

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Τεχνολογίας των Κατεργασιών

**ΘΕΜΑ : Σχεδιασμός & μελέτη τιμονιού για
αγωνιστικό ποδήλατο ορεινής ποδηλασίας
από ανθρακονήματα**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΦΛΕΣΣΑ ΣΠΥΡΙΔΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. Κος ΔΗΜ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε αυτούς που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας με οποιοδήποτε τρόπο. Συγκεκριμένα:

- Τον Καθηγητή Κο Δημ. Μανωλάκο της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ για την υπόδειξη του θέματος, τις πολύτιμες συμβουλές του, το ενδιαφέρον και τη συμπαράσταση που έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.
- Τον Υπ. Διδάκτορα Κο Αλ. Κιτσέλη της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της εν λόγω εργασίας καθώς και για την παραχώρηση του εξοπλισμού του μηχανουργείου της εταιρείας Κιτσέλης - Θεοδωρίδης ΟΕ.
- Την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	6
ΑΝΘΡΑΚΑΣ	6
ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ– ΓΕΝΙΚΑ.....	6
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ	6
ΔΟΜΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ	7
Δομή γραφιτικού άνθρακα	7
Δομή επιφανειακά κατεργασμένων ινών άνθρακα.....	8
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	8
Απλή ύφανση	8
Διαγώνια ύφανση	8
Satin ύφανση	9
Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα.....	9
ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΗΤΙΝΗ	9
Παραγωγή προεμποτισμένου υφάσματος	10
Ένωσης της ρητίνης και των ινών με θέρμανση	10
Ένωση της ρητίνης και των ινών σε λουτρό διαλύτη.....	11
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	11
Μηχανικές ιδιότητες	11
ΡΗΤΙΝΕΣ.....	12
ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ	13
ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	14
Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών	15
ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΝΩΝ	15
ΣΥΝΗΘΗ ΕΙΔΗ ΙΝΩΝ	15
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ.....	16
ΣΕΙΡΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ 7000	17
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ 7075 T651	17
3. Πρωτόκολλο που ακολουθούμε.....	18
4. Στόχοι σχεδιασμού	26
5. Μεθοδολογία σχεδιασμού	27
Συμπέρασμα	42
6. Θεωρητική προσομοίωση βάση προτύπου	46
Τρόπος εύρεσης συνταγής.....	46
Πλάγια όψη τιμονιού.....	46
Διαδικασία	47

ΚΡΙΤΗΡΙΑ.....	47
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	48
Συμπέρασμα	64
8. Τα πειράματα που χρειάζεται να γίνουν.....	65
9. Θεωρία για την προσέγγιση καμπύλων καταπόνησης – κύκλων ζωής.....	66
Υποβάθμιση δυσκαμψίας	68
Διαγράμματα κύκλων ζωής.....	71
10. Αποτελέσματα πειραμάτων προσομοίωσης	73
11. Συμπέρασμα.....	81
12. Κατασκευή πατρόν	81
13. Σχεδιασμός και μελέτη μήτρας	87
Κατασκευή μήτρας.....	87
1. Επιλογή εμπειρικά πάχους.....	87
2. Εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών με κριτήριο τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στον άξονα ZZ'	87
3. Εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών αλλά και τον αποστάσεων μεταξύ τους για να έχουμε το μικρότερο αναπτυσσόμενο βέλος κάμψης (displacement ZZ' axis)	89
4. Εύρεση καταλληλότερου πάχους της μήτρας για την ελάχιστη παραμόρφωση στο τεμάχιο.	90
5. Γεωμετρικές αλλαγές λόγω θερμικών διαστολών και τελικός σχεδιασμός	90
Συμπέρασμα	91
5.1 Τελικός σχεδιασμός	91
14. Επίλογος	95
15. Παράρτημα 1.....	96
ΥΛΙΚΟ.....	98
Aluminum 7075-T651	99
ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	99
Material : T300 wooven.....	99
Material : T700 unidirectional	100
Material : M46J unidirectional.....	101
Material : M46J wooven	102
Βήματα για zone based meshing, assembly meshing	103
Διαδικασία fatigue analysis	114
Λειτουργία βελτιστοποίησης laminate	118
Αναζήτηση Δεδομένων	120
Εξαγωγή αποτελεσμάτων	121
Η κατασκευή του πατρόν είναι μια τεχνική που εμπεριέχει αρκετές άλλες	122
Κατασκευή plane	123
Καταχώρηση υλικού	130

A) τρόπος κατασκευής laminate.....	130
B) Τρόπος κατασκευής PLY-MATERIAL	131
16.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	135
17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	136
Ιστοσελίδες.....	136

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της κατασκευής τιμονιού ποδηλάτου τύπου Mountain-bike από ανθρακονήματα. Αναφερόμαστε σε μια απλή γεωμετρία κατασκευής. Σκοπός είναι να καταλήξουμε σε 3 τεμάχια ίδιου σχεδίου αλλά διαφορετικής χρησιμότητας. Το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε για την θεωρητική προσομοίωση των πειραμάτων είναι στο NX10 by Siemens. Θα αναπτύξουμε μια τεχνική μελέτης της γεωμετρίας ώστε να καταλήξουμε σε μια βέλτιστη, στην οποία δεν θα υπάρχουν απότομες εναλλαγές σε αυτήν, οι οποίες δημιουργούν συγκέντρωση τάσεων. Κατόπιν θα γίνουν τεστ προσομοίωσης, ακολουθώντας το πρότυπο en 14766:2005 Mountain - bicycles - Safety requirements and test methods, το οποίο έχει εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή επιτροπή προτύπων στις 7 Οκτωβρίου 2005, με το οποίο θα βρεθούν οι συνταγές συνδυασμού των στρώσεων υλικού. Σημαντικό κομμάτι για την θεωρητική επιλογή, είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που μπορεί να προσεγγίσει τα όρια του καταπόνησης/κύκλου ζωής των υλικών. Τέλος πάλι με την χρήση του ίδιου προγράμματος θα μελετήσουμε τον σχεδιασμό της μήτρας κατασκευάζοντας CAD-CAM μοντέλο για την κατασκευή της από CNC μηχανήμα. Τέλος θα γίνει ο σχολιασμός του τελικού προϊόντος, των προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά την παραγωγή και των λαθών που έγιναν κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή του.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Οι δύο γνωστότερες αλλοτροπικές μορφές του άνθρακα είναι ο αδάμας και ο γραφίτης. Ο αδάμας λόγω της sp^3 υβριδοποίησης έχει δομή κυβική, ενώ ο γραφίτης λόγω της sp^2 υβριδοποίησης των ατόμων άνθρακα έχει δομή στοιβάδων, όπου κάθε στοιβάδα τους αποτελείται από σειρά εξαγώνων συνδεδεμένων μεταξύ τους και όπου κάθε στοιβάδα βρίσκεται πάνω σε άλλη κατά την σειρά ABABA κ.ο.κ. Οι δεσμοί στο βασικό επίπεδο είναι εξαιρετικά ισχυροί και άκαμπτοι και έτσι και το μέτρο

ελαστικότητας κατά τον α-άξονα είναι πολύ υψηλό. Το υλικό μπορεί να αντέχει σε θερμοκρασίες 3.3000C (σε μη οξειδωτική ατμόσφαιρα) χωρίς να υφίσταται θερμική αποικοδόμηση (θραύση δεσμών). Οι δεσμοί μεταξύ των επιπέδων είναι του ασθενούς τύπου των δυνάμεων Van der Waals και έτσι ο κρύσταλλος μπορεί να στρέφεται διατμητικά και να αποσχίζεται εύκολα σε επίπεδα κάθετα προς τον c-άξονα ακόμη και για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η απόσταση μεταξύ ατόμων άνθρακα στις στοιβάδες είναι 1,42 Å, ενώ το διάστημα μεταξύ δύο όμοιων στοιβάδων είναι 3,354 Å.

Η δομή του γραφίτη μπορεί να υποστεί μόνιμη στρέβλωση (παραμόρφωση) με ευκολία, απλά με κάμψη ή διάτμηση των στοιβάδων. Ο αδάμας αποτελείται από άτομα άνθρακα σε τετραεδρική κατάσταση με διευθέτηση χωρίς στρέβλωση σχηματίζοντας τυπικό κυβικό πλέγμα.

ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ- ΓΕΝΙΚΑ

Οι ίνες άνθρακα έχουν μελετηθεί εκτενώς από το 1960 λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως την υψηλή αντοχή τους (3-7 GPa), το υψηλό μέτρο ελαστικότητας (200-500 GPa), την θλιπτική αντοχή (1-3 GPa), το μέτρο διάτμησης (10-15 GPa) και την χαμηλή πυκνότητα (1,75- 2,00 g/cm³). Οι ίνες άνθρακα προέρχονται από διάφορες πύδρομες ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των ισότροπων και των μεσοφασικών υλικών, αλλά και των πολυακρυλονιτριλίων (PAN).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι τελευταίες ουσίες είναι και οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες σήμερα. Οι ίνες άνθρακα που παρασκευάζονται από την πίσσα μπορεί να παρουσιάζουν συντελεστή αγωγιμότητας, αλλά και θερμικές και ηλεκτρικές αγωγιμότητες τόσο υψηλές όσο τα 900 GPa, 1000 W / mK, και 106 S / m, αντίστοιχα. Οι ιδιότητες των ινών άνθρακα τις καθιστούν χρήσιμα ενισχυτικά μέσα για σύνθετες εφαρμογές. Οι ίνες άνθρακα έχουν μετατραπεί σε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στην αεροδιαστημική βιομηχανία, ενώ η χρήση τους σε αυτοκίνητα, αθλητικά είδη και άλλες βιομηχανίες συνεχίζει να κατακτά όλο και περισσότερο έδαφος όσο το κόστος τους εξακολουθεί να μειώνεται.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες άνθρακα είναι ένα πολυμερές που παρουσιάζει την μορφή του γραφίτη. Στον γραφίτη, ως γνωστόν, τα άτομα άνθρακα είναι διατεταγμένα με την μορφή φύλλων από εξαγωνικούς

αρωματικούς δακτυλίους. Οι ίνες άνθρακα είναι γραφίτης στον οποίον τα φύλλα είναι μακριά και λεπτά, σαν ταινίες. Ένα σύνολο από τέτοιες λουρίδες μαζί αποτελούν μια ίνα άνθρακα. Οι ίνες αυτές δεν χρησιμοποιούνται από μόνες τους, αλλά για να ενισχύσουν άλλα (θερμοστατικά) υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες κ.α. Τα ενισχυμένα με ίνες άνθρακα υλικά είναι πολύ ισχυρά σε σχέση με το βάρος τους.

Ίνες άνθρακα μπορούν να παραχθούν με χρησιμοποίηση ως πρώτης ύλης:

- 1) Ίνες πολυακρυλονιτριλίου (PAN),
- 2) Ίνες κυτταρίνης (Rayon),
- 3) Πίσσας (κατόπιν κατάλληλης νηματοποίησης)

Για την παραγωγή όλων των παραπάνω κατηγοριών ινών άνθρακα απαιτείται να ακολουθηθεί μία σειρά βημάτων. Αναλυτικά,

- 1) Διαδικασία νηματοποίησης-οξειδωσης για την παραγωγή ενός πρόδρομου σταδίου. Αυτό συμπεριλαμβάνει υγρό και στεγνό στροβιλισμό ακολουθούμενο από τέντωμα των ινών.
- 2) Διαδικασία σταθεροποίησης της ίνας, η οποία την προστατεύει από πιθανή τήξη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών επεξεργασίας.
- 3) Διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που καλείται *ανθρακοποίηση* με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν προσμίξεων.
- 4) Τέλος, διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που καλείται γραφίτοποίηση και η οποία βελτιώνει τις ιδιότητες που έχει αποκτήσει η ίνα από την διαδικασία της εξανθράκωσης.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως για να παραχθεί ίνα με υψηλό μέτρο ελαστικότητας, θα πρέπει να προσανατολιστούν κατάλληλα οι γραφίτικοί κρύσταλλοι. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται από ποικίλα είδη θερμικών και εφελκυστικών διαδικασιών. Για παράδειγμα, εφαρμογή μιας συνεχούς δύναμης για μεγάλο χρονικό διάστημα θα οδηγούσε σε έντονη επιμήκυνση της ίνας και κατ'επέκταση η παράλληλη μείωση υλικού κατά τόπους σε πιθανή αστοχία υλικού.

ΔΟΜΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Δομή γραφίτικού άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα της κατηγορίας αυτής ανήκουν στους θερμικά μη γραφίτοποιημένους άνθρακες. Διακρίνονται σε ισότροπες και ανισοτροπεσίες. Οι πρώτες ίνες που κατασκευάστηκαν με πρόδρομο υλικό την πίσσα είχαν ισότροπη δομή και οι γραφίτικές στοιβάδες δεν παρουσίαζαν κανένα προσανατολισμό, ενώ το μέτρο ελαστικότητας τους ήταν χαμηλό. Οι ίνες αυτές με πλαστική παραμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες (τανυσμός κατά τη γραφίτοποίησή τους) μπορούν να μετατραπούν σε ανισότροπες ίνες άνθρακα έχοντας μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας. Ωστόσο, μεγαλύτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ίνες, οι οποίες είναι ανισότροπες ήδη από το στάδιο της ανθρακοποίησής τους. Επίσης, οι ίνες αυτές αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χημικώς καθάρο άνθρακα, σε ποσοστό 99.9%. Δεν είναι χημικές ενώσεις ή κράματα, όπως τα συμβατικά υλικά κατασκευής για παράδειγμα το αλουμίνιο ή το ασάλι που συνήθως περιέχουν μικρά ποσά από άλλα μέταλλα.

Το δομικό συστατικό των ινών αυτών είναι μονοϊνίδια (monofilaments), τα οποία είναι προσανατολισμένα παράλληλα στον άξονα της ίνας. Κάθε μονοϊνίδιο αποτελείται από στρώματα γραφίτικών επιπέδων, τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις **Van der Waals**, ενώ τα άτομα άνθρακα κάθε στρώματος ενώνονται με ισχυρούς δεσμούς **sp**. Έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί τόσο άμορφες αλλά και κρυσταλλικές περιοχές δομής γραφίτη, που εναλλάσσονται με τυχαίο τρόπο. Ανάλογα με την τελική θερμοκρασία γραφίτοποίησης, τα γραφίτικά πλέγματα άλλοτε μπορεί να είναι εκτεταμένα και συνεχή κατά μήκος της ίνας και άλλοτε όχι, ενώ δεν παρουσιάζουν την τυπική A-B-A τοποθέτηση κατά τον άξονα Z, γεγονός που σε συνδυασμό με την απόσταση μεταξύ

τους (που στον γραφίτη είναι ελαφρώς μικρότερη) δομικά διαφοροποιεί τις ίνες άνθρακα από τον γραφίτη .

Δομή επιφανειακά κατεργασμένων ινών άνθρακα

Η επιφανειακή σύσταση των ινών άνθρακα, οι οποίες προέρχονται από διάφορες κατασκευαστικές διαδικασίες, αποτελείται από σεβαστές ποσότητες οξυγόνου καθώς και ίχνη αζώτου και υδρογόνου. Το οξυγόνο αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από την πρώτη ύλη, η οποία γίνεται μέρος της χημικής δομής της ίνας σαν αποτέλεσμα ατελούς ανθρακοποίησης είτε ενώνεται χημικά με την επιφάνεια μέσω κάποιας επιφανειακής επεξεργασίας των ινών. Όλες οι επιφανειακές επεξεργασίες τείνουν να τροποποιήσουν την διεπιφανειακή περιοχή των ινών άνθρακα αυξάνοντας την επιφανειακή περιοχή, και έτσι αυξάνεται ο αριθμός των σημείων επαφής ή αυξάνεται η αντιδραστικότητα της περιοχής μέσω σχηματισμού επιφανειακών λειτουργικών ομάδων, οι οποίοι παρέχουν χημικό δεσμό μεταξύ ρητίνης και μήτρας.

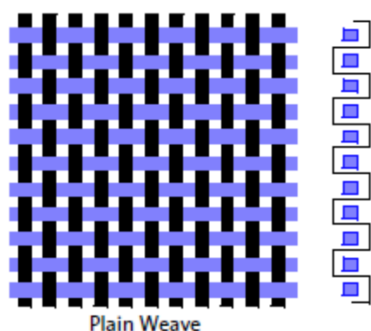
Η ακριβής δομή των ινών άνθρακα διαφέρει ανάλογα με τη συγκεκριμένη μέθοδο επιφανειακής επεξεργασίας. Έτσι, για παράδειγμα, όσο αφορά τις οξειδωτικές επεξεργασίες, όταν η οξείδωση γίνεται από την αέρια φάση σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλείται υποβάθμιση των ινών και δημιουργία 'βελονών' στη δομή τους με αποτέλεσμα να μειώνονται οι αντοχές τους ενώ όταν η διεργασία της οξείδωσης γίνεται από την υγρή φάση είναι πιο ήπια και δεν προκαλεί υποβάθμιση των ινών. Όσο αφορά τις μη οξειδωτικές μεθόδους, κατά την επικάλυψη των ινών με πολυμερή, οι αντοχές των ινών και κυρίως η αντοχή σε διάτμηση αυξάνονται λόγω του ότι δημιουργείται ένας ισχυρός δεσμός στο γραφιτικό υπόβαθρο.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες ενίσχυσης μπορεί να είναι πλεγμένες σε υφάσματα. Οι ίνες που έχουν κατεύθυνση αυτήν του τυλίγματος (στο ρόλο που είναι τυλιγμένο το ύφασμα) ονομάζονται ίνες τυλίγματος (warpfibers) και αυτές που έχουν κάθετη κατεύθυνση από αυτήν που ονομάζονται υφάδια. Υπάρχουν πολλά είδη υφάσματος που χρησιμοποιούνται συνήθως στην βιομηχανία.

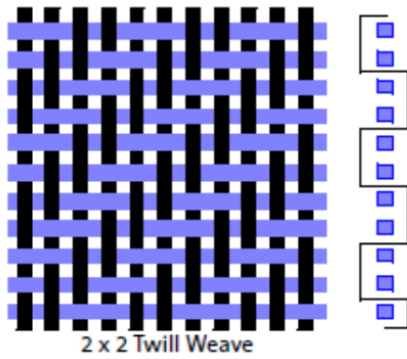
Απλή ύφανση

Ίνες τυλίγματος πλέκονται με τα υφάδια κάθε φορά που τα συναντούν. Το τελικό ύφασμα είναι πολύ σταθερό, αλλά δύσκολο να ακολουθήσει απότομες αλλαγές στην επιφάνεια που εφαρμόζεται (καλούπι). Τέτοιου είδους πλεκτά μπορούν να έχουν πολύ περισσότερες ίνες τυλίγματος και να μοιάζουν σχεδόν με την μορφή του μονοδιευθυντικού.



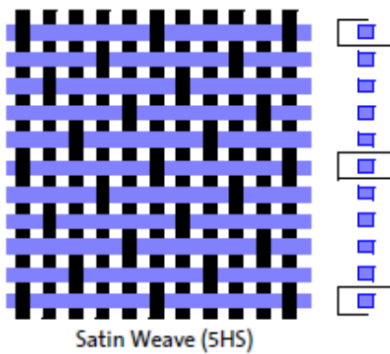
Διαγώνια ύφανση

Οι ίνες περνούν πάνω και κάτω από κάποιον αριθμό δεσμίδων ινών, π.χ. 2x2 διαγώνια ύφανση είναι ένα ύφασμα του οποίου οι ίνες περνούν 2 δεσμίδες από πάνω και 2 από κάτω. Αυτή η ύφανση χρησιμοποιείται σε πιο πολύπλοκες επιφάνειες.



