπλακα , είναι βιομηχανική πλάκα σύνθετης διατομής τσιμεντοκονίας και εξηλασμένης πολυστερίνης και εφαρμόζεται για θερμομόνωση δωματίων.

- **Πλάκες εξηλασμένης Γίγας**



Σχήμα 1.42: Πλάκες εξηλασμένης Γίγας

Τυπικές εφαρμογές

Η εξηλασμένη πολυστερίνη Γίγας , εφαρμόζεται για θερμομόνωση μεγάλων επιφανειών, ψευδοροφών, βιομηχανικών χώρων, κτηνοτροφικών μονάδων.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη επένδυσης Τοίχων**

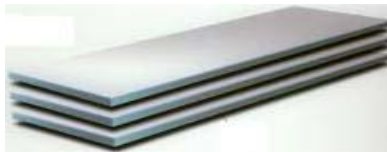


Σχήμα 1.43: Εξηλασμένη πολυστερίνη επένδυσης Τοίχων

Τυπικές εφαρμογές

Οι πλάκες επένδυσης τοίχων , αποτελούνται από εξηλασμένη πολυστερίνη με επικάλυψη γυψοσανίδας (σύνθετες πάχους 9,5mm). Εφαρμόζονται για θερμομόνωση τοίχων εξωτερικά και στοιχείων σκυροδέματος.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη με επικάλυψη γυψοσανίδας**



Σχήμα 1.44: Εξηλασμένη πολυστερίνη

Τυπικές εφαρμογές

Οι πλάκες αυτές, αποτελούνται από εξηλασμένη πολυστερίνη με επικάλυψη γυψοσανίδας συνήθως πάχους 12,5mm. Εφαρμόζονται για θερμομόνωση πλακών σκυροδέματος από την κάτω επιφάνεια.

- **Εξηλασμένη πολυστερίνη Ψυκτικών Θαλάμων**



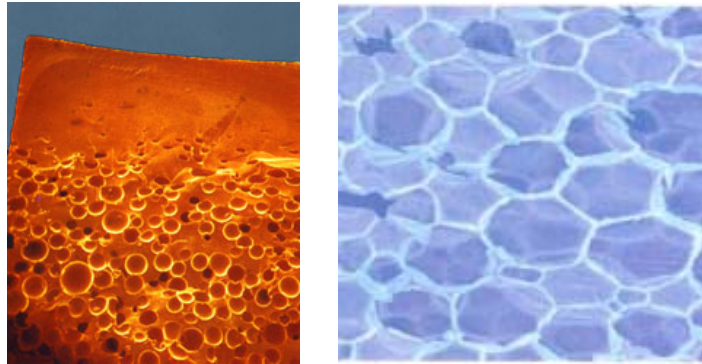
Σχήμα 1.45: Εξηλασμένη πολυστερίνη Ψυκτικών Θαλάμων

Τυπικές εφαρμογές

Εφαρμόζεται για θερμομόνωση ψυκτικών θαλάμων.

1.6.5 Αφρός Πολυουρεθάνης

Ο αφρός ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά "κλειστής κυψελωτής δομής".



Σχήμα 1.46 : Κλειστή Κυψελωτή Δομή Πολυουρεθάνης

1.6.5.1. Παραγωγή Αφρού Πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης είναι σκληροποιημένος αφρός, του οποίου οι πόροι σε ποσοστό τουλάχιστον 90% είναι κλειστοί και παρασκευάζεται με την βοήθεια καταλυτών και προωθητικών μέσων, μέσω της χημικής αντίδρασης των πολυϊσοκυανικών ενώσεων με συνδετικό μέσο πολυολένιο ή με διάσπαση των πολυϊσοκυανικών ενώσεων. Παλιότερα, ως προωθητικό μέσο, χρησιμοποιούταν το FCKW (R11), αλλά τώρα έχει αντικατασταθεί με υδρογονάνθρακες όπως το πεντάνιο, CO₂ ή HFCKW.



Σχήμα 1.47 : Παραγωγή Αφρού Πολυουρεθάνης : Η πολυουρεθάνη ανήκει στα οργανικά τεχνητά θερμομονωτικά υλικά "κλειστής κυψελωτής δομής". Παράγεται με την ανάμιξη δύο βασικών συστατικών, του ισοκυανίου και πολυόλης, παρουσία κατάλληλου καταλύτη. Κατά την επεξεργασία δημιουργούνται κλειστές κυψέλες μέσα στις οποίες παγιδεύεται αέριο που χρησιμοποιείται σαν διογκωτικό μέσο. Το αέριο καλύπτει το 97% περίπου του όγκου του μονωτικού αφρού, δίνοντας έτσι υψηλές θερμομονωτικές ιδιότητες με ιδιαίτερα χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες. (βλ. Κεφ. 1.2.2)

1.6.5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Αφρού Πολυουρεθάνης

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αφρού Πολυουρεθάνης είναι :

- Χαμηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.
- Μικρή υδροαπορρόφηση και ικανοποιητικός συντελεστής διάχυσης υδρατμών.
- Σταθερότητα διαστάσεων.

- Αντοχή στη γήρανση και τη σήψη.
- Αυξημένη αντοχή σε μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις.
- Καλές χημικές αντοχές.
- Ευκολία στην μεταφορά και την τοποθέτηση.
- Αυτοσβενόμενο υλικό.

Το μειονέκτημά της είναι ότι αλλοιώνεται επιφανειακά, όταν εκτίθεται για μεγάλο χρονικό διάστημα συνεχώς στην υπεριώδη ακτινοβολία και ότι προσβάλλεται από τρωκτικά.

1.6.5.3 Ιδιότητες Αφρού Πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης αποτελεί το θερμομονωτικό υλικό με τον μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0,02 \text{ W/(mK)}$. Ωστόσο, με την από το 1995 απαγόρευση της χρήσης FCWK ως προωθητικού μέσου και με την αντικατάστασή του από το πεντάνιο αυξήθηκε η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και ως σήμερα ο αφρός πολυουρεθάνης δεν κατάφερε ακόμη να φτάσει στην κατηγορία θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,02 \text{ W/(mK)}$.

Όσον αφορά στην αντοχή σε εφελκυσμό ο αφρός πολυουρεθάνης αντέχει σε αναπτυσσόμενες τάσεις που κυμαίνονται από 20 έως 30 N/cm^2 και συντελεστή αντίστασης στη διάχυση υδρατμών από 50 έως και πάνω από 100 και παρουσιάζει εξαιρετικά μικρή απορρόφηση υγρασίας. Ουσιαστικά δηλαδή πρόκειται για ένα αδιάβροχο υλικό, λόγω της κλειστής δομής των κυψελίδων του.

Το θερμοκρασιακό εύρος χρήσης είναι σχετικά περιορισμένο, αν συγκριθεί με αυτό του υαλοβάμβακα και του πετροβάμβακα με κατώτερο όριο τους $-50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και ανώτερο $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ο αφρός πολυουρεθάνης δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία αν και κατά την παραγωγή του προστίθενται μέσα αύξησης της πυραντοχής και κατατάσσεται στις B1 και B2 κατηγορίες πυραντοχής. Για την εκπλήρωση των όρων πυρασφαλείας στις εφαρμογές στα κτίρια, ο αφρός μπορεί να περιέχει και άλλα μέσα αύξησης της πυραντοχής. Σημειώνεται ότι κατά την καύση του παράγει σε πάρα πολύ μικρές ποσότητες τοξικά αέρια.

Ο αφρός πολυουρεθάνης επηρεάζεται αν μείνει εκτεθειμένος στην ηλιακή ακτινοβολία, καθώς οι επιφανειακές κυψέλες αδυνατίζουν και το υλικό θρυμματίζεται. Διαθέτει ιδιαίτερα καλές συγκολλητικές ιδιότητες, αφού προσκολλάται στα περισσότερα οικοδομικά υλικά για αυτό και συχνά παρασκευάζεται επί τόπου στα έργα με εκτόξευση με ψεκασμό. Τέλος, το υλικό δεν παρέχει ικανοποιητική προστασία ηχομόνωσης και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιείται ως ηχομονωτικό υλικό.

Ο πίνακας 1.6 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφαλείας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του αφρού πολυουρεθάνης.

1.6.5.4. Εφαρμογές Αφρού Πολυουρεθάνης

Το εύρος των εφαρμογών της πολυουρεθάνης είναι πολύ μεγάλο. Χρησιμοποιείται στα κτίρια, πολύ περισσότερο όμως στην βιομηχανία και τις εγκαταστάσεις, λόγω του ότι διατηρεί τις ιδιότητές της ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm		2-20	
Πυκνότητα	kg/m ³	30	31-35	80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	10		>15
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,02		0,027
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-50	-50/-40/100	120
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	50	65	>100
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			5	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-	B2		B1
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	30	50	50
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες	-		ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	16	28/33	36

Πίνακας 1. 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρού πολυουρεθάνης

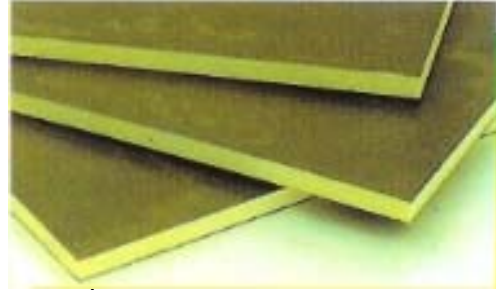
1.6.5.5 Εμπορικές μορφές Αφρού Πολυουρεθάνης

- Πλάκες πολυουρεθάνης

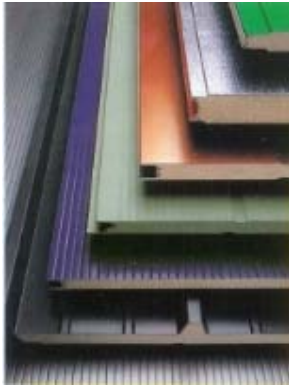
Ο αφρός πολυουρεθάνης συναντάται συχνά στο εμπόριο ,σε μορφή σκληρών πλακών και μορφοποιημένων κομματιών από αφρό , πλακών με επιφανειακή επίστρωση αδιαβροχοποιημένου χαρτιού, πολλαπλών στρωμάτων ή φύλλων αλουμινίου ή χάλυβα.



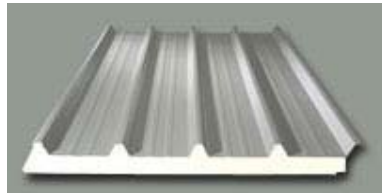
α



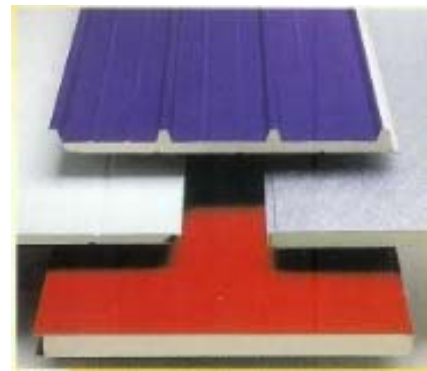
β



γ



δ



ε

Σχήμα 1.48 : Πλάκες Πολυουρεθάνης : α) Σκληρές πλάκες από αφρό πολυουρεθάνης,β) Πλάκες πολυουρεθάνης με επίστρωση αδιαβροχοποιημένου χαρτιού, γ,δ,.ε) Πλάκες πολυουρεθάνης με επίστρωση φύλλων αλουμινίου ή χάλυβα

Τυπικές εφαρμογές

Οι πλάκες πολυουρεθάνης εφαρμόζονται στη θερμομόνωση:

- Εξωτερικής τοιχοποιΐας.
- Δωμαίων -Στεγών -Δαπέδων.
- Ψυκτικών θαλάμων και αυτοκινήτων ψυγείων.
- Αγροτικών κτιρίων.

- **Κοχύλια Πολυουρεθάνης**



Σχήμα 1.49 : Κοχύλια Πολυουρεθάνης

Τυπικές εφαρμογές

Τα κοχύλια εφαρμόζονται (θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι 100 °C) σε:

- Σωληνώσεις θέρμανσης.
- Σωληνώσεις κλιματισμού.
- Σωληνώσεις μεταφοράς αερίων.
- Σωληνώσεις ψύξης.

- **Ειδικά Τεμάχια Πολυουρεθάνης**



Σχήμα 1.50 : Ειδικά Τεμάχια Πολυουρεθάνης

Τα ειδικά τεμάχια (Καμπύλα, Σύνδεση Ταφ, Συστολή για αλλαγή διαμέτρων) εφαρμόζονται στις βιομηχανικές μονώσεις σε:

- Σωληνώσεις και εξαρτήματα (βάνες, ταφ, κ.λ.π) δικτύων διανομής ρευστών.
- Δεξαμενές αποθήκευσης ρευστών.

- **Αφροί Πολυουρεθάνης**

Μια μορφή πολυουρεθάνης που είναι πολύ γνωστή, αλλά όμως δεν έχει εφαρμογή στην θερμομόνωση, είναι αυτή που κυκλοφορεί ευρέως στο εμπόριο σε φιαλίδια.



Σχήμα 1.1

Πολυουρεθάνης σε φιαλίδιο

Τυπικές εφαρμογές

Αυτός ο αφρός πολυουρεθάνης είναι ενός συστατικού και ανήκει στα υλικά αρμών, μιας και η κύρια χρήση του είναι για πλήρωση κενών και συγκόλληση. Η εφαρμογή του υλοποιείται με επί τόπου ψεκασμό.



Σχήμα 1.52: Ψεκασμός αφρού Πολυουρεθάνης

1.7. Λοιπά θερμομονωτικά υλικά

Ο υαλοβάμβακας, ο πετροβάμβακας, η διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη και ο αφρός πολυουρεθάνης είναι τα περισσότερο διαδεδομένα θερμομονωτικά υλικά και κυριαρχούν τόσο στην ευρωπαϊκή όσο και στην ελληνική αγορά. Εκτός από τα παραπάνω υλικά διατίθενται και άλλα θερμομονωτικά υλικά των οποίων όμως η χρήση είναι περιορισμένη στην αγορά θερμομονωτικών υλικών. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια θα δοθούν συνοπτικά οι κυριότερες ιδιότητες για τα σημαντικότερα από αυτά τα θερμομονωτικά υλικά.

1.7.1. Αφρώδης διογκωμένος φελλός

Ο διογκωμένος φελλός ανήκει στα οργανικά αφρώδη θερμομονωτικά υλικά. Η παραγωγή του γίνεται με τη βοήθεια της θερμότητας και του εγκλωβισμένου νερού και ρητίνης, χωρίς την προσθήκη προωθητικού μέσου. Για την κατασκευή των πλακών φελλού από κυψελίδες φελλού χρειάζονται ασφαλικά πρόσθετα. Συναντάται στο εμπόριο με τη μορφή πλακών και κοχυλιών.

Παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ 0,040 και 0,065 W/(mK), ενώ ενδείκνυται για ηχομόνωση καθώς διαθέτει καλές ηχομονωτικές ιδιότητες. Ο πίνακας 1.7 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυραντοχής, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του διογκωμένου φελλού.

1.7.2. Προβατόμαλλο

Το προβατόμαλλο ανήκει στα οργανικά ινώδη θερμομονωτικά υλικά. Παράγεται με χρήση μαλλιού προβάτου και διατίθεται σε μορφή πλακών για την μόνωση σωλήνων και ως ηχοαπορροφητικά πετάσματα για λόγους ηχομόνωσης.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	2,5/3/4/5/6/7	10
Πυκνότητα	kg/m ³	100	110/120	130
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		>0,03	
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²		>0,1	
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,040	0,05	0,065
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-100		120
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	10		30
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και			10	
Ιδιότητες				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές				
Βαθμός απορρόφησης στα	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			όχι	
Οικονομικά				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³		16	

Πίνακας 1.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά διογκωμένου φελλού

1.7.3 Βαμβακόμαλλο

Το βαμβακόμαλλο είναι ένα ινώδες μονωτικό υλικό από φυτικές ίνες, οι οποίες είναι βιοδιασπώμενες και χρειάζεται προσθήκη ουσιών για να αυξηθεί η πυραντοχή τους. Έτσι, η σύσταση του μονωτικού υλικού είναι 97% ακατέργαστο βαμβακόμαλλο και 3% βορικό άλας ως μέσο αύξησης της πυραντοχής. Οι μορφές, με τις οποίες διατίθεται, είναι πλάκες διάφορων παχών και «μαλλί» για την μόνωση σωλήνων. Το βαμβακόμαλλο είναι κατάλληλο για θερμομόνωση και ηχομόνωση σε οικιακές συσκευές και στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Ο πίνακας 1.9 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του βαμβακόμαλλου.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	2	3/4/5/6/8/9/10/11/1	20
Πυκνότητα	kg/m ³	20		80
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0,005	0,02
Οριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους	W/(mK)	0,0337		0,037
Εύρος χρήσεως min/max	°C	100		160
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και		14,5	18,6	20
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0,4		0,56
στα 250Hz	-	0,75		0,81
στα 1000Hz	-	0,5	0,9	1,05
στα 4000Hz	-	0,72	1	1,07
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	4829		5810
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος	50		100
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες		όχι		Ναι
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³		38 για 25kg/m ³	

Πίνακας 1.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά προβατόμαλλου.

1.7.4. Αφρώδες γυαλί

Πρόκειται για ένα υλικό ορυκτής προέλευσης με κυψελωτή δομή και υψηλών προδιαγραφών για εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα βασικά συστατικά του αφρώδους γυαλιού είναι φυσικά, όπως άμμος, δολομίτης και ανθρακικό νάτριο.

Με θερμική επεξεργασία και με προσθήκη μικρών ποσοτήτων άνθρακα το αφρώδες γυαλί τελικά στερεοποιείται σε μπλοκ. Επίσης συνυπάρχουν μικρές ποσότητες H₂S. Κατά τη διαδικασία δημιουργίας αφρού το μονωτικό υλικό αποκτάει κλειστή κυψελοειδή μορφή με την σύνθεση των εγκλωβισμένων αερίων (με πίεση 0,25 bar) στις κυψελίδες να είναι 99% CO₂ και 0,5% H₂S.

Η βασική εφαρμογή του αφρώδους γυαλιού είναι η θερμομόνωση, αλλά χρησιμοποιείται και σε βιομηχανικές και τεχνικές εφαρμογές, όπως υψηλής θερμοκρασίας μόνωση και μόνωση σωλήνων. Ο πίνακας 1.10 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του αφρώδους γυαλιού. Από τον σχετικό πίνακα απουσιάζουν οι ακουστικές ιδιότητες, διότι δεν υπάρχουν σχετικά διαθέσιμα στοιχεία.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές				
Πάχος υλικού	cm	0,4-1	6/8/10/12/12,5/14/1	18
Πυκνότητα	kg/m ³	20		60
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		0,031	
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)		0,0355	
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-80		100
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	1		2
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και			11,6	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		B2	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-		0,56	
στα 250Hz	-		0,70	
στα 1000Hz	-		0,75	
στα 4000Hz	-		0,84	
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			8,8
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια	έτος		>50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς	kWh/m ³		10	

Πίνακας 1.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά βαμβακόμαλλου

1.7.5. Περλίτης

Πρόκειται στην πραγματικότητα για μία ευρύτερη οικογένεια διογκωμένων ανόργανων πορωδών υλικών, γνωστότερο των οποίων είναι ο

περλίτης. Τα διογκωμένα πορώδη υλικά αποτελούνται από τον περλίτη, το οξειδίο του πυριτίου και το διογκωμένο φυσικό γυαλί (ηφαιστειακής προέλευσης) ή από διογκωμένο γυαλί, το οποίο προέρχεται από καθαρό, χωρίς άλλες προσθήκες, γυαλί.

Τα διογκωμένα πορώδη υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στη θερμομόνωση κτιρίων, στη θερμομόνωση δωματίων και στην εξασφάλιση των κλίσεων τους, στην ηχοπροστασία από κτυπογενείς ήχους δαπέδων και σε περιπτώσεις θερμομόνωσης και εξοικονόμησης βάρους στα επιχρίσματα των οικοδομών.

Ο πίνακας 1.11 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγροπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) του περλίτη. Για το πάχος δεν μπορεί να δοθεί μια τυπική τιμή, αφού πρόκειται για χύδην υλικό και αντίστοιχα, η πυκνότητα παρουσιάζει μια διακύμανση από 80 kg/m^3 έως 800 kg/m^3 , η οποία οφείλεται στην διαφορετική σύνθεση του βασικού υλικού γυαλί ή ηφαιστειακό πέτρωμα. Από τον σχετικό πίνακα απουσιάζουν οι ακουστικές ιδιότητες, διότι υπάρχουν σχετικά διαθέσιμα στοιχεία αν και υπάρχουν εφαρμογές στην ηχομόνωση.

1.7.6 Αφρός χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC)

Το PVC υπάρχει με δύο διαφορετικές μορφές, μία καθαρώς θερμοπλαστική που αποκαλείται γραμμικός αφρός PVC και μια χιαστής σύνδεσης ισοκυανικού τροποποιημένου τύπου. Το γραμμικό PVC έχει υψηλή ολκιμότητα και αρκετά καλές μηχανικές ιδιότητες, αλλά μαλακώνει σε υψηλές θερμοκρασίες. Το χιαστής σύνδεσης PVC είναι πιο σκληρό, έχει υψηλότερη αντοχή και ακαμψία, είναι λιγότερο ευαίσθητο στην θερμότητα, αλλά είναι πιο εύθραυστο. Έχει τελική επιμήκυνση περίπου 10% σε εφελκυσμό, που είναι πολύ μεγαλύτερη από τα περισσότερα αφρώδη υλικά. Ο αφρός χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC) είναι διαθέσιμος σε καθορισμένου μεγέθους κομμάτια πυκνότητας από 30 έως 400 kg/m^3 .

1.7.7 Αφρός πολυμεθακρυλιμιδίων (PMI)

Τα πορώδη πλαστικά Acrylimide κατασκευάζονται από διογκωμένο ιμίδιο και μεταλλαγμένα polycrylates. Οι μηχανικές του ιδιότητες είναι άριστες, ίσως οι καλύτερες από όλα τα αφρώδη κυψελοειδή υλικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Το PMI είναι αρκετά εύθραυστο με τελική επιμήκυνση(4) 3 σε τάση εφελκυσμού. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η αντοχή στην θερμοκρασία που καθιστά δυνατή την χρήση των PMI αφρών σε συνδυασμό με εποξικά - προεμπροτισμένα υλικά για εφαρμογές σε περιβάλλον μεγαλύτερο των 1800. Η δομή των κυψελών είναι πολύ λεπτή με κλειστές κυψέλες και πυκνότητα που κυμαίνεται από 30 - 300 kg/m^3 . Η θερμική αγωγιμότητα ποικίλλει με τη θερμοκρασία. Για τον αφρό PMI ποικίλλει από περίπου $0,015 \text{ W/m} \text{ } ^\circ\text{C}$ - $160 \text{ } ^\circ\text{C}$ σε $+ 140 \text{ } ^\circ\text{C}$ για τον αφρό PVC.

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά χαρακτηριστικά		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές				
Πάχος υλικού	cm	2,5	3/7/14/15	18
Πυκνότητα	Kg/m ³	100	106/120/165	180
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²	0,24		0,28
Όριο θραύσης	N/mm ²	0,3		0,5
Ελλειπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C	W/(mK)	0,038		0,063
Εύρος χρήσεως min/max	°C	-260		430
Ιδιότητες υγροπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-		∞	
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και			0	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα	-			
στα 250Hz	-			
στα 1000Hz	-			
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		50	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	MJ/kg	25		50

Πίνακας 1.10 :Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρώδους γυαλιού

1.7.8 Ξυλόμαλλο (απλές και σύνθετες πλάκες)

Το ξυλόμαλλο ανήκει στην κατηγορία των σύνθετων θερμομονωτικών υλικών και αποτελείται από ξυλώδεις ίνες ή ακόμη και καλάμια, φύκια και άλλα λεπτά οργανικά υλικά και συγκολλητική ύλη τσιμέντο ή καυστική μαγνησία. Τρεις ομάδες προϊόντων κυκλοφορούν στο εμπόριο:

- ελαφρές πλάκες από ξυλόμαλλο (HWL): Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται μεγάλες ίνες ξυλόμαλλου από μη επεξεργασμένο ξύλο και τσιμέντο, σύμφωνα με το DIN 1164, μέρος 1, ή αντί του τσιμέντου καυστικό οξείδιο του μαγνησίου. Όταν χρησιμοποιείται το τσιμέντο ως συνδετικό υλικό, μπορεί να προστεθεί χλώριο μέχρι 0,35%.

σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και διογκωμένη πολυστερίνη (HS-ML): Οι ελαφρές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από πολυστερίνη σύμφωνα με το DIN 1101

Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά στοιχεία		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm			
Πυκνότητα	kg/m ³	50	80/90/100/170	800
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²		-	
Όριο θραύσης	N/mm ²		-	
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²			
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,040	0,042	0,065
Εύρος χρήσεως Min/Max	°C	-273		750
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	-	3		4
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία				
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής	-		A1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz	-	0		0,2
στα 250Hz	-	0,1		0,25
στα 1000Hz	-	0,25		0,6
στα 4000Hz	-			
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²	1,5		110
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος			
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			Όχι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/m ³	90		140

Πίνακας 1.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά περλίτη

- αποτελούνται από ένα μονωτικό στρώμα πολυστερίνης Σύμφωνα με το DIN 18164 με επένδυση από τη μια ή και από τις δύο πλευρές με λεπτές πλάκες ξυλόμαλλου.
- σύνθετες πλάκες από ξυλόμαλλο και πετροβάμβακα (Min-ML): Οι ελαφριές προκατασκευασμένες πολυστρωματικές πλάκες από ορυκτές ίνες, σύμφωνα με το DIN 1101 αποτελούνται από ένα στρώμα μονωτικού ορυκτοβάμβακα, σύμφωνα με το DIN 18165 και δύο επιφάνειες από ορυκτό συνδετικό ξυλόμαλλο, που περιβάλλουν τον ορυκτοβάμβακα.

Ο πίνακας 1.12 παρουσιάζει συγκεντρωτικά τις ιδιότητες (μηχανικές, θερμικής προστασίας, υγραπροστασίας, πυρασφάλειας, ακουστικές και αντοχής στη χρήση) και των 3 κατηγοριών ξυλόμαλλου



Σχήμα 1.53: Πλάκες από ξυλόμαλλο : α) Πλάκα ξυλόμαλλου με τσιμέντο ,β) πλάκες ξυλομάλλου τσιμέντου με πυρήνα διογκωμένης Πολυστερίνης, γ) πλάκες ξυλόμαλλου με πετροβάμβακα

1.7.9. Διαφανή θερμομονωτικά υλικά

Η διαφανής μόνωση μπορεί να περιγραφεί ως ένας «μηχανισμός» που μας επιτρέπει την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με ελεγχόμενη χρήση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες, όπως τα συμβατικά αδιαφανή μονωτικά υλικά. Ο μηχανισμός αυτός επιτυγχάνεται με τη χρήση στα διαφανή μονωτικά υλικά επικαλυπτικών στρωμάτων χαμηλής ακτινοβολίας, που μειώνουν την διαπερατότητα του γυαλιού στην θερμική ακτινοβολία, ενώ δεν επηρεάζεται η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι το μεν φως μπορεί να περάσει, η δε θερμότητα εμποδίζεται.

Η συνεχής εξέλιξη των διαφανών μμονωτικών υλικών οδήγησε στην εξέλιξη δύο γεωμετρικών κατηγοριών τα απορροφητικά κάθετα στρώματα και τις ημιομογενείς δομές.

Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών των διαφανών θερμομονωτικών υλικών έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη ενός συντελεστή θερμικής διαπερατότητας χαμηλότερο από $1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, ενώ διατηρείται η ηλιακή διαπερατότητα σε ποσοστό υψηλότερο του 70%.

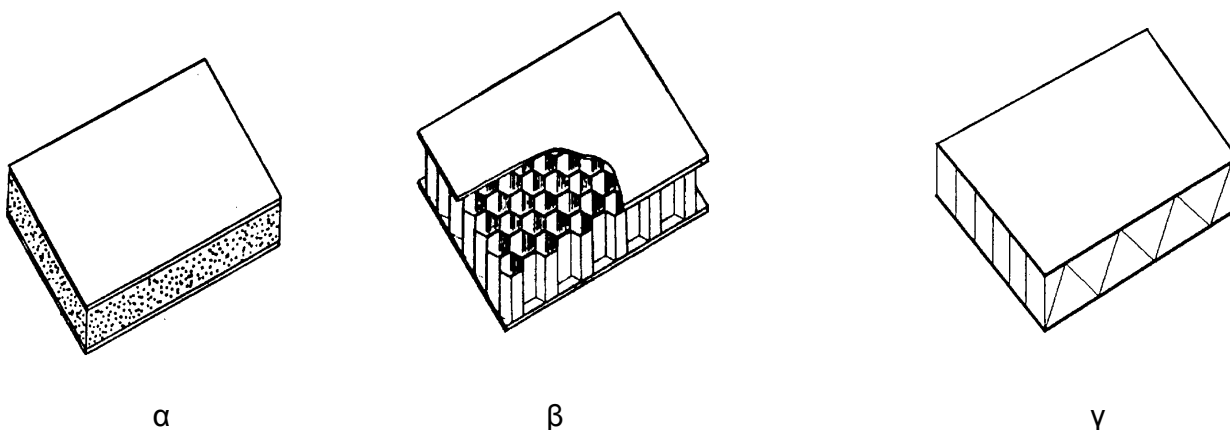
Ιδιότητες	Μονάδες	Τεχνικά στοιχεία		
		Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή
Μηχανικές ιδιότητες				
Πάχος υλικού	cm	1,5	3/3,5/4/4,5/5	10
Πυκνότητα	kg/m ³	360		570
Αντοχή στον εφελκυσμό	N/mm ²			
Όριο θραύσης	N/mm ²			
Θλιπτική τάση σε 10% βράχυνση	N/mm ²	0,15		0,2
Ιδιότητες θερμικής προστασίας				
Θερμική αγωγιμότητα λ _R στους 10°C ¹	W/(mK)	0,055		0,065
Εύρος χρήσεως Min/Max	°C			250
Ιδιότητες υγραπροστασίας				
Συντελεστής αντίστασης στη διάχυση υδρατμών		5		10
Ποσότητα υγρασίας εξομοίωσης στους 23 °C και 80% σχ. υγρασία			6	
Ιδιότητες πυρασφάλειας				
Κατηγορία πυραντοχής			B1	
Ακουστικές ιδιότητες				
Βαθμός απορρόφησης στα 125Hz			0,17	
στα 250Hz			0,22	
στα 1000Hz			0,78	
στα 4000Hz			0,65	
Αντίσταση ροής κατά μήκος	kPa s/m ²			
Δυναμική ακαμψία	MN/m ³			
Αντοχή στη χρήση				
Αναμενόμενη διάρκεια χρήσης	έτος		>75	
Υλικά προστασίας από βιολογικούς παράγοντες			ναι	
Οικονομικά στοιχεία				
Ποσό πρωτογενούς ενέργειας	kWh/kg		65	

Πίνακας 1.12. Τεχνικά χαρακτηριστικά πλακών από ξυλόμαλλο

ΣΥΝΘΕΤΑ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΠΑΝΕΛ ΤΥΠΟΥ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ : ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

2.1. Εισαγωγή στην τεχνολογία των σύνθετων πάνελ ,τύπου σάντουιτς

Τα σύνθετα πάνελ (τύπου σάντουιτς) που χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία σε οποιαδήποτε εφαρμογή, είναι ειδικές κατασκευές που γίνονται από συγκόλληση διαφορετικών υλικών. Η σύνδεση του ενός υλικού με το άλλο, δίνει την δυνατότητα να αξιοποιηθούν οι ιδιότητες του κάθε υλικού ξεχωριστά, από το οποίο αποτελείται το πάνελ, με αποτέλεσμα να προκύπτουν βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τυπικά ένα σύνθετο πάνελ αποτελείται από τρία κύρια μέρη: δύο λεπτά σκληρά και ανθεκτικά φύλλα στις εξωτερικές επιφάνειες, με ένα ελαφρύ, συμπαγή και χαμηλής πυκνότητας πυρήνα (Σχήμα 2.1)



Σχήμα 2.1: Παραδείγματα σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς : α) πάνελ με πυρήνα από αφρό πολουρεθάνης ή πολυστυρένιο, β) πάνελ με κυψελοειδή πυρήνα, γ) πάνελ με πετροβάμβακα

Με την συγκόλληση των φύλλων με τον πυρήνα επιτυγχάνεται η μεταφορά φορτίων μεταξύ των στοιχείων που συνθέτουν το πάνελ.

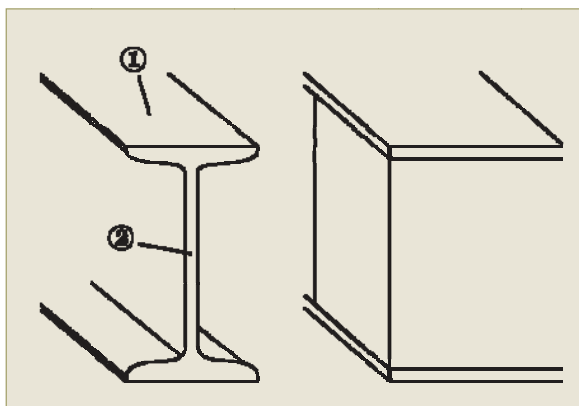
Ο αρχικός σχεδιασμός του σύνθετου πάνελ βασίζεται στους δοκούς με διατομή σχήματος I (βλ. σχήμα 2.2) που είναι ένα αποτελεσματικό δομικό σχήμα, γιατί τοποθετείται όσο το δυνατόν περισσότερο υλικό στα δυο πέλματα τα οποία βρίσκονται μακριά από το κέντρο της κάμψης ή τον ουδέτερο άξονα. Αρκετό υλικό μένει μόνο στην συνδετική “ψυχή” της δοκού για τον συνδυασμό της λειτουργίας των πελμάτων και την αντίσταση στις διατμητικές τάσεις και τα φορτία λυγισμού.

Στο σύνθετο πάνελ, οι εξωτερικές επιφάνειες (το περίβλημα) παίζουν τον ρόλο του πέλματος και ο πυρήνας παίρνει την θέση της “ψυχής” του δοκού. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός, ότι ο πυρήνας ενός σάντουιτς υλικού είναι από διαφορετικό υλικό από τις εξωτερικές επιφάνειες και απλώνεται ως ένα

συνεχόμενο στήριγμα για αυτές, χωρίς να είναι συγκεντρωμένο σε στενή παρειά όπως στην δοκό. Τα εξωτερικά φύλλα δρουν μαζί για να σχηματίσουν ένα αποτελεσματικό ζεύγος ανάληψης των εφαρμοσμένων τάσεων ή ανάπτυξης ροπών αντίστασης εξουδετερώνοντας τις ροπές κάμψης. Ο πυρήνας αντιστέκεται στην διατμητική τάση και σταθεροποιεί τις εξωτερικές επιφάνειες έναντι των κάμψεων και των πτυχώσεων. Η κόλλα (όταν χρειάζεται) που ενώνει τα φύλλα με τον πυρήνα είναι κρίσιμης σπουδαιότητας.

Το αρχικό πλεονέκτημα ενός σύνθετου πάνελ είναι ο πολύ υψηλός λόγος ακαμψίας/βάρους και υψηλός λόγος αντίστασης καμπτικής καταπόνησης / βάρους. Το σάντουιτς ενισχύει την αντοχή στην κάμψη της δομής χωρίς την προσθήκη ουσιαστικού βάρους. Τα σύνθετα πάνελ τύπου σάντουιτς έχουν δείξει σε πολλές εφαρμογές τις ιδιότητές τους ως προς την αντοχή στην καταπόνηση, ηχομόνωση και πρόσθετη θερμομόνωση. Η χρήση κυψελοειδών πυρήνων προλαμβάνει την ανάγκη ενίσχυσης θερμικής μόνωσης, εξασφαλίζοντας χαμηλό δομικό βάρος, δεδομένου ότι οι περισσότεροι κυψελοειδείς πυρήνες έχουν μια χαμηλή θερμική αγωγιμότητα (βλ. ΚΕΦ. 1.2.1 & 1.2.2)

Ακόμη ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα σύνθετα πάνελ τύπου σάντουιτς, είναι η μείωση του κόστους λόγω του χαμηλού βάρους και της μείωσης των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την αποδοτική σχετικά με το κόστος, παραγωγική διαδικασία.



Σχήμα 2.2: Η βασική αρχή του πάνελ βασίζεται στην δοκό σχήματος I

2.2 Αποδοτικότητα και κόστος υλικών εξωτερικής επένδυσης σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς

Η αποδοτικότητα των υλικών καθορίζεται από την ικανότητα μιας δομής με όσο το δυνατό ελάχιστο βάρος , να αντέχει όσο το δυνατό μεγαλύτερο φορτίο. Αν το γεωμετρικό σχήμα, η φόρτιση και ο τύπος στήριξης δεν αλλάξουν η αποδοτικότητα όλης της δομής εξαρτάται μόνο από την αποδοτικότητα των υλικών. Η αποδοτικότητα ενός υλικού συνήθως προσδιορίζεται ως ο λόγος τως μηχανικών επιδόσεων προς το βάρος. Για την αντοχή στην κάμψη και στην στρέβλωση των ελασμάτων η αποδοτικότητα του υλικού προς το βάρος είναι $E/3\rho$ και για την αντοχή σε εφελκυσμό και συμπίεση είναι E/ρ (όπου E είναι ο συντελεστής ελαστικότητας και ρ η πυκνότητα του υλικού). Στον πίνακα 1 αναφέρονται οι ιδιότητες κάποιων από τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως

για την κατασκευή σύνθετων πάνελς τύπου σάντουιτς και ενδεικτικό κόστος των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους, αλλά και το κέρδος που προκύπτει από το κόστος που εξοικονομείται χάρις στο ελαφρύ βάρος τους.

Υλικά	Συντελεστής ελαστικότητας E (GPa)	Πυκνότητα υλικού ρ (kg/dm ³)	Κόστος υλικού που εξοικονομείται σε βάρος (€/kg)	Κόστος του υλικού κατασκευής των πάνελ ανά όγκο (€/dm ³)	Κόστος του υλικού που εξοικονομείται με 2€/kg σε όγκο (€/dm ³)	Συνολικά κόστος (€/dm ³)	
εξωτερική επιφάνεια (όψεις)	Χάλυβας	210	7,8	0,6	4,68	15,60	20,28
	Αλουμίνιο	72	2,7	2,0	5,40	5,40	10,80
	Ενισχυμένο με υαλόνημα πλαστικό	20	1,7	3,3	5,61	3,40	9,01
	Ενισχυμένο με φυσικές ίνες πλαστικό	6	1,0	1,1	1,10	2,20	3,30
πυρήνας	Πολυπροπυλαίνιο	1,2	0,9	1,0	0,90	1,80	2,70
	Ξύλο από πλάσα	0,15	0,15	10,0	1,50	0,30	1,80
	Κινελατό πολυπροπυλαίνιο	0,03	0,08	4,0	0,32	0,16	0,48
	Κινελατό χαρτί	0,02	0,08	2,0	0,16	0,16	0,32

Πίνακας 2.1 : Ιδιότητες και ενδεικτικό κόστος κάποιων υλικών

2.3 Υλικά και προϋποθέσεις υλικών εξωτερικής επένδυσης σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς

Σχεδόν οποιοδήποτε από τα γνωστά υλικά που διατίθεται σε μορφή λεπτού φύλλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις εξωτερικές επιφάνειες (περίβλημα) ενός σύνθετου πάνελ.

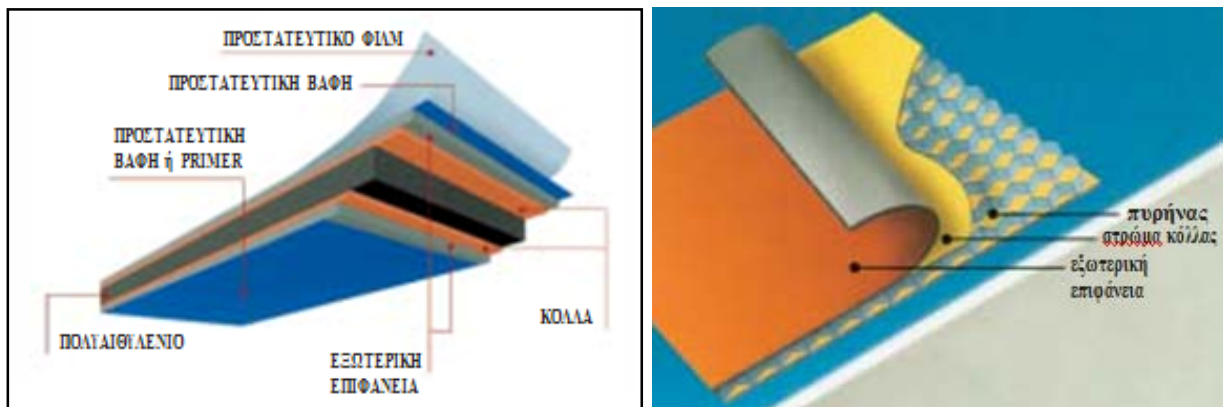
Οι ιδιότητες πρωταρχικού ενδιαφέροντος που πρέπει να πληρούν οι εξωτερικές επιφάνειες είναι:

- Υψηλός βαθμός σκληρότητας που δίνει μεγάλη αντοχή στην κάμψη
- Υψηλή αντίσταση στον εφελκυσμό και αντοχή στην Συμπίεση
 - Αντοχή σε κρούση
 - Επιφανειακό φινίρισμα
 - Αντοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες
 - Αντίσταση στην φθορά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για τις εξωτερικές επιφάνειες των σύνθετων πάνελς μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: μεταλλικά και μη μεταλλικά υλικά. Στην κατηγορία των μεταλλικών υλικών κατατάσσονται ο χάλυβας, ο ανοξείδωτος χάλυβας και τα κράματα αλουμινίου. Υπάρχει ένα πολύ μεγάλο εύρος κραμάτων που χρησιμοποιείται και παρά τον διαφορετικό βαθμό σκληρότητας που έχουν, ο βαθμός ακαμψίας τους είναι πολύ περιορισμένος. Στην κατηγορία των μη μεταλλικών υλικών συμπεριλαμβάνονται υλικά όπως το κόντρα πλακέ, το τσιμέντο, ο καπλαμάς, ενισχυμένα συνθετικά πλαστικά και φάιμπερς.

2.4. Πυρήνες σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς

Οι πυρήνες των σύνθετων πάνελ που χρησιμοποιούνται για μετάδοση της φόρτισης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες: κυματοειδείς, ξύλο και κυψελοειδείς αφροί. Καταρχήν το υλικό του πυρήνα πρέπει να έχει χαμηλή πυκνότητα προκειμένου να προσθέτει το λιγότερο δυνατόν στο συνολικό βάρος της κατασκευής του πάνελ. Ο πυρήνας είναι αυτός που υποβάλλεται κατά κύριο λόγο σε διάτμηση και η παραμόρφωσή του λόγω διάτμησης προκαλεί ολικές παραμορφώσεις και διατμητικές καταπονήσεις στο πάνελ. Κατά συνέπεια, το υλικό του πυρήνα πρέπει να επιλέγεται με κριτήριο την ανθεκτικότητα σε εγκάρσια φορτία και το μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση να είναι αρκετά υψηλό, ώστε να είναι δύσκολο να υποστεί παραμόρφωση διατμητικά. Το κρίσιμο φορτίο δημιουργίας πτυχώσεων (wrinkling stress) εξαρτάται από το μέτρο ελαστικότητας και από το μέτρο διάτμησης του πυρήνα. Οι άλλες ιδιότητες του πάνελ, όπως η θερμική και ακουστική μόνωση, εξαρτώνται κυρίως από το υλικό του πυρήνα και το πάχος του. Οι βασικές ιδιότητες λοιπόν του πυρήνα είναι η πυκνότητα, το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο διάτμησης, η ακαμψία και η θερμική και ακουστική μόνωση.

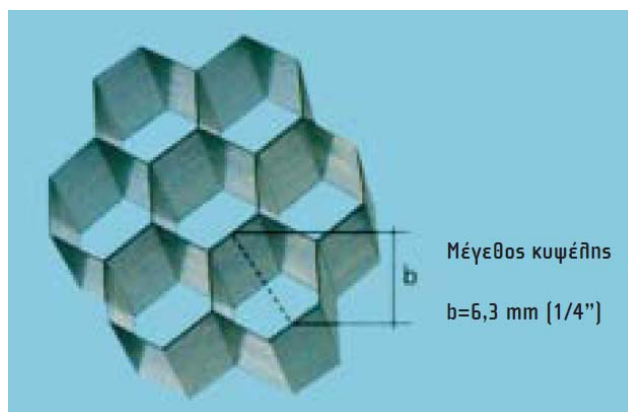


Σχήμα 2.3: Κατασκευή σύνθετων πάνελ

2.4.1 Κυψελωτοί πυρήνες

Οι πιο διαδεδομένοι κυψελωτοί πυρήνες είναι κατασκευασμένοι από αλουμίνιο ή από ύφασμα εμποτισμένου υαλονήματος ή ινών αραμιδίου (κέβλαρ). Λόγω των διαφορετικών μεθόδων παραγωγής, οι περισσότεροι κυψελωτοί πυρήνες έχουν διαφορετικές ιδιότητες ο ένας από τον άλλο. Αυτό διαφαίνεται εύκολα, καθώς τόσο η διαδικασία δημιουργίας πτυχώσεων όσο και διαστολής προκαλεί ένα διπλό τοίχωμα προς μια κατεύθυνση και μονά τοιχώματα προς την άλλη. Υπερτεταμένες “κυφέλες” δημιουργούν πρόσθετη ανισοτροπία. Οι ιδιότητες του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι περισσότεροι κυψελωτοί πυρήνες, σχετίζονται με τρεις κατευθύνσεις: το πλάτος (W), το μήκος (L) και την εγκάρσια (T). Οι κυψελωτοί πυρήνες έχουν άριστες ιδιότητες όπως πολύ υψηλή, κάθετα προς τις εξωτερικές επιφάνειες

σκληρότητα, την μεγαλύτερη αντοχή στην διάτμηση και την μεγαλύτερη ως προς το βάρος σχέση, αντίσταση σε ολικό φορτίο θραύσης, από σχεδόν όλους τους υπάρχοντες πυρήνες. Τα κύρια μειονεκτήματά τους, είναι το υψηλό κόστος, ο δύσκολος χειρισμός κατά τη διάρκεια της παραγωγής του πάνελ (στρώσιμο και συνένωση του πυρήνα με τις εξωτερικές επιφάνειες, και το γεγονός ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με υγρή στρώση προεμπροτισμού στην κατασκευή.



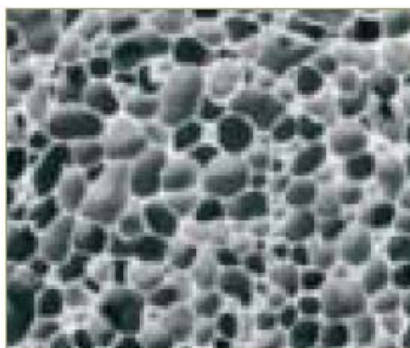
Σχήμα 2.4: Παράδειγμα Κυψελωτού πυρήνα

2.4.2 Κυψελοειδείς αφροί

Η σχετικά πρόσφατη ανάπτυξη υψηλής ποιότητας και πυκνότητας κυψελοειδών αφρών είχε σημαντική επίδραση στην αντίληψη κατασκευής και χρήσης του σύνθετου πάνελ. Οι κυψελοειδείς αφροί δεν προσφέρουν την ίδια με τους κυψελωτούς πυρήνες, υψηλή σκληρότητα και αναλογία σχέσης αντίστασης - βάρους. Αρχικά οι κυψελοειδείς αφροί είναι γενικά λιγότερο ακριβοί από τους κυψελωτούς πυρήνες, αλλά το πιο σημαντικό είναι ένα στερεό σε μακροσκοπικό επίπεδο υλικό, που κάνει την κατασκευή των σάντουιτς πάνελ πολύ πιο εύκολη. Η αφρώδης επιφάνεια είναι εύκολα κατεργάσιμη για την παραγωγή του συμπαγούς πυρήνα και την διαμόρφωσή του, ενώ η συγκόλληση του πυρήνα με τα φύλλα των εξωτερικών επιφανειών γίνεται με κόλλα (όταν είναι απαραίτητη). Επιπλέον, τα αφρώδη υλικά προσφέρουν υψηλή θερμική μόνωση και η συμπαγής κυψελοειδής μάζα τους, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για παράδειγμα στην ναυπηγική, εγγυάται την επιπλευσιμότητά τους.

Η ποικιλία των αφρών που χρησιμοποιείται είναι:

- Αφρώδες πολυουρεθάνιο (βλ. Υποκεφ. 1.6.5.)
- Αφρώδες πολυστυρένιο (βλ. Υποκεφ. 1.6.3. & 1.6.4)
- Αφρός χλωριούχου πολυβινυλίου (PVC) (βλ. ΚΕΦ Υποκεφ. 1.7.7)
- Αφρός πολυμεθακρυλιμιδίων (PMI) (βλ. Υποκεφ. 1.7.9.)



Σχήμα 2.5: Δομή Κυψελοειδούς Αφρού

2.5 Επιλογή του υλικού του πυρήνα

Για την πιο οικονομική επιλογή του υλικού του πυρήνα, εκτός από τις μηχανικές ιδιότητες απαιτείται και χαμηλή πυκνότητα και χαμηλό κόστος του υλικού. Το πάχος ενός πάνελ με βάρος ανά μονάδα επιφανείας 1kg/m^2 μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας το βάρος ανά μονάδα επιφανείας με την πυκνότητα ρ . Αυτό το πάχος του 1kg/m^2 των πάνελς μπορεί να ληφθεί ως συνάρτηση του κόστους του υλικού. Στο σχήμα 2.6 φαίνεται το πάχος που προσφέρουν διαφορετικά υλικά για το ίδιο κόστος και βάρος. Όπως και να έχει, στο σχήμα 2.6 φαίνονται όλα τα υλικά με ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες, με τα πιο ελαφρά να εμφανίζονται στο επάνω μέρος του διαγράμματος, ενώ τα υλικά με το χαμηλότερο κόστος σε €/kg, εμφανίζονται στο αριστερό μέρος του διαγράμματος. Αν για μια εφαρμογή είναι σημαντικά τόσο το χαμηλό κόστος όσο και το χαμηλό βάρος, μια άριστη επιλογή υλικού μπορεί να γίνει υπολογίζοντας και την πρόσθετη αξία που επιφέρει το βάρος που εξοικονομείται. Οι καμπύλες με τις διακεκομμένες κόκκινες γραμμές που εμφανίζονται στο διάγραμμα, δείχνουν το αντίστοιχο σύνολο του κόστους του υλικού και του κόστους βάρους σε $0,5$, 1 και $2\text{ dm}^3/\text{€}$ για τιμή εξοικονόμησης βάρους 2 €/kg . Μπορεί να γίνει σύγκριση του πάχους και του κόστους ενός κιλού πάνελ ανά τετραγωνικό μέτρο. Για παράδειγμα, ένα φύλλο πολυπροπυλαίνιου ενός τετραγωνικού μέτρου και ενός κιλού ξύλου μπάλας βάρους είναι περίπου $1,1$ χιλιοστό παχύ και το κόστος του είναι 1€ . Μπορεί να γίνει σύγκριση του παχύτερου ή λεπτότερου φύλλου κάθε υλικού κατά μήκος των γραμμών με το αντίστοιχο πάχος ανά κόστος. Το κόστος κάθε υλικού ανάλογα με το πάχος του μπορεί να βρεθεί και κατά μήκος των διαγώνιων μαύρων γραμμών στο διάγραμμα του σχήματος 2.6. Για παράδειγμα, συγκρίνοντας δύο στρώσεις υλικών σε στερεά μορφή, η μία από πολυπροπυλαίνιο και η άλλη από ξύλο μπάλας με το ίδιο πάχος, φαίνεται ότι το πολυπροπυλαίνιο κοστίζει 60% περισσότερο από την μπάλας και ότι είναι 6 φορές βαρύτερο. Το σχεδιάγραμμα του σχήματος 2.7 δίνει την δυνατότητα σύγκρισης βάρους και κόστους διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πυρήνων των σύνθετων πάνελς. Πρέπει όμως να λαμβάνονται πάντα υπόψη και οι ιδιότητες του κάθε υλικού για μια αντικειμενική σύγκριση. Αφού γίνει η επιλογή με βάση τις ιδιότητες των υλικών για τον πυρήνα και το περίβλημα, μπορεί να βρεθεί και το ιδανικό πάχος του σάντουιτς. Ο βαθμός

2.6 Παραγωγικές διαδικασίες

Είναι αρκετές οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σύνθετων πάνελς, ανάλογα και με τον προορισμό χρήσης και τα υλικά που επιλέγονται. Ανάμεσά τους συγκαταλέγονται:

2.6.1 Συγκόλληση των στρωμάτων με κόλλα

Είναι ο πιο απλός τρόπος κατασκευής ανεξάρτητα από το υλικό των εξωτερικών φύλλων και του πυρήνα. Στρώσεις κόλλας παρεμβάλλονται μεταξύ των εξωτερικών φύλλων και του πυρήνα. Μετά το σύνολο υπόκειται σε αυξανόμενη θερμοκρασία και πίεση ανάλογα με τις προδιαγραφές της συγκολλητικής ουσίας και κατόπιν το σάντουιτς ψύχεται. Για εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές επιδόσεις ακολουθείται η μέθοδος εν κενώ σε λέβητα, ενώ για λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές μπορεί να είναι αρκετή η εφαρμογή της μεθόδου εν κενώ και η χρήση βάρους ή υδραυλικής πρέσας. Από την στιγμή που η διαρροή συγκολλητικής ουσίας θα πρέπει να είναι μικρή ή ανύπαρκτη αν η συγκόλληση έχει γίνει σωστά, τότε η διαδικασία εν κενώ θεωρείται απλή, συγκρινόμενη με την διαδικασία έλασης. Συνήθως πρέπει να γίνεται μια προετοιμασία των επιφανειών προς συγκόλληση για να επιτευχθεί μια γερή συνένωση. Εκτός αν το αφρώδες υλικό που θα αποτελέσει τον πυρήνα έχει ήδη τικτεί σε συμπαγή μάζα και έχουν απομακρυνθεί όλα τα μαλακά σωματίδια, τότε μπορεί να γίνει ο προεμποτισμός.

Συνήθως τα ελάσματα που κατασκευάζονται για να χρησιμοποιηθούν στα σύνθετα πάνελς έχουν μια “κρυφή” προστατευτική επίστρωση, η οποία αφαιρείται πριν την διαδικασία συνένωσης αφήνοντας μια καθαρή και κάπως τραχιά επιφάνεια, η οποία πρέπει να ξυθεί κι άλλο για να διασφαλιστεί η κατάλληλη πρόσφυση. Όταν τα εξωτερικά φύλλα είναι μεταλλικά, ο πυρήνας συνήθως είναι από αφρό πολυουρεθάνης ή χλωριούχου πολυβινυλίου (pvc). Η κόλλα χρησιμοποιείται σε υγρή μορφή ή μεμβράνη ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται το πάνελ. Όταν υπερισχύουν οι θερμοσκληρυντικές ουσίες συνένωσης, μπορούν κάλλιστα να χρησιμοποιούνται και θερμοπλαστικές κόλλες. Η κατασκευή πάνελ με την μέθοδο της συγκόλλησης με κόλλα, απαιτεί μια μικρομεσαία επένδυση, η οποία όμως αυξάνει πολύ όταν χρησιμοποιείται λέβητας για τις κόλλες ρητίνης που χρησιμοποιούνται συνήθως και απαιτούν αυξανόμενες θερμοκρασίες και εξωτερικά εφαρμοσμένη πίεση. Τα σύνθετα πάνελς που κατασκευάζονται με την μέθοδο της συγκόλλησης των επιφανειών με κόλλα, διακρίνονται για τις πολύ καλές έως άριστες ελεγχόμενες μηχανικές ιδιότητες.

2.6.1.1 Συγκολλητικές ουσίες και ιδιότητές τους

Υπάρχει μια ποικιλία συγκολλητικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την συνένωση των υλικών (εξωτερικές επιφάνειες, πυρήνας και η ίδια η κόλλα) που αποτελούν ένα σύνθετο πάνελ τύπου σάντουιτς. Η κόλλα πρέπει να ικανοποιεί τις μηχανικές απαιτήσεις της δομής προσφέροντας ταυτόχρονα καλή συγκόλληση μεταξύ των υλικών και διασφαλίζοντας την λειτουργικότητα του πάνελ όσον αφορά στην καταπόνηση, την αντοχή στην θερμότητα, την σκληρότητα, την γήρανση και τον ερπυσμό. Οι διάφορες κόλλες που χρησιμοποιούνται είναι:

- Εποξικές ρητίνες

Είναι χαμηλής θερμοκρασίας σκληρυντικές ρητίνες, συνήθως μεταξύ των 20 και 90 °C, αλλά κάποια παρασκευάσματα είναι κατασκευασμένα για σκλήρυνση σε υψηλές θερμοκρασίες (130 - 200 °C). Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς διαλύτες και χωρίς την δημιουργία πτητικών υποπροϊόντων και γι' αυτό έχουν μικρή συστολή. Η απουσία διαλυτών κάνει τα εποξικά προϊόντα κατάλληλα για όλα σχεδόν τα υλικά κατασκευής πυρήνων. Τα εποξικά είναι διαθέσιμα σε παχύρρευστη μορφή (κρέμα), μεμβράνη (film), σκόνη ή σε στερεά μορφή. Η τυπική αντοχή διάτμησης των εποξικών είναι περίπου 20-25 Mpa.

- Τροποποιημένες εποξικές ενώσεις

Οι εποξικές ενώσεις με θερμική σκλήρυνση είναι όμοιες με τις κοινές εποξικές ενώσεις, αλλά αναμεμιγμένες με συνθετικό καουτσούκ, όπως ελαστομερές πολυσουλφίδιο το οποίο βελτιώνει πολύ την αντοχή στην αποφλοίωση.

Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των ελαστομερών τόσο αυξάνεται η ολκιμότητα και ο ερπυσμός ενώ αντίστοιχα μειώνεται η αντοχή στην θερμότητα. Ακόμη εμπεριέχει νάιλον που βελτιώνει τις ιδιότητες συγκόλλησης.

- Φαινολικές ουσίες

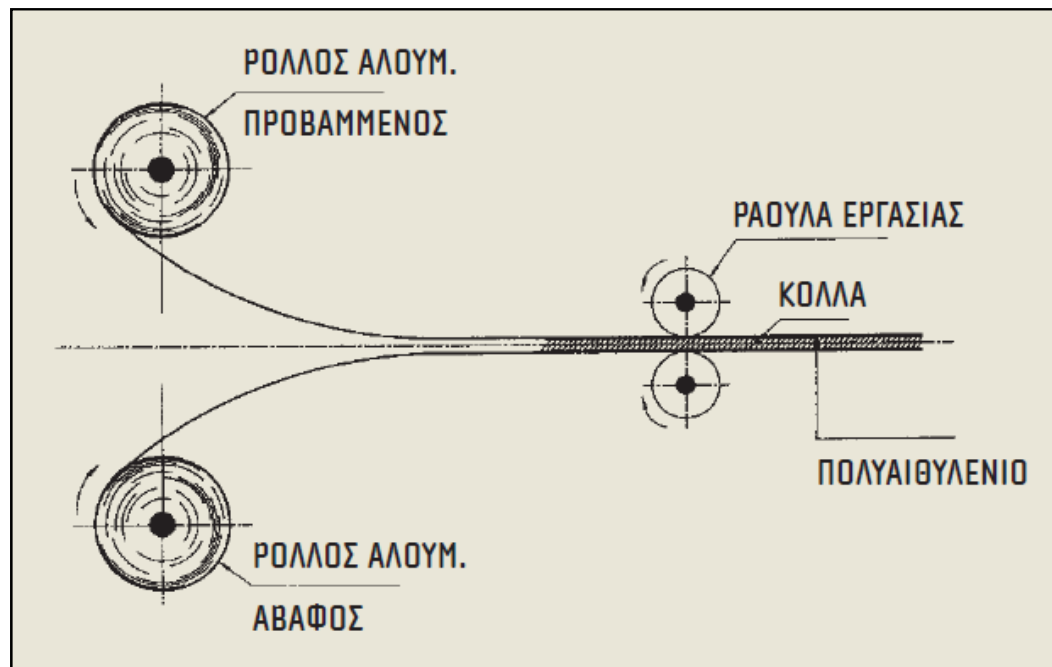
Παρουσιάζουν θερμική και μηχανική αντοχή, καλές μονωτικές ιδιότητες και είναι απρόσβλητες στην επίδραση των διαλυτών και των χημικών αντιδραστηρίων. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι ότι αναδίδουν μια υδάτινη ουσία κατά την θερμοσκλήρυνση καθιστώντας απαραίτητο τον αερισμό και το ιξώδες είναι αρκετά υψηλό, λόγος για τον οποίο πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκολλητικά φιλμς. Αυτά τα χαρακτηριστικά έχουν περιορίσει την χρήση των φαινολικών ουσιών κυρίως στην κατασκευή των σάντουιτς πάνελ με κυψελοειδή πυρήνα, όπου ο αερισμός δεν είναι εμπόδιο και απαιτείται υψηλή θερμοκρασία για την διαδικασία συγκόλλησης. Η έκλυση των αερίων καθιστά τις φαινολικές ουσίες ακατάλληλες για την δημιουργία σύνθετων πάνελς για χρήση στην εσωτερική δόμηση, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές όπου ο αερισμός είναι εφικτός.

- Πολυουρεθάνες

Οι κόλλες πολυουρεθάνης είναι μάλλον αυτές που χρησιμοποιούνται περισσότερο για την συνένωση των στοιχείων που αποτελούν το σύνθετο πάνελ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρέχουν άριστη πρόσφυση στα περισσότερα υλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την μορφή κρέμας ή σε υγρή μορφή σε ένα μεγάλο φάσμα ιξώδων μπορεί να έχουν μεγάλο ή σύντομο χρόνο σκλήρυνσης, μπορούν να γίνουν επιβραδυντικά φωτιάς και ανθεκτικά στο νερό. Οι πολυουρεθάνες σχεδόν δεν εμπεριέχουν διαλύτες και γι' αυτό είναι φιλικές προς το περιβάλλον και η λιγότερη τοξική ουσία όλων των ρητινών.

- Αιθυλουρεθάνη

Η αιθυλουρεθάνη είναι μια ρητίνη συμβατή με τους πολυεστέρες και τους βινυλαιθέρες. Στην πραγματικότητα οι ακρυλικές ενώσεις είναι τόσο συμβατές, που μπορούν να ενσωματωθούν, για παράδειγμα σε ένα εμποτισμένο πολυεστερικό φύλλο. Οι ακρυλικές ουρεθάνες είναι πολύ ανθεκτικές και δεν παρουσιάζουν σχεδόν καμία συστολή κατά την διαδικασία σκλήρυνσης. Ένας τρόπος για να ενδυναμωθεί η πρόσφυση της εξωτερικής επιφάνειας (του περιβλήματος) με τον πυρήνα, είναι η χρήση ρητίνης ακρυλικής ουρεθάνης για πρώτη ενισχυμένη επίστρωση που είναι πιο κοντά στον πυρήνα. Μετά η συγκόλληση χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ρητίνη πολυεστέρα πάνω από την ακρυλική επίστρωση επιτυγχάνοντας μια άριστη αντοχή συγκόλλησης.

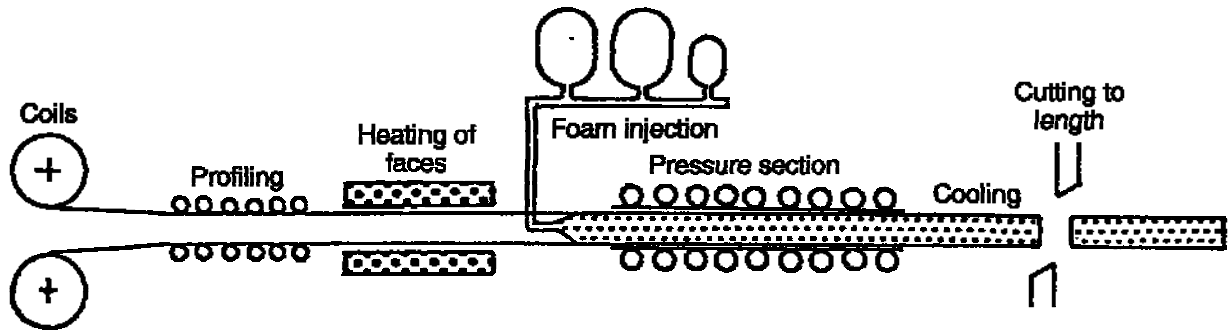


Σχήμα 2.8: Διαδικασία συγκόλλησης των στρωμάτων με κόλλα

2.6.2 Συνεχής “ελασματοποίηση” (Continuous foaming line)

Από οικονομικής απόψεως, η μέθοδος συνεχούς “ελασματοποίησης” για την κατασκευή σύνθετων πάνελς είναι φυσικά προτιμότερη. Ο κατάλληλος τρόπος για την παραγωγή συνεχούς σύνθετου πάνελ είναι με την χρήση πρέσας διπλών ιμάντων. Είναι δυνατή η θέρμανση και ψύξη του υλικού, ενώ ταυτόχρονα υπόκειται και στην απαραίτητη πίεση με τρόπο που να γίνεται και μια εν δυνάμει χρήσιμη συσκευή για τον εμποτισμό και ή ελασματοποίηση σύνθετων υλικών. Όταν χρησιμοποιείται πρέσα διπλών ιμάντων για την κατασκευή σύνθετων πάνελς, το υλικό των εξωτερικών επιφανειών, όπως για παράδειγμα το φύλλο χάλυβα, ξετυλίγεται σε πολύ μεγάλο μήκος. Δύο ρόλοι χάλυβα πρώτα ξετυλίγονται και οδηγούνται μεταξύ των δύο ιμάντων της πρέσας. Μετά ο πυρήνας, σε οποιαδήποτε μορφή, τοποθετείται ανάμεσα στα δύο φύλλα μετάλλου, ενδεχομένως ταυτόχρονα με στρώσεις κόλλας. Τα φύλλα μετάλλου και ο πυρήνας συγκολλούνται μεταξύ τους με ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας και πίεσης και κατόπιν το σάντουιτς ψύχεται υπό πίεση για να

στερεοποιηθεί. Για την επίτευξη ενός πραγματικά συνεχούς αδιάσπαστου πυρήνα, ίσως αποδειχτεί χρήσιμη η επιτόπου έγχυση, και διόγκωση αφρώδους υλικού στον πυρήνα. Ένας εναλλακτικός τρόπος είναι η ενσωμάτωση θερμοπλαστικού πολυμερούς φιλμ που περιέχει ένα αφρίζων συστατικό μεταξύ των φύλλων μετάλλου. Αμέσως μόλις η πρέσα (ράουλα) λιώνει το πολυμερές φιλμ, το αφρίζων συστατικό είναι ελεύθερο να διασταλεί γεμίζοντας έτσι τα κενά μεταξύ των στρώσεων.



Σχήμα 2.9: Παραγωγή σύνθετων υλικών με την μέθοδο της συνεχούς ελασματοποίησης.

2.7 Στατικά χαρακτηριστικά σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς

Εξ ορισμού (βλ. ΚΕΦ 2.1), τα πάνελ τύπου σάντουιτς, μπορούν να θεωρηθούν ως ελαφριές φέρουσες δομές και αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη της παραδοσιακής τεχνολογίας των δοκών σε σχήμα I, όπου η λειτουργία των εξωτερικών επικαλύψεων (πέλματα δοκών) συνίσταται στην αντοχή στις τάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, ενώ η λειτουργία του ενδιάμεσου θερμομονωτικού υλικού (πυρήνας δοκών) συνίσταται στην αντοχή στις διατμητικές καταπονήσεις, καθώς και της συνεχούς σύνδεσης μεταξύ των δύο εξωτερικών επικαλύψεων. Η θεωρία των πάνελ τύπου σάντουιτς, μαζί με τις σχετικές μεθόδους υπολογισμού, μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο εφόσον υπάρχει τέλεια πρόσφυση μεταξύ των στρωμάτων από τα οποία αποτελούνται τα πάνελ.

Η χρήση του σύνθετου πάνελ τύπου σάντουιτς με υψηλό συντελεστή διάτμησης, παρέχει τη δυνατότητα στο μηχανικό – σχεδιαστή να σχεδιάσει πάνελ με μεγάλα διάκενα, χωρίς ενδιάμεσα στηρίγματα, με το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατή η κατασκευή προκατασκευασμένων στοιχείων με υψηλή αντοχή στην κάμψη και με ελάχιστες παραμορφώσεις. Στη σχεδίαση των πάνελ είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη ορισμένα στοιχεία:

- Η συνολική τάση κάμψεως δεν πρέπει να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τιμή τάσης κάμψης για το χρησιμοποιούμενο υλικό.
- Στο ενδιάμεσο υλικό, η διατμητική τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει την επιτρεπόμενη τιμή διάτμησης για το χρησιμοποιούμενο υλικό.
- Η καταπόνηση σε θλίψη και σε εφελκυσμό των υλικών που χρησιμοποιούνται ως εξωτερικές επικαλύψεις των πάνελ, δε θα πρέπει να υπερβαίνουν την επιτρεπόμενη τιμή.

- Η κατασκευή των πάνελ τύπου σάντουιτς πρέπει να υπόκειται σε αυστηρό έλεγχο και στις φάσεις εφαρμογής θα πρέπει να τηρούνται οι απαιτούμενες προδιαγραφές εφαρμογής, που υποδεικνύονται από τους κατασκευαστικούς υπολογισμούς για να επιβεβαιωθεί η εγκυρότητα της συναρμολόγησης μεταξύ των στρωμάτων.
- Υπό συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλοντος, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση των θερμικών ή υγρομετρικών παραμορφώσεων ως επιπρόσθετοι παράγοντες, εκτός από τους προαναφερόμενους.

2.8 Μορφές αστοχίας σύνθετων πάνελ σάντουιτς

Ενας από τους κύριους στόχους της παρούσας εργασίας είναι η πειραματική επαλήθευση των θεωρητικών μορφών αστοχίας των σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς (βλ. Κεφ. 5)

Οι θεωρητικοί τρόποι αστοχίας των σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς είναι οι εξής :

1. Παραμόρφωση λόγω εφελκυσμού της εξωτερικής επένδυσης. (Σχήμα 2.10 α)
2. Δημιουργία πτυχώσεων (wrinkling) στην εξωτερική επένδυση. (Σχήμα 2.10 β)
3. Διάτμηση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ. (Σχήμα 2.10 γ)
4. Αποκόλληση της εξωτερικής επιφάνειας από τον πυρήνα.
5. Ολίσθηση της εξωτερικής επιφάνειας. (Σχήμα 2.10 δ)
6. Παραμόρφωση της εξωτερικής επένδυσης ή διάτμηση του πυρήνα στο σημείο πάνω από τη στήριξη. (Σχήμα 2.10 ε)
7. Θράυση των συνδέσμων μεταξύ των πάνελ (π.χ των βίδων) (Σχήμα 2.10 ζ)
8. Παραμόρφωση λόγω αντίδρασης στην στήριξη των τραπεζίων. (Σχήμα 2.10 η)
9. Παραμόρφωση λόγω διατμητικών τάσεων στα τοιχώματα της τραπεζοειδούς διαμόρφωσης. (Σχήμα 2.10 θ)

2.9 Υγρομετρικά και θερμικά χαρακτηριστικά

Για να αποφευχθούν φαινόμενα συμπύκνωσης στις εσωτερικές επιφάνειες, η επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία δεν πρέπει σε κανένα σημείο να είναι μικρότερη του σημείου δρόσου του εσωτερικού αέρα. Για τον έλεγχο της επιφανειακής θερμοκρασίας, θα πρέπει να υπολογίζεται ο συντελεστής θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$Prsi = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e}$$

όπου:

- t_{si} : επιφανειακή εσωτερική θερμοκρασία
- t_i : εσωτερική θερμοκρασία
- t_e : εξωτερική θερμοκρασία

Είναι επομένως δυνατό να καθοριστεί ο συντελεστής θερμοπερατότητας U (βλ. ΚΕΦ. 1.2.3) που απαιτείται για να επιτευχθούν οι προαναφερόμενες συνθήκες, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$U = a_i * (1 - P_{Rsi})$$

Όπου:

a_i : εσωτερική θερμοκρασία

Ο σχηματισμός της ενδιάμεσης συμπύκνωσης είναι αποδεκτός, με την προϋπόθεση ότι ο όγκος του συμπυκνώσιμου ύδατος είναι μικρότερος από αυτόν του εξατμιζόμενου. Για τα πάνελ τύπου σάντουιτς με λεπτές εξωτερικές επενδύσεις (χάλυβας, γαλβανισμένη λαμαρίνα κ.λ.π.) Ο συντελεστής θερμοπερατότητας καθορίζεται ουσιαστικά από τη θερμική απόδοση του χρησιμοποιούμενου θερμομονωτικού υλικού. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας U εκφράζει τη θερμική ροή που διαπερνά μια δομή ανά μονάδα επιφανείας και τη θερμοκρασία από το ψυχρό στο θερμό περιβάλλον. Αυτός εκφράζεται σε $W/(m^2.K)$ και προκύπτει από την παρακάτω απλούστερη σχέση:

$$U = \frac{1}{R}$$

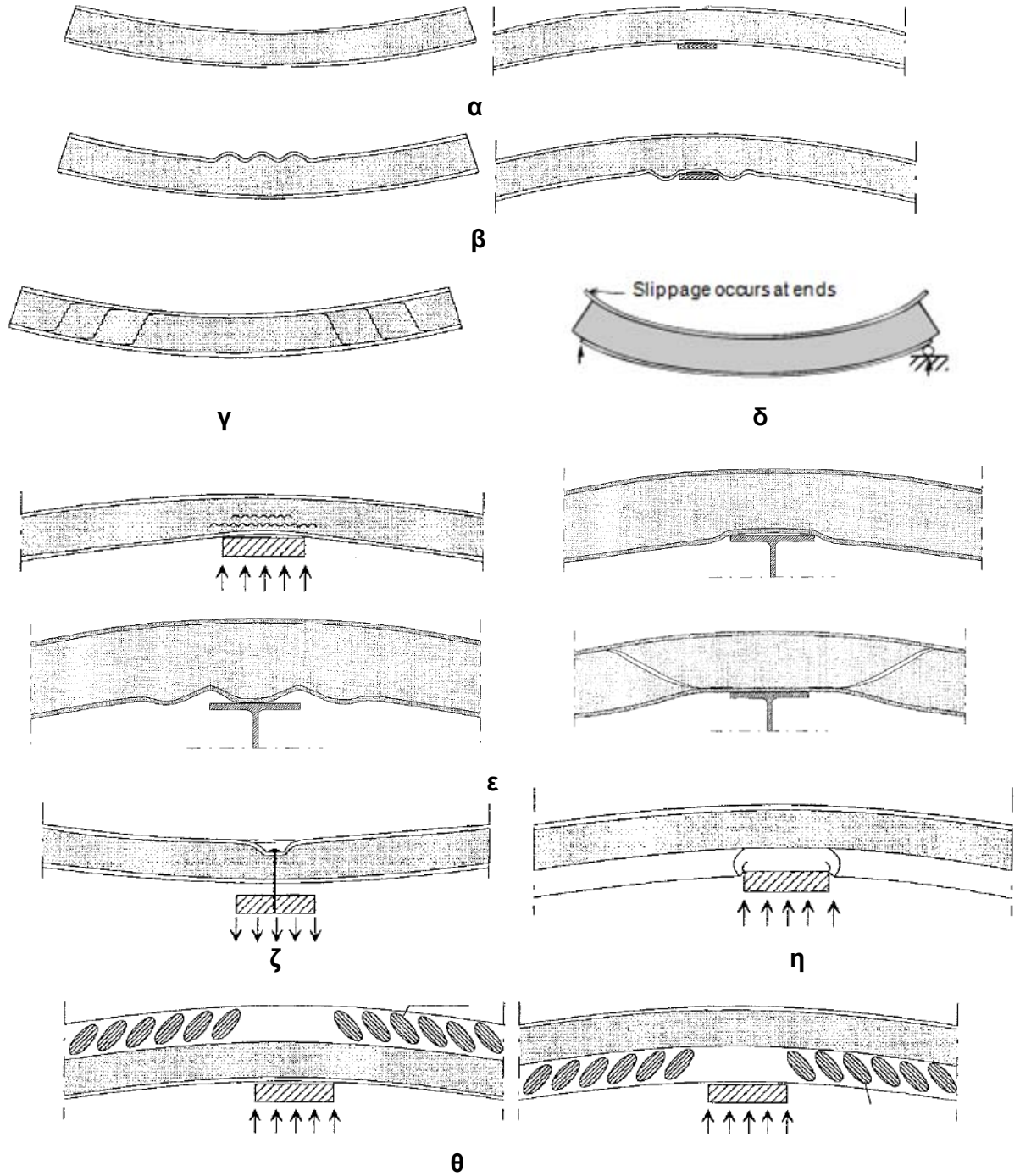
όπου :

R : η ολική θερμική αντίσταση , εκφρασμένη σε $\frac{m^2.K}{W}$, η οποία προκύπτει από την πιο κάτω σχέση :

$$R = \frac{T}{\lambda}$$

T : πάχος στρώματος του πάνελ εκφρασμένο σε m

λ : θερμική αγωγιμότητα του πυρήνα που θα χρησιμοποιηθεί εκφρασμένη σε $W/(m.K)$



Σχήμα 2.10: Οι θεωρητικοί τρόποι αστοχίας των σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς α) Παραμόρφωση λόγω εφελκυσμού της εξωτερικής επένδυσης.β) Δημιουργία πτυχώσεων (wrinkling) στην εξωτερική επένδυση.γ) Διάτμηση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ.δ) Ολίσθηση της εξωτερικής επιφάνειας.ε) Παραμόρφωση της εξωτερικής επένδυσης ή διάτμηση του πυρήνα στο σημείο πάνω από τη στήριξη.ζ) Θράυση των συνδέσμων μεταξύ των πάνελ (π.χ των βίδων.).θ) Παραμόρφωση λόγω αντίδρασης στην στήριξη των τραπεζίων ι) Παραμόρφωση λόγω διατμητικών τάσεων στα τοιχώματα της τραπεζοειδούς διαμόρφωσης

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΥΠΟΥ ΣΑΝΤΟΥΙΤΣ ΜΕ ΠΥΡΗΝΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΦΥΛΛΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Εισαγωγή

Ο συνδυασμός διαφόρων υλικών για την παραγωγή σύνθετων πάνελ σάντουιτς, αποτελεί τη βέλτιστη λύση σε πολλές εφαρμογές όπου εκμεταλλευόμαστε τις θετικές ιδιότητες των υλικών και αποφεύγουμε τις αρνητικές.

Η μελέτη αυτή επικεντρώνεται σε ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό συνδυασμό υλικών που εφαρμόζεται συχνά στις μέρες μας. Μελετάται σύνθετο πάνελ με επένδυση δύο λεπτών φύλλων χάλυβα (0,5 mm) και με μη τοξικό πυρήνα πολυουρεθάνης χαμηλής πυκνότητας, ιδανικός συνδυασμός για χρήση σε τοίχους, οροφές και ψυκτικούς θαλάμους. Τα δύο αυτά υλικά συνδυάζουν τις θετικές ιδιότητες του χάλυβα (βλ. Πίνακας 3.2),όπως την αντοχή του σε κάμψη, και τις θετικές ιδιότητες της πολυουρεθάνης (Παρ. 1.6.5) όπως την καλή θερμομόνωση που παρέχει αλλά και τη προστασία της από τις έντονες καιρικές συνθήκες και τη διάβρωση.

Τα τελευταία 50 χρόνια περίπου έχει αναπτυχθεί μια ιδιαίτερα οικονομική κατασκευαστική τεχνική που ικανοποιεί τις μέγιστες αρχιτεκτονικές απαιτήσεις. Τα σύνθετα πάνελς χάλυβα είναι η συμβίωση του design, της τεχνολογίας, της οικονομίας και της οικολογίας. Μεγάλο εύρος χρωματικών αποχρώσεων και ποικιλία εξαρτημάτων είναι σήμερα στην διάθεση των αρχιτεκτόνων που έχουν στρέψει την προσοχή τους στην μέθοδο κατασκευής με σύνθετα πάνελς χάλυβα. Με κτίρια διάσπαρτα στην Ευρώπη που έχουν γίνει σύμβολα, οι δημιουργικοί αρχιτέκτονες της δεκαετίας του '90 απέδειξαν ότι αυτό που οραματιζόντουσαν στα σχέδια μπορούσε να υλοποιηθεί με την χρήση των σύνθετων πάνελς χάλυβα για τις επικαλύψεις ή τις δημιουργίες προσόψεων.