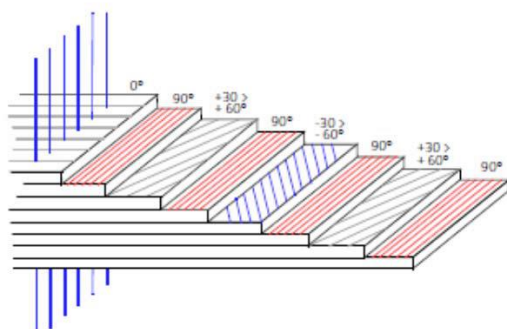
Satin ύφανση

Οι ίνες περνούν πάνω από έναν αριθμό δεσμίδων αλλά κάτω από μόνο μία. Αυτή η πλέξη παράγει πολύ πιο επίπεδο ύφασμα που εύκολα ακολουθεί πολύπλοκες επιφάνειες. Το μειονέκτημα αυτής της πλέξης είναι ότι στην μία πλευρά του έχει κυρίως ίνες τυλίγματος ενώ στην άλλη κυρίως υφάδια.



Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα

Ένα πολυαξονικό ύφασμα αποτελείται από μονοδιευθυντικά υφάσματα με διαφορετικές κατευθύνσεις ραμμένα μεταξύ τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως και το πλεκτό ύφασμα. Πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να παραχθούν σε πάχη που δεν είναι πρακτικό ή οικονομικό να παραχθούν τα πλεκτά υφάσματα. Επίσης τα πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να ακολουθήσουν πολύπλοκες επιφάνειες ενώ επιτυγχάνεται γρήγορα μεγάλο μέρος διαστρωμάτωσης. Παρόλα αυτά πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ώστε η διαστρωμάτωση να είναι ισορροπημένη και τα βαριά υφάσματα είναι δύσκολο να αντιγράψουν μικρές λεπτομέρειες.



ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΗΤΙΝΗ

Ένα προεμποτισμένο αποτελείται από το υλικό της ενίσχυσης εμποτισμένο με μία μήτρα ρητίνης σε ένα ελεγχόμενο βαθμό. Η ρητίνη μπορεί να είναι μερικώς ψημένη

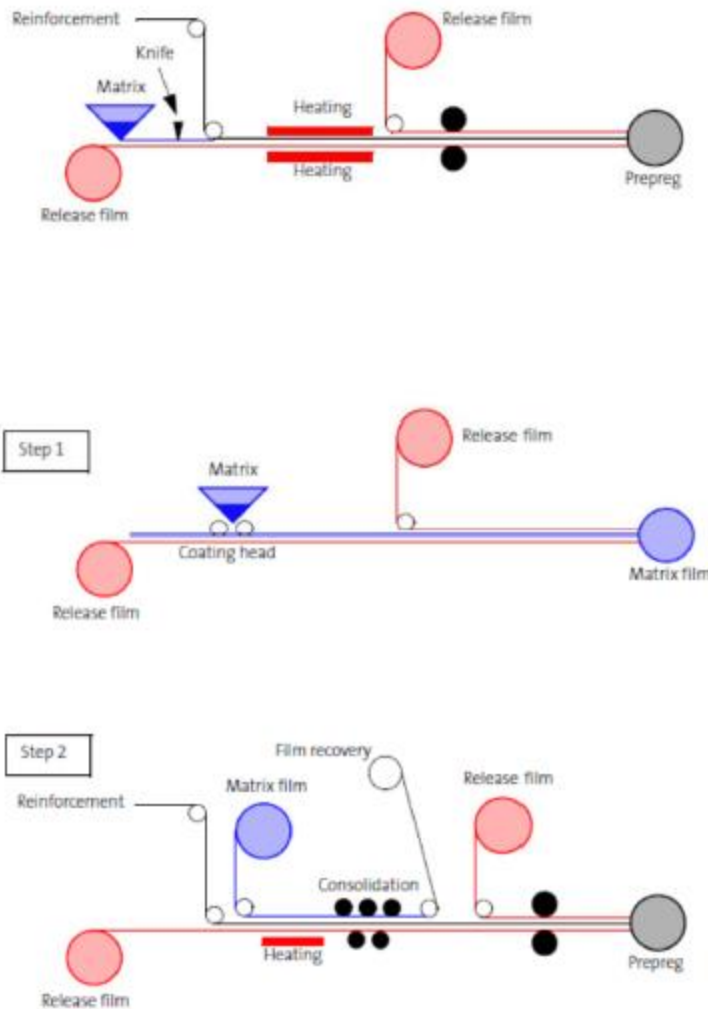
(αναφέρεται ως β στάδιο) και σε αυτήν την μορφή εφαρμόζεται στο πλεκτό ύφασμα. Τα προεμποτισμένα υφάσματα μπορεί να είναι πλεκτά ή μονοδιευθυντικά.

Παραγωγή προεμποτισμένου υφάσματος

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος: Η μέθοδος ένωσης της ρητίνης με τις ίνες με θέρμανση (hotmelt) και η μέθοδος λουτρού διαλύτη (solventdip).

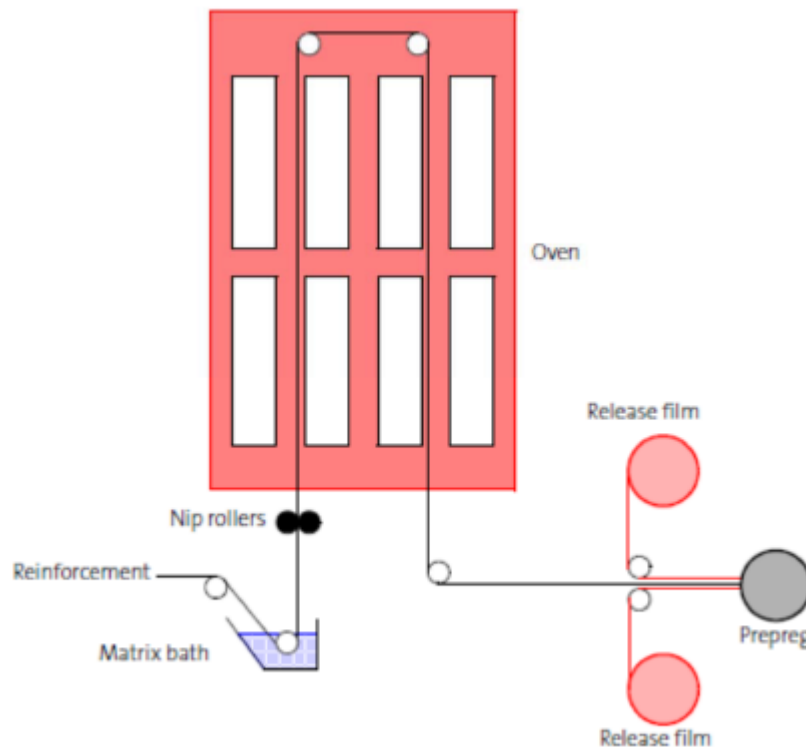
Ένωσης της ρητίνης και των ινών με θέρμανση

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί μονοδιευθυντικό ή πλεκτό προεμποτισμένο ύφασμα. Αυτή η μέθοδος απαιτεί δύο στάδια διαδικασίας. Στο πρώτο στάδιο προθερμασμένη ρητίνη στρώνεται σε ένα φύλλο (με βάση το χαρτί) και δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ. Η ενίσχυση και το φιλμ αυτό έρχονται σε επαφή στην μηχανή παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος. Ο εμποτισμός της ρητίνης στην ίνα επιτυγχάνεται με θέρμανση και πίεση από ράουλα. Το τελικό προϊόν τυλίγεται σ' έναν κύλινδρο (πυρήνα).



Ένωση της ρητίνης και των ινών σε λουτρό διαλύτη

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την παραγωγή πλεκτού **prepreg**. Σε αυτήν την τεχνική η ρητίνη είναι διαλυμένη σε ένα λουτρό διαλύτη και το ύφασμα βυθίζεται στο λουτρό διαλύτη της ρητίνης. Ο διαλύτης εξατμίζεται από το εμποτισμένο ύφασμα επειδή περνά μέσα από φούρνο.



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Μηχανικές ιδιότητες

Η σπουδαιότερη χρησιμοποίηση των ινών άνθρακα μέχρι σήμερα γίνεται ασφαλώς στον τομέα των ενισχυμένων συνθετικών ρητινών. Σε αυτή την εφαρμογή ενδιαφέρουν πρωτίστως οι μηχανικές ιδιότητες των ινών άνθρακα, καθώς επίσης η χρησιμοποίηση κατάλληλης μήτρας πλαστικού υλικού και η συνάφεια μεταξύ των ινών άνθρακα και της μήτρας, έτσι ώστε να αξιοποιούνται πληρέστερα οι σπουδαίες μηχανικές ιδιότητες των ινών αυτών .

Κατά την ανθρακοποίηση των οξειδωμένων ινών πολυακριλονιτριλίου, αυτές μετατρέπονται σε πολυμερή άνθρακα, η δομή του οποίου μοιάζει με εκείνη του γραφίτη. Ως συνέπεια του τανυσμού κατά την οξείδωση και την επακολουθούσα ανθρακοποίηση, οι στοιβάδες του άνθρακα αποκτούν κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της ίνας. Η σχηματιζόμενη μικροδομή χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και ακαμψία. Επίσης, η επιμήκυνση των ινών αυτών είναι πλήρως ελαστική και η

αντίσταση σε κόπωση καθώς και η διαβροχική ικανότητά τους είναι άριστη. Τα τελευταία χρόνια έχουν παραχθεί ίνες άνθρακα με ακόμα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Οι σπουδαιότερες αυτές βελτιώσεις αναφέρονται :

- 1) Στη μεγάλη βελτίωση της επιμήκυνσης θραύσεως σε 2% με μια ουσιαστική αύξηση της αντοχής, ενώ το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασε μια μικρότερη βελτίωση σε περίπου 240 GPa.
- 2) Στην εισαγωγή του ενδιάμεσου μέτρου ελαστικότητας ινών άνθρακα ($E=300$ GPa) με αντοχή εφελκυσμού μεγαλύτερη από 5 GPa και αντίστοιχη επιμήκυνση θραύσεως μέχρι 1.7%.
- 3) Στις αρκετά υψηλότερες τιμές της αντοχής εφελκυσμού (3 GPa) και του μέτρου ελαστικότητας (440 GPa) στην περίπτωση των HM-ινών άνθρακα.

Οι φυσικές ιδιότητες του στοιχειακού άνθρακα εμφανίζονται και στην ινώδη μορφή του υπό την αλλοτροπική δομή του γραφίτη. Έτσι, οι ίνες άνθρακα δεν παρουσιάζουν σημείο τήξης υπό κανονική πίεση, έχουν μικρή τάση ατμών μέχρι υψηλές θερμοκρασίες, υψηλό σημείο εξάχνωσης και πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής που δίνει στην ίνα άνθρακα και στα σύνθετα υλικά ένα μεγάλο βαθμό διαστασιακής σταθερότητας. Σε αντίθεση με τις ίνες υάλου, οι ίνες άνθρακα είναι ισχυρά ανισότροπες. Η ανισοτροπία αυτή επηρεάζει και τον συντελεστή θερμικής διαστολής, ο οποίος σε διεύθυνση παράλληλη του άξονα των ινών είναι διαφορετικός από αυτόν σε διεύθυνση κάθετη στον άξονα των ινών.

Είναι χημικώς αδρανές υλικό, με υψηλή αντίσταση στα περισσότερα οξέα, άλατα και διαλύτες, εκτός ισχυρών οξειδωτικών μέσων, ενώ δεν απορροφούν σχεδόν καθόλου νερό. Η θερμική σταθερότητά τους είναι αξιοσημείωτη απουσία οξυγόνου μέχρι τους 3000 °C, καθώς είναι άτηκτες και άφλεκτες, ενώ παρουσία του καίγονται γύρω στους 400 °C. Λόγω της χημικής τους αδράνειας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, εκτός από ερεθισμούς στο δέρμα που μπορούν να προκληθούν λόγω του μεγέθους των ινιδίων. Είναι επίσης βιοσυμβατές με το ανθρώπινο σώμα (π.χ εφαρμογή τους σε τεχνητές αρθρώσεις).

Οι ίνες άνθρακα είναι ψαθυρές και κατά την επεξεργασία τους σπάνε σχετικά εύκολα. Για αυτό τον λόγο, είναι απαραίτητη μια εξωτερική επεξεργασία που ονομάζεται 'κολλάρισμα' (sizing). Αυτή η προστατευτική επεξεργασία βοηθά στην καλύτερη συνάφεια της ίνας με το υλικό σύνδεσης. Μειονέκτημα της παραπάνω επεξεργασίας είναι, ότι σε μεγάλους χρόνους αποθήκευσης, η προστατευτική αυτή επιφάνεια σκληραίνει και η ίνα δεν είναι πλέον εύκαμπτη. Τέλος, μια ακόμα ιδιότητα των ινών αυτών είναι η ανθεκτικότητά τους σε δονήσεις. Οι δυναμικές ιδιότητες των γραφιτικών στοιβάδων είναι πολύ καλύτερες από εκείνες άλλων υλικών (π.χ. αλουμίνιο, χάλυβας). Επομένως, οι ίνες άνθρακα υψηλού μέτρου ελαστικότητας και υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό χρησιμοποιούνται στην παραγωγή συνθέτων υλικών για την κατασκευή μεγάλου αριθμού αντικειμένων που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική, στην προσθετική και στην αθλητική βιομηχανία.

Από την άλλη πλευρά, η βιομηχανική παραγωγή ινών άνθρακα χαμηλού μέτρου ελαστικότητας έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Οι ίνες αυτές είναι αρκετά φθηνότερες και έχουν πεδία πρακτικών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα ως φίλτρα, επιφάνειες ρόφησης, επικαλυπτικά κλπ. Πέραν όμως από την ενίσχυση πολυμερών, οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται, σε μικρότερη έκταση, για την ενίσχυση μετάλλων ή κεραμικών υλικών. Εξάλλου οι ίνες αυτές χρησιμοποιούνται και χωρίς την μορφή του ενισχυμένου υλικού, όπως για θερμική μόνωση φούρνων υψηλών θερμοκρασιών και για ηλεκτρόδια μπαταριών, με τη μορφή υφασμάτων σε χρήσεις απορροφήσεως και διηθήσεως ουσιών, για την αντικατάσταση τενόντων του ανθρώπινου σώματος κλπ.

ΡΗΤΙΝΕΣ

Τα πολυμερή ανάλογα με την μορφή στην οποία διατίθενται για την περαιτέρω επεξεργασία τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Μεταξύ αυτών και οι συνθετικές ρητίνες. Οι συνθετικές ρητίνες είναι χαμηλού μοριακού βάρους ενδιάμεσα προϊόντα ή πρώτες ύλες από μακρομοριακές ενώσεις που βρίσκονται στην υγρή κατάσταση ή είναι διαλυτά ή τηκόμενα στερεά

και που λαμβάνουν την απαιτούμενη αντοχή για τις συγκεκριμένες εφαρμογές μόνο κατόπιν της κατάλληλης επεξεργασίας τους. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- 1) Βασικές Ύλες για βερνίκια, επιχρίσματα και κόλλες, φερόμενες με την μορφή διαλυμάτων και γαλακτωμάτων.
- 2) Τεχνικές Ρητίνες ως συνδετικά μέσα για ξύλινα αντικείμενα, δέρματα, τεχνητό λίθο και ενδιάμεσα προϊόντα για την κυρίως επεξεργασία των πολυμερών, ενώ συνήθως μαζί με τα πρόσθετα επεξεργάζονται προς μια «μάζα μορφώσεως», δηλαδή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή των τελικών εμπορικών προϊόντων του πολυμερούς με μορφοποίηση υπό θέρμανση και πίεση.

Οι τεχνητές ρητίνες αποτελούνται από μία ευρεία συλλογή πολυμερών:

1) Σκληρυνόμενες τεχνητές ρητίνες :

- Θερμοσκληρυνόμενες Ρητίνες: Σκληραίνουν μόνιμα κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού και σκλήρυνσής τους (curing). Τέτοιες είναι οι φαινολικές ή φαινοπλάστης (phenolic), οι εποξειδικές (epoxy), οι βινυλεστερικές (vinyl ester) και οι πολυεστερικές (polyester) ρητίνες, οι οποίες αποτελούν και τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες. Αυτές αναμειγνυόμενες με φυτικές ρητίνες (κυρίως με κολοφώνιο), με λινέλαιο ή με τερεβινθέλαιο δίνουν πολλά είδη υλικών, τα οποία διαλύονται μόνο στα έλαια.
- Μονομερείς Ρητίνες Χυτεύσεως : πολυμεθακρυλικό μεθύλιο

2) Ρητίνες για βερνίκια, μέσα διαποτίσεως, κόλλες κλπ :

- Θερμοπλαστικές Ρητίνες: Είναι διαλύματα πτητικών διαλυτών (20-60%) και επίσης αραιές υδατικές διασπορές. Τέτοιες είναι το πολυχλωριούχο βινύλιο, πολυοξικό βινύλιο, πολυβινυλική αλκοόλη.
- Ρητίνες σκληρυνόμενες ως πλέγμα : Τέτοιες είναι ρητίνες φορμόλης – ουρίας (αμινοπλάστες), οι οποίες διαλύονται στο οινόπνευμα και στους υδρογονάνθρακες, οι ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες, οι εποξειδικές ρητίνες, η πολυουρεθάνη, οι γλυκεροφθαλικές ρητίνες.

ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

Αν και αναπτύχθηκαν ευρέως κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο, οι εποξειδικές ρητίνες έγιναν εμπορικά διαθέσιμες κατά το 1950, προσφέροντας υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και διαβρωτικά περιβάλλοντα. Λόγω των ιδιοτήτων τους, βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία και μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές τους είναι η χρήση τους ως μήτρες στα σύνθετα υλικά.

Εποξειδικό ή πολυεποξειδικό είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές. Οι εποξειδικές ρητίνες αποτελούνται από αλυσίδες που έχουν τουλάχιστον δύο επόξυ-ομάδες. Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και χαρακτηρίζονται από την παρουσία του οξιρανικού δακτυλίου.

Ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται παρόντες στο μόριο, οι εποξειδικές ρητίνες χωρίζονται σε διδραστικές (δύο οξιρανικοί δακτύλιοι), ή πολυδραστικές (τρεις ή περισσότεροι δακτύλιοι. Ο οξιρανικός δακτύλιος αντιδρά με ένα ευρύ φάσμα άλλων οργανικών ενώσεων. Για την ένωση δύο μορίων στα άκρα των οποίων υπάρχει η συγκεκριμένη ομάδα, απαιτείται ένα τρίτο μόριο που ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος, έτσι ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση που οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου. Το τρίτο αυτό μόριο ονομάζεται σκληρυντής και συνήθως είναι κάποιος διδραστικός ανυδρίτης ή αμίνη. Ενίοτε, χρησιμοποιούνται και άλλες χημικές ουσίες που ονομάζονται εκκινητές, για να ξεκινήσει ομαλότερα η διαδικασία της αντίδρασης. Οι εποξειδικές ρητίνες που κυκλοφορούν στο εμπόριο αποτελούνται συνήθως από μίγματα μακρομορίων που φέρουν στα άκρα τους τον οξιρανικό δακτύλιο, περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και συνοδεύονται από συστήματα σκληρυντών και εκκινητών. Από πλευράς σύστασης οι εποξειδικές ρητίνες μπορεί να στερεές ή ρευστές. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες είναι άκαμπτα άμορφα στερεά που μοιάζουν με γυαλί. Μελετώντας την δομή των εποξειδικών ρητινών με κάποιο πρόσθετο όπως σκληρυντής, πλαστικοποιητής με την βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, παρατηρούμε ότι οι ρητίνες αποτελούνται από σχεδόν μικρού

μεγέθους μακρομόρια τρισδιάστατα διακλαδωμένα δίκτυα ή συσσωματώματα, μέτριου μοριακού βάρους, τοποθετημένα σε ένα πλαίσιο από μόρια μικρού μοριακού βάρους. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των στερεών εποξειδικών ρητινών σε σχέση τις υγρές ρητίνες είναι η εύκολη επεξεργασία τους, η μηχανική αντοχή, η υψηλή χημική αντίσταση και το άριστο κολλώδες.

Οι κυριότερες ιδιότητες των υγρών εποξειδικών ρητινών είναι οι παρακάτω:

- 1) Χαμηλή υδροσκοπικότητα, καλή διαστατική σταθερότητα και ικανοποιητική αντοχή στην επίδραση ύδατος, οξέων, βάσεων και πολλών οργανικών διαλυτών. Είναι υγρά με χαμηλό ιξώδες, όπως και τα μίγματά τους με πρόσθετα (πλαστικοποιητές, σκληρυντές), με αποτέλεσμα την εύκολη κατεργασία τους.
- 2) Η επεξεργασία των ρητινών είναι εύκολη και γρήγορη για θερμοκρασίες από 50C μέχρι 1500C και εξαρτάται από την εκλογή του πρόσθετου.
- 3) Υψηλές μηχανικές ιδιότητες που μπορεί να οφείλονται στη μικρή συστολή τους, έτσι μειώνεται η παρουσία τάσεων.
- 4) Άριστη ηλεκτρική μόνωση.
- 5) Υψηλή δύναμη συγκόλλησης. (Στην σύγχρονη τεχνολογία πλαστικών είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν παρατηρηθεί). Αυτή η ιδιότητα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τις πολλές εφαρμογές.
- 6) Ποικιλία εφαρμογών. Οι βασικές τους ιδιότητες μπορούν να τροποποιούνται κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. (Ανάμειξη με κάποιο πρόσθετο της επιλογής μας, χρήση τροποποιητικών και συνθέσεων).
- 7) Καλή χημική αντίσταση που εξαρτάται από το πρόσθετο που χρησιμοποιείται. Συνολικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν πολύ υψηλή αντίσταση στα καυστικά και καλή μέχρι άριστη στα οξέα.
- 8) Μικρή συστολή κατά τον πολυμερισμό και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Αυτή η μικρή συστολή είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις εποξειδικές ρητίνες.

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Σύνθετο υλικό θεωρείται κάθε πολυφασικό υλικό, το οποίο επιδεικνύει ένα μεγάλο ποσοστό από τις ιδιότητες και των δύο επιμέρους φάσεων, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερος συνδυασμός των ιδιοτήτων τους. Σύμφωνα με αυτή την αρχή της συνδυασμένης δράσης, καλύτεροι συνδυασμοί ιδιοτήτων διαμορφώνονται με τον επιλεκτικό συνδυασμό δύο ή και περισσότερων διακριτών υλικών. Οι συνιστώσες φάσεις πρέπει να είναι χημικά ανόμοιες και να διαχωρίζονται με μια διακριτή επιφάνεια. Έτσι, πολλά κράματα μετάλλων και πολλά κεραμικά δεν περιλαμβάνονται σε αυτό τον ορισμό διότι οι πολλαπλές φάσεις τους σχηματίζονται ως αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων. Πολλά σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο φάσεις: την μήτρα, η οποία είναι μια συνεχής φάση και περιβάλλει την άλλη φάση, η οποία ονομάζεται διεσπαρμένη φάση. Οι ιδιότητες των συνθέτων υλικών είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων των συνιστωσών τους φάσεων, των σχετικών ποσών και

της γεωμετρίας της διεσπαρμένης φάσης, δηλαδή το σχήμα των κόκκων, το μέγεθός τους, η κατανομή τους και τέλος ο προσανατολισμός τους.

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- **Ινώδη σύνθετα** (fibrouscomposites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας.

- **Στρωματικά σύνθετα** (laminatedcomposites): Με επάλληλες στρώσεις υλικών.

- **Κοκκώδη σύνθετα** (particulatecomposites): Με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

- **Μονοδιευθυντικά σύνθετα**, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.

- **Πολυδιευθυντικά σύνθετα**, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά προσφέρουν την δυνατότητα για βελτιστοποίηση κατασκευών. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι:

- Η χαμηλή πυκνότητα, η υψηλή αντοχή και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας έχουν ως αποτέλεσμα να μπορούν να κατασκευαστούν γερές κατασκευές με χαμηλό βάρος.
- Οι ίνες σύνθετου μπορούν να έχουν την κατεύθυνση της βασικής καταπόνησης κάνοντας την κατασκευή αποδοτικότερη.
- Πολύ ανθεκτική σε διάβρωση και γενικά σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Βελτιωμένες ιδιότητες συντονισμού και απόσβεσης.
- Δυνατότητα κατασκευής πολύπλοκων σχημάτων.
- Πολύ χαμηλή θερμική διαστολή.
- Πολύ καλή αντοχή σε κόπωση.
- Δυνατότητα χρήσης σε κατασκευές ασφαλείας απορρόφησης ενέργειας.
- Φθαρμένες κατασκευές μπορούν να επισκευασθούν ευκολότερα.

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΝΩΝ

Τεχνολογικώς, τα πιο σπουδαία σύνθετα υλικά είναι εκείνα στα οποία η διασπαρμένη φάση έχει τη μορφή της ίνας. Οι στόχοι σχεδιασμού τέτοιων υλικών αναφέρονται στην υψηλή αντοχή και δυσκαμψία τους, με αποτέλεσμα τα ινώδη σύνθετα υλικά να παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές ειδικής αντοχής (εφελκυστική αντοχή/ειδικό βάρος) και ειδικού μέτρου ελαστικότητας (μέτρο ελαστικότητας/ ειδικό βάρος). Τα υλικά αυτά έχουν παραχθεί με χρήση χαμηλής πυκνότητας ινών και μητρικών υλικών. Τα σύνθετα υλικά με ίνες μπορούν να είναι είτε ισότροπα είτε ανισότροπα. Επίσης, σε αντίθεση με τα ενισχυμένα λόγω διασποράς σύνθετα, η αντοχή τους αυξάνεται τόσο σε θερμοκρασία δωματίου όσο και σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η ινώδης φάση: Ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό των περισσοτέρων υλικών, ιδιαιτέρως των ψαθυρών, είναι ότι οι ίνες μικρής διαμέτρου είναι πολύ πιο ανθεκτικές από το αντίστοιχο υλικό από το οποίο αποτελούνται. Η πιθανότητα της παρουσίας μιας επιφανειακής ατέλειας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε θραύση, ελαχιστοποιείται με την ελάττωση του όγκου του υλικού και αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται προ όφελος των ινωδών συνθέτων υλικών. Επίσης, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για ίνες ενίσχυσης έχουν μεγάλες εφελκυστικές αντοχές. Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ίνες είναι το γυαλί, ο άνθρακας και το αραμίδιο. Υπάρχουν, όμως, και άλλων ειδών ίνες (οι ίνες είναι στη μορφή συνεχών νημάτων). Αυτές μπορεί να είναι πλεγμένες ή ραμμένες μεταξύ τους για να παραχθεί το ύφασμα. Ή θα μπορούσαν να είναι μονοδιευθυντικές, όπως παράγονται άλλωστε.

ΣΥΝΗΘΗ ΕΙΔΗ ΙΝΩΝ

Ανθρακονήματα

Οι ίνες ανθρακονήματος χωρίζονται σε κατηγορίες υψηλής αντοχής, μεσαίου μέτρου ελαστικότητας, υψηλού μέτρου ελαστικότητας και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές υψηλής αντοχής και στιβαρότητας όπου τα πλεονεκτήματα του χαμηλού βάρους υπερκαλύπτουν το επιπλέον κόστος υλικού.

Υαλονήματα

Τα πλέον χρησιμοποιούμενα είναι τα E-glass, S- glass και Quartz. Χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές όπως η βαλλιστική, όπου οι διηλεκτρικές ιδιότητες είναι κρίσιμες. Το υαλόνημα είναι χαμηλότερου κόστους του ανθρακονήματος αλλά βαρύτερο και φτωχότερο μηχανικών ιδιοτήτων σε αντοχή και στιβαρότητα.

Αραμίδιο

Γνωστό από τα εμπορικά ονόματα Kevlar, Tecnona ή Twaron το αραμίδιο συνήθως χρησιμοποιείται όπου αναμένεται ζημιά από κρούση. Το αραμίδιο έχει την ιδιότητα να απορροφά και να διαχέει ενέργεια όπως επίσης και την ιδιότητα να αντιστέκεται στην απόξεση αλλά υποφέρει από μικρή αντοχή σε θλίψη. Το Dyneema είναι ένα πολύ υψηλού μοριακού βάρους πολυεθυλένιο. Χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή και χαμηλή πυκνότητα. Παρόλα αυτά έχει μικρή αντοχή στην θερμοκρασία και όπως το αραμίδιο μικρή αντοχή σε θλίψη. Οι Zylon ίνες έχουν ανώτερη αντοχή σε εφελκυσμό από τις ίνες αραμιδίου.

Έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή σε κρούση και υψηλή αντοχή στην θερμοκρασία. Οι αδυναμίες τους περιλαμβάνουν φτωχή αντοχή σε θλίψη και φτωχή αντοχή σε υπέρυθρη ακτινοβολία.

Όσο αφορά τη διάμετρο και τον τύπο, οι ίνες ομαδοποιούνται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- 1) Βελόνες
- 2) Ίνες
- 3) Σύρματα

Οι βελόνες είναι πολύ λεπτοί μονοκρύσταλλοι στους οποίους ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο έχει πολύ υψηλές τιμές. Σαν αποτέλεσμα του πολύ μικρού τους μεγέθους έχουν ένα πολύ υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας και είναι σχεδόν ελεύθεροι ατελειών. Θεωρούνται ως τα πιο ανθεκτικά υλικά που είναι γνωστά μέχρι σήμερα. Παρά τις μεγάλες αντοχές τους, οι βελόνες δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σαν μέσα ενίσχυσης διότι είναι πάρα πολύ ακριβές. Επιπλέον είναι πολύ δύσκολη η ενσωμάτωση αυτών των βελονών μέσα σε μια μήτρα. Στα βελονοειδή συγκαταλέγονται ο γραφίτης, το καρβίδιο του πυριτίου, το νιτρίδιο του πυριτίου και το οξειδίο του αλουμινίου.

Τα υλικά, τα οποία ταξινομούνται ως *ίνες* είναι είτε πολύκρυσταλλικά είτε άμορφα και έχουν μικρές διαμέτρους. Τα ινώδη υλικά είναι γενικά πολυμερή ή κεραμικά (π.χ. αραμιδικά πολυμερή, γυαλί, άνθρακας, βόριο, οξειδίο του αλουμινίου και νιτρίδιο του πυριτίου).

Τέλος, τα λεπτά *σύρματα* έχουν σχετικά μεγάλες διαμέτρους. Ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των υλικών είναι το ασάλι, το μολυβδένιο και το βολφράμιο.

Φάση της μήτρας: Η φάση της μήτρας των ινωδών συνθέτων υλικών μπορεί να είναι μεταλλική, πολυμερής (όπως στην παρούσα εφαρμογή η εποξειδική ρητίνη) ή κεραμική. Γενικά, τα μέταλλα και τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σαν μητρικά υλικά γιατί είναι επιθυμητός κάποιος βαθμός ολκιμότητας. Για τα σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας, το ενισχυτικό συστατικό προστίθεται για να βελτιώσει τη δυσθραυστότητα. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πιο ακριβές και εκτός από τις εμπορικές εφαρμογές που έχουν, χρησιμοποιούνται ευρέως σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Έχουν καλύτερες

μηχανικές ιδιότητες από τους πολυεστέρες, ένα άλλο είδος πολυμερούς καθώς και αντοχή στην υγρασία. Για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται τα πολυϊμίδια. Το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο για συνεχή χρήση αυτών είναι περίπου 230 °C. Τέλος, οι θερμοπλαστικές ρητίνες υψηλών θερμοκρασιών έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Σε αυτά τα υλικά συγκαταλέγονται η πολυαιθεραιθερκετόνη (PEEK), το πολυφαινυλοσουλφίδιο (PPS) και το πολυαιθεριμίδιο (PEI).

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αργίλιο (Al) ή αλουμίνιο όπως είναι ευρέως γνωστό και η οικογένεια των κραμάτων του είναι σήμερα μετά το σίδηρο και το χάλυβα, τα σημαντικότερα βιομηχανικά μέταλλα και η χρήση τους διαρκώς επεκτείνεται. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο και είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της γης και συνολικά το τρίτο πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ

δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Η σημερινή διάδοση του αλουμινίου είναι εύκολο να εξηγηθεί εάν ληφθούν υπόψη οι φυσικές ιδιότητές του. Πράγματι, το αλουμίνιο έχει το μικρότερο μετά το μαγνήσιο ειδικό βάρος από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα. Επίσης, η μηχανική αντοχή ορισμένων κραμάτων του φθάνει το όριο θραύσεως 70kp/mm^2 . Για τους λόγους αυτούς, η αντοχή ανά μονάδα βάρους ορισμένων κραμάτων είναι εντυπωσιακά υψηλή, κατάλληλη για εφαρμογές στις αεροπορικές και διαστημικές κατασκευές. Επίσης, η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου είναι πολύ υψηλή, μικρότερη μόνο από το χαλκό, τον άργυρο και το χρυσό. Η ανά μονάδα βάρους αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι η μεγαλύτερη από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα.

Το αλουμίνιο και τα κράματα του, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην οξείδωση και στη διάβρωση, αν και αντιδρούν ισχυρά με το οξυγόνο. Αυτό οφείλεται στο οξείδιο του αλουμινίου που σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και δεν επιτρέπει την περαιτέρω οξείδωση του. Στο οξείδιο αυτό οφείλεται και το μοναδικό ίσως μειονέκτημα που παρουσιάζει το αλουμίνιο και τα κράματα του, δηλαδή τη δύσκολη συγκόλληση τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίθετα, το αλουμίνιο και τα κράματά του προσφέρονται για όλους τους τύπους των μηχανουργικών κατεργασιών, χύτευση, κοπή, εξέλαση κλπ. Τα πλεονεκτήματα αυτά σε συνδυασμό με τα μεγάλα αποθέματα αλουμινίου που υπάρχουν το καθιστούν ισχυρό ανταγωνιστή του σιδήρου και του χάλυβα.

Οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του επηρεάζονται σημαντικά από τις μηχανικές και θερμικές κατεργασίες του. Ιδιαίτερη σημασία από μηχανουργικής άποψης έχουν οι εσωτερικές τάσεις που δημιουργούνται κατά τις μηχανουργικές κατεργασίες του υλικού. Οι τάσεις αυτές είναι σκόπιμο να απαλείφονται με αναθέρμανση του υλικού γιατί πολύ συχνά λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου προκαλούν με την πάροδο του χρόνου μεταβολή του σχήματος και των διαστάσεων ή ακόμα και εμφάνιση ρωγμών. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται στην καθαρή του μορφή με περιεκτικότητα 99% και άνω σε Al και κράμα με Si, Cu, Zn, Mn, Mg, Ni κ.α.

ΣΕΙΡΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ 7000

Πρόκειται για κράματα Al – Zn – Mg και για κράματα Al – Zn – Mg – Cu. Αυτά, μετά από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες, παρουσιάζουν τις καλύτερες Μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου. Το ποσοστό του Zn κυμαίνεται από 4 – 8% και αυτό του Mg από 1 – 3%. Η επιταχυνόμενη σκλήρυνση δομής οφείλεται κυρίως στην κατακρήμνιση της ένωσης MgZn_2 . Προσθήκη χαλκού, σε ποσοστό μικρότερο του 2%, προκαλεί σκλήρυνση λόγω της δημιουργίας στερεού διαλύματος και κατακρήμνισης. Ωστόσο, η παρουσία χαλκού, μειώνει την εμβαπτότητα, τη συγκολλησιμότητα και τη δυσθραυστότητα των κραμάτων Al – Mg – Zn. Παρουσία χρωμίου, σε ποσοστό μικρότερο του 0,3% βελτιώνει την αντοχή των κραμάτων αυτών σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση, ενώ η παρουσία Zn βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα τους. Τα κράματα της σειράς 7000 υποβάλλονται εύκολα σε θερμικές κατεργασίες, λόγω του μεγάλου θερμοκρασιακού εύρους της περιοχής ομογενοποίησης τους, της καλής τους εμβαπτότητας (ενίοτε η βαφή πραγματοποιείται στον αέρα) και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών γήρανσης. Λόγω του συνόλου των ιδιοτήτων αυτών, τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς 7000 δεν αλλοιώνονται κατά τη συγκόλληση τους. Ωστόσο, η συγκολλησιμότητα τους παραμένει μέτρια. Το κυριότερο μειονέκτημα των κραμάτων της σειράς αυτής είναι η μειωμένη αντοχή εν θερμώ, έτσι, η θερμοκρασία χρήσης τους παραμένει χαμηλή (έως 120°C). Τα κράματα του αλουμινίου της σειράς 7000 χρησιμοποιούνται, κυρίως, στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών και τμημάτων κατασκευών που υφίστανται ισχυρή καταπόνηση, όπου απαιτούνται υψηλή μηχανική αντοχή και αντοχή σε διάβρωση. Αντιπροσωπευτικά κράματα είναι τα 7005, 7075, 7475 και 7150. Το εύρος αντοχής τους σε εφελκυσμό είναι 220 – 605 Mpa.

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ 7075 T651

Το σύμβολο t στην ονομασία των κραμάτων αλουμινίου σημαίνει πως το

υλικό έχει υποστεί θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση. Αυτή είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε θερμικώς κατεργάσιμα χυτά και διαμορφωμένα κράματα και αποσκοπεί στην αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα με τ6 συμβολίζεται η θερμική κατεργασία ομογενοποίησης σε συνδυασμό με τεχνητή γήρανση. Αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία δεν επιδέχονται κατεργασίες ψυχρής διαμόρφωσης μετά από ομογενοποίηση και οι μηχανικές ιδιότητες τους βελτιώνονται σημαντικά με θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με κατακρήμνιση σε υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος (τεχνητή γήρανση).