3.1 Προδιαγραφές Εξωτερικών επιφανειών

3.1.1 Επιλογή Χάλυβα ως υλικό επένδυσης

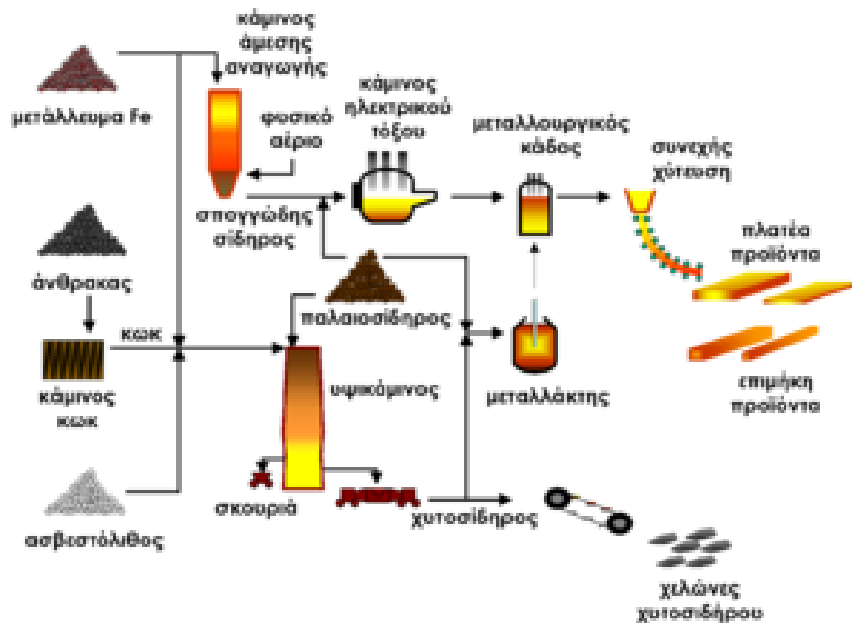
3.1.1.1 Η Παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους (βλ. Σχ. 3.1):

1. Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.
2. Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση (αγγλ., Direct Reduced Iron ή DRI) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου ,και την μετατροπή του

σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου.

3. με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (scrap) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF). (Σχήμα 3.2 και 3.3)



Σχήμα 3.1: Σχηματικό διάγραμμα της παραγωγής χυτοσιδήρου και ημιτελών προϊόντων χάλυβα.



Σχήμα 3.2: Κάδος τήξης (Υψικάμινος) μέσα στον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός της σκουριάς από το καθαρό μέταλλο.



Σχήμα 3.3 : Απόχυση τηγμένου Χάλυβα από κάμινο ηλεκτρικού τόξου σε αμερικάνικο χαλυβουργείο (περί 1941)

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθετοποιημένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτηξη παλαιοσιδήρων και σπογγώδους σιδήρου σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινους ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτηξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μπετόβεργας.

3.1.1.2 Ποιότητες του χάλυβα

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων. Αν χτιζόταν σήμερα ο Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειαζόνταν το ένα τρίτο της ποσότητας χάλυβα. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ότι χρειαζόταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (grades), ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- *Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (carbon steels).* Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ

και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (mild steels: $C < 0,30\%$),
- χάλυβες μέτριου άνθρακα (medium carbon steels: $0,30\% < C < 0,60\%$),
- χάλυβες υψηλού άνθρακα (high carbon steels: $0,60\% < C < 1,00\%$), και
- χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (ultra-high carbon steels: $1,00\% < C < 2,00\%$).

- Κραματωμένοι χάλυβες (alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι:

- ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.α. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι

- ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξειδωτοί χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες, ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

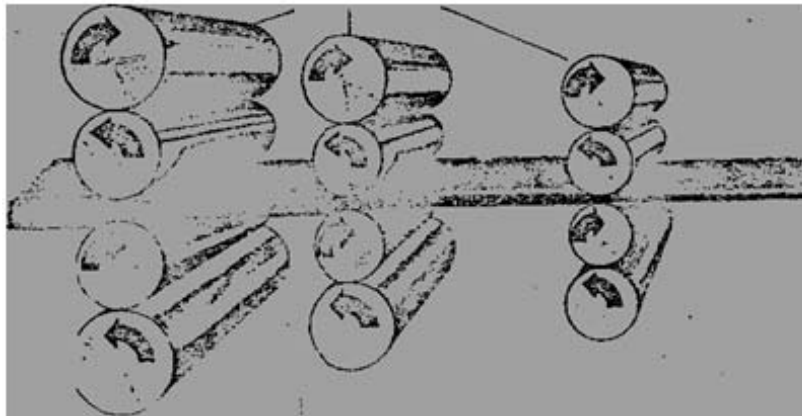
Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2).

3.1.1.7 Χαλύβδινα ρολά θερμής έλασης

Η έλαση αποτελεί ίσως τη βασικότερη εφαρμογή θερμής κατεργασίας μετάλλων και χρησιμοποιείται για την παραγωγή φύλλων (λαμαρίνες) διαφόρων διαστάσεων ,ράβδων και δοκών διαφόρων διατομών από χάλυβα .

Οι μηχανές στις οποίες πραγματοποιείται η έλαση ονομάζονται ελάστρα. Ο απλούστερος και βασικός μηχανισμός λειτουργίας των ελάστρων είναι δύο ή τέσσερις κύλινδροι από χάλυβα υψηλής αντοχής που περιστρέφονται με αντίθετες φορές. Οι κύλινδροι αυτοί απέχουν μεταξύ τους μια ορισμένη απόσταση η οποία είναι δυνατόν να ρυθμιστεί από τον χειριστή και από την οποία εξαρτάται το πάχος του παραγόμενου φύλλου.

Ο διάπυρος χάλυβας οδηγείται στο κενό μεταξύ των περιστρεφόμενων κυλίνδρων και λόγω της τριβής αναγκάζεται να περάσει από μέσα. Κατά την δίοδο του ,υφίσταται ισχυρότατη πίεση που τον παραμορφώνει , μειώνοντας κυρίως το πάχος του (Σχήμα 3.4)



Σχήμα 3.4 : Μηχανισμός λειτουργίας ελάστρων –Βαρέα έλαστρα 4 κυλίνδρων

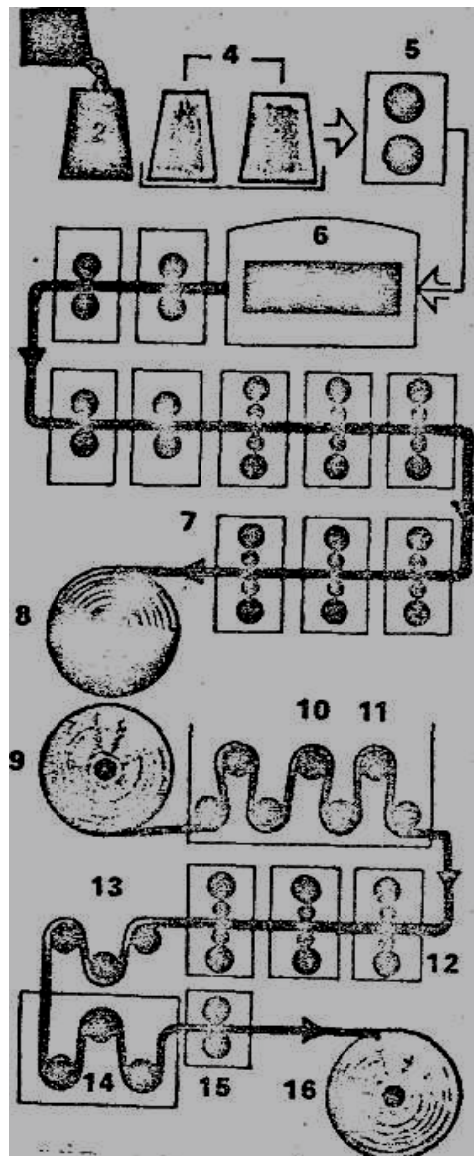
Η μείωση αυτή του πάχους του χάλυβα πραγματοποιείται σταδιακά με διοχέτευση του φύλλου με διαδοχικές σειρές ελάστρων που περιστρέφονται με τις κατάλληλες ταχύτητες. Τούτο είναι απαραίτητο γιατί λόγω της μείωσης του πάχους του χάλυβα, η ταχύτητα του διαδοχικά αυξάνεται με αποτέλεσμα το τελικό φύλλο να κινείται με ταχύτητα που φθάνει τα 70 km/h. Στην ταχύτητα αυτή του φύλλου πρέπει να προσαρμόζεται η ταχύτητα περιστροφής του επόμενου ελάστρου κ.ο.κ. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις , η λειτουργία των ελάστρων και η τροφοδότηση τους με υλικό , είναι αυτοματοποιημένη και ρυθμίζεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή . Η συνολική διαδικασία παραγωγής φύλλων χάλυβα σε ρολά , παρίσταται στο σχήμα 3.5.

Ο χάλυβας σε υγρή κατάσταση (Στάδιο 1) , προερχόμενος από την υψικάμινο , χύνεται σε επιμήκη καλούπια ορθογωνικής διατομής (Στάδιο 2) , όπου και ψύχεται. Τα κομμάτια αυτά (Στάδιο 3) , θερμαίνονται σε κάμινο (Στάδιο 4) και στη συνέχεια διοχετεύονται στο έλαστρο (Στάδιο 5) ,όπου και παίρνουν τη μορφή πλάκας. Η πλάκα αυτή θερμαίνεται εκ νέου στην κάμινο (Στάδιο 6) και στη συνέχεια διοχετεύεται διαδοχικά σε σειρά ελάστρων (στάδιο 7) με 2 και 4 κυλίνδρους , μέχρι να αποκτήσει το κατάλληλο πάχος οπότε τυλίγεται σε ρολά (Στάδιο 8).

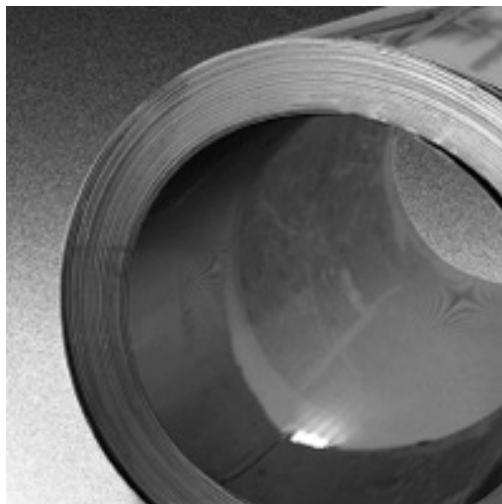
Τα βαρέα έλαστρα των 4 κυλίνδρων χρησιμοποιούνται στις τελευταίες διαδρομές του φύλλου , όπου λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας και της σκλήρυνσης του υλικού χρειάζονται μεγαλύτερες δυνάμεις παραμόρφωσης.

Η λαμαρίνα που παρήχθη με τη μέθοδο αυτή μεταφέρεται στο τμήμα ψυχρής κατεργασίας, όπου αρχικά περνά από το έλαστρο καθαρισμού (Στάδιο 10) , όπου και αποσπάται το επιφανειακό στρώμα οξειδίου της θερμής έλασης. Το οξείδιο αυτό είναι δυνατό να απομακρυνθεί και με κατάλληλα χημικά λουτρά (Στάδιο 11). Το φύλλο στη συνέχεια ,περνά από τα έλαστρα της ψυχρής έλασης (Στάδιο 12) , καθαρίζεται εκ νέου σε χημικά λουτρά (Στάδιο 13) και υφίσταται ανόπτηση (Στάδιο 14) για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων.

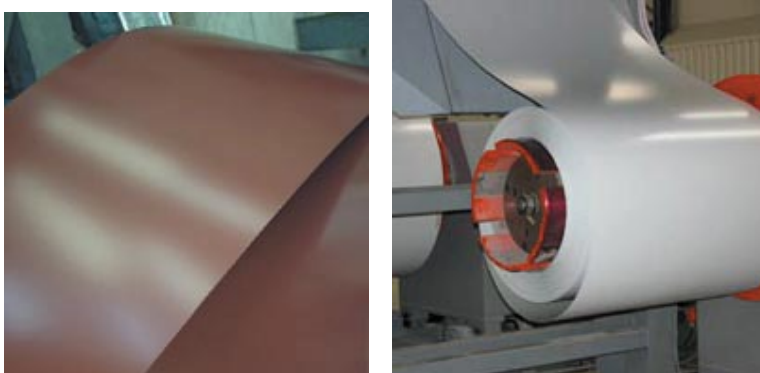
Τέλος , το φύλλο χάλυβα διέρχεται από το έλαστρο σκλήρυνσης (Στάδιο 15) για τη βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων και την τελική κατεργασία της επιφάνειας του και τυλίγεται πάλι σε ρολά (Στάδιο 16) για να δοθεί στην κατανάλωση.,



Σχήμα 3.5: Η διαδικασία παραγωγής φύλλων χάλυβα σε ρολά



Σχήμα 3.6 : Ρολό Ανοξειδωτου Χάλυβα

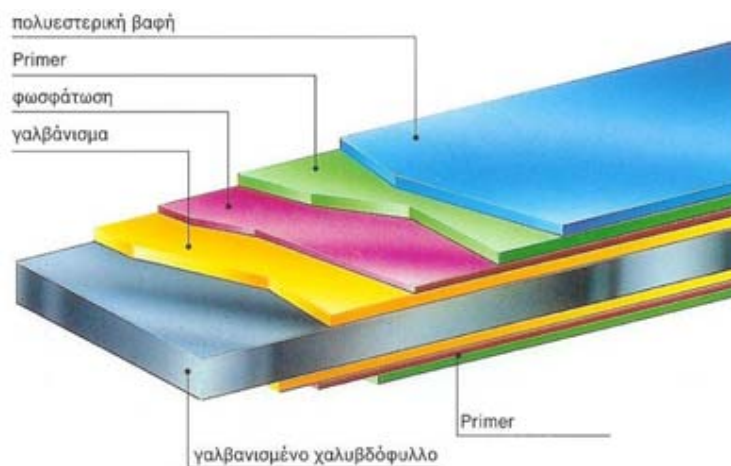


Σχήμα 3.7 : Ρολά και φύλλα με έγχρωμη, μη μεταλλική επίστρωση στη επιφάνεια

3.1.1.4 Προδιαγραφές προβαμμένων ελασμάτων χάλυβα

Τα ελάσματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των θερμομονωτικών πάνελ πολυουρεθάνης είναι αποκλειστικά εργοστασιακά προβαμμένα γαλβανισμένα (Σχήμα 3.8) και ακολουθούν πάντοτε τεχνικές προδιαγραφές. Τα προβαμμένα ελάσματα με τελική επιφανειακή βαφή ακολουθούν το πρότυπο EN 10169-1:2003.

Γενικά, ανάλογα με τον τύπο, το πάχος και την αντοχή της επιφανειακής προστασίας χρησιμοποιούνται για διαφορετικές χρήσεις.



Σχήμα 3.8 : Προβαμμένα χαλύβδινα ελάσματα

3.1.1.5 Ανοχές Διαστάσεων ελασμάτων

Οι διαστασιολογικές ανοχές όλων των χαλύβδινων ελασμάτων ακολουθούν το πρότυπο EN 10143:1993. Όσον αφορά τις ανοχές ως προς το πάχος του μετάλλου συμπεριλαμβανομένου του πάχους του γαλβανίσματος αλλά όχι το πάχος της τελικής επιφανειακής βαφής ισχύουν οι τιμές του Πίνακα 3.1.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΟ ΠΑΧΟΣ	ΑΝΟΧΕΣ ΠΑΧΟΥΣ ΓΙΑ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	
	≤1200 mm	>1200 mm ≤1500 mm
≤0,40 mm	±0,05 mm	±0,06 mm
>0,40 mm ≤0,60 mm	±0,06 mm	±0,07 mm
>0,60 mm ≤0,80 mm	±0,07 mm	±0,08 mm

Πίνακας 3.1: Ανοχές ως προς το πάχος του μετάλλου συμπεριλαμβανομένου του πάχους του γαλβανίσματος αλλά όχι του πάχους της τελικής επιφανειακής βαφής

3.1.1.6 Τυποποίηση χαλύβων

Οι χάλυβες ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, τα χαρακτηριστικά και τη χρήση για την οποία προορίζονται, ακολουθούν διαφορετικά πρότυπα τυποποίησης. Η τυποποίηση των χαλύβδινων φύλλων τα οποία προορίζονται εκτός των άλλων και για την παραγωγή των θερμομονωτικών πάνελ ακολουθούν τα πρότυπα EN 10142:2000, EN 10147:2000, EN 10214:1995 και EN 10215:1995.

Για το διαστασιολογικό έλεγχο των χαλύβδινων φύλλων ακολουθούνται οι προδιαγραφές του προτύπου EN 10143:1993.

Στον πίνακα 3.2 αναφέρονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των χαλυβδοφύλλων και των μεταλλικών επιστρώσεων αντιδιαβρωτικής προστασίας.

3.2 Προδιαγραφές του πυρήνα Πολυουρεθάνης

Ο σκληρός αφρός πολυουρεθάνης (PUR) παράγεται σε γραμμή συνεχούς χύτευσης μέσω μίξης δυο βασικών χημικών συστατικών, του ισοκυάνιου και της πολυόλης. Σαν διογκωτικό αέριο χρησιμοποιείται το Πεντάνιο το οποίο δεν περιέχει χλωροφλουοράνθρακες και υδροχλωροφλουοράνθρακες (CFC και HCFC) συστατικά βλαβερά για το στρώμα του όζοντος στην ατμόσφαιρα.

Ο διογκωμένος σκληρός αφρός πολυουρεθάνης ακολουθεί το πρότυπο prEN 13165:2001

Τα ειδικά χαρακτηριστικά του σκληρού αφρού πολυουρεθάνης το καθιστούν ένα από τα καλύτερα μονωτικά υλικά που προσδίδει εξαιρετικά πλεονεκτήματα ως πυρήνας των πετασμάτων. Συνδυάζει την θερμομόνωση, την αντοχή σε φορτία, την στεγάνωση, την αντοχή στις κρούσεις, το μικρό βάρος και την εύκολη συντήρηση. Ιδιαίτερα στα θερμομονωτικά πάνελ η συντήρηση της πολυουρεθάνης είναι μηδενική. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του σκληρού αφρού της πολυουρεθάνης που τον καθιστά το κατ' εξοχή θερμομονωτικό υλικό στην βιομηχανία των προκατασκευασμένων θερμομονωτικών πάνελ είναι ότι για ένα μικρό διάστημα ανάμεσα στην μίξη των επιμέρους υλικών και την πλήρη ωρίμανση του τελικού προϊόντος παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη κολλητικότητα που του επιτρέπει να κολλά με μεγάλη ευκολία στο εσωτερικό των ελασμάτων χωρίς πρόσθετα κολλητικά υλικά.

Η δύναμη πρόσφυσης του σκληρού αφρού της πολυουρεθάνης με τα ελάσματα είναι συνήθως μεγαλύτερη από την αντοχή σε εφελκυσμό και διάτμηση του ίδιου του μονωτικού υλικού. Η μόνωση πολυουρεθάνης έχει μεγάλη αντοχή σε μία μεγάλη σειρά από χημικά, διαλυτικά και ελαιώδη προϊόντα. Δεν ευνοεί την ανάπτυξη μυκήτων και είναι απρόσβλητη από μούχλα και μικροοργανισμούς.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του αφρού πολυουρεθάνης αναφέρονται εκτενέστερα στο ΚΕΦ 1.6.5 .

Στον πίνακα 3.3 καταγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αφρού πολυουρεθάνης και τα αντίστοιχα πρότυπα αυτών.

ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΝΘΡΑΚΑ (low-carbon) EN 10142			ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ (structural) EN 10147		
ΒΑΘΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ max. (N/mm ²) Ελάχιστη τιμή 140 N/mm ²	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ max. (N/mm ²) Ελάχιστη τιμή 270 N/mm ²	ΒΑΘΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ max. (N/mm ²) Ελάχιστη τιμή 140 N/mm ²	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ max. (N/mm ²) Ελάχιστη τιμή 270 N/mm ²
DX 51 D DX 52 D	- 300	500 420	S 220 GD S 250 GD S 280 GD S 320 GD S 350 GD S 550 GD	220 250 280 320 350 550	300 330 360 390 420 560
ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΜΕ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟ (Z) EN 10142 EN 10147			ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΜΕ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟ ΚΑΙ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ (ZA) EN 10214 (95% Zn - 5% Al)		
ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ ΕΝ ΘΕΡΜΩ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ	ΜΑΖΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΠΛΕΥΡΕΣ (g/m ²)	ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ (μm)	ΣΥΝΕΧΗΣ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ ΕΝ ΘΕΡΜΩ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	ΜΑΖΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΠΛΕΥΡΕΣ (g/m ²)	ΠΑΧΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΠΛΕΥΡΑ (μm)
Z 100 Z 140 Z 200 Z 225 Z 275 Z 350	100 140 200 225 275 350	7 10 14 16 19.5 25	ZA 200 ZA 255 ZA 300	200 255 300	15 20 23

Πίνακας 3.2 : Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των χαλυβδοφύλλων και των μεταλλικών επιστρώσεων αντιδιαβρωτικής προστασίας.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΙΜΕΣ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΠΡΟΤΥΠΟ
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	40~42	kg/m ³	DIN EN ISO 845
ΚΛΕΙΣΤΕΣ ΚΥΨΕΛΙΔΕΣ	>95	%	DIN ISO 4590
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 ΩΡΕΣ	2.4	% όγκου	DIN 53 428
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	0,02 – 0,027	W/mK	Hesto-instrument
ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ - 30°C + 80°C	Πάχος Πλάτος Μήκος -0.1 -0.1 -0.1 + 0.8 +0.3 +0.5	%	DIN 53 431
ΠΥΡΑΝΤΟΧΗ	B1 /B2		DIN 4102, part 1

Πίνακας 3.3 : Τεχνικά Χαρακτηριστικά Πολυουρεθάνης και τα αντίστοιχα Διεθνή Πρότυπα

3.3 Παραγωγική διαδικασία Σύνθετων Πάνελ Χάλυβα με Πυρήνα Πολυουρεθάνης

3.3.1 Πρέσα διπλών Ιμάντων

Για την καλύτερη μελέτη του σύνθετου πάνελ χάλυβα με πυρήνα πολυουρεθάνης, απαιτείται περαιτέρω μελέτη της παραγωγικής του διαδικασίας.

Ο κατάλληλος τρόπος για την παραγωγή σύνθετου πάνελ χάλυβα με πυρήνα πολυουρεθάνης είναι η μέθοδος συνεχούς “ελασματοποίησης” με την χρήση πρέσας διπλών ιμάντων, της οποίας έγινε μια πρώτη περιγραφή στο ΚΕΦ. 2.6.2. Στο σχήμα 2.9 και στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται η μέθοδος αυτή.

Η χρήση της πρέσας διπλών ιμάντων (Σχήμα 3.10) για την παραγωγή σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς πρωτοεφαρμόστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '50 και έγινε ευρέως γνωστή περίπου μια δεκαετία αργότερα ('60).

Η συνεχής βελτίωση των μειγμάτων του αφρού πολυουρεθάνης, η εξέλιξη των τεχνικών παραγωγής καθώς και η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, είχε ως αποτέλεσμα η παραγωγή των σύνθετων πάνελ χάλυβα με πυρήνα πολυουρεθάνης, να γίνεται με υπερσύγχρονα μηχανήματα σε υπερσύγχρονες εγκαταστάσεις.

Στη συνέχεια του Κεφαλαίου αυτού παρουσιάζεται η περιγραφή μιας πρότυπης μονάδας παραγωγής (Σχήμα 3.10) των σύνθετων Πάνελ. Αναφέρεται ότι, τα χαρακτηριστικά των μηχανημάτων, η μορφή των μηχανημάτων και των εγκαταστάσεων και ως εκ τούτου κάποια γενικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, ίσως διαφοροποιούνται σε κάθε κατασκευαστή. Αυτό οφείλεται σε κάποιες μικροδιαφορές που παρουσιάζουν τα διάφορα μηχανήματα που κυκλοφορούν στη σημερινή αγορά, στην εγκατάσταση που δημιουργεί ο κάθε παραγωγός και στις απαιτήσεις της εκάστοτε αγοράς.

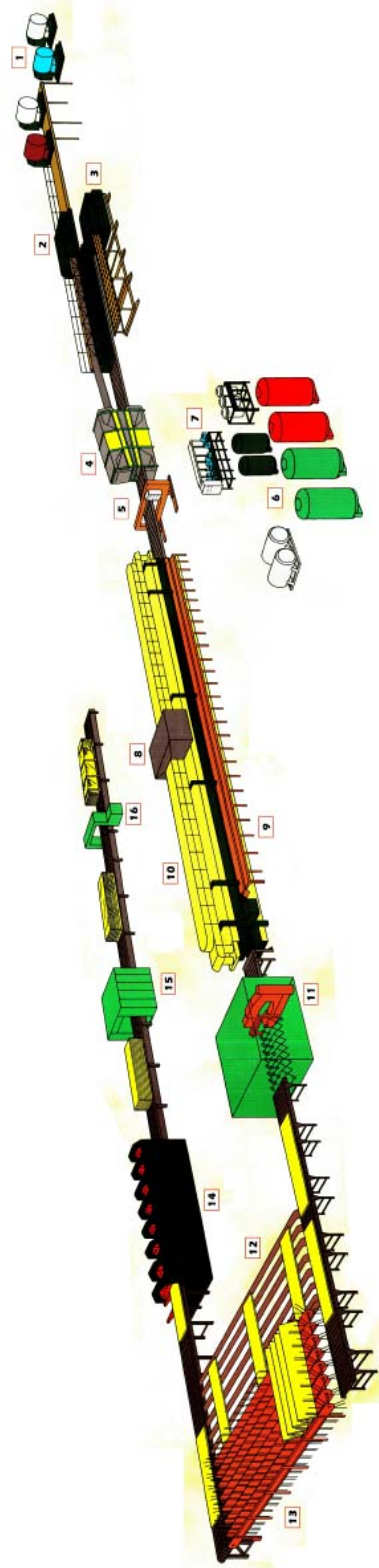
Η παραγωγή εξαρτάται άμεσα από το μήκος των ιμάντων. Τα συνήθη μήκη των ιμάντων που κυκλοφορούν στην αγορά είναι περίπου 30 μ , με μέγιστη ταχύτητα 15 μέτρα ανά λεπτό (15 m/min) . Σύμφωνα με μελέτες του Γερμανικού Ινστιτούτου Mainz, μια μηχανή αυτού του είδους , της οποίας οι ιμάντες έχουν ταχύτητα 8 m / min , λειτουργεί 4000 ώρες ετησίως (λήφθηκε υπόψη ο καθαρός χρόνος παραγωγής, δηλαδή δεν λήφθηκε υπόψη ο χρόνος συντήρησης , επισκευής , αλλαγής ραούλων κ.τ.λ.) και με σταθερό πλάτος του παραγόμενου πάνελ , ίσο με 1000 mm, μπορεί να παράξει περίπου 2 εκατομμύρια m² σύνθετου πάνελ ετησίως. Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το γερμανικό ινστιτούτο , υπάρχουν υπερσύγχρονες μηχανές , που έχουν μήκος ιμάντων ίσο με 40 m , η ταχύτητα αυτών είναι 30 m/min , και έχουν ικανότητα παραγωγής 2160 m² πάνελ ανά ώρα δηλαδή περίπου 19 εκατομμύρια m² ετησίως.

Γενικά η χρήση, λειτουργία και επίβλεψη των μηχανών αυτών απαιτεί τρεις χειριστές. Ο πρώτος χειριστής είναι υπεύθυνος για την πρέσα διπλού ιμάντα, ο δεύτερος είναι υπεύθυνος για την χρήση του κεντρικού υπολογιστή και ο τρίτος είναι υπεύθυνος για τα επιμέρους τμήματα της μονάδας παραγωγής.

Τέτοιες μονάδες παραγωγής , έχουν τη δυνατότητα να παράγουν πάνελ με διαφορετικό πάχος εξωτερικής επένδυσης χάλυβα και με διαφορετικό προφίλ σε διάφορα μήκη ,πάχη και πλάτη. Τα μήκη των πάνελ κυμαίνονται από 2000 mm έως 24000 mm , τα πλάτη κυμαίνονται από 300 mm έως 1250 mm , και το πάχος αυτών , από 20 mm έως 250 mm.

Η μονάδα παραγωγής σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε για την αλλαγή του ρολού χάλυβα καθώς και των οδηγών κίνησης , δεν απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της μηχανής. Έτσι μειώνεται ο νεκρός χρόνος παραγωγής και συνεπώς έχουμε εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος. Επιπλέον , η συνεχής λειτουργία της μονάδας παραγωγής, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ποιότητα του τελικού προϊόντος αφού κατά την συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία, παράγεται πιο ομοιογενές μίγμα αφρού πολυουρεθάνης και συνεπώς έχουμε καλύτερη πρόσφυση του υλικού μεταξύ των δύο χαλύβδινων επικαλύψεων.

Σε περιπτώσεις που οι απαιτήσεις της παραγωγής είναι η παραγωγή πανέλων με διαφορετικά χαρακτηριστικά , απαιτείται η αλλαγή κάποιων εξαρτημάτων της μηχανής όπως για παράδειγμα, αλλαγή ραούλων για αλλαγή του προφίλ του προϊόντος , είναι αναπόφευκτο το γεγονός η μηχανή να μένει σε αδράνεια μέχρι την αλλαγή των εξαρτημάτων κάτι που κοστίζει στην επιχείρηση, πολλές φορές άδικα , αφού μπορεί να γίνεται η αλλαγή των εξαρτημάτων για την παραγωγή μόνο λίγων πάνελ. Για αυτό το λόγο , συνίσταται από τους κατασκευαστές , όπως η κάθε βιομηχανία παραγωγής τέτοιων προϊόντων (και όχι μόνο) να έχει προβλέψει στις εγκαταστάσεις της , ένα αποθεματικό χώρο , όπου η βιομηχανία θα πρέπει να φροντίζει να έχει ποικιλία προϊόντων (πάνελ) για την κάλυψη έκτακτων μικρών παραγωγών.



Σχ. 3.9 : Τυπική μονάδα Παραγωγής Πάνελ Χάλυβα με Πυρήνα Πολυουρεθάνης , με τη χρήση πρέσας διπλών ιμάντων.

Κύρια μέρη Πρότυπης Μονάδας Παραγωγής (με βάση τα αριθμημένα μέρη του Σχήματος 3.9).

1. Ρολά Χάλυβα και coils
2. Ραούλα διαμόρφωσης του άνω χαλύβδινου φύλλου
3. Ραούλα διαμόρφωσης του κάτω χαλύβδινου φύλλου
4. Κλίβανος Θέρμανσης μορφοποιημένων επιφανειών
5. «Κεφαλή» έκχυσης Αφρού Πολυουρεθάνης
6. Θάλαμοι τοποθέτησης των πρώτων υλών του αφρού πολυουρεθάνης
7. Εξοπλισμός μίξης και αντλησης του αφρού πολυουρεθάνης από τον θάλαμο μείξης
8. Σύστημα θέρμανσης του διπλού ιμάντα
9. Οδηγοί ολίσθησης του σύνθετου πάνελ
10. Πρέσα διπλού ιμάντα
11. Σύστημα κοπής προϊόντος
- 12,13,14 : Τμήμα στοίβαξης πανέλων
- 15,16: Τμήμα Πακεταρίσματος πανέλων και δεσίματος για μεταφορά



Σχήμα 3.10 : Πρέσα Διπλών Ιμάντων

3.3.2 Ψυχρή έλαση Φύλλου Χάλυβα

Ο κύκλος παραγωγής , ξεκινά με το ξετύλιγμα του χάλυβα , ο οποίος βρίσκεται σε μορφή ρολού.(Σχήμα 3.11). Για την αδιάκοπη και συνεχή παραγωγή συνήθως υπάρχει τοποθετημένο δίπλα από το χρησιμοποιούμενο ρολό χάλυβα , πάνω σε ειδική ανυψούμενη βάση , δεύτερο ρολό χάλυβα, το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί στο coil , αμέσως μετά το τέλος του πρώτου.. Για την αντικατάσταση δεν απαιτείται η διακοπή της λειτουργίας της μηχανής παρά μόνο , να μεταβεί σε κατάσταση αναμονής το coil.

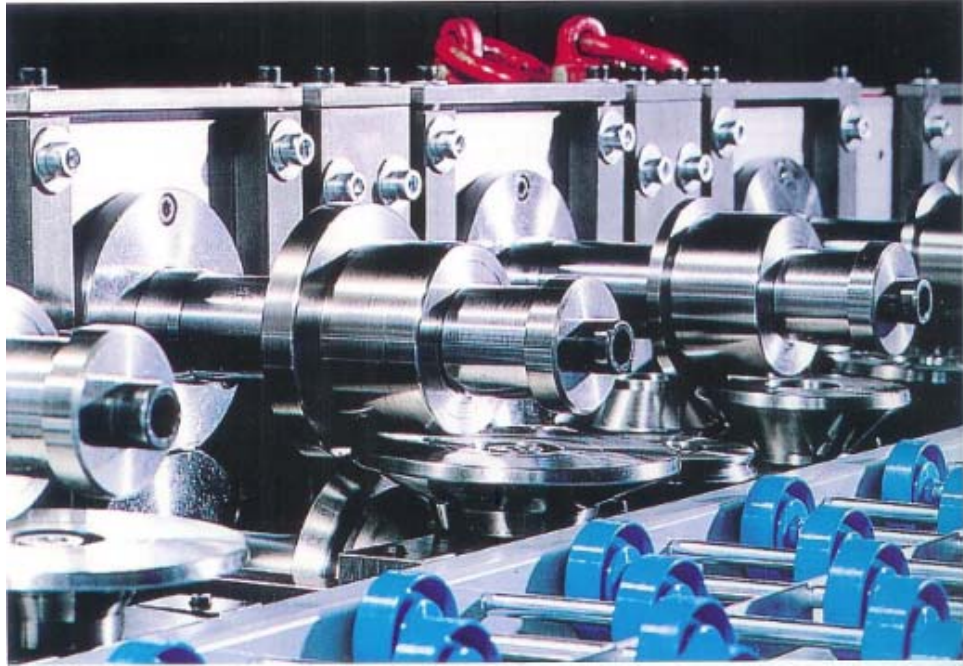
Κατά κανόνα κατά το ξετύλιγμα του φύλλου του χάλυβα και πριν την είσοδο του στα ράουλα. ,αυτό πρέπει να καλύπτεται από προστατευτική μεμβράνη (Σχήμα 3.12)

Το φύλλο χάλυβα παίρνει την τελική επιθυμητή μορφοποίηση του (προφίλ) , από τα ράουλα μορφής (Σχήμα 3.12 και Σχήμα 3.13) από τα οποία υφίσταται ψυχρή έλαση.

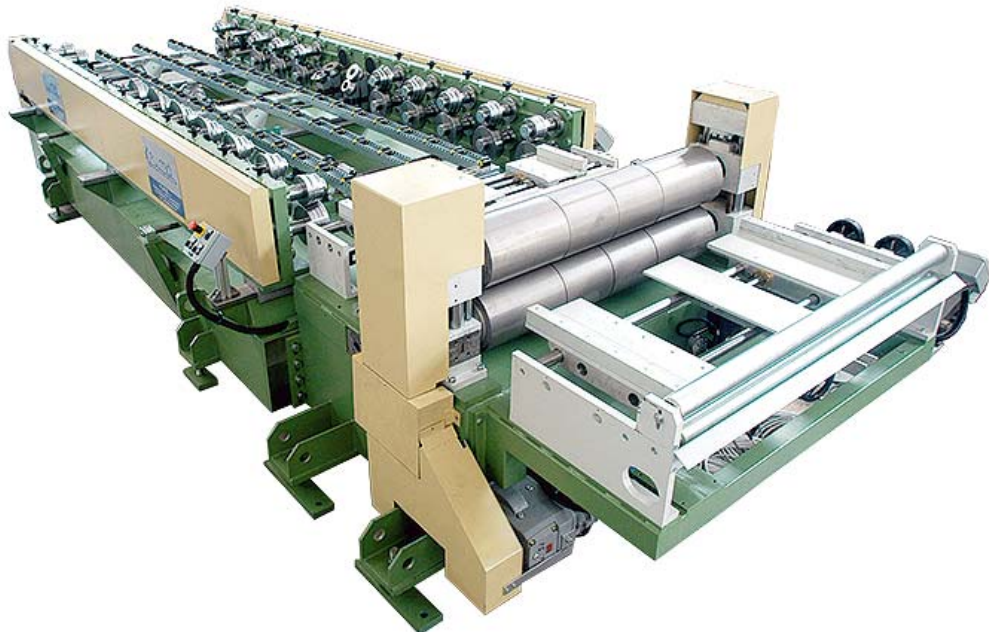
Όπως προαναφέρθηκε σε περίπτωση που απαιτείται η παραγωγή προϊόντος με διαφορετικό προφίλ , απαιτείται η αντικατάσταση των ραούλων με τα ράουλα που απαιτεί η περίπτωση. Η αντικατάσταση των ραούλων γίνεται με την χρήση γερανογέφυρας και δεν απαιτεί περισσότερο από 30 λεπτά.



Σχήμα 3.11. : Το ξετύλιγμα του φύλλου του χάλυβα πριν την είσοδο του στα ράουλα μορφής. ,πρέπει να καλύπτεται από προστατευτική μεμβράνη.



Σχήμα 3.12 : Προσθαφαιρούμενα ράουλα Μορφοποίησης χαλύβδινου φύλλου



Σχήμα 3.13. : Πλευρικά ράουλα μορφής

3.3.3 Θέρμανση μεταλλικών μορφοποιημένων επιφανειών

Για να επιτευχθεί η μέγιστη πρόσφυση και η μέγιστη ομοιογένεια του αφρού πολυουρεθάνης, η μεταλλική επένδυση πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Για αφρούς που δεν περιέχουν HCFC, ενδείκνυται θερμοκρασία άνω των 40 °C. Χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα θέρμανσης, ανάλογα κάθε φορά από την ποιότητα του χάλυβα που επιλέγει ο εκάστοτε κατασκευαστής.

Σύνηθες σύστημα θέρμανσης είναι η θέρμανση σε κλίβανο (Σχήμα 3.14) με αέρα στην πάνω και κάτω επιφάνεια (κλειστό κύκλωμα αέρα). Σε αυτό το σύστημα, ο θερμός αέρας «κατευθύνεται» μέσω ειδικών αγωγών στις δυο χαλύβδινες επιφάνειες και εν συνεχεία ο ψυχρός αέρας επιστρέφει μέσω άλλων αγωγών στο σύστημα θέρμανσης. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας των χαλύβδινων επιφανειών, είναι τοποθετημένοι θερμοκοί αισθητήρες στην έξοδο του συστήματος θέρμανσης. Για να αποφευχθεί η υπερβολική θέρμανση σε κάθε σημείο των χαλύβδινων επιφανειών και ταυτόχρονα να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία εντός του κλιβάνου, υπάρχουν ειδικά πτερύγια (flaps) συνδεδεμένα με τους αγωγούς, για ρύθμιση της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.14 : Η άνω και κάτω επένδυση χάλυβα, αφού μορφοποιηθούν κατευθύνονται σε κλίβανο, όπου θερμαίνονται σε κλειστό κύκλωμα αέρα.

3.3.4 Σύστημα Παραγωγής Αφρού Πολυουρεθάνης

Η παραγωγή του αφρού πολυουρεθάνης απαιτεί την ύπαρξη μιας κατάλληλα εξοπλισμένης εγκατάστασης, τα κύρια μέρη της οποίας είναι:

1. Θάλαμοι άντλησης των πρώτων υλών
2. Αυτόματο σύστημα μέτρησης των ποσοτήτων των πρώτων υλών (του πολυόλιου και του ισοκυάνιου).
3. Θάλαμος μείξης

Η πολυόλη και το ισοκυάνιο, αντλούνται αρχικά από τις συσκευασίες όπου βρίσκονται, σε ξεχωριστούς θαλάμους. (Σχήμα 3.15), οι όποιοι πρέπει να είναι εγκατεστημένοι σε ξεχωριστό χώρο από αυτό που βρίσκεται η πρέσα διπλών ιμάντων. Συνήθως χρησιμοποιούνται θάλαμοι όγκου 25 m³.

Στο θάλαμο όπου βρίσκεται η πολυόλη υπάρχει και μια σημαντική ποσότητα αέρα η οποία αυξάνεται σταδιακά καθώς αυξάνεται η πίεση στο θάλαμο (περίπου 40 bar). Το μίγμα πολυόλης και αέρα κατευθύνεται με μεγάλη

ταχύτητα μέσω αγωγών στο θάλαμο μίξης .Η ποσότητα της πολυόλης που καταλήγει στο θάλαμο μίξης καθορίζεται από το χειριστή της μηχανής μέσω του κεντρικού υπολογιστή , και για την τήρηση της δοσολογίας είναι υπεύθυνο το εξειδικευμένο σύστημα μέτρησης που βρίσκεται στην είσοδο των αγωγών. Στο θάλαμο μίξης κατευθύνεται και το ισοκυάνιο μέσω αξονικών συμπιεστών . Ένα δεύτερο σύστημα μέτρησης , που είναι εγκατεστημένο στους αξονικούς συμπιεστές , τηρεί τις σωστές δοσολογίες για το ισοκυάνιο. Στις σύγχρονες μονάδες παραγωγής , χρησιμοποιείται πολυόλη που περιέχει καταλύτη , αποφεύγοντας έτσι την ύπαρξη τρίτου θάλαμου , για τον καταλύτη.

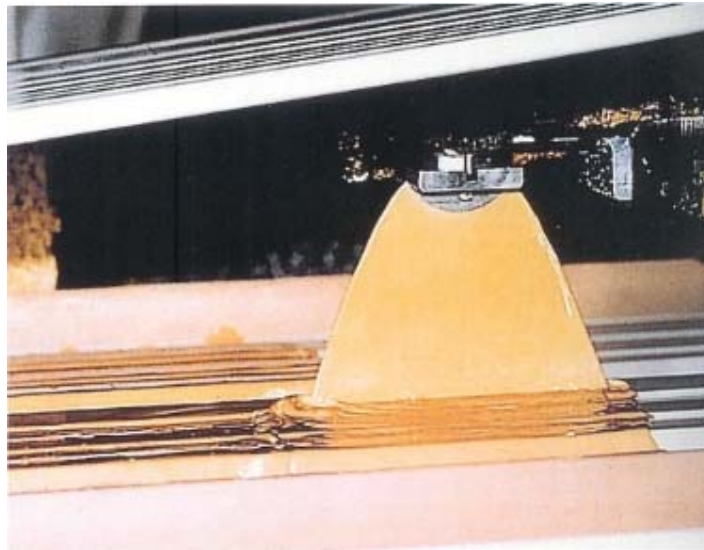


Σχήμα 3.15 : Θάλαμοι άντλησης των πρώτων υλών

3.3.5 Έκχυση Αφρού Πολυουρεθάνης

Ο αφρός πολυουρεθάνης διοχετεύεται ανάμεσα στις 2 χαλύβδινες επιφάνειες , με τη χρήση μια ειδικής «κεφαλής» . Η κεφαλή κινείται-ταλαντώνεται σε διεύθυνση κάθετη προς τη φορά κίνησης των μεταλλικών

επιφανειών οπότε η έκχυση υλικού γίνεται κάθετα προς αυτές (Σχήμα 3.16) Η συνεχής κίνηση- ταλάντωση που πραγματοποιεί η κεφαλή κατά μήκος του πλάτους της μορφοποιημένης πλέον επιφάνειας χάλυβα , έχει ως στόχο την ομοιόμορφη κατανομή υλικού μεταξύ των 2 χαλύβδινων εξωτερικών επενδύσεων. Σημαντικό ρόλο στην καλή πρόσφυση του υλικού , παίζει η ταχύτητα της κεφαλής καθώς και η ακρίβεια ταλάντωσης της (σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να ξεφεύγει από την «τροχιά» κίνησης της) Η κίνηση της κεφαλής έκχυσης μείγματος πραγματοποιείται είτε με τη χρήση σερβοκινητήρα (ο οποίος προδίδει στην κεφαλή ταχύτητες της τάξης των 150 m/min) είτε μέσω υδραυλικού συστήματος (το οποίο προδίδει στην κεφαλή ταχύτητες της τάξης των 200 m/min) Και στις δύο περιπτώσεις ο χειριστής έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει την συχνότητα ταλάντωσης της κεφαλής .Αυτό εξηπυρετεί σε περιπτώσεις όπου οι χαλύβδινες επενδύσεις είναι έντονα μορφοποιημένες , όπου απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για την καλή πρόσφυση του υλικού και επομένως σχετικά μικρή ταχύτητα κίνησης της κεφαλής



Σχήμα 3.16. : Έκχυση του αφρού πολυουρεθάνης , ανάμεσα στα δύο εξωτερικά χαλύβδινα φύλλα.

Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο της συσσώρευσης αφρού πολυουρεθάνης , στο στόμιο της κεφαλής, οπότε απαιτείται η εξάρμοση της κεφαλής και η πλύση της, Σε τέτοιες περιπτώσεις συνίσταται να υπάρχει δεύτερη κεφαλή , με την οποία θα αντικατασταθεί η προηγούμενη.

3.3.6 Οδήγηση στους ιμάντες και θέρμανση Διπλών Ιμάντων

Η ακριβής οδήγηση των μορφοποιημένων φύλλων χάλυβα (στα οποία έχει πλέον εκχυθεί ο αφρός πολυουρεθάνης) στην πρέσα των διπλών θερμαινόμενων ιμάντων καθώς και η ποιότητα των ιμάντων αυτών , παίζει σημαντικό ρόλο για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οπότε η χρήση πλευρικών οδηγών κίνησης (κινούμενοι οδηγοί) καθώς και η χρήση καλής ποιότητας ιμάντων , είναι απαραίτητα για τον περιορισμό των γεωμετρικών ανοχών στο τελικό προϊόν.

Όπως προαναφέρθηκε, οι ιμάντες κίνησης της πρέσας είναι θερμαινόμενοι , αυξάνοντας έτσι την ποιότητα τις συγκόλλησης των χαλύβδινων επενδύσεων με τον αφρό πολυουρεθάνης. Στις σύγχρονες πρέσες διπλών ιμάντων απαιτείται όπως οι ιμάντες θερμαίνονται περίπου στους 50 °C . Η θέρμανση των ιμάντων επιτυγχάνεται είτε με κλειστό κύκλωμα θερμού αέρα είτε με θερμικές αντιστάσεις.

3.3.7 Κοπή

Για τον διαχωρισμό του συνεχόμενου πάνελ σε επιμέρους κομμάτια , εφαρμόζεται στην έξοδο της πρέσας διπλών ιμάντων , οδοντωτός δίσκος κοπής (Σχήμα 3.17). Το μήκος κοπής καθορίζεται από τον κεντρικό υπολογιστή . Για την κοπή ενός πάνελ πλάτους 1m , απαιτούνται περίπου 10 s. Η ανοχή μήκους που προκύπτει είναι περίπου ± 1 mm .



Σχήμα 3.17 : Οδοντωτός δίσκος κοπής των Πάνελ , μετά την έξοδο τους από την πρέσα διπλού ιμάντα.

3.3.8 Τμήμα Πακεταρίσματος

Προαιρετικό αλλά χρήσιμο τμήμα , σε τέτοιες μονάδες παραγωγής είναι το τμήμα πακεταρίσματος (Σχήμα 3. 10.)

Με τη χρήση του τμήματος αυτού , τα πάνελ τοποθετούνται ομοιόμορφα πάνω σε παλέτα , και στη συνέχεια τυλίγονται με προστατευτική μεμβράνη. Έτσι, μπορεί να γίνει εύκολα και ασφαλές η μεταφορά τους εκτός της βιομηχανίας.





Σχήμα 3.18. : Πακετάρισμα του τελικού προϊόντος

3.3.9 Κεντρικός Υπολογιστής

Όλες οι διαδικασίες της μονάδας παραγωγής (ξετύλιγμα ρολού χάλυβα, μέτρηση ποσοτήτων πρώτης ύλη , καθορισμός ταχύτητας κίνησης κεφαλής έκχυσης υλικού, καθορισμός ταχύτητας ιμάντων κίνησης , μήκος κοπής, ταχύτητα κοπής κ.τ.λ.) ρυθμίζονται από τον κεντρικό υπολογιστή (Σχήμα 3.19)

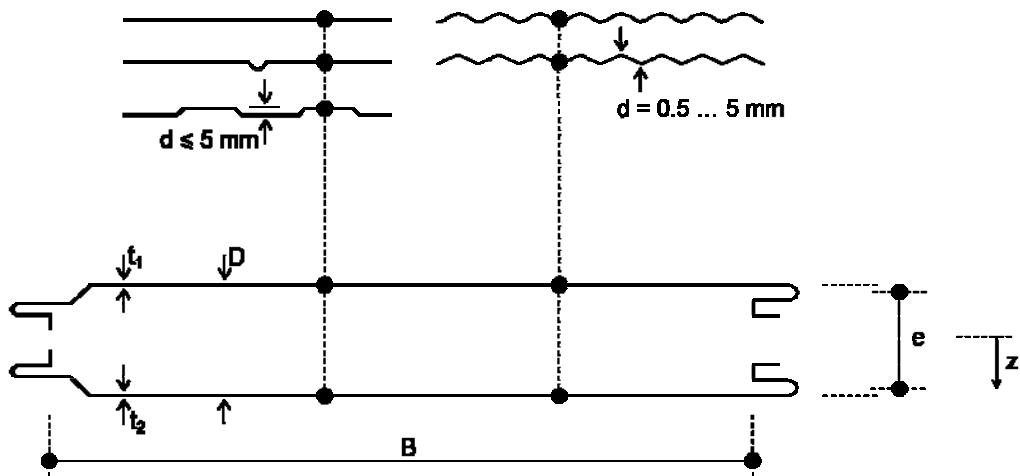


Σχήμα 3.19 : Κεντρικός Υπολογιστής

3.4 Προφίλ και Βασικές Διαστάσεις Σύνθετων Πάνελ Χάλυβα με πυρήνα Πολυουρεθάνης

3.4.1 Διαστάσεις Επίπεδου Πάνελ (Πάνελ Πλαγιοκάλυψης- Wall Panel)

Η διατομή ενός τυπικού επίπεδου πάνελ , οι βασικές του διαστάσεις και οι συμβολισμοί αυτών ,φαίνονται στο σχήμα 3.20



Σχήμα 3.20: Η διατομή ενός τυπικού επίπεδου πάνελ , οι βασικές του διαστάσεις

και οι συμβολισμοί αυτών

D: Το συνολικό πάχος του σύνθετου πάνελ

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων

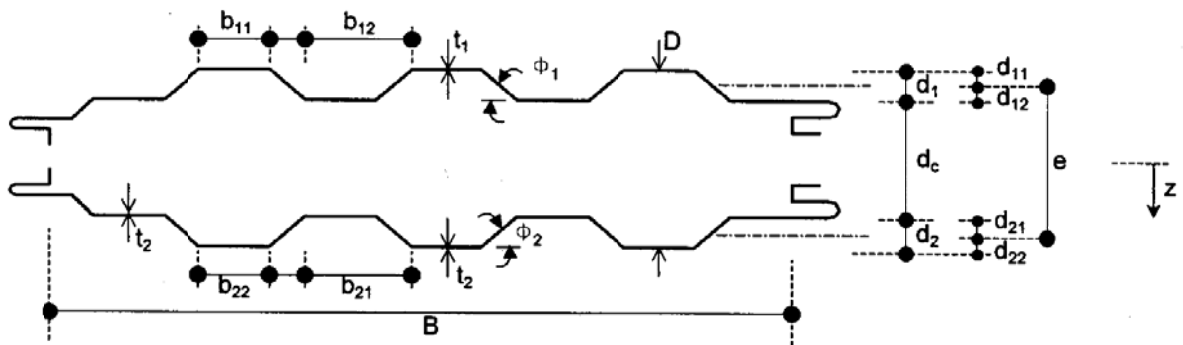
t_1 και t_2 : τα πάχη των πάνω και κάτω , χαλύβδινων ελασμάτων αντίστοιχα.

B: Το πλάτος του πάνελ

d : Το βάθος της μορφοποιημένης επιφάνειας

3.4.2 Διαστάσεις Τραπεζοειδούς Πάνελ (Roof Panel)

Η διατομή ενός τυπικού τραπεζοειδούς πάνελ , οι βασικές του διαστάσεις και οι συμβολισμοί αυτών , φαίνονται στο σχήμα 3.21



Σχήμα 3.21: Η διατομή ενός τυπικού τραπεζοειδούς πάνελ , οι βασικές του διαστάσεις και οι συμβολισμοί αυτών

D: Το συνολικό πάχος του σύνθετου πάνελ

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων

t_1 και t_2 : τα πάχη των πάνω και κάτω , χαλύβδινων ελασμάτων αντίστοιχα.

B: Το πλάτος του πάνελ

d : Το βάθος της μορφοποιημένης επιφάνειας

όπου :

Ο δείκτης 1 υποδηλώνει την πάνω επιφάνεια και ο δείκτης 2, την κάτω επιφάνεια του πάνελ.

3.5 Πλεονεκτήματα σύνθετων πάνελ χάλυβα

- **Μεγάλο Εύρος εφαρμογών**

Τα σύνθετα πάνελς είναι διαθέσιμα για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Όλα είναι δυνατά από την επικάλυψη ή την ολοκληρωτική κατασκευή προσόψεων, έως για εφαρμογές στην ψύξη και τον τομέα του κλιματισμού. Σε στέγες, σε προσόψεις ή ως διαχωριστικά ή και διακοσμητικά στοιχεία εσωτερικών χώρων, τα σύνθετα πάνελς προσφέρουν πολλές και διαφορετικές ελκυστικές λύσεις.

Αναφέρονται ενδεικτικά οι πιο συνηθέστερες εφαρμογές τους:

- Αρχιτεκτονικές Επενδύσεις
- Εσωτερική Διακόσμηση
- Επικαλύψεις εσωτερικών τοίχων
- Επικαλύψεις οροφών
- Επιγραφές
- Ανακαινίσεις κτιρίων
- Εκθεσιακά περίπτερα
- Εσωτερικά χωρίσματα
- Στάσεις λεωφορείων
- Ψευδοροφές
- Κατασκευή Προκατασκευασμένων κατοικιών
- Κατασκευή Κοντέινερ
- Πρατήρια Βενζίνης
- Κατασκευή Δαπέδων Ψυκτικών Θαλάμων

- **Πρωτοποριακός σχεδιασμός**

Η πρωτοτυπία των κτιρίων στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σύνθετα πάνελς χάλυβα δεν γνωρίζει όρια. Πολλών ειδών επιφανειακές κατεργασίες, απεριόριστη επιλογή χρωμάτων και μεταλλικών βαφών και μια ποικιλία τρόπων επικάλυψης, προσφέρουν την ελευθερία που απαιτεί σήμερα η σύγχρονη αρχιτεκτονική. Οι αόρατοι και διαφορετικοί τρόποι στήριξης και η ευχέρεια συνδυασμού με άλλα δομικά υλικά διευκολύνουν την υλοποίηση νέων ιδεών και την ένταξη τους σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Τα σύγχρονα δομικά υλικά πρέπει να ικανοποιούν πολλές και μεγάλες απαιτήσεις. Τα σάντουιτς πάνελς έχουν εφευρεθεί για τα σύγχρονα κτίρια. Το υλικό είναι σχεδόν προκατασκευασμένο, η συναρμολόγηση και τοποθέτηση

είναι γρήγορη και ο πυρήνας πολυουρεθάνης προσφέρει περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα (βλ. Παρ 1.6.5)

- **Μεγάλη διάρκεια ζωής**

Στα σύνθετα πάνελς χάλυβα, η μειωμένη συντήρηση συνδυάζεται με μεγάλη διάρκεια ζωής (30 εώς 50 χρόνια). Οι σύγχρονες τεχνικές επιφανειακής κατεργασίας προσφέρουν προστασία από την διάβρωση και από την υπέρυθρη ακτινοβολία. Ο αφρός πολυουρεθάνης που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πυρήνα είναι εξαιρετικά ανθεκτικός στην γήρανση. Χάρης σε αυτές τις ιδιότητες, τα σύνθετα πάνελ χάλυβα προσφέρουν δομές με μακρά διάρκεια ζωής και αμείωτη αξία.

- **Ευελιξία**

Ένα ευρύ φάσμα τυποποιημένων διαστάσεων πάνελς χάλυβα με πυρήνα πολυουρεθάνης και εξαρτημάτων, τα καθιστούν ένα ευέλικτο δομικό υλικό. Τα σύνθετα πάνελς χάλυβα ανταποκρίνονται σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική και δομική πρόκληση της οικοδομικής βιομηχανίας, είναι κατάλληλα για όλα τα φέροντα συστήματα και είναι μια εφικτή επιλογή για όλες σχεδόν τις εφαρμογές.

Λόγω του υψηλού βαθμού βιομηχανικής προκατασκευής, τα πάνελ είναι έτοιμα προς χρήση. Η ευκολία μεταφοράς και αποθήκευσης στο εργοτάξιο που προσφέρουν τα σάντουιτς πάνελς, εξασφαλίζει χαμηλή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Οι υψηλές τιμές μόνωσης που επιτυγχάνονται με την χρήση των πάνελς προσφέρουν επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας, συμβάλλοντας στην προστασία των φυσικών πόρων.

- **Εξοικονόμηση χρόνου**

Τα σάντουιτς πάνελς δίνουν την δυνατότητα επίσπευσης των χρονοδιαγραμμάτων κατασκευής. Λόγω του μειωμένου βάρους τους, η κατεργασία και τοποθέτηση τους είναι μια εύκολη και γρήγορη διαδικασία που γίνεται στο εργοτάξιο με όλες σχεδόν τις καιρικές συνθήκες. Οι άριστες δομικές και φυσικές ιδιότητες των σάντουιτς πάνελς χάλυβα, επιτρέπουν ελευθερία στην εκπόνηση μελετών και δίνει σύγχρονες λύσεις σε κατασκευαστικά προβλήματα.

- **Μεγάλη Μηχανική Αντοχή**

Τα σάντουιτς πάνελς χάλυβα επιδεικνύουν μεγάλη αντοχή στην κάμψη και στην στρέψη και δεν συμβάλλουν μόνο στην κατασκευή αποφερόμενων προσόψεων, αλλά μπορούν να φέρουν αξιόλογα φορτία. Σημαντικοί παράγοντες είναι οι διαστάσεις και η διατομή του χάλυβα που αποτελεί το περίβλημα, καθώς και το πάχος και η πυκνότητα του αφρού πολυουρεθάνης που συνθέτουν τον πυρήνα. (βλ. Πίνακες 3.2, 3.3 & Παρ. 1.6.5.3 : Ιδιότητες χαλυβδόφυλλων και πυρήνα πολυουρεθάνης).

- **Προστασία από υγρασία και ζέστη**

Χωρίς να χρειάζονται πολυδάπανες μονώσεις τα σύνθετα πάνελς χάλυβα προσφέρουν υψηλό επίπεδο θερμομόνωσης χάρις στην χρήση σκληρού αφρού πολυουρεθάνης για τον πυρήνα σε συνδυασμό με τοίχους λεπτού πάχους. Με βάση δε τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την απόφαση EnEV 2000 (Γερμ. Energieeinsparverordnung : Διάταγμα εξοικονόμησης ενέργειας) για εξοικονόμηση ενέργειας, έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι για 100% θερμική προστασία ενός κτιρίου, αν χρησιμοποιηθούν πάνελς χάλυβα με πυρήνα πολυουρεθάνης, το συνολικό κόστος υλικών και τοποθέτησης αυξάνει μόνο κατά 10%. Με την πρόοδο δε της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν επιπλέον αρχιτεκτονικές και λειτουργικές επιλογές, όπως για παράδειγμα ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών στοιχείων και πάνελς χάλυβα, που προσφέρουν ταυτόχρονα υψηλή θερμομόνωση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ίδιο σημαντικό παράγοντας με την θερμομόνωση και την προστασία από την υγρασία για την ποιότητα του μικροκλίματος του χώρου, είναι και η αεροστεγανότητα που προσφέρουν οι σύγχρονες τεχνικές συνδεσμολογίας και τοποθέτησης των πάνελς και το εξωτερικό χαλύβδινο περίβλημα τους. (βλ. Παρ. 1.6.5.3.: Ιδιότητες αφρού Πολυουρεθάνης)

- **Προστασία από τις καιρικές συνθήκες και την διάβρωση**

Η προστασία από τις καιρικές συνθήκες και την διάβρωση παίζουν σημαντικό ρόλο στον χρόνο ζωής και στις μειωμένες απαιτήσεις συντήρησης ενός κτιρίου. Τις τελευταίες δεκαετίες, η προστασία των προσόψεων των κτιρίων που είναι κατασκευασμένες από σύνθετα πάνελς χάλυβα, είναι απόλυτη σχεδόν χάρις και στις σύγχρονες μεθόδους επιφανειακής επεξεργασίας που υφίστανται. Σύμφωνα με μελέτη του γερμανικού Ινστιτούτου Galileo η ζωή ενός κτιρίου επενδυμένου με πάνελς χάλυβα μπορεί να ξεπεράσει και το όριο ζωής δύο γενεών ανάλογα με την τοποθεσία που βρίσκεται.(βλ. Παρ. 1.6.5.3.: Ιδιότητες αφρού Πολυουρεθάνης)

- **Πυροπροστασία**

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη προστασίας από φωτιά που επιβάλλεται από τους πολεοδομικούς κανονισμούς και τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται, τα σύνθετα πάνελς χάλυβα θεωρούνται ως ένα από τα πιο ασφαλή και αξιόπιστα δομικά υλικά που προσφέρουν αυξημένη πυροπροστασία.(βλ. Παρ. 1.6.5.3 Ιδιότητες αφρού Πολυουρεθάνης)

- **Ηχομόνωση**

Σε γενικές γραμμές είναι γνωστό ότι οι ελαφρές κατασκευές προσφέρουν μικρότερη ηχομόνωση από τις βαριές. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι τα σύνθετα πάνελς χάλυβα δεν προσφέρουν ηχομόνωση. Σύνθετα πάνελς πάχους 60 χιλιοστών έχουν βάσει μετρήσεων μέσο όρο συντελεστή σταθμισμένης ηχομείωσης περίπου 25dB. Ο συντελεστής σταθμισμένης ηχομείωσης βέβαια εξαρτάται και από το πάχος του πάνελ και το υλικό κατασκευής του πυρήνα.

- **Οικονομία**

Η αντοχή του σύνθετου πάνελ χάλυβα προσφέρει και μια οικονομική., καθόλου ευκαταφρόνητη, διάσταση. Παραγωγικότητα και μειωμένος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου, πολλές φορές είναι από τις βασικότερες απαιτήσεις. Ο συνδυασμός της χρήσης ενός δομικού στοιχείου, κατά κύριο λόγο προκατασκευασμένου, με την ευελιξία του σχεδιασμού και τις ικανότητες του υλικού να συνεργάζεται με όλα τα δομικά στοιχεία καλύπτοντας μεγάλες επιφάνειες και την γρήγορη συναρμολόγηση, το καθιστούν άκρως αποδοτικό. Έχει δε ήδη αναφερθεί η οικονομική απόδοση που αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και το χαμηλό κόστος συντήρησης.

- **Η χρήση ενέργειας για την παραγωγή σύνθετων πάνελς χάλυβα**

Η παραγωγή σχετίζεται με την κατανάλωση ενέργειας και οποιοσδήποτε είδος κατανάλωσης ενέργειας έχει τις ανάλογες επιπτώσεις στο περιβάλλον για φυσικούς κυρίως λόγους όπως:

- μείωση των πηγών ενέργειας
- αλλαγή του τοπίου
- εκπομπές στο περιβάλλον και ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις
- εκπομπές στην ατμόσφαιρα και / ή την γεώσφαιρα με επέκταση και στον υδροφόρο ορίζοντα

Κάθε είδος ενεργειακής παροχής και χρήσης επιβαρύνει έως ένα ορισμένο σημείο το περιβάλλον. Οπότε, η κρίσιμη ερώτηση που αφορά στην οικολογική αξιολόγηση των σύνθετων πάνελς χάλυβα είναι *"Πόση ενέργεια καταναλώνεται για την παραγωγή του και για πόσο καιρό και σε ποια ποσότητα εξοικονομείται ενέργεια στην διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου;"* Στον πίνακα 3.4 αναφέρεται η κατανομή της ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή ενός σύνθετου πάνελ χάλυβα 1m², συνολικού πάχους 60 mm και πάχους των φύλλων χάλυβα 1 0,5 χιλιοστά mm.

Για όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τα μονωτικά υλικά ανταποκρίνονται στην λειτουργία που καλούνται να εκτελέσουν στο σύνολο του κτιρίου και συμβάλλουν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και κλιματισμό, τόσο μεγαλύτερο είναι το περιβαλλοντικό πλεονέκτημα αναφορικά με:

- την εξοικονόμηση πηγών ενέργειας
- μείωση των εκπομπών

Με βάση λοιπόν την άριστη θερμομονωτική ικανότητα του αφρού πολυουρεθάνης και τις τεχνικές συναρμολόγησης των πάνελς που διακόπτουν τις θερμικές γέφυρες, η δομική μέθοδος με πάνελ χάλυβα είναι ένα από τα πιο αποτελεσματικά κατασκευαστικά συστήματα σε αυτό το πλαίσιο.

Ενέργεια	Ποσοστό
Παραγωγή Ελασμάτων Χάλυβα	20 %
Παραγωγή σκληρού Αφρού Πολυουρεθάνης	66%
Προμήθεια των πρώτων υλών πολυουρεθάνης	1%
Κατεργασία των αφρώδων πρώτων υλών	4%
Συσκευασία	6%
Μεταφορά	3%
Σύνολο	100%

Πίνακας 3.4: Ποσοστιαία κατανομή ενέργειας για την παραγωγή σύνθετου πάνελ .

- **Η διπλή λειτουργία του αφρού πολυουρεθάνης**

Ένα μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την θέρμανση των κτιρίων. Λόγω αυτής της άμεσης συσχέτισης της θερμικής ενέργειας και εκπομπών, μεταξύ του διοξειδίου του άνθρακα και του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο από μόνο του οδηγεί σε σοβαρές κλιματικές αλλαγές η θερμομόνωση των κτιρίων απέκτησε μεγάλη σπουδαιότητα την δεκαετία του 70. Τα σύνθετα πάνελς χάλυβα λόγω της χρήσης μονωτικών υλικών για την κατασκευή του πυρήνα τους, έχουν διπλή λειτουργία. Στο αρχικό στάδιο της χρήσης τους εξοικονομούν ενέργεια για δεκαετίες (20 - 50 χρόνια ή και περισσότερο) που είναι πολλαπλάσιο της παραγόμενης ενέργειας. Στο δεύτερο στάδιο χρήσης τους η υψηλή θερμαντική δύναμη του πυρήνα πολυουρεθάνης κατά την αποτέφρωση του συνεπάγεται ελάχιστες επικίνδυνες ουσίες -αποτελεί μια επιπλέον συνεισφορά στην παραγωγή ενέργειας που "επιστρέφει" περίπου το 1/3 της χρησιμοποιημένης ενέργειας.

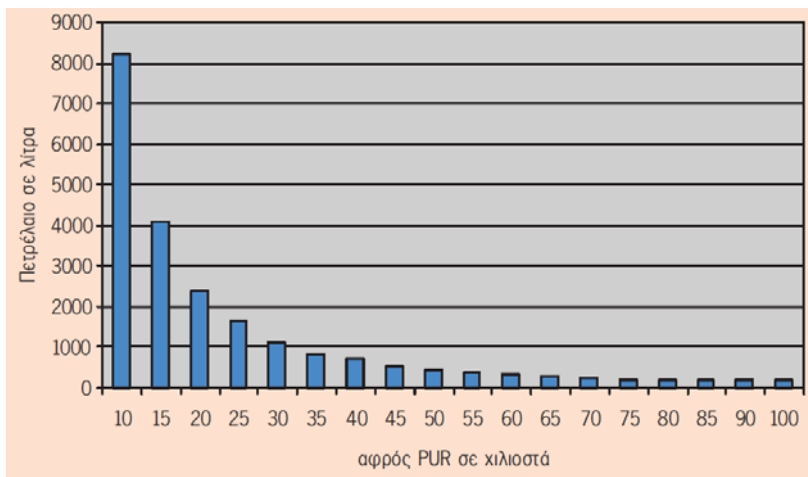
- **Η εξοικονόμηση ενέργειας συγκριτικά με την παραγωγή ενέργειας**

Για την παραγωγή της πολυουρεθάνης χρειάζονται περίπου 834 kWh/m³. Αυτά τα κυβικά μέτρα μονωτικού υλικού τοποθετούνται ανάμεσα σε δύο φύλλα χάλυβα π.χ. μήκους 10 m και πλάτους 1 m και σχηματίζει ένα σάντουιτς πάνελ π.χ. πάχους 100 mm και η κατανάλωση θερμικής ενέργειας για αυτό το κομμάτι σάντουιτς πάνελ με τιμή $k = 0,25 \text{ W/ m k}$ μπορεί να υπολογιστεί περίπου χρησιμοποιώντας τον εμπειρικό κανόνα:

Συντελεστής $k \times 10 =$ λίτρα πετρελαίου (για mm² της εξωτερικής επιφάνειας της πρόσοψης)

Η κατανάλωση πετρελαίου αντιστοιχεί περίπου σε 2,5 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο. Για επιφάνεια πρόσοψης με σάντουιτς πάνελ 10 m² σύμφωνα με το παραπάνω παράδειγμα, απαιτούνται περίπου 25 λίτρα πετρελαίου για θέρμανση την χειμερινή περίοδο. Μια βαθμιαία αύξηση των 5

mm κάθε φορά του πάχους του μονωτικού υλικού, οδηγεί σε εκθετική συνάρτηση όπου αυξάνει η εξοικονόμηση όσο μειώνεται το πάχος της πολυουρεθάνης. Για το παράδειγμα του πάνελ με τα 100 mm πάχος και επιφάνειας 10 m², καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι εξοικονομούνται περίπου 100 λίτρα πετρελαίου. Μπορεί να υποθεθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός πάνελ, ανάλογα με τα υλικά που το συνθέτουν και την χρήση του είναι μεταξύ των 20 και 50 ετών. Αν κατά μέσο όρο θεωρηθεί ότι η διάρκεια ζωής είναι 35 χρόνια, ένα κυβικό μέτρο αφρού πολυουρεθάνης που αποτελεί τον πυρήνα του πάνελ για αυτή την περίοδο του χρόνου, οδηγεί σε συνολική εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 3.500 λίτρα πετρελαίου.



Σχήμα 3.22 : Διάγραμμα που δείχνει την εξοικονόμηση πετρελαίου ανά περίοδο θέρμανσης ανάλογα με την αύξηση του πάχους του πυρήνα πολυουρεθάνης των πάνελ ανά 5 χιλιοστών.

- **Ανάκτηση ενέργειας μετά την περίοδο χρήσης**

Για να κλείσει αυτό το ενεργειακό ισοζύγιο, πρέπει να προσδιοριστεί ποσοτικά και το ενεργειακό δυναμικό του υλικού που αποτελεί τον πυρήνα του πάνελ μετά την χρήση του. Η ενεργειακή αξιολόγηση με την ανάκτηση ενέργειας (θερμική ανακύκλωση) προσφέρει καλά αποτελέσματα για το ενεργειακό ισοζύγιο. Για παράδειγμα, ο σκληρός αφρός πολυουρεθάνης, σύμφωνα με το DIN 18230 έχει τιμή θερμαντικής δύναμης μεταξύ 24 και 27 MJ/kg. Στο παράδειγμα που αναφέρεται εδώ, θα χρησιμοποιηθεί μια μέση τιμή θερμαντικής δύναμης 25.5 MJ/kg. Η καύση ενός κυβικού μέτρου σκληρού αφρού πολυουρεθάνης ακατέργαστου πάχους 40 kg/m³ παράγει περίπου 1.020 MJ ή 1,02 GJ ενέργειας. Μια σύγκριση με την θερμαντική δύναμη του πετρελαίου (36 MJ/λίτρο) μας οδηγεί ότι αντιστοιχεί σε 28,3 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης. Με μέση τιμή πετρελαίου θέρμανσης 0,50 ευρώ ανά λίτρο τους χειμερινούς μήνες, για κάθε κυβικό μέτρο πολυουρεθάνης μπορεί να ανακτηθεί κατ' αποτίμηση ενεργειακής αξίας περίπου 14 ευρώ.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε , σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η μελέτη της αντοχής των σύνθετων πάνελ τύπου σάντουιτς με διπλή εξωτερική επένδυση χάλυβα και πυρήνα αφρού πολυουρεθάνης.

Οι δοκιμές που έγιναν στο εργαστήριο του Τομέα Κατεργασιών του Ε.Μ.Π ,τα αποτελέσματα , οι απαραίτητοι υπολογισμοί καθώς και τα συμπεράσματα που εξάγαμε, παραπέμπονται αναλυτικά στο Κεφ 5.

Παρακάτω αναφέρουμε συνοπτικά τις ιδιότητες , τα χαρακτηριστικά , τη μορφή κ.τ.λ. , του προς μελέτη υλικού :

4.1 Εταιρεία Παραγωγής

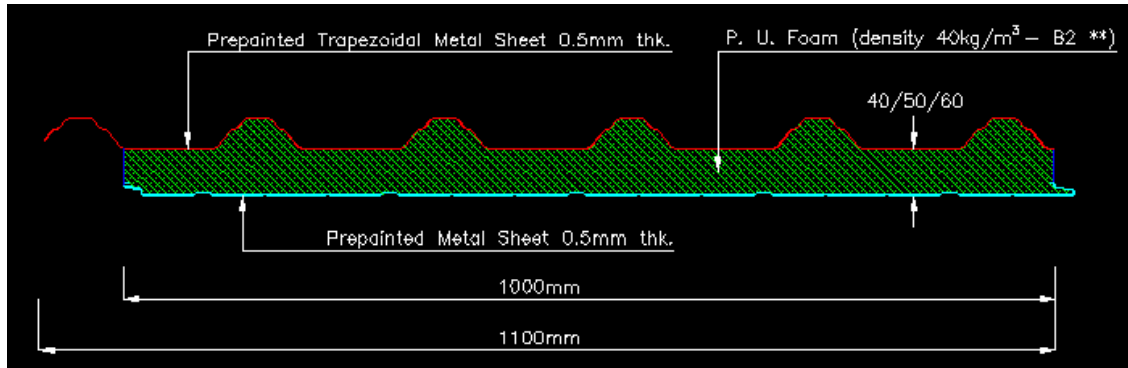
Το προς μελέτη υλικό παράγεται από την Nicolaidis & Kountouris Metal Company που εδρεύει στη Κύπρο η οποία μας προμήθευσε το σύνολο των δοκιμών. Η Nicolaidis & Kountouris Metal Company ασχολείται από το έτος της ίδρυσης της ,το 1977, με τον σχεδιασμό, κατασκευή και συναρμολόγηση μεταλλικών δομικών κατασκευών καθώς επίσης με την παραγωγή προϊόντων ψυχρής κατεργασίας διαμόρφωσης (roll forming) και με την παραγωγή θερμομονωτικών πανέλων πολυουρεθάνης με τα οποία ασχολούμαστε στην παρούσα εργασία.

4.2 Μορφή Τελικού Προϊόντος (Προφίλ)

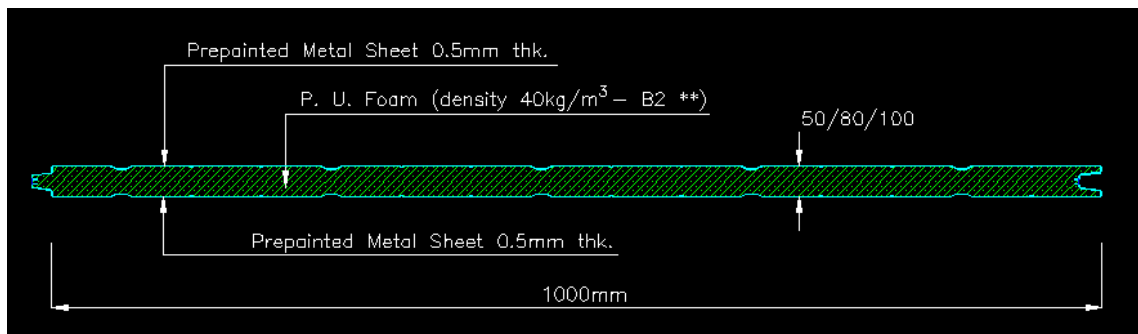
Τα θερμομονωτικά πάνελς , χρησιμοποιούνται για την κατασκευή στεγών, εξωτερικών και εσωτερικών τοιχωμάτων, ψευδοροφές προκατασκευασμένων οικιών, σε ψυκτικούς θαλάμους κ.τ.λ.

Για τις απαιτήσεις των πιο πάνω εφαρμογών , η εταιρεία N & K metal company, παράγει πάνελς σε δύο διαφορετικές μορφές :

1. Τραπεζοειδή μορφή (Σχήμα 4.1) για χρήση κυρίως σε οροφές και στέγες., σε πάχη 40mm ,50 mm και 60 mm.
2. Επίπεδη μορφή (Σχήμα 4.2) για πλαγιοκαλύψεις , εξωτερικές επενδύσεις κτιρίων, τοιχοποιία, ψυκτικούς θαλάμους κ.τ.λ, σε πάχη 50 mm,60 mm, 80 mm και 100 mm.



Σχήμα 4.1 : Προφίλ Τραπεζοειδούς πάνελ της εταιρείας Nicolaidis & Kountouris Metal Company



Σχήμα 4.2 : Προφίλ Επίπεδου πάνελ της εταιρείας Nicolaidis & Kountouris Metal Company

4.3 Εξωτερικές χαλύβδινες επιφάνειες

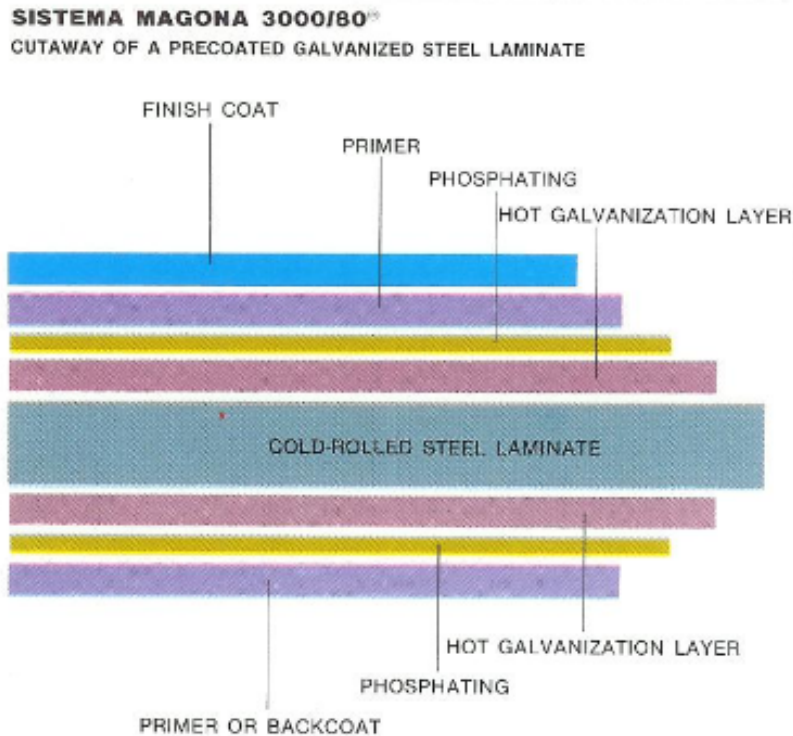
Όπως περιγράφηκε στο Κεφ. 3.2.2 , οι εξωτερικές μεταλλικές επιφάνειες διαμορφώνονται με ψυχρή έλαση από ρολά χάλυβα (ή και αλουμινίου) .

Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται από την εταιρεία N&K είναι ανθρακούχος χάλυβας επενδυμένος με στρώση γαλβανίσματος, ποιότητας S250GD σύμφωνα με τα πρότυπα EN 10147 ,EN 10142, EN 10214, EN 10215 και οι ανοχές του είναι σύμφωνα με το EN 10143, με ελάχιστο όριο διαρροής 280 N/mm^2 . Το χαλυβδόφυλλο είναι εμβαπτισμένο εν θερμώ σε λουτρό ψευδάργυρου Z275 με συνολική μάζα επικάλυψης και στις δύο πλευρές : 275 g/m^2 και με $19.5 \mu\text{m}$ πάχος επικάλυψης στη μια πλευρά (βλ. Πίνακα 3.2) . Συνήθως τα ελάσματα που χρησιμοποιούνται είναι γαλβανισμένα προβαμμένα (Σχήμα 4.3) και υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία χρωμάτων.

Η Nicolaidis & Kountouris Metal Company προμηθεύεται τα ρολά χάλυβα από την ευρωπαϊκή αγορά .Το φύλλο χάλυβα μπορεί να είναι διαφόρων παχών αλλά στις μέρες μας,χρησιμοποιείται κυρίως χαλυβδοελάσματα πάχους 0.5 mm .