Κατά τη διαδικασία της *ομογενοποίησης* έχουμε θέρμανση του υλικού κοντά στη θερμοκρασία *solidus*. Με τη θέρμανση αυτή προσπαθούμε να επιτύχουμε τη διαλυτοποίηση των κραματικών στοιχείων στη μητρική φάση του αλουμινίου. Έτσι ένα υπέρκορο σε κραματικά στοιχεία στερεό διάλυμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της *βαφής*. Σκοπός της βαφής είναι η διατήρηση του υπέρκορου στερεού διαλύματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται με ταχεία ψύξη του κράματος σε κάποιο ψυκτικό μέσο όπως το νερό, το λάδι, το υγρό άζωτο κ.α. Ο ρυθμός ψύξης επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων καθώς και στην αντοχή τους στη διάβρωση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ψύξης αυξάνεται το όριο διαρροής σε κράματα τα οποία είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του ρυθμού ψύξης όπως τα κράματα της σειράς 7000. Συγκεκριμένα στο κράμα 7075 για να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή απαιτείται ρυθμός ψύξης 330oC/sec και άνω. Επίσης για μέγιστη αντοχή σε διάβρωση απαιτείται ρυθμός ψύξης ανώτερος από 280oC/sec. Ακολουθεί διάγραμμα με την κατά βάρος περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων του αλουμινίου **7075T651**:

Υλικό: Περιεκτικότητα % κατά βάρος:	
Al	[87,1% – 91,4%]
Cr	[0,18% – 0,28%
Cu	[1,2% – 2%]
Fe	Μέγιστη 0,5%
Mg	[2,1% – 2,9%]
Mn	Μέγιστη 0,3%
Si	Μέγιστη 0,4%
Ti	Μέγιστη 0,2%
Zn	[5,1 – 6,1%]
Άλλο, έκαστο	Μέγιστη 0,05%
Άλλα, σύνολο	Μέγιστη 0,15%

Επίσης στο παράρτημα παρατίθεται διάγραμμα με τις ιδιότητες του κράματος.

3. Πρωτόκολλο που ακολουθούμε

Τα τεστ γίνονται βάση του προτύπου en 14766:2005 Mountain-bicycles - Safety requirements and test methods, το οποίο έχει εγκριθεί από την Ευρωπαϊκή επιτροπή προτύπων στις 7 Οκτωβρίου 2005.

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τα τεστ ασφαλείας και το κανονισμό για το τιμόνι της παραγράφου 4.7 .

Πλήρης μετάφραση.

4.7 Σύστημα στρέψης

4.7.1 Διαστάσεις τιμονιού

Το τιμόνι έχει συνολικό πλάτος 350-1000mm εκτός και αν οι εθνικοί κανονισμοί υποδεικνύουν αλλιώς . Η κάθετη απόσταση, δηλαδή η προς τα κάτω απόσταση ανάμεσα στην κορυφή και τις χειρολαβές, όταν συναρμολογείτε στην υψηλότερη θέση και η επιφάνεια της σέλας στη κατώτερη θέση για οδήγηση , δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 400mm.

4.7.2 Λαβές του τιμονιού και πρόσθετες τάπες

4.7.2.1 Απαιτήσεις

Στο τέλος του τιμονιού θα πρέπει να εφαρμόζουν λαβές και τάπες . Όταν θα δοκιμαστούν οι μέθοδοι που περιγράφονται στη παράγραφο 4.7.2.2 , οι λαβές και οι τάπες θα πρέπει να αντέξουν σε μια δύναμη 70N που θα τα εφελκεί.

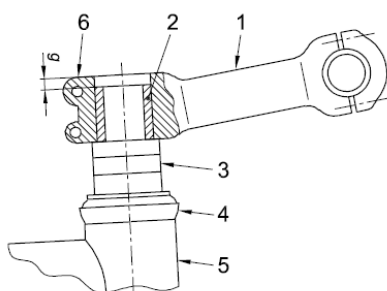
4.7.2.2 Μέθοδος δοκιμασίας

Βυθίζουμε το τιμόνι, με μια από τις χειρολαβές και τις τάπες τοποθετημένες, σε νερό θερμοκρασίας δωματίου για 1 ώρα και μετά το βάζουμε στο καταψύκτη έως ότου αποκτήσει θερμοκρασία χαμηλότερη από τους -5°C . Βγάζουμε το τιμόνι από το καταψύκτη και το αφήνουμε να φτάσει σε θερμοκρασία -5° τότε εφαρμόζουμε δύναμη 70N στη λαβή ή στη τάπα με κατεύθυνση να φύγει από τη θέση του . Το κρατάμε σε καταπόνηση μέχρι να φτάσει του $+5^{\circ}\text{C}$.

4.7.3 Λαιμός τιμονιού – Βάθος σημείου εισόδου και θετικό τέρμα

Ο λαιμός του τιμονιού πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ένα από τα δύο ακόλουθα εναλλακτικά μέσα για την εξασφάλιση ενός ασφαλούς σημείου τοποθέτησης πάνω στο «**στέμμα του πιρουνιού**»:

A) Θα πρέπει να περιέχει μια μόνιμη εγκάρσια σήμανση, στο μήκος όχι μικρότερη (ίση ή μεγαλύτερη) από την εξωτερική διάμετρο του κορμού, η οποία ξεκάθαρα θα δείχνει το ελάχιστο βάθος εισαγωγής του λαιμού στο στέμμα του πιρουνιού. Το σήμα εισαγωγής πρέπει να βρίσκεται σε θέση



Key

- g Distance between the upper, external part of the handlebar-stem clamp and the upper part of the fork-stem
- 1 Stem-extension
- 2 Extended fork-stem
- 3 Spacer-rings
- 4 Bearing assembly
- 5 Head-tube
- 6 Stem-extension to stem clamp

όχι μικρότερη από 2,5 φορές την εξωτερική διάμετρο του λαιμού από το κάτω μέρος της κορώνας, και πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον τη διάμετρο της κορώνας στη συνέχεια, υλικό περιμετρικά της κορώνας από κάτω (?).

Β) Θα πρέπει να συμπεριληφθούν μόνιμα ασφαλιστικά για να μην φύγει από τη θέση του και να μην μετακινηθεί σε διαφορετική θέση από ότι λέει η παράγραφος Α).

4.7.4 απαιτήσεις σύσφιξης λαιμού και στέμματος πιρουνιού

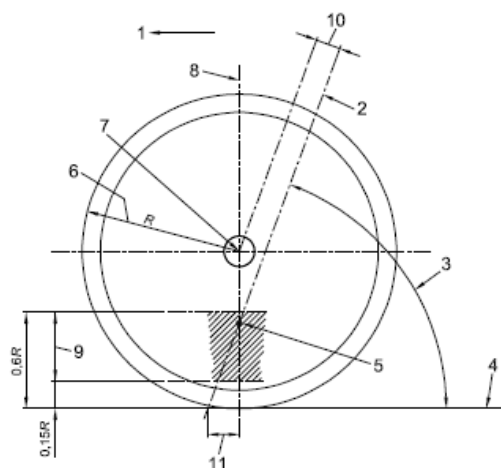
Η απόσταση g , βλέπε σχήμα 17, μεταξύ του άνω εξωτερικού τμήματος του λαιμού και του άνω εσωτερικού μέρους του στέμματος του πιρουνιού, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 mm. Το άνω μέρος του στέμματος στο οποίο ο λαιμός συσφίγγεται δεν θα έχει σπείρωμα. Η διάσταση g εξασφαλίζει επίσης ότι μπορεί να επιτευχθεί η σωστή ρύθμιση του συστήματος διεύθυνσης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για αλουμίνιο και ανθρακόνημα συνιστάται να αποφεύγεται οποιασδήποτε εσωτερική συσκευή η οποία θα μπορούσε να βλάψει την εσωτερική επιφάνεια.

4.7.5 Σταθερότητα συστήματος διεύθυνσης

Το σύστημα διεύθυνσης πρέπει να είναι ελεύθερο να στρέφεται τουλάχιστον 60° σε κάθε πλευρά σε σχέση με την θέση της ευθείας χωρίς σκληρά σημεία, δυσκαμψία ή χαλαρότητα στο ρουλεμάν, όταν ρυθμιστεί σωστά. Ένα ελάχιστο 25% της συνολικής μάζας του ποδηλάτου και του αναβάτη ασκούνται στο μπροστινό τροχό, όταν ο αναβάτης κρατάει τις χειρολαβές του τιμονιού και κάθεται στη σέλα, με την σέλα και τον αναβάτη στη πιο πίσω θέση τους.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: η γεωμετρία του συστήματος διεύθυνσης δίνεται στην εικόνα Β.1.



Key

- 1 Direction of travel
- 2 Steering axis
- 3 Steering head angle
- 4 Ground line
- 5 Intersection point
- 6 Wheel radius
- 7 Wheel centre
- 8 Perpendicular to ground line
- 9 Tolerance
- 10 Offset
- 11 Trail

Figure B.1 — Steering geometry

4.7.6 Συναρμολόγηση συστήματος στρέψης - στατικές δοκιμές αντοχής και ασφάλειας

4.7.6.1 Λαιμός - πλευρική δοκιμή κάμψης

4.7.6.1.1 Γενικά

Η παρούσα δοκιμή προορίζεται για ς κατασκευαστές που δεν παράγουν τιμόνια.

4.7.6.1.2

Απαιτήσεις

Όταν η συναρμογή δοκιμαστεί με την μέθοδο που περιγράφεται στο 4.7.6.1.3, δεν πρέπει να υπάρχουν ρωγμές ή θραύση του λαιμού ή μόνιμη παραμόρφωση, μετρούμενη από το σημείο

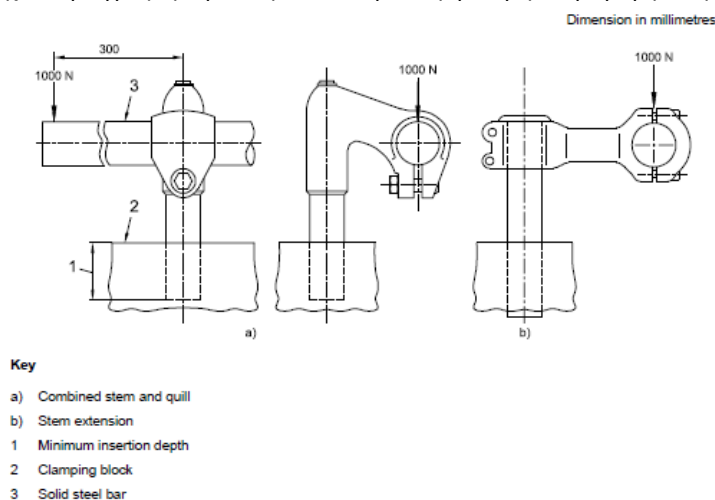


Figure 18 — Handlebar-stem – lateral bending test

εφαρμογής της δύναμης δοκιμής και στην κατεύθυνση της δύναμης δοκιμής δεν θα υπερβαίνει τα 10 mm.

Μέθοδος δοκιμής 4.7.6.1.3

Για τα στελέχη που έχουν "κούτελο σωλήνα", στερεώστε το κούτελο σε μια βάση με το ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3), ή, για τις επεκτάσεις που σφίγγουν κατευθείαν πάνω σε ένα εκτεταμένο στέμμα πιρουνιού, στερεώστε και από την άνω μεριά με ένα υποστήριγμα στο κατάλληλο ύψος. Τοποθετήστε μαζί με ένα δοκιμαστικό τιμόνι στο λαιμό και εφαρμόστε μια δύναμη 1 000 N σε απόσταση 300 mm από τον άξονα του στελέχους όπως δείχνεται στο Σχήμα 18. Διατηρήστε αυτή τη δύναμη για 1 λεπτό.

4.7.6.2 Συναρμολόγηση τιμονιού και λαιμού- πλευρική δοκιμή κάμψης

4.7.6.2.1 Γενικά

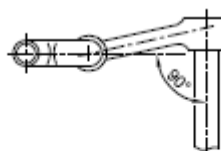
Αυτή η δοκιμή είναι για τους κατασκευαστές που παράγουν το τιμόνι και το λαιμό ή τους κατασκευαστές της ρόδας.

4.7.6.2.2 Απαιτήσεις

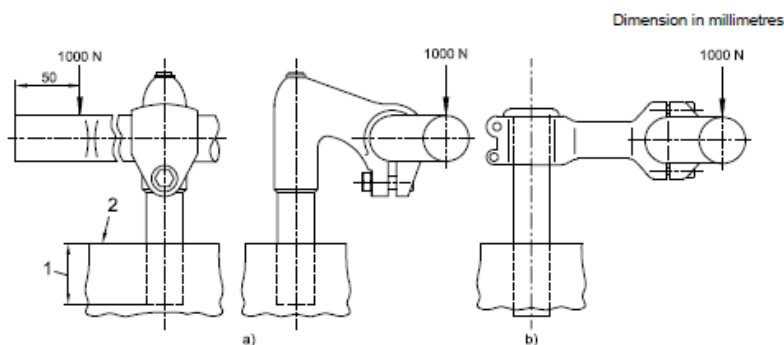
Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο 4.7.6.2.3, δεν θα πρέπει να υπάρχει καμία ρωγή ή θραύση του τιμονιού, του λαιμού ή των κοχλίων και η μόνιμη παραμόρφωση που μετράται από το σημείο εφαρμογής της δύναμης δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 mm.

4.7.6.2.3 Μέθοδος δοκιμής

Συναρμολογήστε το τιμόνι και το λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, εκτός αν το τιμόνι και ο λαιμός συνδέονται μόνιμα, π.χ. με συγκόλληση ή οξυγονοκόλληση. Ευθυγραμμίστε τις λαβές του τιμονιού σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του λαιμού (βλέπε Σχήμα 19). Για στελέχη που έχουν κούτελο για εισαγωγή στο στέμμα του πιρουνιού στερεώστε με μια ακόμα έδραση στο ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3), ή για τις επεκτάσεις στερεώστε το στέμμα με ασφάλεια σε



ένα υποστήριγμα στο κατάλληλο ύψος. Εφαρμόστε μια δύναμη 1 000 N σε ένα απόσταση 50 mm από το ελεύθερο άκρο του τιμονιού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 20. Διατηρήστε αυτή τη δύναμη για 1 λεπτό.



Key

- a) Combined stem and quill
- b) Stem extension
- 1 Minimum insertion depth
- 2 Clamping block

Figure 20 — Handlebar and stem assembly – lateral bending test

4.7.6.3 λαϊμός - δοκιμή κάμψης προς τα εμπρός

4.7.6.3.1 Γενικά

Διεξαγωγή της δοκιμής σε δύο στάδια για την ίδια συναρμολόγηση ως εξής:

4.7.6.3.2 Απαιτήσεις για το στάδιο 1

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο 4.7.6.3.3, δεν πρέπει να υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύσεις και η μόνιμη μετατόπιση που μετράται από το σημείο εφαρμογής της δύναμης δοκιμής προς την κατεύθυνση της δύναμης δοκιμής δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 mm.

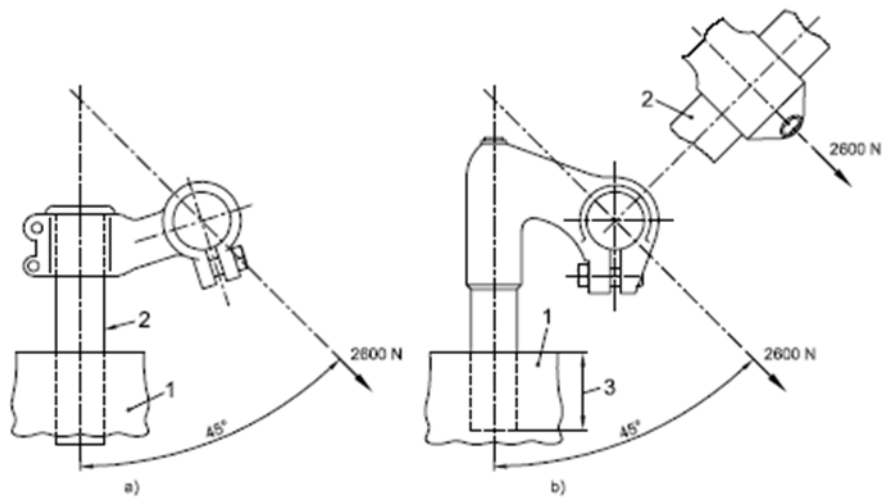
4.7.6.3.3 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 1: Για τους λαϊμούς που έχουν κούτελο για την εισαγωγή στο στέμμα του πιρουνιού, στερεώστε το κομμάτι που προεξέχει με ασφάλεια σε ένα υποστήριγμα στο ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3), ή, για τους λαϊμούς που σφίγγουν κατευθείαν πάνω σε μία επέκταση του πιρουνιού, στερεώστε την επέκταση πάνω σε μία κατάλληλη, σταθερή, χαλύβδινη μπάρα και στερεώστε τη μπάρα με ασφάλεια σε μία βάση, το μήκος της ράβδου δεν είναι κρίσιμο. Εφαρμόστε μια δύναμη από 1600N τραβώντας το τιμόνι σε κατεύθυνση προς τα εμπρός και προς τα κάτω στις 45 ° στον άξονα της ράβδου ή της μπάρας χάλυβα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 21 και διατηρήστε αυτή την δύναμη για 1 λεπτό. Απελευθερώστε τη δύναμη δοκιμής και μετρήστε τη μόνιμη μετατόπιση (βλέπε 4.7.6.3.2). Εάν το τιμόνι-στέλεχος ικανοποιεί τις απαιτήσεις του 4.7.6.3.2, συνεχίστε στο δεύτερο στάδιο της δοκιμής.

4.7.6.3.4 Απαιτήσεις για το στάδιο 2

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο 4.7.6.3.5, δεν πρέπει να υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύσεις.

4.7.6.3.5 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 2

Με το λαϊμό τοποθετημένο όπως στο στάδιο 1 (4.7.6.3.3), εφαρμόζονται προοδευτικά αυξανόμενη δύναμη στην ίδια θέση και την κατεύθυνση, όπως στο 4.7.6.3.3 έως ότου είτε η δύναμη φτάνει σε ένα μέγιστο των 2 600 N ή μέχρι την σύστημα εκτρέπει 50 mm από το σημείο εφαρμογής της δύναμης δοκιμής και την κατεύθυνση της δύναμης δοκιμής. Εάν το στέλεχος δεν λυγίσει ή συνεχίσει να λυγίζει, διατηρήστε την δύναμη για 1 λεπτό.



Key

- a) Stem extension
- b) Combined stem and quill
- 1 Clamping fixture
- 2 Solid steel bar
- 3 Applied force
- 4 Minimum insertion depth

Figure 21 — Handlebar stem – forward bending test

4.7.6.4 Τιμόνι με λαιμό - τεστ ασφάλειας σε στρέψη

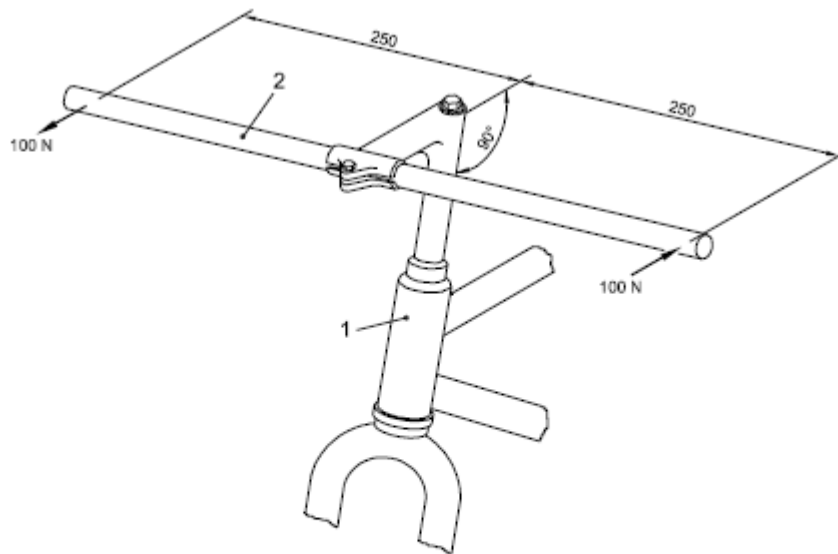
4.7.6.4.1 Απαιτήσεις

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο 4.7.6.4.2, δεν θα πρέπει να υπάρχει κίνηση του τιμονιού σε σχέση με το λαιμό.