Τα προς μελέτη δοκίμια –πάνελ (παραγωγή της εταιρείας N&K ,)έχουν πάχος ελάσματος 0.5 mm .

Για την παραγωγή των τραπεζοειδών πάνελ χρησιμοποιούνται ρολά χάλυβα με πλάτος 1250mm και για την παραγωγή των επίπεδων πάνελ χρησιμοποιούνται ρολά χάλυβα πλάτους 1070mm.



Σχήμα 4.3 : Τα προβαμμένα γαλβανισμένα χαλύβδινα ελάσματα της εταιρείας Magona d'Italia , με κωδικό Sistema 3000/80, αποτελούν μια από τις επιλογές της εταιρείας Nicolaidis & Kountouris Metal Company, για την παραγωγή των εξωτερικών επενδύσεων των πάνελ.

4.4 Μονωτικό υλικό

Η εταιρεία Nicolaidis & Kountouris Metal Company χρησιμοποιεί διογκωμένο αφρό πολυουρεθάνης χωρίς CFC, με αντίσταση στη φωτιά κατηγορίας B2 (βλ. Κεφ 1.4.1 : Φυσικές Ιδιότητες θερμομονωτικών Υλικών) σύμφωνα με το πρότυπο DIN 4102 -1 :1995 -05.

Οι βασικές ιδιότητες του είναι:

Πυκνότητα αφρού Πολυουρεθάνης : $40 \text{ kg/m}^3 \pm 2 \text{ kg/m}^3$
Συντελεστής Θερμική Αγωγιμότητας : $\lambda = 0.021 - 0.022 \text{ W/mk}$
Θλιπτική Αντοχή : 140 – 150 Kpa
Υδροπερατότητα : ποσοστό κλειστών κυψέλων $95 \% \pm 2 \%$

4.5 Ανοχές Πάνελ

Τα πάνελς που θα μελετήσουμε , σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Nicolaidēs & Kountouris Metal Company) , έχουν τις εξής γεωμετρικές Ανοχές:

- Ανοχές πλάτους πάνελ : ± 2 mm
- Ανοχές μήκους πάνελ : ± 5 mm
- Ανοχές πάχους πάνελ : ± 2 mm

4.6 Συντελεστής Θερμοπερατότητας

Όπως γνωρίζουμε (βλ. ΚΕΦ 2.9) , ο συντελεστής θερμοπερατότητας U- value , μεταβάλλεται σε σχέση με το πάχος του πάνελ . Στον πίνακα 4.1 παρατίθενται οι συντελεστές θερμοπερατότητας για τα πάνελ της εταιρείας Nicolaidēs & Kountouris Metal Company.Οι τιμές των συντελεστών αυτών υπολογίστηκαν με τις σχέσεις του Κεφ. 2.9.

Τύπος Πάνελ	Πάχος Δοκιμίου D (mm)	U- value (W/m ² K)
Τραπεζοειδές	40	0,43
Τραπεζοειδές	50	0,36
Τραπεζοειδές	60	0,31
Επίπεδο	50	0,43
Επίπεδο	60	0,35
Επίπεδο	80	0,26
Επίπεδο	100	0,20

Πίνακας 4.1 : Τιμές των συντελεστών θερμοπερατότητας των ,προς μελέτη πάνελ

Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια που καθορίζονται στο περί Απαιτήσεων Ελάχιστης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου Διάταγμα (βλ. ΚΕΦ. 1.2.3).

4.7 Χαρακτηριστικά παραγωγής

Στα Σχήματα 4.4 έως 4.17 παρουσιάζονται τα στάδια παραγωγής των πάνελ ,της εταιρείας Nicolaidēs & Kountouris Metal Company παρατέθοντας και τις κύριες παραμέτρους της παραγωγής τα οποία συμφωνούν πλήρως τη διαδικασία παραγωγής και τις προδιαγραφές ,όπως περιγράφηκαν στο Υποκεφ. 3. 2 :



Σχήμα 4.4 : Uncoiler ρολού χάλυβα. Το συγκεκριμένο uncoiler είναι υδραυλικό ,μονής κεφαλής (Μοντέλο UC3C), της εταιρείας Sen Fung Roll form Machinery Corp. (Ταϊβαν) και μπορεί να σηκώσει ρολό χάλυβα (coil) με τα εξής χαρακτηριστικά :

Βάρος ρολού : 7500 kg

Εσωτερική Διάμετρος ρολού : 480 - 510 mm

Εξωτερική Διάμετρος ρολού : 1000 mm

Πλάτος ρολού: 1300 mm



Σχήμα 4.5 : Το φύλλο χάλυβα , πάχους 0.5 mm, ρολό και πριν από την είσοδο του στα ράουλα μορφής , καλύπτεται με προστατευτική μεμβράνη.



Σχήμα 4.6 : Είσοδος του φύλλου Χάλυβα στα ράουλα μορφής



Σχήμα 4.7 : Ράουλα μορφής. Η εταιρεία Nicolaidis & Kountouris Metal Company χρησιμοποιεί ράουλα της εταιρείας Sen Fung Roll form Machinery Corp. (Taiwan)



Σχήμα 4.8: Πλευρικά ράουλα μορφής



Σχήμα 4.9 : Είσοδος των μορφοποιημένων φύλλων χάλυβα στο κλίβανο θέρμανσης με αέρα. Τα χαλύβδινα φύλλα θερμαίνονται στους 45°C .



Σχήμα 4.10 : Εξοδος των μορφοποιημένων φύλλων χάλυβα από το κλίβανο θέρμανσης .





Σχήμα 4.11: Κλίβανοι τοποθέτησης και κλίβανοι μίξης των πρώτων υλών για την παραγωγή του αφρού πολυουρεθάνης. Οι πρώτες ύλες (πολυόλη με καταλύτη και ισοκυάνιο) που χρησιμοποιούνται από την εταιρεία Nicolaidis & Kountouris Metal Company παρασκευάζονται από την ιταλική βιομηχανία χημικών , DOW Chemical .



Σχήμα 4.12 : Το άνω και το κάτω φύλλο χάλυβα οδηγούνται στο τμήμα έκχυσης του αφρού πολυουρεθάνης.



Σχήμα 4.13: Εκχυση υλικού ,από την ειδική «κεφαλή» έκχυσης. Η κεφαλή κινείται κατά μήκος του πλάτους της μεταλλικής επιφάνειας.



Σχήμα 4.14 : Είσοδος στη πρέσα διπλών ιμάντων . πρέσα όπως και τα υπόλοιπα μέρη της μονάδας εγκατάστασης (εκτός του uncoiler και των ραούλων) , έχουν κατασκευαστεί από την Ιταλική εταιρεία PUMA.

Η πρέσα διπλών ιμάντων έχει μήκος 23 m και κινείται με ταχύτητα , της τάξης των 4 m/min.



Σχήμα 4.15 : Η ακριβής οδήγηση των χαλύβδινων επιφανειών (όπου έχει ήδη εκχυθεί ο αφρός πολυουρεθάνης), επιτυγχάνεται με κινούμενους πλευρικούς οδηγούς.



Σχήμα 4.16: Έξοδος του τελικού προϊόντος – πάνελ από την πρέσα διπλών ιμάντων



Σχήμα 4.17 : Κοπή του πάνελ με οδοντωτό δίσκο κοπής

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΠΑΝΕΛ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ , ΜΕ ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΧΑΛΥΒΑ.

5.1 Εισαγωγή

Η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων του σύνθετου πάνελ χάλυβα παίζει ένα από τους σπουδαιότερους ρόλους στον υπολογισμό των διαστάσεων και στην επιλογή όλων των υλικών μιας κατασκευής και επομένως έχει άμεση σχέση και με το κόστος μιας κατασκευής.

Ο προσδιορισμός των επικίνδυνων ορίων φορτίσεως του υλικού σε όλες τις δυνατές καταπονήσεις και στην συνέχεια ο καθορισμός των ασφαλών ορίων φορτίσεως σε κάθε περίπτωση ,αποτελούν στοιχεία απαραίτητα για την κατάλληλη και την ορθή χρήση του υλικού στους διάφορους κλάδους της βιομηχανίας.

Οι κυριότερες δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των βασικών μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού είναι οι εξής:

1. Δοκιμές εφελκυσμού του σύνθετου Πάνελ (Cross panel tensile test).
2. Δοκιμή θλίψης του πυρήνα του υλικού (Compressive strength and modulus of the core material)
3. Δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων (Shear test on the core material – 4-point bending test)
4. Δοκιμή για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων διάτμησης του σύνθετου υλικού (Test to determine the shear properties of a complete panel)
5. Δοκιμή για τον προσδιορισμό της ροπής κάμψης και της ακαμψίας, σύνθετου πάνελ απλής στήριξης (Test to determine the bending moment capacity and stiffness of a simply supported panel)
6. Προσδιορισμός του συντελεστή ερπυσμού (ϕ_t) (Determination of the creep coefficient)
7. Αλληλεπίδραση μεταξύ ροπής κάμψης και των δυνάμεων που ασκούν οι απλές στηρίξεις , στο πάνελ (Interaction between bending moment and support force)
8. Δοκιμή αντοχής σε σημειακό φορτίο και σε ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο (Test for resistance to point loads and repeated loads)

Στα σύνθετα πάνελ χάλυβα γίνονται δοκιμές και για τον προσδιορισμό και άλλων χαρακτηριστικών και φυσικών ιδιοτήτων τους όπως δοκιμές που αφορούν : την αντίσταση τους στην υγρασία και στη διάβρωση, την αεροστεγανότητα , την ηχομόνωση, την φαινόμενη πυκνότητα ,την θερμική διαπερατότητα (u value) κ.τ.λ.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτυχθούν κάποιες κύριες δοκιμές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σύνθετων πάνελ χάλυβα , τις οποίες αναπτύξαμε στο εργαστήριο του Τομέα Κατεργασιών του Ε.Μ.Π. Η τυποποίηση έχει μεγάλη σημασία για την σωστή διεξαγωγή των δοκιμών . Το πρότυπο στο οποίο βασίζονται όλες οι δοκιμές αλλά και οι υπολογισμοί μας, είναι το EN 14509:2006/AC το οποίο έχει εγκριθεί από την CEN (Ευρωπαϊκή Επιτροπή τυποποίησης) και έχει τίτλο : «Self-supporting double skin metal faced

insulating panels - Factory made products – Specifications» (Αυτοφερόμενα διπλής μεταλλικής όψης μονωτικά πάνελ τύπου Σάντουιτς – Εργοστασιακά Παραγόμενα Προϊόντα –Προδιαγραφές)

Οι δοκιμές με τις οποίες θα ασχοληθούμε είναι οι εξής:

1. Δοκιμή Θλίψης του πυρήνα του υλικού
2. Διάτμηση του πυρήνα του Υλικού – Δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων
3. Δοκιμή για τον προσδιορισμό της ροπής κάμψης και της ακαμψίας, σύνθετου πάνελ απλής στήριξης (Δοκιμή κάμψης έξι σημείων)
4. Αλληλεπίδραση μεταξύ ροπής κάμψης και των δυνάμεων που ασκούν οι απλές στηρίξεις , στο πάνελ

Σε όλες τις πιο πάνω δοκιμές τα σύνθετα υλικά στηρίζονται σε δύο στηρίξεις (single span tests). Για σκοπούς σύγκρισης, διεξάγεται και δοκιμή κάμψης με ενδιάμεση στήριξη και συγκεκριμένα δοκιμή κάμψης 7 σημείων (two span test).

Όλες οι δοκιμές που διενεργήθηκαν στο Εργαστήριο του Τομέα Κατρεγασιών του Ε.Μ.Π , έγιναν με τη χρήση της μηχανής Instron 4482 , περιγραφή της οποίας ,ακολουθεί στην Παράγραφο 5.2.

5.2. INSTRON 4482

Για την αξονική στατική καταπόνηση χρησιμοποιήθηκε η πρέσα δοκιμών INSTRON 4482 του εργαστηρίου (σχήμα 5.1). Πρόκειται για μηχανική πρέσα (μηχανισμού κοχλία-περικοχλίου) ονομαστικού φορτίου 10 KNt.

Τα βασικά μέρη της πρέσας αυτής, είναι,

- Το πλαίσιο, μορφής Ο, που περιλαμβάνει το τραπέζι στερέωσης του δοκιμίου και το μηχανισμό κίνησης του εργαλείου διαμόρφωσης.
- Ο μηχανισμός της κινητής κεφαλής.
- Ο πίνακας ελέγχου, ο οποίος διαθέτει θύρα επικοινωνίας συμβατή με το πρωτόκολλο IEEE, συνδεδεμένη μέσω παράλληλης θύρας με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά της πρέσας είναι,

- Ονομαστική δύναμη: 10 KNt.
- Μέγιστη ταχύτητα κινητής κεφαλής: 500 mm min⁻¹.
- Ταχύτητα επιστροφής κινητής κεφαλής στην αρχική θέση: 600 mm min⁻¹.
- Μέγιστο αναπτυσσόμενο φορτίο στη μέγιστη ταχύτητα: 75 KNt.
- Μέγιστη ταχύτητα κινητής κεφαλής σε μέγιστο φορτίο: 250 mm min⁻¹.
- Ευαισθησία κεφαλής πρέσας: 2 mV V⁻¹.

Κινητή
κεφαλή



Πλαίσιο
μορφής Ο

Πίνακας
ελέγχου

Σχήμα 5.1: Πρέσα δοκιμών INSTRON 4482, ονομαστικού φορτίου 10 KNt.

Ο πίνακας ελέγχου έχει ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή που αναλαμβάνει τη ρύθμιση όλων των παραμέτρων κατεργασίας και την επεξεργασία των απαραίτητων υπολογισμών.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2, ο πίνακας ελέγχου απαρτίζεται από τέσσερις κυρίους τομείς,

- Τον κεντρικό τομέα.
- Τον τομέα οθονών υγρών κρυστάλλων.
- Τον τομέα οριοθέτησεως.
- Τον τομέα κίνησης κεφαλής.

Τομέας
οριοθετήσεως



Τομέας οθονών
υγρών κρυστάλλων

Κεντρικός
τομέας

Τομέας κίνησης
κεφαλής

Σχήμα 5.2 : Πίνακας ελέγχου. Μηχανής Instron 4482

Στον κεντρικό τομέα υπάρχει αριθμητικό πληκτρολόγιο και οθόνη υγρών κρυστάλλων, τεσσάρων ψηφίων, καθώς και λυχνίες ένδειξης στο αριστερό μέρος, όπου αναγράφεται το χρησιμοποιούμενο σύστημα μέτρησης (SI, ENGLISH, METRIC). Η επιλογή του συστήματος μέτρησης γίνεται μέσω διακόπτη που βρίσκεται στο πίσω μέρος του πίνακα. Από τον κεντρικό τομέα υπάρχει η δυνατότητα για τις εξής ρυθμίσεις,

- Καλιμπράρισμα της μηχανής.
- Επιλογή της ταχύτητας κίνησης της κεφαλής.
- Οριοθέτηση της διαδρομής κίνησης.
- Καθορισμός του εύρους ενεργούς συμπίεσης του δοκιμίου.
- Έλεγχος της διαδικασίας εκτύπωσης των αποτελεσμάτων.
- Ενεργοποίηση της επικοινωνίας του πίνακα ελέγχου με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- Λειτουργία ειδικού λογισμικού διάγνωσης όλων των λειτουργιών της πρέσας.
- Καλιμπράρισμα των μετρητικών φορτίου και παραμόρφωσης.

Στον τομέα οθονών υγρών κρυστάλλων περιέχονται τρεις τετραψήφιες οθόνες υγρών κρυστάλλων καθώς και πλήκτρα, τα οποία επιτρέπουν την επιλογή φορτίου, επιμήκυνσης ή συμπίεσης δοκιμίου, καθώς επίσης και τα ακρότατα αυτών. Όλες οι τιμές αποθηκεύονται και είναι διαθέσιμες προς επεξεργασία μετά το πέρας της δοκιμής. Σε κάθε περίπτωση, η επιλεγείσα λειτουργία υποδεικνύεται από αντίστοιχη λυχνία.

Στον τομέα οριοθέτησης δηλώνεται το όριο οποιασδήποτε λειτουργίας, το οποίο δεν πρέπει να υπερβεί το σύστημα. Τα όρια αυτά πρέπει να εισάγονται για λόγους ασφαλείας στην περίπτωση καταπόνησης δοκιμίου με κρίσιμο ύψος, για την αποφυγή ενδεχομένου συναντήσεως κινητής και σταθερής πλάκας από εσφαλμένο καλιμπράρισμα της μέγιστης διαδρομής. Οι καταχωρήσεις εκτελούνται μέσω του αριθμητικού πληκτρολογίου του πίνακα ελέγχου και οι επιλεγείσες τιμές εμφανίζονται στην οθόνη υγρών κρυστάλλων του κεντρικού τομέα.

Οι λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν, μόλις επιτευχθούν τα όρια στις τιμές του φορτίου (LOAD), της επιμήκυνσης (EXTENSION), της παραμόρφωσης (STRAIN) και της θραύσης (BREAK) είναι οι εξής,

- Στάση της κεφαλής στη συγκεκριμένη θέση (STOP).
- Επιστροφή της κεφαλής στην αρχική θέση (RETURN).
- Αλλαγή της κατεύθυνσης για επαναλαμβανόμενη κίνηση (CYCLE).
- Σταμάτημα της κίνησης της κεφαλής (OFF).

Στον τομέα κίνησης της κεφαλής, που βρίσκεται στο κάτω μέρος του πίνακα ελέγχου, υπάρχει η δυνατότητα χειροκίνητου ελέγχου της κίνησης της κεφαλής μέσω τεσσάρων πλήκτρων. Να σημειωθεί ότι με την επιλογή του κομβίου «επιστροφή» η κεφαλή δεν κινείται με την προγραμματισμένη ταχύτητα αλλά με την μέγιστη δυνατή και σταματά στο σημείο εκκίνησης.

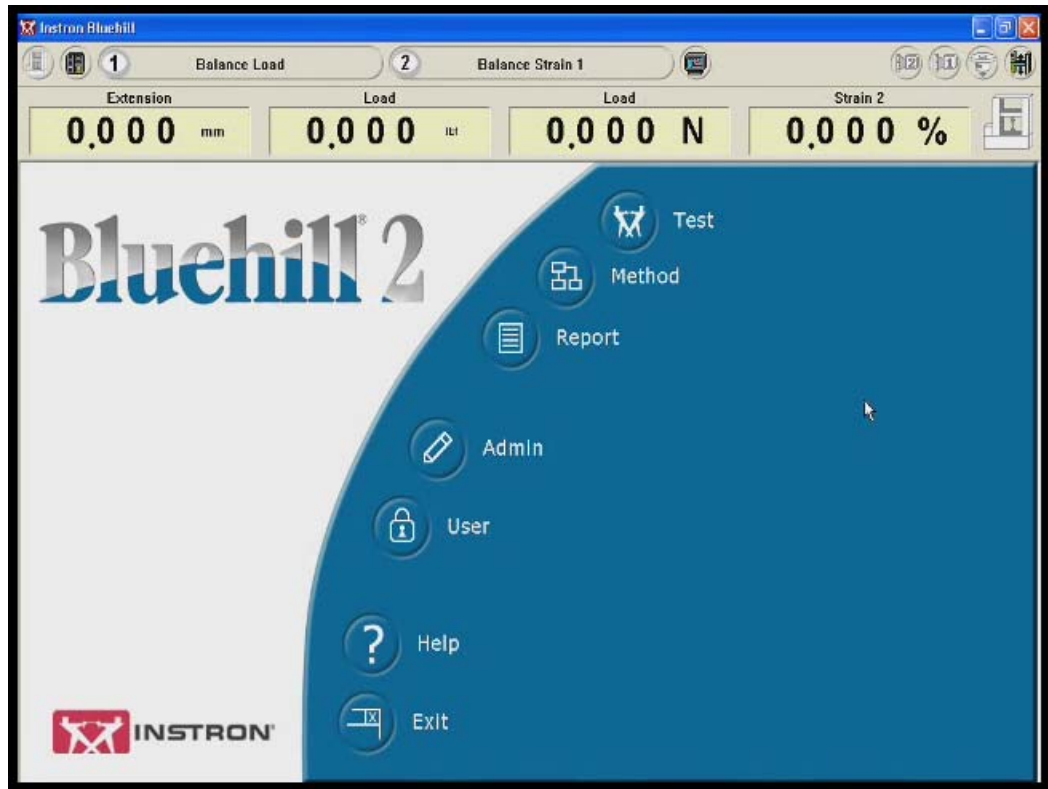
Στον πίνακα ελέγχου είναι επίσης ενσωματωμένα και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που αναλαμβάνουν τον έλεγχο και την επικοινωνία του συστήματος με τα μετρητικά φορτίου και παραμόρφωσης.

Όσον αφορά την ταχύτητα της δοκιμής είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως είναι το υλικό του δοκιμίου, οι αλλαγές που θα υποστεί το δοκίμιο κατά την διάρκεια του πειράματος και η μέγιστη ταχύτητα του εξωτερικού καταγραφέα-λήπτη που εξαρτάται από το ρυθμό δειγματοληψίας. Η ταχύτητα μπορεί να οριστεί με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η σωστή τοποθέτηση του δοκιμίου στην κάτω πλάκα της πρέσας, ώστε να αποφευχθεί τυχόν μετακίνηση του, και οι δύο πλάκες να παραμένουν παράλληλες μεταξύ τους, κατά την διάρκεια της δοκιμής. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η επιβολή μεγάλων φορτίων και εφαρμογή στρεπτικής δύναμης στην πλάκα της βάσης.

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται από την πρέσα δοκιμών για την επίτευξη της πειραματικής εργασίας είναι το Bluehill 2. Το Bluehill 2 είναι ένα πλήρες πακέτο λογισμικού που παρέχει ευκολία στην χρήση του καθώς και πολλαπλές λύσεις στους χειριστές του. Οι ομοιότητες που έχει το περιβάλλον του Bluehill 2, με το περιβάλλον του Internet, καθώς και οι ομοιοτητες που έχει με παλαιότερα λογισμικά (INSTRON Series IX Automated Material Tester), επιτρέπουν σε παλαιούς και νέους χρήστες να εξοικειωθούν εύκολα και γρήγορα με αυτό χωρίς να απαιτούνται κάποιες εξειδικευμένες γνώσεις.

Η αρχική οθόνη του λογισμικού Bluehill 2 αποτελείται από να αριθμό επιλογών που δίνουν πρόσβαση σε διάφορες λειτουργίες όπως αυτές φαίνονται στο σχήμα 5.3.

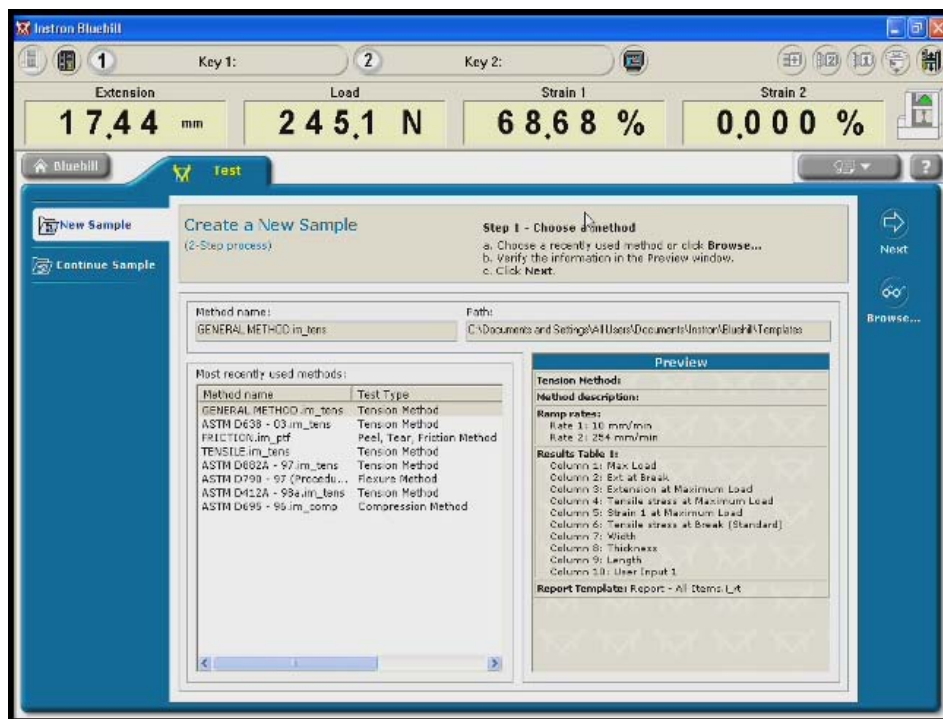


Σχήμα 5.3: Αρχικές επιλογές του προγράμματος Bluehill 2.

Οι διάφορες λειτουργίες που παρέχονται από το λογισμικό Bluehill 2 είναι:

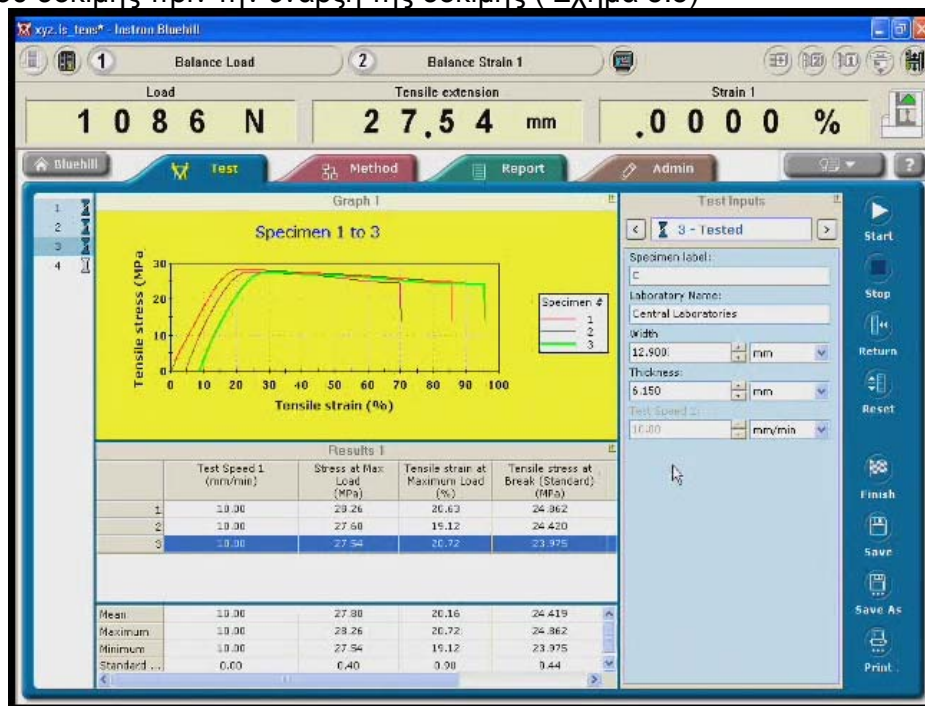
1. TEST

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τη διεξαγωγή πειράματος που ήδη έχει προετοιμαστεί. Το λογισμικό Bluehill 2 διαθέτει μια μεγάλη σειρά από τυποποιημένες μεθόδους, εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη να μελετηθούν πρότυπα ASTM, ISO, DIN EN, για την ρύθμιση των παραμέτρων της υπό μελέτης δοκιμής. Οι τυποποιημένες μέθοδοι καλύπτουν εκατοντάδες εφαρμογές. (βλ. Σχήμα 5.4)



Σχήμα 5.4 : Το λογισμικό Bluehill 2 διαθέτει τυποποιημένες μεθόδους δοκιμών οι οποίες ικανοποιούν εκατοντάδες εφαρμογές.

Με το λογισμικό Bluehill 2 υπάρχει η δυνατότητα προεπισκόπησης της μεθόδου δοκιμής πριν την έναρξη της δοκιμής (Σχήμα 5.5)



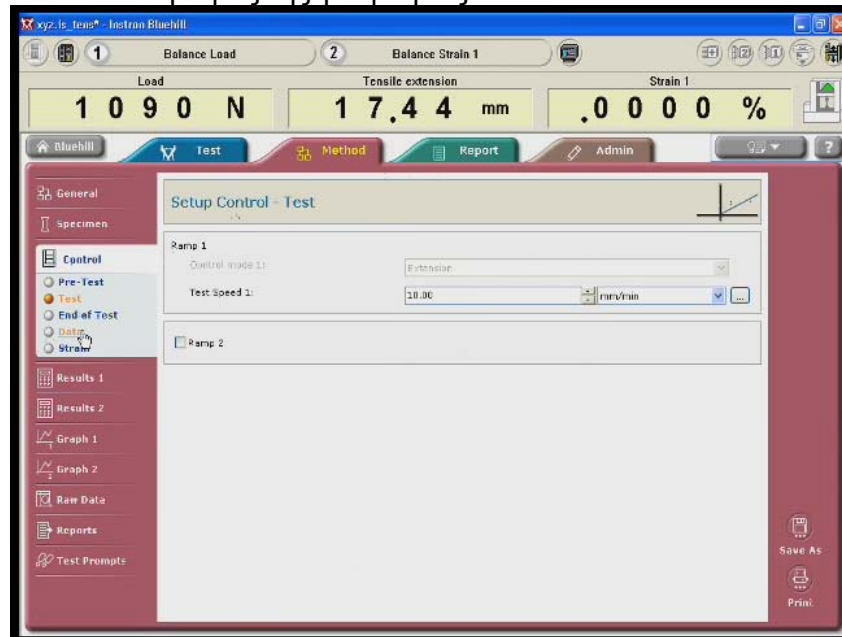
Σχήμα 5.5 : Το λογισμικό Bluehill 2 προσφέρει τη δυνατότητα προεπισκόπησης των συνολικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων της δοκιμής πριν την έναρξη της.

2. METHOD

Επιτρέπει την εισαγωγή νέων μεθόδων πειραμάτων ή τη μεταβολή των συνθηκών ενός ήδη υπάρχοντος όπως για παράδειγμα τη μεταβολή των διαστάσεων και της γεωμετρίας του δοκιμίου καθώς και άλλων παραμέτρων της πρέσσας όπως η ταχύτητα του εμβόλου (Σχήμα 5.6 και 5.7)



Σχήμα 5.6 : Καθορισμός της γεωμετρίας και των διαστάσεων του δοκιμίου.

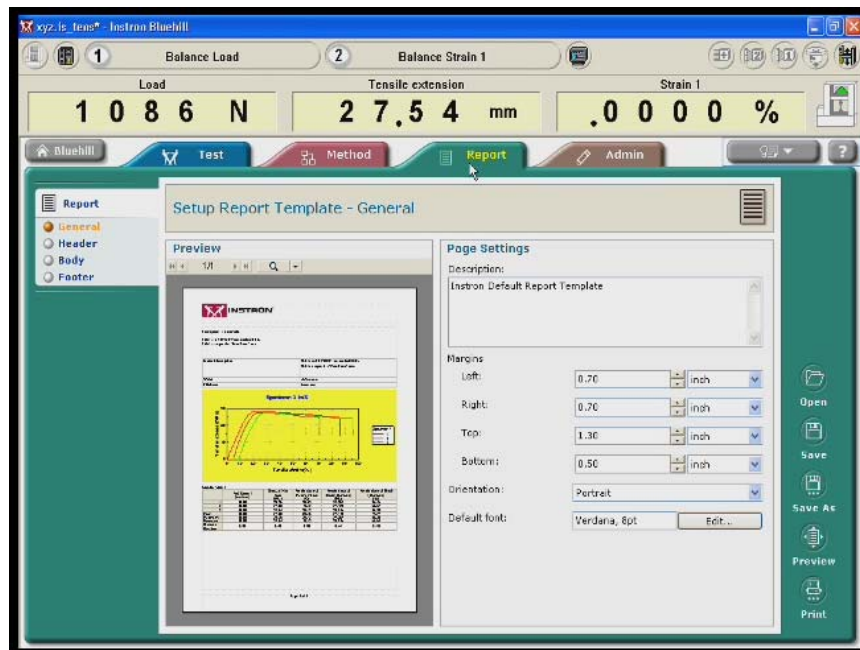


Σχήμα 5.7 : Αλλαγή της ταχύτητας του εμβόλου της πρέσσας με τη χρήση του λογισμικού Bluehill 2.

3. REPORT

Εμφανίζει τα αποτελέσματα της δοκιμής και εισάγει την διαδικασία δημιουργίας γραφημάτων.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής του τρόπου εμφάνισης των αποτελεσμάτων στην οθόνη. (Σχήματα 5.8)

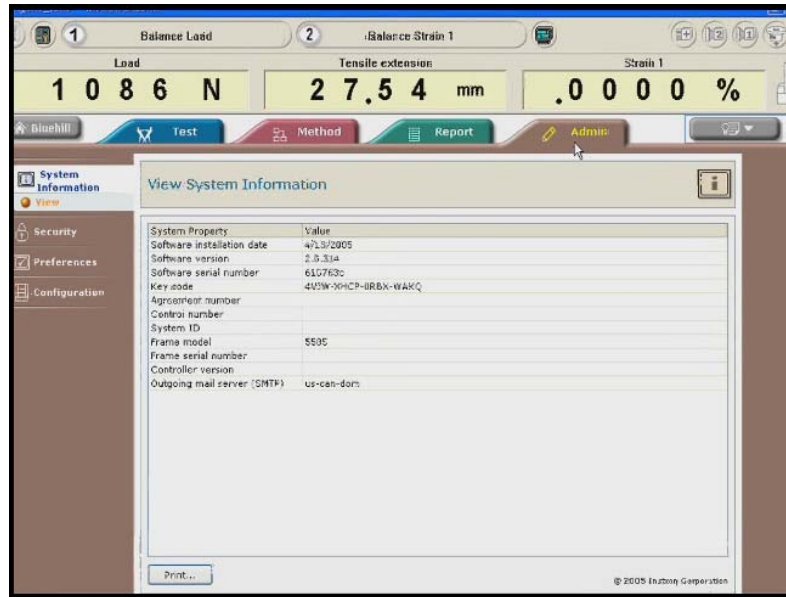


Σχήματα 5.8 : Μέσω της επιλογής report, ο έχει τη δυνατότητα επιλογής του τρόπου παρουσίασης των αποτελεσμάτων στην οθόνη του Η/Υ.

Τα αποτελέσματα μπορούν να αποθηκευτούν σε μορφή αρχείου Microsoft Word , σε μορφή αρχείου PDF ,ή ακόμα σε μορφή HTML (για την απευθείας εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε μια ιστοσελίδα)

4. ADMIN

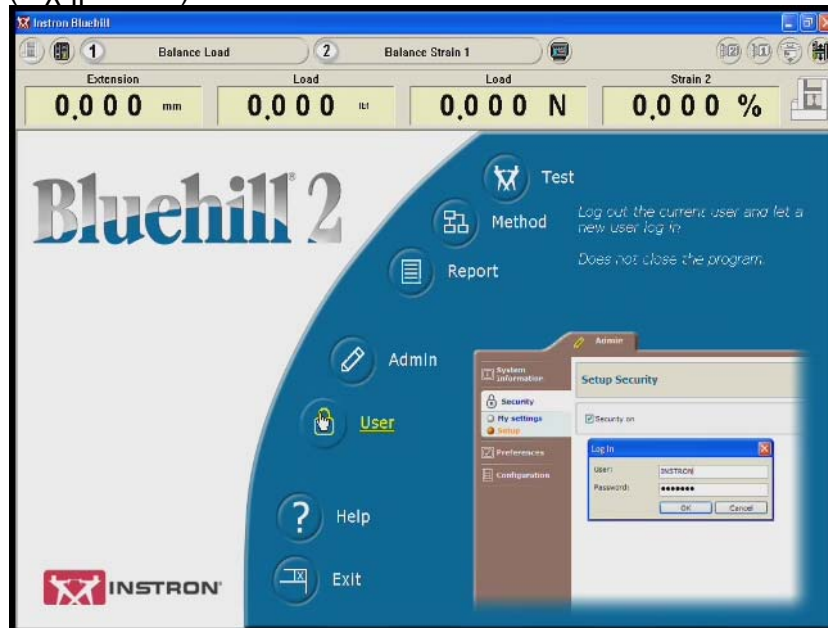
Παρέχει πληροφορίες που αφορούν αποκλειστικά τον υπεύθυνο του συστήματος. (Σχήμα 5.9)



Σχήμα 5.9 : Η επιλογή «admin» παρέχει πληροφορίες για τον υπεύθυνο του συστήματος.

5. User

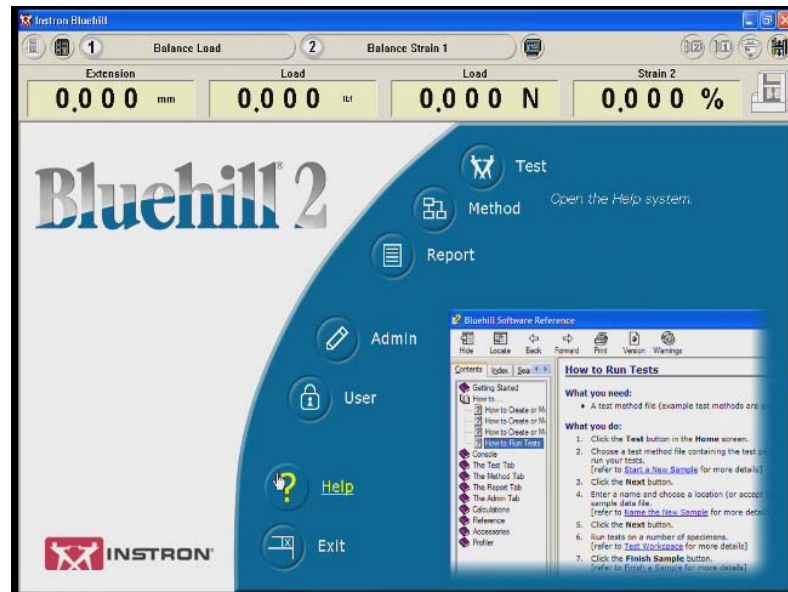
Δίνει στον υπεύθυνο του συστήματος την δημιουργία κωδικού πρόσβασης (Σχήμα 5.10)



Σχήμα 5.10 : Δημιουργία κωδικού πρόσβασης , με τη χρήση της επιλογής user

6. HELP

Παρέχει βοηθητικές οδηγίες στην περίπτωση που παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα. (Σχήμα 5.11)



Σχήμα 5.11: Η επιλογή Help παρέχει οδηγίες στο χειριστή σε περίπτωση δημιουργίας προβλήματος.

7. EXIT

Έξοδος από το πρόγραμμα.

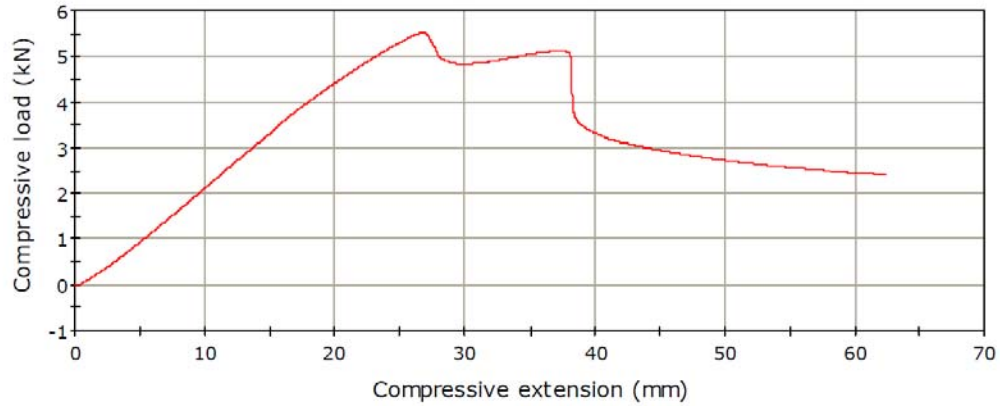
Αναφέρω ότι στις δοκιμές που διεξάγαμα στο εργαστήριο του τομέα Κατεργασιών του Ε.Μ.Π, χρησιμοποιήσαμε μια τυποποιημένη μέθοδο Συμπίεσης (Compression). Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η μορφή με την οποία λαμβάναμε τα αποτελέσματα των δοκιμών που διεξάγαμα για μια τυχαία δοκιμή. Είχαμε επιλέξει όπως λαμβάναμε τα αποτελέσματα σε μορφή Αρχείου PDF. Επιπλέον, για κάθε δοκιμή εκτός από το αρχείο PDF, λαμβάναμε και ένα αρχείο σε μορφή row file, το οποίο μετά από κατάλληλη επεξεργασία λαμβάναμε σε μορφή αρχείου Microsoft Excel.

This is an EXAMPLE COMPRESSION (UNPROMPTED) test method. This is an UNPROMPTED TEST where you can do whatever you want. Change the input window via the METHODS tab -> Test Prompts -> Test Workspace

This example method is "Read-Only".

Operator ID	ANTONIS KOUNTOURIS
Laboratory Name	MANUFACTURING TECHNOLOGY LAB
Company	SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING OF EMP
Temperature (deg C)	18.00
Humidity (%)	50.00
Rate 1	10.00000 mm/min
Number of specimens	3

LOAD - DEFLECTION GRAPH



	Specimen label	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0.2 %) (MPa)	Compressive Strength (MPa)
1	ROOF PANEL 50-2000 C	5516.71	0.14	0.22
Mean		5516.71	0.14	0.22
Standard Deviation		-----	-----	-----
Minimum		5516.71	0.14	0.22
Maximum		5516.71	0.14	0.22
Range		0.00	0.00	0.00

	Modulus (Young's Compressive stress 0 mm - 10 mm) (MPa)	Compressive load at Local Peak Maximum (Comp. extension 1 % Change) (N)	Load at Maximum Comp. load (N)	Extension at Maximum Comp. load (mm)
1	0.48568	-----	-5516.71013	-26.68930
Mean	0.48568	-----	-5516.71013	-26.68930
Standard Deviation	-----	-----	-----	-----

	Modulus (Young's Compressive stress 0 mm - 10 mm) (MPa)	Compressive load at Local Peak Maximum (Comp. extension 1 % Change) (N)	Load at Maximum Comp. load (N)	Extension at Maximum Comp. load (mm)
Minimum	0.48568	-----	-5516.71013	-26.68930
Maximum	0.48568	-----	-5516.71013	-26.68930
Range	0.00000	-----	0.00000	0.00000

Σχήμα 5.12: Η μορφή με την οποία λαμβάνουμε τα αποτελέσματα των δοκιμών που διεξάγαμε .

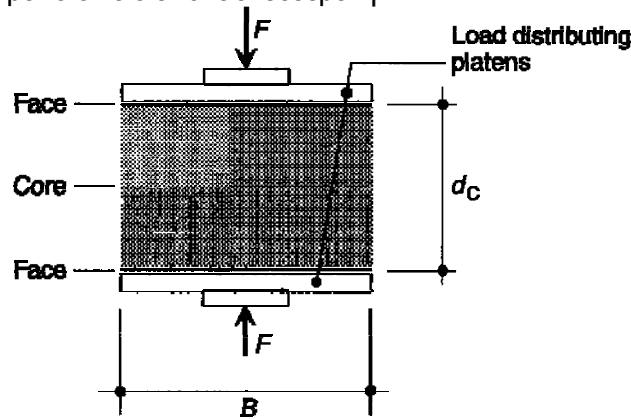
5.3 Δοκιμή Θλίψης του πυρήνα του υλικού. Υπολογισμός Μέγιστης θλιπτικής τάσης καθώς και του Μέτρου Ελαστικότητας του πυρήνα Πολυουρεθάνης.

5.3.1 Σκοπός δοκιμής

Με τη δοκιμή θλίψης υπολογίζεται η μέγιστη θλιπτική τάση καθώς και το μέτρο ελαστικότητας του πυρήνα πολυουρεθάνης. Η τιμή της δύναμης συμπίεσης του πυρήνα καθορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 826 (Thermal insulating products for building applications – determination of compression behavior) και με τη χρήση της παρακάτω μεθόδου.

5.3.2 Διάταξη

Η απαραίτητη διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 5.13 .Η μηχανή που χρησιμοποιείται είναι η Instron (βλ. Παρ. 5.2) η οποία έχει τη δυνατότητα να μετρά φορτία (σε KN) και μετατόπιση – παραμόρφωση (σε mm) και μέσω του λογισμικού που χρησιμοποιεί (Bluehill 2) να κατασκευάζει το διάγραμμα Φορτίου – Μετατόπισης και να τα εμφανίζει στην οθόνη του Η/Υ , με το οποίο είναι συνδεδεμένη.



Σχήμα 5.13 : Διάταξη Δοκιμής Θλίψης του Πυρήνα Πολυουρεθάνης

Όπου :

d_c = το πάχος του πυρήνα πολυουρεθάνης και

B = πλάτος του δοκιμίου

5.3.3 Δοκίμια

Οι δοκίμες που εκτελέσαμε αναφέρονται σε δύο είδη πάνελ : στα τραπεζοειδή και στα επίπεδα πάνελ(βλ. Παρ. 4.2).

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται για την δοκιμή θλίψης , σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509 πρέπει να αποτελούνται από δύο παράλληλες επιφάνειες , τετραγωνικής διατομής με πλευρά μεταξύ 100 και 300 mm . Κατά τις δικές μας δοκίμες στο εργαστήριο, έχουμε επιλέξει δοκίμια τετραγωνικής διατομής με μήκος πλευράς 100mm. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509 , τα δοκίμια δεν πρέπει να έχουν μορφοποιημένη επιφάνεια, οπότε τα δοκίμια που αφορούν τα τραπεζοειδή πάνελ, πρέπει να κοπούν όπως ακριβώς υποδεικνύει το σχήμα 5.14.



Σχήμα 5.14 : Κοπή δοκιμίων τραπεζοειδούς πάνελ , για την υλοποίηση της δοκιμής θλίψης.

Οι διαστάσεις των δοκιμίων μετρώνται σύμφωνα με το πρότυπο EN 12085, σύμφωνα με το οποίο η γεωμετρική ανοχή στις πλευρές του δοκιμίου πρέπει να είναι ± 3 mm. Κατά την κοπή των δοκιμίων ήμασταν ιδιαίτερα προσεκτικοί ,ούτως ώστε να βρισκόμαστε εντός των επιτρεπτών ορίων. Η κοπή των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητο δίσκο κοπής με οδοντωτό τροχό. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμίων , η συγκράτηση του πάνελ, παίζει σημαντικό ρόλο αφού με την σωστή συγκράτηση μειώνονται οι κραδασμοί καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων τάσεων στον πυρήνα πολυουρεθάνης. Μετά την κοπή των δοκιμίων απορρίφθηκαν τα δοκίμια τα οποία δεν βρίσκονται στα όρια ($9.7 \text{ mm} \leq l \leq 10.3 \text{ mm}$).

Στην παρούσα μελέτη ασχοληθήκαμε με τραπεζοειδή πάνελ πάχους 40 και 50 mm , και με επίπεδο πάνελ πάχους 50 , 80, 100 mm . Τα πάχη αυτά επιλέχθηκαν έχοντας υπόψη μας ότι είναι τα πιο διαδεδομένα στο εμπόριο. Τα σύνθετα πάνελ χάλυβα που μελετήσαμε ,έχουν σταθερό πάχος χαλύβδινων επιφανειών ,ίσο με 0.5 mm.

5.3.4 Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών θλίψης

Το δείγμα τοποθετείται μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron βλ. Σχήμα 5.15. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι επαρκής ώστε να προκαλεί μετατόπιση – παραμορφωση (deflection) ίση με 10 % του 25 % του πάχους του σύνθετου υλικού , ανά λεπτό. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής , η μετατόπιση – παραμόρφωση μετράται με ακρίβεια του 1% και εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή Instron , η καμπύλη Φορτίου (F) – Παραμόρφωσης (w) (load – deflection curve) βλ. Σχήμα 5.4



Σχήμα 5.15 :Τοποθέτηση Δοκιμίων τετραγωνικής διατομής (S = 100 mm × 100 mm), μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron. Οι δοκιμές διεξάγονται υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.3.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

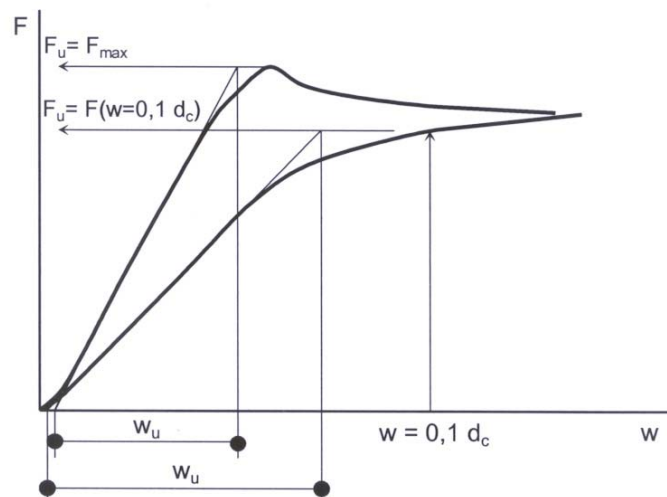
Μέγιστη θλιπτική τάση f_{cc}

$$f_{cc} = \frac{F_u}{A}$$

όπου

F_u : Το τελικό φορτίο, το οποίο ισοδυναμεί με το μέγιστο φορτίο στην καμπύλη φορτίου – μετατόπισης. Για δείγματα στα οποία δεν είναι εμφανές από το διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης, το τελικό φορτίο F_u , μπορεί να καθορισθεί ως το φορτίο σε μια συγκεκριμένη θέση παραμόρφωσης (συμβατικό φορτίο). Για τον αφρό πολυουρεθάνης, ο οποίος αποτελεί το υλικό του πυρήνα του πάνελ το οποίο μελετούμε, σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509, η κατάλληλη τιμή του τελικού φορτίου, λαμβάνεται εκείνη που αντιστοιχεί στο 10% της παραμόρφωσης του δοκιμίου (δηλ. στο φορτίο που αντιστοιχεί στο $w = 0.1d_c$), όπως φαίνεται στο σχήμα 5.16)

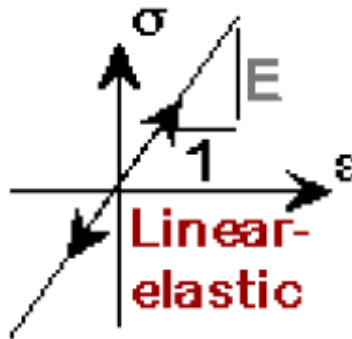
A: το εμβαδό της διατομής του δοκιμίου



Σχήμα 5.16 : Καμπύλη Φορτίου (F) – Μετατόπισης (w) (load – deflection curve)

Μέτρο ελαστικότητας του πυρήνα E_{cc}

Το μέτρο ελαστικότητας (ή μέτρο Young) συνδέει τάσεις και παραμορφώσεις στην ελαστική περιοχή (βλ. Σχήμα 5.17) σύμφωνα με τον νόμο του Hooke: $\sigma = E\varepsilon$



Σχήμα 5.17 : Το μέτρο ελαστικότητας συνδέει τάσεις και παραμορφώσεις στην ελαστική περιοχή

Το μέτρο ελαστικότητας του πυρήνα υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$E_{cc} = \frac{F_u d_c}{w_u A}$$

Όπου :

F_u : Το τελικό φορτίο

d_c : το πάχος του πυρήνα του υλικού (πάχος πολυουρεθάνης).

$$d_c = D - t_{1_} - t_2$$

D : το συνολικό πάχος του πάνελ

$t_{1_}$: το πάχος της πάνω επένδυσης του χάλυβα

($t_{1_} = 0,5 \text{ mm}$, αφού δεν λαμβάνεται υπόψη η μηδαμινή μείωση του πάχους που υπόκειται το φύλλο χάλυβα μετά την ψυχρή διαμόρφωση του στα ράουλα)

t_2 : το πάχος της κάτω επένδυσης του χάλυβα

($t_2 = 0,5 \text{ mm}$, αφού δεν λαμβάνεται υπόψη η μηδαμινή μείωση του πάχους που υπόκειται το φύλλο χάλυβα μετά την ψυχρή διαμόρφωση του στα ράουλα)

w_u : Η θεωρητική τιμή της μετατόπισης (συμβατική μετατόπιση), η οποία αντιστοιχεί στο σημείο της καμπύλης όπου η εφαπτομένη στο γραμμικό τμήμα της καμπύλης , τέμνει την οριζόντια ευθεία που περνά από το τελικό φορτίο F_u .

A : το εμβαδό της τομής του δοκιμίου

5.3.6 Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί

Με τη χρήση της διάταξης του Σχήματος 5.13 και ακολουθώντας τη διαδικασία που προαναφέρθηκε, παίρνουμε τα παρακάτω για το κάθε δοκίμιο ξεχωριστά.

Δοκίμια Τραπεζοειδούς Πάνελ:

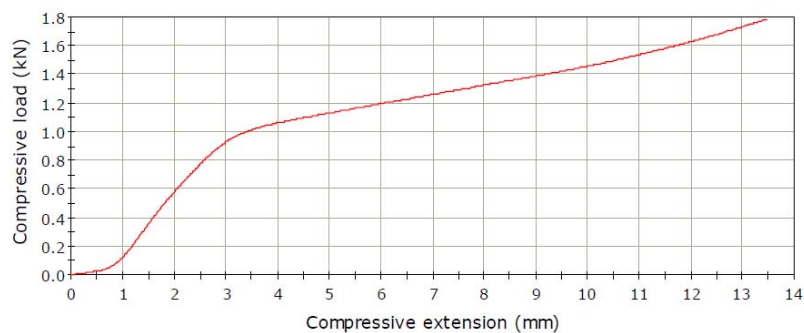
Δοκίμιο 1^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 40\text{mm}$, $A=100\text{mm} \times 100\text{mm}=10000\text{mm}^2$ (Δοκίμιο τετραγωνικής διατομής , πλευράς ίσης με 100mm)



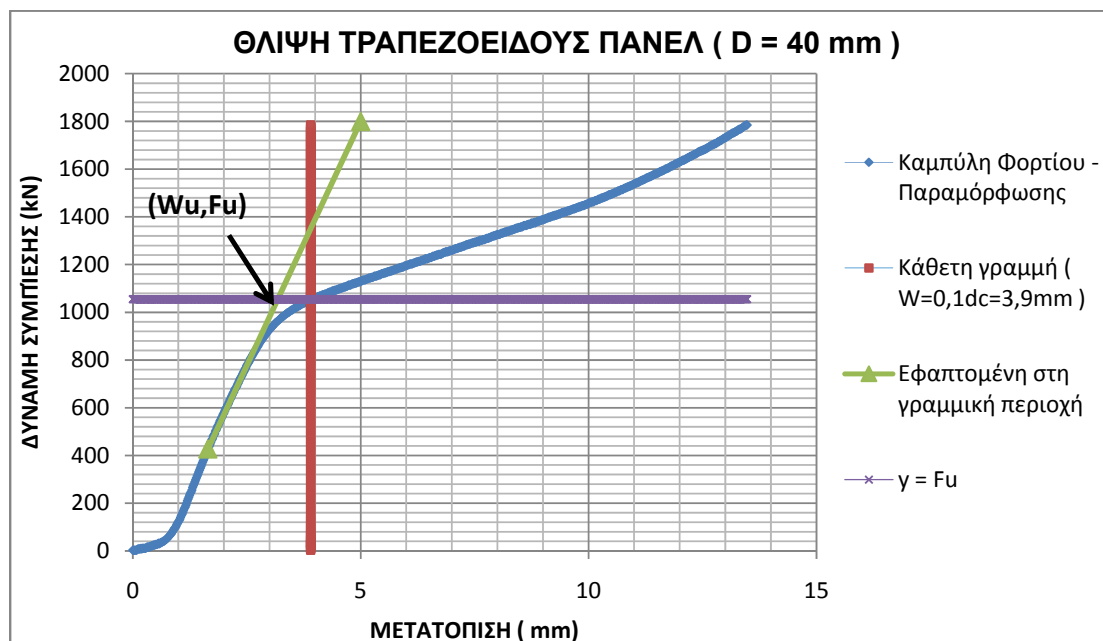
Σχήμα 5.18: Θλίψη δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, $A=10000\text{mm}^2$

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.1 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του, το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων, παρά μόνο σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel, προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.2) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του F_u , με τη χρήση της θεωρίας της Παρ. 5.3.5 (Πρότυπο διάγραμμα, Σχήμα 5.16)



Διάγραμμα 5.2 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ, με $D = 40\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (μετά την επεξεργασία των μετρήσεων σε Excel).

Το σημείο τομής της εφαπτόμενης γραμμής στην γραμμική περιοχή της καμπύλης, με το σημείο τομής της κάθετης γραμμής $w = 0.1d_c$ με την καμπύλη φορτίου –μετατόπισης, μας δίνει:

$$w_u = 3,2 \text{ mm}$$

$$F_u = 1055 \text{ N}$$

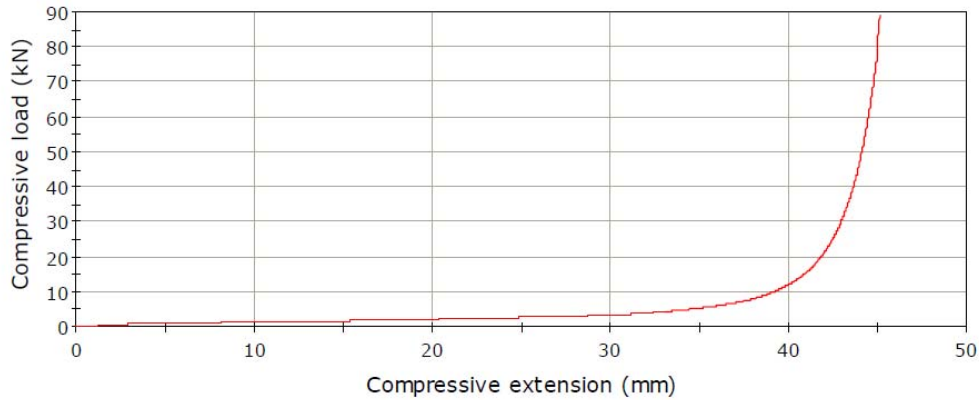
Δοκίμιο 2^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D = 50\text{mm}$, $A = 100\text{mm} \times 100\text{mm} = 10000\text{mm}^2$ (Δοκίμιο τετραγωνικής διατομής , πλευράς ίσης με 100mm)



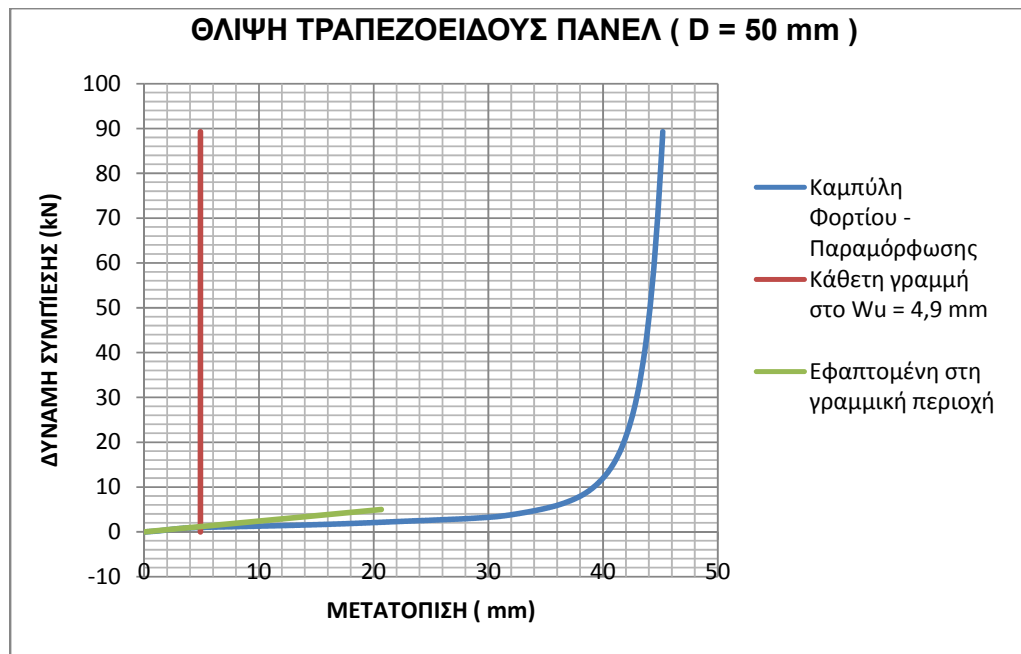
Σχήμα 5.19: Θλίψη δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ , με $D = 50\text{mm}$, $A = 10000\text{mm}^2$.

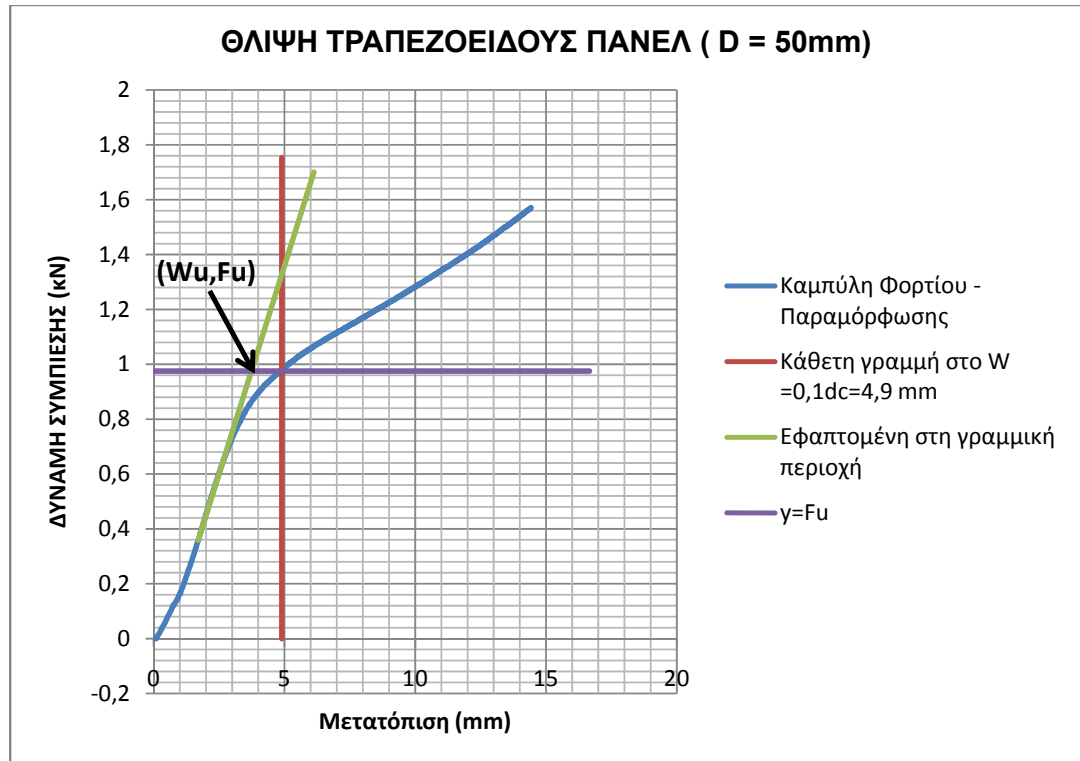
LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.3: Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ, με $D=50\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του, το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων, παρά μόνο σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel, προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.4), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του F_u , με τη χρήση της θεωρίας της Παρ. 5.3.5 (Πρότυπο διάγραμμα, Σχήμα 5.16)





Διάγραμμα 5.4 : Διάγραμμα Φορτίου – Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (μετά την επεξεργασία των μετρήσεων σε Excel).Για τον λόγο ότι το πρώτο διάγραμμα που προκύπτει δεν μας επιτρέπει να κάνουμε υπολογισμούς με ακρίβεια,προχωρήσαμε στην κατασκευή ενός δεύτερου διαγράμματος το οποίο επικεντρώνεται στη γραμμική περιοχή.

Το σημείο τομής της εφαπτόμενης γραμμής στην γραμμική περιοχή της καμπύλης, με το σημείο τομής της κάθετης γραμμής $w = 0.1d_c$ με την καμπύλη φορτίου –μετατόπισης, μας δίνει:

$$w_u = 3,64 \text{ mm}$$

$$F_u = 975 \text{ N}$$

Δοκίμια Επίπεδου Πάνελ:

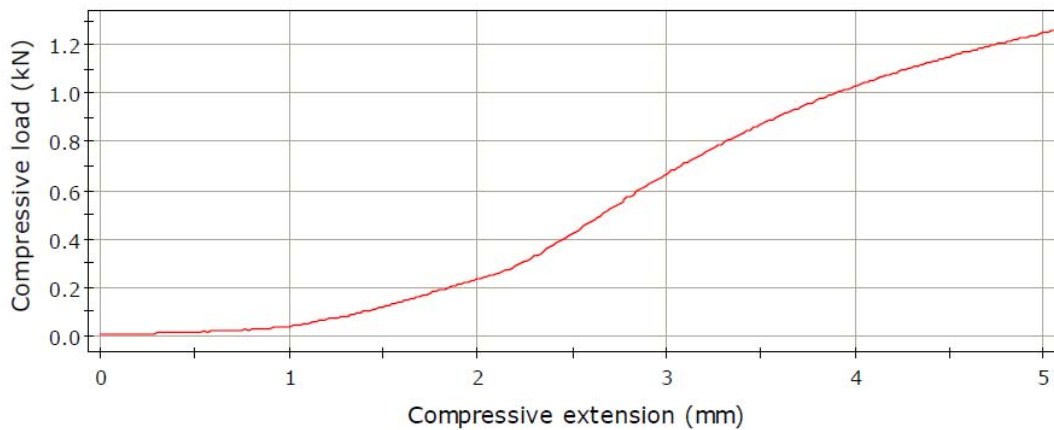
Δοκίμιο 3^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 50\text{mm}$, $A=100\text{mm} \times 100\text{mm}=10000\text{mm}^2$ (Δοκίμιο τετραγωνικής διατομής , πλευράς ίσης με 100mm)



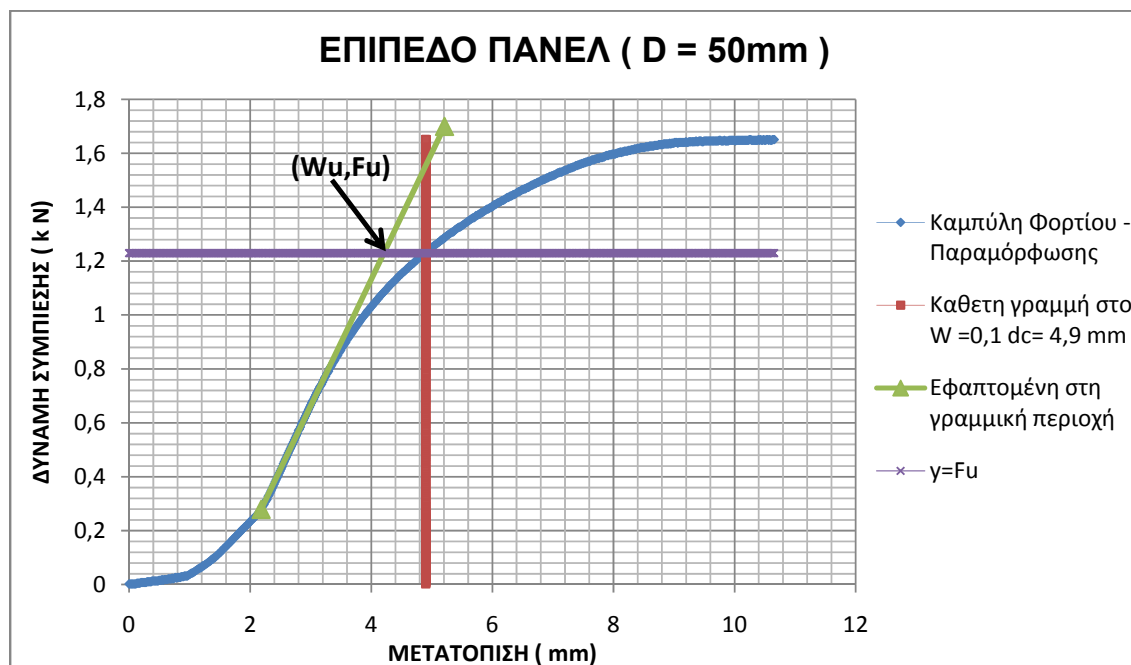
Σχήμα 5.20: Θλίψη δοκιμίου επίπεδου πάνελ, με $D= 50\text{mm}$, $A=10000\text{mm}^2$

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.5 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων, παρά μόνο σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.6), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του F_u , με τη χρήση της θεωρίας της Παρ. 5.3.5 (Πρότυπο διάγραμμα, Σχήμα 5.16)



Διάγραμμα 5.6 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (μετά την επεξεργασία των μετρήσεων σε Excel).

Το σημείο τομής της εφαπτόμενης γραμμής στην γραμμική περιοχή της καμπύλης, με το σημείο τομής της κάθετης γραμμής $w = 0.1d_c$ με την καμπύλη φορτίου –μετατόπισης, μας δίνει:

$$w_u = 4,2 \text{ mm}$$

$$F_u = 1230 \text{ N}$$

Δοκίμιο 4^ο :

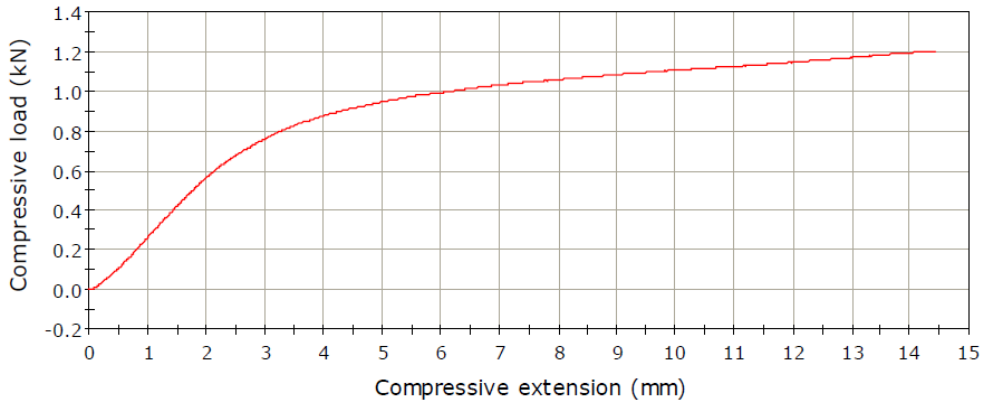
Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 80\text{mm}$

$a=100\text{mm} \times 100\text{mm}=10000\text{mm}^2$ (Δοκίμιο τετραγωνικής διατομής , πλευράς ίσης με 100mm)



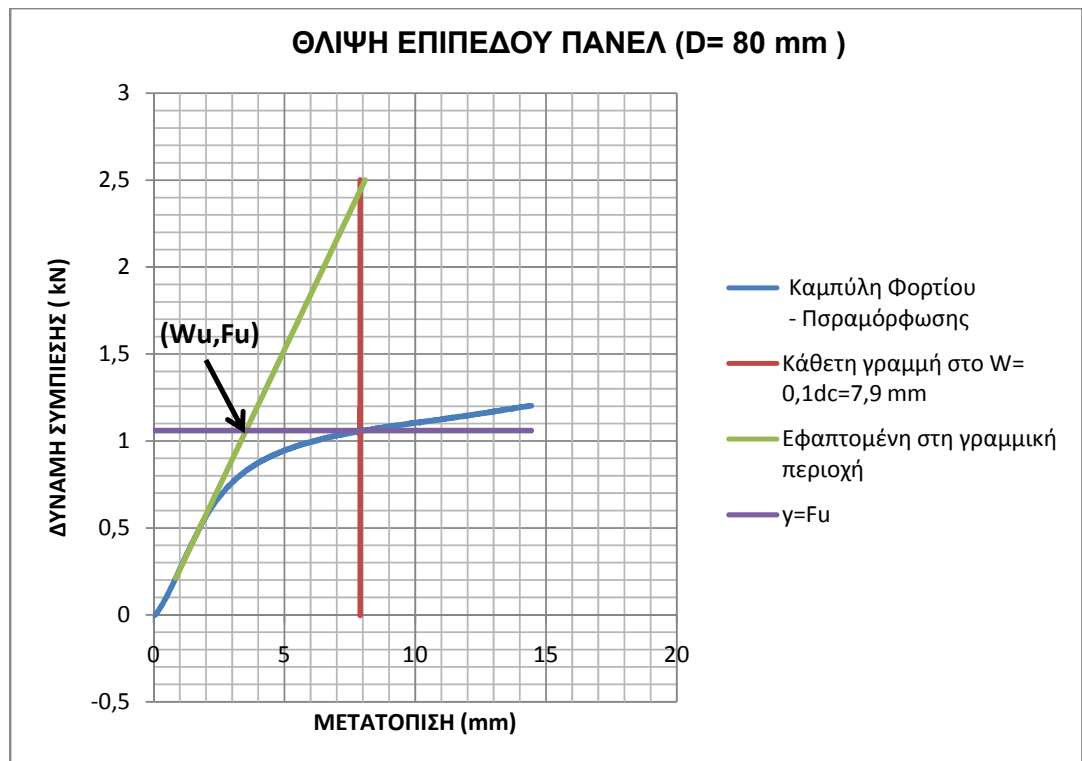
Σχήμα 5.21: Θλίψη δοκιμίου επίπεδου πάνελ, με $D= 80\text{mm}$, $A=10000\text{mm}^2$.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.7 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm, που καταπονήθηκε σε θλίψη (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων, παρά μόνο σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.8), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του F_u , με τη χρήση της θεωρίας της Παρ. 5.3.5 (Πρότυπο διάγραμμα, Σχήμα 5.16)



Διάγραμμα 5.8 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 80mm, που καταπονήθηκε σε θλίψη (μετά την επεξεργασία των μετρήσεων σε Excel).

Το σημείο τομής της εφαπτόμενης γραμμής στην γραμμική περιοχή της καμπύλης, με το σημείο τομής της κάθετης γραμμής $w = 0.1d_c$ με την καμπύλη φορτίου –μετατόπισης, μας δίνει:

$$w_u = 4,2 \text{ mm}$$
$$F_u = 1230 \text{ N}$$

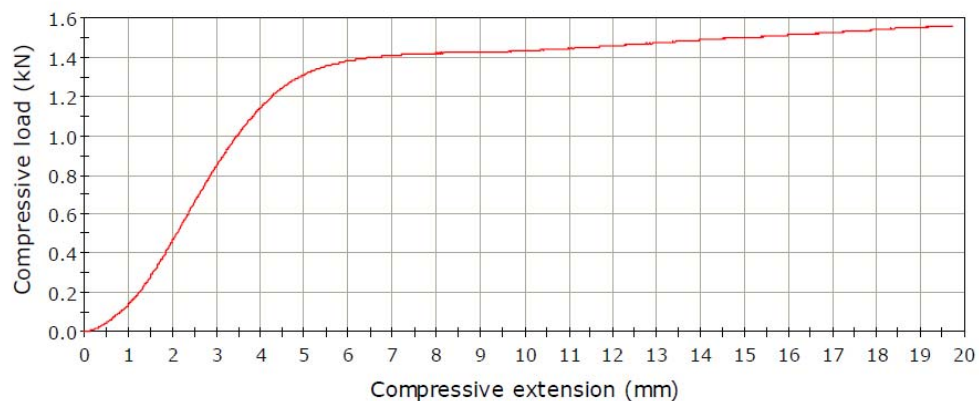
Δοκίμιο 5° :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 100\text{mm}$, $A=100\text{mm} \times 100\text{mm}=10000\text{mm}^2$ (Δοκίμιο τετραγωνικής διατομής , πλευράς ίσης με 100mm) ,



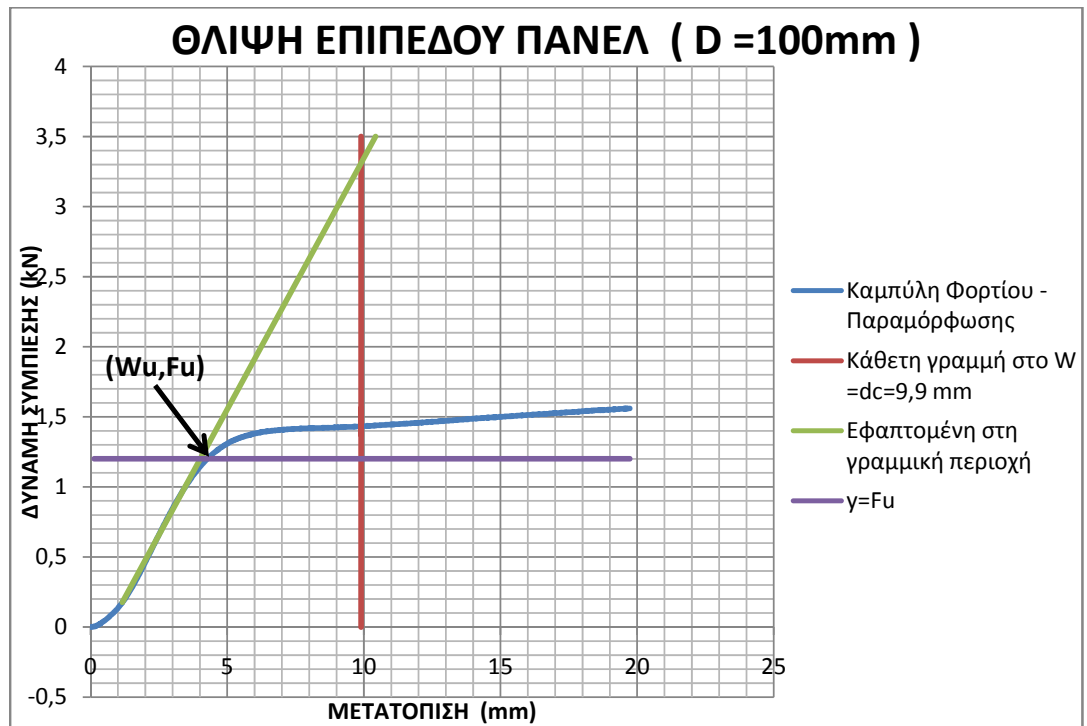
Σχήμα 5.22: Θλίψη δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D= 100\text{mm}$, , $A = 10000\text{mm}^2$.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.9 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D= 100\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων, παρά μόνο σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.10), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός του F_u , με τη χρήση της θεωρίας της Παρ. 5.3.5 (Πρότυπο διάγραμμα, Σχήμα 5.16)



Διάγραμμα 5.10 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε θλίψη (μετά την επεξεργασία των μετρήσεων σε Excel).

Το σημείο τομής της εφαπτόμενης γραμμής στην γραμμική περιοχή της καμπύλης, με το σημείο τομής της κάθετης γραμμής $w = 0.1d_c$ με την καμπύλη φορτίου –μετατόπισης, μας δίνει:

$$w_u = 4,0 \text{ mm}$$

$$F_u = 1200 \text{ N}$$

5.3.7 Τελικά Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα και με τη χρήση των σχέσεων που παρατέθηκαν στο Κεφ. 5.3.5 , καταγράφουμε τα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών μας στον Πίνακα 5.1.

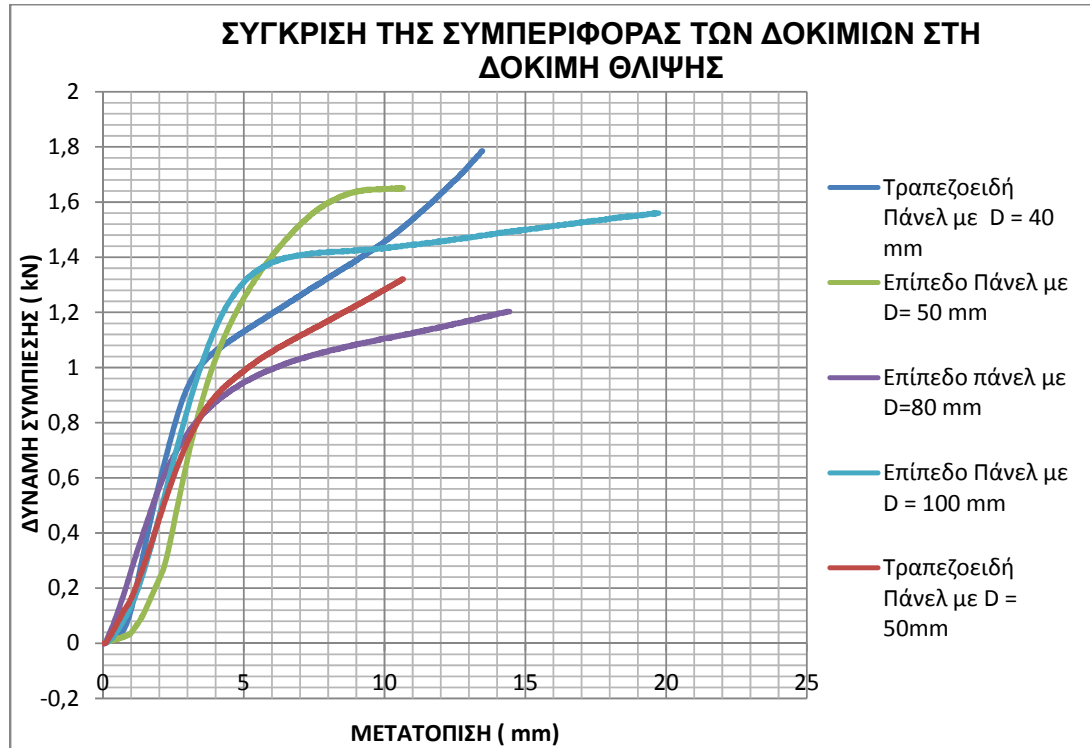
Τύπος Πάνελ	Πάχος Δοκιμίου D (mm)	Πάχος πυρήνα d_c (mm)	Τελικό φορτίο F_u (kN)	Θεωρητική Μετατόπιση W_u (mm)	Θλιπτική Τάση $f_{cc} = \frac{F_u}{A}$ (N/mm)	Μέτρο Ελαστικότητας $E_{cc} = \frac{F_u d_c}{w_u A}$ (N/mm ²)
Τραπεζοειδές	40	39	1055	3,90	0,1055	1,285781
Τραπεζοειδές	50	49	975	3,64	0,0975	1,3125
Επίπεδο	50	49	1230	4,20	0,123	1,435
Επίπεδο	80	79	1060	3,59	0,106	2,3326
Επίπεδο	100	99	1200	4,00	0,12	2,97

Πίνακας 5.1 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα δοκιμής θλίψης πυρήνα πολυουρεθάνης (όπου $A = 10000 \text{ mm}^2$ για όλα τα δοκίμια))

Στον πίνακα 5.2 συγκρίνουμε τις τελικές τιμές των μέγιστων τάσεων θλίψης που προέκυψαν από τις δοκιμές μας , με τις επιτρεπτές τιμές όπως αυτές καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα:

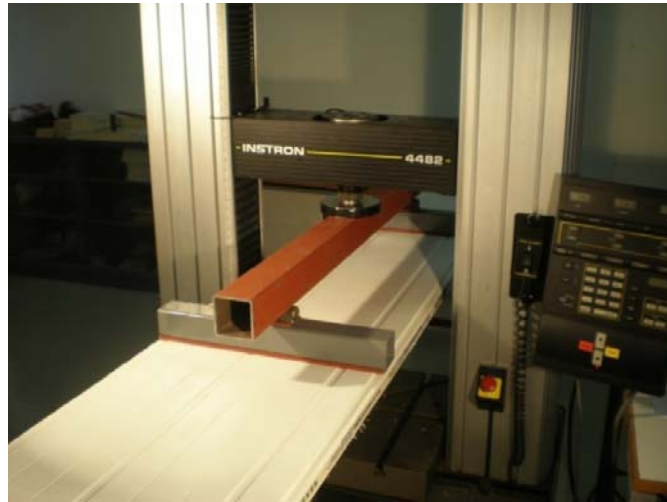
Πάνελ	Επιτρεπτά όρια αντοχής σε θλίψη βάση προτύπων (N/mm ²)	Πειραματική τιμή θλιπτικής τάσης (N/mm ²)
Τραπεζοειδή με D=40 mm	$\geq 0,08$	0,1055
Τραπεζοειδή με D=50 mm	$\geq 0,09$	0,0975
Επίπεδο με D=50 mm	$\geq 0,10$	0,123
Επίπεδο με D=80 mm	$\geq 0,10$	0,106
Επίπεδο με D=100 mm	$\geq 0,09$	0,12

Πίνακας 5.2 : Σύγκριση πειραματικών τιμών θλιπτικής τάσης με τα επιτρεπτά όρια(βάση Διεθνών κανονισμών και προτύπων)



Διάγραμμα 5.11: Σύγκριση της συμπεριφοράς των δοκιμίων- πάνελ στη δοκιμή θλίψης

Από τον πίνακα 5.2 και από το διάγραμμα 5.11, παρατηρούμε μικρή διαφοροποίηση της αντοχής σε θλίψη από δοκίμιο σε δοκίμιο. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι παρ'όλο που τα χημικά συστατικά του αφρού είναι κοινά, ο σχηματισμός του αφρού κατά την παραγωγή διαφοροποιεί τις μηχανικές ιδιότητες, διατηρώντας τις πάντοτε πάνω από τα ελάχιστα επιτρεπτά όρια που καθορίζουν οι κανονισμοί.



Σχήμα 5.24: Η διάταξη που συναρμολογήσαμε στο Εργαστήριο του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών του Ε.Μ.Π. για την διενέργεια των δοκιμών κάμψης τεσσάρων σημείων

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.24 , τοποθετούνται λεπτές χαλύβδινες πλάκες κάτω από τα δύο σημεία φόρτισης και πάνω από τις δύο θέσεις απλής στήριξης. Επιλέγουμε πλάκες πάχους $S_s=8\text{mm}$ και πλάτους $L_s = 60\text{ mm}$,αφού σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509 , το πάχος των πλακών αυτών πρέπει να είναι από 8 mm έως 12 mm και το πλάτος τους, τουλάχιστον 60 mm.

Η πλάκα αυτή μπορεί να αντικατασταθεί με άλλη πλάκα, πλάτους έως 100mm , προκειμένου να αποφευχθεί η τοπική θραύση του πυρήνα.

Συνοπτικά , η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή κάμψης των δοκιμών περιλαμβάνει τα τεμάχια που περιγράφονται στον Πίνακα 5.3 καθώς και δύο σταθερές άκαμπτες βάσεις στήριξης (βλ. Σχήμα 5.25) ,το βάρος των οποίων δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Οι δύο βάσεις στήριξης έχουν κατασκευαστεί από χαλύβδινες γωνιές, κοιλοδοκούς και μια δοκό τύπου I, υλικά που προσδίδουν στις βάσεις εξαιρετική στιβαρότητα και συνεπώς αξιοπιστία κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s= 500\text{ mm}$ Πλάτος $L_s= 60\text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{ mm}$	4	$\frac{3.74}{2} = 1.87$
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r= 500\text{ mm}$ Ακτίνα $R_s= 15\text{ mm}$	4	$\frac{5.55}{2} = 2.775$
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=60\text{ mm}$ Μήκος $L_k= 500\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	2	$\frac{5.19}{2} = 2,595$
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k= 900\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1 (Για δοκίμια μήκους 2000mm)	6,363
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k=1300\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1 (Για δοκίμια μήκους 3000mm)	9,191
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k=1600\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1 (Για δοκίμια μήκους 4000mm)	11,312
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s= 100\text{mm}$ Πλάτος $L_s= 50\text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{ mm}$	2	0,312
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r= 100\text{ mm}$ Ακτίνα $R_s= 15\text{ mm}$	2	0,555

Πίνακας 5.3: Διαστάσεις τεμαχίων διάταξης δοκιμής κάμψης τεσσάρων σημείων

Τα βάρη των τεμαχίων προκύπτουν από τους πίνακες 5.5 ,5.6 και 5.7 , για τις χαλύβδινες πλάκες, τις χαλύβδινες ράβδους και για τις κοιλοδοκούς , αντίστοιχα.



Σχήμα 5.25: Οι απλές βάσεις στήριξης που κατασκευάστηκαν για τις δοκιμές που διενεργήθηκαν στο Τομέα Κατεργασιών του Ε.Μ.Π. δοκιμές. Ύψος βάσης στήριξης : 71 cm

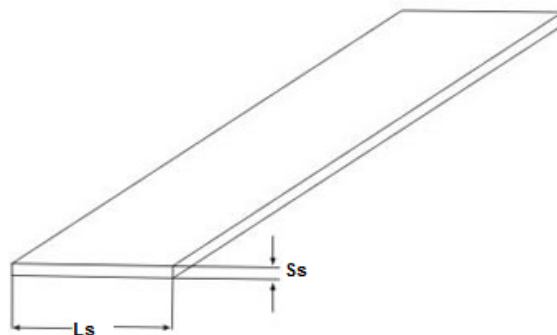
5.4.3 Δοκίμια Δοκιμής Κάμψης τεσσάρων σημείων

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήσαμε στη δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων (Πίνακας 5.4) έχουν κοπεί κατά την κατεύθυνση του μήκους του πάνελ , με σταθερό πλάτος $B = 500$ mm.

Η κοπή των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητο δίσκο κοπής με οδοντωτή τροχό. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμίων , η συγκράτηση του πάνελ, παίζει σημαντικό ρόλο αφού με την σωστή συγκράτηση μειώνονται οι κραδασμοί καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων τάσεων στον πυρήνα πολυουρεθάνης.

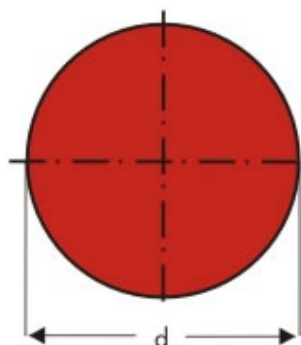
Τύπος Δοκιμίου -Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος L_p (mm)	Πλάτος B(mm)
Τραπεζοειδή	40	2000	500
Τραπεζοειδή	50	2000	500
Τραπεζοειδή	40	3000	500
Τραπεζοειδή	50	3000	500
Επίπεδο	50	2000	500
Επίπεδο	80	2000	500
Επίπεδο	100	2000	500
Επίπεδο	50	3000	500
Επίπεδο	80	3000	500
Επίπεδο	100	3000	500
Επίπεδο	50	4000	500
Επίπεδο	80	4000	500
Επίπεδο	100	4000	500

Πίνακας 5.4 : Διαστάσεις δοκιμίων – πάνελ που χρησιμοποιήθηκαν στη Δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων



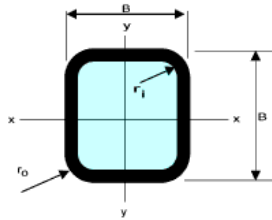
Πλάτος L_s (mm)	Πάχος S_s (mm) Βάρος (kg/m)								
	3	4	5	6	8	10	12	14	15
10	0,236	0,314	0,393	0,471	0,628	-	-	-	-
12	0,283	0,377	0,471	0,565	0,754	0,942	-	-	-
14	0,33	0,44	0,55	0,66	0,88	1,1	1,32	-	-
16	0,377	0,5	0,63	0,75	1,01	1,26	1,51	-	-
18	0,424	0,565	0,71	0,85	1,13	1,41	1,7	-	-
20	0,467	0,623	0,78	0,94	1,25	1,56	1,96	2,18	2,34
25	0,584	0,78	0,97	1,17	1,56	1,95	2,34	2,73	2,92
30	0,7	0,94	1,17	1,4	1,87	2,34	4,8	3,27	3,51
35	0,82	1,1	1,37	1,65	2,2	2,75	3,3	3,85	4,12
40	0,94	1,25	1,56	1,87	2,49	3,12	3,74	4,36	4,67
45	1,05	1,4	1,75	2,1	2,8	3,51	4,21	4,91	5,26
50	1,17	1,56	1,94	2,34	3,12	3,89	4,67	5,45	5,84
60	1,41	1,88	2,34	2,8	3,74	4,67	5,61	6,54	7,01
70	1,65	2,2	2,75	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,24
80	1,88	2,51	3,14	3,77	5,02	6,28	7,54	8,79	9,42
90	2,12	2,83	3,53	4,24	5,65	7,07	8,48	9,89	10,6
100	2,36	3,14	3,93	4,71	6,28	7,85	9,42	10,99	11,77
110	2,59	3,45	4,32	5,18	6,91	8,64	10,36	12,09	12,95
120	2,83	3,77	4,71	5,65	7,54	9,42	11,3	13,19	14,13
130	3,06	4,08	5,1	6,12	8,16	10,21	12,25	14,29	15,31
140	3,3	4,4	5,5	6,6	8,79	10,99	13,19	15,39	16,49
150	3,53	4,71	5,89	7,07	9,42	11,77	14,13	16,48	17,66
160	3,77	5,02	6,28	7,54	10,05	12,56	15,07	17,58	18,84
180	4,24	5,65	7,06	8,48	11,3	14,13	16,96	19,78	21,2
200	4,71	6,28	7,85	9,42	12,56	15,7	18,84	21,98	23,55
220	5,18	6,91	8,63	10,36	13,82	17,27	20,72	24,18	25,91
250	-	7,85	9,81	11,78	15,7	19,63	23,55	27,48	29,44
280	-	-	10,99	13,19	17,58	21,98	26,38	30,78	32,97
300	-	-	-	14,13	18,84	23,55	28,26	32,96	35,33
350	-	-	-	16,49	21,98	27,47	32,97	38,46	41,21
400	-	-	-	18,84	25,12	31,4	37,68	43,96	47,1

Πίνακας 5.5 : Διαστάσεις και βάρη Χαλύβδινων Πλακών κατά DIN 1026



Διάμετρος d(mm)	Βάρος Kg/m	Διάμετρος d(mm)	Βάρος Kg/m	Διάμετρος d(mm)	Βάρος Kg/m
8	0,4	35	7,55	105	67,97
9	0,5	36	7,99	110	74,6
10	0,62	38	8,9	115	81,54
11	0,75	40	9,87	120	88,78
12	0,89	42	10,88	125	96,33
13	1,04	45	12,49	130	104,2
14	1,21	48	14,21	135	112,36
15	1,39	50	15,41	140	120,84
16	1,58	55	18,65	145	129,63
17	1,78	56	19,34	150	138,72
18	2	60	22,2	160	157,83
19	2,23	65	26,05	170	178,2
20	2,47	70	30,21	180	199,76
22	2,98	75	34,68	190	222,6
24	3,55	80	39,46	200	246,62
25	3,85	85	44,55	220	298,4
26	4,17	90	49,94	250	385,3
28	4,83	92	52,18	-	-
30	5,55	95	55,64	-	-
32	6,31	100	61,65	-	-

Πίνακας 5.6 : Διαστάσεις και βάρη Χαλύβδινων ράβδων θερμής έλασης κυκλικής διατομής κατά DIN 1013



Μήκος πλευράς (mm)	Πάχος t (mm)	r _o (mm)	r _i (mm)	Βάρος Kg/m
60	2	4	2	3.56
60	2.5	5	2.5	4.39
60	3	6	3	5.19
60	4	8	4	6.71
60	5	10	5	8.13
60	6	12	6	9.45
60	6.3	15.75	9.45	9.55
70	2.5	5	2.5	5.17
70	3	6	3	6.13
70	3.6	7.2	3.6	7.24
70	4	8	4	7.97
70	5	10	5	9.7
70	6	12	6	11.3
70	6.3	15.75	9.45	11.5
80	3	6	3	7.07
80	3.6	7.2	3.6	8.37
80	4	8	4	9.22
80	5	10	5	11.3
80	6	12	6	13.2
80	6.3	15.75	9.45	13.5
80	8	20	12	16.4
90	3	6	3	8.01
90	3.6	7.2	3.6	9.5
90	4	8	4	10.5
90	5	10	5	12.8
90	6	12	6	15.1
90	6.3	15.75	9.45	15.5
90	8	20	12	18.9
100	3	6	3	8.96
100	4	8	4	11.7
100	5	10	5	14.4
100	6	12	6	17
100	6.3	15.75	9.45	17.5
100	8	20	12	21.4
100	10	25	15	25.6
100	12	36	24	28.3
100	12.5	37.5	25	29.1

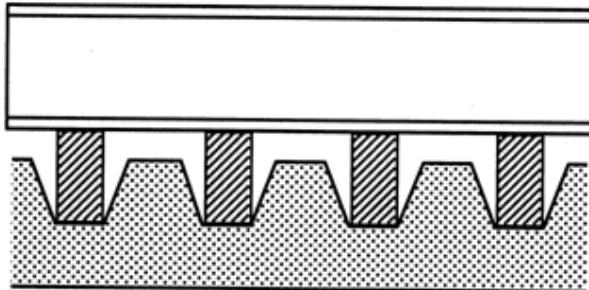
Πίνακας 5.7 : Διαστάσεις και βάρη Χαλύβδινων κοιλοδοκών ψυχρής έλασης κατά EN 10219

5.4.4 Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης τεσσάρων σημείων

Το δοκίμιο - πάνελ τοποθετείται μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron και στηρίζεται πάνω στην διάταξη που περιγράφηκε στο Κεφ. 5.3.2. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι επαρκής ώστε να προκαλεί μετατόπιση – παραμόρφωση (deflection) ίση με 10 % του 25 % του πάχους του σύνθετου υλικού , ανά λεπτό. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής , η μετατόπιση– παραμόρφωση μετράται με ακρίβεια του 1% και εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή Instron , η καμπύλη φορτίου (F_u) – Παραμόρφωσης (w) (load – deflection curve).

Οι δοκιμές διεξάγονται υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Σημειώνεται ότι για τις δοκιμές των τραπεζοειδών πάνελ, μεταξύ των «καναλιών», τοποθετείται ξύλο ή κοιλοδοκός διαστάσεων 150mm X60mm X 80mm , για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του δοκιμίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.26.



Σχήμα 5.26: Τοποθέτηση εγκάρσιων ξύλινων τεμαχίων ,για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του πάνελ ,κατά τη μελέτη των τραπεζοειδών πάνελ .

5.4.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

Στη φορτιζόμενη (άνω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται θλιπτική εντατική κατάσταση (βράχυνση μήκους) , μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία αυξανόμενη προς το εσωτερικό του δοκιμίου.

Στην αφόρτιστη (κάτω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται εφελκυστική εντατική κατάσταση (επιμήκυνση) μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία μειούμενη προς το δοκίμιο.

Στο διαμήκη ουδέτερο άξονα του δοκιμίου (διαμήκες επίπεδο συμμετρίας) δεν παρατηρείται μεταβολή (επιμήκυνση ή βράχυνση) μήκους. Η πιο επικίνδυνη περιοχή ως προς την πιθανότητα αστοχίας (θραύση του πυρήνα) του σύνθετου πάνελ ,είναι η εφελκυστική περιοχή.

5.4.5.1 Διατμητική τάση στον πυρήνα πολυουρεθάνης (f_{cv})

Η μέγιστη διατμητική τάση στον πυρήνα πολυουρεθάνης υπολογίζεται στο σημείο εμφάνισης της μέγιστης δύναμης φόρτισης, το οποίο αντιστοιχεί με την αστοχία του υλικού ,λόγω διάτμησης (βλ. Σχήμα 5.27). Η μέγιστη διατμητική τάση υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση.

$$f_{cv} = k_v \times \frac{F_u}{2Be}$$

όπου

F_u : Το μέγιστο Φορτίο

B : Το πλάτος του δοκιμίου

e : Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επιπέδων χαλυβδοελασμάτων

t_1 και t_2 : τα πάχη των πάνω και κάτω , χαλύβδινων ελασμάτων αντίστοιχα.

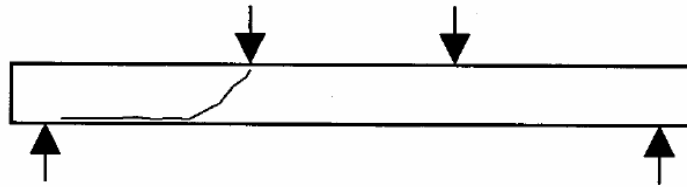
$$t_1 = t_2 = 0.5 \text{ mm}$$

K_v : Συντελεστής Αναγωγής.

Η χρήση του υποδηλώνει ότι στον υπολογισμό της διατμητικής τάσης έχει ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι στις επιφάνειες όπου κόπηκε το υλικό, αναπτύσσεται πολύ μικρή ,έως μηδενική τάση.

Γενικά, δίνεται από τη σχέση :

$$K_v = \frac{\text{Ελάχιστο πάχος του άκοπου υλικού του πυρήνα κατά την επιφάνεια κοπής}}{\text{Πλάτος του σύνθετου Πάνελ}}$$

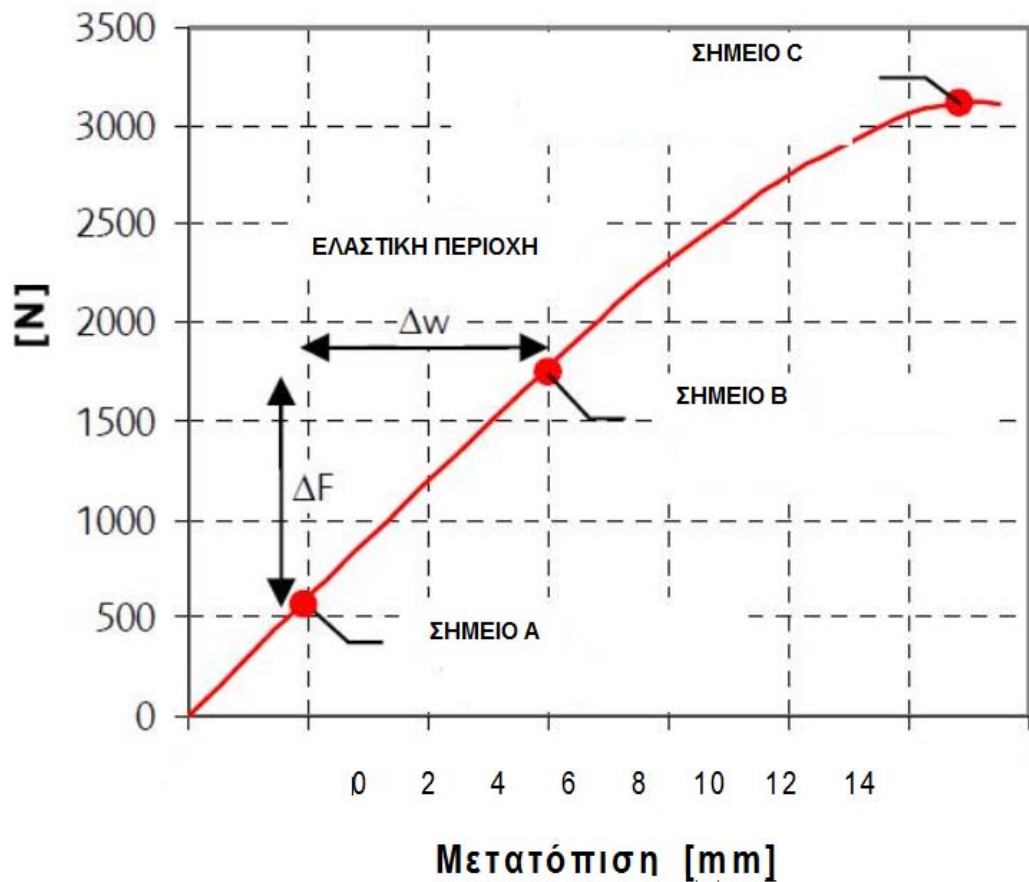


Σχήμα 5.27 : Συνήθης εμφάνιση αστοχίας λόγω διάτμησης

5.4.5.2 Μέτρο διάτμησης του πυρήνα πολυουρεθάνης (G_c)

Το μέτρο διάτμησης G_c , συνδέει διατμητικές τάσεις και παραμορφώσεις κατ' αναλογία προς το μέτρο ελαστικότητας E_{cc} .

Πρώτο βήμα, για τον υπολογισμό του μέτρου διάτμησης G_c , είναι ο υπολογισμός της κλίσης $\frac{\Delta F}{\Delta w}$ της ευθείας (στην ελαστική περιοχή), της καμπύλης φορτίου – μετατόπισης. (βλ. σχήμα 5.28)



Σχήμα 5.28 : Υπολογισμός της κλίσης $\frac{\Delta F}{\Delta w}$, στην ελαστική περιοχή της καμπύλης Φορτίου – Μετατόπισης.

Αφού υπολογίσουμε την κλίση $\frac{\Delta F}{\Delta w}$, χρησιμοποιούμε τις πιο κάτω σχέσεις καταλήγοντας στην τελική σχέση υπολογισμού του μέτρου διάτμησης G_c , έχοντας όλα τα δεδομένα.

$$\text{Συντελεστής Ακαμψίας : } B_s = \frac{E_{f1} A_{f1} E_{f2} A_{f1}}{E_{f1} A_{f1} + E_{f2} A_{f2}} e^2$$

$$\text{Παραμόρφωση (= Μετατόπιση) λόγω κάμψης : } \Delta_{WB} = \frac{\Delta F \cdot L^3}{X \cdot B_s}$$

Η τιμή του συντελεστή X , λαμβάνεται από τον πίνακα 5.8 για τη δοκιμή τύπου 2. Έτσι παίρνουμε:

$$\Delta_{WB} = \frac{\Delta F \cdot L^3}{56,34 \cdot B_s}$$

$$\text{Παραμόρφωση (= Μετατόπιση) λόγω διάτμησης : } \Delta_{WS} = \Delta_w - \Delta_{WB}$$

$$\text{Μέτρο διάτμησης : } G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{Y \cdot B \cdot d_c \Delta_{ws}}$$

Η τιμή του συντελεστή Y , λαμβάνεται από τον πίνακα 5.8 για τη δοκιμή τύπου 2. Έτσι παίρνουμε:

$$G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{6 \cdot B \cdot d_c \Delta_{ws}}$$

Όπου :

E_{f1}, E_{f2} : Το μέτρο ελαστικότητας της πάνω και της κάτω εξωτερικής επιφάνειας, αντίστοιχα.

A_{f1}, A_{f2} : Το εμβαδό της τομής του πάνω και του κάτω φύλλου χάλυβα, αντίστοιχα,

e : Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων.

Δ_w : Είναι η μετατόπιση - παραμόρφωση στο μέσο του ανοίγματος.

d_c : Το πάχος του υλικού του πυρήνα
 $d_c = D - (t_1 + t_2)$

t_1 και t_2 : τα πάχη των πάνω και κάτω , χαλύβδινων ελασμάτων αντίστοιχα:

$$t_1 = t_2 = 0.5 \text{ mm}$$

B : το πλάτος του δοκιμίου - πάνελ

$$B = 500 \text{ mm}$$

L : Η απόσταση μεταξύ των απλών στηρίξεων (Span)

A/A Δοκιμής	Περιγραφή	Συντελεστής X	Συντελεστής Y
1	Ομοιόμορφα Κατανεμημένο Φορτίο	76,8	8
2	Δύο ενδιάμεσα Σημειακά Φορτία των οποίων η μεταξύ τους απόσταση καθώς και η απόσταση από τις απλές στηρίξεις είναι ίση με L/3	56,34	6
3	Δύο ενδιάμεσα Σημειακά Φορτία των οποίων η απόσταση από τις απλές στηρίξεις είναι ίση με L/4	69,82	8
4	Ένα ενδιάμεσο Σημειακό Φορτίο του οποίου η απόσταση από τις απλές στηρίξεις είναι ίση με L/2 (midspan)	48	3
5	Δύο ενδιάμεσα Σημειακά Φορτία των οποίων η απόσταση από τις απλές στηρίξεις είναι ίση με 0,21L	80,95	3

Πίνακας 5.8 : Τιμές των Συντελεστών X και Y , για δοκιμές κάμψης ενός ανοίγματος (single span) , για δοκιμές με διαφορετική κατανομή των ενδιάμεσων Σημειακών Φορτίων. Ο πίνακας λήφθηκε από το Γερμανικό Κέντρο Επιστημονικών Ερευνών Mainz.

5.4.6 Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί

Με τη χρήση της διάταξης του Σχήματος 5.11 και 5.12 και ακολουθώντας τη διαδικασία και τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν , λάβαμε τα παρακάτω Διαγράμματα Φορτίου - Μετατόπισης . Στα σχήματα που ακολουθούν των Διαγραμμάτων διαφαίνεται η αστοχία του υλικού για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Δοκίμια Τραπεζοειδούς Πάνελ:

Δοκίμιο 1^ο :

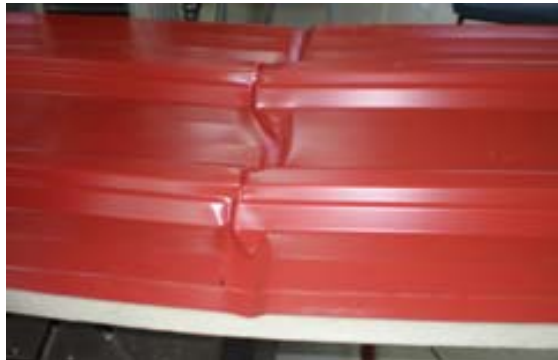
A) Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 40mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

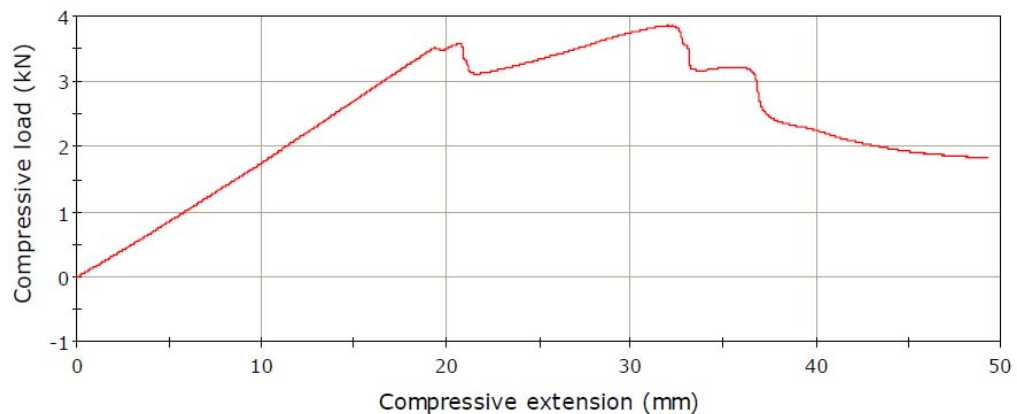
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1855 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων -Span)



Σχήμα 5.29: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm και L_p= 2000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Είναι εμφανής μόνο οι πτυχώσεις (κυματώσεις),που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

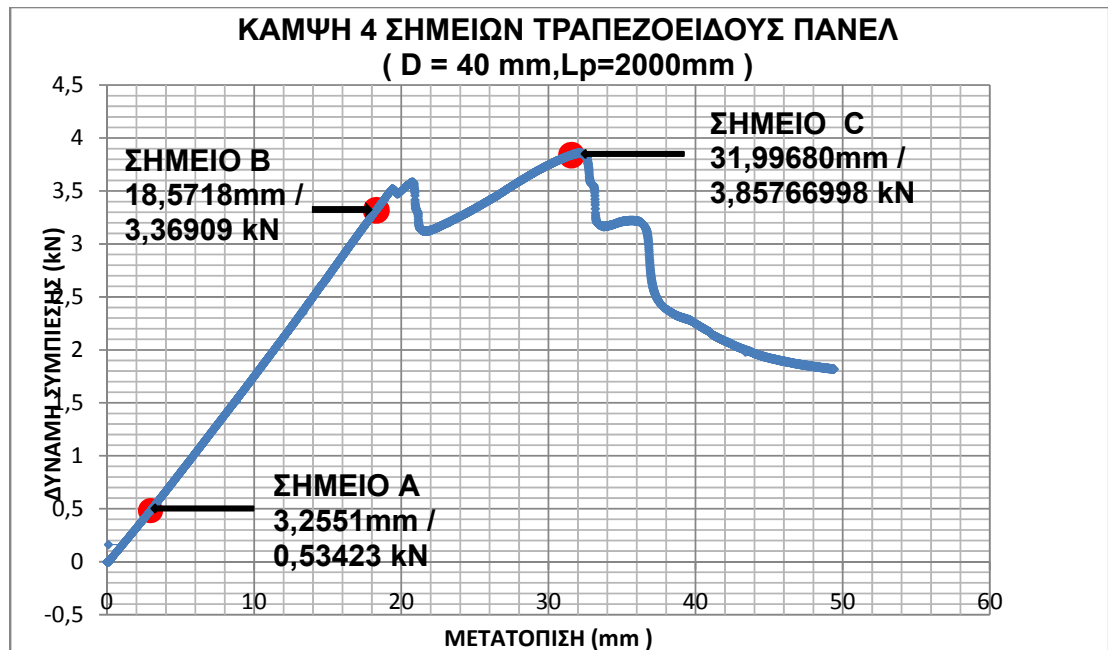
LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.12 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm και L_p = 2000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε

μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.13) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.13 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 2,83486\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 15,3167\text{mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,18508$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : -3857.67 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : -31.99680 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 2^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 40mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

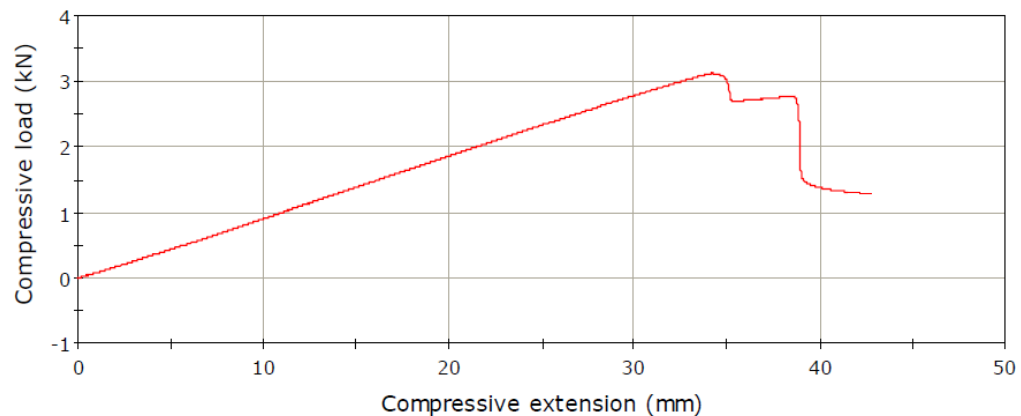
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 2850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων -Span)



Σχήμα 5.30: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm και L_p= 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων.. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

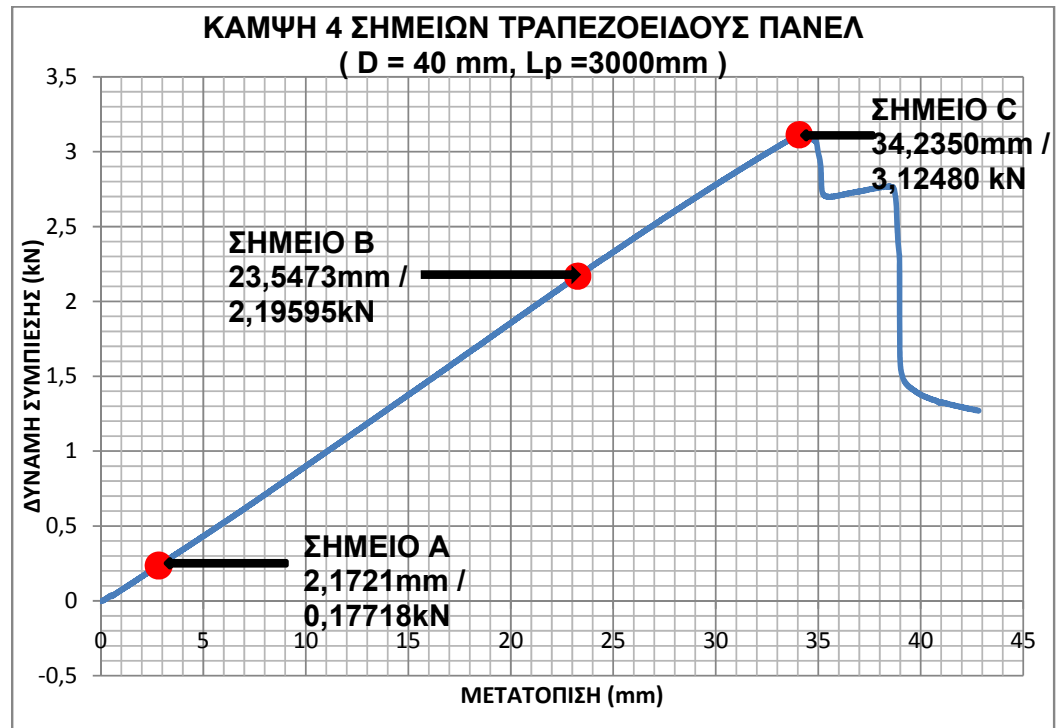
LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.14 :Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm και L_p = 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε

μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.15) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.15 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, $L_p = 3000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 2,02232\text{kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 21,3009\text{mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,1920$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 3124,80N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : -34, 2350mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 3^ο :

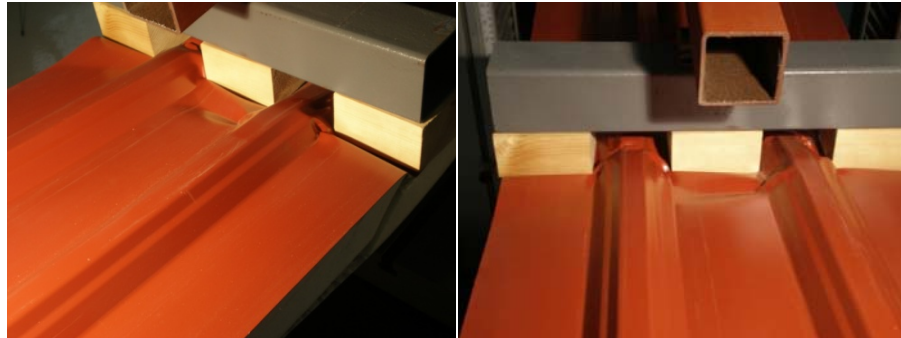
Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

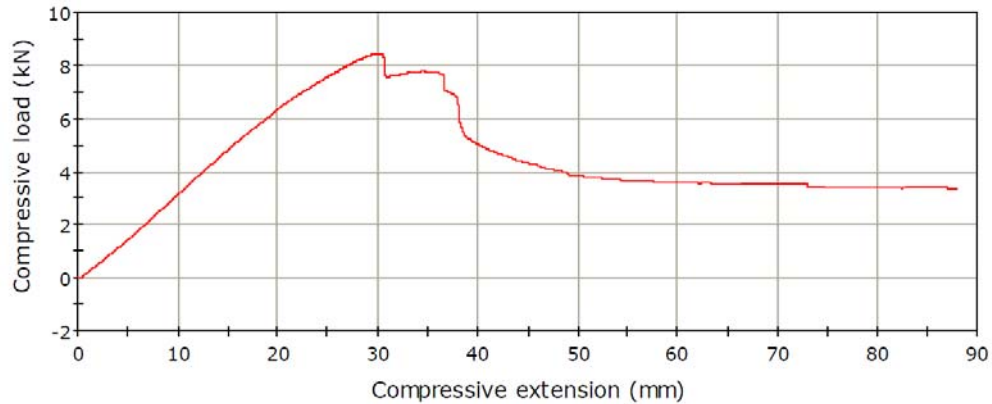
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



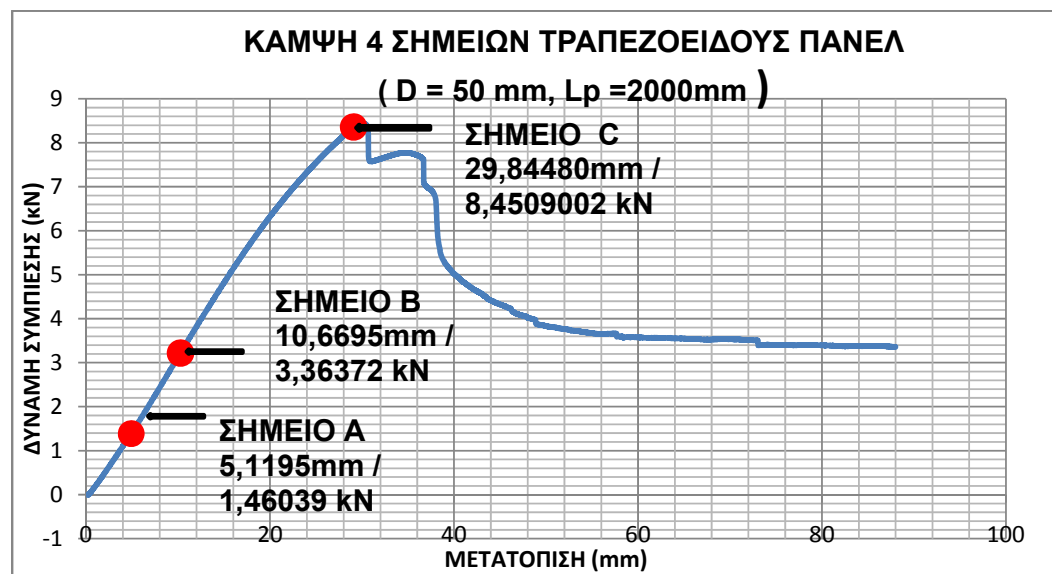
Σχήμα 5.31: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm και L_p= 2000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Η διάτμηση εμφανίζεται υπό κλίση 45^ο . Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση των άνω και των κάτω χαλύβδινων φύλλων από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.16 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.17) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.17 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$, $L_p = 2000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 1,90333\text{kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 5,5\text{mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,34606$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 8450,9002N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 29 ,84480mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 4^ο :

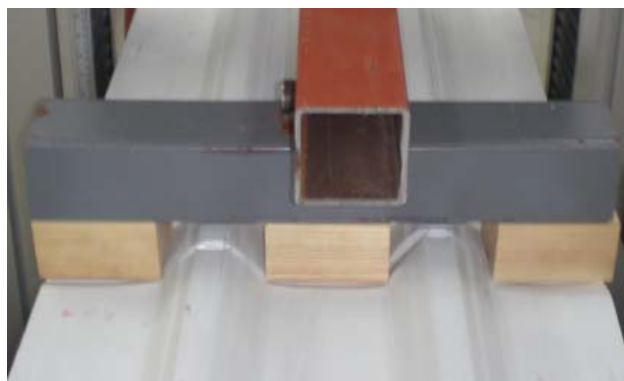
Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

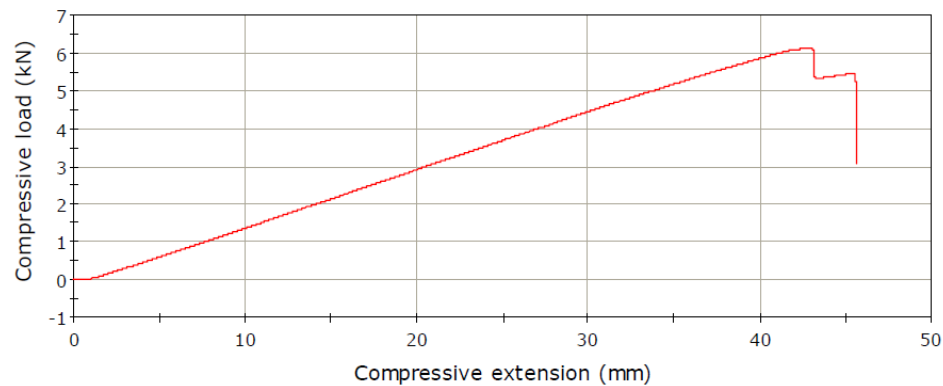
L = 2850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



Σχήμα 5.32: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 50mm και L_p= 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων.

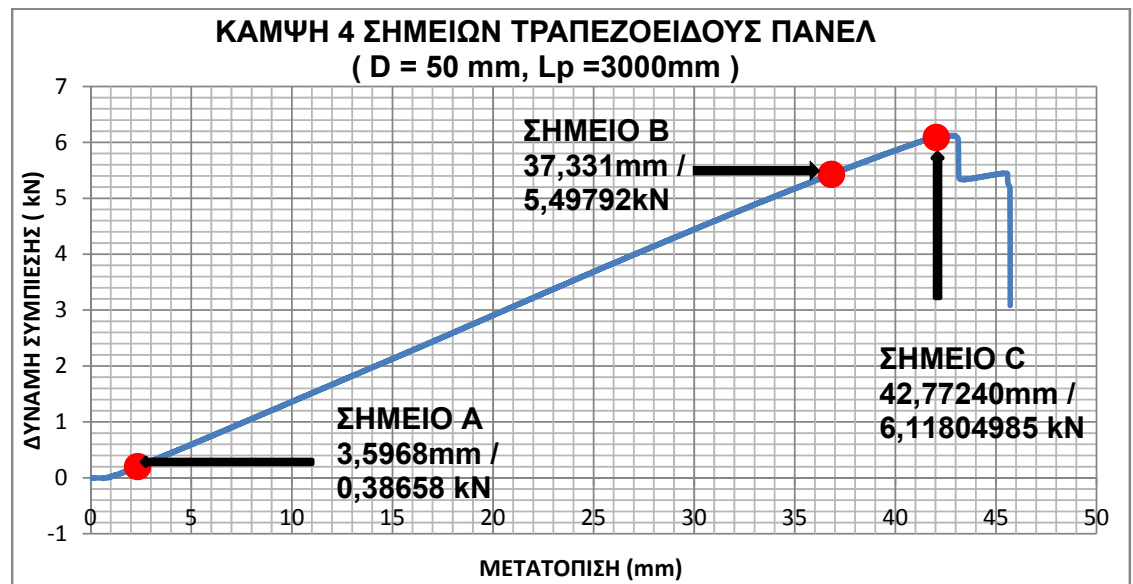
Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ.. Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση του άνω χαλύβδινου φύλλου από τον πυρήνα πολυουρεθάνης

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.18 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 50mm και L_p = 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.19) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw.



Διάγραμμα 5.19 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 50mm, L_p = 3000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 5,11134 \text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 33,7342 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,1515$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 6118,04985N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 42,77240 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμια Επίπεδου Πάνελ:

Δοκίμιο 5° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

Lp= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

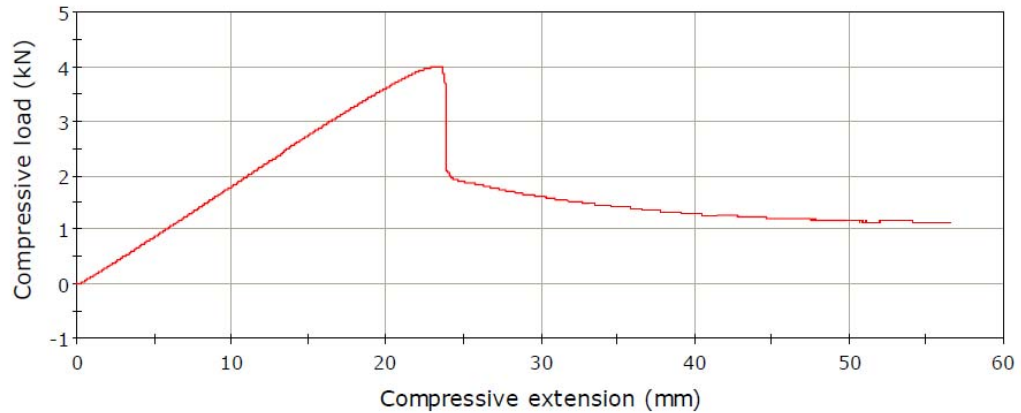
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1860 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



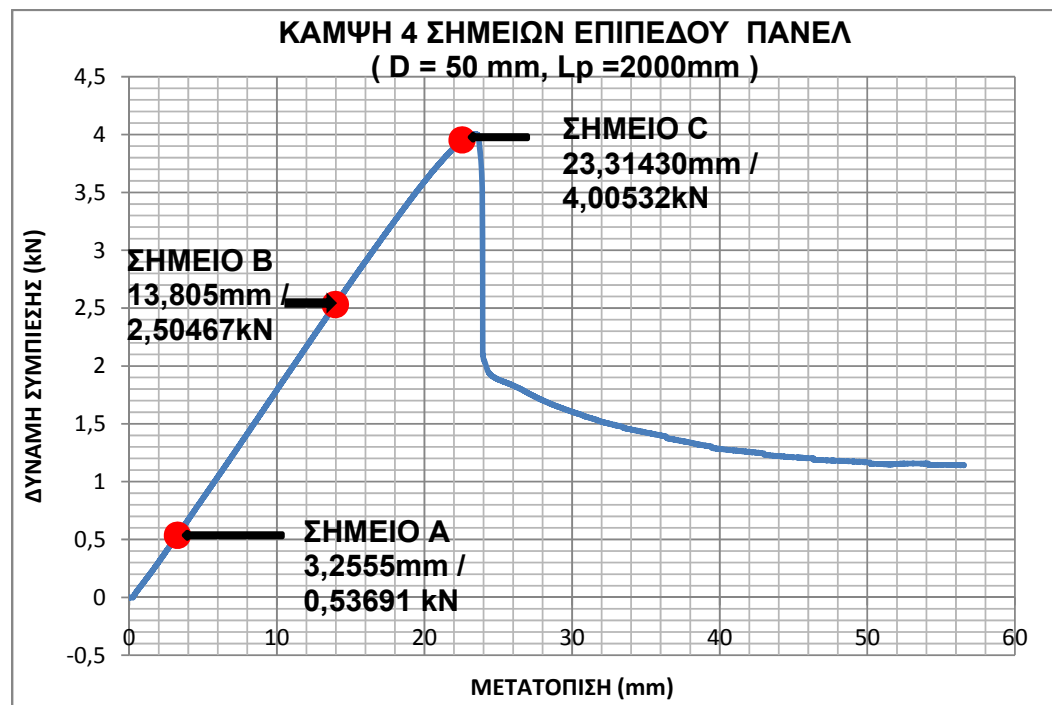
Σχήμα 5.33: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p= 2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Η διάτμηση εμφανίζεται υπό κλίση 45° . Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις), που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.20 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.21) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.21 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου

πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 2000 \text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 1,96776\text{kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 10,5795 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,18559$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 4005 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 23,31430 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 6° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

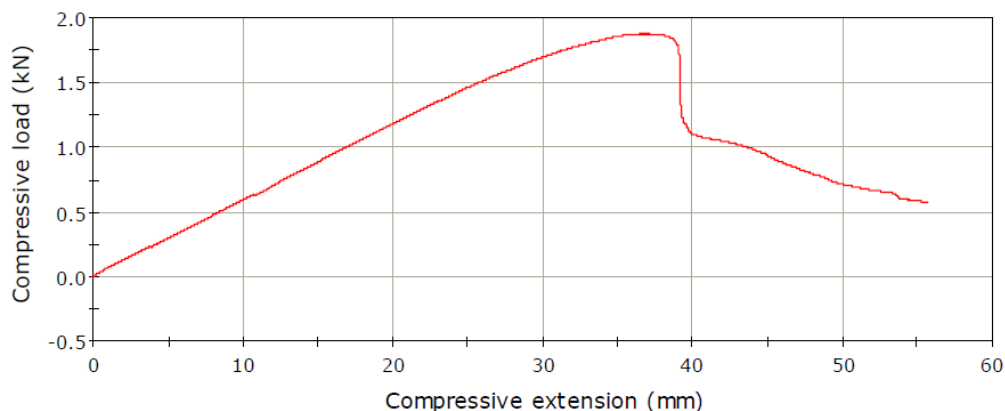
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2845 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων – Span



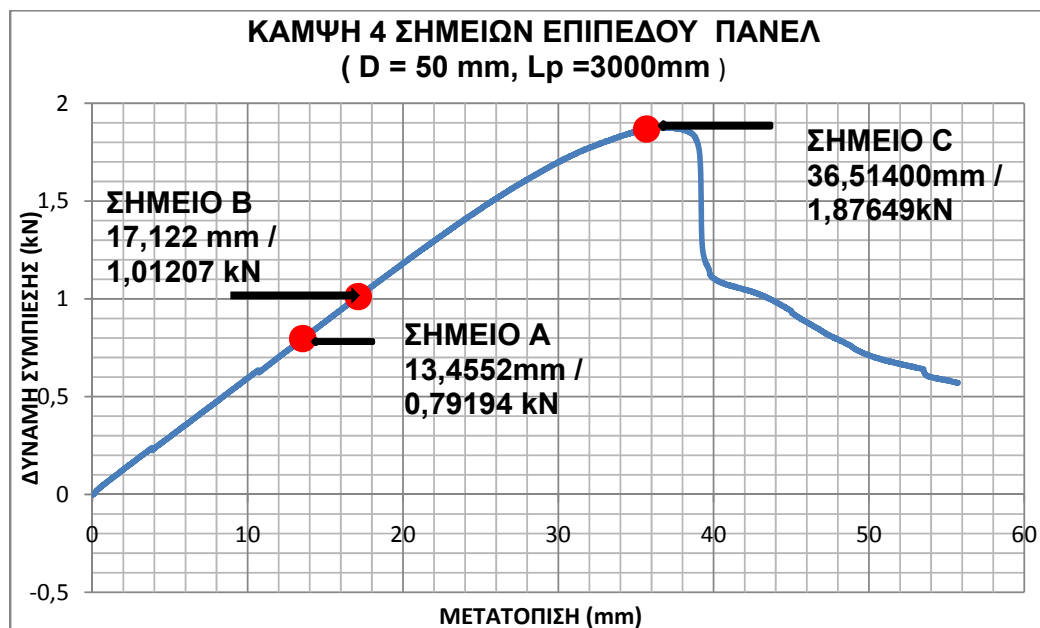
Σχήμα 5.34: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p= 3000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Η διάτμηση εμφανίζεται υπό κλίση 45° . Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επένδυσης , από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.22 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.23) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.23 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 3000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 0,22013 \text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 3,6668 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,06$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 1876,49 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : -36,51400 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 7^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

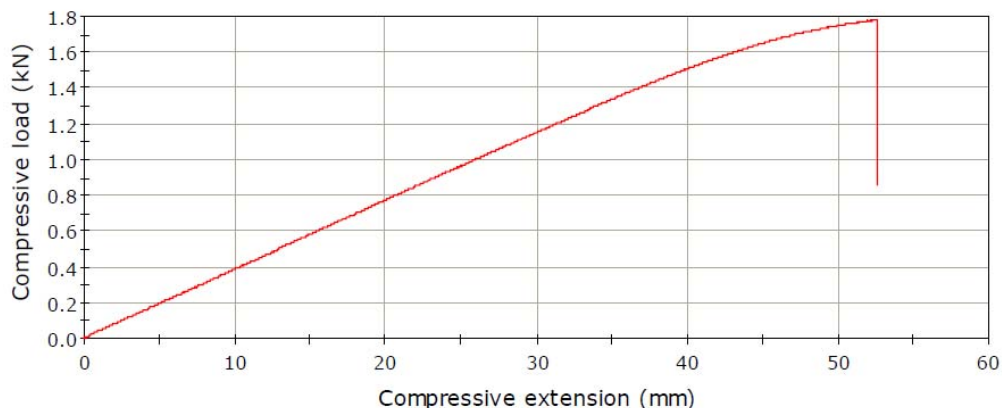
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 3845 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



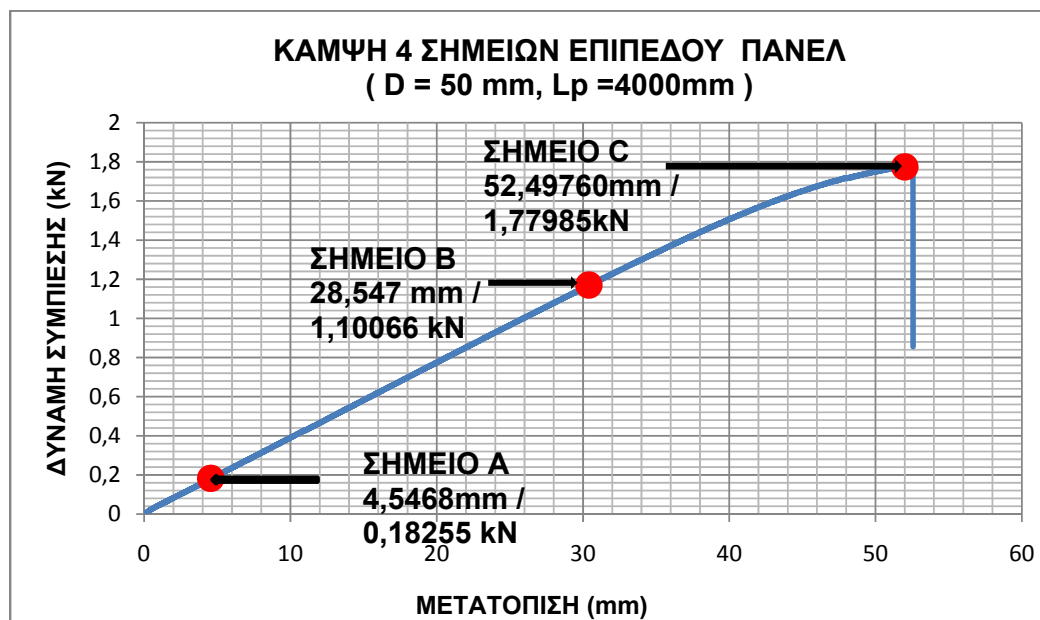
Σχήμα 5.35: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm και L_p= 4000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας ,από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.24 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm και $L_p = 4000$ mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.25), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.25 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm, $L_p = 4000$ mm που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 0,91811 \text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 24,0002\text{mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,038$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 1779,85 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 52,49760mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 8° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 80mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

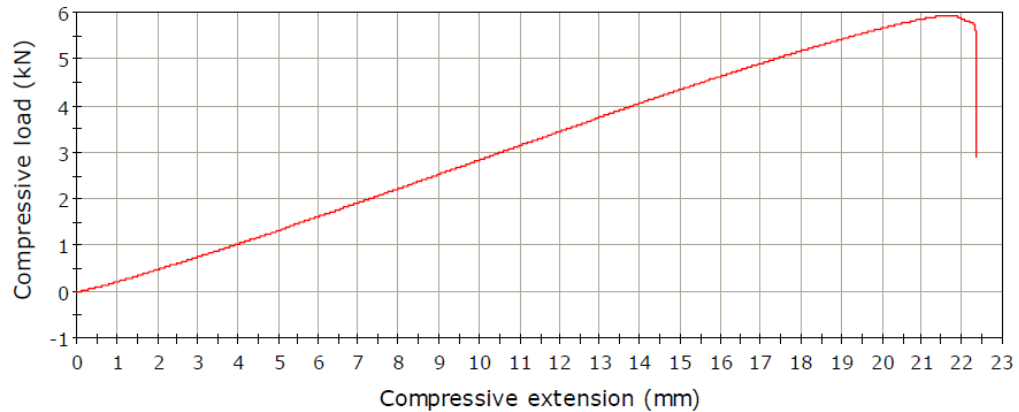
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1850mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



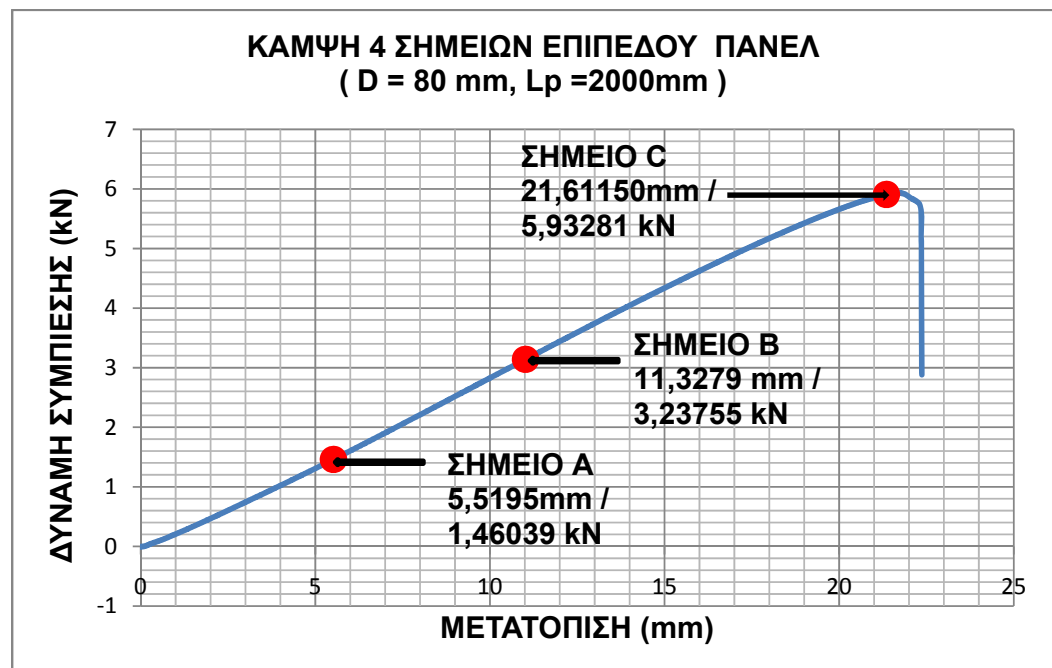
Σχήμα 5.36: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm και L_p= 2000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Επίσης είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα. Επίσης είναι φανερό ότι άρχισε να αποκολλάται η άνω χαλύβδινη επιφάνεια από τον πυρήνα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.26 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.27) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.27 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$, $L_p = 2000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 1,77716\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 5,8084 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,30596$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 5932,81N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 21,61150mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 9^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 80mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

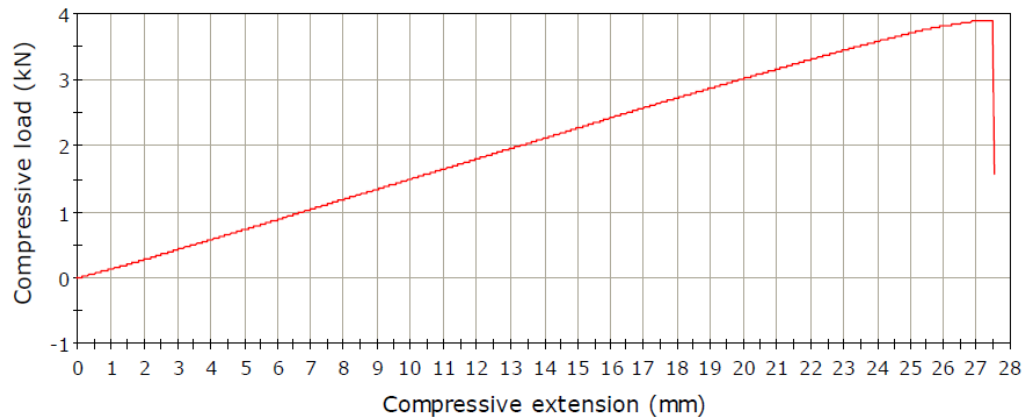
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 2855mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



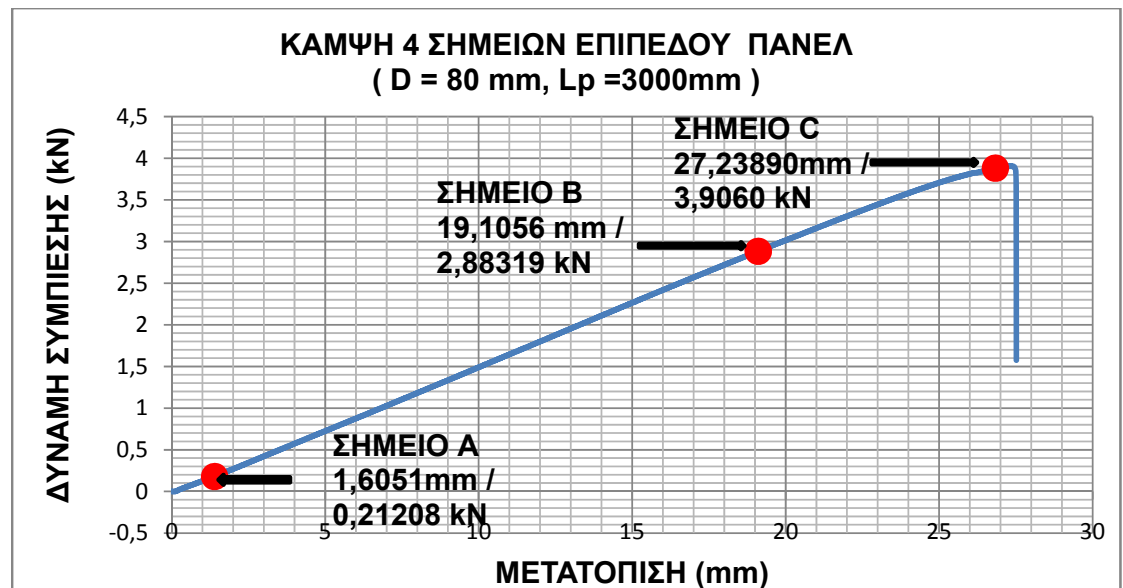
Σχήμα 5.37: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm και L_p= 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.28 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.29) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.29 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$, $L_p = 3000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 2,66792\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 17,5005\text{mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,15245$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 3906 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 27,23890 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 10^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 80mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

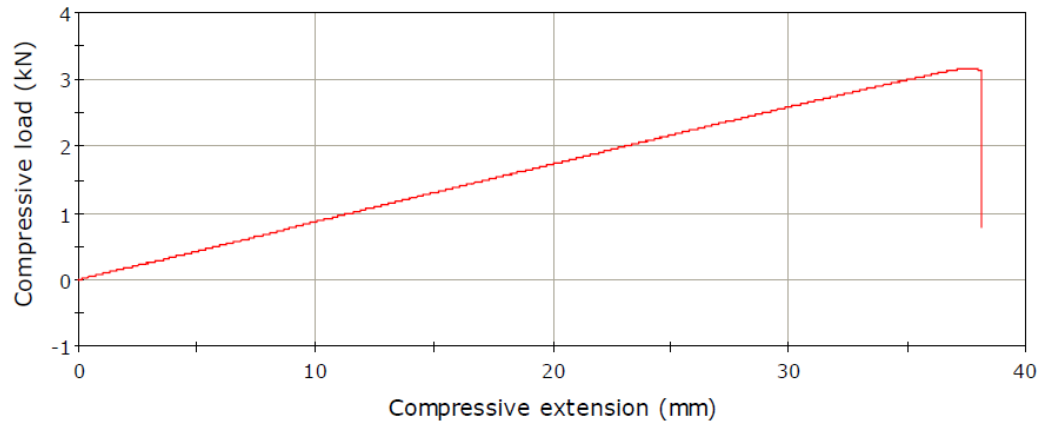
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 3845mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



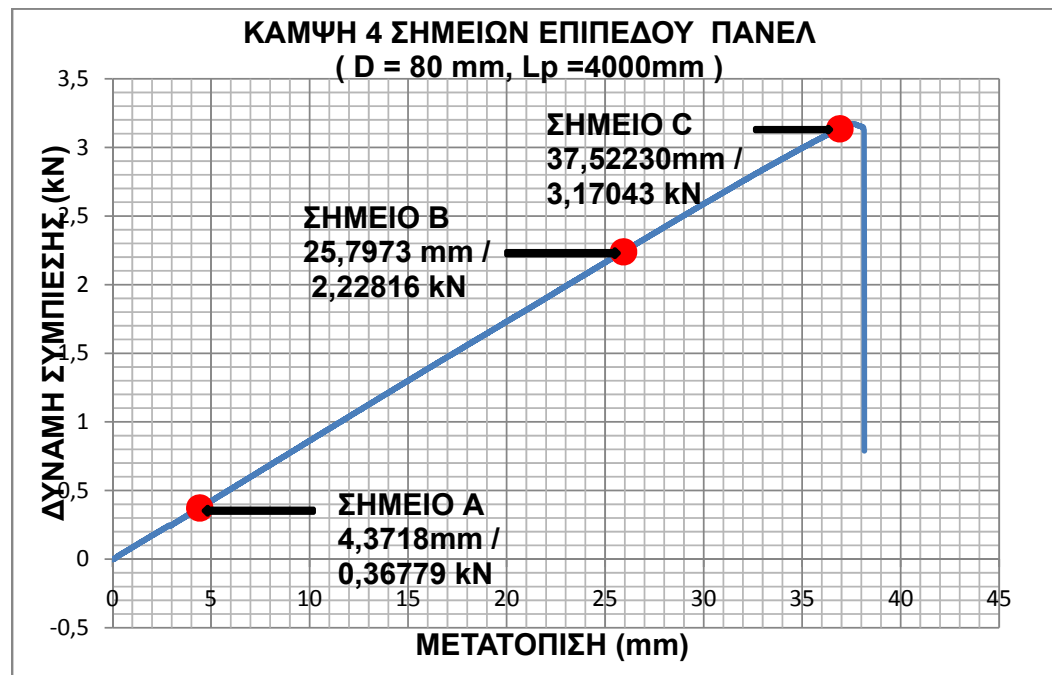
Σχήμα 5.38: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm και L_p= 4000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα δεν είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επένδυσης , από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.30 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.31), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.31 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80\text{mm}$, $L_p = 4000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 1,86037\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 21,4255 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,0868$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 3170,43 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 37,52230 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 11^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 100mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

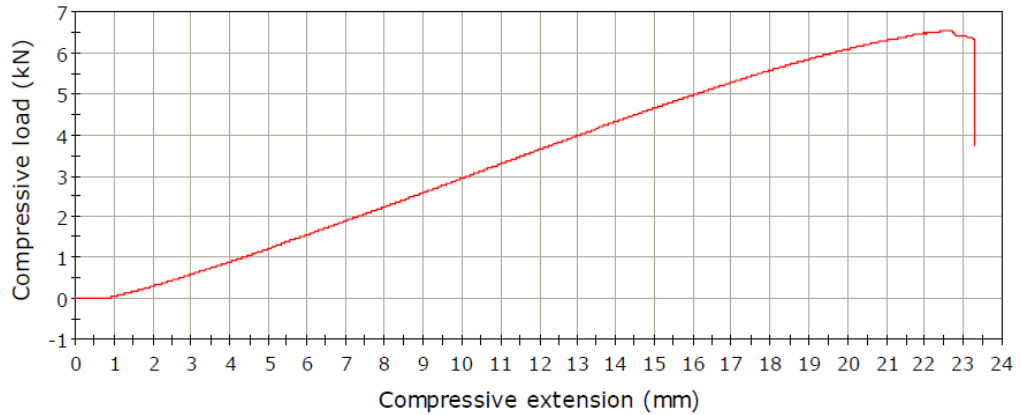
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



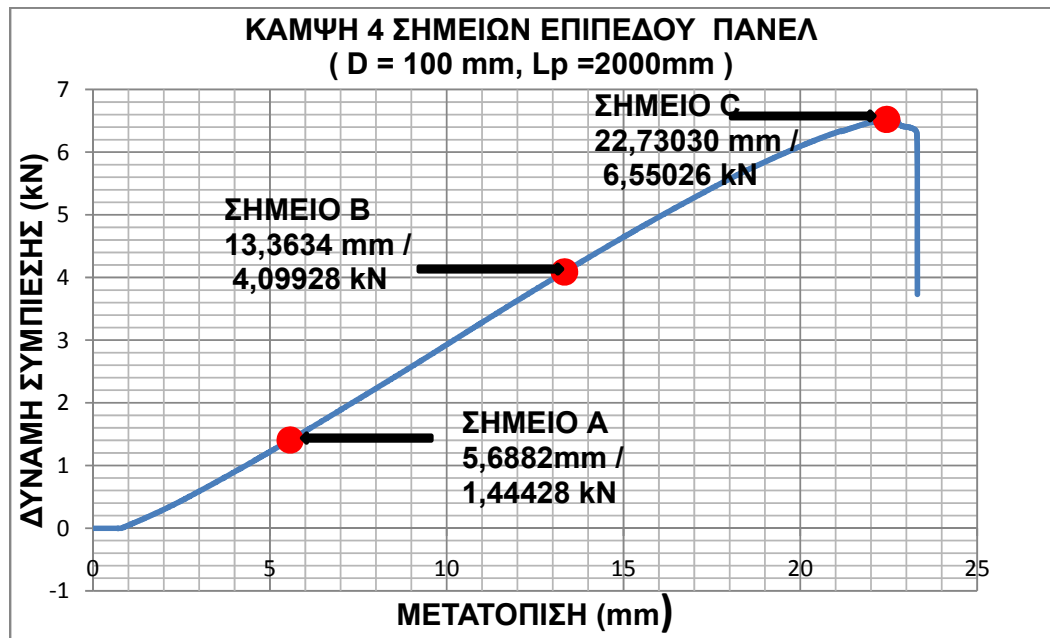
Σχήμα 5.39: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 100mm και L_p= 2000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επένδυσης , από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.32 :Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.33), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.33 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 2,655\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 7,6752 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,3459$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 6550,26 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 22,73030 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 12° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 100mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

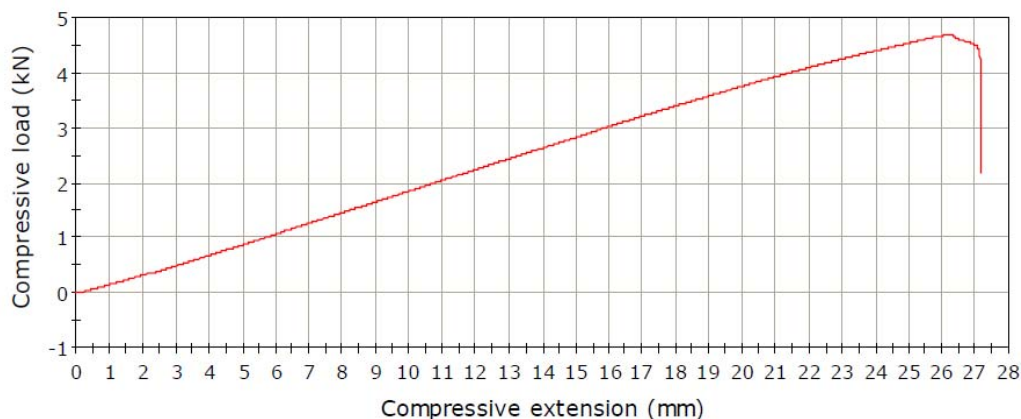
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 2850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



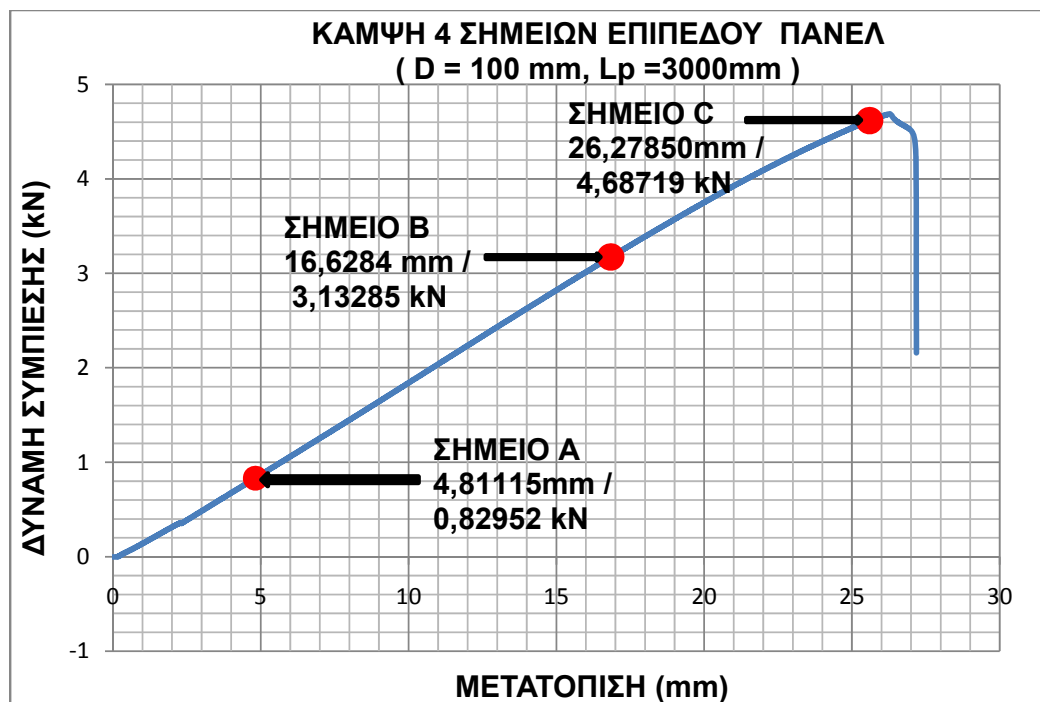
Σχήμα 5.40: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 100mm και L_p= 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα . Επίσης είναι φανερό ότι άρχισε να αποκολλάται η άνω χαλύβδινη επιφάνεια από τον πυρήνα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.34 :Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.35) , βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.35 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, $L_p = 3000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 4,68719 \text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 26,2785 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,17836$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 4687,19006 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 26,27850 mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

Δοκίμιο 13^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 100mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

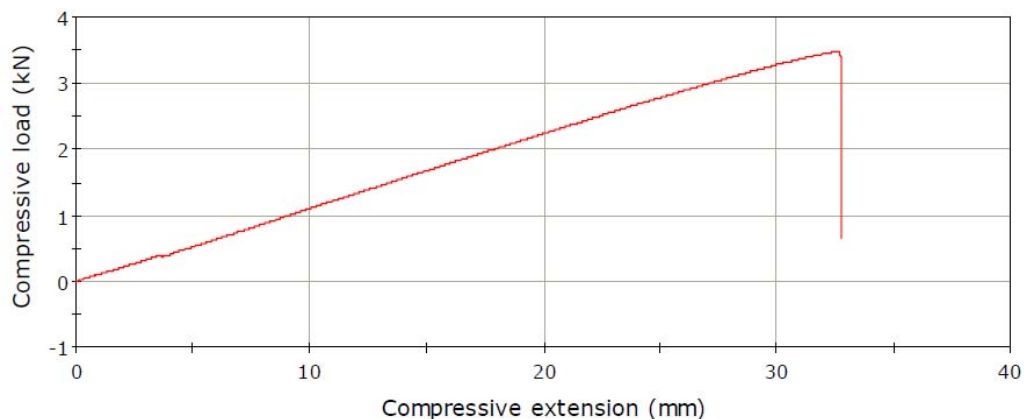
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 3845 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



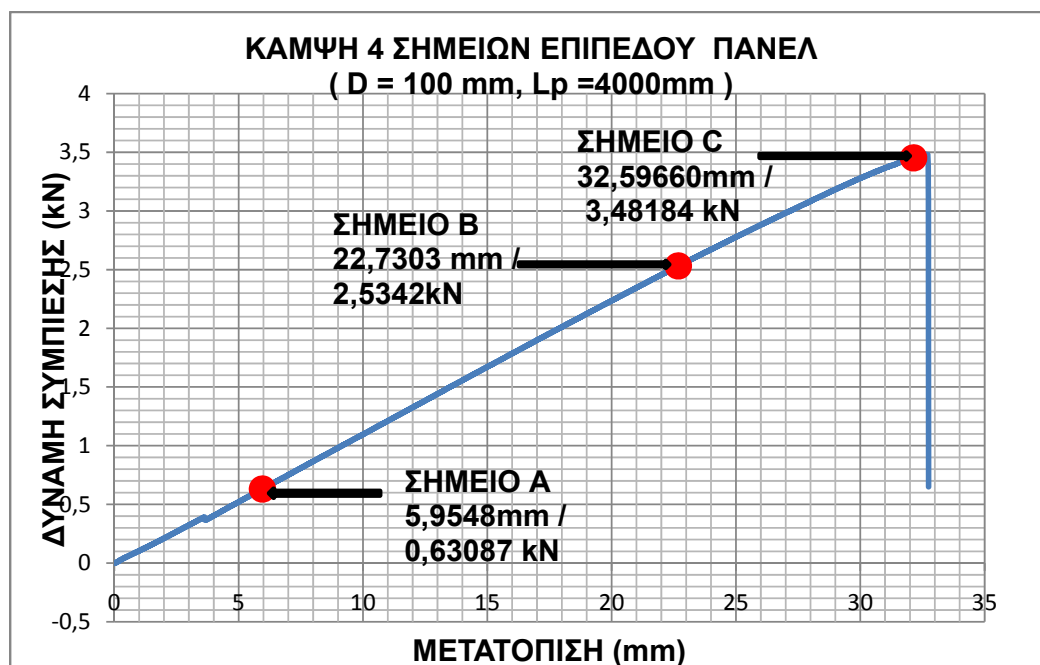
Σχήμα 5.41: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 100mm και L_p= 4000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα δεν είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση του άνω φύλλου χάλυβα , από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.36 :Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron).

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό με σημεία (Διάγραμμα 5.37), βάσει του οποίου γίνεται ο υπολογισμός ΔF και Δw .



Διάγραμμα 5.37 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, $L_p = 4000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων(όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω:

$$\Delta F = \Delta F_B - \Delta F_A = 1.90333\text{ kN}$$

$$\Delta w = \Delta w_B - \Delta w_A = 16,7755 \text{ mm}$$

Η κλίση της ευθείας που δείχνει την ελαστική περιοχή είναι :

$$\frac{\Delta F}{\Delta w} = 0,11345$$

Στο Σημείο C, έχουμε :

Μέγιστο Φορτίο : - 3481,84 N (Load at Maximum Compressive Load)

Μέγιστη μετατόπιση : - 32,59660mm (Extension at Maximum Compressive Load) .

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει την συμπίεση του πάνελ.

5.4.7 Τελικά Αποτελέσματα – Υπολογισμοί

Με βάση τα πιο πάνω και με την χρήση των σχέσεων του Κεφ. 5.4.5, καταγράφουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας , στους Πίνακες 5.9 και 5.10. και 5.11 .