4.7.6.4.2 Μέθοδος δοκιμής

Σφίξτε το λαιμό με ασφάλεια σε μία βάση στο ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3) και με τον άξονά του κατακόρυφο. Εφαρμόστε ροπή 80 Nm πάνω στην κεντρική γραμμή του τιμονιού. Χωρίστε τη ροπή εξίσου από κατακόρυφες και κάθετες δυνάμεις που εφαρμόζονται και στις δύο πλευρές του τιμονιού και διατηρήστε τις δυνάμεις για 1 λεπτό.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η ακριβής μέθοδος εφαρμογής της ροπής θα ποικίλει ανάλογα τον τύπο του τιμονιού, ένα παράδειγμα απεικονίζεται στο Σχήμα 22. Εάν οι χειρολαβές είναι ενσωματωμένες από τον κατασκευαστή, οι δυνάμεις δοκιμής πρέπει να εφαρμόζονται πάνω σε αυτές κατά τη δοκιμή (όπως φαίνεται αργότερα στο Σχήμα 26 α). Εάν, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, μπορεί να χρησιμοποιούνται ακριανές χειρολαβές, στη προσομοίωση θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή (όπως φαίνεται στο Σχήμα 26 β)).



Key

- 1 Frame and fork assembly
- 2 Solid steel bar

Figure 23 — Handlebar-stem to fork-stem – torsional security test

4.7.6.5 λαιμός και στέμμα του πιρουνιού - δοκιμή ασφαλείας σε στρέψη

4.7.6.5.1 Απαιτήσεις

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται σε 4.7.6.5.2, δεν θα πρέπει να υπάρχει κίνηση του σε σχέση με το στέμμα του πιρουνιού.

4.7.6.5.2 Μέθοδος δοκιμής

Συναρμολογήστε το πιρούνι σωστά στο πλαίσιο του ποδηλάτου και τοποθετήστε τιμόνι με το σύστημα κλειδώματος σφίγγοντας το σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, και εφαρμόστε μια ροπή των 50 Nm με φορά σε κάθε κατεύθυνση της πιθανής περιστροφής σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του πιρουνιού . Διατηρήστε κάθε ροπή για 1 λεπτό.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η ακριβής μέθοδος εφαρμογής της ροπής μπορεί να ποικίλει, ένα παράδειγμα δείχνεται στο Σχήμα 23.

4.7.6.6 Ακριανές χειρολαβές και τιμόνι - δοκιμή ασφαλείας σε στρέψη

4.7.6.6.1 Απαιτήσεις

Όταν δοκιμαστεί η μέθοδος που περιγράφεται στο 4.7.6.6.2 δεν θα πρέπει να υπάρχει κίνηση της χειρολαβής σε σχέση με το τιμόνι.

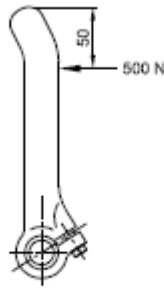


Figure 24 — Bar-end to handlebar – torsional security test

4.7.6.6.2 Μέθοδος δοκιμής

Ασφαλίστε το τιμόνι σε μια κατάλληλη βάση και συναρμολογήστε τις χειρολαβές στο τιμόνι, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εφαρμόστε μια δύναμη 500 N στη χειρολαβή σε απόσταση 50 mm από το ελεύθερο άκρο της ράβδου όπως φαίνεται στο Σχήμα 24 και διατηρήστε αυτή την δύναμη για 1 λεπτό.

4.7.7 Τιμόνι και λαιμός - δοκιμή σε κόπωση

4.7.7.1 Γενικά: Ο λαιμός μπορεί να επηρεάσει τις αστοχίες της δοκιμής του τιμονιού και για το λόγο αυτό, ένα τιμόνι θα πρέπει πάντα να δοκιμάζεται τοποθετημένο σε ένα λαιμό, αλλά επιτρέπεται να δοκιμαστεί και με μία σταθερή μπάρα στη θέση του και τις χειρολαβές σε θέσεις που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο τιμόνι. Όταν η δοκιμασία της κόπωσης είναι για το στέλεχος μόνο, ο κατασκευαστής του στελέχους θα πρέπει να καθορίσουν τα είδη και τα μεγέθη του, για τα οποία το στέλεχος προορίζεται και η δοκιμή θα πρέπει να βασίζεται στον πιο πιθανό συνδυασμό. Η Διεξαγωγή της δοκιμής γίνεται σε δύο στάδια για την ίδια διάταξη.

4.7.7.2 Απαιτήσεις για το στάδιο 1

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στη 4.7.7.3, δεν πρέπει να υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύσεις σε οποιοδήποτε μέρος του τιμονιού και του λαιμού. Για τιμόνι ή λαιμό από ανθρακονήματα, η μεγαλύτερη μετατόπιση σε κάθε κατεύθυνση από τη μέση θέση δεν θα πρέπει ξεπερνά το 20% από τις αρχικές τιμές.

4.7.7.3 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 1

Εκτός από την περίπτωση που το τιμόνι και ο λαιμός συνδέονται μόνιμα, π.χ. με συγκόλληση ή οξυγονοκόλληση, ευθυγραμμίστε τις λαβές του τμήματος του τιμονιού σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του λαιμού (βλέπε Σχήμα 19), και ασφαλίστε το τιμόνι με το λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Σφίξτε το λαιμο με ασφάλεια σε μια βάση με ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3), ή στην περίπτωση ενός λαιμού με επέκταση η οποία προορίζεται να συσφίγγεται σε μία έκταση του στέμματος του πιρουνιού ασφαλίστε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή στο κατάλληλο μήκος.

Για τιμόνι όπου ο κατασκευαστής δηλώνει ότι δεν προορίζονται για χρήση με χειρολαβές, εφαρμόστε πλήρως αντίθετες δυνάμεις από 270 N σε μία θέση 50 mm από το ελεύθερο άκρο κάθε πλευράς του τιμονιού για 100 000 κύκλους, με τις δυνάμεις σε κάθε άκρο του τιμονιού να είναι εκτός φάσεως μεταξύ τους και παράλληλα προς τον άξονα του τιμονιού όπως φαίνεται στο σχήμα 25 α). Η μέγιστη συχνότητα δοκιμής πρέπει να είναι 25 Hz.

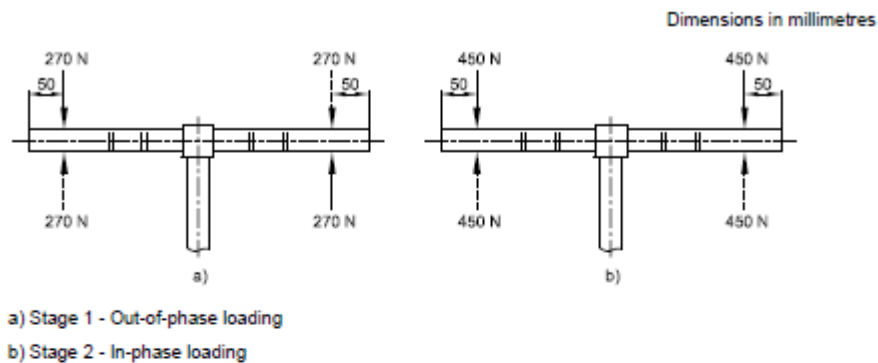


Figure 25 — Handlebar and stem – fatigue tests

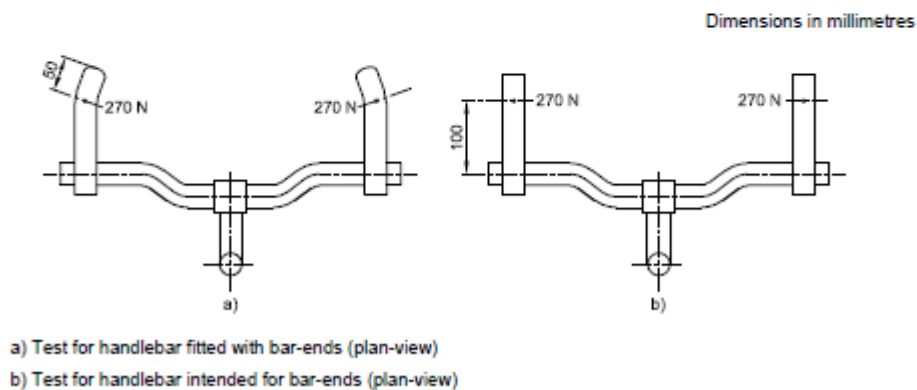


Figure 26 — Handlebar incorporating bar-ends – out-of-phase fatigue tests

Όταν ένας κατασκευαστής ποδηλάτων συγκολλά χειρολαβές, ταιριάζτε τις χειρολαβές στο τιμόνι σύμφωνα τις οδηγίες για σύσφιξη αλλά με τις χειρολαβές που βρίσκονται σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του τιμονιού και να εφαρμόσει τις εξωτερικές δυνάμεις σε αυτές όπως δείχνεται στο Σχήμα 26 α). Όταν ένας κατασκευαστής τιμονιού διευκρινίζει ότι το τιμόνι του είναι κατάλληλο για χρήση με χειρολαβές, συνεχίστε τη δοκιμή με τις εκτός φάσεως δυνάμεις που εφαρμόζονται σε προσομοιωμένες χειρολαβές, όπως δείχνεται στο Σχήμα 26 β). Εάν το τιμόνι ικανοποιεί την απαίτηση της 4.7.7.2, αφαιρέστε τυχόν χειρολαβές και διεξάγετε το στάδιο 2 της δοκιμής με τις συναρμογή στις ίδιες βάσεις.

4.7.7.4 Απαιτήσεις για το στάδιο 2

Κατά τη δοκιμή σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στη 4.7.7.5, δεν πρέπει να υπάρχουν ορατές ρωγμές ή θραύσεις σε οποιοδήποτε μέρος του τιμονιού και του λαιμού. Για τιμόνια ή λαιμούς από ανθρακονήματα, η κορυφή της απόκλισης κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε κατεύθυνση από τη μέση θέση δεν θα πρέπει να αυξηθεί περισσότερο από 20% των αρχικών τιμών.

4.7.7.5 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 2

Εφαρμόστε πλήρως αντίθετες δυνάμεις των 450 N σε θέση 50 mm από τις ελεύθερο άκρο κάθε πλευράς του τιμονιού για 100 000 κύκλους, με τις δυνάμεις σε κάθε άκρο του τιμονιού να είναι σε αντίθετη φάση με το άλλο και παράλληλα προς τον άξονα του στελέχους τιμονιού όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 25 β). Η μέγιστη συχνότητα δοκιμής πρέπει να είναι 25 Hz.

4. Στόχοι σχεδιασμού

Το τεστ αντοχής για το λαιμό του ποδηλάτου έχει μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας από το τιμόνι οπότε μπορούμε να εξακολουθήσουμε το στατικό τεστ

5. Μεθοδολογία σχεδιασμού

Το τεμάχιο είναι τιμόνι ποδηλάτου. Το τεμάχιο πρέπει κατασκευάζεται με τους εξής περιορισμούς :

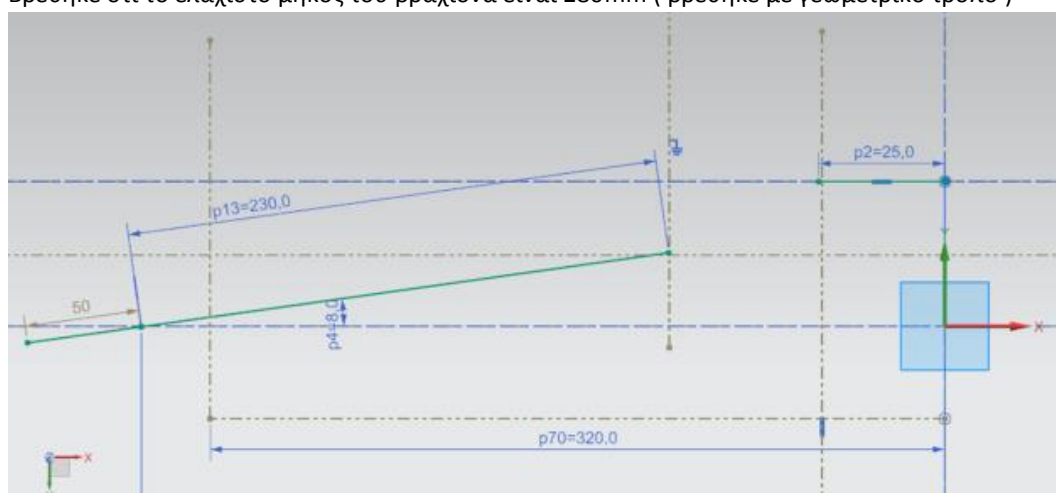
- 1) Να έχει βραχίονα με μήκος τουλάχιστον $\Phi 22,2\text{mm}$ για 200mm .
- 2) Να μπορεί ανάλογα με την απαίτηση του αναβάτη να προσαρμοστεί σε συνολικό μήκος από $[800\text{mm}, 640\text{mm}]$.
- 3) Ο λαιμός του ποδηλάτου πακτώνει 50mm με διάμετρο $\Phi 31,8\text{mm}$.

Πείραμα:

Για λόγους υπολογιστικής και χρονικής οικονομίας λόγω της συμμετρίας που παρουσιάζετε θα μελετηθεί το μισό τεμάχιο.

1) Τεμάχιο

Βρέθηκε ότι το ελάχιστο μήκος του βραχίονα είναι 280mm (βρέθηκε με γεωμετρικό τρόπο)



2) Μελέτη

Επιλέχτηκε mesh 2mm με CTETRA4 elements .Το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε είναι είναι το Aluminum 7075-T651. Τις ιδιότητες του υλικού τις βρήκαμε στο <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA7075T6> με πάχος 2mm .Επιλέγο το πάχος των 2mm γιατί σε πάχος 1mm τα αποτελέσματα των πειραμάτων είναι απαγορευτικά .

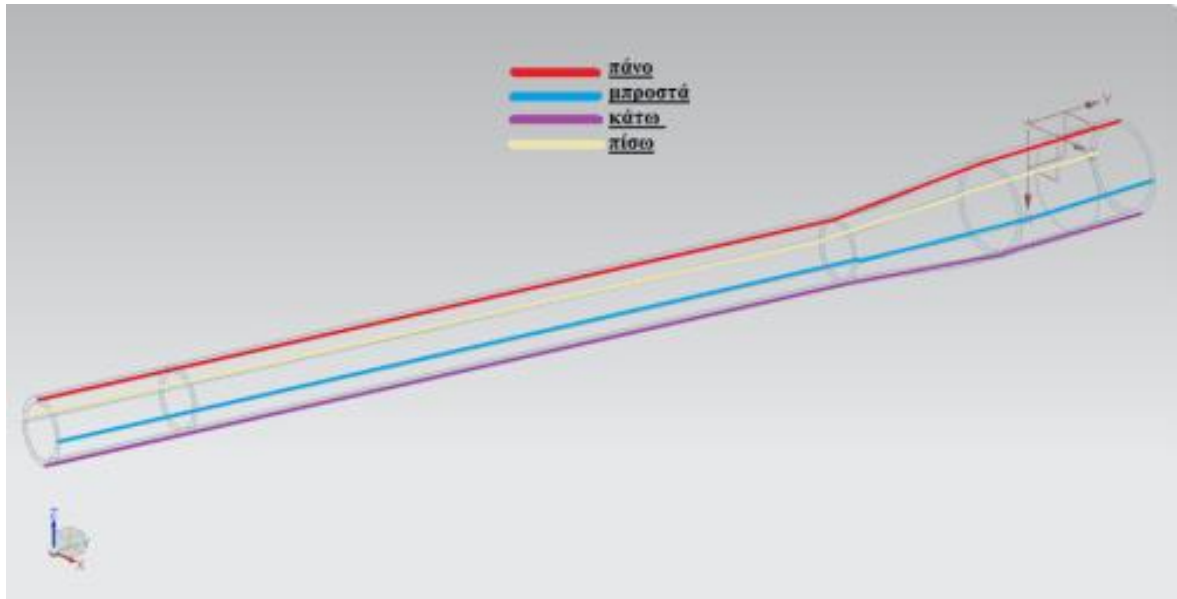
3) Πείραμα

Εφαρμόστηκε δύναμη 1000N στο ελεύθερο άκρο σε 2 διαφορετικές κατευθύνσεις στους άξονες ZZ' , $+YY'$, $-YY'$.

Και πάκτωση στο κέντρο με πλάτος 25mm .

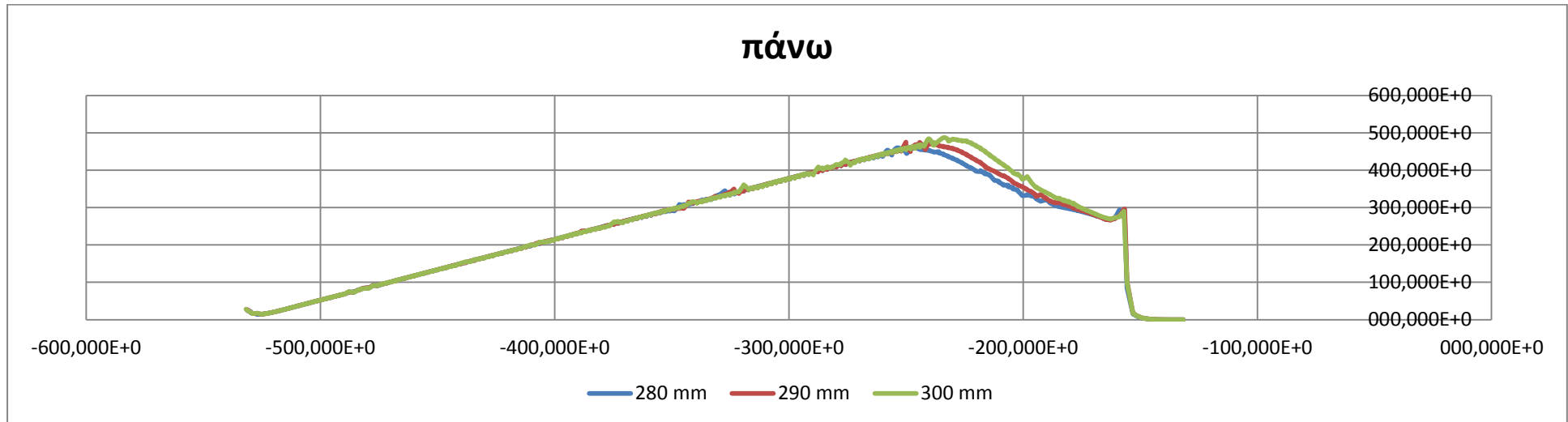
4) Επιλογή κριτηρίου.