$E_{f1}, E_{f2} = E_{\text{steel}} = 210 \text{ kN/mm}^2$, (Μετρο Ελαστικότητας του χάλυβα)

$K_v = \frac{1000}{2} = 2$, (Συντελεστής Αναγωγής)

$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Πανέλλου)

Υπολογισμός A_{f1}, A_{f2}

- Για Τραπεζοειδή Πάνελ

$L_{\text{coil up}} = \text{Μήκος Αναπτύγματος χάλυβα της άνω επιφάνειας} = 1250 \text{ mm}$

$L_{\text{coil down}} = \text{Μήκος Αναπτύγματος χάλυβα της κάτω επιφάνειας} = 1070 \text{ mm}$

$t_1 = t_2 = \text{Πάχος Χαλυβδοελάσματος} = 0,5 \text{ mm}$

$$A_{f1} = L_{\text{coil up}} \times t_1 = 1250 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm} = 625 \text{ mm}^2/1 \text{ m}$$

$$A_{f2} = L_{\text{coil down}} \times t_2 = 1070 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm} = 535 \text{ mm}^2/1 \text{ m}$$

Τα πιο πάνω είναι υπολογισμένα για τα πάνελ πλάτους $B = 1000 \text{ mm}$.

Ετσι για πάνελ με $B = 500 \text{ mm}$ (και έχοντας υπόψη ότι τα δοκίμια έχουν κοπεί ομοιόμορφα), έχουμε :

$$A_{f1} = 625 \text{ mm}^2/2 = 312,5 \text{ mm}$$

$$A_{f2} = 535 \text{ mm}^2/2 = 267,5 \text{ mm}$$

- Για Επίπεδα Πάνελ

$L_{\text{coil up}} = L_{\text{coil down}} = 1070 \text{ mm}$

$t_1 = t_2 = \text{Πάχος Χαλυβδοελάσματος} = 0,5 \text{ mm}$

$$A_{f1} = A_{f2} = L_{\text{coil up}} \times t_1 = 1070 \text{ mm} \times 0,5 \text{ mm} = 535 \text{ mm}^2$$

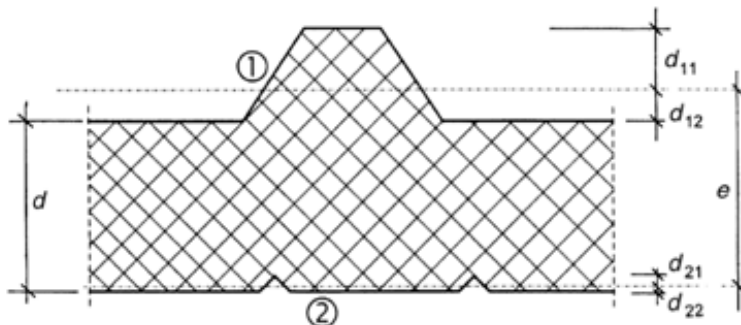
Τα πιο πάνω είναι υπολογισμένα για τα πάνελ πλάτους $B = 1000\text{mm}$.

Ετσι για πάνελ με $B = 500\text{mm}$ (και έχοντας υπόψη ότι τα δοκίμια έχουν κοπή ομοιόμορφα), έχουμε :

$$Af_1 = Af_2 = 267,5 \text{ mm}$$

Υπολογισμός πάχους e (Απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο εξωτερικών χαλυβδοελασμάτων)

- Για τραπεζοειδές πάνελ (Σχήμα 5.42)



Σχήμα 5.42 : Σχηματική παράσταση πάχους e , για το τραπεζοειδές πάνελ.

Ισχύει η σχέση : $e = (d - \frac{1}{2}(t_1 + t_2)) + d_{12} - d_{22}$

$$d_{12} = 10 \text{ mm}$$

$$d_{22} = 0,5 \text{ mm}$$

Ετσι έχουμε :

➤ Για $d = 40 \text{ mm}$

$$e = (40 - \frac{1}{2}(0,5 + 0,5)) + 10 - 0,5$$

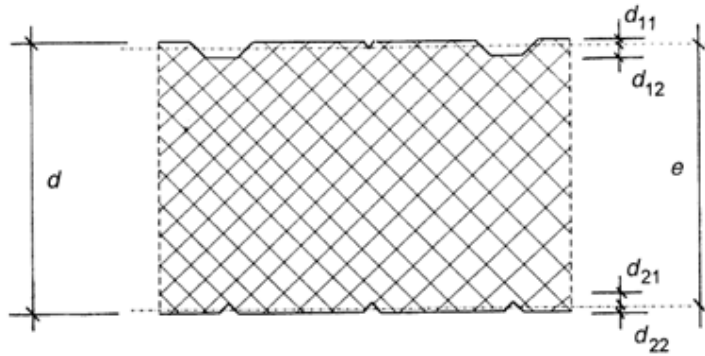
$$e_{40} = 49 \text{ mm}$$

➤ Για $d = 50 \text{ mm}$

$$e = (50 - \frac{1}{2}(0,5 + 0,5)) + 10 - 0,5$$

$$e_{50} = 59 \text{ mm}$$

- Για επίπεδο πάνελ (Σχήμα 5.43)



Σχήμα 5.43 : Σχηματική παράσταση πάχους e , για το επίπεδο πάνελ.

Ισχύει η σχέση : $e = (d - \frac{1}{2}(t_1+t_2)) - d_{11} - d_{22}$

Το πάχος E για το επίπεδο πάνελ μπορεί να υπολογιστεί και με την χρήση του εμβαδού της τομής.

Ετσι ,υπολογίζουμε πρώτα το εμβαδό της τομής του πάνελ που αναφέρεται στο πάχος e :

$$A_e = (d - \frac{1}{2}(t_1+t_2)) \times 1000 - 2 \times (\text{Εμβαδόν τομής αυλαλώματος} \times 5)$$

$$A_e = (d - \frac{1}{2}(0,5+0,5) \times 1000) - 2 \times ((15 \times 2) \times 5)$$

$$A_e = (d - 0,5) \times 1000 - 300$$

Ετσι έχουμε :

➤ **Για $d = 50$ mm**

$$A_e = (d - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = (50 - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = 49200 \text{mm}^2$$

$$\mathbf{e_{50}=49,2 \text{ mm}}$$

➤ **Για $d = 80$ mm**

$$A_e = (d - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = (80 - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = 79200 \text{mm}^2$$

$$\mathbf{e_{80}=79,2 \text{ mm}}$$

➤ **Για $d = 100$ mm**

$$A_e = (d - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = (100 - 0,5) \times 1000 - 300$$

$$A_e = 99200 \text{mm}^2$$

$$\mathbf{e_{100}=99,2 \text{ mm}}$$

A/ A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Πάχος e(mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέγιστο Φορτίο F _u (kN)	Συντελεστής Ακαμψίας B _s $B_s = \frac{E_{f1} A_{f1} E_{f2} A_{f1}}{E_{f1} A_{f1} + E_{f2} A_{f2}} e^2$	Διατμητι κή Τάση f _{cv} (N/mm ²) f _{cv} = k _v $\frac{F_u}{2Be}$
1	Τραπεζοειδή	40	49	2000	3,8576698	72670352909	0,157456
2	Τραπεζοειδή	40	49	3000	3,12480	72670352909	0,127543
3	Τραπεζοειδή	50	59	2000	8,4509002	1,05358 × 10 ¹¹	0,286471
4	Τραπεζοειδή	50	59	3000	6,1180498	1,05358 × 10 ¹¹	0,207392
5	Επίπεδο	50	49,2	2000	4,00532	67989726000	0,162818
6	Επίπεδο	50	49,2	3000	1,87649	67989726000	0,07628
7	Επίπεδο	50	49,2	4000	1,77985	67989726000	0,072352
8	Επίπεδο	80	79,2	2000	5,93281	1,76183 × 10 ¹¹	0,149818
9	Επίπεδο	80	79,2	3000	3,9060	1,76183 × 10 ¹¹	0,098636
10	Επίπεδο	80	79,2	4000	3,17043	1,76183 × 10 ¹¹	0,080061
11	Επίπεδο	100	99,2	2000	6,55026	2,76399 × 10 ¹¹	0,132062
12	Επίπεδο	100	99,2	3000	4,68719	2,76399 × 10 ¹¹	0,0945
13	Επίπεδο	100	99,2	4000	3,48184	2,76399 × 10 ¹¹	0,070198

Πίνακας 5,9: Καταγραφή Αποτελεσμάτων και Υπολογισμός Διατμητικής τάσης f_{cv}

A/ A	ΔF (KN)	Δw (mm)	Μήκος L (Span) (mm)	Παραμόρφωση λόγω κάμψης (mm) $\Delta_{WB} = \frac{\Delta F \cdot L^3}{56,34 \cdot B_s}$	Παραμόρφωση λόγω διάτμησης (mm) Δ _{WS} = Δ _W - Δ _{WB}
1	2,83486	15,3167	1855	4,419664	10,89704
2	2,02232	21,3009	2850	11,43432	9,86658
3	1,90333	5,5	1850	2,030221	3,469779
4	5,11134	33,7342	2850	19,93349	13,80071
5	1,96776	10,5795	1860	3,305604	7,273896
6	0,22013	2,6668	2845	1,323323	1,343477
7	0,91811	24,0002	3845	13,6246	10,3756
8	1,77716	5,8084	1850	1,133604	4,674796
9	2,66792	17,5005	2855	6,254763	11,24574
10	1,86037	21,4255	3845	10,65389	10,77161
11	2,655	7,6752	1850	1,079509	6,595691
12	4,68719	26,2785	2850	6,967771	19,31073
13	1,90333	16,7755	3845	6,947841	9,827659

Πίνακας 5.10 : Υπολογισμός Παραμόρφωσης λόγω κάμψης Δ_{wB} και λόγω διάτμησης Δ_{ws}.

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέτρο Διάτμησης G_c $G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{6 \cdot B \cdot d_c \cdot \Delta_{ws}}$	Αστοχία A ή B ή C
1	Τραπεζοειδή	40	2000	4,124595	C
2	Τραπεζοειδή	40	3000	4,992778	C
3	Τραπεζοειδή	50	2000	6,903458	A,B,C
4	Τραπεζοειδή	50	3000	7,180603	A,B,C
5	Επίπεδο	50	2000	3,422951	A,C
6	Επίπεδο	50	3000	3,17113	A,B,C
7	Επίπεδο	50	4000	2,314517	B,C
8	Επίπεδο	80	2000	2,967476	A,B,C
9	Επίπεδο	80	3000	2,857871	C
10	Επίπεδο	80	4000	2,80199	B,C
11	Επίπεδο	100	2000	2,507376	A,B,C
12	Επίπεδο	100	3000	2,329176	A,B,C
13	Επίπεδο	100	4000	2,507286	B,C

Πίνακας 5.11 :Υπολογισμός Μέτρου Διάτμησης G_c και καθορισμός είδους αστοχίας για το κάθε δοκίμιο - πάνελ

Όπου :

Αστοχία A: Διάτμηση του Πυρήνα
Αστοχία B: Αποκόλληση της χαλύβδινης εξωτερικής επένδυσης, από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.
Αστοχία C: Εμφάνιση Πτυχώσεων (Wrinkling)

5.4.8 Συμπεράσματα

Στους πίνακες 5.12 και 5.13 που ακολουθούν ομαδοποιώ τα αποτελέσματα σε σχέση με το πάχος του πάνελ και σε σχέση με το μήκος του ,αντίστοιχα. Έτσι , θα μπορέσω να εξάγω χρήσιμα συμπεράσματα για την αντοχή τους σε κάμψη.

- Συμπερασματα για την αντοχή των δοκιμίων- πάνελ σε Κάμψη

Με βάση τον πίνακα 5.12 και τα αποτελέσματα των μετρήσεων επιβεβαιώνεται ότι :

Η αντοχή των πανέλλων σε κάμψη 4 σημείων, είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους τους, δηλαδή όσο πιο μεγάλο σε μήκος θα παραχθεί ένα πάνελ , τόσο πιο μικρή θα είναι η αντοχή του σε κάμψη. Γι ' αυτό το λόγο οι κατασκευαστές ,έστω και αν η πρέσσα διπλών ιμάντων έχει τη δυνατότητα, αποφεύγουν να παράγουν πάνελ πολύ μεγάλου μήκους (Συνήθως παράγονται έως 15 m τα οποία κατά την τοποθέτησή τους απαιτείται η υποθέτηση ενδιάμεσων στηρίξεων ανά ένα μέτρο).

Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέγιστο Φορτίο F _u (kN)
Τραπεζοειδή	40	2000	3,8576698
Τραπεζοειδή	40	3000	3,12480
Τραπεζοειδή	50	2000	8,4509002
Τραπεζοειδή	50	3000	6,1180498
Επίπεδο	50	2000	4,00532
Επίπεδο	50	3000	1,87649
Επίπεδο	50	4000	1,77985
Επίπεδο	80	2000	5,93281
Επίπεδο	80	3000	3,9060
Επίπεδο	80	4000	3,17043
Επίπεδο	100	2000	6,55026
Επίπεδο	100	3000	4,68719
Επίπεδο	100	4000	3,48184

Πίνακας 5.12 : Σύγκριση πάνελ ίδιου προφίλ και ίδιου πάχους αλλά με διαφορετικό μήκος,

Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Μήκος Lp(mm)	Πάχος D (mm)	Μέγιστο Φορτίο F _u (kN)
Τραπεζοειδή	2000	40	3,8576698
Τραπεζοειδή	2000	50	8,4509002
Τραπεζοειδή	3000	40	3,12480
Τραπεζοειδή	3000	50	6,1180498
Επίπεδο	2000	50	4,00532
Επίπεδο	2000	80	5,93281
Επίπεδο	2000	100	6,55026
Επίπεδο	3000	50	1,87649
Επίπεδο	3000	80	3,9060
Επίπεδο	3000	100	4,68719
Επίπεδο	4000	50	1,77985
Επίπεδο	4000	80	3,17043
Επίπεδο	4000	100	3,48184

Πίνακας 5.13 : Σύγκριση πάνελ ίδιου προφίλ και ίδιου μήκους αλλά με διαφορετικό πάχος

Με βάση τον πίνακα 5.13 και τα αποτελέσματα των μετρήσεων επιβεβαιώνεται ότι :

Η αντοχή των πανέλλων σε κάμψη, είναι ανάλογη του πάχους

τους, δηλαδή όσο πιο «παχύ» θα παραχθεί ένα πάνελ , τόσο πιο μεγάλη θα είναι η αντοχή του σε κάμψη. Γι ' αυτό το λόγο οι κατασκευαστές ,έστω και αν η πρέσσα διπλών ιμάντων έχει τη δυνατότητα, αποφεύγουν να παράγουν πάνελ πολύ μεγάλου μήκους (Συνήθως παράγονται έως 15 m τα οποία κατά την τοποθέτηση τους απαιτείται η υποθέτηση ενδιάμεσων στηρίξεων ανά ένα μέτρο).

Μια άλλη σύγκριση που αξίζει να γίνει είναι αυτή μεταξύ πάνελ ίδιου μήκους και πάχους αλλά διαφορετικού προφίλ . Η σύγκριση αυτή , για τις μετρήσεις που πραγματοποιήσουμε φαίνεται στον πίνακα 5.14

Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέγιστο Φορτίο F _u (kN)
Τραπεζοειδή	50	2000	8,4509002
Επίπεδο	50	2000	4,00532
Τραπεζοειδή	50	3000	6,1180498
Επίπεδο	50	3000	1,87649

Πίνακας 5.14 :Σύγκριση πάνελ ίδιου πάχους και ίδιου μήκους αλλά με διαφορετικό προφίλ.

Από τον Πίνακα 5.14 , παρατηρώ ότι τα τραπεζοειδή πάνελ (έντονα μορφοποιημένες επιφάνειες), έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη από τα επίπεδα πάνελ. Αυτός είναι και ο κύριος λ'ογος που τα τραπεζοειδή πάνελ χρησιμοποιούνται για οροφές και στέγες .

Η διαφορά στην αντοχή των δύο τύπων πάνελ , διαφαίνεται έντονα και από τη σύγκριση δύο πάνελ , διαφορετικού προφίλ , διαφορετικού πάχους και ίδιου μήκους . Στον πίνακα 5,15 συγκρίνουμε το μέγιστο φορτίο σε κάμψη , που προέκυψε κατά τις δοκιμές , μεταξύ ενός τραπεζοειδούς πάνελ και ενός επίπεδου πάνελ, τα οποία έχουν το ίδιο μήκος , αλλά διαφορετικό πάχος. Συγκεκριμένα το τραπεζοειδές πάνελ έχει το μισό πάχος του επίπεδου πάνελ , παρ'όλα αυτά , έχει μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη.

Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Μήκος Lp(mm)	Πάχος D (mm)	Μέγιστο Φορτίο F _u (kN)
Τραπεζοειδή	2000	50	8,4509002
Επίπεδο	2000	100	6,55026
Τραπεζοειδή	3000	50	6,1180498
Επίπεδο	3000	100	4,68719

Πίνακας 5.15 :Σύγκριση πάνελ ίδιου προφίλ και ίδιου μήκους αλλά με διαφορετικό πάχος και διαφορετικό προφίλ.

- Συμπεράσματα για την αστοχία των δοκιμών- πάνελ
Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5.11, επαληθεύονται οι εξής θεωρητικές μορφές αστοχία:

1. Διάτμηση του Πυρήνα
2. Αποκόλληση της χαλύβδινης εξωτερικής επένδυσης, από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.
3. Εμφάνιση Πτυχώσεων (Wrinkling)

- Συμπεράσματα για το μέτρο διάτμησης.

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μέτρο Διάτμησης G_c $G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{6 \cdot B \cdot d_c \Delta w_s}$	Θεωρητική τιμή Μέτρου Διάτμησης
1	Τραπεζοειδή	40	4,124595	≥ 2,90
2	Τραπεζοειδή	40	4,992778	
3	Τραπεζοειδή	50	6,903458	≥ 3,00
4	Τραπεζοειδή	50	7,180603	
5	Επίπεδο	50	3,422951	
6	Επίπεδο	50	3,17113	
7	Επίπεδο	50	2,314517	
8	Επίπεδο	80	2,967476	≥ 2,70
9	Επίπεδο	80	2,857871	
10	Επίπεδο	80	2,80199	
11	Επίπεδο	100	2,507376	≥ 2,50
12	Επίπεδο	100	2,329176	
13	Επίπεδο	100	2,507286	

Πίνακας 5.16 : Σύγκριση υπολογισθέντων τιμών του μέτρου διάτμησης , με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών που διενεργήσαμε , με τις θεωρητικές τιμές του μέτρου διάτμησης , όπως αυτές καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα

Παρατηρούμε (Πίνακας 5.16) ότι οι τιμές του μέτρου διάτμησης που υπολογίσαμε για το κάθε δοκίμιο – πάνελ ξεχωριστά , βρίσκονται εντός των ορίων που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα, με εξαίρεση δύο περιπτώσεις (Τιμές στον πίνακα με κόκκινο πλαίσιο) , που αποκλίνουν κατά πολύ λίγο από το επιτρεπτό όριο. Το σφάλμα αυτό μπορεί να οφείλεται :

- Σφάλμα κατά την κοπή του δοκιμίου – πάνελ
- Σφάλμα κατά την εκτέλεση των δοκιμών π.χ. απόκλιση στην τοποθέτηση του δοκιμίου
- Σφάλμα κατά την μεταφορά των μετρήσεων από το λογισμικό , στο Microsoft Excel.
- Σφάλμα κατά την επεξεργασία του διαγράμματος
- Τυχαίο Σφάλμα

- Συμπεράσματα για τη Διατμητική τάση.

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Διατμητική Τάση f_{cv} (N/mm ²) $f_{cv} = k_v \frac{Fu}{2Be}$	Θεωρητική τιμή Διατμητικής Τάσης f_{cv}
1	Τραπεζοειδή	40	0,157456	≥ 0,11
2	Τραπεζοειδή	40	0,127543	
3	Τραπεζοειδή	50	0,286471	
4	Τραπεζοειδή	50	0,207392	
5	Επίπεδο	50	0,162818	
6	Επίπεδο	50	0,07628	
7	Επίπεδο	50	0,072352	
8	Επίπεδο	80	0,149818	
9	Επίπεδο	80	0,098636	
10	Επίπεδο	80	0,080061	
11	Επίπεδο	100	0,132062	
12	Επίπεδο	100	0,0945	
13	Επίπεδο	100	0,070198	

Πίνακας 5.17 : Σύγκριση υπολογισθέντων τιμών της Διατμητικής τάσης , με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών που διενεργήσαμε , με τις θεωρητικές τιμές της διατμητικής τάσης , όπως αυτές καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα

Παρατηρούμε (Πίνακας 5.17) ότι οι πλείστες τιμές της διατμητικής τάσης, που υπολογίσαμε για το κάθε δοκίμιο – πάνελ ξεχωριστά , βρίσκονται εντός των ορίων που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα.Υπάρχουν κάποιες τιμές, (Τιμές στον πίνακα με κόκκινο πλαίσιο) , που αποκλίνουν από το επιτρεπτό όριο. Πιθανόν,το σφάλμα οφείλεται σε σφάλμα κατά την κοπή του δοκιμίου – πάνελ και κατ' επέκταση , σε λανθασμένη εκτίμηση του συντελεστή Αναγωγής (δηλ. σφάλμα στην μέτρηση του B και σφάλμα στον υπολογισμό του K_v). Για αποφυγή του σφάλματος θα έπρεπε να διενεργηθεί η δοκιμή και κατ'επέκταση οι υπολογισμοί ,αρκετές φορές και να λαμβανόταν ο μέσος όρος των υπολογισθέντων διατμητικών τάσεων , ως η τελική τιμή.

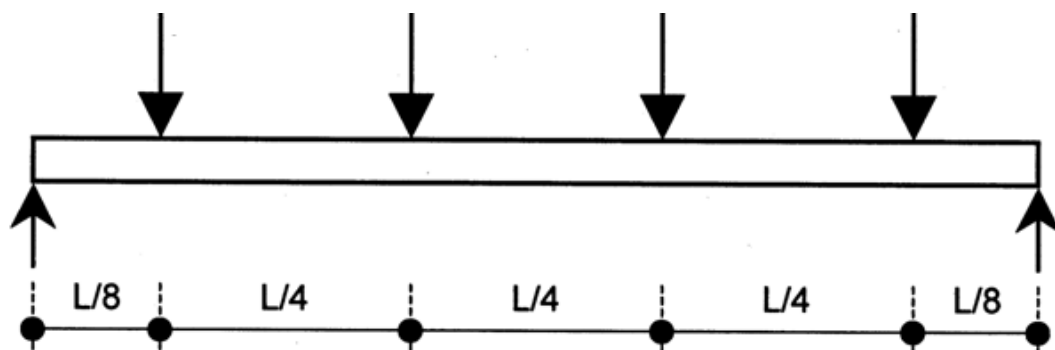
5.5 Δοκιμή κάμψης έξι σημείων

5.5.1 Σκοπός δοκιμής κάμψης έξι σημείων

Η δοκιμή αυτή χρησιμοποιείται για την μελέτη της αστοχίας του σύνθετου υλικού, τον υπολογισμό της ροπής κάμψης ,της κρίσιμης τάσης δημιουργίας πτυχώσεων καθώς και του μέτρου διάτμησης..

5.5.2 Διάταξη δοκιμής κάμψης έξι σημείων

Υπάρχουν διάφορες διατάξεις για να υλοποιηθεί η δοκιμή κάμψης έξι σημείων όπως είναι η άσκηση ομοιόμορφα κατανεμημένων σημειακών φορτίων ή η άσκηση ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου σε όλη την επιφάνεια του πάνελ με την χρήση κενών αέρος (vacuum). Με βάση τις δυνατότητες της μηχανής Instron, με την οποία θα δουλέψουμε , αλλά και με βάση τα μέσα που διαθέτουμε , συναρμολογήσαμε την διάταξη του σχήματος 5.44 και 5.45 , με την βοήθεια της οποίας διενεργήσαμε τις δοκιμές που θα περιγραφούν παρακάτω.



Σχήμα 5.44 : Διάταξη Δοκιμής κάμψης έξι σημείων



Σχήμα 5.45 Η Διάταξη δοκιμής κάμψης έξι σημείων που συναρμολογήθηκε για χάρη των δοκιμών, στο Εργαστήριο του τομέα κατεργασιών του Ε.Μ.Π

Όπως και προηγούμενες δύο δοκιμές που περιγράφηκαν (Δοκιμή Θλίψης και Δοκιμή κάμψης 4 σημείων),και στην παρούσα δοκιμή

χρησιμοποιήσαμε, μηχανή Instron η οποία έχει τη δυνατότητα να μετρά Φορτία (σε KN) και μετατόπιση – παραμόρφωση (σε mm) και να μας τα παρουσιάζει σε διάγραμμα (διάγραμμα Φορτίου – Παραμόρφωσης) στην οθόνη του Η/Υ , με το οποίο είναι συνδεδεμένη. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.30 , τοποθετούνται λεπτές χαλύβδινες πλάκες κάτω από τα τέσσερα σημεία φόρτισης και πάνω από τις δύο θέσεις απλής στήριξης. Επιλέγουμε πλάκες πάχους $S_s=8\text{mm}$ και πλάτους $L_s = 60 \text{ mm}$,αφού σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509 , το πάχος των πλακών αυτών πρέπει να είναι από 8 mm έως 12 mm και το πλάτος τους, τουλάχιστον 60 mm.Η πλάκα αυτή μπορεί να αντικατασταθεί με άλλη πλάκα ,πλάτους έως 100mm ,προκειμένου να αποφευχθεί η τοπική θραύση του πυρήνα. Συνοπτικά , η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή κάμψης των δοκιμών περιλαμβάνει τεμάχια τα οποία αποτελούν το σύστημα συμπίεση(περιγράφονται στους πίνακες 5.20, 5.21,5.22 για κάθε δοκιμή ξεχωριστά), τεμάχια τα οποία αποτελούν τις απλές στηρίξεις(Πίνακα 5.18)καθώς και δύο σταθερές άκαμπτες βάσεις στήριξης (βλ. Σχήμα 5.25) ,το βάρος των οποίων δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Οι δύο βάσεις στήριξης έχουν κατασκευαστεί από χαλύβδινες γωνιές, κοιλοδοκούς και μια δοκό τύπου I, υλικά που προσδίδουν στις βάσεις εξαιρετική στιβαρότητα και συνεπώς αξιοπιστία κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s= 500 \text{ mm}$ Πλάτος $L_s= 60 \text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8 \text{ mm}$	2	$\frac{3.74}{2} = 1.87$
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r= 500 \text{ mm}$ Ακτίνα $R_s= 15 \text{ mm}$	2	$\frac{5.55}{2} = 2.775$

Πίνακας 5.18: Διαστάσεις και βάρη τεμαχίων που αποτελούν τις απλές στηρίξεις στη δοκιμή κάμψης έξι σημείων

Τα βάρη των τεμαχίων προκύπτουν από τους πίνακες 5.5 ,5.6 και 5.7 , για τις χαλύβδινες πλάκες , τις χαλύβδινες ράβδους και για τις κοιλοδοκούς ,αντίστοιχα.

5.5.3 Δοκίμια Δοκιμής Κάμψης έξι σημείων

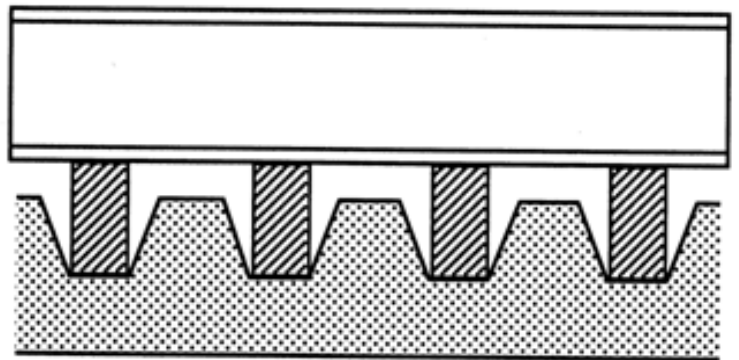
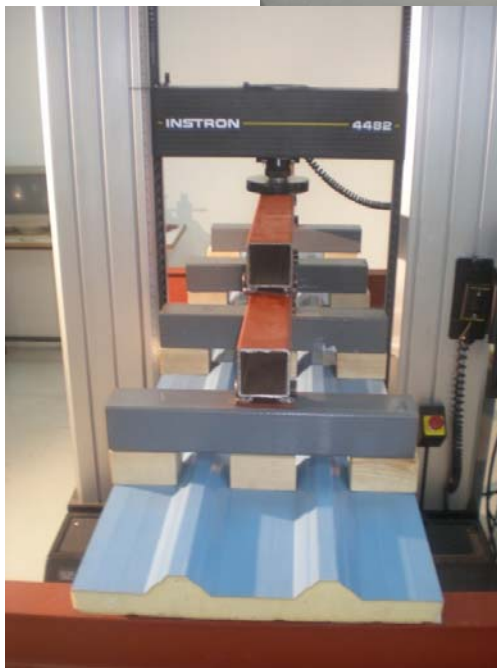
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήσαμε στη δοκιμή έξι σημείων (Πίνακας 5.19) έχουν κοπεί κατά την κατεύθυνση του μήκους του πάνελ , με σταθερό πλάτος B = 500 mm.

Η κοπή των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητο δίσκο κοπής με οδοντωτό τροχό. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμίων , η συγκράτηση του πάνελ, παίζει σημαντικό ρόλο αφού με την σωστή συγκράτηση μειώνονται οι κραδασμοί καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων τάσεων στον πυρήνα πολυουρεθάνης.

Τύπος Δοκιμίου -Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp (mm)	Πλάτος B(mm)
Τραπεζοειδή	40	2000	500
Τραπεζοειδή	50	2000	500
Τραπεζοειδή	40	3000	500
Τραπεζοειδή	50	3000	500
Τραπεζοειδή	40	4000	500
Τραπεζοειδή	50	4000	500
Επίπεδο	50	2000	500
Επίπεδο	80	2000	500
Επίπεδο	100	2000	500
Επίπεδο	50	3000	500
Επίπεδο	80	3000	500
Επίπεδο	100	3000	500
Επίπεδο	50	4000	500
Επίπεδο	80	4000	500
Επίπεδο	100	4000	500

Πίνακας 5.19 : Διαστάσεις δοκιμίων – πάνελ που χρησιμοποιούνται στη Δοκιμή κάμψης έξι Σημείων

Σημειώνεται ότι για τις δοκιμές των τραπεζοειδών πάνελ, μεταξύ των «καναλιών», τοποθετείται ξύλο 150mm ×60mm× 80mm , για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του δοκιμίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.31. Για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν θα θεωρήσουμε το βάρος των ξύλινων τεμαχίων , αμελητέο.



Σχήμα 5.46 :Τοποθέτηση εγκάρσιων ξύλινων τεμαχίων , για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του πάνελ ,κατά τη μελέτη των τραπεζοειδών πάνελς.

5.5.4 Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης έξι σημείων

Το δοκίμιο –πάνελ τοποθετείται μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron και στηρίζεται πάνω στην διάταξη που περιγράφηκε στο Κεφ. 5.5.2. Κατά τη δοκιμή κάμψης έξι σημείων ,το πάνελ υφίσταται σταθερή αύξηση του φορτίου μέχρι την αστοχία. Η ταχύτητα κίνησης του εμβόλου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/50 του ανοίγματος (span) ανά λεπτό.Επιλέγω ταχύτητα 10 mm/min

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής , η μετατόπιση – παραμόρφωση μετράται με ακρίβεια του 1% και εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή Instron , η καμπύλη φορτίου (Fu) – Παραμόρφωσης (w) (load – deflection curve).

Οι δοκιμές διεξάγονται υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.5.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

Στη φορτιζόμενη (άνω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται θλιπτική εντατική κατάσταση (βράχυνση μήκους) , μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία αυξανόμενη προς το εσωτερικό του δοκιμίου.

Στην αφόρτιστη (κάτω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται εφελκυστική εντατική κατάσταση (επιμήκυνση) μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία μειούμενη προς το δοκίμιο.

Στο διαμήκη ουδέτερο άξονα του δοκιμίου (διαμήκες επίπεδο συμμετρίας) δεν παρατηρείται μεταβολή (επιμήκυνση ή βράχυνση) μήκους. Η πιο επικίνδυνη περιοχή ως προς την πιθανότητα αστοχίας (θράυση του πυρήνα) του σύνθετου πάνελ ,είναι η εφελκυστική περιοχή.

Η ερμηνεία και η ανάλυση των αποτελεσμάτων για την δοκιμή κάμψης έξι σημείων βασίζεται στα ακόλουθα:

5.5.5.1. Προσδιορισμός της ροπής κάμψης M_u

Η ροπή κάμψης M_u δίνεται από τη σχέση :

$$M_u = \frac{(F_G + F_U) \cdot L}{8}$$

όπου :

M_u : Η τελική ροπή κάμψης που αναπτύσσεται κατά τη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος του δοκιμίου καθώς και το βάρος της διάταξης φορτίσεως.

F_G : Το ιδίον βάρος του πάνελ (self – weight of the test panel)

F_u : Το μέγιστο φορτίο συμπίεσης (ultimate load) συμπεριλαμβανομένου και του βάρους της διάταξης φορτίσεως

L: Η απόσταση μεταξύ των δύο απλών στηρίξεων (Span)

5.5.5.2. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων (wrinkling stress)

Η τιμή της τάσης αστοχίας λαμβάνεται μετά τον προσδιορισμό της τιμής της ροπής κάμψης.

5.5.5.2.1. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για επίπεδα πάνελ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14509 , εάν η επιφάνεια

πάνω στην οποία εμφανίζεται η αστοχία είναι επίπεδη ή ελαφρά μορφοποιημένη , η τάση αστοχίας δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_w = \frac{M_u}{eBt_1}$$

όπου :

M_u : Η τελική ροπή κάμψης που αναπτύσσεται κατά τη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος του δοκιμίου καθώς και το βάρος της διάταξης φορτίσεως.

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων

t_1 : Το πάχος του χαλυβδοελάσματος

B: Το πλάτος του πάνελ

5.5.5.2.2. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για τραπεζοειδή πάνελ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14509 , εάν η επιφάνεια πάνω στην οποία εμφανίζεται η αστοχία είναι μορφοποιημένη , η τάση αστοχίας δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_w = \frac{M_u - M_{F2}}{eBt_1}$$

όπου :

M_u : Η τελική ροπή κάμψης που αναπτύσσεται κατά τη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος του δοκιμίου καθώς και το βάρος της διάταξης φορτίσεως.

M_{F2} : Η τιμή της ροπής κάμψης που μεταφέρεται από την κάτω μορφοποιημένη επιφάνεια ($M_{F2} = 0$,λόγω της επιπεδότητας της κάτω επιφάνειας)

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων

t_1 : Το πάχος του χαλυβδοελάσματος

B: Το πλάτος του πάνελ

5.5.5.2.3. Προσδιορισμός του μέτρου διάτμησης G_c ,του υλικού του πυρήνα.

Ακολουθεί ουσιαστικά, μια δεύτερη μέθοδος υπολογισμού του μέτρου διάτμησης του υλικού του πυρήνα. Η πρώτη μέθοδος αναφέρθηκε στο ΚΕΦ. 5.4.5.2 και αναφερόταν στη δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων.

Η συνολική παραμόρφωση (ισοδυναμεί με την μετατόπιση στην καμπύλη φορτίου –μετατόπισης) δίνεται από τη σχέση:

$$w = w_b + w_s$$

όπου :

w: μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid span) του δοκιμίου. Λαμβάνεται από το διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης και συγκεκριμένα από την ελαστική περιοχή.

w_b : Η παραμόρφωση λόγω κάμψης
 w_s : Η παραμόρφωση λόγω διάτμησης

Στην περίπτωση της διάταξης που έχουμε κατασκευάσει (βλ. Σχήμα 5.30 ,όπου έχουμε τέσσερα ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία $F/4$, στις θέσεις $L/8$, $3L/8$, $5L/8$, $7L/8$, η τιμή της παραμόρφωσης λόγω κάμψης (w_b) και η τιμή του μέτρου διάτμησης (G_c) , δίδονται από τις σχέσεις:

$$W_b = \frac{41.F.L^3}{3072.B_s}$$

$$G_c = \frac{F.L}{8.A_c.(w - w_b)}$$

Όπου :

F: Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής στην πλαστική περιοχή.(Λαμβάνεται από το διάγραμμα φορτίου μετατόπισης)

B_s : Συντελεστής Ακαμψίας

$$B_s = \frac{E_{f1} A_{f1} E_{f2} A_{f1}}{E_{f1} A_{f1} + E_{f2} A_{f2}} e^2$$

A_c : $A_c = B. e$

5.5.6 Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί

Με τη χρήση της διάταξης του Σχήματος 5.45 και 5.46 και ακολουθώντας τη διαδικασία και τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν ,λάβαμε τα παρακάτω Διαγράμματα Φορτίου - Μετατόπισης . Στα σχήματα που ακολουθούν των Διαγραμμάτων διαφαίνεται η αστοχία του υλικού για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Δοκίμια Τραπεζοειδούς Πάνελ:

Δοκίμιο 1^ο :

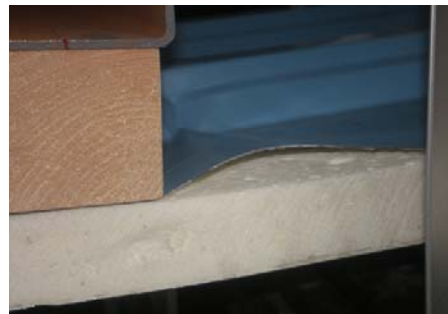
Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 40mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

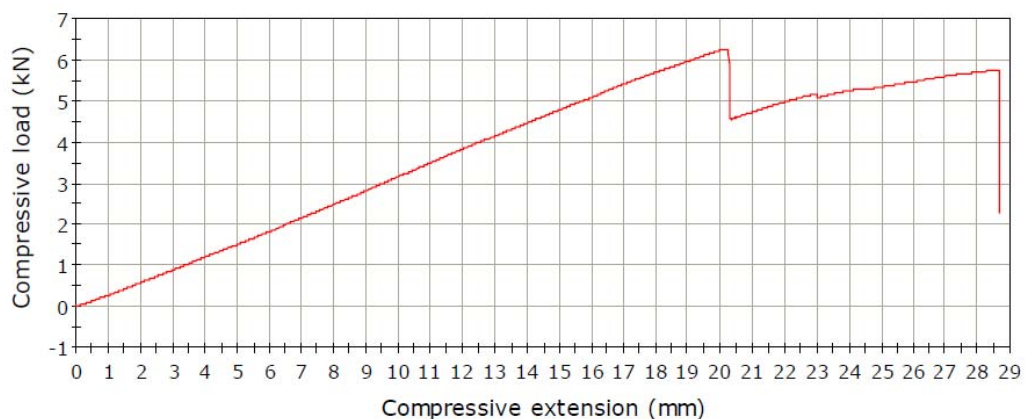
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1845mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



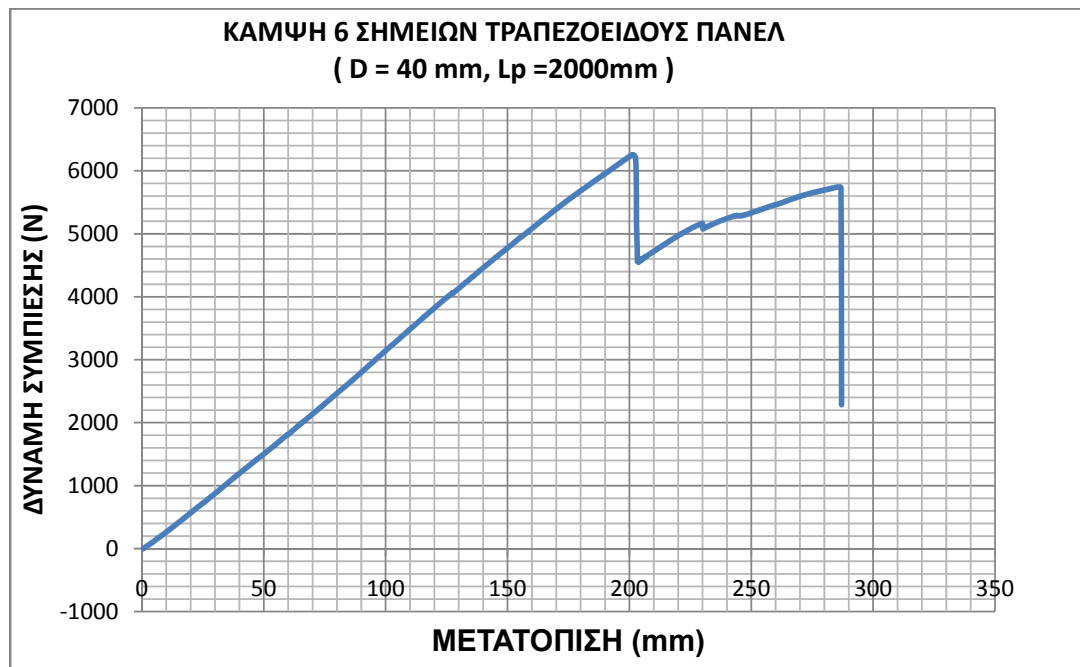
Σχήμα 5.47: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p= 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Η διάτμηση εμφανίζεται υπό κλίση 45° . Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις), που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση των άνω και των κάτω χαλύβδινων φύλλων από τον πυρήνα πολυουρεθάνης

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.38 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.39) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.39 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 40,2258\text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 5234,84\text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 2^ο :

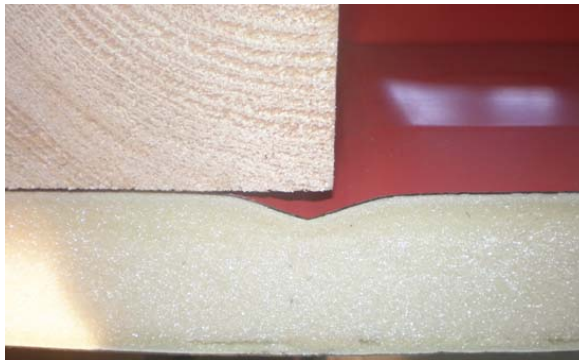
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 40\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

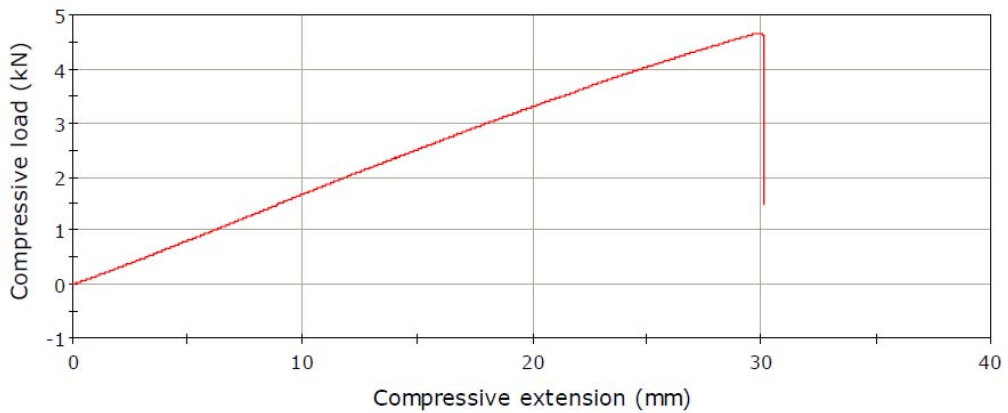
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



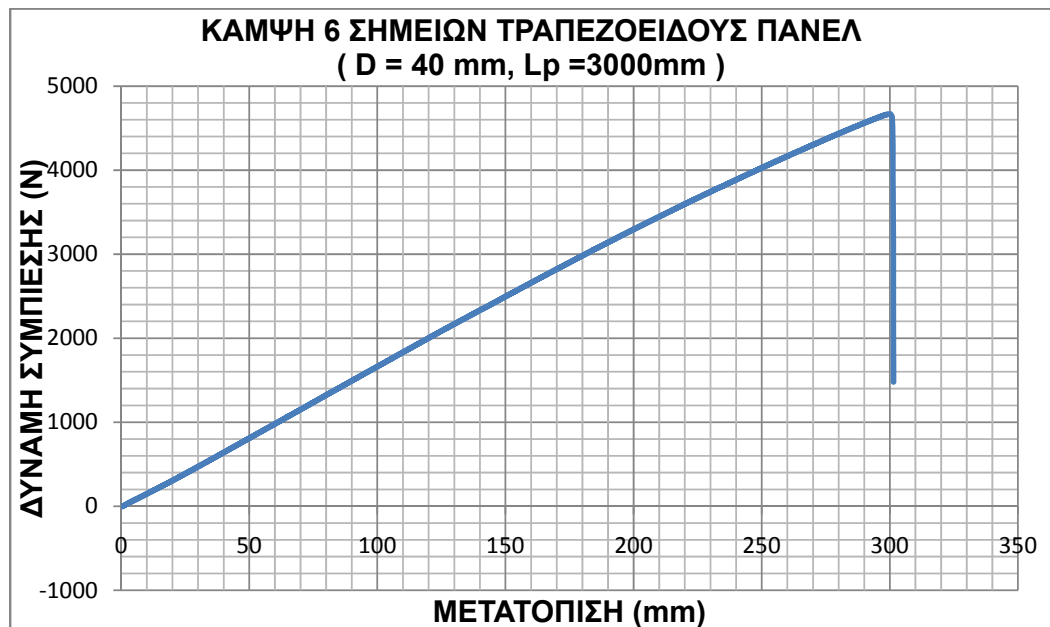
Σχήμα 5.48: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p=3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.40 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.41) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.41 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 40\text{mm}$, $L_p = 3000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$W = 59,8934\text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 3645,6\text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 3^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 40\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

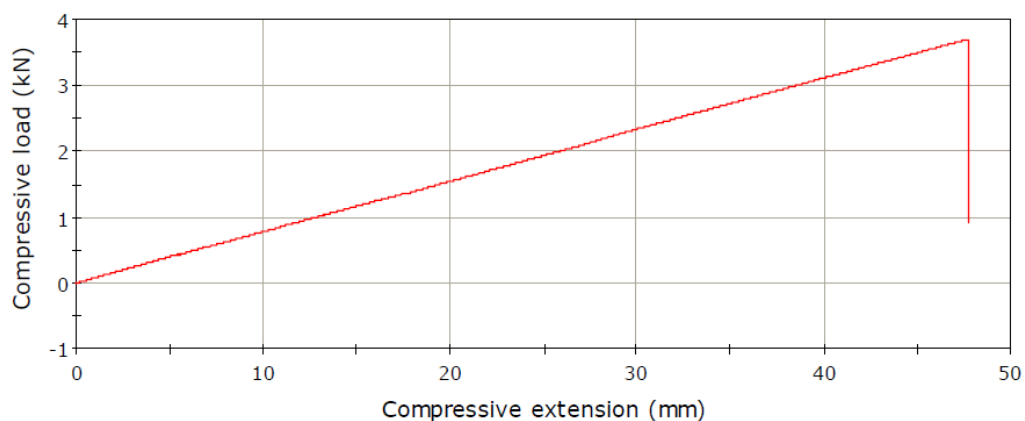
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3850\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



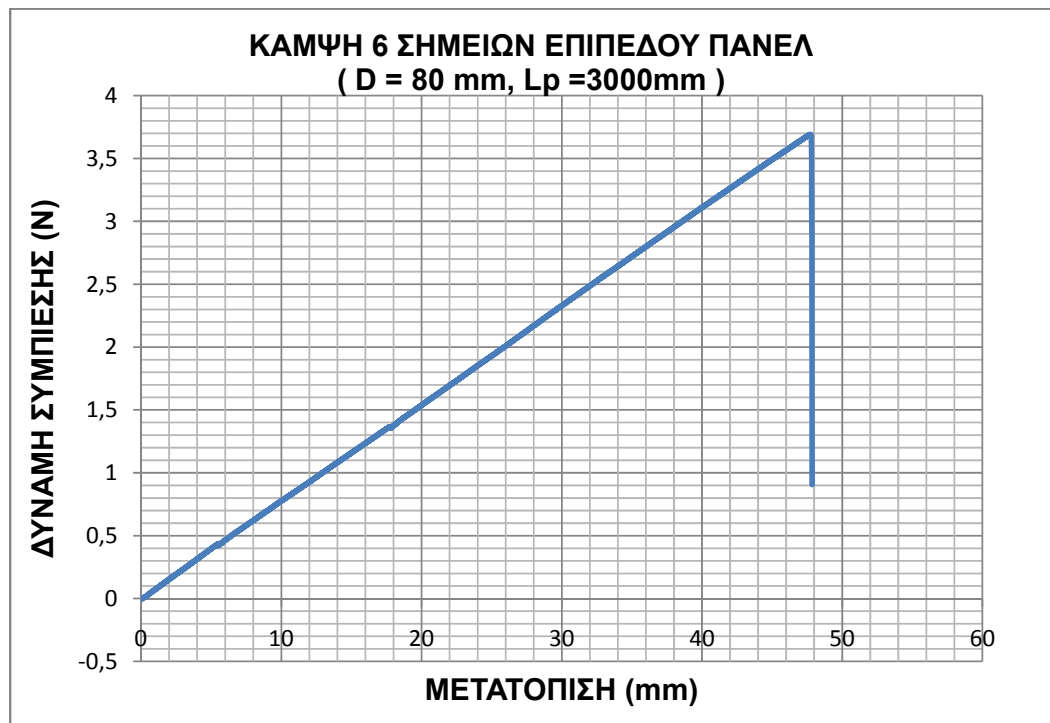
Σχήμα 5.49: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p=4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.42 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.43) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.43 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm, L_p = 4000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

W = 95,3464 mm (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

F = 3599,96 N (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 4^ο :

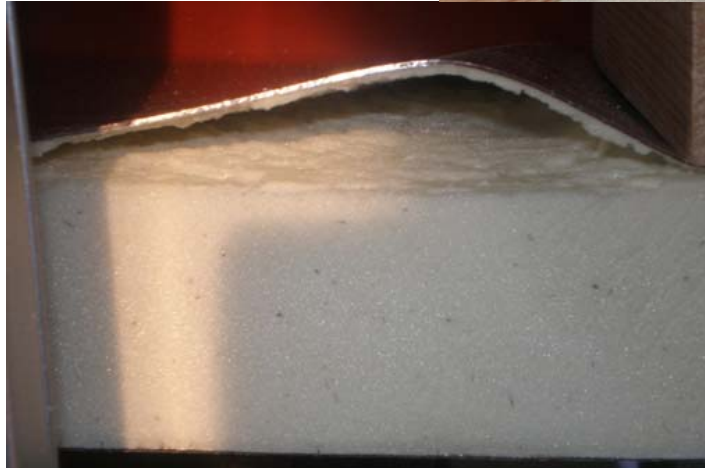
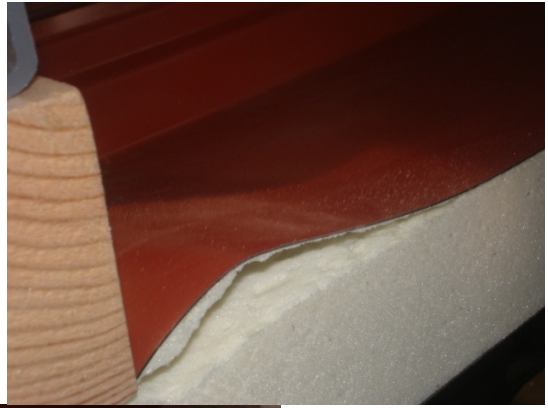
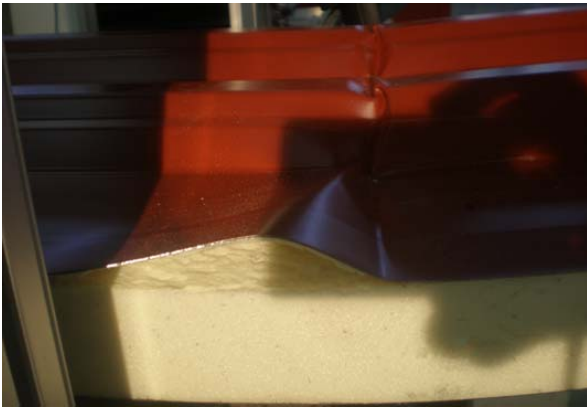
Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

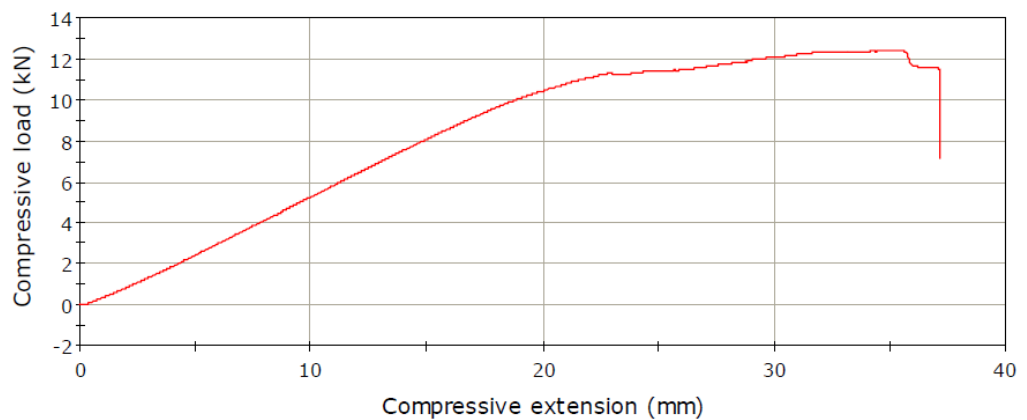
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



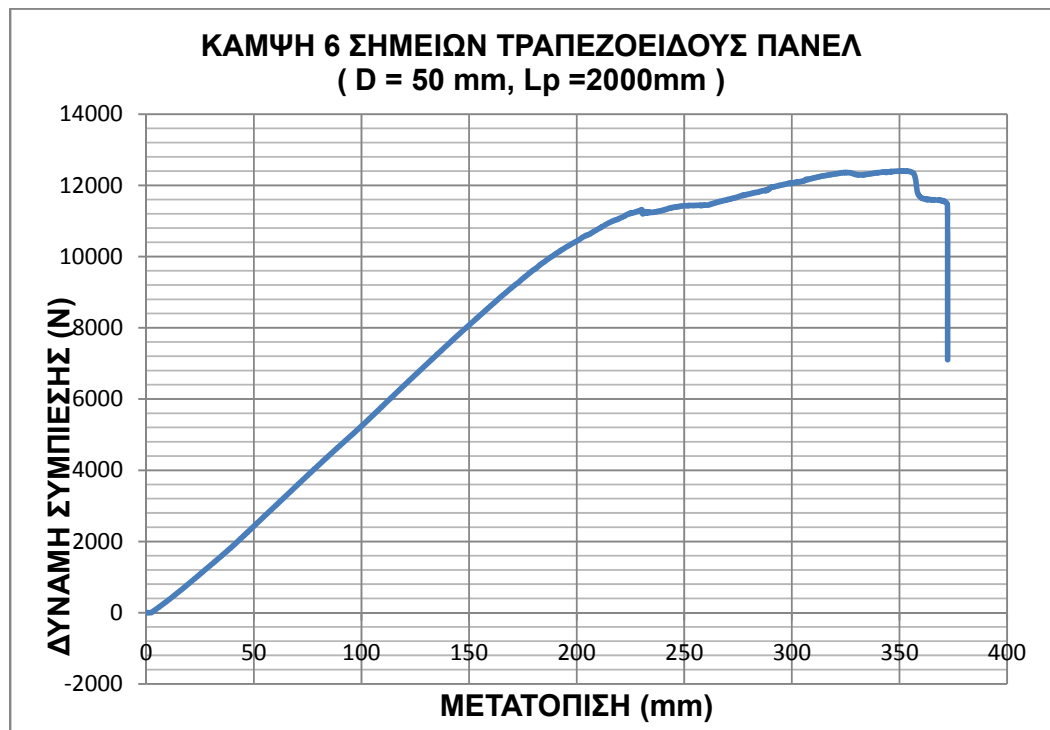
Σχήμα 5.50: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p=2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.44 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.45) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.45 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$W = 70,028\text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 9293,85\text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 5^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

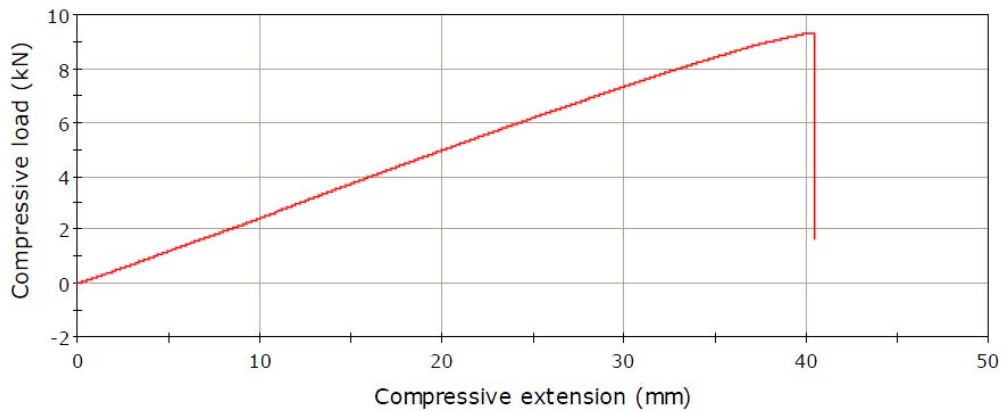
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2850\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



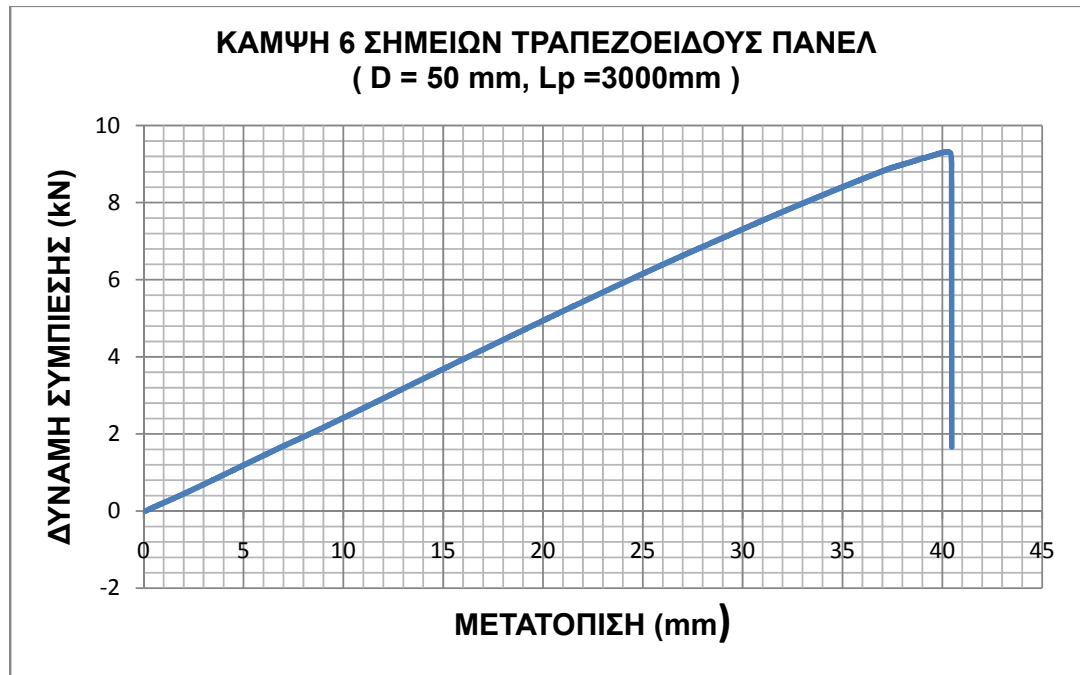
Σχήμα 5.51: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p=3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής η διάτμηση του πυρήνα ,οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.46 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.45) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.47 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$, $L_p = 3000\text{mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w , την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$W = 80,5454 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος
(mid-span) του δοκιμίου)

$F = 8262,99 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 6^ο :

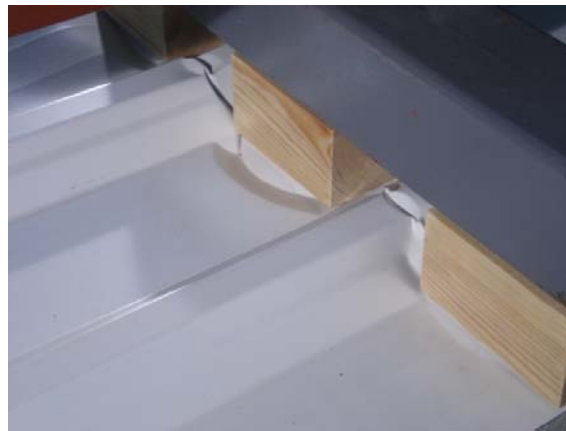
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 50 \text{ mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 4000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

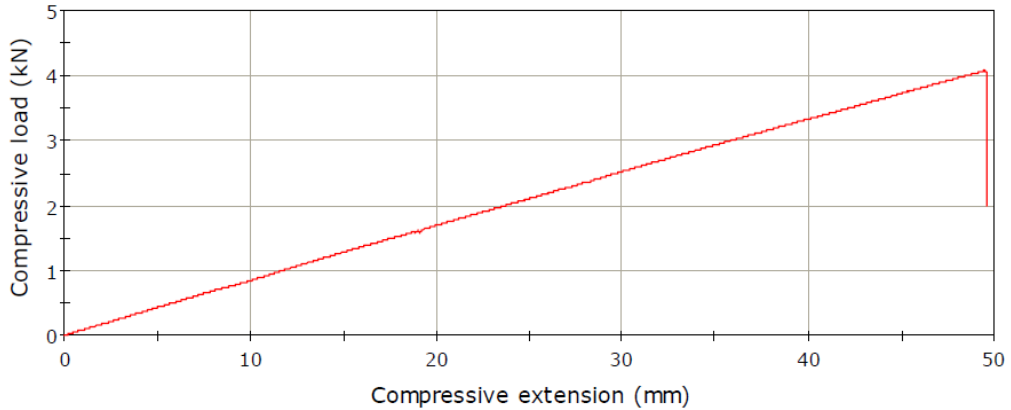
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3870 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



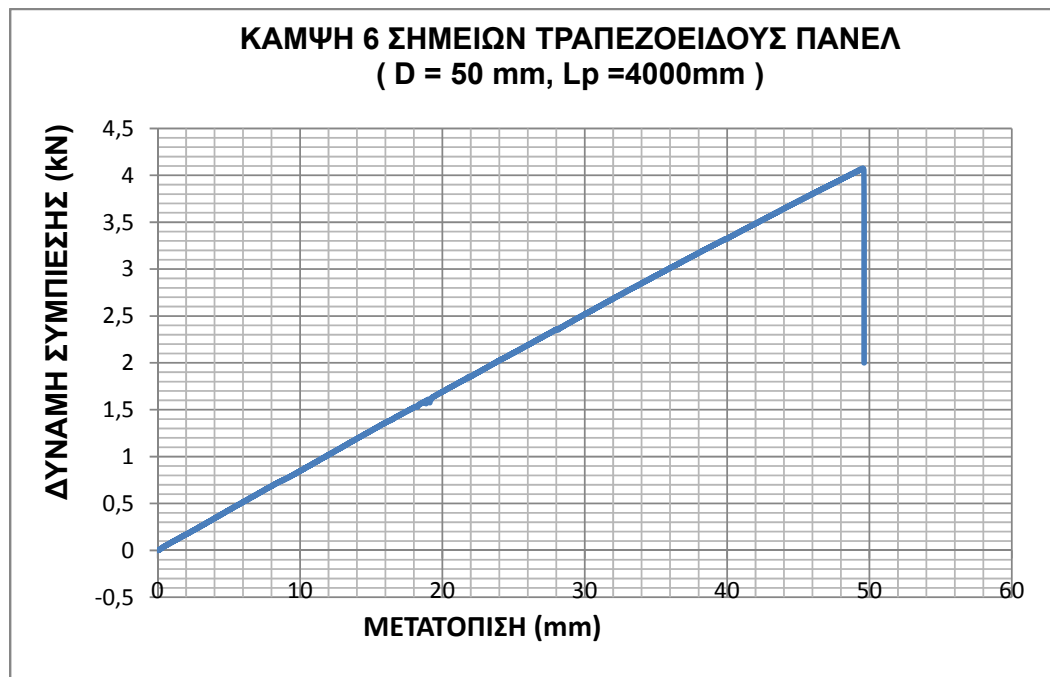
Σχήμα 5.52: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50 \text{ mm}$ και $L_p = 3000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.48 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.49) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.49 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 4000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$W = 99,08 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος
(mid-span) του δοκιμίου)
 $F = 4035 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμια Επίπεδου Πάνελ:

Δοκίμιο 7^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 50 \text{ mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 2000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

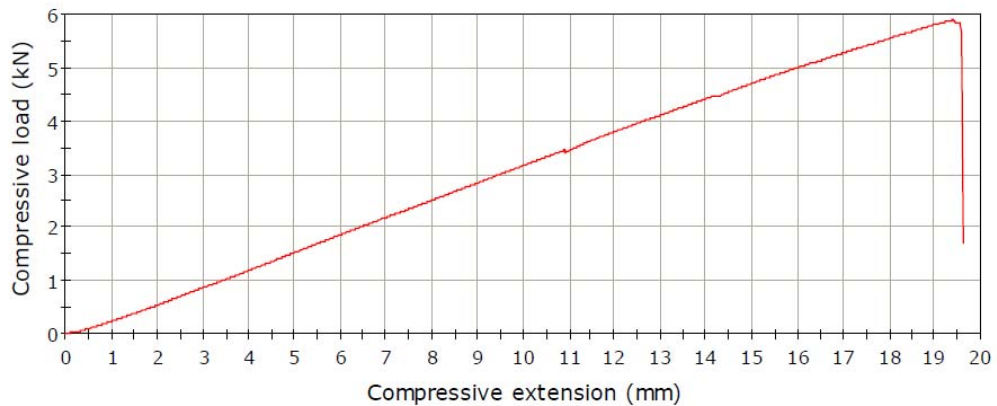
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1850 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



Σχήμα 5.53: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 50 \text{ mm}$ και $L_p = 2000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

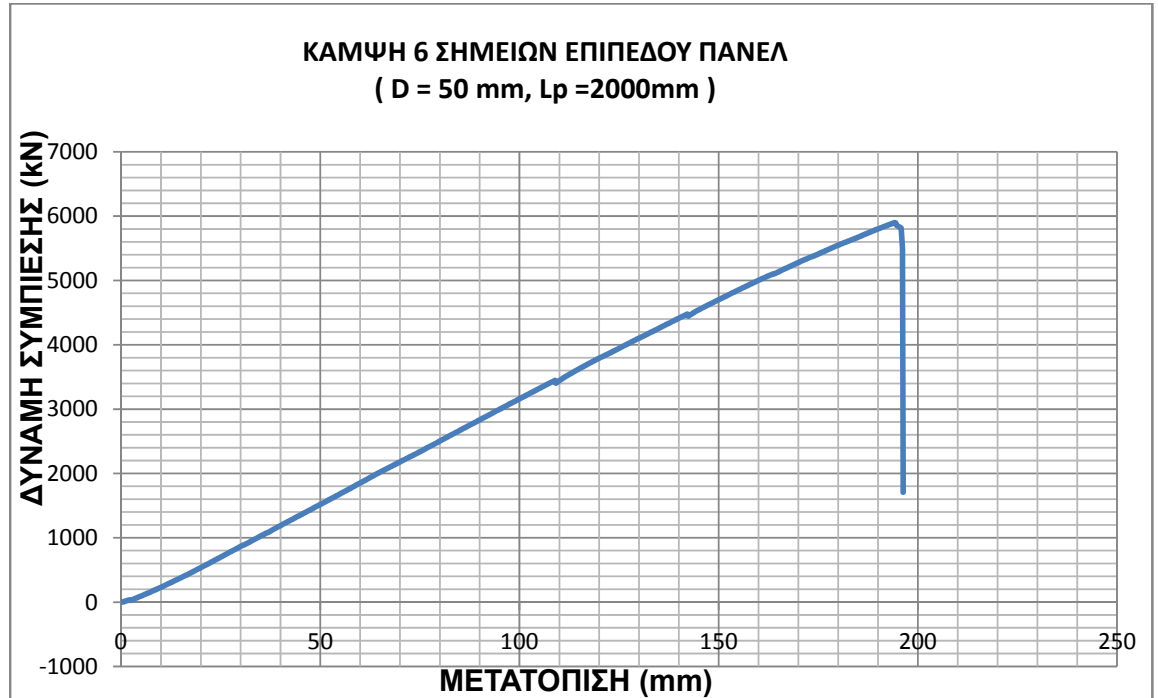
LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.50 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου

πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.51) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.51 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 38,82\text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (*mid-span*) του δοκιμίου)

$F = 5379,8\text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 8° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

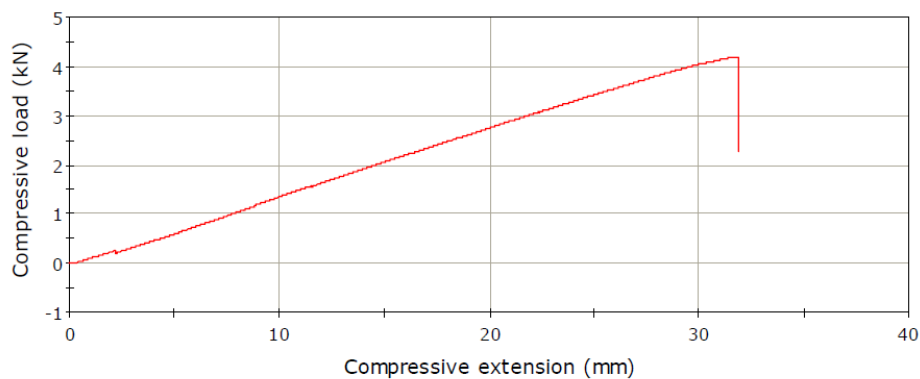
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2850\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



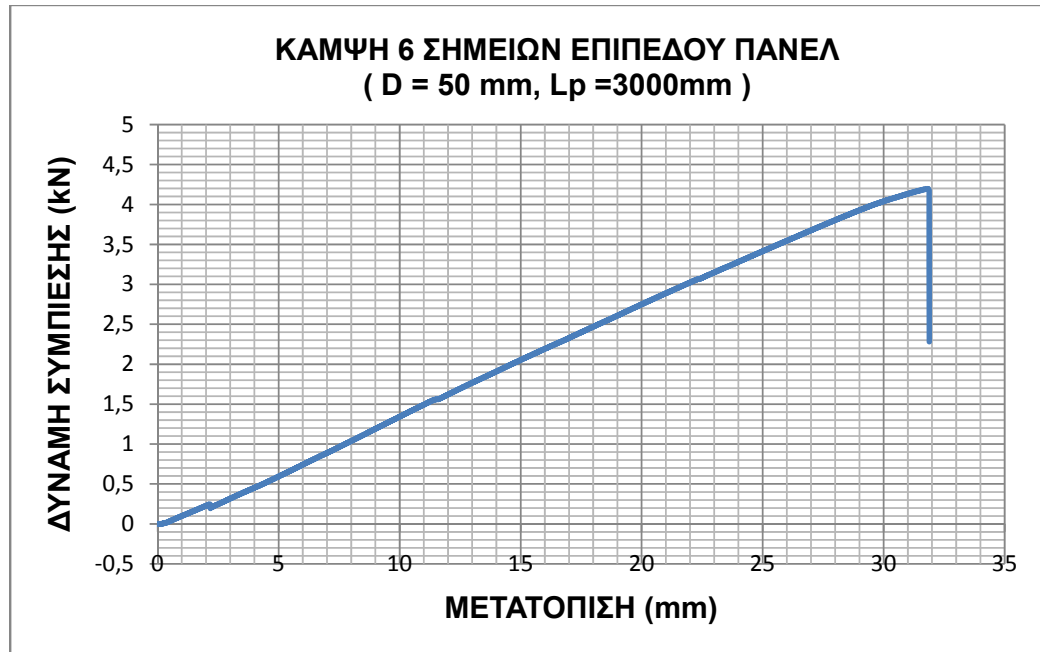
Σχήμα 5.54: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p=3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.52 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίουεπίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.53) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.53 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm, L_p = 3000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 63,53 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 4170 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 9^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

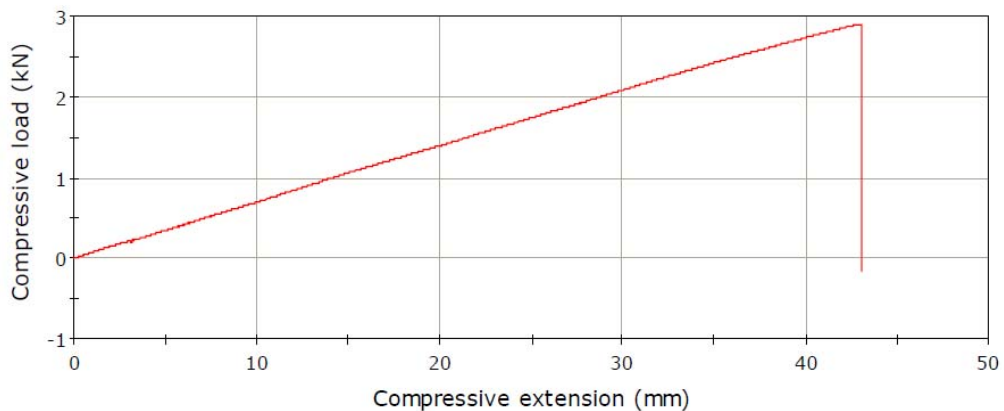
L = 3855 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



Σχήμα 5.55: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm και L_p= 4000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι

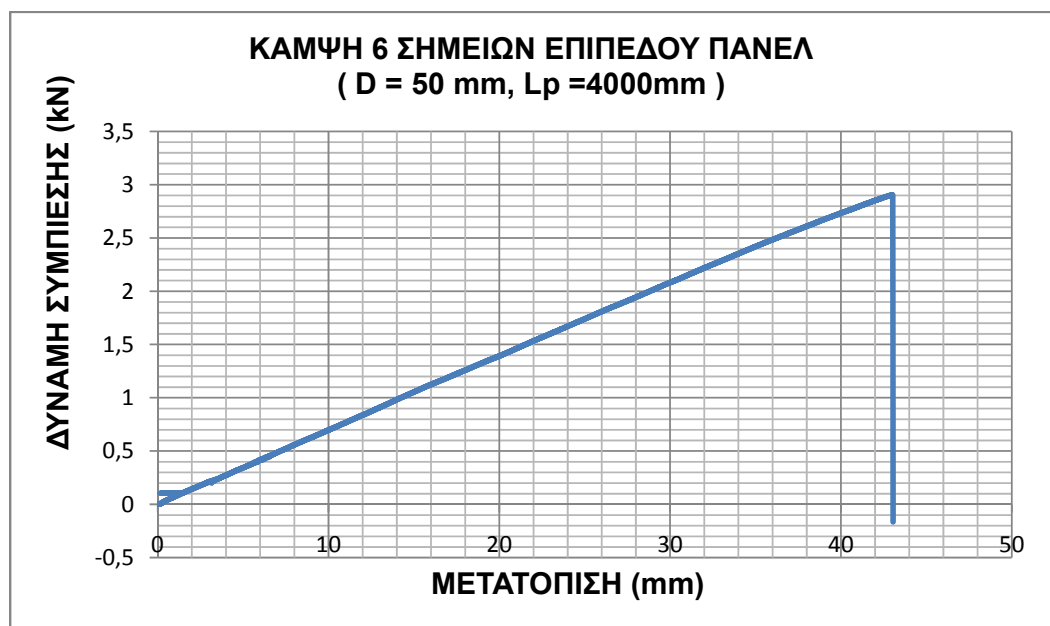
πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.54 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 4000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.55) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.55 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$, $L_p = 4000 \text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 85,94 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 2830 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 10° :

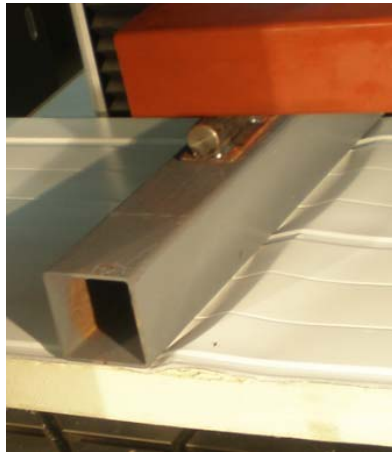
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 80 \text{ mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 2000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

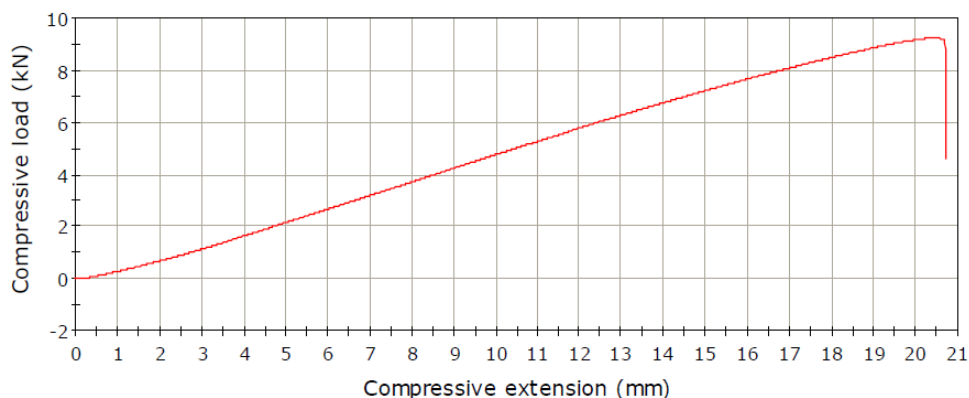
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1845 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



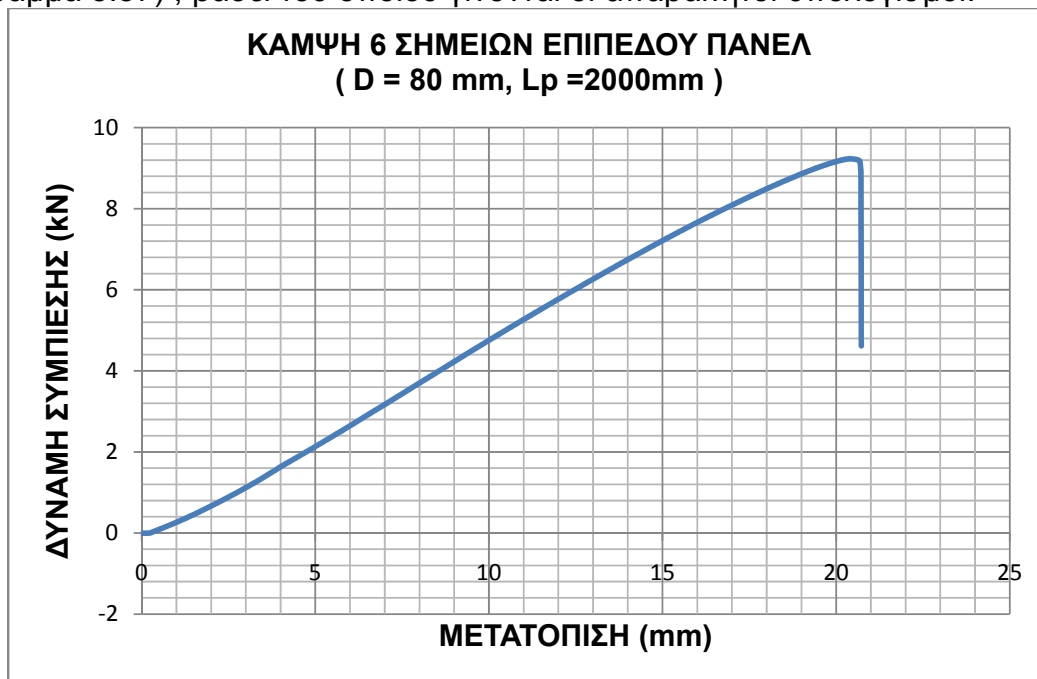
Σχήμα 5.56: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D = 80 \text{ mm}$ και $L_p = 2000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.56 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 80\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.57) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.57 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 80\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 24,45\text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$$F = 7041,53 \text{ N (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)}$$

Δοκίμιο 11° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 80mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

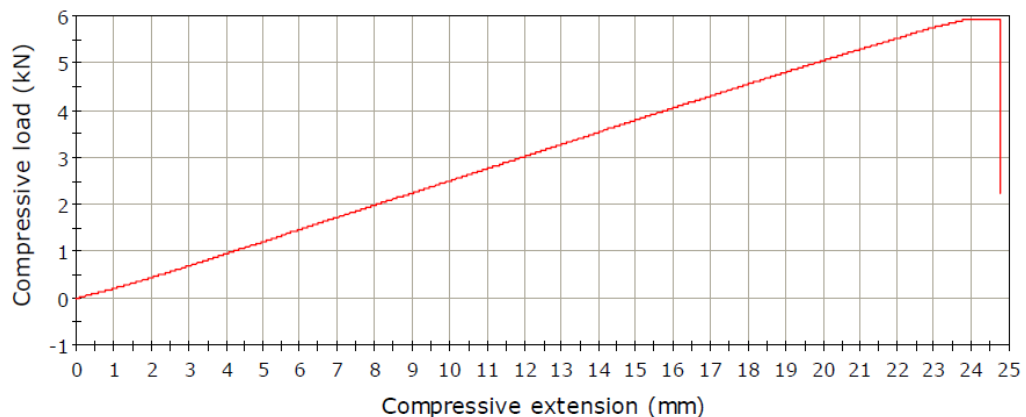
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 2850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



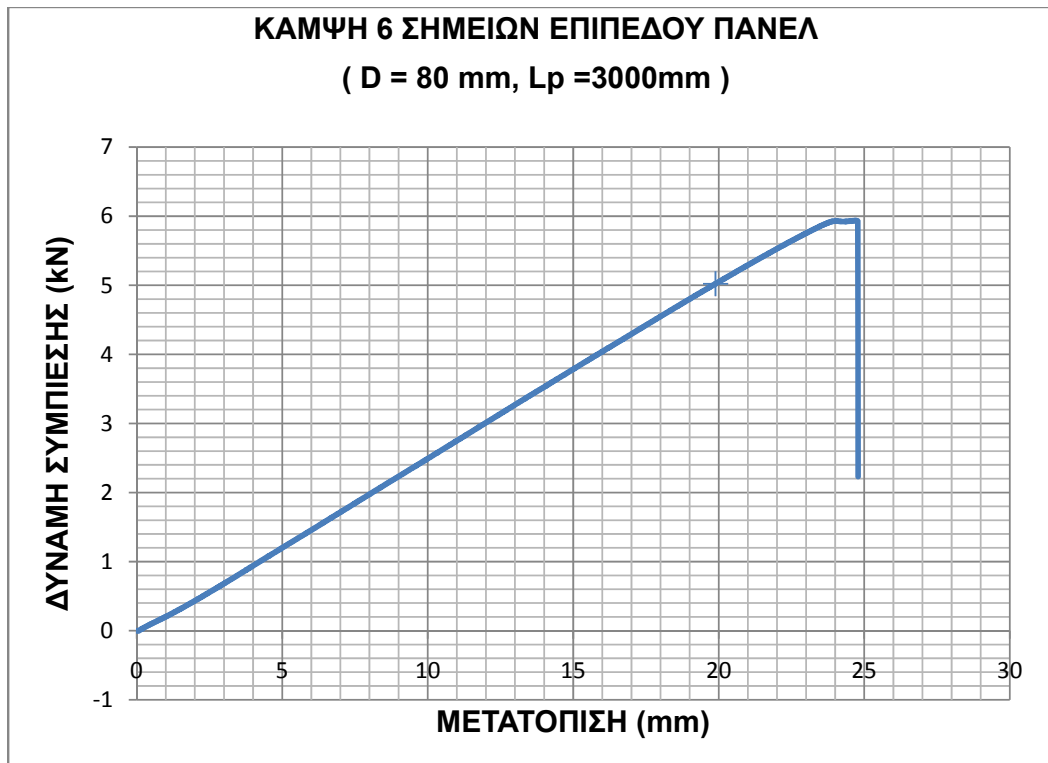
Σχήμα 5.57: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm και L_p=3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.58 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm και L_p = 3000 mm, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.59) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.59 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm, L_p = 3000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 49,33 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 5355,64 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 12^ο :

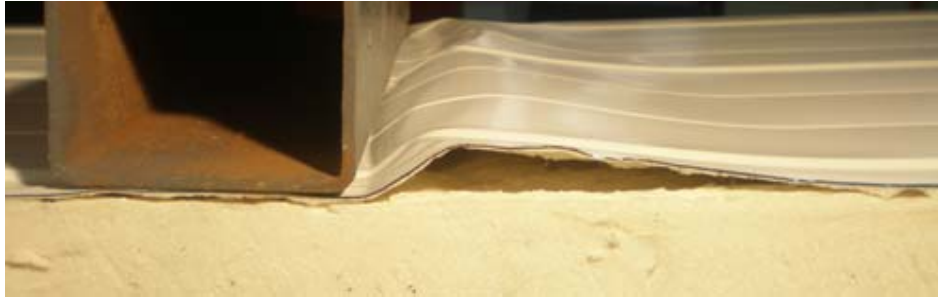
Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 80mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

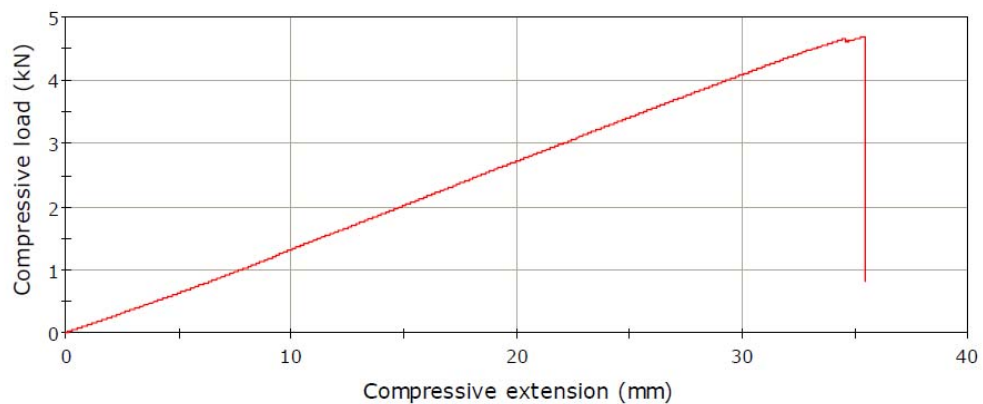
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 3850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



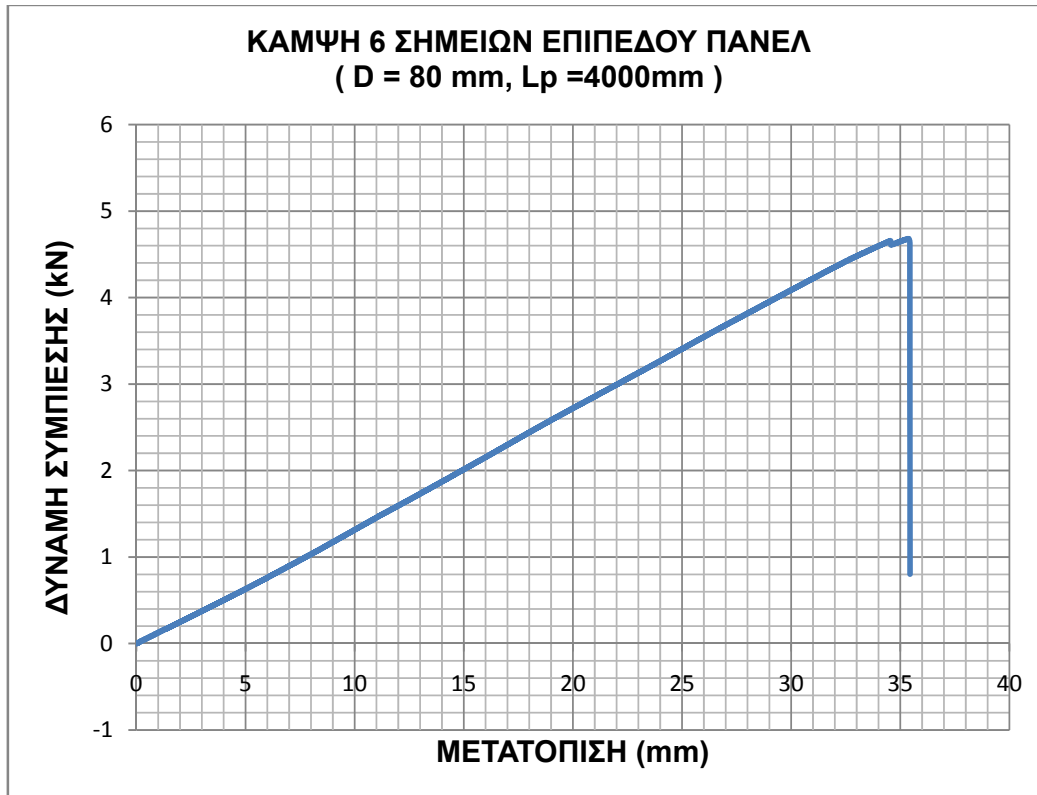
Σχήμα 5.58: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p= 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.60 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.61) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.61 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 80mm, L_p = 4000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 70,71 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 4520,75 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 13^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 100mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

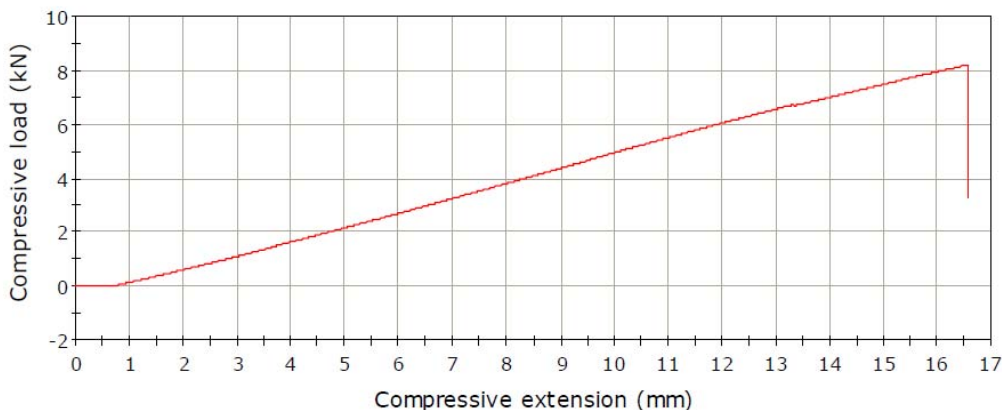
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



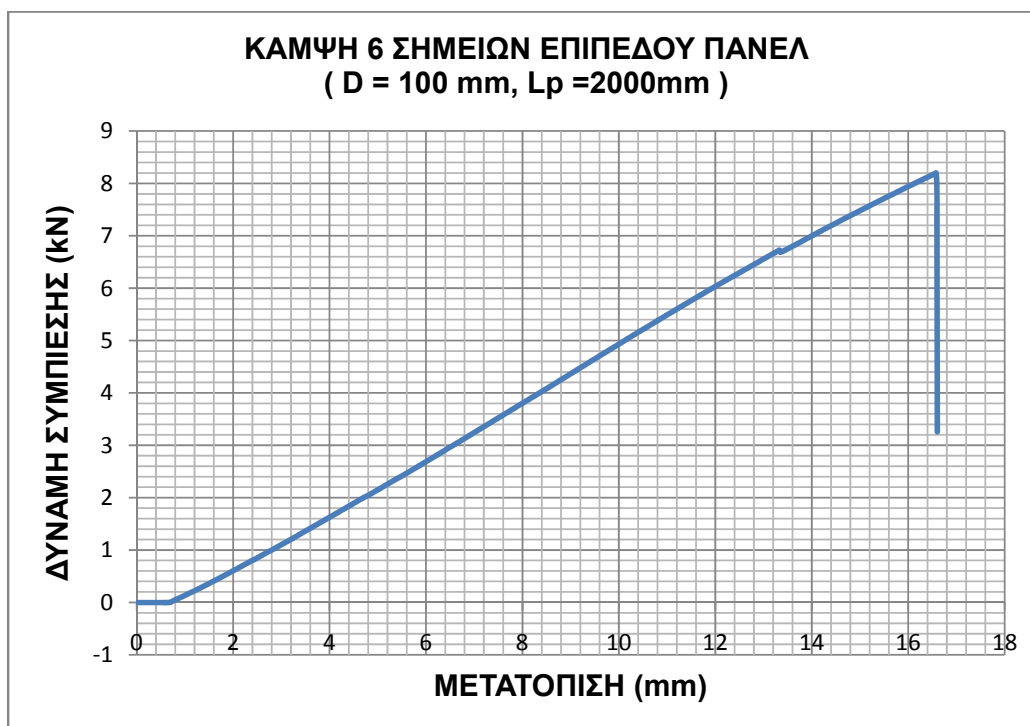
Σχήμα 5.59: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D=100\text{mm}$ και $L_p=2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Παρατηρούμε ότι η διάτμηση του πυρήνα είναι εμφανής στο εξωτερικό του πάνελ. Η διάτμηση εμφανίζεται υπό κλίση 45° . Επίσης είναι εμφανής και οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.62 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.63) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.63 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, $L_p = 2000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 33,16 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 6544,89 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

Δοκίμιο 14° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 100 \text{ mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 3000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

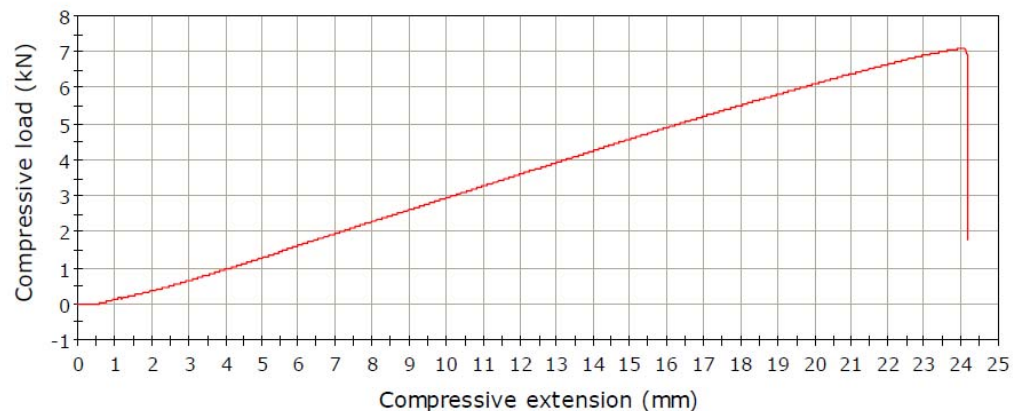
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2850 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



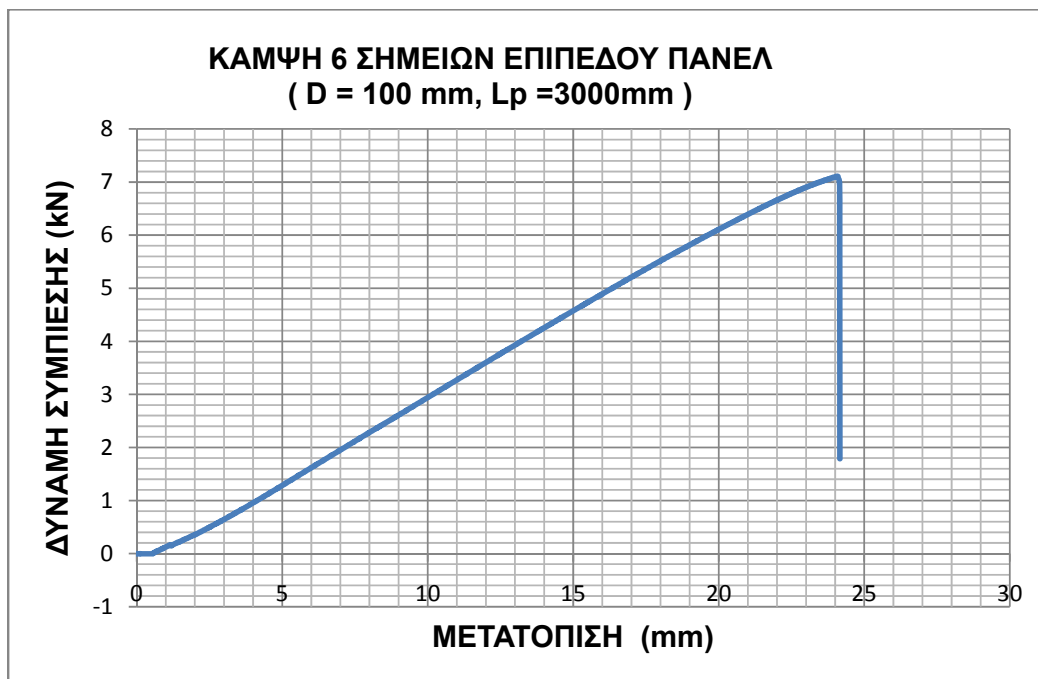
Σχήμα 5.60: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 10 \text{ mm}$ και $L_p = 3000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.64 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 100 \text{ mm}$ και $L_p = 3000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.65) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.65 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$, $L_p = 3000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$$w = 48,16\text{ mm (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)}$$

$$F = 5347,59\text{ N (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)}$$

Δοκίμιο 15° :

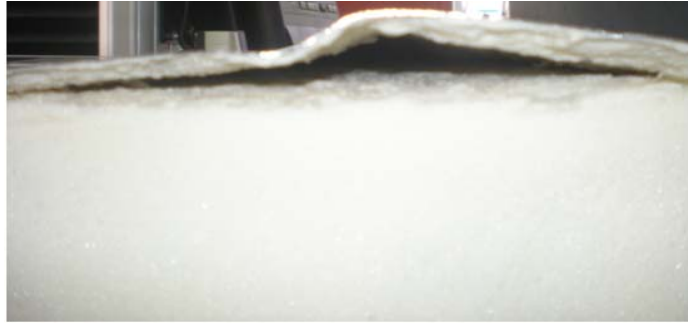
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 100\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

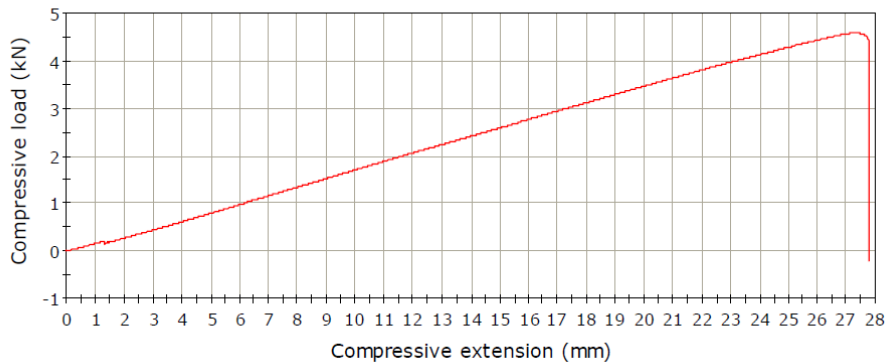
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3850\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



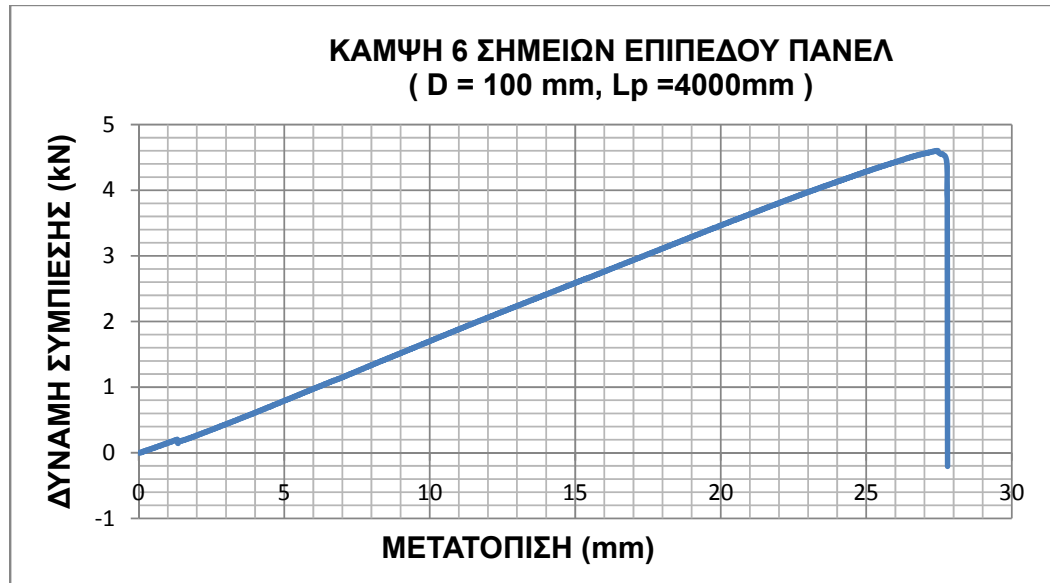
Σχήμα 5.61: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p=4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.66 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα με σημεία (Διάγραμμα 5.67) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.67 : Διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 100mm, L_p = 4000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη έξι σημείων(όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). Από το διάγραμμα υπολογίζω την δύναμη F (αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση w ,την τιμή της οποίας μετρήσαμε κατά τις δοκιμές με τη χρήση ενός χάρακα.

$w = 54,88 \text{ mm}$ (μετρούμενη μετατόπιση στο μέσο του ανοίγματος (mid-span) του δοκιμίου)

$F = 4005,32 \text{ N}$ (Η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο διαρροής)

5.5.7 Τελικά Αποτελέσματα – Υπολογισμοί

Με βάση τα πιο πάνω και με την χρήση των σχέσεων του Κεφ. 5.5.5 , εκτελούμε τους παρακάτω υπολογισμούς τους οποίους καταγράφουμε μαζί με όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων , στους Πίνακες 5.23, 5.24 ,5.25 και 5.26 και 5.27.

$E_{f1}, E_{f2} = E_{\text{steel}} = 210 \text{ kN/mm}^2$, (Μετρο Ελαστικότητας του χάλυβα)

$K_v = \frac{1000}{2} = 2$, (Συντελεστής Αναγωγής)

$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Πανέλλου)

Στο Κεφ. 5.4.7 υπολογίσθηκαν τα εξής :

- Για Τραπεζοειδή Πάνελ

$$Af_1 = 312,5 \text{ mm}$$

$$Af_2 = 267,5 \text{ mm}$$

$$e_{40} = 49 \text{ mm}$$

$$e_{50} = 59 \text{ mm}$$

- Για Επίπεδα Πάνελ

-

$$Af_1 = 267,5 \text{ mm}$$

$$e_{50} = 49,2 \text{ mm}$$

$$e_{80} = 79,2 \text{ mm}$$

$$e_{100} = 99,2 \text{ mm}$$

Υπολογισμός βάρους πάνελ

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν αντιστοιχούν σε Πάνελ πλάτους $B = 1000 \text{ mm}$ (το πλάτος του πάνελ πριν τη κοπή)

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ πάχους $D = 40 \text{ mm}$

Πυκνότητα Πολυουρεθάνης : $\rho = 42 \text{ kg/m}^3$

Ετσι : Βάρος Πολυουρεθάνης = $42 \times 0.05 = 2.1 \text{ kg}$

Βάρος άνω χαλύβδινης επένδυσης (μορφοποιημένη επιφάνεια):

$$1 \text{ m} \times 1.25 \text{ m} \times 0.0005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 4.90625 \text{ kg}$$

Βάρος κάτω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):

$$1 \text{ m} \times 1.07 \text{ m} \times 0.0005 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 4.200 \text{ kg}$$

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ = $2.1 \text{ kg} + 4.9025 + 4.200 \text{ kg} = 11.2 \text{ kg/m}$

Όπου:

Ανάπτυγμα μορφοποιημένης επιφάνειας (άνω επιφάνεια) = 1.25 m

Ανάπτυγμα ελαφρά μορφοποιημένης επιφάνειας(κάτω επιφάνεια)= 1.07 m

Ειδικό βάρος χάλυβα= 7850 kg/m^3

Πάχος χαλύβδινων επενδύσεων = 0.0005 m

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ πάχους $D = 50 \text{ mm}$

Πυκνότητα Πολυουρεθάνης : $\rho = 42 \text{ kg/m}^3$

Ετσι : Βάρος Πολυουρεθάνης = $42 \times 0.06 = 2.52 \text{ kg}$

Βάρος άνω χαλύβδινης επένδυσης (μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.25\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.90625\text{ kg}$

Βάρος κάτω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ = $2.1\text{ kg} + 4.90625 + 4.200\text{ kg} = 11.62\text{ kg/m}$

Όπου:

Ανάπτυγμα μορφοποιημένης επιφάνειας (άνω επιφάνεια)
= 1.25 m

Ανάπτυγμα ελαφρά μορφοποιημένης επιφάνειας (κάτω επιφάνεια)
= 1.07 m

Ειδικό βάρος χάλυβα = 7850 kg/m^3

Πάχος χαλύβδινων επενδύσεων = 0.0005m

Βάρος Επίπεδου Πάνελ πάχους D =50mm

Πυκνότητα Πολυουρεθάνης : $\rho = 42\text{ kg/m}^3$

Έτσι : Βάρος Πολυουρεθάνης = $42 \times 0.05 = 2.1\text{ kg}$

Βάρος άνω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος κάτω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ = $2.1\text{ kg} + 4.200 + 4.200\text{ kg} = 10,5\text{ kg/m}$

Όπου:

Ανάπτυγμα μορφοποιημένης επιφάνειας (άνω επιφάνεια) = 1.07 m

Ανάπτυγμα ελαφρά μορφοποιημένης επιφάνειας (κάτω επιφάνεια) = 1.07m

Ειδικό βάρος χάλυβα = 7850 kg/m^3

Πάχος χαλύβδινων επενδύσεων = 0.0005m

Βάρος Επίπεδου Πάνελ πάχους D =80mm

Πυκνότητα Πολυουρεθάνης : $\rho = 42\text{ kg/m}^3$

Έτσι : Βάρος Πολυουρεθάνης = $42 \times 0.08 = 3,36\text{ kg}$

Βάρος άνω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος κάτω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ = $3,36\text{ kg} + 4.200\text{ kg} + 4.200\text{ kg}$
=10,92 kg/m

Όπου:

Ανάπτυγμα μορφοποιημένης επιφάνειας (άνω επιφάνεια) = 1.07 m

Ανάπτυγμα ελαφρά μορφοποιημένης επιφάνειας (κάτω επιφάνεια)
= 1.07 m

Ειδικό βάρος χάλυβα= 7850 kg/m^3

Πάχος χαλύβδινων επενδύσεων = 0.0005m

Βάρος Επίπεδου Πάνελ πάχους D =100mm

Πυκνότητα Πολυουρεθάνης : $\rho = 42\text{ kg/m}^3$

Ετσι : Βάρος Πολυουρεθάνης = $42 \times 0.1 = 4.2\text{ kg}$

Βάρος άνω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος κάτω χαλύβδινης επένδυσης (ελαφρά μορφοποιημένη επιφάνεια):
 $1\text{m} \times 1.07\text{ m} \times 0.0005\text{m} \times 7850\text{ kg/m}^3 = 4.200\text{ kg}$

Βάρος Τραπεζοειδούς Πάνελ = $4.2\text{ kg} + 4.200 + 4.200\text{ kg} = 12,6\text{ kg/m}$

Όπου:

Ανάπτυγμα μορφοποιημένης επιφάνειας (άνω επιφάνεια) = 1.07 m

Ανάπτυγμα ελαφρά μορφοποιημένης επιφάνειας (κάτω επιφάνεια)=1.07 m

Ειδικό βάρος χάλυβα= 7850 kg/m^3

Πάχος χαλύβδινων επενδύσεων = 0.0005m

Υπολογισμός βάρους διάταξης συμπίεσης(weight of load equipment)

Στους πίνακες 5.20 ,5.21 και 5.22 καταγράφονται τα τεμάχια που αποτελούν τις διατάξεις κατά την δοκιμή πάνελ μήκους 2000mm ,3000mm και 4000mm , αντίστοιχα , και στην συνέχεια υπολογίζονται τα βάρη τους και κα'επέκταση τα βάρη των διατάξεων.

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)/m	Συνολικό Βάρος (Kg)/
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s = 100\text{mm}$ Πλάτος $L_s = 50\text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{ mm}$	6	0,312	1,872
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r = 100\text{ mm}$ Ακτίνα $R_s = 15\text{ mm}$	6	0,555	3,33
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 500\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	4	3,535	14,14
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 600\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	2	4,242	8,484
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 1100\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1	7,777	7,777
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ($L_p = 2000\text{mm}$) = 35,603 Kg = 356,03 N				

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)/m	Συνολικό Βάρος (Kg)/
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s = 100\text{mm}$ Πλάτος $L_s = 50\text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{ mm}$	6	0,312	1,872
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r = 100\text{ mm}$ Ακτίνα $R_s = 15\text{ mm}$	6	0,555	3,33
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 500\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	4	3,535	14,14
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 900\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	2	6,363	12,726
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=80\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 1600\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1	11,132	11,132
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ($L_p = 3000\text{mm}$) = 43,38 Kg = 433,8 N				

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)/m	Συνολικό Βάρος (Kg)/
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s = 100\text{mm}$ Πλάτος $L_s = 50\text{mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{mm}$	6	0,312	1,872
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r = 100\text{mm}$ Ακτίνα $R_s = 15\text{mm}$	6	0,555	3,33
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B = 80\text{mm}$ Μήκος $L_k = 500\text{mm}$ Πάχος $t = 3\text{mm}$	4	3,535	14,14
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B = 80\text{mm}$ Μήκος $L_k = 1300\text{mm}$ Πάχος $t = 3\text{mm}$	2	9,191	18,382
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B = 80\text{mm}$ Μήκος $L_k = 2050\text{mm}$ Πάχος $t = 3\text{mm}$	1	14,4935	14,4935
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ($L_p = 4000\text{mm}$) = 52,2175 Kg =522,175 N				

Πνακες 5.20 ,5.21, 5.22 : Υπολογισμός των βαρών των διατάξεων συμπίεσης για τα μήκη των πάνελ που μελετήσαμε

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Πάχος e(mm)	Μήκος $L_p(\text{mm})$	L (mm) (Span)
1	Τραπεζοειδή	40	49	2000	1845
2	Τραπεζοειδή	40	49	3000	2860
3	Τραπεζοειδή	40	49	4000	3850
4	Τραπεζοειδή	50	59	2000	1850
5	Τραπεζοειδή	50	59	3000	2850
6	Τραπεζοειδή	50	59	4000	3870
7	Επίπεδο	50	49,2	2000	1850
8	Επίπεδο	50	49,2	3000	2850
9	Επίπεδο	50	49,2	4000	3855
10	Επίπεδο	80	79,2	2000	1845
11	Επίπεδο	80	79,2	3000	2850
12	Επίπεδο	80	79,2	4000	3850
13	Επίπεδο	100	99,2	2000	1850
14	Επίπεδο	100	99,2	3000	2850
15	Επίπεδο	100	99,2	4000	3850

Πίνακες 5,23: Καταγραφή Χαρακτηριστικών Δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν στην δοκιμή κάμψης έξι σημείων

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Βάρος Πάνελ F _G (N)	Μέγιστο Φορτίο F _{max} (N)	Βάρος εξοπλισμού (διάταξης) F _{equip} (N)	Ολικό Φορτίο F _u (N) F _u = F _{max} + F _{equip}
1	Τραπεζοειδή	40	2000	112	6257,64	356,03	6613,67
2	Τραπεζοειδή	40	3000	168	4268,40	433,80	4702,2
3	Τραπεζοειδή	40	4000	224	3691,23	522,175	4213,405
4	Τραπεζοειδή	50	2000	116,2	12407,90	356,03	12763,93
5	Τραπεζοειδή	50	3000	174,3	9320,69	433,80	9754,49
6	Τραπεζοειδή	50	4000	232,4	4075,12	522,175	4597,295
7	Επίπεδο	50	2000	105	5897,92	356,03	6253,95
8	Επίπεδο	50	3000	157,5	4195,92	433,80	4629,72
9	Επίπεδο	50	4000	21	2904,67	522,175	3426,845
10	Επίπεδο	80	2000	109,2	9234,79	356,03	9590,82
11	Επίπεδο	80	3000	163,8	5938,18	433,80	6371,98
12	Επίπεδο	80	4000	218,4	4681,82	522,175	5203,995
13	Επίπεδο	100	2000	126	8198,56	356,03	8554,59
14	Επίπεδο	100	3000	189	7108,64	433,80	7542,44
15	Επίπεδο	100	4000	252	4603,97	522,175	5126,145

Πίνακες 5.24:: Υπολογισμός ολικού Φορτίου Συμπίεσης F_u.

A/A	$M_u = \frac{(F_G + F_U) \cdot L}{8}$ (Nmm)	Υπολογισμός κρίσιμης τάσης δημιουργίας πτυχώσεων σ _w (N/mm ²)		
		Επίπεδο Πάνελ $\sigma_w = \frac{M_u}{eBt_1}$	Τραπεζοειδές Πάνελ	
			MF ₂	$\sigma_w = \frac{M_u - M_{F2}}{eBt_1}$
1	1551108		0	126,621
2	1741097		0	142,1303
3	2135501		0	174,3266
4	2978530		0	201,9342
5	3537131		0	239,8055
6	2336365		0	158,3976
7	1470507	119,5534		
8	1705447	138,6542		
9	1661430	135,0756		
10	2237067	112,9832		
11	2328372	117,5945		
12	2609528	131,7943		
13	2007386	80,943		
14	2754326	111,0615		
15	2588232	104,3642		

Πίνακες 5,25 : Υπολογισμός της Ροπής Κάμψης (M_u) και της τάξης δημιουργίας πτυχώσεων (σ_w)

A/A	F (N)	W (mm)	Συντελεστής Ακαμψίας B_s $B_s = \frac{E_{f1} A_{f1} E_{f2} A_{f2}}{E_{f1} A_{f1} + E_{f2} A_{f2}} e^2$	Παραμόρφωση λόγω κάμψης (mm) $W_b = \frac{41 \cdot F \cdot L^3}{3072 \cdot B_s}$	Παραμόρφωση λόγω διάτμησης $W_s = W - W_b$	Μέτρο Διάτμησης G_c $G_c = \frac{F \cdot L}{8 \cdot A_c \cdot (w - w_b)}$
1	1538,4	40,22	72670352909	6,038067	34,18773	1,441363
2	947,64	59,89	72670352909	15,66291	44,23049	1,2027
3	3495,80	95,35	72670352909	37,72986	57,61654	1,227313
4	2432,16	70,03	$1,05358 \times 10^{11}$	7,454257	62,57374	1,164296
5	9300,00	80,55	$1,05358 \times 10^{11}$	24,23066	56,31474	1,771936
6	4035,00	99,08	$1,05358 \times 10^{11}$	29,62579	69,45421	0,952673
7	233,25	38,82	67989726000	6,686528	32,13347	1,57382
8	4170,00	63,53	67989726000	18,94916	44,58084	1,354589
9	523,49	85,94	67989726000	31,82577	54,11423	1,024411
10	9165,00	24,45	$1,76183 \times 10^{11}$	3,350081	21,09992	1,943558
11	5049,6	49,33	$1,76183 \times 10^{11}$	9,39172	39,93828	1,206373
12	630,87	70,71	$1,76183 \times 10^{11}$	19,54303	51,16697	1,073733
13	2690,00	33,16	$2,76399 \times 10^{11}$	2,000985	31,15902	0,979307
14	6108,00	48,16	$2,76399 \times 10^{11}$	5,977491	42,18251	0,91054
15	971,80	54,88	$2,76399 \times 10^{11}$	11,03686	43,84314	0,88639

Πίνακας 5.26 :Καταγραφή αποτελεσμάτων και υπολογισμός Μέτρου Διάτμησης G_c και καθορισμός είδους αστοχίας
Όπου : $A_c = B \cdot e$

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος L_p (mm)	Μορφή Αστοχίας A, B, C
1	Τραπεζοειδή	40	2000	A,B,C
2	Τραπεζοειδή	40	3000	C
3	Τραπεζοειδή	40	4000	B,C
4	Τραπεζοειδή	50	2000	B,C
5	Τραπεζοειδή	50	3000	B,C
6	Τραπεζοειδή	50	4000	B,C
7	Επίπεδο	50	2000	B,C
8	Επίπεδο	50	3000	B,C
9	Επίπεδο	50	4000	B,C
10	Επίπεδο	80	2000	B,C
11	Επίπεδο	80	3000	B,C
12	Επίπεδο	80	4000	B,C
13	Επίπεδο	100	2000	A,B,C
14	Επίπεδο	100	3000	B,C
15	Επίπεδο	100	4000	B,C

Πίνακας 5.27:Υπολογισμός Μέτρου Διάτμησης G_c και καθορισμός μορφής αστοχίας για το κάθε δοκίμιο - πάνελ

Αστοχία A: Διάτμηση του Πυρήνα

Αστοχία B: Αποκόλληση της χαλύβδινης εξωτερικής επένδυσης, από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

Αστοχία C: Εμφάνιση Πτυχώσεων (Wrinkling)

5.5.8 Συμπεράσματα

Συμπερασματα για την αντοχή των δοκιμών- πάνελ σε Κάμψη

Παρατηρώντας τον Πίνακα 5.24 επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα που καταλήξαμε για τα πάνελ , στο Κεφ. 5.4.8 , κατά την μελέτη των πάνελ στην δοκιμή κάμψης 4 σημείων.

Αναφέρω συνοπτικά:

- Η αντοχή των πανέλων σε κάμψη, είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους τους
- Η αντοχή των πανέλων σε κάμψη, είναι ανάλογη του πάχους τους,
- Τα τραπεζοειδή πάνελ (έντονα μορφοποιημένες επιφάνειες), έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη από τα επίπεδα πάνελ.

Συμπερασματα για την αστοχία των δοκιμών- πάνελ

Μελετώντας τους πίνακες 5.25 και 5.26 , παρατηρώ ότι:

Η παραμόρφωση οφείλεται κυρίως στη διάτμηση ($W_s \gg W_b$). Αυτό εξηγεί και την αποκόλληση της χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης σχεδόν σε όλα τα δοκίμια – πάνελ με εξαίρεση το δοκίμιο 2. (βλ. Πίνακα 5.27)

- Συμπεράσματα για το μέτρο διάτμησης.

A/ A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέτρο Διάτμησης G_c $G_c = \frac{\Delta F \cdot L}{6 \cdot B \cdot d_c \Delta_{ws}}$
1	Τραπεζοειδή	40	2000	1,441363
2	Τραπεζοειδή	40	3000	1,2027
3	Τραπεζοειδή	40	4000	1,227313
4	Τραπεζοειδή	50	2000	1,164296
5	Τραπεζοειδή	50	3000	1,771936
6	Τραπεζοειδή	50	4000	0,952673
7	Επίπεδο	50	2000	1,57382
8	Επίπεδο	50	3000	1,354589
9	Επίπεδο	50	4000	1,024411
10	Επίπεδο	80	2000	1,943558
11	Επίπεδο	80	3000	1,206373
12	Επίπεδο	80	4000	1,073733
13	Επίπεδο	100	2000	0,979307
14	Επίπεδο	100	3000	0,91054
15	Επίπεδο	100	4000	0,88639

Πίνακας 5.28 : Αξιολόγηση υπολογισθέντων τιμών του μέτρου διάτμησης , με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών που διενεργήσαμε , με τις θεωρητικές τιμές του μέτρου διάτμησης , όπως αυτές καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα

Παρατηρούμε (Πίνακας 5.16) ότι οι τιμές του μέτρου διάτμησης που υπολογίσαμε για το κάθε δοκίμιο – πάνελ ξεχωριστά , βρίσκονται εκτός των ορίων που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα. που αποκλίνουν κατά πολύ λίγο από το επιτρεπτό όριο. Το σφάλμα αυτό μπορεί να οφείλεται :

- Σφάλμα κατά την κοπή του δοκιμίου – πάνελ
- Σφάλμα κατά την εκτέλεση των δοκιμών π.χ. απόκλιση στην τοποθέτηση του δοκιμίου στην διάταξη.
- Σφάλμα κατά την μεταφορά των μετρήσεων από το λογισμικό , στο Microsoft Excel.
- Σφάλμα κατά την επεξεργασία του διαγράμματος
- Τυχαίο Σφάλμα

5.5.9 Σύγκριση αποτελεσμάτων τιμών μέτρου Διάτμησης για δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων και για δοκιμή κάμψης έξι σημείων

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης αυτής φαίνονται στον πίνακα 5.29

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος L_p (mm)	Μέτρο Διάτμησης G_c Για δοκιμή κάμψης 4 σημείων	Μέτρο Διάτμησης G_c Για δοκιμή κάμψης 6 σημείων
1	Τραπεζοειδή	40	2000	4,124595	1,441363
2	Τραπεζοειδή	50	2000	4,992778	1,2027
3	Τραπεζοειδή	40	3000	6,903458	1,227313
4	Τραπεζοειδή	50	3000	7,180603	1,164296
5	Τραπεζοειδή	40	4000	3,422951	1,771936
6	Τραπεζοειδή	50	4000	3,17113	0,952673
7	Επίπεδο	50	2000	2,314517	1,57382
8	Επίπεδο	80	2000	2,967476	1,354589
9	Επίπεδο	100	2000	2,857871	1,024411
10	Επίπεδο	50	3000	2,80199	1,943558
11	Επίπεδο	80	3000	2,507376	1,206373
12	Επίπεδο	100	3000	2,329176	1,073733
13	Επίπεδο	50	4000	2,507286	0,979307
14	Επίπεδο	80	4000	4,124595	0,91054
15	Επίπεδο	100	4000	4,992778	0,88639

Πίνακας 5.29: Σύγκριση αποτελεσμάτων τιμών μέτρου Διάτμησης για δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων και για δοκιμή κάμψης έξι σημείων

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα , καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο υπολογισμός του Μέτρου Διάτμησης με την δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων στο εργαστήριο , είναι πολύ πιο ακριβής , παρά με τη

χρήση της δοκιμής κάμψης 6 σημείων .Αυτό οφείλεται στο ότι η μέτρηση της παραμόρφωσης w , με τη χρήση του χάρακα , κατά τη δοκιμή κάμψης 6 σημείων , προκαλεί τεράστια σφάλματα. Παρ'όλα αυτά η δοκιμή κάμψης 6 σημείων παραμένει εξαιρετικά χρήσιμη και ενδιαφέρουσα κατά την μελέτη των μέγιστων επιτρεπτών φορτίων των πάνελ ,που υπόκεινται σε αυτή τη δοκιμή .

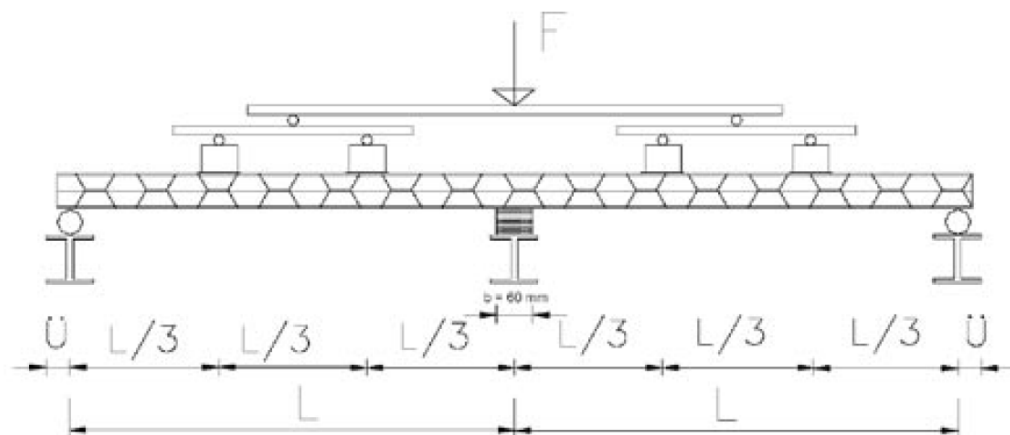
5.6 Δοκιμή κάμψης με ενδιάμεση στήριξη –Δοκιμή κάμψης επτά σημείων (two span test)

5.6.1 Σκοπός δοκιμής κάμψης επτά σημείων

Η δοκιμή αυτή διεξήχθη για μελέτη της αστοχίας του σύνθετου υλικού και σύγκριση της μηχανικής αντοχής του πάνελ κατά την κάμψη του σε έξι και επτά σημεία αντίστοιχα.

5.6.2 Διάταξη δοκιμής κάμψης επτά σημείων

Βάσει τις δυνατότητες της μηχανής Instron, με την οποία θα δουλέψουμε,αλλά και με βάση τα μέσα που διαθέτουμε , συναρμολογήσαμε την διάταξη του σχήματος 5.30 , με την βοήθεια της οποίας διενεργήσαμε τις δοκιμές που θα περιγραφούν παρακάτω.



Σχήμα 5.62 Διάταξη δοκιμής κάμψης έξι σημείων

Όπως και προηγούμενες δύο δοκιμές που περιγράφηκαν (Δοκιμή Θλίψης και Δοκιμή κάμψης 4 σημείων),και στην παρούσα δοκιμή χρησιμοποιήσαμε, μηχανή Instron η οποία έχει τη δυνατότητα να μετρά Φορτία (σε KN) και μετατόπιση – παραμόρφωση (σε mm) και να μας τα παρουσιάζει σε διάγραμμα (διάγραμμα Φορτίου – Παραμόρφωσης) στην οθόνη του Η/Υ , με το οποίο είναι συνδεδεμένη.

Η διάταξη δοκιμής είναι η ίδια με αυτή της δοκιμής κάμψης 6 σημείων (Παρ.5.5.2) , με τη διαφορά ότι στο κέντρο του πάνελ πολυουρεθάνης τοποθετείται μια επιπλέον απλή στήριξη.

5.6.3 Δοκίμια Δοκιμής Κάμψης επτά σημείων

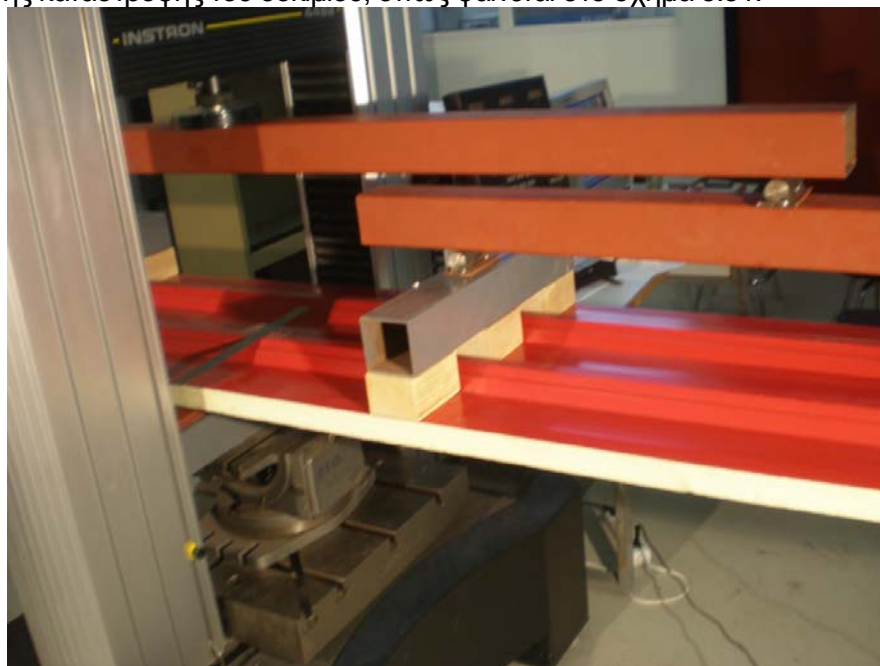
Εχοντας υπόψη μας ότι η αντοχή των πάνελ στην δοκιμή κάμψης 7 σημείων θα ξεπερνά το συνολικό βάρος της μηχανής Instron (περίπου 900 kg), πράγμα που ίσως θα έθετε σε κίνδυνο τη μηχανή αλλά και την σωματική ακεραιότητα των χειριστών, θεωρήσαμε σκόπιμο να μελετήσουμε τα τραπεζοειδή πάνελ με την μικρότερη μηχανική αντοχή (επομένως αυτά που έχουν το μεγαλύτερο μήκος), που δεν θα μας δημιουργούσαν τυχόν προβλήματα. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήσαμε στη δοκιμή κάμψης επτά σημείων (Πίνακας 5.30) έχουν κοπεί κατά την κατεύθυνση του μήκους του πάνελ , με σταθερό πλάτος $B = 500$ mm.

Η κοπή των δοκιμών πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητο δίσκο κοπής με οδοντωτό τροχό. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμών , η συγκράτηση του πάνελ, παίζει σημαντικό ρόλο αφού με την σωστή συγκράτηση μειώνονται οι κραδασμοί καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων τάσεων στον πυρήνα πολυουρεθάνης.

Τύπος Δοκιμίου -Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp (mm)	Πλάτος B(mm)
Τραπεζοειδή	40	4000	500
Τραπεζοειδή	50	4000	500

Πίνακας 5.30 : Διαστάσεις δοκιμών – πάνελ που χρησιμοποιούνται στη Δοκιμή κάμψης έξι Σημείων

Σημειώνεται ότι για τις δοκιμές των τραπεζοειδών πάνελ, μεταξύ των «καναλιών», τοποθετείται ξύλο 150mm ×60mm× 80mm , για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του δοκιμίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.31.





Σχήμα 5.63 : Δοκιμή κάμψης 7 σημείων. Η διάταξη έχει συναρμολογηθεί πανομοιότυπα με την διάταξη της δοκιμής κάμψης έξι σημείων , με τη διαφορά ότι , στην παρούσα περίπτωση , υπάρχει μια επιπλέον απλή στήριξη στο μέσο του πάνελ.

5.6.4 Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών κάμψης επτά σημείων

Το δοκίμιο –πάνελ τοποθετείται μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron και στηρίζεται πάνω στην διάταξη που

περιγράφηκε πάνελ. Κατά τη δοκιμή κάμψης 7σημείων ,το πάνελ υφίσταται σταθερή αύξηση του φορτίου μέχρι την αστοχία. Η ταχύτητα κίνησης του εμβόλου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/50 του ανοίγματος (span) ανά λεπτό.Επιλέγουμε ταχύτητα 10 mm/min.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής , η μετατόπιση – παραμόρφωση μετράται με ακρίβεια του 1% και εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή Instron , η καμπύλη φορτίου (F_u) – Παραμόρφωσης (w) (load – deflection curve).

Οι δοκιμές διεξάγονται υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.6.5 Καταγραφή Αποτελεσμάτων και υπολογισμοί

Με τη χρήση της διάταξης του Σχήματος και ακολουθώντας τη διαδικασία και τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν , λάβαμε τα παρακάτω Διαγράμματα Φορτίου - Μετατόπισης . Στα σχήματα που ακολουθούν των Διαγραμμάτων διαφαίνεται η αστοχία του υλικού για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Δοκίμια Τραπεζοειδούς Πάνελ:

Δοκίμιο 1^ο :

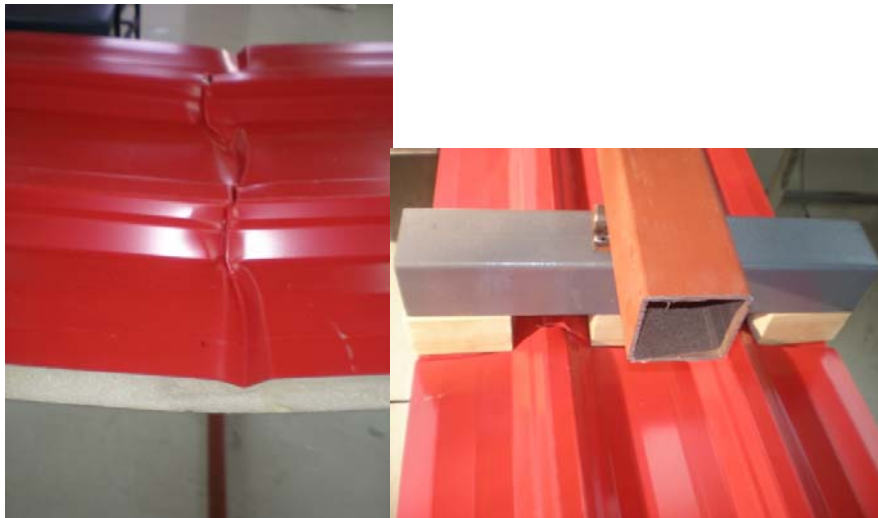
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 40\text{ mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

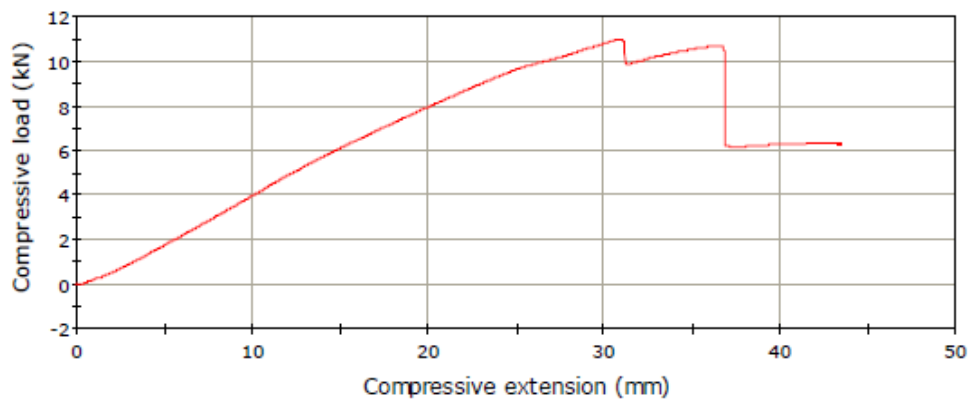
$L = 3850\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)





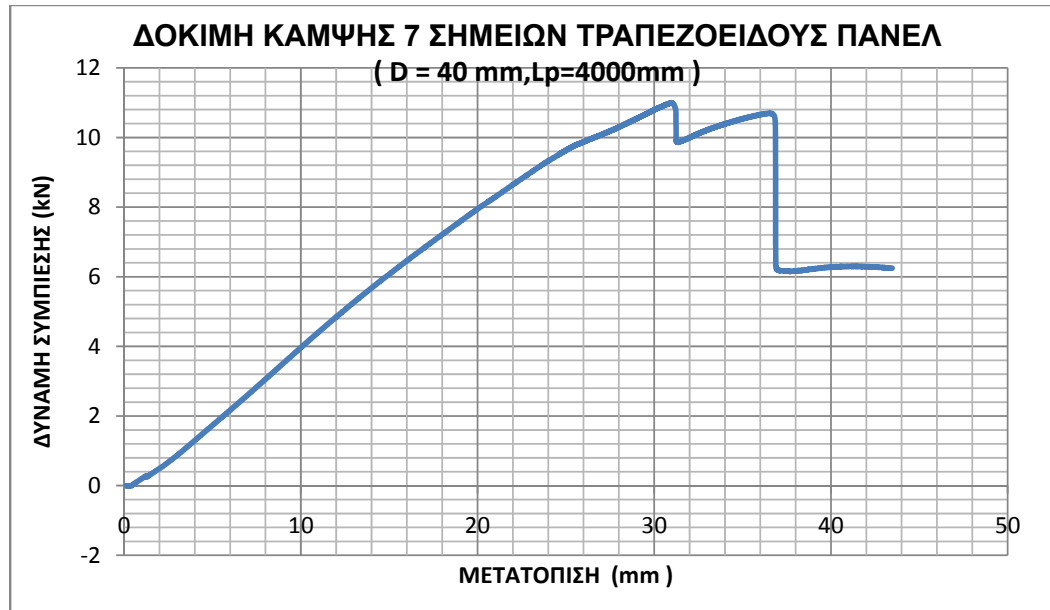
Σχήμα 5.64: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p= 4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η (εσωτερική) θράυση του πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.68 : Διάγραμμα Φορτίου – Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron).

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.69) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.69 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 40mm, L_p = 4000 mm που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων.

Από το διάγραμμα 5,70 , παίρνω : **F_{max} = 10995,84 N**

Δοκίμιο 2^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

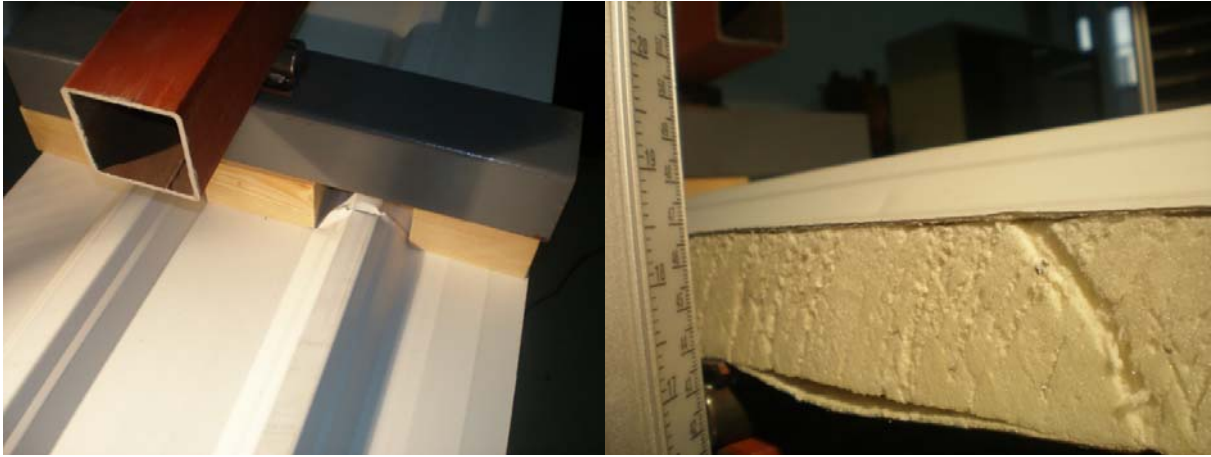
D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

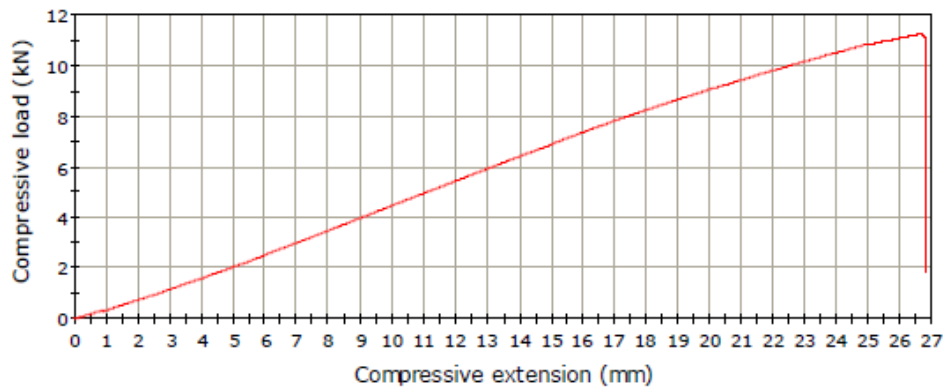
L = 3850 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)





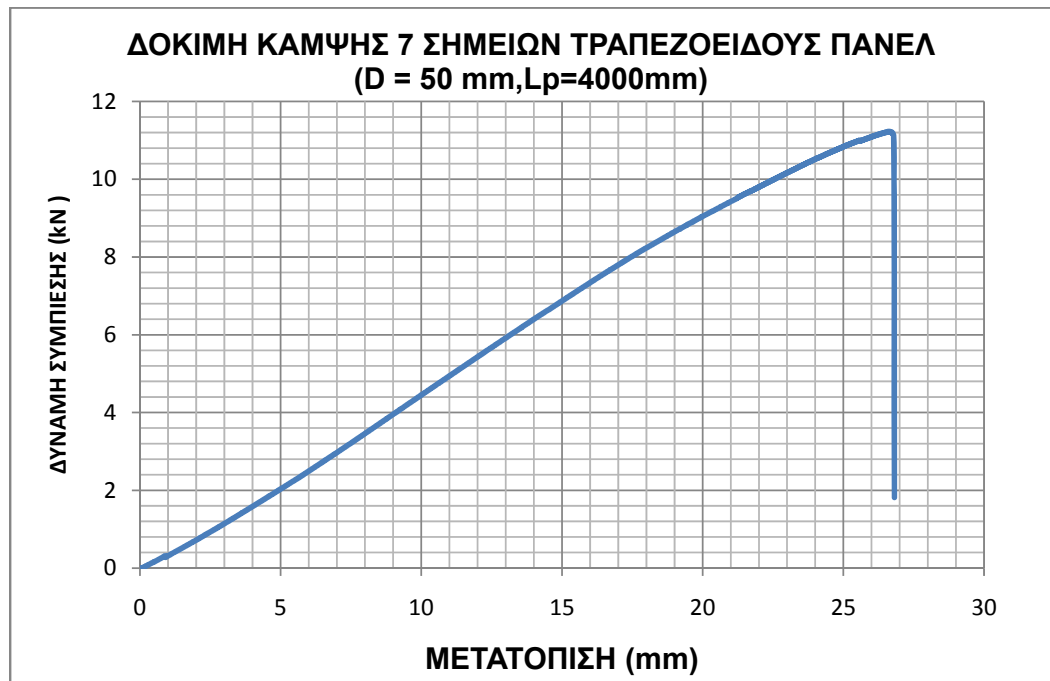
Σχήμα 5.65: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με $D= 40\text{mm}$ και $L_p= 4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις (κυματώσεις) , που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα, η αποκόλληση της κάτω επιφάνειας του χάλυβα στο σημείο πάνω από την κεντρική απλή στήριξη καθώς και η **πλήρης** αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης , στο ένα άκρο του πάνελ.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.70 : Διάγραμμα Φορτίου - Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.71) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.71 : Διάγραμμα Φορτίου – Μετατόπισης (όπως αυτό προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων στο Microsoft Excel). με δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$, $L_p = 4000\text{ mm}$ που καταπονήθηκε σε κάμψη επτά σημείων.

Από το διάγραμμα 5,71 , παίρνω : **Fmax = 11226,71 N**

5.6.6. Σύγκριση της αντοχής του πάνελ πολυουρεθάνης , σε κάμψη όταν υπάρχει ενδιάμεση απλή στήριξη με το όταν δεν υπάρχει.

Η σύγκριση καταγράφεται στον πίνακα 5.31:

A/ A	ΔΟΚΙΜΗ	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέγιστο Φορτίο F _{max} (N)	Βάρος εξοπλισμού (διάταξης) F _{equip} (N)	Ολικό Φορτίο F _u (N) F _u = F _{max} + F _{equip}
1	Κάμψη 6 Σημείων	Τραπεζοειδή	40	4000	3691,23	522,175	4213,405
2	Κάμψη 7 Σημείων	Τραπεζοειδή	40	4000	10995,84	522,175	11518,02
3	Κάμψη 6 Σημείων	Τραπεζοειδή	50	4000	4075,12	522,175	4597,295
4	Κάμψη 7 Σημείων	Τραπεζοειδή	50	4000	11226,71	522,175	11749,94

Πίνακας 5.31 : Σύγκριση της συμπεριφοράς τραπεζοειδών δοκιμίων που υπόκεινται σε δοκιμή κάμψης , με ενδιάμεση στήριξη και χωρίς.

Από τον πίνακα 5.31 παρατηρώ ότι η ύπαρξη ενδιάμεσης απλής στήριξης (στο μέσο του πάνελ), υπερδιπλασιάζει την αντοχή του πάνελ σε κάμψη ($F_{u2} > 2.5 F_{u1}$ και $F_{u4} > 2.5 F_{u3}$).

Για το λόγο αυτό , κατά την τοποθέτηση των πάνελ , συνιστάται όπως τοποθετούνται πολλές ενδιάμεσες στηρίξεις (τεγίδες, μηκίδες κ,τλ).

5.7 Δοκιμή κάμψης με φορτίο στο κέντρο – Δοκιμή κάμψης τριών σημείων (Simulated central support test)

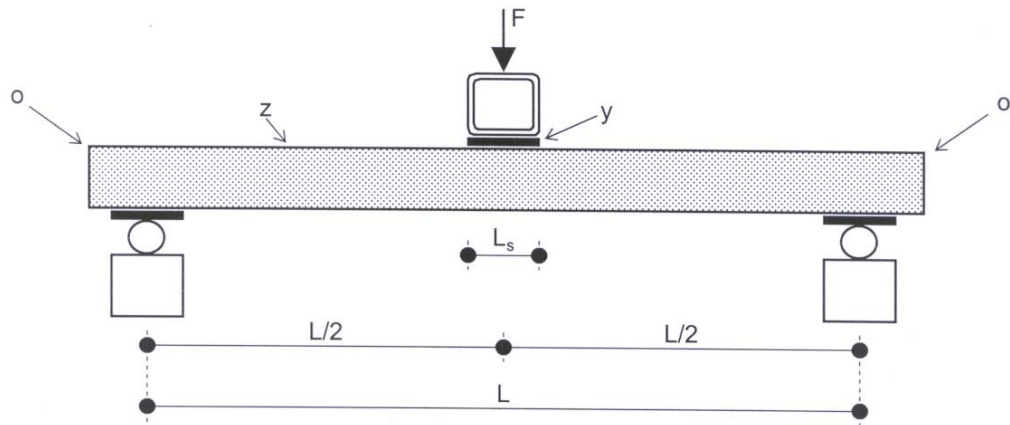
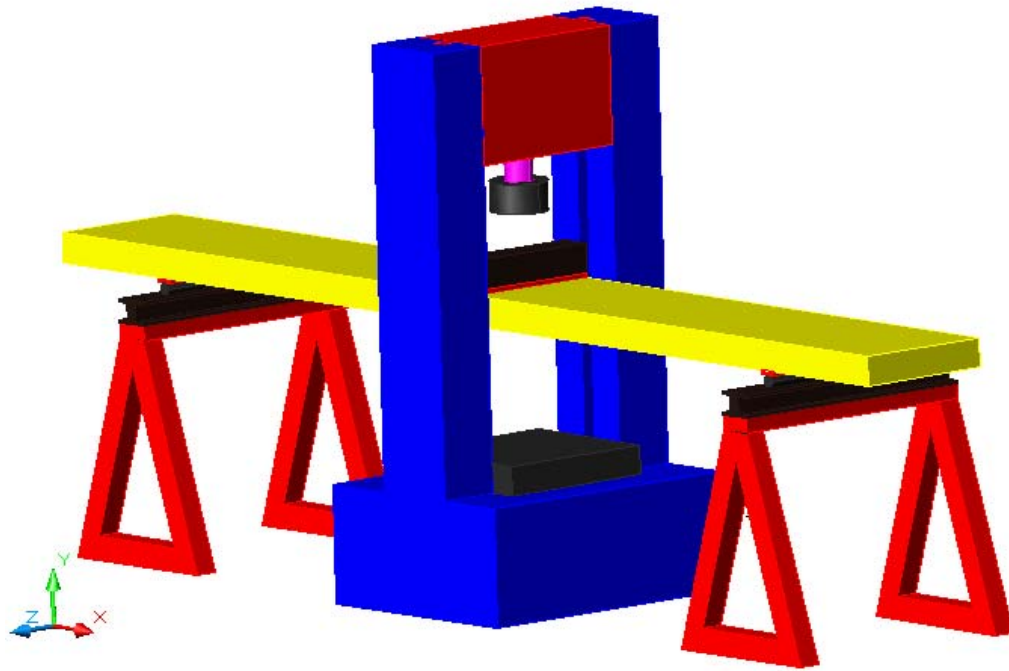
5.7.1 Σκοπός της δοκιμής κάμψης τριών σημείων

Η δοκιμή αυτή (βλ. σχήμα 5.66) χρησιμοποιείται για τη μελέτη της αντοχής και της αστοχίας του σύνθετου υλικού, τον υπολογισμό της ροπής κάμψης και της κρίσιμης τάσης δημιουργίας πτυχώσεων.

5.7.2 Διάταξη δοκιμής κάμψης τριών σημείων

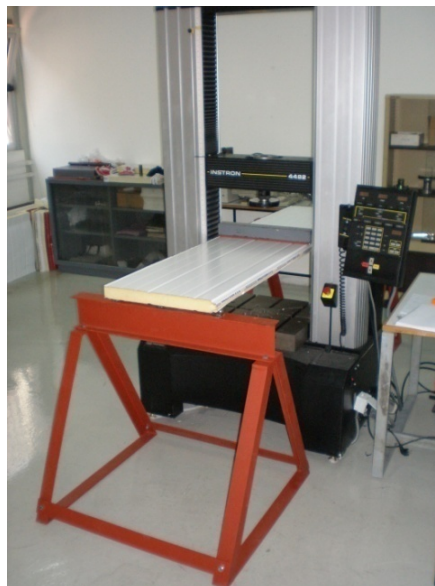
Στη δοκιμή συγκέντρωσης των φορτίων, στο κέντρο του σύνθετου υλικού, το δοκίμιο τοποθετείται πάνω σε δύο απλές στηρίξεις οι οποίες βρίσκονται στα άκρα του πάνελ(single span test). Στη δοκιμή αυτή, ασκείται σημειακό φορτίο προς τα κάτω στο κέντρο της άνω επιφάνειας του πάνελ (downward load).

Η διάταξη , τα μέρη από τα οποία αποτελείται καθώς και ο τρόπος άσκησης του φορτίου πάνω στο πάνελ, που ετοιμάσαμε στο εργαστήριο για την συγκεκριμένη δοκιμή φαίνεται στο σχήμα 5.66.



Σχήμα 5.66: Διάταξη δοκιμής κάμψης τριών σημείων (Simulated central support test)

- z σύνθετο πάνελ πολυουρεθάνης , κάθετα τοποθετημένο σε δυο στηρίξεις
- y χαλύβδινη πλάκα (λάμα) με διαστάσεις $60 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$
- L Απόσταση μεταξύ των απλών στηρίξεων (span)
- o Προεξοχή μετά το τέλος της πλάκας στήριξης ($o \leq 50 \text{ mm}$)



Σχήμα 5.66.: Διάταξη δοκιμής κάμψης τριών σημείων (Simulated central support test) στο Εργαστήριο Κατεργασιών του Ε.Μ.Π.

Επιλέγουμε πλάκες πάχους $S_s=8\text{mm}$ και πλάτους $L_s=60\text{mm}$, αφού σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509, το πάχος των πλακών αυτών πρέπει να είναι από 8 mm έως 12 mm και το πλάτος τους, τουλάχιστον 60 mm. Συνοπτικά, η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή κάμψης των δοκιμίων περιλαμβάνει τεμάχια τα οποία αποτελούν το σύστημα συμπίεσης (load equipment), τεμάχια τα οποία αποτελούν τις απλές στηρίξεις (Πίνακα 5.32) καθώς και δύο σταθερές άκαμπτες βάσεις στήριξης (βλ. Σχήμα 5.25). Οι δύο βάσεις στήριξης έχουν κατασκευαστεί από χαλύβδινες γωνιές, κοιλοδοκούς και μια δοκό τύπου I, υλικά που προσδίδουν στις βάσεις εξαιρετική στιβαρότητα και συνεπώς αξιοπιστία κατά την διάρκεια των δοκιμών.

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s = 500$ mm Πλάτος $L_s = 60$ mm Πάχος $S_s = 8$ mm	2	$\frac{3.74}{2} = 1.87$
Χαλύβδινη ράβδος	Μήκος $B_r = 500$ mm Ακτίνα $R_s = 15$ mm	2	$\frac{5.55}{2} = 2.775$

Πίνακας 5.32 : Διαστάσεις και βάρη τεμαχίων που αποτελούν τις απλές στηρίξεις στη δοκιμή κάμψης τριών σημείων.

Τα βάρη των τεμαχίων προκύπτουν από τους πίνακες 5.5 ,5.6 και 5.7 , για τις χαλύβδινες πλάκες , τις χαλύβδινες ράβδους και για τις κοιλοδοκούς ,αντίστοιχα.

5.7.3 Δοκίμια δοκιμής κάμψης τριών σημείων

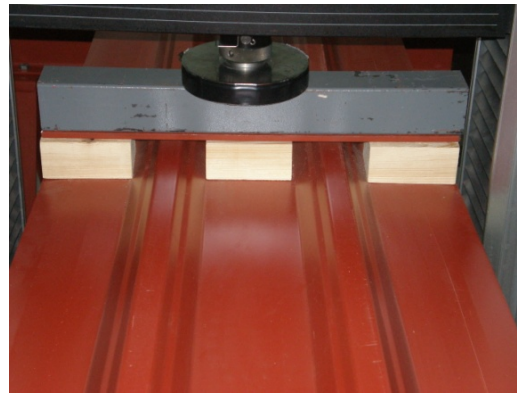
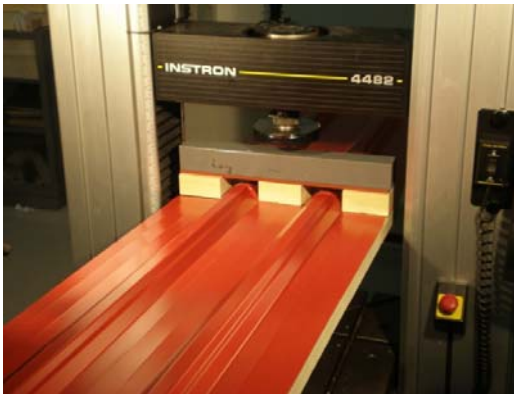
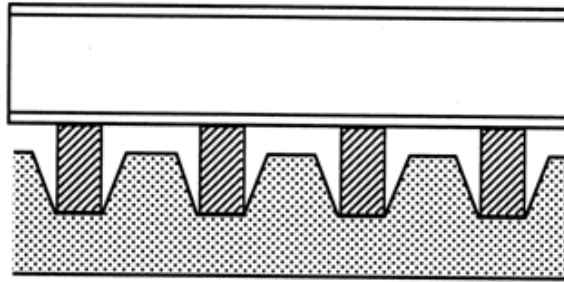
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήσαμε στη δοκιμή κάμψης τριών σημείων (Πίνακας 5.33) έχουν κοπεί κατά την κατεύθυνση του μήκους του πάνελ , με σταθερό πλάτος $B = 500$ mm.

Η κοπή των δοκιμών πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητο δίσκο κοπής με οδοντωτό τροχό. Κατά την διαδικασία κοπής των δοκιμών , η συγκράτηση του πάνελ , παίζει σημαντικό ρόλο αφού με την σωστή συγκράτηση μειώνονται οι κραδασμοί καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων τάσεων στον πυρήνα πολυουρεθάνης.

Τύπος Δοκιμίου -Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος L_p (mm)	Πλάτος B(mm)
Τραπεζοειδή	40	2000	500
Τραπεζοειδή	50	2000	500
Τραπεζοειδή	40	3000	500
Τραπεζοειδή	50	3000	500
Τραπεζοειδή	40	4000	500
Τραπεζοειδή	50	4000	500
Επίπεδο	50	2000	500
Επίπεδο	80	2000	500
Επίπεδο	100	2000	500
Επίπεδο	50	3000	500
Επίπεδο	80	3000	500
Επίπεδο	100	3000	500
Επίπεδο	50	4000	500
Επίπεδο	80	4000	500
Επίπεδο	100	4000	500

Πίνακας 5.33 : Διαστάσεις δοκιμών – πάνελ που χρησιμοποιούνται στη Δοκιμή κάμψης τριών σημείων

Σημειώνεται ότι για τις δοκιμές των τραπεζοειδών πάνελ, μεταξύ των «καναλιων», τοποθετείται ξύλο ή κοιλοδοκός διαστάσεων 150mm × 60mm × 80mm , για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του δοκιμίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.50:



Σχήμα 5.34 :Τοποθέτηση εγκάρσιων ξύλινων ή χαλύβδινων τεμαχίων ,για την αποφυγή της πρόωρης καταστροφής του πάνελ ,κατά τη μελέτη των τραπεζοειδών πάνελς.

5.7.4 Διαδικασία διεξαγωγής δοκιμών

Το δείγμα τοποθετείται μεταξύ των δύο άκαμπτων παράλληλων πλακών συμπίεσης της μηχανής Instron και στηρίζεται πάνω στην διάταξη που περιγράφηκε στο Κεφ. 5.7.2. Κατά τη δοκιμή ,το πάνελ υφίσταται σταθερή άυξηση του φορτίου μέχρι την αστοχία. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής , η μετατόπιση – παραμόρφωση μετράται με ακρίβεια του 1% και εμφανίζεται στην οθόνη του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με την μηχανή Instron , η καμπύλη φορτίου (F_u) – Παραμόρφωσης (w) (load – deflection curve).

Οι δοκιμές διεξάγονται υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.7.5 Θεωρητικό υπόβαθρο

5.7.5.1 Δύναμη θλίψης

Βασική Αρχή δοκιμής

Η δύναμη θλίψης μεταξύ του πάνελ και των στηρίξεων , τη στιγμή εμφάνισης των πτυχώσεων πρέπει να είναι μικρότερη από την δύναμη αντίδρασης που ασκούν στο πάνελ οι απλές στηρίξεις . Ετσι , για τους σκοπούς αυτής της δοκιμής , η δύναμη αντίδρασης των στηρίξεων μπορεί

να υπολογιστεί είτε ως το γινόμενο της δύναμης θλίψης στον πυρήνα πολυουρεθάνης και του εμβαδού της επιφάνειας επαφής της πλάκας φόρτισης και του πάνελ, είτε με τη σχέση :

$$F_{r2} = B \times (L_s + k + e) \times f_{cc}$$

Όπου :

B : το πλάτος του πάνελ

L_s : το πλάτος της χαλύβδινης πλάκας , τοποθετημένης στο κέντρο του πάνελ (στην άνω επιφάνεια)

e: Η απόσταση μεταξύ των κέντρων βάρους των μεταλλικών επιφανειών

f_{cc} : Η δύναμη θλίψης του υλικού του πυρήνα όπως αυτή υπολογίζεται στη δοκιμή θλίψης του πυρήνα του υλικού (Βλ. Πίνακα 5.1)

κ : Παράμετρος κατανομής της δύναμης , η οποία για τον αφρό πολυουρεθάνης έχει σταθερή τιμή, κ=0.5

5.7.5.2 Ροπή Κάμψης

Μεγάλη σημασία κατά τη διάρκεια της δοκιμής αυτής , έχει η καταγραφή των αστοχιών και των πτυχώσεων που δημιουργούνται στο πάνελ.

Η μελέτη των αστοχιών γίνεται ευκολότερη με τη χρήση του διαγράμματος Φορτίου – Μετατόπισης από το οποίο οπαίρνουμε την τιμή του μέγιστου φορτίου την οποία ακολούθως την εφαρμόζουμε στη σχέση που ακολουθεί , για τον υπολογισμό της ροπής κάμψης του πάνελ.

$$M_u = \left[\frac{F_u}{4} + \frac{F_G}{8} \right] L$$

όπου :

F_u : το μέγιστο φορτίο συμπεριλαμβανομένου και του βάρους της διάταξης φόρτισης

F_G: το βάρος του πάνελ (βλ.Κεφ 5.5.7)

5.7.5.3. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων

Η τιμή της τάσης αστοχίας λαμβάνεται μετά τον προσδιορισμό της τιμής της ροπής κάμψης.

5.7.5.3.1. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για επίπεδα πάνελ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14509 , εάν η επιφάνεια πάνω στην οποία εμφανίζεται η αστοχία είναι επίπεδη ή ελαφρά μορφοποιημένη , η τάση αστοχίας δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_w = \frac{M_u}{eBt_1}$$

όπου :

M_u : Η τελική ροπή κάμψης που αναπτύσσεται κατά τη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος του δοκιμίου καθώς και το βάρος της διάταξης φορτίσεως.

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων (βλ. Κεφ. 5.4.7)

5.7.5.3.2. Κρίσιμη τάση δημιουργίας πτυχώσεων για τραπεζοειδή πάνελ

Σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14509 , εάν η επιφάνεια πάνω στην οποία εμφανίζεται η αστοχία είναι μορφοποιημένη , η τάση αστοχίας δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_w = \frac{M_u - M_{F2}}{eBt_1}$$

όπου :

M_u : Η τελική ροπή κάμψης που αναπτύσσεται κατά τη δοκιμή λαμβάνοντας υπόψη και το βάρος του δοκιμίου καθώς και το βάρος της διάταξης φορτίσεως.