Άμα πάρουμε την κατανομή των τάσεων στην κορυφή της κάθε πλευράς του τιμονιού , σχηματίζουμε διαγράμματα από τα οποία μπορούμε να διαλέξουμε την βέλτιστη γεωμετρία με κριτήριο την μείωση των ακρότατων ή την ομαλότητα της κατανομής.

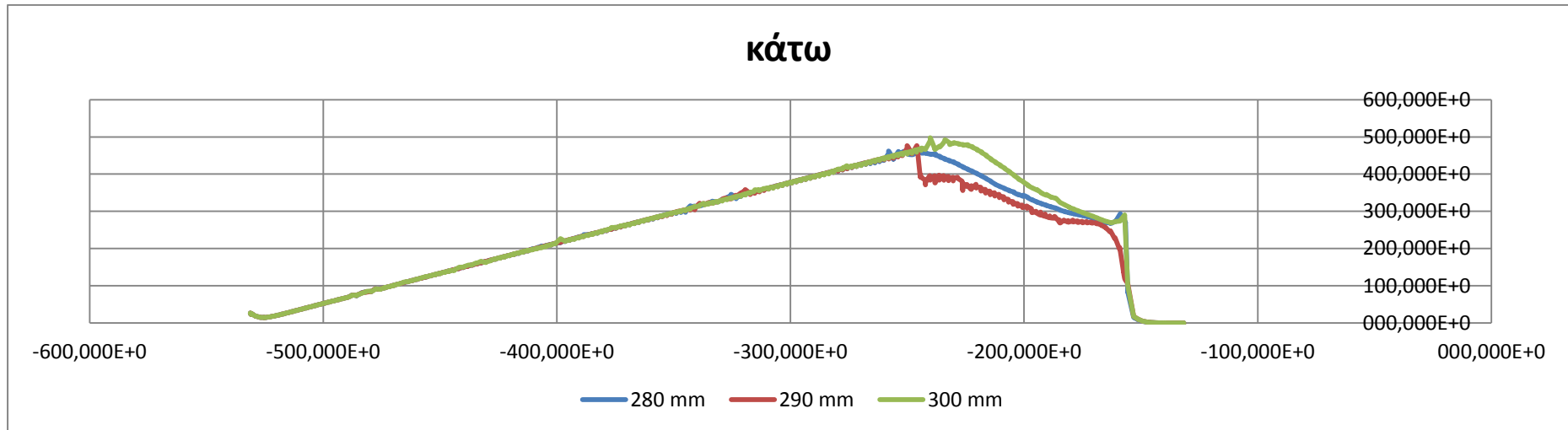


- 5) Βελτιστοποίηση γεωμετρίας
- i. Εύρεση μήκους βραχίονα. Αρχικό μοντέλο με πλάτος κέντρου 25mm και παραλλαγές 280mm-290mm-300mm.

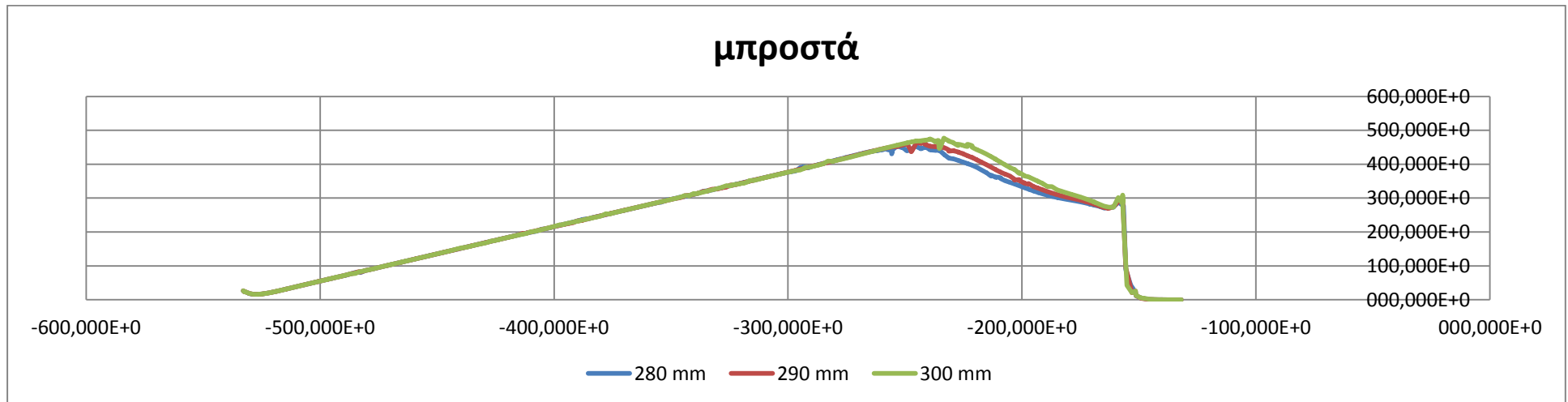
Άξονας ZZ'	*stress elemental	max displacement value			
branch length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
280 mm	482.468	1,320E+0	-194,627E-3	27,515E+0	27,544E+0
290 mm	492.702	1,343E+0	-198,147E-3	28,188E+0	28,217E+0
300 mm	499.889	1,374E+0	202,855E-3	29,072E+0	29,102E+0

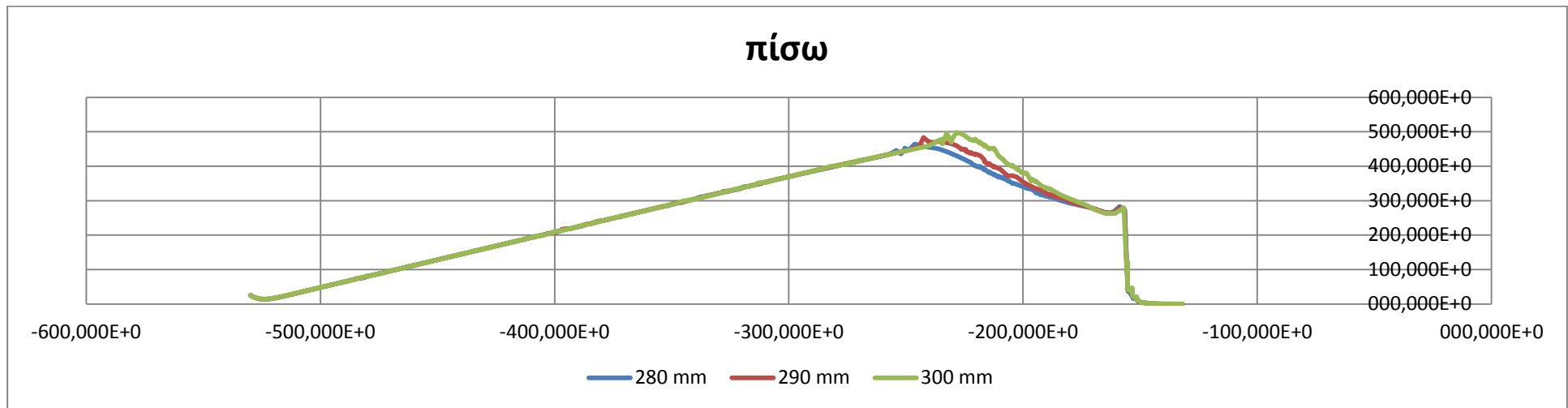


Αξονας +YY'	*stress elemental	max displacement value			
branch length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
280 mm	478.493	320,126E-3	1,984E-3	-17,611E-3	27,230E+0
290 mm	483.512	5,097E+0	27,785E+0	19,272E-3	27,892E+0
300 mm	509.812	5,257E+0	28,656E+0	-22,157E-3	28,769E+0



Άξονας -YY'	*stress elemental	max displacement value			
branch length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
280 mm	478.493	-320,126E-3	27,127E+0	17,611E-3	27,230E+0
290 mm	483.512	-5,097E+0	-27,785E+0	-19,272E-3	27,892E+0
300 mm	509.812	329,558E-3	-28,656E+0	22,157E-3	28,769E+0

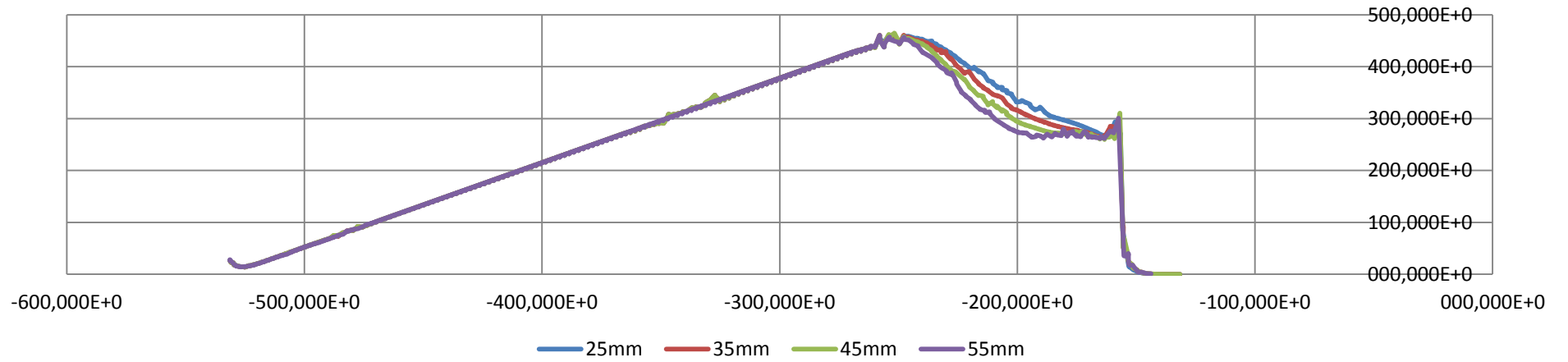




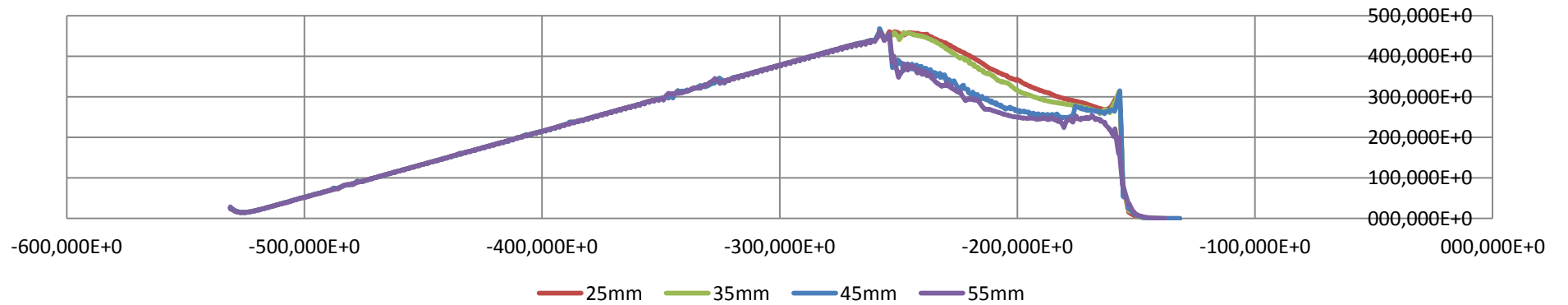
ii. Επιλέγουμε το μήκος 280mm γιατί έχει μικρότερα ακρόατα στη πάνω και πιο ομαλή στη κάτω. Επόμενη φάση βελτιστοποίηση πλάτους βάσης , κατασκευή μοντέλων με μήκος 25-35-45-55mm.

Άξονας ZZ'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	482.468	1,320E+0	-194,627E-3	27,515E+0	27,544E+0
35mm	474.931	-1,301E+0	-195,019E-3	26,940E+0	26,969E+0
45mm	474.886	1,280E+0	-194,028E-3	26,371E+0	26,401E+0
55mm	476.126	1,263E+0	-186,536E-3	25,852E+0	25,881E+0

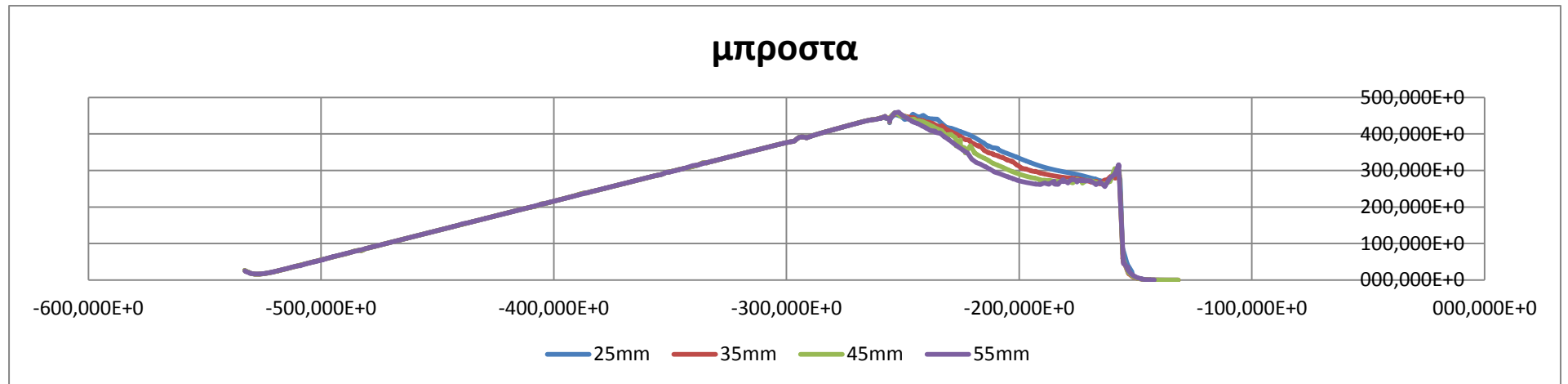
πάνω

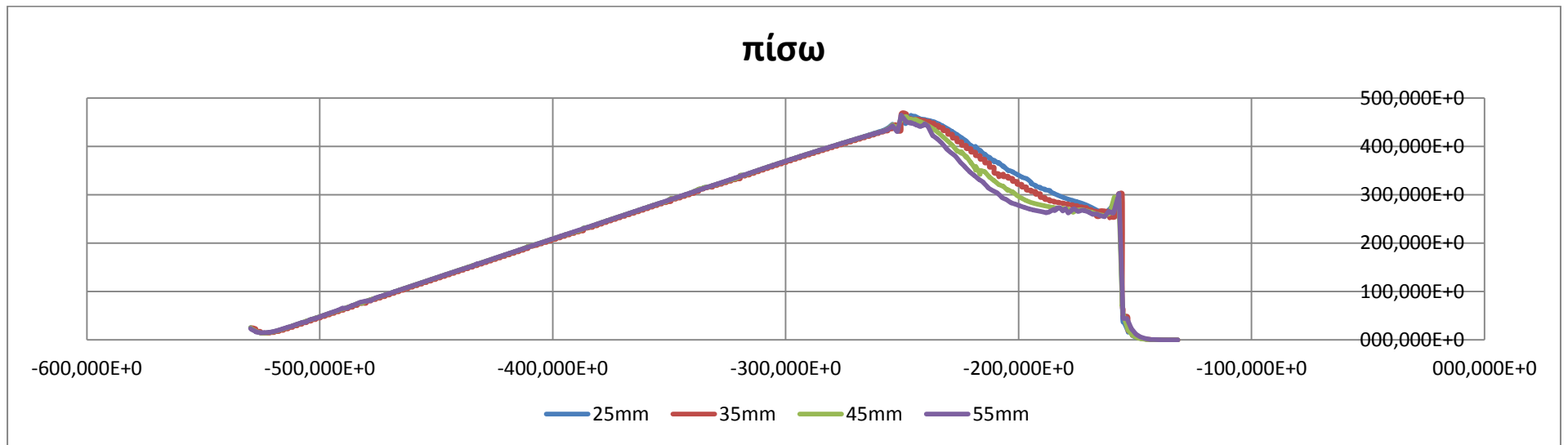


κάτω

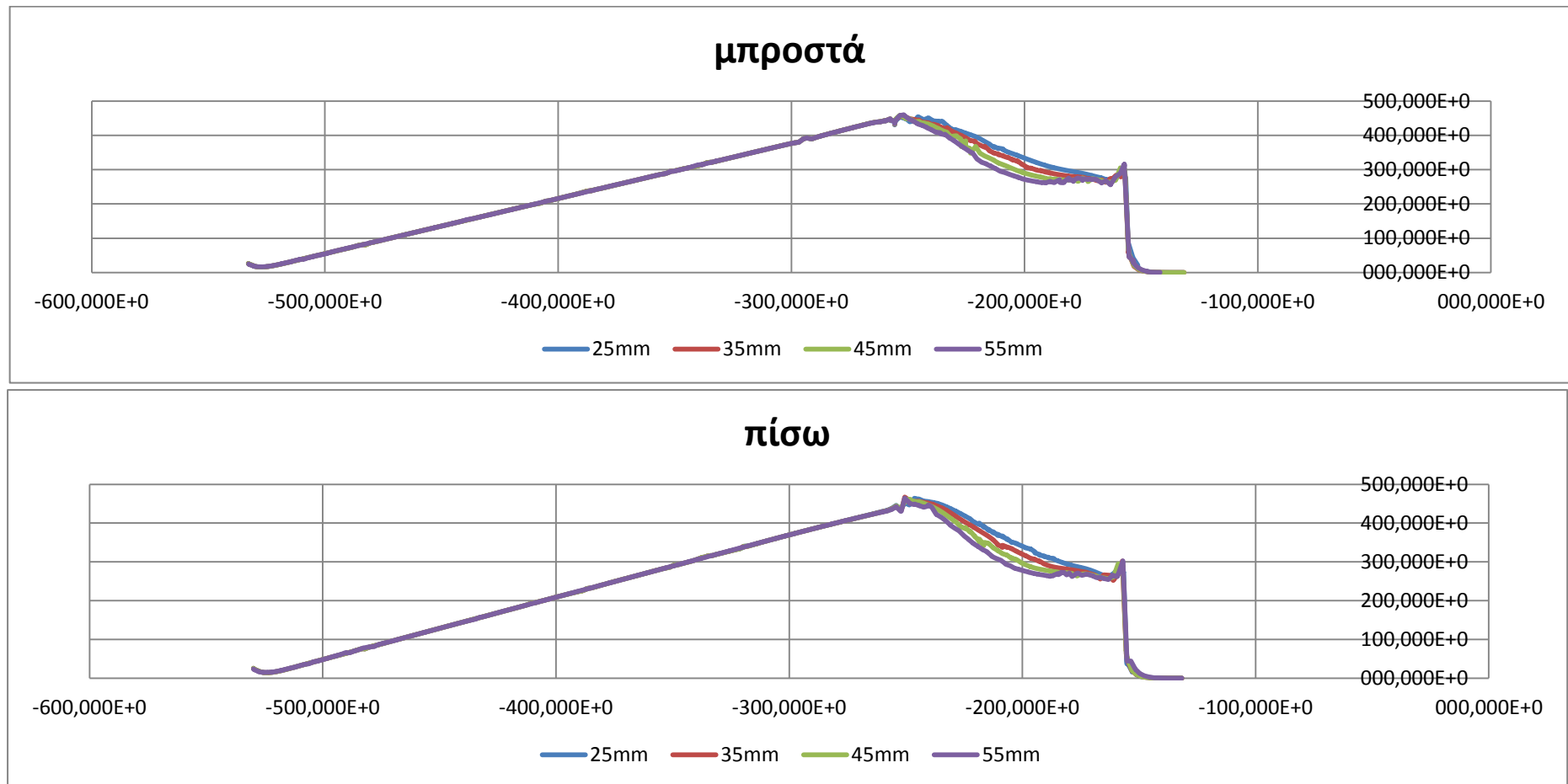


Αξονας +YY'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	478.493	320,126E-3	1,984E-3	-17,611E-3	27,230E+0
35mm	467.201	4,883E+0	26,559E+0	-17,423E-3	26,659E+0
45mm	464.652	4,791E+0	26,004E+0	-17,800E-3	26,102E+0
55mm	464.647	4,705E+0	25,484E+0	17,569E-3	25,579E+0