M_{F2} : Η τιμή της ροπής κάμψης που μεταφέρεται από την κάτω μορφοποιημένη επιφάνεια ($M_{F2} = 0$, λόγω της επιπεδότητας της κάτω επιφάνειας)

e: Το πάχος το οποίο μετράται μεταξύ των κέντρων των δύο επίπεδων χαλυβδοελασμάτων(βλ. Παρ. 5.4.7)

A_1 : Το εμβαδό της επιφάνειας του πάνελ

5.7..6 Καταγραφή Αποτελεσμάτων

Με τη χρήση της διάταξης του Σχήματος 5.33 & 5.34 και ακολουθώντας τη διαδικασία και τις προδιαγραφές που προαναφέρθηκαν, λάβαμε τα παρακάτω Διαγράμματα Φορτίου - Μετατόπισης . Στα σχήματα που ακολουθούν των Διαγραμμάτων διαφαίνεται η αστοχία του υλικού για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Δοκίμια Τραπεζοειδούς Πάνελ:

Δοκίμιο 1^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 40mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p = 2000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

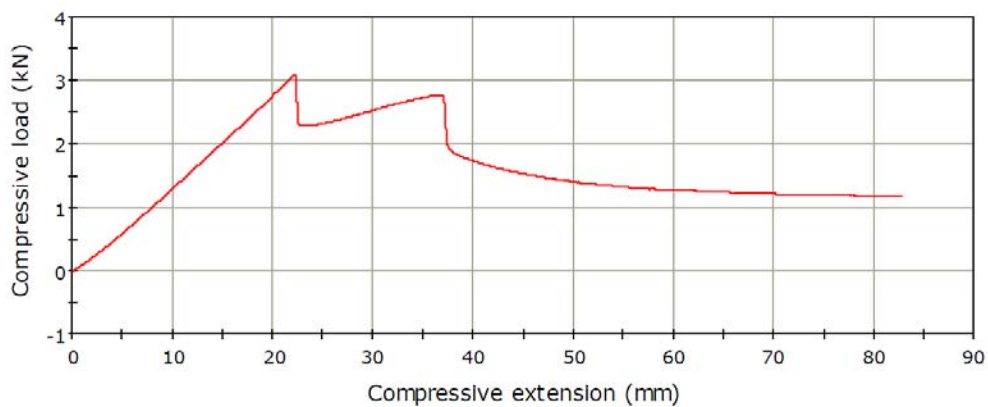
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 1865 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



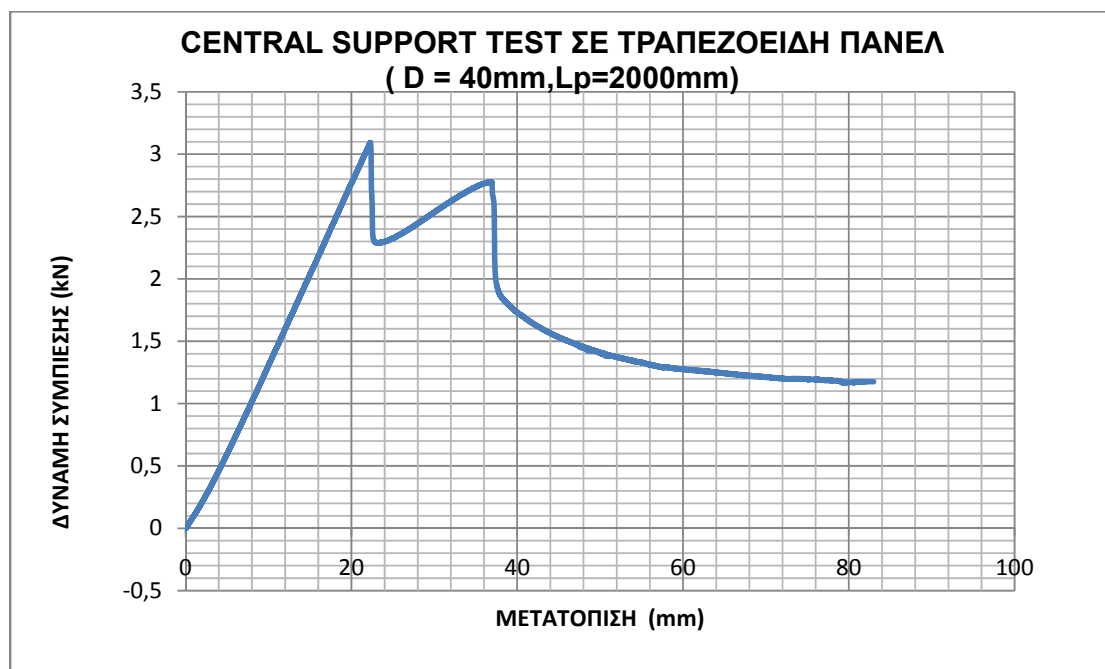
Σχήμα 5.35: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.72 :Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.73) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.73 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 3092,58\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 22,2893\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 3092,58\text{ N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης στην χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο ($F = 2754,33\text{N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην αποκόλληση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ(πυρήνας πολυουρεθάνης) από την χαλύβδινη επένδυση.

Δοκίμιο 2^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 40\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

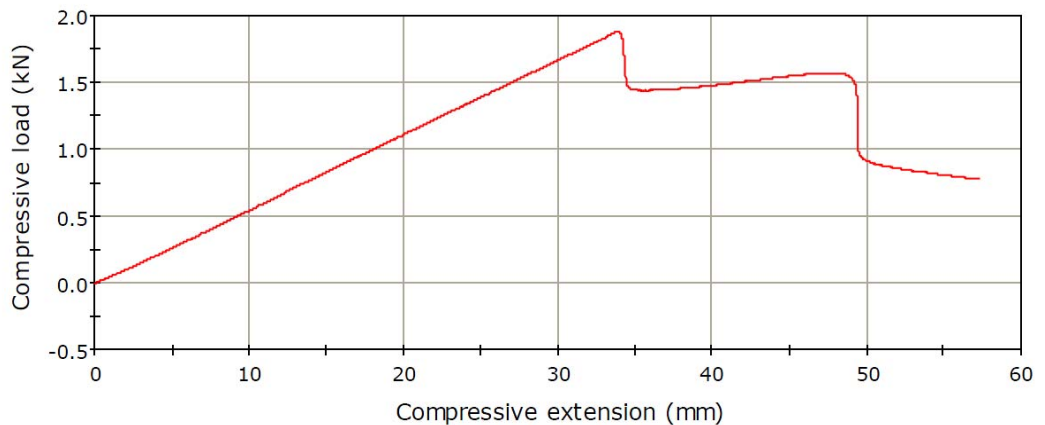
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



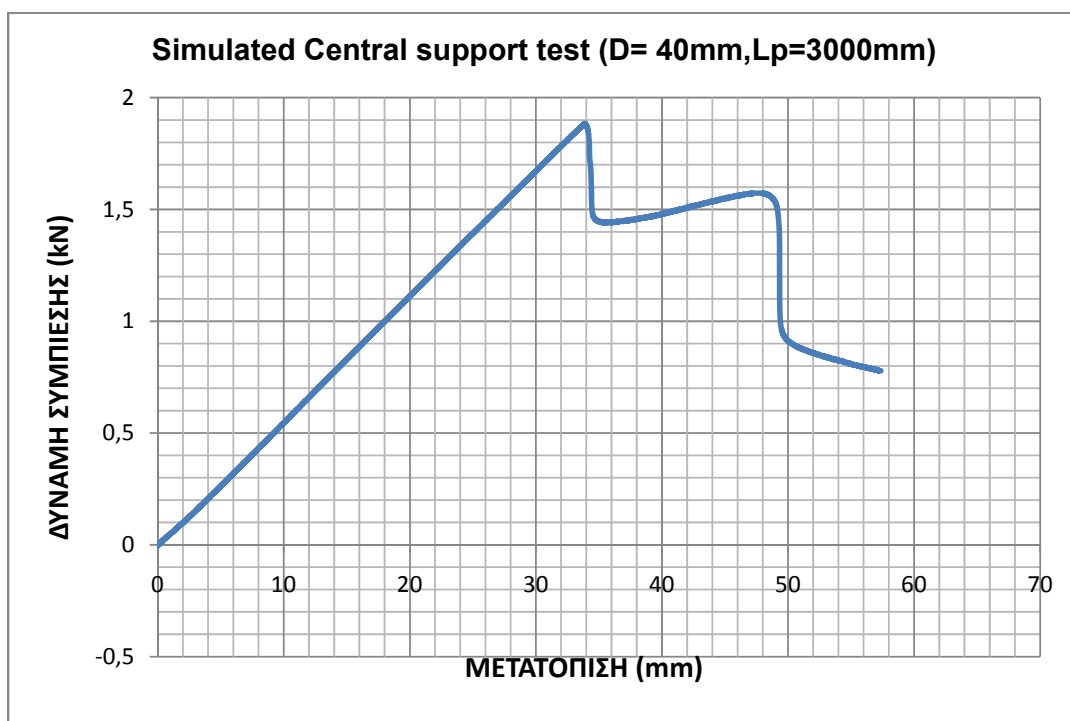
Σχήμα 5.36: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.74: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.75), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.75 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 1884.54\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 33.85650\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

: Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F=F_{\max} = 1884.54\text{ N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο ($F = 1573,14\text{N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην εμφάνιση περαιτέρω πτυχώσεων στην χαλύβδινη επένδυση (πλαστική περιοχή).Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης αλλά ούτε αποκόλληση του πυρήνα από την εξωτερική επένδυση χάλυβα.

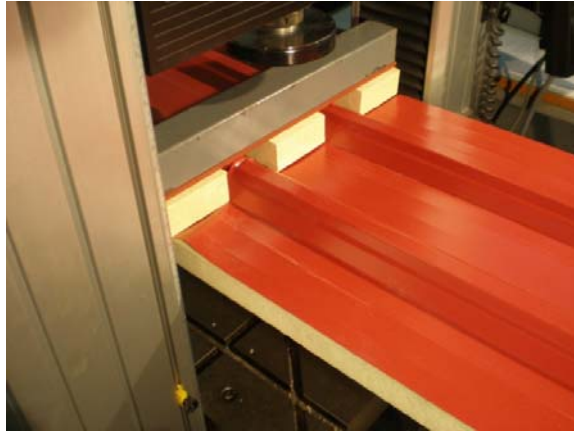
Δοκίμιο 3^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 40\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

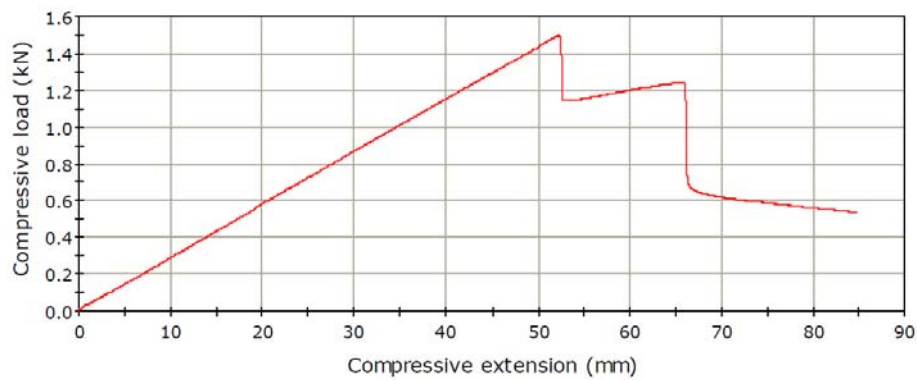
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



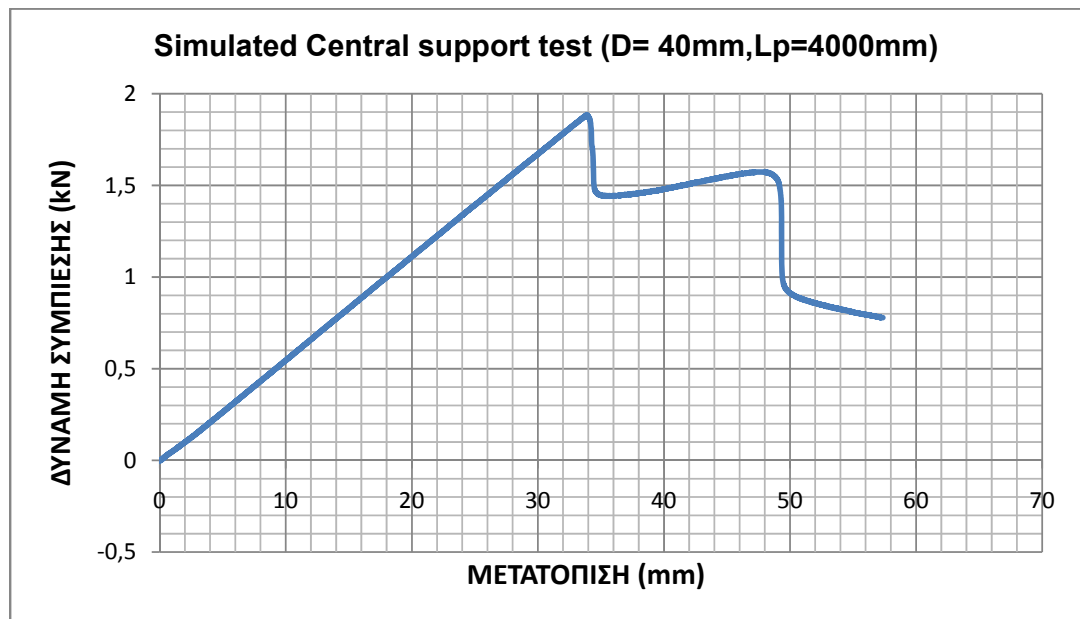
Σχήμα 5.37: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.76: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 40\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.78), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.77 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 40\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test..

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 1497,97\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 52,37320\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

: Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 1497,97\text{ N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο ($F = 1240,26\text{N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην εμφάνιση περαιτέρω πτυχώσεων στην χαλύβδινη επένδυση (πλαστική περιοχή) προκαλώντας έτσι την αλλά ούτε αποκόλληση του πυρήνα από την εξωτερική επένδυση χάλυβα.Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης.

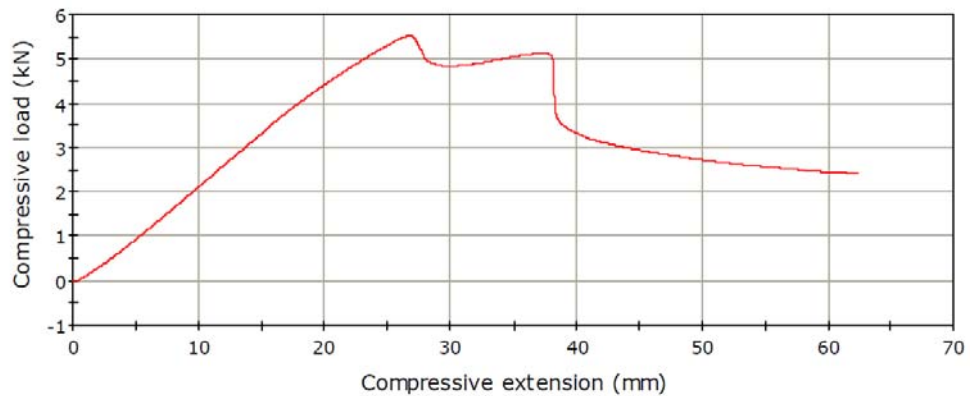
Δοκίμιο 4^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D= 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)
 $L_p= 2000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)
 $B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)
 $L = 1860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



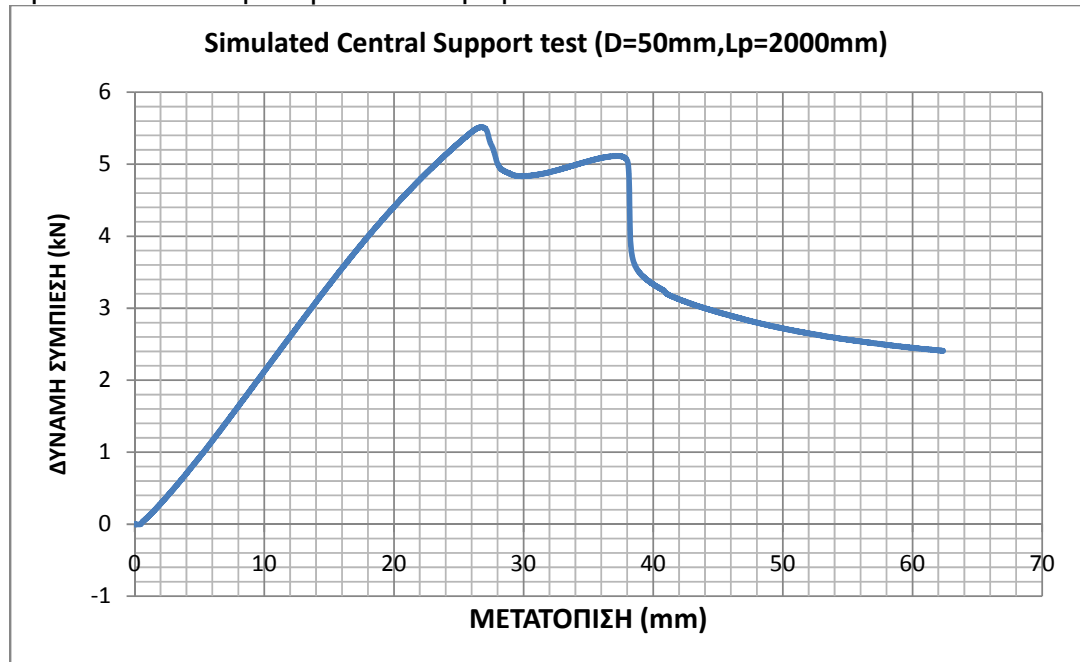
Σχήμα 5.39: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.78: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D=0\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.79), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί .



Διάγραμμα 5.79 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test..

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 5516,71\text{N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 26,68930\text{mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 5516,71\text{N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση.Το δεύτερο μέγιστο ($F = 5105,98\text{N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην εμφάνιση περαιτέρω πτυχώσεων στην χαλύβδινη επένδυση (πλαστική περιοχή) προκαλώντας έτσι την αλλά ούτε αποκόλληση του πυρήνα από την εξωτερική επένδυση χάλυβα.

Δοκίμιο 5^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου : $D = 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 3000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

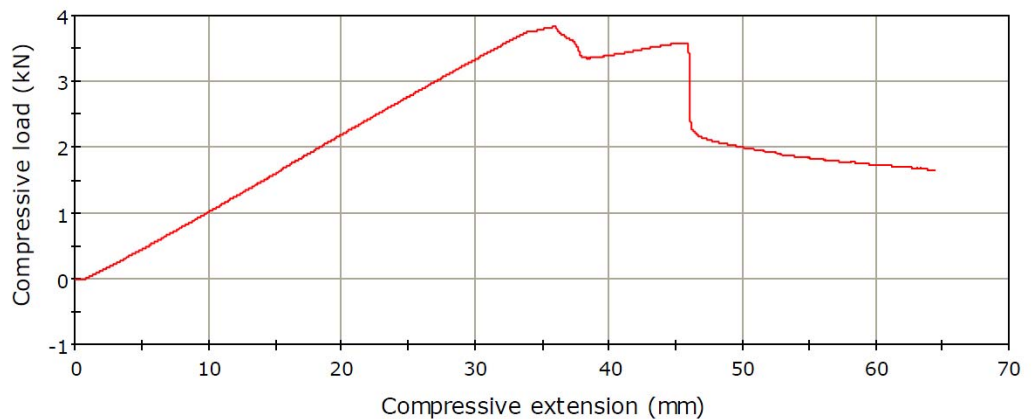
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



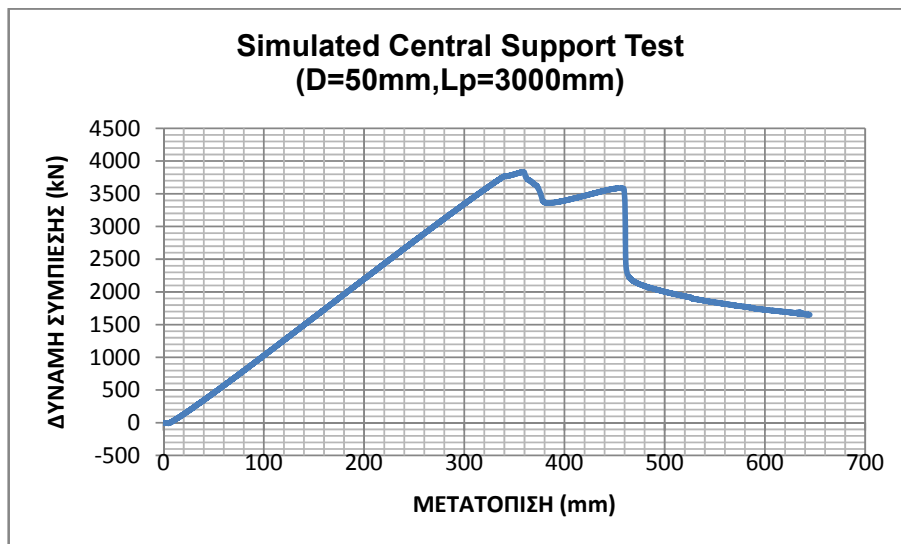
Σχήμα 5.40: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.80: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.81), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.81 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test..

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$$F_{\max} = 3833.51\text{ N (Το μέγιστο φορτίο)}$$

$$W_{\max} = 35.83100\text{ mm (Η μέγιστη παραμόρφωση)}$$

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 3833.51\text{ N}$, αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο ($F = 3583,85\text{ N}$) στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην εμφάνιση περαιτέρω πτυχώσεων στην χαλύβδινη επένδυση (πλαστική περιοχή). Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης αλλά ούτε αποκόλληση του πυρήνα από την εξωτερική επένδυση χάλυβα.

Δοκίμιο 6° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 4000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

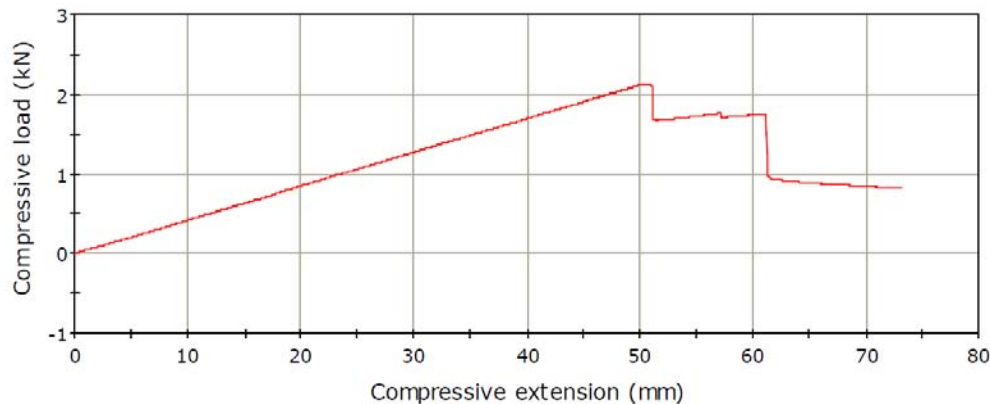
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 3860 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



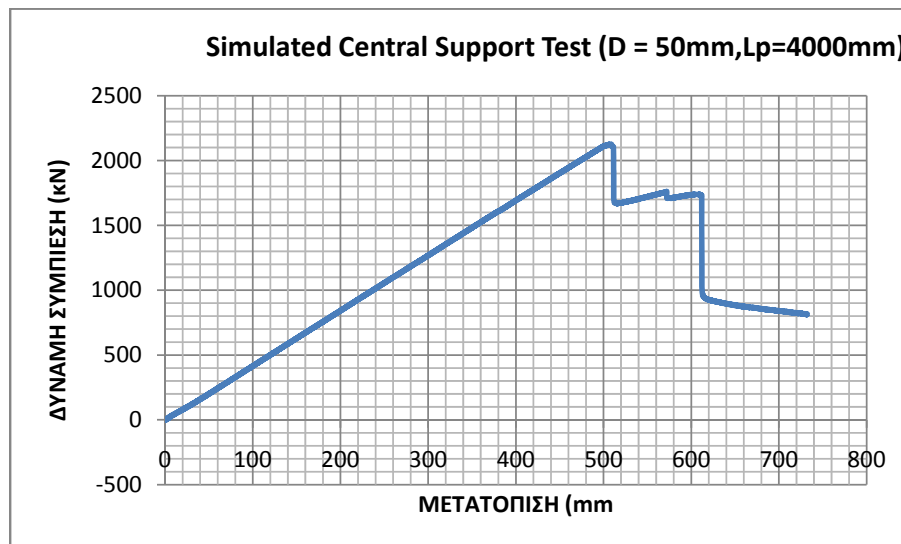
Σχήμα 5.41: Αστοχία δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 50mm και L_p = 4000 mm, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω και της κάτω χαλύβδινης επένδυσης, από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.82: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με D= 50mm και L_p = 4000 mm, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.83) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.83 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου τραπεζοειδούς πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test..

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 2126,15\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 50,6480\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 2126,15\text{ N}$, αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση. Το δεύτερο μέγιστο ($F = 1742,26\text{ N}$) στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην αποκόλληση της άνω χαλύβινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης , και το τρίτο μέγιστο ($F = 1739,58\text{ N}$). αντιστοιχεί στην αποκόλληση της κάτω χαλύβινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης

Δοκίμιο 7^ο :

Δοκίμια Επίπεδου Πάνελ:

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 2000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

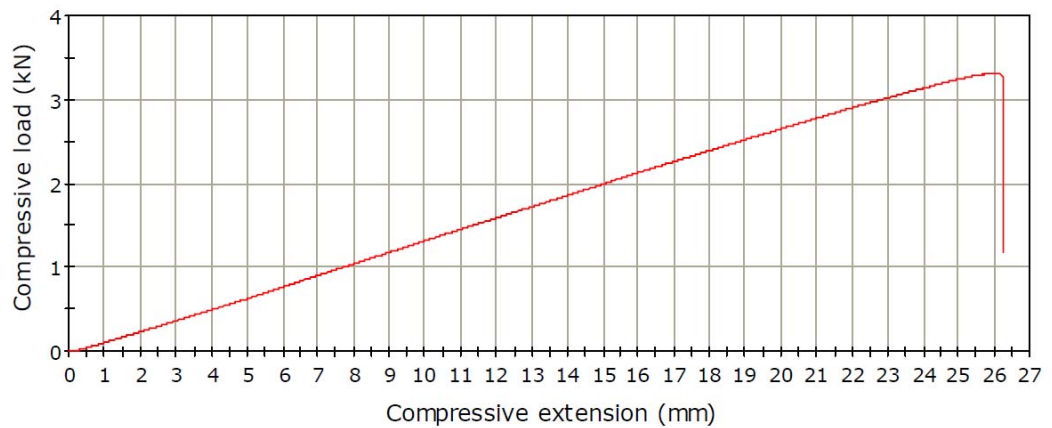
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1840\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



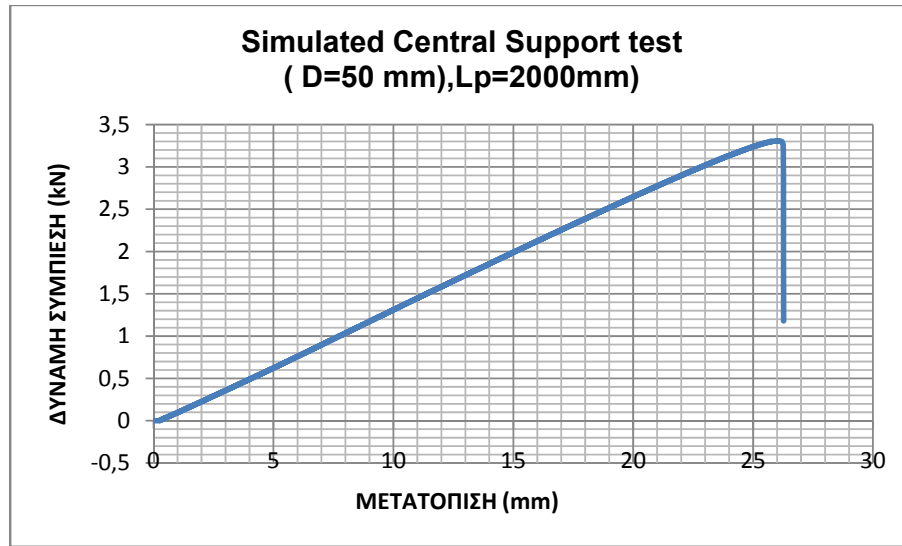
Σχήμα 5.42: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.84: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.85) , βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.85 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm και L_p = 2000 mm, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

F_{max} = 3307.35 N (Το μέγιστο φορτίο)

W_{max} = 25,872 mm (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν F =F_{max} = 3307.35 N , αντιστοιχεί στην απότομη διάτμηση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ(και στην δημιουργία πτυχώσεων) .

Δοκίμιο 8^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

D= 50mm (Πάχος Δοκιμίου)

L_p= 3000 mm (Μήκος Δοκιμίου)

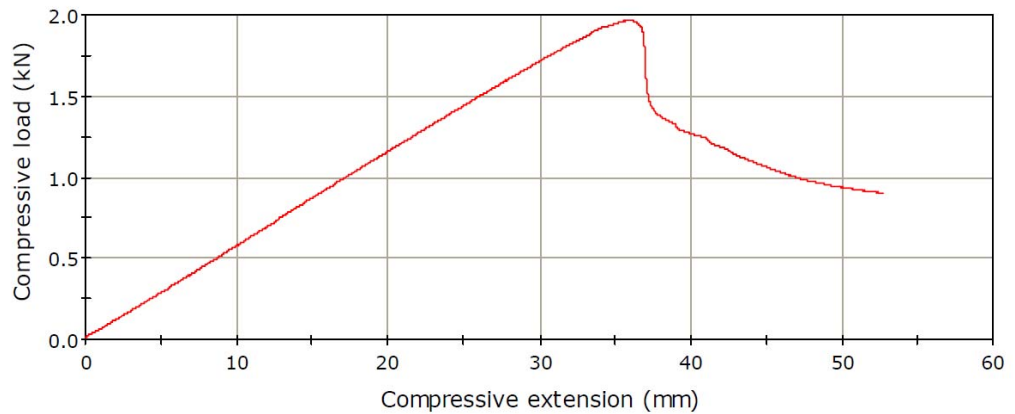
B = 500 mm (Πλάτος Δοκιμίου)

L = 2855 mm (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)

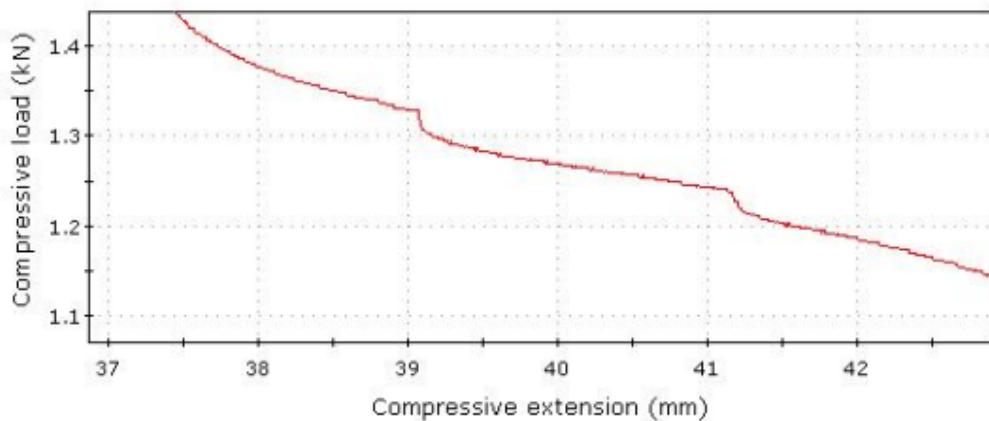


Σχήμα 5.43: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με D= 50mm και L_p = 3000 mm, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH

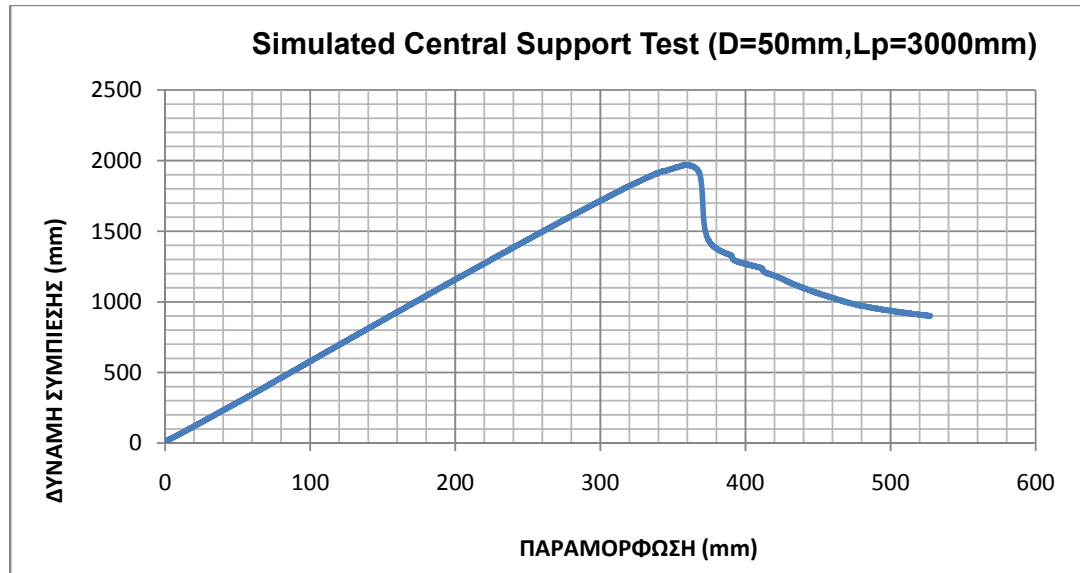


LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.86: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.87), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.87 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 1970.45\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 35.88070\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 1970.45\text{ N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πύχωσης στην χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο (αιχμή) ($F = 1336,9\text{ N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην διάτμηση του πυρήνα του αφρού πολυουρεθάνης.

Δοκίμιο 9^ο :

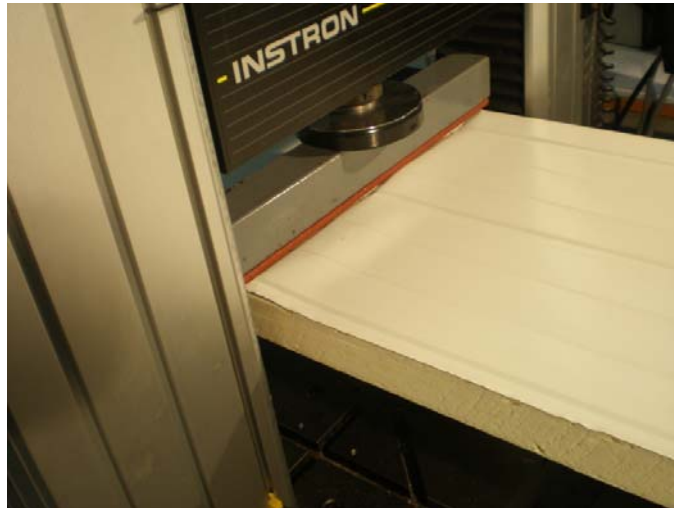
Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 50\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

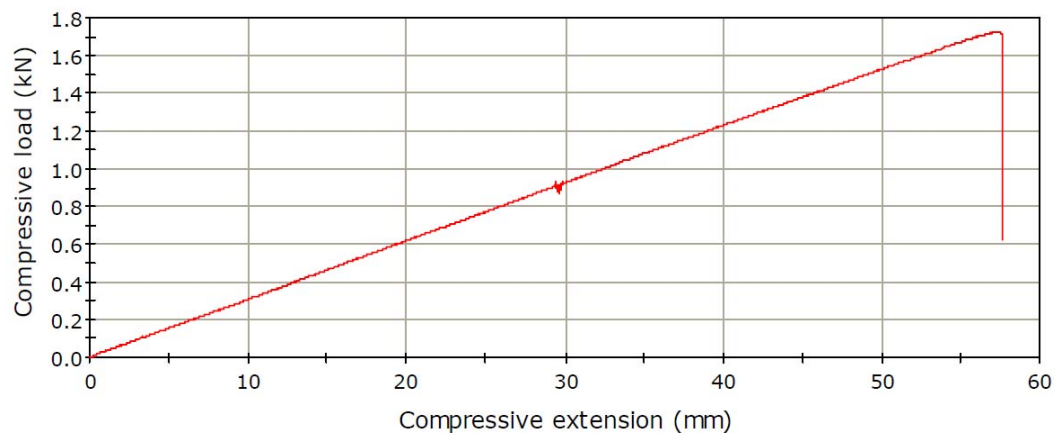
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3865\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



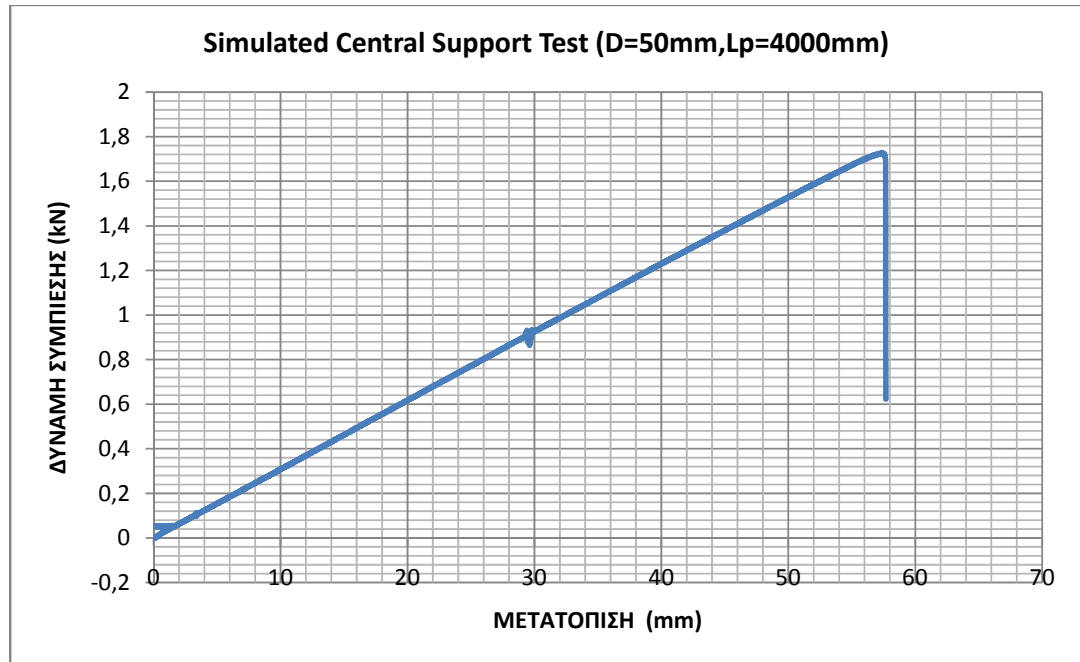
Σχήμα 5.44: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της εξωτερικής χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.88: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.89), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.89 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 50\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 1726,16\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 57,28170\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 1726,16\text{N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης στην χαλύβδινη επένδυση .

Δοκίμιο 10^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 80\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 2000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

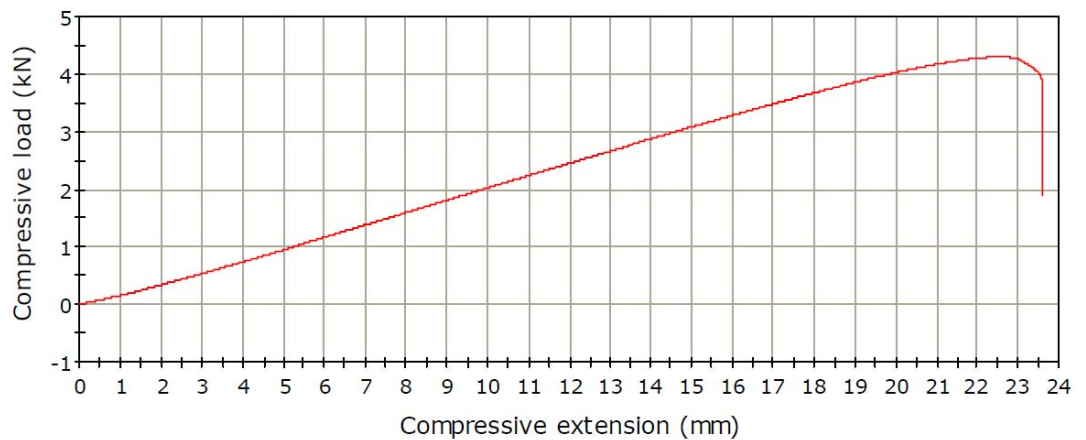
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1865\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



Σχήμα 5.45: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω επιφάνειας του χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

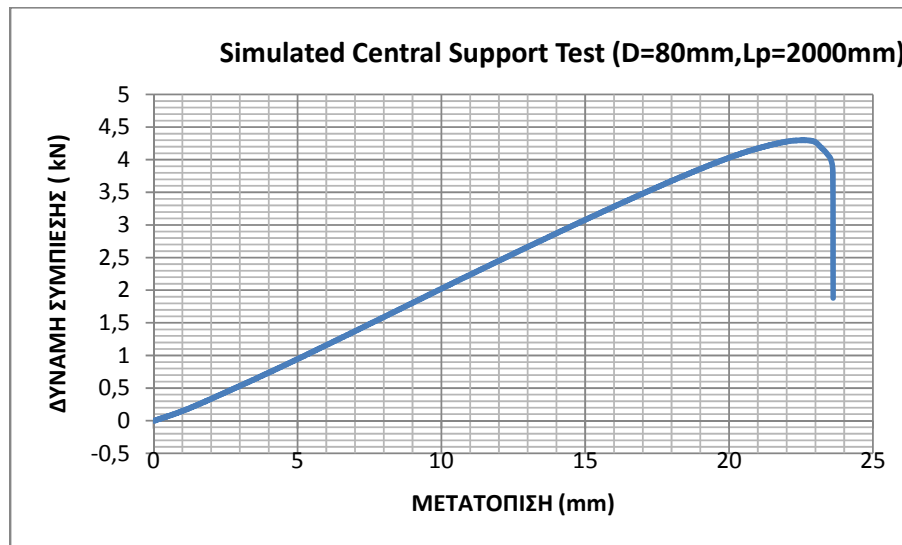
LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.90: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.91), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{max} = 4300.62 \text{ N}$,αντιστοιχεί στην δημιουργία της πρώτης πτύχωσης (όριο διαρροής) στην χαλύβδινη επένδυση . Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης αλλά ούτε αποκόλληση του πυρήνα από την εξωτερική επένδυση χάλυβα.



Διάγραμμα 5.91 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 2000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν:

$F_{max} = 4300,62 \text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{max} = 4300,62 \text{ N}$, αντιστοιχεί στην αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης(επομένως και στη δημιουργία των πτυχώσεων στο χαλυβδοέλασμα).

Δοκίμιο 11^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 80\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

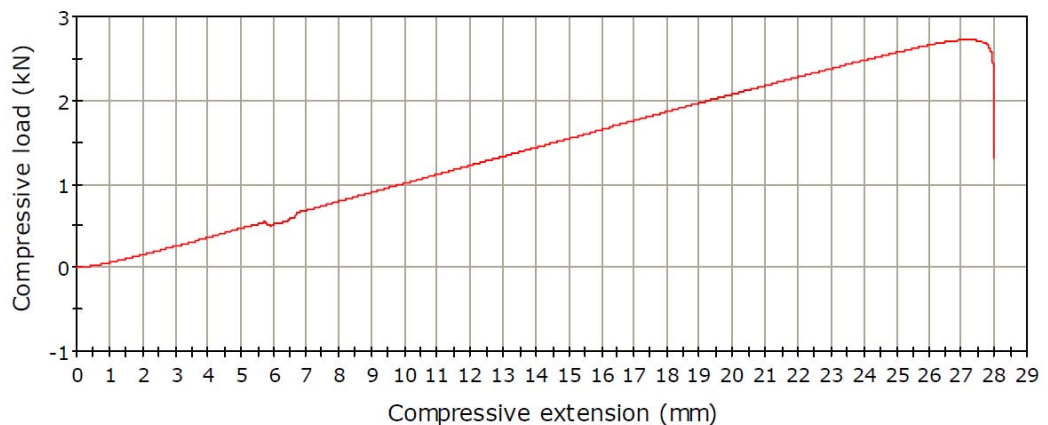
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2860 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



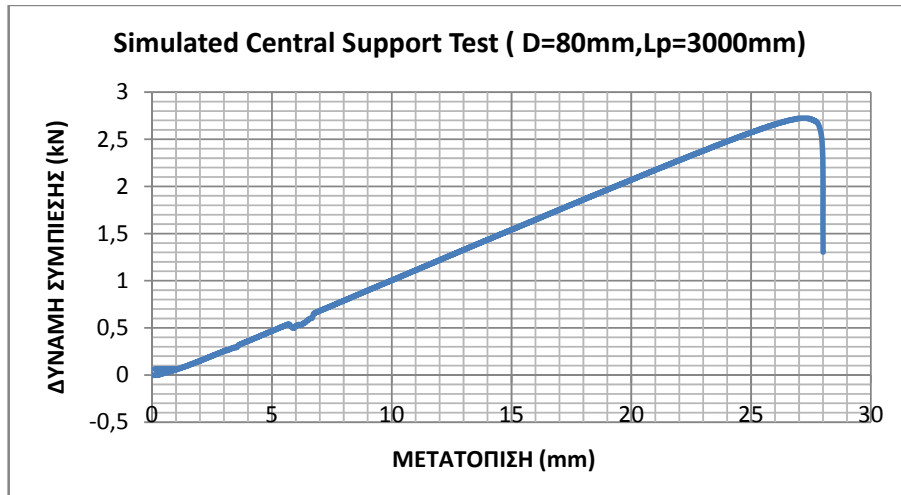
Σχήμα 5.46: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.92: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.93), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.93 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν:

$F_{\max} = 2724,80\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 27,06340\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{\max} = 2724,80\text{ N}$, αντιστοιχεί στην διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης(και στην εμφάνιση της πρώτης πτύχωσης).

Δοκίμιο 12° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 80\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

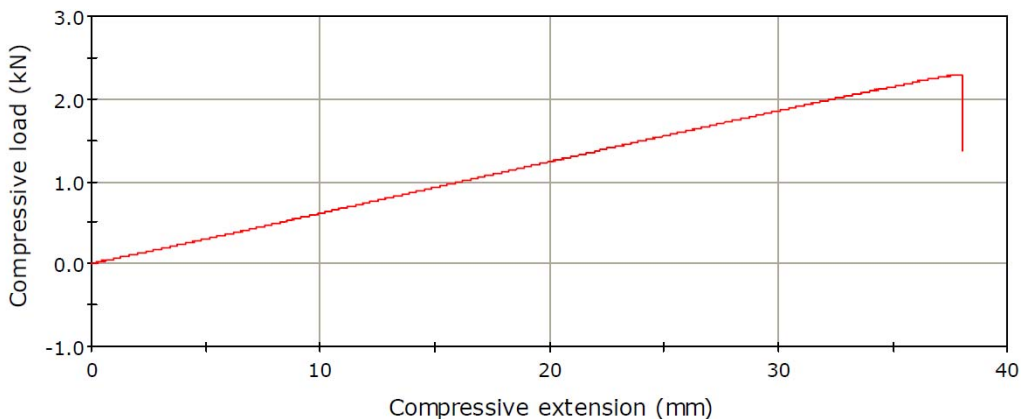
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 3860\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



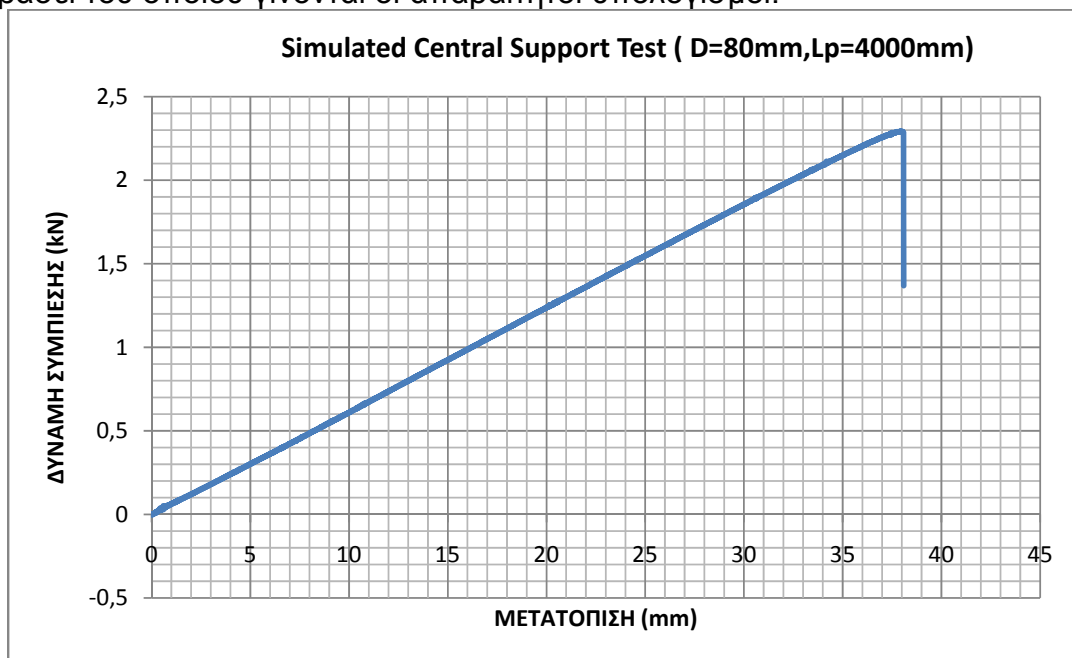
Σχήμα 5.47: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.94: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.95), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.95 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 80\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν:

$F_{max} = 2292,59\text{N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{max} = 37,91260\text{mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = F_{max} = 2724,80\text{N}$, αντιστοιχεί στην αποκόλληση της χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης(επομένως και στη δημιουργία της πρώτης πτύχωσης στο άνω φύλλο χάλυβα).

Δοκίμιο 13^ο :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 100\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 2000\text{mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

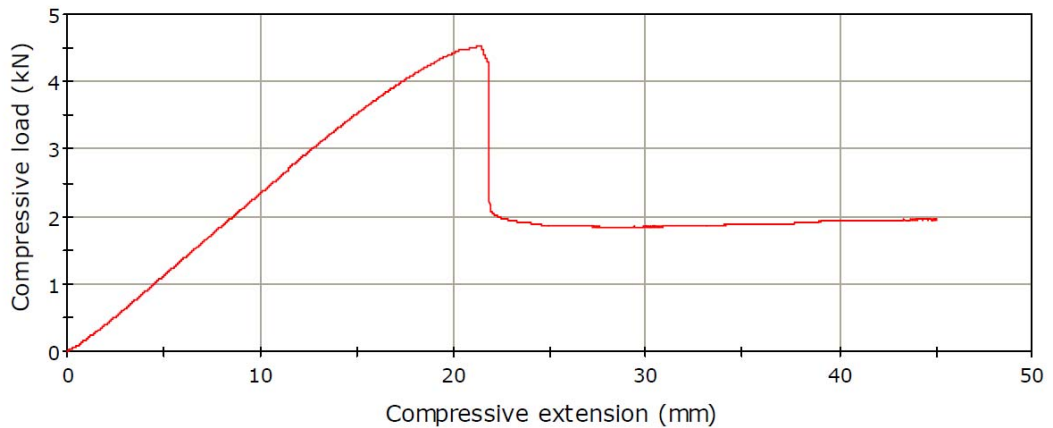
$B = 500\text{mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1870\text{mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



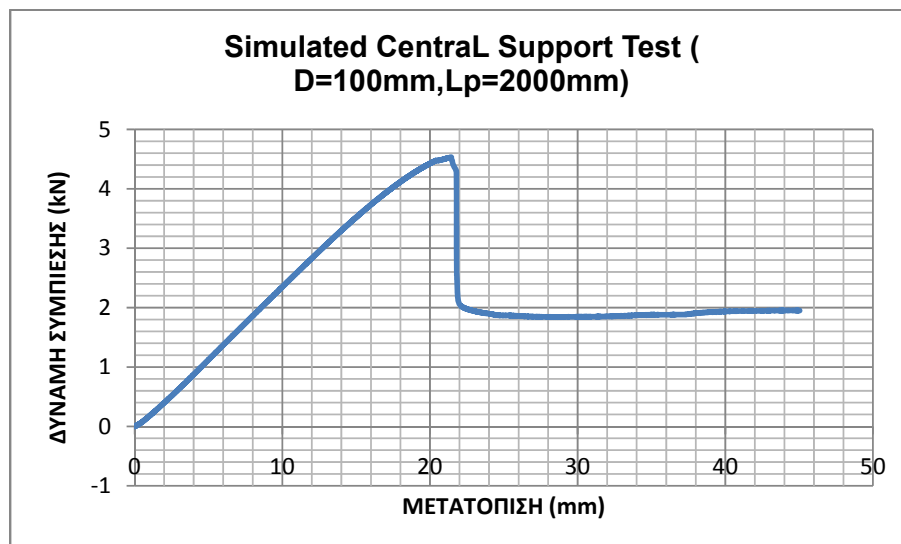
Σχήμα 5.48: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα , η διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.96: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.98),βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.97 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{max} = 4531.49 \text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{max} = 21,09 \text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F=F_{max}=4531.49\text{N}$,αντιστοιχεί στην αποκόλληση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ από την εξωτερική επένδυση από φύλλο χάλυβα (επομένως και στη δημιουργία της πρώτης πτύχωσης στο άνω φύλλο χάλυβα).

Δοκίμιο 14° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D= 100\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p= 3000 \text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

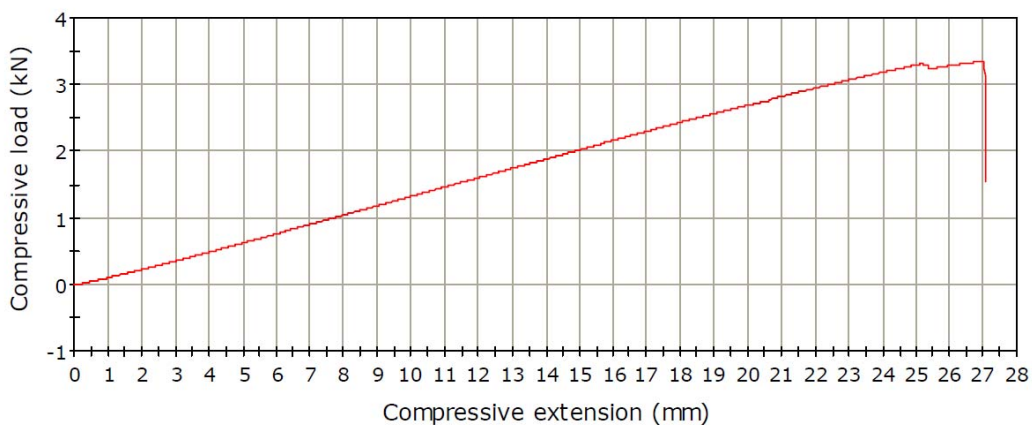
$B = 500 \text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 2860 \text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)

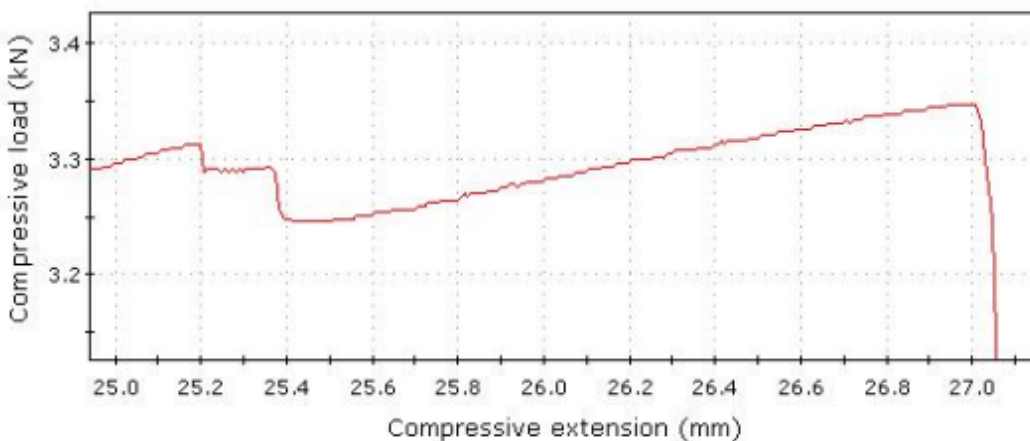


Σχήμα 5.49: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 3000 \text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα, η διάτμηση του πυρήνα πολυουρεθάνης καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης

LOAD - DEFLECTION GRAPH

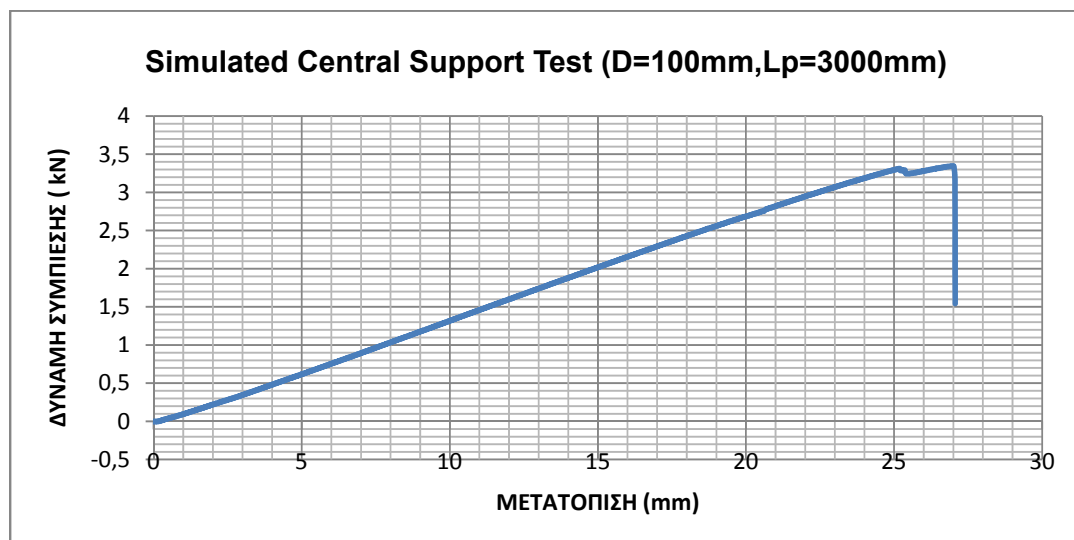


LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.98: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.99), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί



Διάγραμμα 5.99 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D = 100\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

$F_{\max} = 3347.61\text{ N}$ (Το μέγιστο φορτίο)

$W_{\max} = 26.94810\text{ mm}$ (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν $F = 3259,02\text{ N}$,αντιστοιχεί στη δημιουργία πτυχώσεων στη χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο ($F = 3347.61\text{ N}$)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην αποκόλληση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ(πυρήνας πολυουρεθάνης) από την χαλύβδινη επένδυση. Παρατηρώ ότι ενδιάμεσα των δύο μεγίστων, επάρχει μια αιχμή , η οποία υποδηλώνει την δημιουργία των πτυχώσεων.

Δοκίμιο 15° :

Διαστάσεις Δοκιμίου :

$D = 100\text{mm}$ (Πάχος Δοκιμίου)

$L_p = 4000\text{ mm}$ (Μήκος Δοκιμίου)

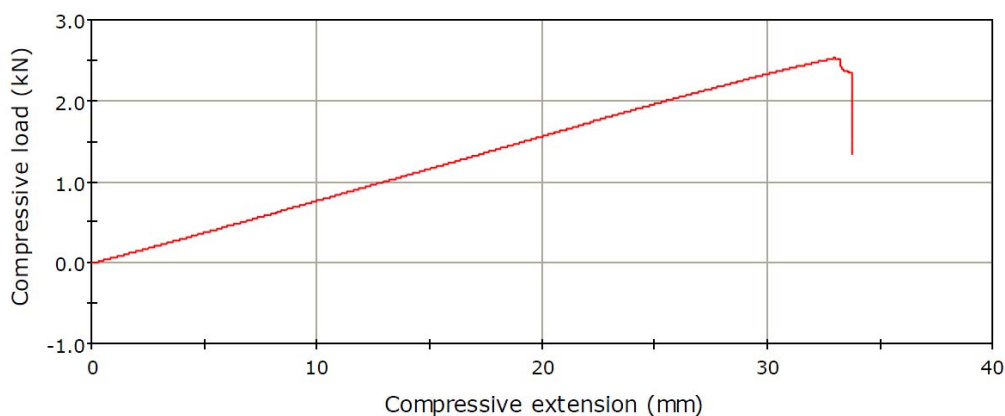
$B = 500\text{ mm}$ (Πλάτος Δοκιμίου)

$L = 1870\text{ mm}$ (Απόσταση μεταξύ απλών στηρίξεων - Span)



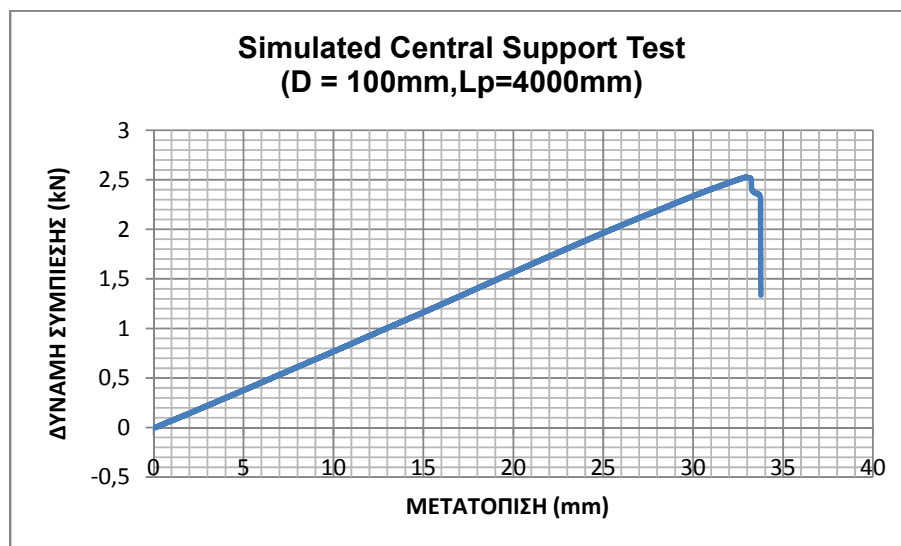
Σχήμα 5.50: Αστοχία δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test. Είναι εμφανής οι πτυχώσεις, που έχουν δημιουργηθεί στο άνω φύλλο χάλυβα καθώς και η αποκόλληση της άνω χαλύβδινης επιφάνειας από τον πυρήνα πολυουρεθάνης

LOAD - DEFLECTION GRAPH



Διάγραμμα 5.100: Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης δοκιμίου επίπεδου πάνελ ,με $D= 100\text{mm}$ και $L_p = 4000\text{ mm}$, που καταπονήθηκε Simulated central support test (Όπως μας δίνεται από το λογισμικό της Μηχανής Instron)

Το λογισμικό της μηχανής Instron δεν έχει τη δυνατότητα να δίνει στο χρήστη του , το διάγραμμα ως διάγραμμα σημείων παρά μόνο , σε μορφή εικόνας. Οπότε, μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων στο Excel , προκύπτει το επιθυμητό διάγραμμα (Διάγραμμα 5.101), βάσει του οποίου γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί.



Διάγραμμα 5.102 : Διάγραμμα Φορτίου-Μετατόπισης (όπως προκύπτει από την επεξεργασία των μετρήσεων σε Microsoft Excel) δοκιμίου επίπεδου πάνελ , με D= 100mm και L_p = 4000 mm, που καταπονήθηκε σε Simulated central support test.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις :

Προκύπτουν :

F_{max} = 2528,83N (Το μέγιστο φορτίο)

W_{max} = 32,94770mm (Η μέγιστη παραμόρφωση)

Η χρονική στιγμή που συμπίπτει με την εμφάνιση του πρώτου μέγιστου στο διάγραμμα Φορτίου- Μετατόπισης ,δηλαδή όταν F=2528,8 N ,αντιστοιχεί στη δημιουργία πτυχώσεων στη χαλύβδινη επένδυση .Το δεύτερο μέγιστο (F =2365,08 N)στο διάγραμμα , αντιστοιχεί στην αποκόλληση του πυρήνα του σύνθετου πάνελ(πυρήνας πολυουρεθάνης) από την χαλύβδινη επένδυση.

5.7..7 Αποτελέσματα – Υπολογισμοί

Στον Πίνακα 5.34 καταγράφονται τα τεμάχια που αποτελούν την διάταξη συμπίεσης κατά την δοκιμή simulated central support, και υπολογίζεται το συνολικό της βάρος.

Με την χρήση των σχέσεων του Κεφ. καταγράφουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας , στους πίνακες 5.35 και 5.3.

Τεμάχιο	Διαστάσεις	Ποσότητα	Βάρος ανά τεμάχιο (Kg)/m
Χαλύβδινη Πλάκα (Λάμα)	Μήκος $B_s = 500\text{mm}$ Πλάτος $L_s = 60\text{ mm}$ Πάχος $S_s = 8\text{ mm}$	1	1,87
Κοιλοδοκός	Τετραγωνικής διατομής πλευράς $B=60\text{ mm}$ Μήκος $L_k = 500\text{ mm}$ Πάχος $t=3\text{ mm}$	1	2,592
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ = 4,462Kg =44,62 N			

Πίνακας 5.34 :Υπολογισμός βάρους διάταξης συμπίεσης (weight of load equipment)

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Πάχος e(mm)	Μήκος $L_p(\text{mm})$	L (mm) (Span)	f_{cc} (N)	F_{r2} (N)
1	Τραπεζοειδή	40	49	2000	1865	0,1055	7304,855
2	Τραπεζοειδή	40	49	3000	2860	0,1055	7304,855
3	Τραπεζοειδή	40	49	4000	3860	0,1055	7304,855
4	Τραπεζοειδή	50	59	2000	1860	0,0975	7795,523
5	Τραπεζοειδή	50	59	3000	2860	0,0975	7795,523
6	Τραπεζοειδή	50	59	4000	3860	0,0975	7795,523
7	Επίπεδο	50	49,2	2000	1840	0,123	8481,401
8	Επίπεδο	50	49,2	3000	2855	0,123	8481,401
9	Επίπεδο	50	49,2	4000	3865	0,123	8481,401
10	Επίπεδο	80	79,2	2000	1865	0,106	16764
11	Επίπεδο	80	79,2	3000	2860	0,106	16764
12	Επίπεδο	80	79,2	4000	3860	0,106	16764
13	Επίπεδο	100	99,2	2000	1870	0,12	26350,5
14	Επίπεδο	100	99,2	3000	2860	0,12	26350,5
15	Επίπεδο	100	99,2	4000	3860	0,12	26350,5

$$F_{r2} = B \times (L_s + k + e) \times f_{cc}$$

Όπου $K = 0,5$ (Παράμετρος κατανομής δύναμης)

Πίνακας 5.35: Υπολογισμός δύναμης αντίδρασης (από βάσεις στήριξης) για simulate central support test

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Βάρος Πάνελ F _G (N)	Μέγιστο Φορτίο F _{max} (N)	Βάρος εξοπλισμού (διάταξης) F _{equip} (N)	Ολικό Φορτίο F _u (N) F _u = F _{max} + F _{equip}
1	Τραπεζοειδή	40	2000	112	3092,58	44,62	3137,2
2	Τραπεζοειδή	40	3000	168	1884,54	44,62	1929,2
3	Τραπεζοειδή	40	4000	224	1497,97	44,62	1542,6
4	Τραπεζοειδή	50	2000	116,2	5516,71	44,62	5561,3
5	Τραπεζοειδή	50	3000	174,3	3833,51	44,62	3878,1
6	Τραπεζοειδή	50	4000	232,4	2126,15	44,62	2170,8
7	Επίπεδο	50	2000	105	3307,35	44,62	3352
8	Επίπεδο	50	3000	157,5	1970,45	44,62	2015,1
9	Επίπεδο	50	4000	21	1726,16	44,62	1770,8
10	Επίπεδο	80	2000	109,2	4300,62	44,62	4345,2
11	Επίπεδο	80	3000	163,8	2724,80	44,62	2769,4
12	Επίπεδο	80	4000	218,4	2292,59	44,62	2337,2
13	Επίπεδο	100	2000	126	4531,49	44,62	4576,1
14	Επίπεδο	100	3000	189	3347,61	44,62	3392,2
15	Επίπεδο	100	4000	252	2528,83	44,62	2573,5

Πίνακες 5.36:: Υπολογισμός ολικού Φορτίου Συμπίεσης F_u.

A/A	Ροπή Κάμψης $M_u = \left[\frac{F_u}{4} + \frac{F_G}{8} \right] L$ (Nmm)	Υπολογισμός κρίσιμης τάσης δημιουργίας πτυχώσεων σ_w (N/mm ²)		
		Επίπεδο Πάνελ $\sigma_w = \frac{M_u}{eBt_1}$	Τραπεζοειδές Πάνελ	
			MF ₂	$\sigma_w = \frac{M_u - M_{F2}}{eBt_1}$
1	1488830		0	121,5371
2	1439409		0	117,5028
3	1596679		0	130,3412
4	2613035		0	177,1549
5	2835175		0	192,2153
6	2206926		0	149,6221
7	1566056	127,3216		
8	1494464	121,5011		
9	1721162	139,9319		
10	2051425	103,6073		
11	2038694	102,9643		
12	2360786	119,2316		
13	2168784	87,45096		
14	2493012	100,5247		
15	1261993	50,88681		

Πίνακες 5,37 : Υπολογισμός της Ροπής Κάμψης (M_u) και της κρίσιμης τάσης δημιουργίας πτυχώσεων (σ_w)

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Είδος Αστοχίας A, B, C
1	Τραπεζοειδή	40	2000	B,C
2	Τραπεζοειδή	40	3000	C
3	Τραπεζοειδή	40	4000	B,C
4	Τραπεζοειδή	50	2000	C
5	Τραπεζοειδή	50	3000	C
6	Τραπεζοειδή	50	4000	B,C
7	Επίπεδο	50	2000	A,C
8	Επίπεδο	50	3000	A,C
9	Επίπεδο	50	4000	B,C
10	Επίπεδο	80	2000	B,C
11	Επίπεδο	80	3000	A,C
12	Επίπεδο	80	4000	B,C
13	Επίπεδο	100	2000	A,B,C
14	Επίπεδο	100	3000	A,B,C
15	Επίπεδο	100	4000	B,C

Πίνακας 5.38 Καθορισμός είδους αστοχίας για το κάθε δοκίμιο – πάνελ

Αστοχία A: Διάτμηση του Πυρήνα
Αστοχία B: Αποκόλληση της χαλύβδινης εξωτερικής επένδυσης, από τον πυρήνα πολυουρεθάνης.
Αστοχία C: Εμφάνιση Πτυχώσεων (Wrinkling)

5.7.8 Συμπεράσματα

Επιβεβαίωση Βασικής Αρχής-Προυπόθεσης Δοκιμής (όπως αυτή διατυπώνεται στο Κεφ. 5.7.5.1)

Επαναδιατύπωση Αρχής: Η δύναμη θλίψης μεταξύ του πάνελ και των στηρίξεων , τη στιγμή εμφάνισης των πτυχώσεων πρέπει να είναι μικρότερη από την δύναμη αντίδρασης που ασκούν στο πάνελ οι απλές στηρίξεις

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων στο Κεφ. 5.7.5.1 , παρατηρήθηκε ότι η δύναμη θλίψης , τη στιγμή εμφάνισης των πτυχώσεων, είναι η δύναμη που αντιστοιχεί στο σημείο με το πρώτο μέγιστο , της καμπύλης Φορτίου – Παραμόρφωσης .για όλες τις δοκιμές.

$$\text{Επομένως } F_{\text{wrinkling}} = F_{\text{max}}$$

Ετσι , από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας,και με τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας (Πίνακας 5.35) , συγκρίνουμε την τιμή της δύναμης δημιουργίας της πρώτης πτύχωσης (F_{max}) με την τιμή της δύναμης που ασκεί η απλή στήριξη στο πάνελ(F_{R2}).Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στον πίνακα 5.39.

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	Μέγιστο Φορτίο F_{max} (N)	F_{R2} (N)
1	Τραπεζοειδή	40	2000	3092,58	7304,855
2	Τραπεζοειδή	40	3000	1884,54	7304,855
3	Τραπεζοειδή	40	4000	1497,97	7304,855
4	Τραπεζοειδή	50	2000	5516,71	7795,523
5	Τραπεζοειδή	50	3000	3833,51	7795,523
6	Τραπεζοειδή	50	4000	2126,15	7795,523
7	Επίπεδο	50	2000	3307,35	8481,401
8	Επίπεδο	50	3000	1970,45	8481,401
9	Επίπεδο	50	4000	1726,16	8481,401
10	Επίπεδο	80	2000	4300,62	16764
11	Επίπεδο	80	3000	2724,80	16764
12	Επίπεδο	80	4000	2292,59	16764
13	Επίπεδο	100	2000	4531,49	26350,5
14	Επίπεδο	100	3000	3347,61	26350,5
15	Επίπεδο	100	4000	2528,83	26350,5

Πίνακας 5.39: Σύγκριση της δύναμης δημιουργίας της πρώτης πτύχωσης (F_{max}) με την τιμή της δύναμης που ασκεί η απλή στήριξη στο πάνελ (F_{R2}).

Παρατηρούμε ότι για όλα τα δοκίμια – πάνελ ισχύει : $F_{R2} \gg F_{max}$, δηλαδή επαληθεύεται η βασική αρχή – προϋπόθεση της δοκιμής simulated central support.

Συμπεράσματα για την αντοχή των δοκιμίων- πάνελ σε Κάμψη

Παρατηρώντας τον Πίνακα 5.36 επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα που καταλήξαμε για τα πάνελ , στο Κεφ. 5.4.8 , κατά την μελέτη των πάνελ στην δοκιμή κάμψης 4 σημείων., αλλά και στο Κεφ. κατά την μελέτη των πάνελ στην δοκιμή κάμψης 6 σημείων.

Αναφέρω συνοπτικά:

- Η αντοχή των πάνελ σε κάμψη , είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους τους και ανάλογη του πάχους τους,
- Τα τραπεζοειδή πάνελ (έντονα μορφοποιημένες επιφάνειες), έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη από τα επίπεδα πάνελ.

Σύγκριση των τιμών κρίσιμης τάσης αστοχίας σ_w , που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων, κατά την δοκιμή κάμψης έξι σημείων και κατά την δοκιμή simulated central support.

Η σύγκριση φαίνεται στον Πίνακα 5.40

A/A	Τύπος Δοκιμίου - Πάνελ	Πάχος D (mm)	Μήκος Lp(mm)	σ_w (6 point bending)	σ_w (central support test)
1	Τραπεζοειδή	40	2000	126,621	121,5371
2	Τραπεζοειδή	40	3000	142,1303	117,5028
3	Τραπεζοειδή	40	4000	174,3266	130,3412
4	Τραπεζοειδή	50	2000	201,9342	177,1549
5	Τραπεζοειδή	50	3000	239,8055	192,2153
6	Τραπεζοειδή	50	4000	158,3976	149,6221
7	Επίπεδο	50	2000	119,5534	127,3216
8	Επίπεδο	50	3000	138,6542	121,5011
9	Επίπεδο	50	4000	135,0756	139,9319
10	Επίπεδο	80	2000	112,9832	103,6073
11	Επίπεδο	80	3000	117,5945	102,9643
12	Επίπεδο	80	4000	131,7943	119,2316
13	Επίπεδο	100	2000	80,943	87,45096
14	Επίπεδο	100	3000	111,0615	100,5247
15	Επίπεδο	100	4000	104,3642	50,88681

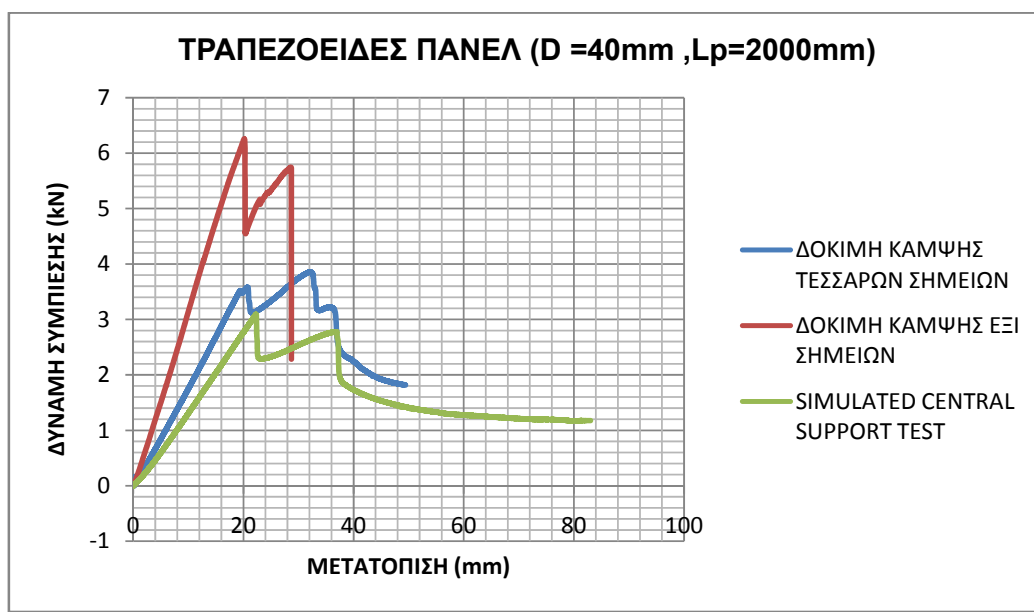
Πίνακας 5.39: Σύγκριση των τιμών κρίσιμης τάσης αστοχίας σ_w , που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων, κατά την δοκιμή κάμψης έξι σημείων και κατά την δοκιμή simulated central support.

Οι μεγαλύτερες τιμές της τάσης (σ_w) κατά την δοκιμή simulated central support (με εξαίρεση τρεις περιπτώσεις επίπεδων πάνελ) δικαιολογούν το ότι σε αυτή τη δοκιμή, εμφανίζεται πιο νωρίς (χρονικά), η δημιουργία πτυχώσεων, απ'ότι στην δοκιμή κάμψης έξι σημείων.

,

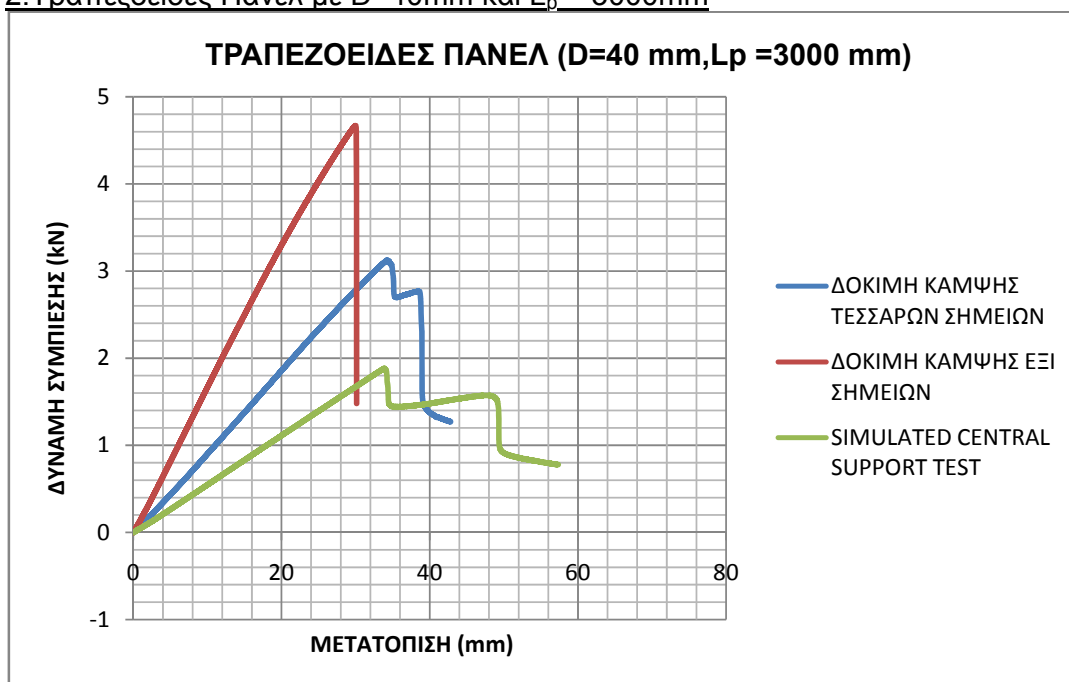
5.8. Διαγράμματα και πίνακες σύγκρισης της Συμπεριφοράς του κάθε δοκιμίου – πάνελ , σε όλες τις περιπτώσεις φορτίσεως.