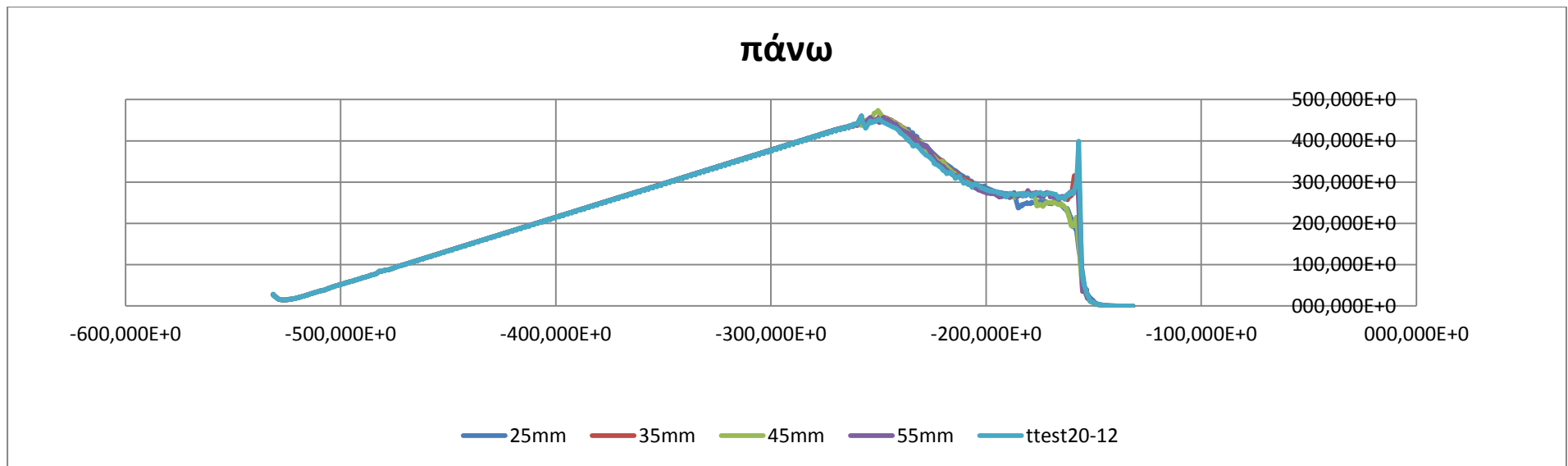


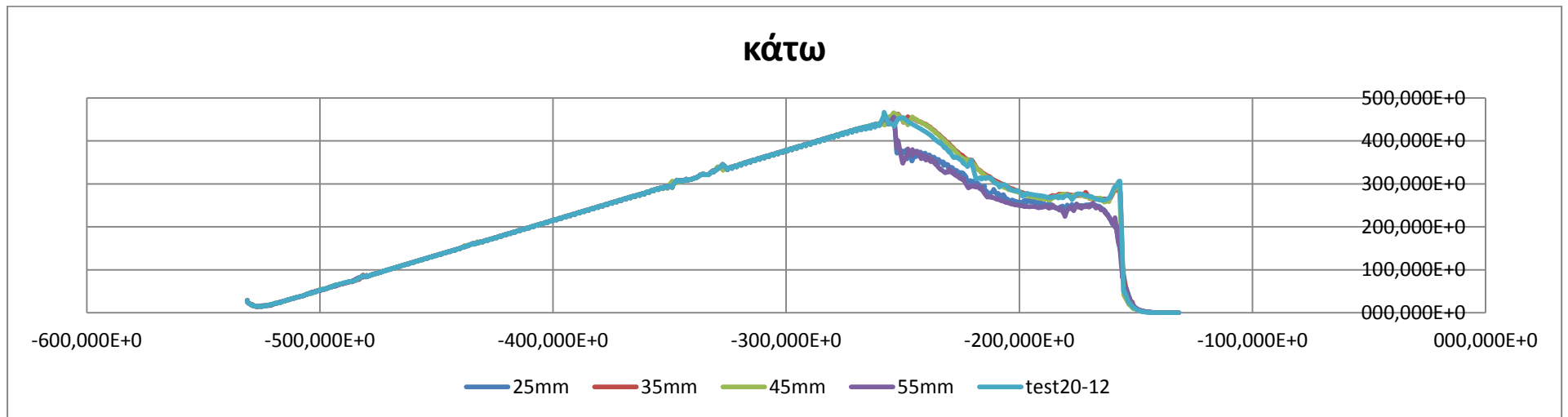
Άξονας -YY'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	478.493	-320,126E-3	27,127E+0	17,611E-3	27,230E+0
35mm	467.201	-4,883E+0	-26,559E+0	17,423E-3	26,659E+0
45mm	464.652	-4,791E+0	-26,004E+0	17,800E-3	26,102E+0
55mm	464.647	-4,705E+0	-25,484E+0	-17,569E-3	25,579E+0



iii. Επιλέγουμε το 55m γιατί έχει τα μικρότερα ακρότατα . Όμως η καμπύλη της πίσω πλευράς είναι αρκετά απότομη και αυτό θα οδηγήσει σε συσσώρευση τάσεων οπότε φτιάχτηκαν μοντέλα από του πλάτος της βάσης μίκρυνε σταδιακά από τα 55-45-35-25mm.

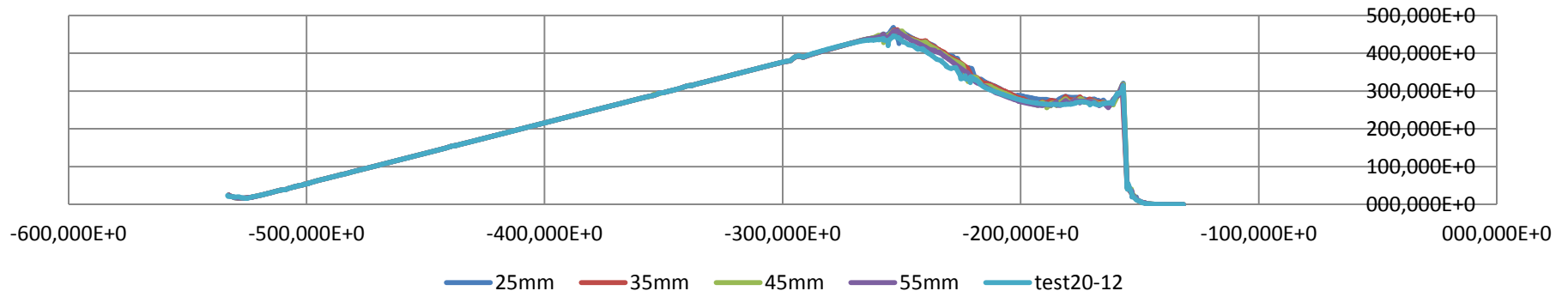
Άξονας ZZ'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm^2(MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	471.616	-1,270E+0	-192,627E-3	26,042E+0	26,071E+0
35mm	474.066	1,267E+0	-190,232E-3	25,971E+0	25,999E+0
45mm	476.737	1,265E+0	-188,090E-3	25,906E+0	25,935E+0
55mm	476.126	1,263E+0	-186,536E-3	25,852E+0	25,881E+0



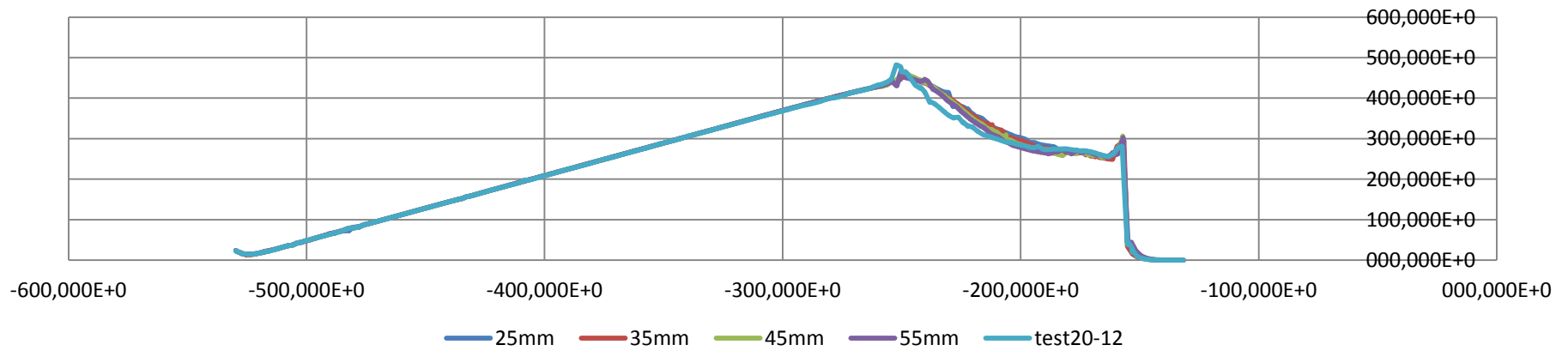


Άξονας +YY'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	473.483	4,807E+0	26,046E+0	-21,910E-3	26,144E+0
35mm	465.687	4,771E+0	25,844E+0	20,617E-3	25,942E+0
45mm	468.421	4,737E+0	25,657E+0	19,430E-3	25,754E+0
55mm	464.647	4,705E+0	25,484E+0	17,569E-3	25,579E+0

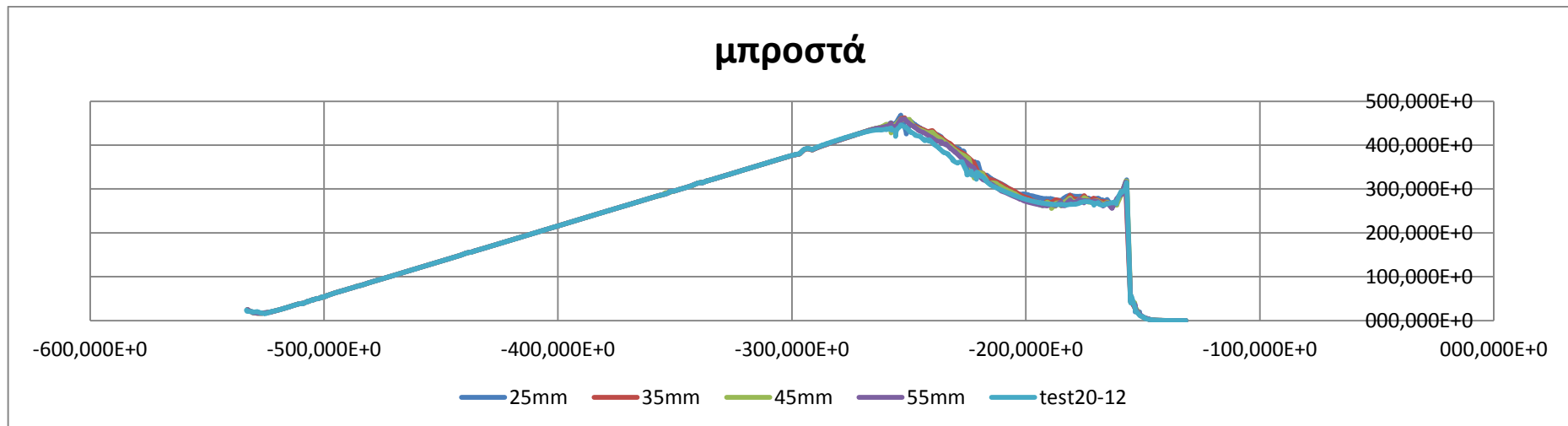
μπροστά



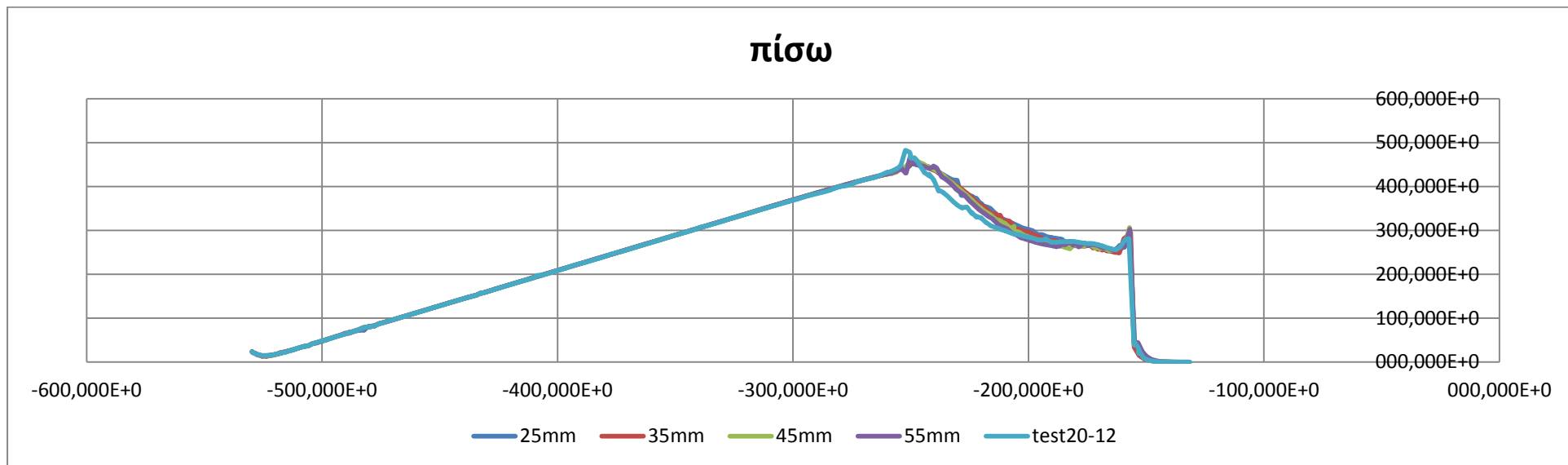
πίσω



Άξονας -YY'	*stress elemental	max displacement value			
center length	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
25mm	473.483	-4,807E+0	-26,046E+0	21,910E-3	26,144E+0
35mm	465.687	-4,771E+0	-25,844E+0	-20,617E-3	25,942E+0
45mm	468.421	-4,737E+0	-25,657E+0	-19,430E-3	25,754E+0
55mm	464.647	-4,705E+0	-25,484E+0	-17,569E-3	25,579E+0



πίσω



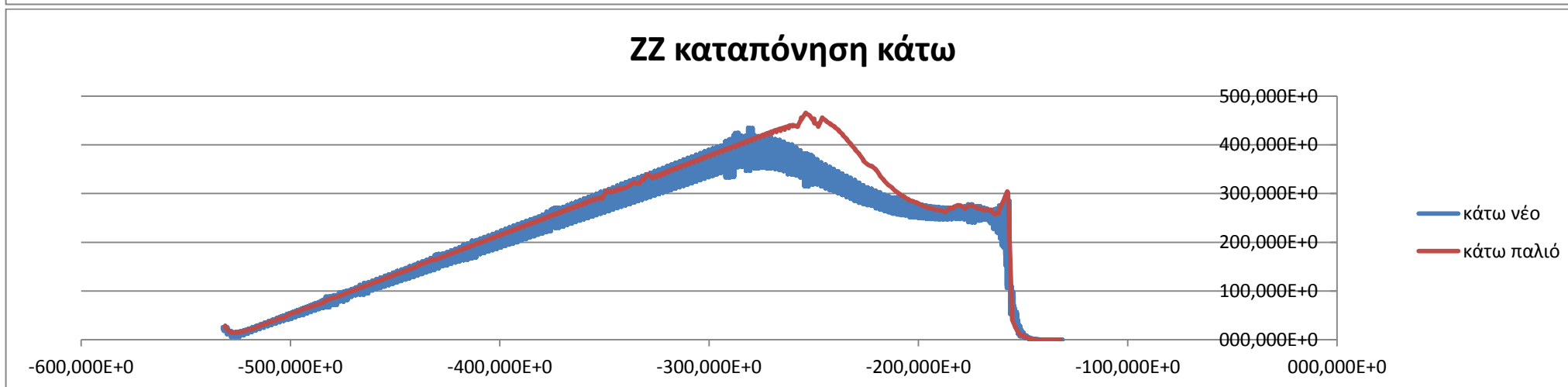
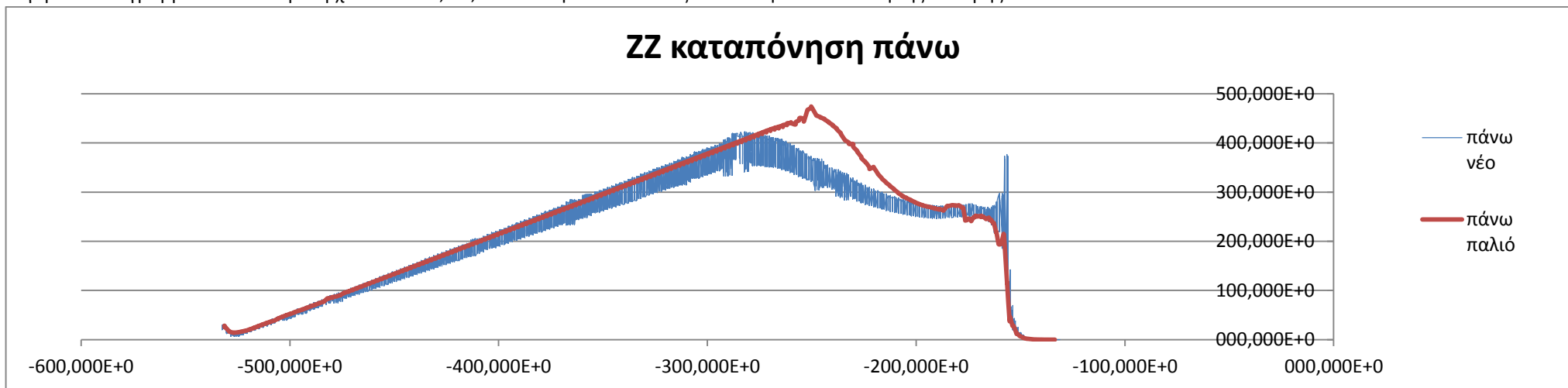
Συμπέρασμα

Επειδή δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά επιλέξαμε το 45mm. Η γεωμετρία στην οποία καταλήγουμε σίγουρα είναι η βέλτιστη αλλά η αρνητική κλίση προς τα εμπρός της μέσα μεριάς σίγουρα θα οδηγήσει σε stress risers για αυτό θα πειράξουμε την πίσω μεριά και το μήκος του βραχίονα. Γνωρίζουμε από παλαιότερα τεστ ότι όσο μικρότερη είναι η ευθεία του βραχίονα τόσο καλύτερη συμπεριφορά παρουσιάζει στην κατανομή των τάσεων το τιμόνι οπότε απλά το σχεδιάζουμε ώστε η καμπύλη να πληρεί το προηγούμενο χαρακτηριστικό.