1. Τραπεζοειδές Πάνελ με $D=40\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$



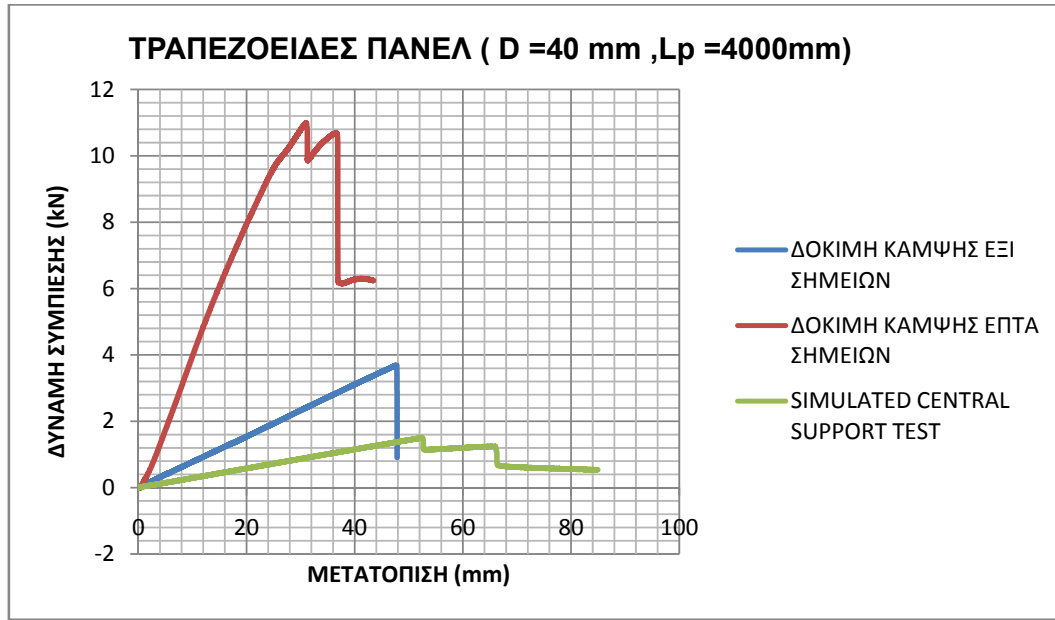
ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =40mm ,Lp=2000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	3857,67	4027,94	C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	6257,64	6613,67	A,B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	3092,58	3137,2	B,C

2. Τραπεζοειδές Πάνελ με $D=40\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$



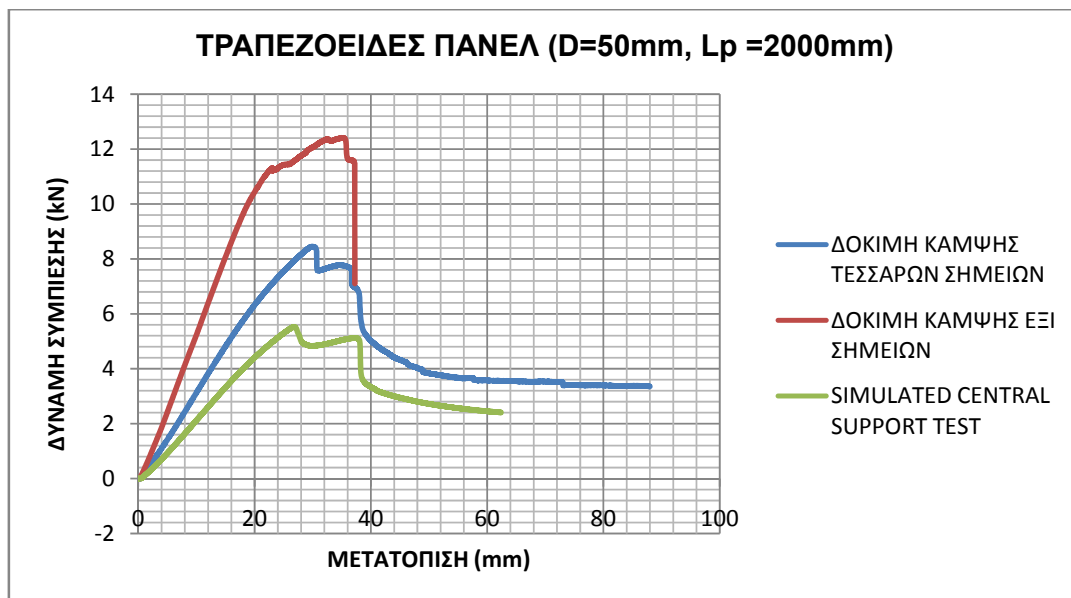
ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =40mm ,Lp=3000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	3124,80	3323,35	C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	4268,40	4702,2	C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	1884,54	1929,2	C

3. Τραπεζοειδές Πάνελ με D=40mm και L_p = 4000mm



ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =40mm ,Lp=4000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ	10995,84	11518,01	C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	3691,23	4213,405	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	1497,97	1542,6	B,C

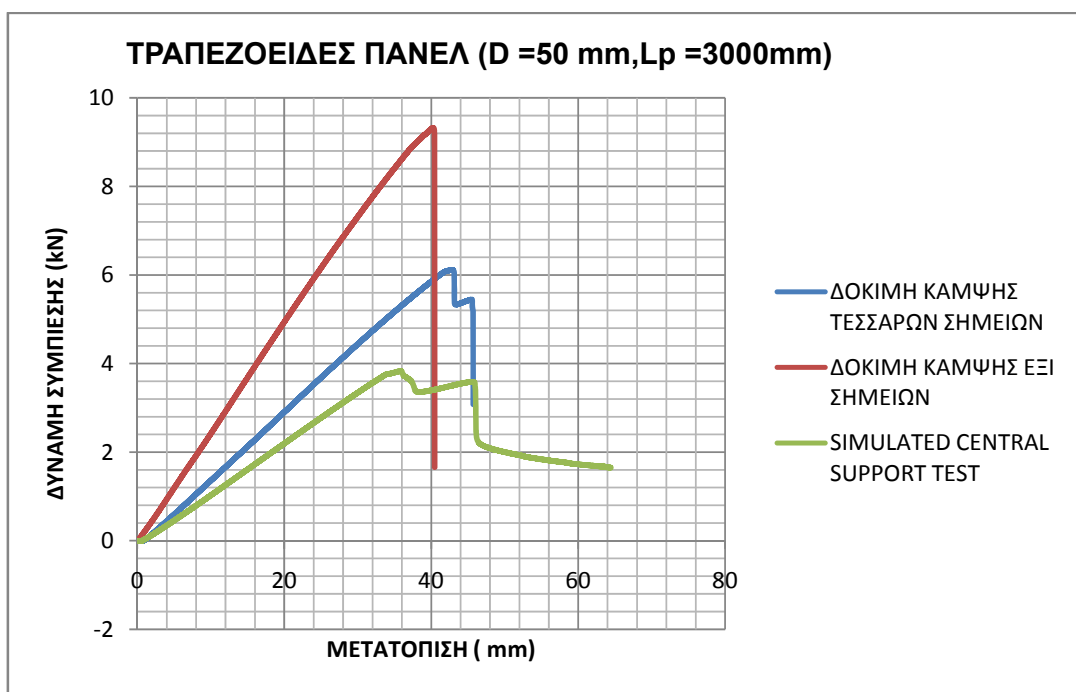
4. Τραπεζοειδές Πάνελ με D=50mm και L_p = 2000mm



ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,Lp=2000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	8450,90	8621,17	A,B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	12407,90	12763,93	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	5516,71	5561,3	C

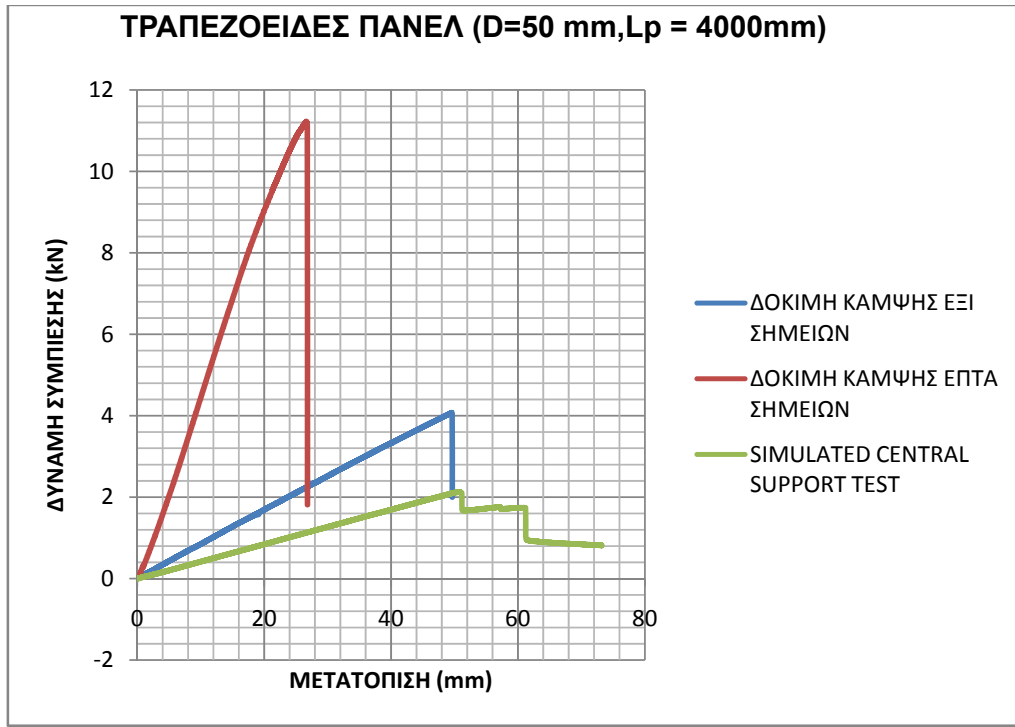
5. Τραπεζοειδές Πάνελ με D=50mm και L_p = 3000mm

ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,Lp=3000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	6118,05	6316,6	A,B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	9320,69	9754,49	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	3833,51	3878,1	C

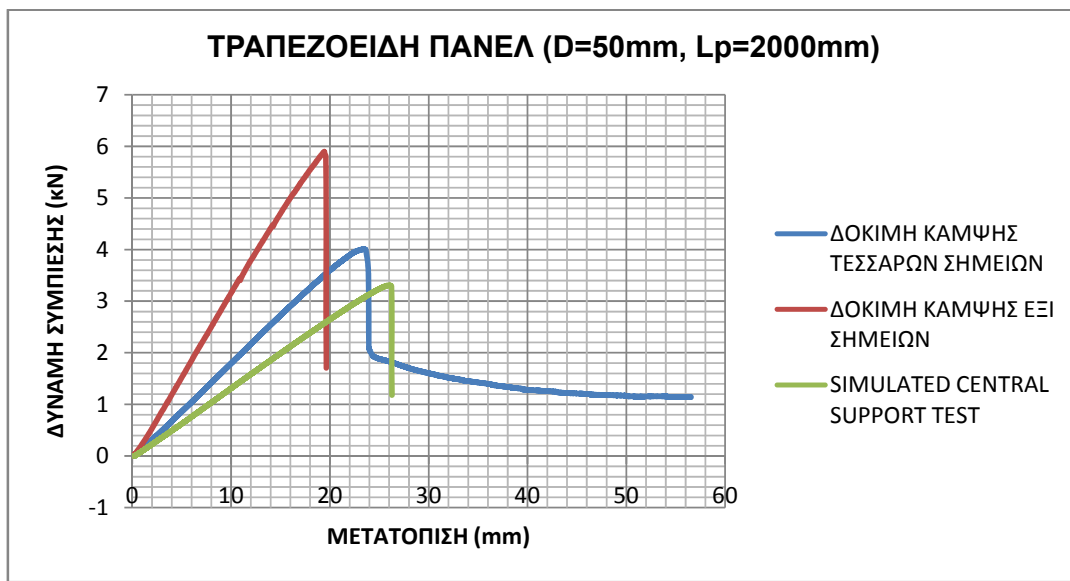


6. Τραπεζοειδές Πάνελ με D=50mm και L_p = 4000mm

ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΕΣ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,Lp=4000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ	11226,71	11749,94	B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	4075,12	4597,295	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	2126,15	2170,8	B,C

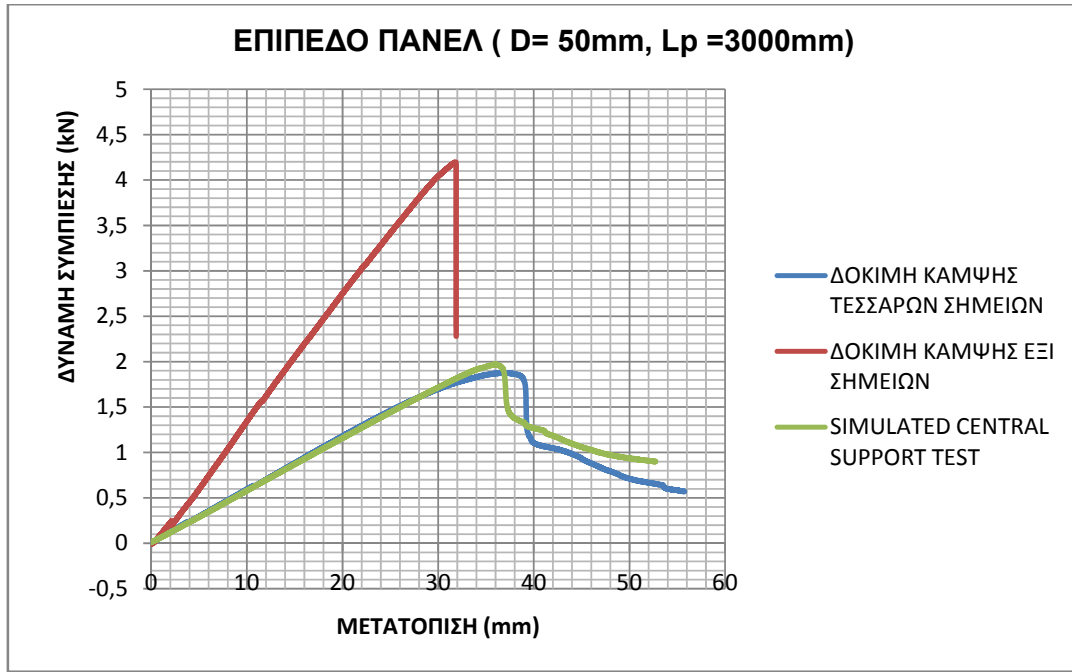


7.Επίπεδο Πάνελ με D=50mm και L_p = 2000mm



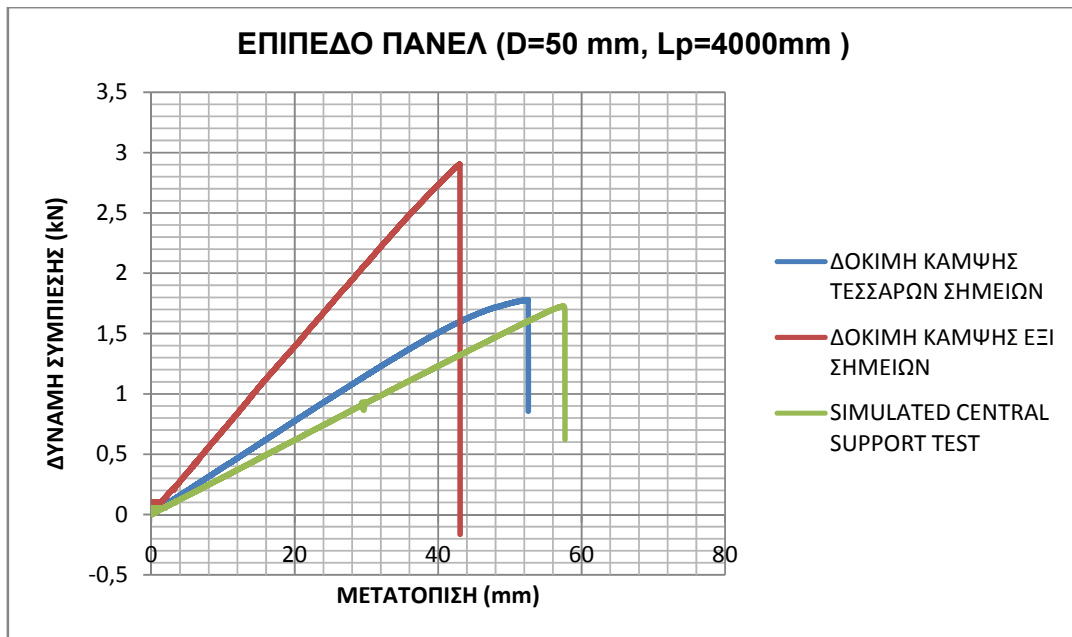
ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,L_p=2000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	4005,32	4175,59	A,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	5897,92	6253,95	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	3307,35	3352	A,C

8.Επίπεδο Πάνελ με D=50mm και $L_p = 3000\text{mm}$



ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,$L_p=3000\text{mm}$)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	1876,49	2075,04	Α,Β,С
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	4195,92	4629,72	В,С
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	1970,45	2025,1	Α,С

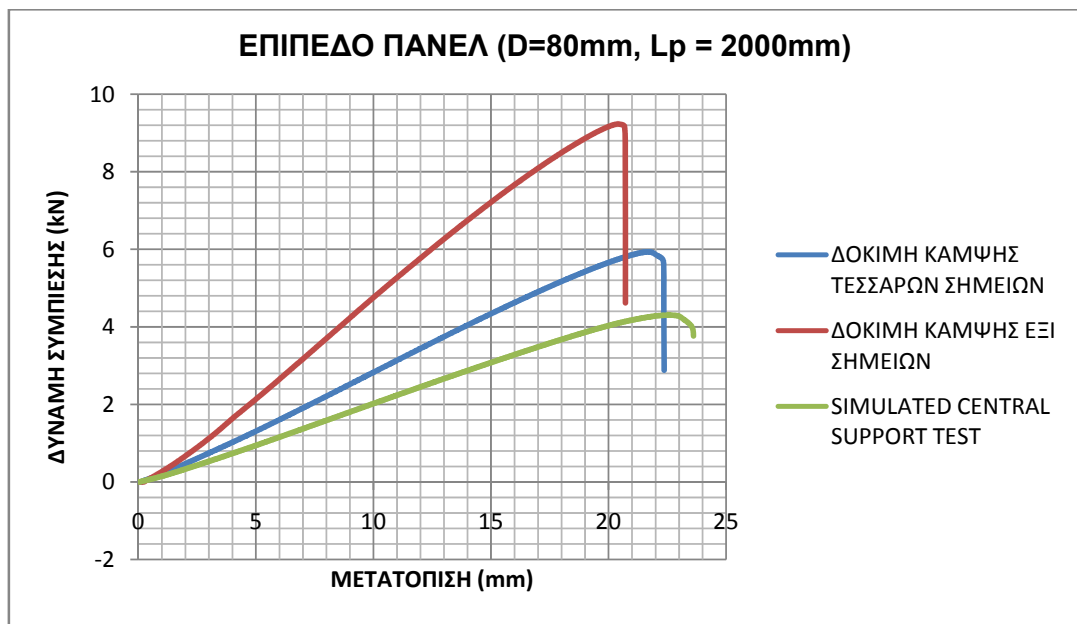
9.Επίπεδο Πάνελ με D=50mm και $L_p = 4000\text{mm}$



ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =50mm ,Lp=4000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	1779,85	1999,26	B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	2904,67	3426,85	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	1726,16	1770,8	B,C

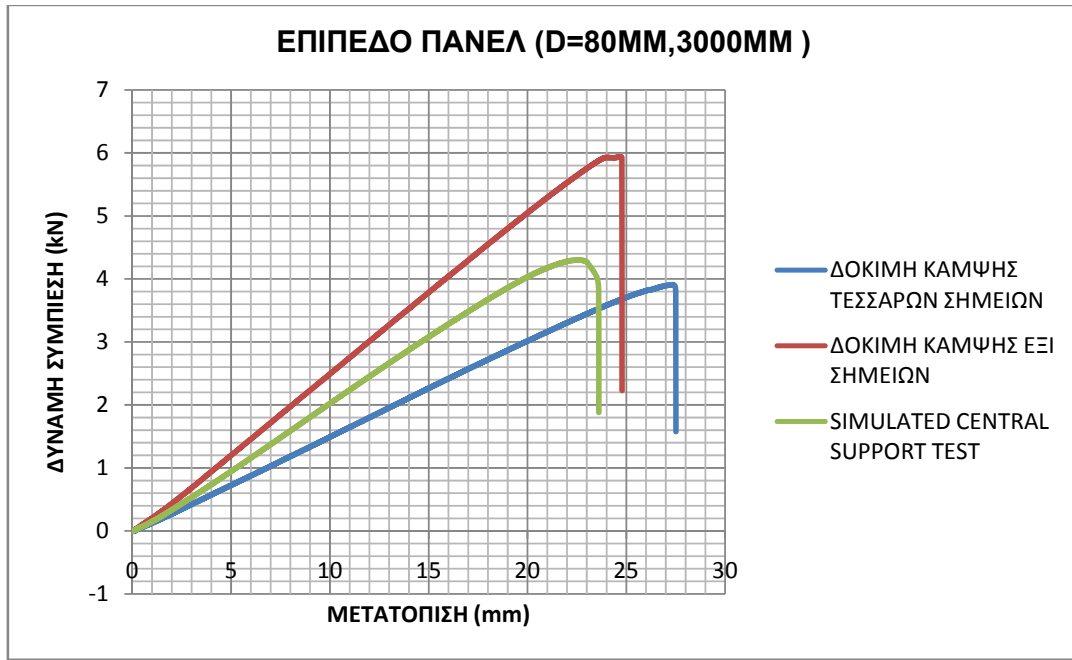
10.Επίπεδο Πάνελ με D=80mm και L_p = 2000mm

ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =80mm ,Lp=2000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	5932,81	6103,08	A,B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	9234,79	9590,82	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	4300,62	4345,2	B,C

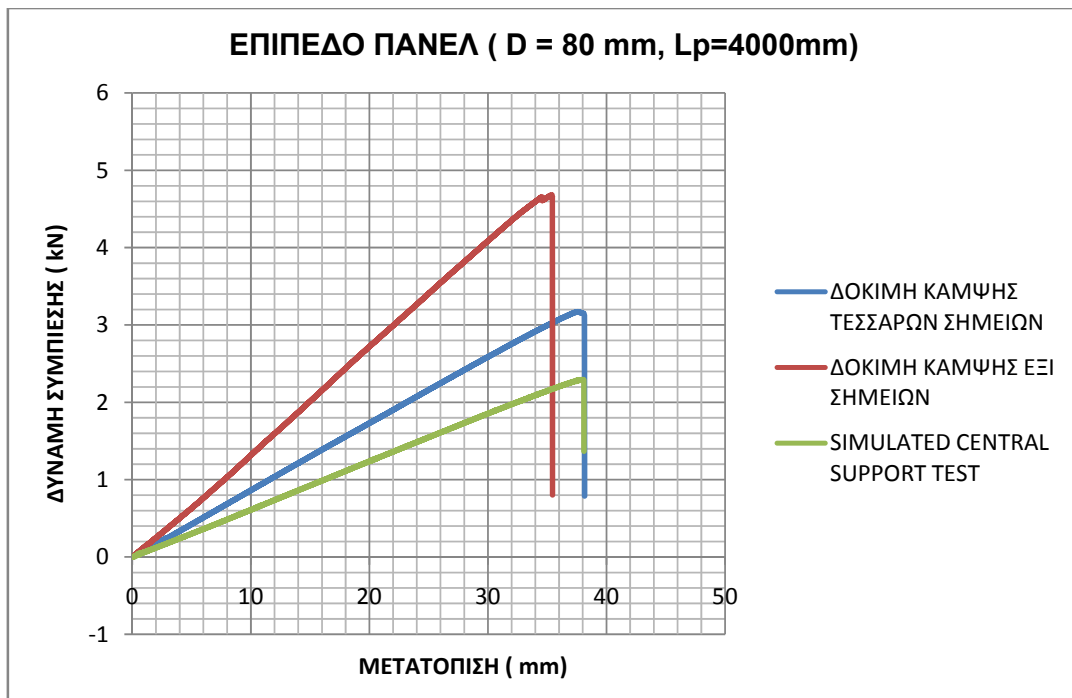


11.Επίπεδο Πάνελ με D=80mm και L_p = 3000mm

ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =80mm ,Lp=3000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	3906	4104,55	C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	5938,18	6371,98	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	2724,80	2769,4	A,C

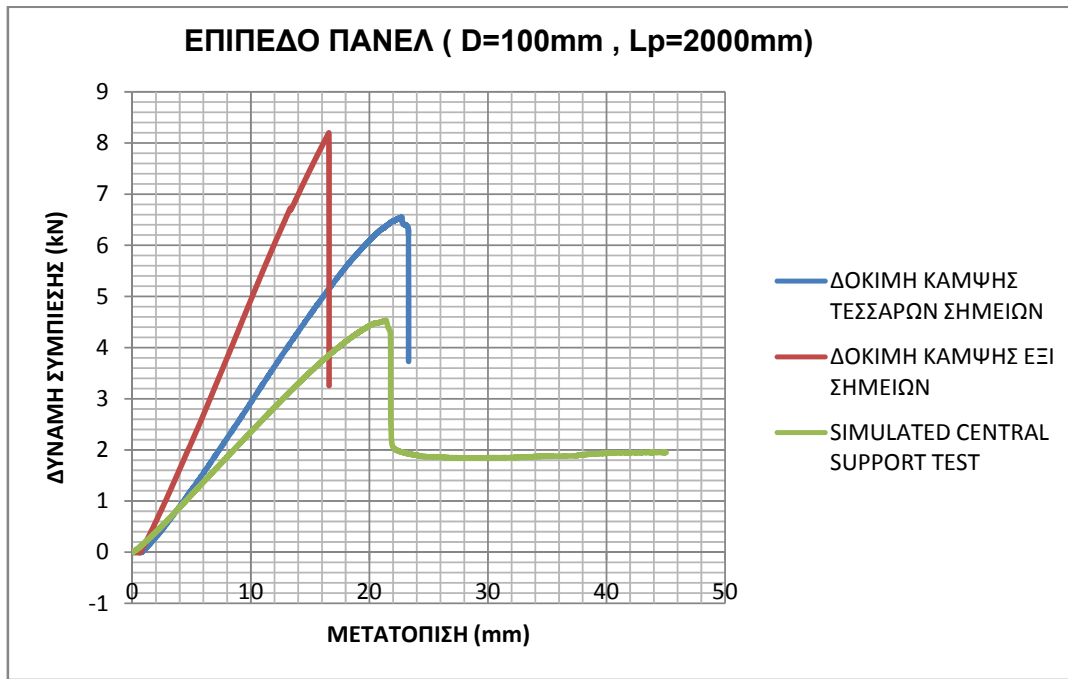


12. Επίπεδο Πάνελ με D=80mm και $L_p = 4000mm$



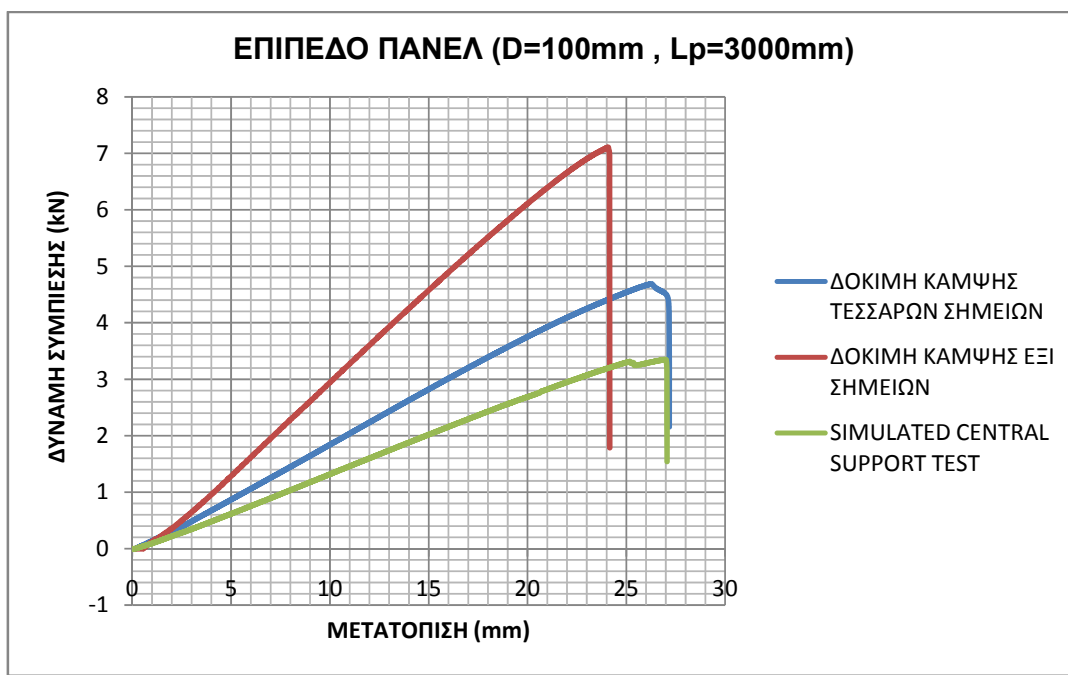
ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =80mm ,$L_p=4000mm$)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	3170,43	3390,19	B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	4681,82	5203,99	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	2292,59	2337,2	B,C

13.Επίπεδο Πάνελ με $D=100\text{mm}$ και $L_p = 2000\text{mm}$



ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ ($D = 100\text{mm}$, $L_p=2000\text{mm}$)			
ΔΟΚΙΜΗ	F_{max}	F_u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	6550,26	6720,53	A,B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	8198,56	8554,59	A,B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	4531,49	4576,1	A,B,C

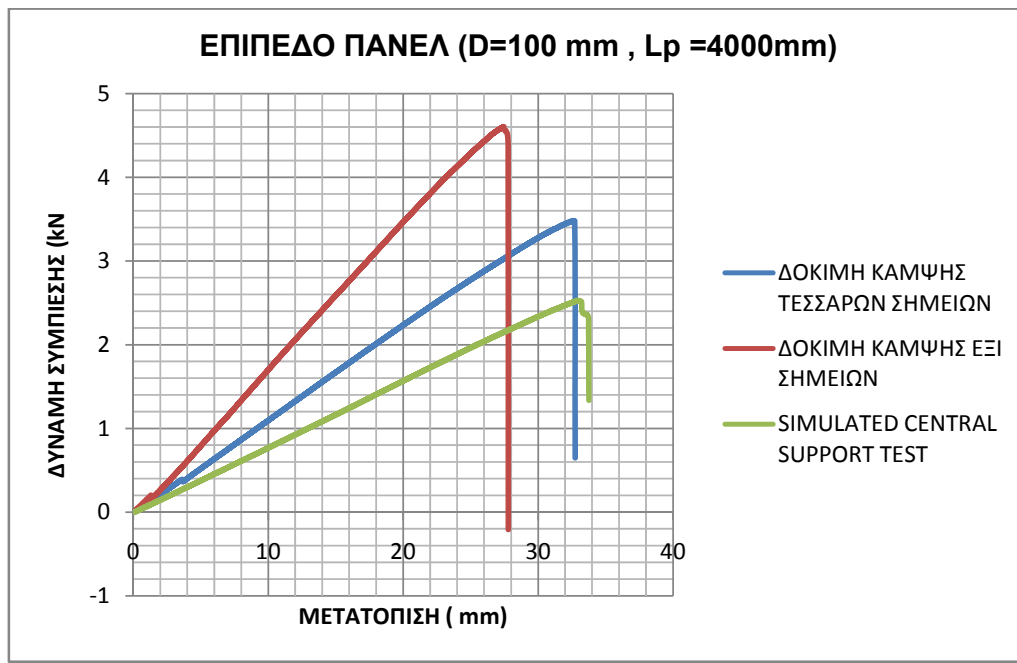
14.Επίπεδο Πάνελ με $D=100\text{mm}$ και $L_p = 3000\text{mm}$



ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =100mm ,Lp=3000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	4687,19	4885,74	A,B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	7108,64	7542,44	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	3347,61	3992,2	A,B,C

15.Επίπεδο Πάνελ με D=100mm και L_p = 4000mm

ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΑΝΕΛ (D =100mm ,Lp=4000mm)			
ΔΟΚΙΜΗ	F _{max}	F _u	ΑΣΤΟΧΙΑ
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	3481,84	3701,6	B,C
ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΜΨΗΣ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	4603,97	5126,15	B,C
SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	2528,83	2573,5	B,C



Από τα παραπάνω διαγράμματα και πίνακες, παρατηρείται ότι όλα τα πάνελ (ανεξαρτήτως πάχους , μήκους και προφίλ) παρουσιάζουν ομοιότητες στη μηχανική τους αντοχή και σχετική ομοιομορφία στον τρόπο αστοχίας τους κατά την καταπόνηση σε κάμψη σε διαφορετικούς τρόπους στήριξης. Συγκεκριμένα όλα τα πάνελ παρουσιάζουν έντονη και μεγάλης διάρκειας ελαστική συμπεριφορά έως ότου επέλθει ο τοπικός λυγισμός που αντιστοιχεί με την δημιουργία των πρώτων πτυχώσεων (wrinkling) στην εξωτερική επένδυση με φύλλο χάλυβα (σημείο που αντιστοιχεί στο πρώτο μέγιστο της καμπύλης φορτίου μετατόπισης).

5.9 Πίνακας Αστοχιών

Στον Πίνακα 5.41 καταγράφονται συνολικά οι τρόποι αστοχίας των δοκιμίων – πάνελ που μελετήσαμε.

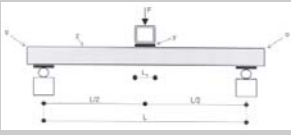
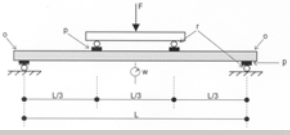
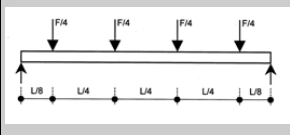
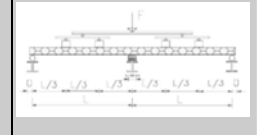
Γενικά , επιβεβαιώσαμε πειραματικά τους εξής τρόπους αστοχίας :

- 1) Διάτμηση του πυρήνα (Συμβολισμός A) .Εμφανίστηκε στα 14 από τα 45 δοκίμια.
- 2) Αποκόλληση της εξωτερικής επένδυσης φύλλου χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης (Συμβολισμός B) .Εμφανίστηκε στα 33 από τα 45 δοκίμια.
- 3) Εμφάνιση πτυχώσεων στο φύλλο χάλυβα (Συμβολισμός C) .Εμφανίστηκε σε όλα τα δοκίμια

Παρατηρήσεις -Συμπεράσματα

- Παρατηρούμε ότι κατά την δοκιμή κάμψης έξι σημείων η διάτμηση του πυρήνα είναι σπάνιο φαινόμενο. Σε συνδυασμό της παρατήρησης αυτής με το γεγονός ότι σε κανένα από τα δύο δοκίμια που καταπονήθηκαν σε κάμψη επτά σημείων δεν εμφανίστηκε διάτμηση του πυρήνα , καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διέγερση της κατανομής του φορτίου βελτιώνει την απόδοση του πάνελ όσον αφορά τις μηχανικές του αντοχές αφού επιτυγχάνει μείωση των διατμητικών τάσεων.

- Σε όλα τα δοκίμια –πάνελ έχουμε την εμφάνιση του φαινομένου του τοπικού λυγισμού και κατ'επέκτασιν την δημιουργία πτυχώσεων στο φύλλο χάλυβα.

Τύπος Πάνελ Πάχος D (mm) Μήκος Lp(mm)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ			
	SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	ΚΑΜΨΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΨΗ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΨΗ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ
				
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ				
ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ F _{max} (N)				
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=2000mm	B,C	C	A,B,C	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=3000mm	C	C	C	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=4000mm	B,C		B,C	C
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=2000mm	C	A,B,C	B,C	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=3000mm	C	A,B,C	B,C	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=4000mm	B,C		B,C	B,C
Επίπεδο D= 50 mm Lp=2000mm	A,C	A,C	B,C	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=3000mm	A,C	A,B,C	B,C	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=4000mm	B,C	B,C	B,C	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=2000mm	B,C	A,B,C	B,C	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=3000mm	A,C	C	B,C	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=4000mm	B,C	B,C	B,C	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=2000mm	A,B,C	A,B,C	A,B,C	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=3000mm	A,B,C	A,B,C	B,C	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=4000mm	B,C	B,C	B,C	

Πίνακας 5.41: Σύγκριση τρόπου αστοχίας των δοκιμών –πάνελ που μελετήσαμε.

5.10 Κατασκευή Πινάκα Επιτρεπόμενων Φορτίων (Load Table)

5.10.1 Μελέτη του υλικού ως προς την ομοιομορφία των μηχανικών του ιδιοτήτων

Όπως προαναφέρθηκε στην Παρ.4.2 , τα σύνθετα πάνελ με πυρήνα πολουρεθάνης και εξωτερική επένδυση από χάλυβα , παράγονται σε σταθερό πλάτος $B=1000$ mm .Παρ'όλα αυτά το μη ικανοποιητικό πλάτος του ανοίγματος της μηχανής Instron (Συγκεκριμένα , το πλάτος μεταξύ κάθετων πυλώνων του πλαισίου της μηχανής Instron , είναι 55 mm), μας ανάγκασε να μελετήσουμε πάνελ μικρότερου πλάτους.

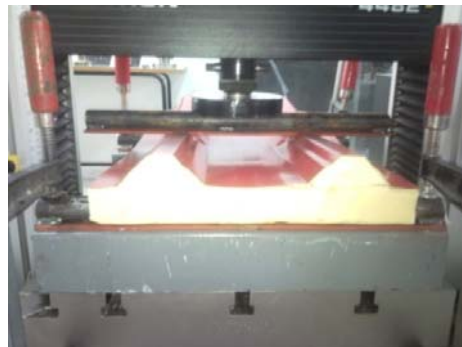
Η ανάγκη για αναγωγή των μέγιστων επιτρεπτών ορίων των πάνελ που καθορίσαμε ,και αφορούσαν πάνελ πλάτους $B=500$ mm , στα πάνελ πλάτους $B=1000$ mm (Το πλάτος μας ώθησαν στην μελέτη του σύνθετου πάνελ ως προς την ομοιομορφία των μηχανικών του ιδιοτήτων.

Η συνύπαρξη του συμπαγή πυρήνα πολουρεθάνης και της εξωτερικής επένδυσης χάλυβα, υλικά με σταθερές μηχανικές ιδιότητες, μας οδήγησαν στο να υποθέσουμε, ότι το σύνθετο πάνελ σάντουιτς ,έχει ομοιόμορφη συμπεριφορά κατά μήκος και πλάτος , ιδιότητα που εξετάσαμε πειραματικά στο Εργαστήριο του Ε.Μ.Π.

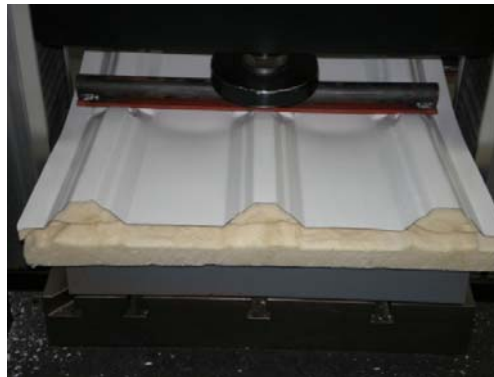
Για την μελέτη της ομοιομορφίας , καταπονήσαμε με simulated central support test ,επίπεδα και τραπεζοειδή πάνελ.

Συγκεκριμένα:

1. Καταπόνηση με simulated central support test ,τραπεζοειδή πάνελ μήκους 600 mm και πλάτους 200mm ,400mm και 600mm(Σχήμα 5.51)



Σχήμα 5.51 : Καταπόνηση με simulated central support test ,τραπεζοειδών πάνελ μήκους 600 mm και πλάτους 200mm ,400mm και 600mm
Τα αποτελέσματα της δοκιμής φαίνονται στον πίνακα 5.41.



ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	F_{max} (N)	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
40	200	600	2534	
40	400	600	5109	$F_{max2} / F_{max1} \approx 2$
40	600	600	8948	$F_{max3} / F_{max1} \approx 3$

Πίνακας 5.42: Αποτελέσματα δοκιμών επαλήθευσης της ομοιομορφίας στη μηχανική συμπεριφορά ,των τραπεζοειδών πάνελ.

Από τον Πίνακα 5.42, παρατηρούμε ότι η μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται σε κάθε δοκίμιο είναι ανάλογη του πλάτους του και συνεπώς επαληθεύεται η ομοιομορφία στη μηχανική αντοχή του τραπεζοειδούς πάνελ. Αρα , έχοντας ως δεδομένες τις τιμές των μέγιστων δυνάμεων που απαιτούνται για την αστοχία των πάνελ πλάτους B=500 mm μπορούμε να κάνουμε εύκολα την αναγωγή και επομένως τον υπολογισμό των μέγιστων ορίων φόρτισης των τραπεζοειδών πάνελ πλάτους B=1000 mm. Η αναγωγή θα γίνεται με διπλασιασμό του F_{max} λαμβάνοντας υπόψη και το επιπλέον βάρος της διάταξης που θα απαιτείτο .Τα αποτελέσματα της αναγωγής καταγράφονται στον πίνακα 5.44.

2.Καταπόνηση με simulated central support test ,επίπεδων πάνελ μήκους 600 mm και πλάτους 250mm και 500mm(Σχήμα 5.52)



Σχήμα 5.52 : Καταπόνηση με simulated central support test ,επίπεδων πάνελ μήκους 600 mm και πλάτους 200mm και 400mm
Τα αποτελέσματα της δοκιμής φαίνονται στον πίνακα 5.42..

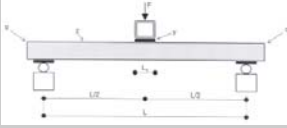
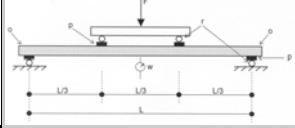
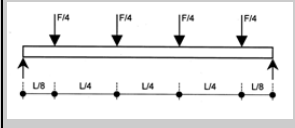
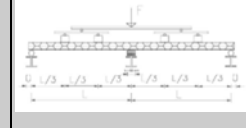
ΠΑΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (mm)	F_{max} (N)	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
50	200	600	2199	
50	400	600	5369	$F_{max2} / F_{max1} \approx 2$

Πίνακας 5.43: Αποτελέσματα δοκιμών επαλήθευσης της ομοιομορφίας στη μηχανική συμπεριφορά ,των επίπεδων πάνελ.

Από τον Πίνακα 5.43, παρατηρούμε ότι η μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται σε κάθε δοκίμιο είναι ανάλογη του πλάτους του και συνεπώς επαληθεύεται η ομοιομορφία στη μηχανική αντοχή του τραπεζοειδούς πάνελ. Αρα , έχοντας ως δεδομένες τις τιμές των μέγιστων δυνάμεων που απαιτούνται για την αστοχία των πάνελ πλάτους B=500 mm μπορούμε να κάνουμε εύκολα την αναγωγή και επομένως τον υπολογισμό των μέγιστων φορτίων των επίπεδων πάνελ πλάτους B=1000 mm. Η αναγωγή θα γίνεται με διπλασιασμό του F_{max} λαμβάνοντας υπόψη και το επιπλέον βάρος της διάταξης που θα απαιτείτο .Τα αποτελέσματα της αναγωγής καταγράφονται στον πίνακα 5.44.

5.10.2 Πίνακας Κρίσιμου Φορτίου Δημιουργίας Πτυχώσεων

Μετά την αναγωγή των τιμών των υπολογισθέντων F_{max} , για τις δοκιμές κάμψης τεσσάρων ,έξι και επτά σημείων καθώς και της δοκιμής Simulated Central Support Test, σύμφωνα με τον τρόπο που καταγράφηκε στο Κεφ. 5.8.1 , κατασκευάζουμε τον πίνακα 5.44.

Τύπος Πάνελ Πάχος D (mm) Μήκος Lp(mm)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ			
	SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST 	ΚΑΜΦΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ 	ΚΑΜΦΗ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ 	ΚΑΜΦΗ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ 
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ				
Κρίσιμο Φορτίο Δημιουργίας Πτυχώσεων F_{max} (N)				
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=2000mm	L=1865mm L/2 =932,5 mm $F_{max} = 6229,78 \text{ N}$	L= 1855 mm L/3 = 618 ,33 $F_{max} = 7804 ,64 \text{ N}$	L=1845 mm L/4 =461,25, L/8=230,25 $F_{max} = 12656,68 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 =1430 mm $F_{max} = 3813,7 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{max} = 6338,9 \text{ N}$	L= 2860 mm L/4 = 715 , L/8 =357,5 $F_{max} = 8678,2 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{max} = 3040,56 \text{ N}$		L= 3850 mm L/4 =962,5 , L/8 =481,25 $F_{max} = 7523,86 \text{ N}$	L= 3850 mm L/3 =1283,33mm $F_{max} = 22133,08 \text{ N}$
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=2000mm	L= 1860 mm L/2 = 930 mm $F_{max} = 11078,04 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm $F_{max} = 16991,1 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 = 462,5, L/8 =231,25 $F_{max} = 24957,2 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=3000mm	L=2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{max} = 7711,64 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{max} = 12325 ,4 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 = 712,5, L/8 =356,25 $F_{max} =18782,78 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=4000mm	L=3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{max} = 4296,92 \text{ N}$		L= 3870 mm L/4 =967,5 , L/8 =483,75 $F_{max} = 8291,64 \text{ N}$	L= 3850 mm L/3 = 1283,33 mm $F_{max} = 22594,82 \text{ N}$
Επίπεδο D= 50 mm Lp=2000mm	L= 1840 mm L/2 = 920 mm $F_{max} = 6659,32 \text{ N}$	L= 1860 mm L/3 = 620 mm $F_{max} = 8099,94 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 =462,5 , L/8 = 231,25 $F_{max} = 11937,24 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=3000mm	L= 285,5 mm L/2 = 1427,5 mm $F_{max} = 3985,52 \text{ N}$	L= 2845 mm L/3 = 948,33 mm $F_{max} = 3842,28 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 = 712,5 , L/8= 356,25 $F_{max} = 8533,24 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=4000mm	L= 3865 mm L/2 = 1932,5 mm $F_{max} = 3496,94 \text{ N}$	L=3845 mm L/3 =1281,67 mm $F_{max} = 3649 \text{ N}$	L= 3855 mm L/4 = 963,75,L/8 =481,88 $F_{max} = 5950,74 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=2000mm	L= 1865 mm L/2 =932,5 mm $F_{max} = 8645,86 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616 ,67 mm $F_{max} = 11954 ,92 \text{ N}$	L= 1845 mm L/4 = 461,25,L/8 =230,63 $F_{max} = 18610,98 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{max} = 5494,22 \text{ N}$	L= 2855 mm L/3 = 951,67 mm $F_{max} = 7901,3 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 =712,5 , L/8 =356,25 $F_{max} = 12017,76 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{max} = 4629,8 \text{ N}$	L=3845 mm L/3 = 1281,67 mm $F_{max} = 6430,16 \text{ N}$	L= 3850 mm L/4 = 962,5,L/8 =481,25 $F_{max} = 9505,04 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=2000mm	L= 1870 mm L/2 = 935 mm $F_{max} = 9107 ,6 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm $F_{max} = 13189,82 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 = 462,5 , L/8 =231,25 $F_{max} =16538,52 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{max} = 6739,84 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{max} = 9463,68 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 =712,5, L/8 =356,25 $F_{max} = 14358,68 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{max} = 5102 ,28 \text{ N}$	L= 3845 mm L/3 = 1281,67 mm $F_{max} = 7052,98 \text{ N}$	L= 3850 mm L/4 = 962,5, L/8 =481,25 $F_{max} = 9349,34 \text{ N}$	

Πίνακας 5.44 : Κρίσιμο Φορτίο Δημιουργίας πτυχώσεων για Πάνελ Πλάτους B = 1000mm

5.10.3. Πίνακας Ασφαλών Ορίων Φόρτισης (Επιτρεπόμενα Φορτία) – Συσχέτιση με τρόπο στήριξης των πανέλ

Τα επιτρεπόμενα φορτία των θερμομονωτικών πανέλων πολυουρεθάνης είναι εξαιρετικά χρήσιμα για τον μηχανικό της πράξης, ο οποίος συνεκτιμώντας τα μεγέθη και το είδος των φορτίων στα οποία καλείται να αντεπεξέλθει μια κατασκευή, επιλέγει τη γεωμετρία ,τη μορφή και τον τρόπο στήριξης των πανέλ που θα χρησιμοποιήσει.



Σχήμα 5.53 : Τοποθέτηση επίπεδων πανέλ πλαγιοκάλυψης . Στην προκειμένη περίπτωση ο κατασκευαστής έχει επιλέξει όπως η στήριξη γίνεται σε μηκίδες που απέχουν μεταξύ τους 1200mm. Στην εικόνα αυτή φαίνεται και η στήριξη των τραπεζοειδών πανέλων οροφής , σε τεγίδες που ισαπέχουν μεταξύ τους 1200mm.

Τα θερμομονωτικά πανέλ πολυουρεθάνης καλούνται να αντιμετωπίσουν μόνιμα (π.χ το ίδιο βάρος του πανέλ) και μεταβλητά φορτία , όπως είναι κυρίως η ανεμοπίεση , το χιόνι και το βάρος ενός η περισσότερων ανθρώπων. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 14509 , για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων φορτίων , στις προαναφερθείσες συνθήκες φόρτισης , χρησιμοποιούνται οι κάτωθι συντελεστές ασφαλείας :

- $\gamma_F = 1,35$ για τα μόνιμα φορτία ,με εξαίρεση την περίπτωση όπου η ύπαρξη τους αγνοείται ,όπως στη περίπτωση χρήσης των πανέλ , σε πλαγιοκάλυψη.Στην περίπτωση αυτή $\gamma_F = 1$
- $\gamma_F = 1,5$ για τα μεταβαλλόμενα φορτία

Ετσι , ο κατασκευαστής οφείλει να δώσει στον μηχανικό πράξης, τον πίνακα με τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία (Πίνακας 5.46). Επειτα , ο εκάστοτε

μηχανικός πράξης οφείλει να υπολογίσει με τη βοήθεια των παραπάνω συντελεστών ασφαλείας το φορτίο στο οποίο θα κληθεί να αντεπεξέλθει το πάνελ, βάσει του οποίου θα καταλήξει στο συμπέρασμα εάν το πάνελ τον ικανοποιεί ως δομικό υλικό . Πιο κάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα :

Παραδείγματος χάριν ένας κατασκευαστής μεταλλικών κτιρίων καλείται να αντιμετωπίσει μόνιμο φορτίο 25 kg (= 250N) και κινητό φορτίο 75 Kg (750 N).

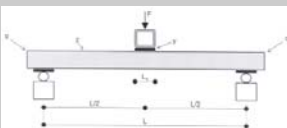
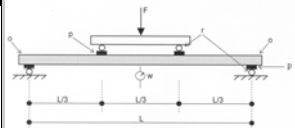
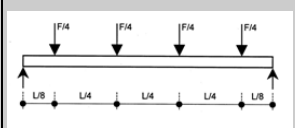
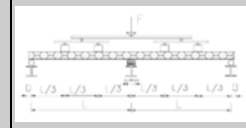
Με τη χρήση των συντελεστών ασφαλείας θα υπολογίσει το μέγιστο φορτίο (Ultimate load) το οποίο , ίσως καταπονήσει το πάνελ. Έτσι :

$$\text{Ultimate load} = 1,35 \times 250 \text{ N} + 1,50 \times 750 \text{ N} = 1462,5 \text{ N}$$

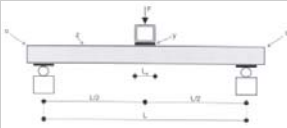
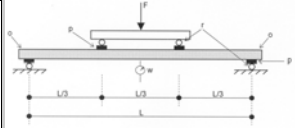
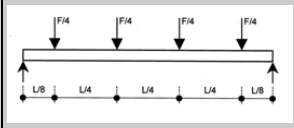
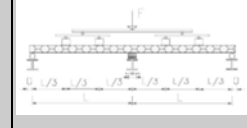
Έχοντας την τιμή του ultimate load , ο κατασκευαστής μπορεί να κατατρέξει στον πίνακα με τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία (Ultimate limit state), βάση του οποίου θα επιλέξει το πάνελ που θα χρησιμοποιήσει.

Στον πίνακα 5.44 καταγράφονται οι τιμές της δύναμης στο σημείο διαρροής (F_{yielding}) από την ελαστική περιοχή στην πλαστική,για τα πάνελς που μελετήσαμε πλάτους B=500mm.

Στις συνέχεια οι τιμές αυτές ,αφού πολλαπλασιαστούν με ένα συντελεστή ασφαλείας (partial safety factor = 0,9) , ανάγονται με τον προαναφερθέν τρόπο (πολλαπλασιάζονται επί δύο , και προστίθεται στην τιμή που προκύπτει , το επιπλέον βάρος της διάταξης που απαιτείτο), στις τιμές που αφορούν το πάνελ πλάτους B=1000mm. Οι τιμές που προκύπτουν αποτελούν το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο ($F_{\text{u.limit}}$) για τα πάνελ και καταγράφονται στον τελικό πίνακα 5.46 (load table).

Τύπος Πάνελ Πάχος D (mm) Μήκος Lp(mm)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ			
	SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	ΚΑΜΦΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΦΗ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΦΗ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ
				
	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ			
	ΦΟΡΤΙΟ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ $F_{yielding}$			
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=2000mm	L=1865mm L/2 =932,5 mm $F_{yielding} = 3092,58 \text{ N}$	L= 1855 mm L/3 = 618 ,33 $F_{yielding} = 3468,42 \text{ N}$	L=1845 mm L/4 =461,25, L/8=230,25 $F_{yielding} = 5234,84 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 =1430 mm $F_{yielding} = 1884,54 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{yielding} = 2601,31 \text{ N}$	L= 2860 mm L/4 = 715 , L/8 =357,5 $F_{yielding} = 3645,6 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{yielding} = 1497 ,97 \text{ N}$		L= 3850 mm L/4 =962,5 , L/8 =481,25 $F_{yielding} = 3599,96 \text{ N}$	L= 3850 mm L/3 =1283,33mm $F_{yielding} = 5769,06 \text{ N}$
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=2000mm	L= 1860 mm L/2 = 930 mm $F_{yielding} = 3565,06 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm $F_{yielding} = 6206,64 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 = 462,5, L/8 =231,25 $F_{yielding} = 9293,85 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=3000mm	L=2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{yielding} = 3645,6 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{yielding} = 5497,92 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 = 712,5, L/8 =356,25 $F_{yielding} = 8262,99 \text{ N}$	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=4000mm	L=3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{yielding} = 2126,15 \text{ N}$		L= 3870 mm L/4 =967,5 , L/8 =483,75 $F_{yielding} = 4035 \text{ N}$	L= 3850 mm L/3 = 1283,33 mm $F_{yielding} = 8010,64 \text{ N}$
Επίπεδο D= 50 mm Lp=2000mm	L= 1840 mm L/2 = 920 mm $F_{yielding} = 2845,61 \text{ N}$	L= 1860 mm L/3 = 620 mm $F_{yielding} = 2504,67 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 =462,5 , L/8 = 231,25 $F_{yielding} = 5379,8 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=3000mm	L= 285,5 mm L/2 = 1427,5 mm $F_{yielding} = 1865,75 \text{ N}$	L= 2845 mm L/3 = 948,33 mm $F_{yielding} = 1119 ,45 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 = 712,5 , L/8= 356,25 $F_{yielding} = 4170 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=4000mm	L= 3865 mm L/2 = 1932,5 mm $F_{yielding} = 1664,41 \text{ N}$	L=3845 mm L/3 =1281,67 mm $F_{yielding} = 1100,66 \text{ N}$	L= 3855 mm L/4 = 963,75, L/8 =481,88 $F_{yielding} = 2830 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=2000mm	L= 1865 mm L/2 =932,5 mm $F_{yielding} = 3986,53 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616 ,67 mm $F_{yielding} = 4579 ,81 \text{ N}$	L= 1845 mm L/4 = 461,25, L/8 =230,63 $F_{yielding} = 7041,53 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{yielding} = 2679,17 \text{ N}$	L= 2855 mm L/3 = 951,67 mm $F_{yielding} = 3414 ,73 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 =712,5 , L/8 =356,25 $F_{yielding} = 5355,64 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{yielding} = 2201,32 \text{ N}$	L=3845 mm L/3 = 1281,67 mm $F_{yielding} = 2824,13 \text{ N}$	L= 3850 mm L/4 = 962,5, L/8 =481,25 $F_{yielding} = 4520,75 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=2000mm	L= 1870 mm L/2 = 935 mm $F_{yielding} = 3782,51 \text{ N}$	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm $F_{yielding} = 4518,07 \text{ N}$	L= 1850 mm L/4 = 462,5 , L/8 =231,25 $F_{yielding} = 6544,89 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm $F_{yielding} = 3299,29 \text{ N}$	L= 2850 mm L/3 = 950 mm $F_{yielding} = 3363,72 \text{ N}$	L= 2850 mm L/4 =712,5, L/8 =356,25 $F_{yielding} = 5347,59 \text{ N}$	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm $F_{yielding} = 2523 ,46 \text{ N}$	L= 3845 mm L/3 = 1281,67 mm $F_{yielding} = 2923 ,46 \text{ N}$	L= 3850 mm L/4 = 962,5, L/8 =481,25 $F_{yielding} = 4095,32 \text{ N}$	

Πίνακας 5.45 : Φορτίο στο σημείο Διαρροής για Πάνελ Πλάτους B = 500mm

Τύπος Πάνελ Πάχος D (mm) Μήκος Lp(mm)	ΕΙΔΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ			
	SIMULATED CENTRAL SUPPORT TEST	ΚΑΜΨΗ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΨΗ ΕΞΙ ΣΗΜΕΙΩΝ	ΚΑΜΨΗ ΕΠΤΑ ΣΗΜΕΙΩΝ
				
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ				
ΑΣΑΦΕΛΕΣ ΟΡΙΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ F _{u,limit} (N)				
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=2000mm	L=1865mm L/2 =932,5 mm F _{u,limit} =5611,264 N	L= 1855 mm L/3 = 618 ,33 F _{u,limit} = 6332,456 N	L=1845 mm L/4 =461,25, L/8=230,25 F _{u,limit} = 9564,112 N	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 =1430 mm F _{u,limit} = 3436,792 N	L= 2850 mm L/3 = 950 mm F _{u,limit} = 4771,658 N	L= 2860 mm L/4 = 715 , L/8 =357,5 F _{u,limit} = 6703,48 N	
Τραπεζοειδή D= 40 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm F _{u,limit} = 2740,966 N		L= 3850 mm L/4 =962,5 , L/8 =481,25 F _{u,limit} = 6621,328 N	L= 3850 mm L/3 =1283,33mm F _{u,limit} = 10525,71 N
Τραπεζοειδή D= 50 mm	L= 1860 mm L/2 = 930 mm F _{u,limit} = 6461,72 N	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm F _{u,limit} = 6461,728 N	L= 1850 mm L/4 = 462,5, L/8 =231,25 F _{u,limit} = 11261,25 N	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=3000mm	L=2860 mm L/2 = 1430 mm F _{u,limit} = 6606,7 N	L= 2850 mm L/3 = 950 mm F _{u,limit} = 9985,556 N	L= 2850 mm L/4 = 712,5, L/8 =356,25 F _{u,limit} = 15014,78 N	
Τραπεζοειδή D= 50 mm Lp=4000mm	L=3860 mm L/2 = 1930 mm F _{u,limit} = 3871,69 N		L= 3870 mm L/4 =967,5 , L/8 =483,75 F _{u,limit} = 7404,4 N	L= 3850 mm L/3 = 1283,33 mm F _{u,limit} = 14560,55 N
Επίπεδο D= 50 mm Lp=2000mm	L= 1840 mm L/2 = 920 mm F _{u,limit} = 5166,718 N	L= 1860 mm L/3 = 620 mm F _{u,limit} = 4597,706 N	L= 1850 mm L/4 =462,5 , L/8 = 231,25 F _{u,limit} = 9825,04 N	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=3000mm	L= 285,5 mm L/2 = 1427,5 mm F _{u,limit} = 3402,97 N	L= 2845 mm L/3 = 948,33 mm F _{u,limit} = 2104,31 N	L= 2850 mm L/4 = 712,5 , L/8 = 356,25 F _{u,limit} = 7647,4 N	
Επίπεδο D= 50 mm Lp=4000mm	L= 3865 mm L/2 = 1932,5 mm F _{u,limit} = 3040,558 N	L=3845 mm L/3 =1281,67 mm F _{u,limit} = 2070,488 N	L= 3855 mm L/4 = 963,75,L/8 =481,88 F _{u,limit} = 5235,4 N	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=2000mm	L= 1865 mm L/2 =932,5 mm F _{u,limit} = 7220,374 N	L= 1850 mm L/3 = 616 ,67 mm F _{u,limit} = 8332,958 N	L= 1845 mm L/4 = 461,25,L/8 =230,63 F _{u,limit} = 12816,15 N	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm F _{u,limit} = 4867,126 N	L= 2855 mm L/3 = 951,67 mm F _{u,limit} = 6235,814 N	L= 2850 mm L/4 =712,5 , L/8 =356,25 F _{u,limit} = 9781,552 N	
Επίπεδο D= 80 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm F _{u,limit} = 4006,996 N	L=3845 mm L/3 = 1281,67 mm F _{u,limit} = 5172,734 N	L= 3850 mm L/4 = 962,5,L/8 =481,25 F _{u,limit} = 8294,95 N	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=2000mm	L= 1870 mm L/2 = 935 mm F _{u,limit} = 6853,138 N	L= 1850 mm L/3 = 616,67 mm F _{u,limit} = 8221,826 N	L= 1850 mm L/4 = 462,5 , L/8 =231,25 F _{u,limit} = 11922,2 N	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=3000mm	L= 2860 mm L/2 = 1430 mm F _{u,limit} = 5983,342 N	L= 2850 mm L/3 = 950 mm F _{u,limit} = 6143,996 N	L= 2850 mm L/4 =712,5, L/8 =356,25 F _{u,limit} = 9767,062 N	
Επίπεδο D= 100 mm Lp=4000mm	L= 3860 mm L/2 = 1930 mm F _{u,limit} = 4586,848 N	L= 3845 mm L/3 = 1281,67 mm F _{u,limit} =5351,528 N	L= 3850 mm L/4 = 962,5, L/8 =481,25 F _{u,limit} = 7350,976 N	

Πίνακας 5.46 : Ασφαλή όρια φόρτισης για Πάνελ Πλάτους B = 1000mm

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στοχεύοντας στον προσδιορισμό της αντοχής των δομικών πάνελ τύπου σάντουιτς και λόγω έλλειψης κατάλληλης αναλυτικής μεθόδου υπολογισμού οργανώσαμε μια σειρά από πειράματα που καλύπτουν τις πιθανές εφαρμογές των υλικών αυτών στην πράξη.

Θεωρητικά η μηχανική αντοχή του συγκεκριμένου είδους υλικών εξαρτάται από:

- Το υλικό της εξωτερικής επένδυσης και του πυρήνα
- Την ποιότητα της σύνδεσης μεταξύ τους
- Τη γεωμετρία τους
- Τον τρόπο στήριξης του πάνελ στην κατασκευή

Τα πειράματα αφορούσαν δοκιμές κάμψης με δύο (στα άκρα) ή τρεις στηρίξεις (δύο στα άκρα και μία στο κέντρο).

Η πειραματική μελέτη και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της, έδειξαν ότι τα σύνθετα πάνελ παρουσιάζουν γραμμικότητα στην αύξηση του φορτίου καθώς και ομοιομορφία στις μορφές αστοχίας ανεξαρτήτως των διαστάσεων και του σχήματος της διατομής τους.

Συγκεκριμένα όλα τα πάνελ παρουσιάζουν έντονη και μεγάλης διάρκειας ελαστική συμπεριφορά έως ότου επέλθει ο τοπικός λυγισμός που αντιστοιχεί στην δημιουργία των πρώτων πτυχώσεων (wrinkling) στην εξωτερική επένδυση με φύλλο χάλυβα (σημείο που αντιστοιχεί στο πρώτο μέγιστο της καμπύλης φορτίου μετατόπισης).

Από τις εννέα συνολικά μορφές αστοχίας που καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία, επιβεβαιώθηκαν οι εξής τρεις:

- 1) Διάτμηση του πυρήνα .
- 2) Αποκόλληση της εξωτερικής επένδυσης φύλλου χάλυβα από τον πυρήνα πολυουρεθάνης .
- 3) Εμφάνιση πτυχώσεων στο φύλλο χάλυβα .

Πιο συγκεκριμένα,

- Σε όλα τα δοκίμια εμφανίστηκαν πτυχώσεις (wrinkling) ο σχηματισμός των οποίων αντιστοιχεί πάντοτε στο σημείο δημιουργίας του πρώτου μεγίστου (εάν υπάρχουν περισσότερα από ένα) στην καμπύλη φορτίου – μετατόπισης (load – deflection curve). Η εμφάνιση τους οφείλεται στον τοπικό λυγισμό που δημιουργείται λόγω του μεγάλου καμπτικού φορτίου που καταπονεί τα πάνελς. Συγκεκριμένα, όσο παραπάνω καταπονείται το πάνελ, δημιουργούνται μεγαλύτερες διατμητικές τάσεις στον πυρήνα, ενώ ένα ζεύγος δυνάμεων που προέρχονται από τη ροπή κάμψης, ασκούνται στην άνω και κάτω επένδυση προκαλώντας τον τοπικό λυγισμό του χάλυβα και κατ'επέκταση την δημιουργία πτυχώσεων.

- Η διάτμηση του πυρήνα (εμφανίστηκε στα 14 από τα 45 δοκίμια), καθώς και η πολύ συχνή εμφάνιση του φαινομένου της αποκόλλησης του φύλλου χάλυβα, (εμφανίστηκε στα 33 από τα 45 δοκίμια), οφείλονται στις μεγάλες διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται. Αυτό επιβεβαιώθηκε

πειραματικά αφού τα αποτελέσματα των υπολογισμών, μας έδειξαν ότι η παραμόρφωση λόγω διάτμησης είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την παραμόρφωση λόγω κάμψης σε όλα τα δοκίμια, με εξαίρεση το πάνελ πάχους 40 mm και μήκους 3000 mm το οποίο καταπονήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων, και δεν εμφάνισε διάτμηση πυρήνα αλλά ούτε αποκόλληση της επιφάνειας του χάλυβα, καθώς η αστοχία επήλθε λόγω καμπτικής παραμόρφωσης.

- Εάν συγκρίνουμε την αστοχία μεταξύ των δοκιμών που καταπονήθηκαν σε κάμψη παρατηρούμε ότι όσο πιο πολύ κατανέμεται η δύναμη που ασκείται πάνω στο πάνελ, τόσο ελαττώνεται η ύπαρξη των φαινομένων διάτμησης του πυρήνα και αποκόλλησης του φύλλου χάλυβα (βλ. Πίνακα 5.40). Η παρατήρηση αυτή, σε συνδυασμό με το προηγούμενο συμπέρασμα (ότι δηλαδή η εμφάνιση των αστοχιών αυτών οφείλεται στις ισχυρές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται), μας οδηγεί στο εξής : *Η διεύρυνση της κατανομής του φορτίου βελτιώνει την απόδοση του πάνελ όσον αφορά τις μηχανικές του αντοχές αφού επιτυγχάνει μείωση των διατμητικών τάσεων.*

Επιγραμματικά θα λέγαμε ότι :

- Η αντοχή των πάνελ σε κάμψη, είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους τους και ανάλογη του πάχους τους,
- Η διαμόρφωση του φύλλου χάλυβα στα τραπεζοειδή πάνελ προσδίδει σε αυτά ιδιαίτερα βελτιωμένες μηχανικές αντοχές.
- Η πρόσθεση ενδιάμεσης στήριξης αυξάνει σημαντικά την αντοχή σε κάμψη (βλ. σύγκριση επιτρεπόμενων φορτίων πάνελ που καταπονήθηκαν σε δοκιμή κάμψης έξι και επτά σημείων αντίστοιχα , από τον Πίνακα 5.45.)
- Τα σύνθετα πάνελ λόγω ομοιογένειας υλικού και λόγω εξαιρετικής πρόσφυσης μεταξύ επένδυσης και πυρήνα διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες σε ολόκληρη την έκταση τους (βλ. Παρ. 5.8.1)

Ένας από τους βασικούς στόχους της εργασίας ήταν η κατασκευή κατάλληλου πίνακα μέγιστων επιτρεπόμενων φορτίων δομικών πάνελ όπως αυτά χρησιμοποιούνται σε πραγματικές κατασκευές. Ο πίνακας αυτός είναι απαραίτητο εργαλείο για τον μηχανικό της πράξης, ο οποίος συνεκτιμώντας τα μεγέθη και το είδος των φορτίων στα οποία καλείται να αντεπεξέλθει μια κατασκευή, επιλέγει τη γεωμετρία ,τη μορφή και τον τρόπο στήριξης των πάνελ που θα χρησιμοποιήσει.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

➤ Ο σχηματισμός των πτυχώσεων είναι αναπόφευκτος αλλά η χρήση χάλυβα μεγαλύτερου πάχους ή διαφορετικής σκληρότητας ίσως καθυστερούσε την εμφάνιση τους. Αυτή η πρόταση μας επιβεβαιώνεται θεωρητικά από τη σχέση, $\sigma_w = \frac{M_u}{eBt_1}$, όπου η τάση αστοχίας σ_w , είναι η τάση που αναπτύσσεται τη χρονική στιγμή της δημιουργίας της πρώτης πτύχωσης και αυξάνοντας το t_1 που αντιστοιχεί στο πάχος της επένδυσης, θα απαιτηθεί μεγαλύτερη ροπή κάμψης M_u για την ίδια τάση σ_w . Συνεπώς θα ήταν ενδιαφέρον να μελετήσουμε την συμπεριφορά δοκιμών με μεγαλύτερο πάχος χαλυβδοελάσματος.

➤ Επίσης μπορούμε να εξετάσουμε τυχόν βελτίωση που θα επιφέρει η χρήση ενδιάμεσης στρώσης συγκολλητικής ουσίας μεταξύ πυρήνα και επένδυσης ώστε να περιορισθεί η εμφάνιση του φαινομένου αποκόλλησης του φύλλου χάλυβα από τον αφρό πολυουρεθάνης.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Koschade Rolf (2006) Construction with Factory Engineered Sandwich Panels ,Istitut fur Sandwichtchnik-Mainz (iS-Mainz)
- [2]. Sardemann, K., et al. (1992) Tendenzen bei der Entwicklung kaltgewalzter und oberflächenveredelter Stahlbleche (The tendencies in the development of cold rolled and coated steel sheets). Blech Rohre Profile, 39, 11 [in German].
- [3]. European recommendations for good practice in steel cladding and roofing (1983) European Convention for Constructional Steelwork, ECCS-T7, Publication No. 41.
- [4]. Ashley,S.(1991) Therms of endearment ,Building Design, November 29.
- [5]. Burgan, B.A. (1992) Concise Guide to the Structural Design of Stainless Steel.SCI Publication 123, The Steel Construction Institute, Berkshire.
- [6]. Baddoo, N. (1993) Design of Stainless Steel Fixings and Ancillary Components. SCI Publication 119, The Steel Construction Institute, Berkshire.
- [7]. Zollner, R. (1985) Properties of PU rigid foam. In Polyurethane Handbook (ed. G. Oertel). Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York.
- [8]. Dietrich, W. and Zollner, R. (1985) Relationship between production methods and properties. Polyurethane Handbook (ed. G. Oertel). Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York.
- [9]. Bukowski, K. and Conway, P. (1990) The application of extruded polystyrene foam as an insulating core material in sandwich constructions. Design of Sandwich Panels, Symposium, Salford University.
- [10]. Merkel, H. (1988) Dimensionsstabilitat von Warmedammstoffen aus Polymerschaumen (Dimensional stability of plastic foam thermal insulation materials). Bauplanung-Bautechnik, 43 (1) [in German].
- [11]. Just, M. (1983) Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zum Langzeitverhalten von PUR-Hartschaumstoff-Stutz Kernbauteilen und Schlussfolgerungen fur die Anwendung (The results of an experimental investigation of the long-term behaviour of building elements utilising a rigid plastic foam core and conclusions regarding their use), Ifl-Mitt, 22 (3) [in German].

- [12]. Tajbakhsh, S. (1992) Developments in sandwich construction, PhD Thesis, University of Salford.
- [13]. Gibson, L.J. and Ashby, M.F. (1988) Cellular Solids – Structure and Properties, Pergamon.
- [14]. Stroebech, C. (1989) One- and two-component polyurethane adhesives for bonding sandwich elements. In Sandwich Constructions 1, Proceedings of the 1st International Conference on Sandwich Construction, 19–21 June 1989, Stockholm.
- [15]. Frostig, Y. and Baruch, M. (1990) Bending of sandwich beams with transversely flexible core. AIAA Journal, 28(3), 523–531.
- [16]. Hakmi, R. (1988) Local buckling of sandwich panels. Ph.D. Thesis, University of Salford, 236 pp.
- [17]. Hassinen, P. and Martikainen, L. (1994) Analysis and design of continuous sandwich beams. In Proceedings of the 12th International Speciality Conference on Cold-Formed Steel Structures, St. Louis, Missouri, U.S.A., 18–19 October 1994, pp. 523–538.
- [18]. Hassinen, P. and Martikainen, L. (1996) Serviceability and ultimate limit states of continuous sandwich panels. In Sandwich Construction 3 (ed. H.G. Allen), Vol. I, Engineering Materials Advisory Services Ltd, pp. 195–204.
- [19]. Hassinen, P. and Martikainen, L. (1996) Design models of continuous sandwich panels. In Proceedings of the 13th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, St. Louis, Missouri, USA, 17–18 October 1996, pp. 293–307.
- [20]. Berner, K. (1995) Erarbeitung vollständiger Bemessungsgrundlagen im Rahmen bautechnischer Zulassungen für Sandwichbauteile. Forschungsbericht, IV, 1-5-618/90, DIBt, Berlin. 10 pp. [in German].
- [21]. Berner, K., Hassinen, P. and Heselius, L. (1995) Present design methods for lightweight sandwich panels. In Proceedings of Nordic Steel Construction Conference '95, Malmo, Sweden, 19–21 June 1995, pp. 637–644
- [22]. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) (1983) European Recommendations for Steel Structures. The Design of Profiled Sheet- ing, ECCS Publication 40, 111 pp.
- [23]. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) (1991)

- Pre- liminary European Recommendations for Sandwich Panels. Part I, Design, ECCS Publication 66, 131 pp.
- [24]. International Council for Building Research, Studies and Documentation (CIB) European Recommendations for Sandwich Panels (2000) Part]. Design, CIB Publication 147, 161 pp.
- [25]. European Committee for Standardization (1996) Document ENV 1993-1-3.Design of steel structures. Part].3. Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting, 128 pp.
- [26]. Davies, J.M. (1986) An exact finite element for beam on elastic foundation problems. *Journal of Structural Mechanics*, 14(4), 489—499.
- [27]. Davies, J.M. (1987) Design criteria for structural sandwich panels. *The Structural Engineer*, 65A (12), 435—441.
- [28]. Davies, J.M. and Hakmi, M.R. (1990) Local buckling of sandwich plates. IABSE Report, 60, 533—538.
- [29]. Davies, J.M., Hassinen, P. and Hakmi, R. (1991) Face buckling stresses in sandwich panels. In *Proceedings of the Nordic Steel Colloquium*, Odense, Denmark, September 9—11 1991, pp. 99—110.
- [30]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 1, 1-14.
- [31]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 2, 14-41.
- [32]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 3, 41-62.
- [33]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 5(1), 81-99.
- [34]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 6(1)&6(2), 148-150.
- [35]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 10(2), 229-258.
- [36]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 11(4) & 11(5), 274-280.
- [37]. Davies, J.M. (2001) *Lightweight Sandwich Construction*, 13, 315-345.
- [38]. Hetenyi, M. (1974) *Beams on Elastic Foundations*. Ann Arbor, The University of Michigan Press, 255 pp.
- [39]. Jungbluth, O. and Berner, K. (1986) *Verbund- und Sandwichtragwerke (Composite and Sandwich Structures)*. Springer-Verlag. pp. 336—559 [in German].
- [40]. Just, M. (1992) Zum Langzeitverhalten von Sandwichplatten mit einem Polyurethan-Hartschaumstoffkern (The long-term behaviour of sandwich panels with PUR rigid foam core). *Bauingenieur*, 67, 83—89 [in

German].

[41]. Kech, J. (1991) Druckbeanspruchbarkeit der biegeweichen Deckschicht eines Sandwichelementes (Compression load bearing capacity of the flexible facing of a sandwich panel). *Stahlbau*, 60 (7), 203—210 [in German].

[42]. Kilpelainen, T. and Hassinen, P. (1995) Long-term behaviour and strength of EPS foam sandwich panels. In Proceedings of Nordic Steel Construction Conference '95, Malmo, Sweden, June 19—21 1995, pp. 645—652.

[43]. Kilpelainen, T. and Hassinen, P. (1996) Long-term and fire behaviour of an eps-foam sandwich panel product. *Sandwich Construction*, 3 (ed. H.G. Allen), Vol. II, Engineering Material Advisory Services Ltd, pp. 911—920.

[44]. Linke, K.-P. (1978) Zum Tragverhalten von Profilsandwichplatten mit

[45]. Stahldeckschichten und einem Polyurethan-Hartschaum-Kern bei kurz- und langzeitiger Belastung (Load bearing capacity of sandwich panels with steel sheet profiled faces and a polyurethane foam core loaded by short-term and long-term loads). Technische Hochschule Darmstadt, Dissertation D17, 258 pp. [in German].

[46]. Martikainen, L. and Hassinen, P. (1996) Load-bearing capacity of continuous sandwich panels. Helsinki University of Technology, Department of Structural Engineering, Publication No 135, 222 pp.

[47]. Stamm, K. and Witte, H. (1974) Sandwichkonstruktionen (Sandwich Structures). Springer-Verlag, Vienna, 337 pp. [in German].

[48]. Stamm, K. (1984) Sandwichelemente mit metallischen Deckschichten als Wandbauplatten im Bauwesen (Metal sheet faced sandwich panels in wall structures). *Stahlbau*, 53 (5), 135—143 [in German].

[49]. Stamm, K. (1984) Sandwichelemente mit metallischen Deckschichten als Dachbautafeln im Bauwesen (Metal sheet faced sandwich panels in roof structures). *Stahlbau*, 53 (8), 231—236 [in German].

[50]. Vlasov, V.Z. and Leont'ev, U.N. (1966) Beams, Plates and Shells on Elastic Foundations. Israel Program for Scientific Translations Ltd, Jerusalem, 357 pp.

[51]. Zenkert, D. (1995) An Introduction to Sandwich Construction. Engineering Materials Advisory Services Ltd, 277 pp.

[52]. Hassinen, P. (1999) Modelling of continuous sandwich panels. In Pro-

ceedings of 4th International Conference on Lightweight Steel and Aluminium Structures, Espoo, Finland, 20–23 June 1999, Elsevier Applied Science Ltd, pp. 189–196.

[53]. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) (1991) Preliminary European Recommendations for Sandwich Panels, Part I, Design, ECCS Publication 66, 131 pp.

[54]. International Council for Building Research, Studies and Documentation (CIB) European Recommendations for Sandwich Panels (2000) Part 1. Design, CIB Publication 257, 161 pp.

[55]. European Committee for Standardisation (1996) Document ENV 1991-1. Basis of Design and Actions on Structures. Part 1. Basis of Design (Eurocode 1), 85 pp.

[56]. European Committee for Standardisation (1996) Document ENV 1993-1-3. Design of Steel Structures. Part 1.3. Supplementary Rules for Cold Formed Thin Gauge Members and Sheeting (Eurocode 3: Part 1.3), 128 pp.

[57]. Institut für Bautechnik (1996) Design Loads and Statical Analysis for Sandwich Panels – Core of Polyurethane Rigid Foam with Metal Faces, Version 3.93, 7 pp.

[58]. Martikainen, L. and Hassinen, P. (1996) Load-Bearing Capacity of Continuous Sandwich Panels. Helsinki University of Technology, Department of Structural Engineering, Publication 135, 222 pp.

[59]. European Convention for Constructional Steelwork (1992) European recommendations for sandwich panels with additional recommendations with mineral wool core material. Part 1: Design. CIB Report. Publication 148. TWG 7.4, International Council for Building Research Studies and Documentation W56. Also, update of this document published as CIB Publication 257 (2000).

[60]. CEN standard (1999) Double Skin Metal Faced Insulating Sandwich Panels for Roofing and Cladding, 5th Draft, Doc. CEN/TC128/SC11/N95, October 1999.

[61]. CEN standard (EN14509:2006) Self-Supporting Double Skin Metal Faced Insulating Panels- Factory Made Products - Specification, June 2006.

[62]. Jungbluth, O. and Berner, K. (1986) Verbund- und Sandwichtragwerke. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

[63]. (1981) Floor and Roof Elements: Uniformly Distributed Loading with

AirPressure or Vacuum, Nordtest remiss No. 267—81.

[64]. König, J. (1984) Der Einfluss der Verformungen bei der Prüfung von dünnwandigen Bauteilen nach der Luftsackmethode. Stahlbau, 4, 105—110.

[65]. ISO Standard 3207 (1975) Statistical Interpretation of Data \pm Determination of a Statistical Tolerance Level.

[66]. European Convention for Constructional Steelwork (1978) The Testing of Profiled Metal Sheets. Publication No. 20.

[67]. European Convention for Constructional Steelwork (1983) The Design and Testing of Connections in Steel Sheeting and Sections. Publication No. 21, 176 pp.

[68]. European recommendations for sandwich panels with additional recommendations for mineral wool core material: Part 1: Design. CIB Publication 148 by joint European Convention for Constructional Steelwork Committee TWG 7.9 and International Council for Building Research Studies and Documentation Committee W56. Draft dated Summer 1999. Update published as CIB Publication 257 (2000).

[69]. Υπηρεσία Ενέργειας- Υπουργείο Εμπορίου ,Βιομηχανίας και Τουρισμού (Ελλάδος) : Οδηγός Θερμομόνωσης Κτιρίων (Δεκέμβριος 2007)

[70]. Αγίς Μ. Παπαδόπουλος ,Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ. : Προδιαγραφές Ιδιοτήτων Θερμομονωτικών Υλικών (Μάρτιος 2004)