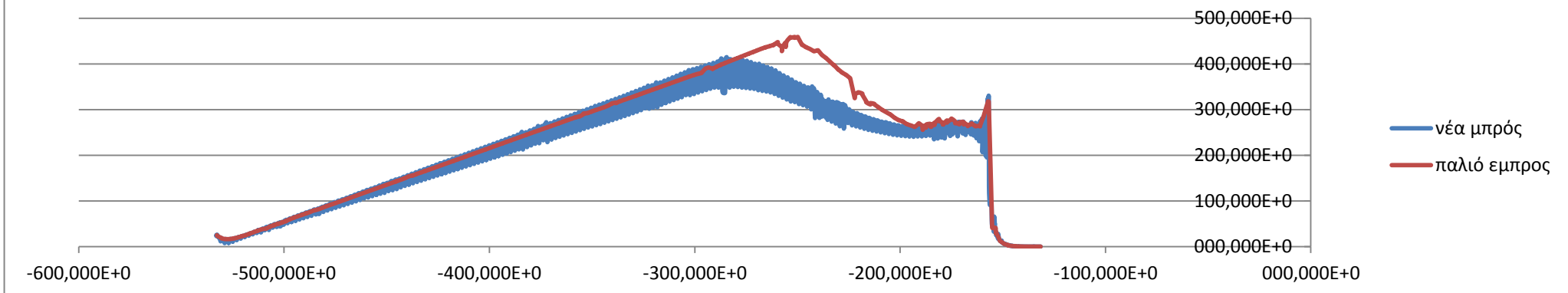
Το τιμόνι ανάλογα με την παραγγελία του πελάτη μπορεί να κοπεί στα άκρα και να υπάρχει σε μεγέθη 640mm 700mm και 800mm.

	*stress elemental noodal	max displacement value			
A/A	max stress value N/mm ² (MPa)	X	Y	Z	Magnitude
ZZ άξωνας	435.184	-1,214E+0	-175,782E-3	24,645E+0	24,674E+0
YY+ άξωνας	423.889	4,422E+0	24,022E+0	15,920E-3	24,108E+0
YY- άξωνας	423.889	-4,422E+0	-24,022E+0	-15,920E-3	24,108E+0

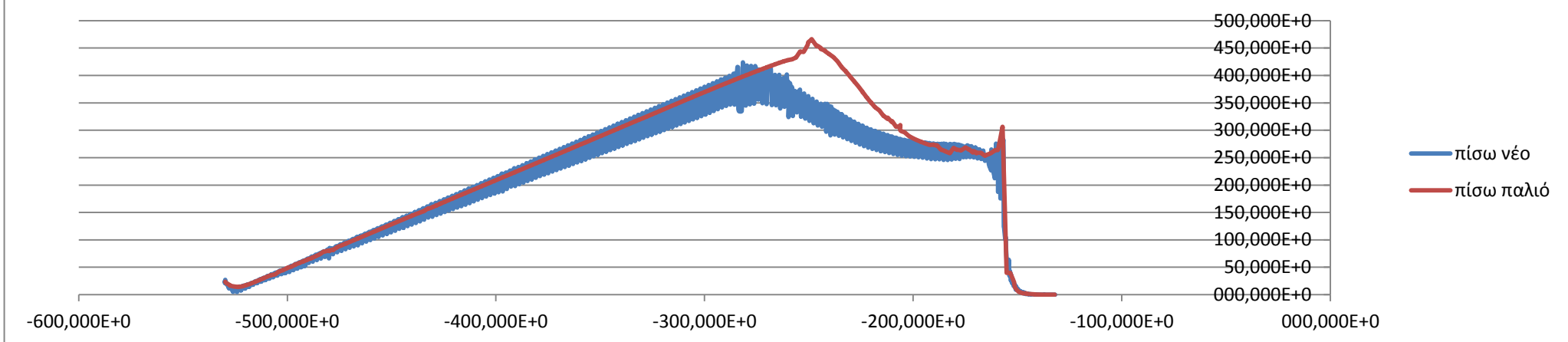
Συγκριτικά διαγράμματα τελικού με αρχικού : το ZZ,-ΥΥ,+ΥΥ υποδηλώνουν τον άξονα και την κατεύθυνση της δύναμης .



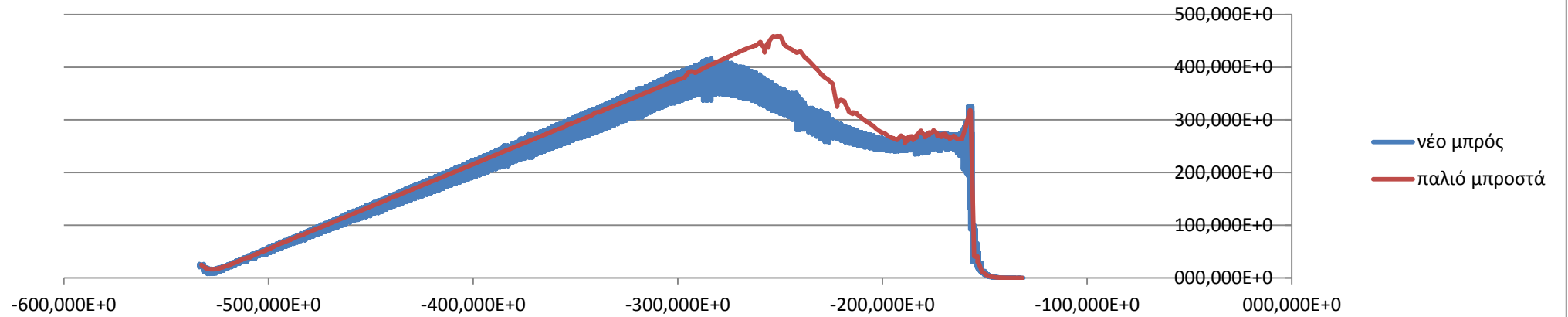
+ΥΥ καταπόνηση μπρός



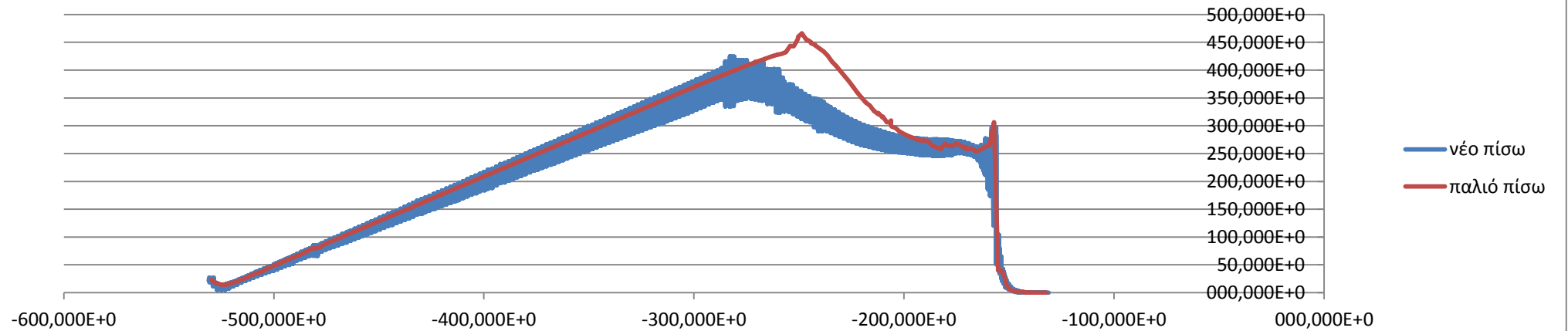
+ΥΥ καταπόνηση πίσω



-ΥΥ καταπόνηση μπρός



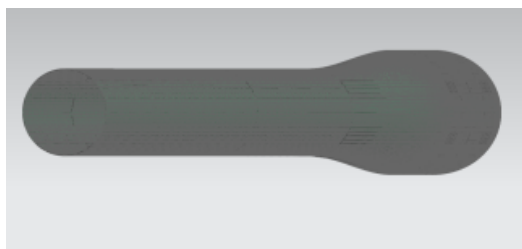
-ΥΥ καταπόνηση πίσω



6. Θεωρητική προσομοίωση βάση προτύπου

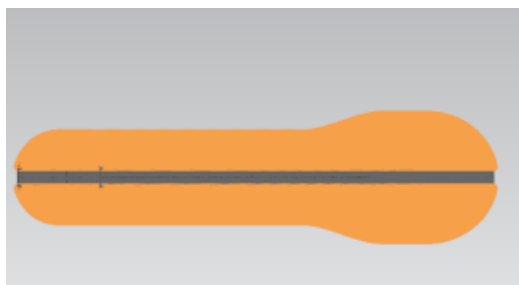
Τρόπος εύρεσης συνταγής

Το τιμόνι το χωρίζουμε σε περιοχές (όπως αναφέρεται στο παράρτημα) ανάλογα με το πώς γνωρίζουμε ότι θα τοποθετηθούν οι στρώσεις.



Πλάγια όψη τιμονιού

Το Unidirectional 0 μοίρες ύφασμα θα τοποθετηθεί στην πάνω και κάτω μεριά με κενό στο μέσο του τιμονιού.

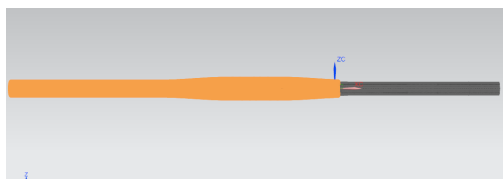


Το Unidirectional 90 μοίρες ύφασμα θα τοποθετηθεί στο κέντρο



Και το woven ύφασμα θα τοποθετηθεί είτε σε ολόκληρη την επιφάνεια του τιμονιού είτε τμηματικά ενισχύοντας κάποια πλευρά.

Πχ τμηματικά



Βέβαια ανάλογα την συνταγή αλλάζουν τα σημεία εφαρμογής όπως παρουσιάζεται σε πίνακα στην συνέχεια.

Διαδικασία

Η διαδικασία meshing που θα χρησιμοποιήσουμε είναι η zone based που εξηγείται στο παράρτημα . Η διαφοροποίηση του zone based από το ply based είναι ότι μια zone μπορεί να έχει πολλές στρώσεις , ενώ ένα ply υπάρχει σε πολλές ζώνες .

Το εργαλείο optimization του προγράμματος δυστυχώς μας δίνει τη δυνατότητα να το χρησιμοποιήσουμε μόνο σε ένα συγκεκριμένο τμήμα , για αυτό επιλέξαμε και το συγκεκριμένο τρόπο . Επιλέγουμε το κεντρικό στο οποίο υπάρχουν όλες οι στρώσεις . Φτιάξαμε μια αρχική συνταγή οπού γνωρίζαμε σίγουρα ότι αντέχει και την τρέξαμε στο simulation για να δούμε τι τάσεις αναπτύσσονται. Και μετά στο optimization δηλώσαμε να κάνει μετατροπές στις γωνίες και στο πλήθος των στρώσεων . Δηλώσαμε σαν αποτέλεσμα να μας βγάλει 3 πιθανές συνταγές. Εμείς στην συνέχεια επιλέξαμε να εναλλάξουμε ανάμεσα στα υλικά που έχουμε στη διάθεσή μας συνδυάζοντας τα Unidirectional και τα woven με 2 υφάσματα κάθε φορά το οποίο μας οδήγησε σε εννιά διαφορετικές συνταγές.

Τέλος εκτελούμε σαν κύριο κριτήριο το πείραμα της παραγράφου 4.7.6.2.3, γιατί είναι το σκληρότερο από άποψη καταπόνησης.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ

Το βασικότερο κριτήριο είναι αν σπάει το τιμόνι . Έχουμε 2 τιμές όπως φαίνεται και στον πίνακα η μία από το data sheet της εταιρίας . Αυτές οι τιμές αναφέρονται σε ιδανικό δοκίμιο , εμείς για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιήσουμε συντελεστή ασφαλείας και θα δεχτούμε σαν ανώτατο όριο 30% μειωμένες τιμές. Δεν ξεχνάμε ότι το συγκεκριμένο στατικό τεστ προορίζεται για τον έλεγχο της αντοχής του λαϊμού και όχι του τιμονιού , ο οποίος χρειάζεται να αντέχει περισσότερο από το τιμόνι.

ASTM D-3039 with Toray 250 F Epoxy Resin		
	compression	tension
T700 UD	1470 MPa	2550 Mpa
M46J W	1080 Mpa	2210 Mpa
M46J UD	1080 Mpa	2210 Mpa
T300 W	1470 Mpa	1860 Mpa

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι πίνακες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα τις μέγιστες τιμές των τάσεων που εμφανίζονται ανά επίπεδο και διεύθυνση. Είναι ομαδοποιημένοι ανάλογα με τα υλικά της συνταγής και πρώτα παρουσιάζονται οι θετικές που υποδηλώνουν εφελκυσμό και έπονται οι αρνητικές που υποδηλώνουν θλίψη

M46Jwooven M46J UD										
ΔΟΚΙΜΗ 1										
ZZ 50mm										
max stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_UD	90	642,791E+0	97,236E+0	000,000E+0	1,151E+0	4,937E+0	2,416E+0	681,540E+0	OK
2	m46J_UD	0	453,226E+0	450,476E+0	000,000E+0	1,686E+0	4,942E+0	3,222E+0	551,392E+0	OK
3	m46J_UD	45	681,499E+0	347,929E+0	000,000E+0	1,315E+0	5,862E+0	4,203E+0	734,962E+0	OK
4	m46J_UD	0	469,729E+0	446,625E+0	000,000E+0	1,767E+0	6,727E+0	4,604E+0	565,021E+0	OK
5	m46J_wooven	45	728,043E+0	272,838E+0	000,000E+0	1,188E+0	7,120E+0	5,252E+0	788,383E+0	OK
6	m46J_UD	90	495,727E+0	442,774E+0	000,000E+0	1,884E+0	8,217E+0	5,253E+0	495,767E+0	OK
7	m46J_UD	0	800,426E+0	1,098E+0	000,000E+0	1,343E+0	8,218E+0	5,528E+0	841,802E+0	OK
8	m46J_wooven	45	497,926E+0	438,923E+0	000,000E+0	2,116E+0	7,910E+0	5,376E+0	560,650E+0	OK
9	m46J_UD	0	887,286E+0	1,166E+0	000,000E+0	1,360E+0	7,909E+0	4,604E+0	907,945E+0	OK
10	m46J_wooven	45	505,757E+0	435,072E+0	000,000E+0	2,349E+0	6,430E+0	3,813E+0	570,684E+0	OK
11	m46J_UD	90	616,600E+0	487,460E-3	000,000E+0	867,312E-3	3,046E+0	3,811E+0	616,681E+0	OK
12	m46J_UD	0	520,071E+0	834,296E-3	000,000E+0	1,403E+0	3,041E+0	1,643E+0	653,968E+0	OK
13	m46J_wooven	45	513,589E+0	379,056E+0	000,000E+0	1,555E+0	180,692E-18	1,778E-15	583,270E+0	OK

min stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_UD	90	-681,391E+0	-92,670E+0	000,000E+0	-1,200E+0	-3,934E+0	-2,377E+0	2,010E-6	OK
2	m46J_UD	0	-551,345E+0	-416,546E+0	000,000E+0	-1,591E+0	-3,937E+0	-3,170E+0	120,549E-9	OK
3	m46J_UD	45	-734,796E+0	-304,868E+0	000,000E+0	-1,357E+0	-4,671E+0	-4,311E+0	390,878E-9	OK
4	m46J_UD	0	-564,968E+0	-413,167E+0	000,000E+0	-1,708E+0	-4,673E+0	-4,722E+0	132,152E-9	OK
5	m46J_wooven	45	-788,202E+0	-277,872E+0	000,000E+0	-1,156E+0	-5,673E+0	-4,907E+0	272,561E-9	OK
6	m46J_UD	90	-443,660E+0	-412,015E+0	000,000E+0	-1,824E+0	-6,547E+0	-4,890E+0	779,797E-6	OK
7	m46J_UD	0	-841,607E+0	-1,132E+0	000,000E+0	-1,326E+0	-6,547E+0	-5,146E+0	101,330E-9	OK
8	m46J_wooven	45	-521,436E+0	-434,233E+0	000,000E+0	-1,969E+0	-6,303E+0	-5,005E+0	91,675E-6	OK
9	m46J_UD	0	-907,631E+0	-1,190E+0	000,000E+0	-1,356E+0	-6,301E+0	-4,286E+0	80,890E-9	OK
10	m46J_wooven	45	-526,213E+0	-456,450E+0	000,000E+0	-2,153E+0	-5,123E+0	-3,550E+0	871,959E-9	OK
11	m46J_UD	90	-512,046E+0	-455,434E-3	000,000E+0	-811,338E-3	-2,427E+0	-3,548E+0	5,336E-3	OK
12	m46J_UD	0	-653,781E+0	-863,327E-3	000,000E+0	-1,390E+0	-2,423E+0	-1,529E+0	151,193E-9	OK
13	m46J_wooven	45	-530,989E+0	-293,032E+0	000,000E+0	-1,535E+0	-150,854E-18	-1,910E-15	178,455E-9	OK

ΔOKIMH 2										
ZZ 50mm										
max stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_UD	0	623,419E+0	113,444E+0	000,000E+0	1,663E+0	2,440E+0	5,159E+0	650,776E+0	OK
2	m46J_UD	90	510,649E+0	112,019E+0	000,000E+0	897,431E-3	5,156E+0	6,879E+0	544,573E+0	OK

3	m46J_UD	0	637,534E+0	512,860E+0	000,000E+0	1,511E+0	5,161E+0	7,116E+0	637,665E+0	OK
4	m46J_UD	45	473,817E+0	340,733E+0	000,000E+0	1,395E+0	6,087E+0	8,408E+0	551,692E+0	OK
5	m46J_wooven	45	299,383E+0	283,423E+0	000,000E+0	980,602E-3	7,658E+0	5,062E+0	368,102E+0	OK
6	m46J_UD	0	702,776E+0	828,985E-3	000,000E+0	1,278E+0	7,660E+0	9,445E+0	702,951E+0	OK
7	m46J_UD	90	519,841E+0	426,463E-3	000,000E+0	770,003E-3	8,396E+0	5,564E+0	519,889E+0	OK
8	m46J_wooven	45	452,778E+0	351,433E+0	000,000E+0	1,504E+0	8,172E+0	9,419E+0	537,448E+0	OK
9	m46J_wooven	45	408,967E+0	350,800E+0	000,000E+0	1,422E+0	7,051E+0	8,513E+0	474,849E+0	OK
10	m46J_UD	0	811,512E+0	835,465E-3	000,000E+0	1,263E+0	7,048E+0	5,949E+0	811,732E+0	OK
11	m46J_UD	90	592,956E+0	496,686E-3	000,000E+0	909,276E-3	3,371E+0	3,482E+0	593,028E+0	OK
12	m46J_UD	0	833,260E+0	840,595E-3	000,000E+0	1,261E+0	5,425E+0	2,664E+0	833,486E+0	OK
13	m46J_wooven	45	440,353E+0	421,030E+0	000,000E+0	1,664E+0	643,627E-18	2,032E-15	552,210E+0	OK

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	min stress value N/mm ² (MPa)							von-mises	ASTM D-3039 *
			11	22	33	12	23	31			
1	m46J_UD	0	-650,750E+0	-86,086E+0	000,000E+0	-1,409E+0	-5,275E+0	-4,146E+0	20,388E-9	OK	
2	m46J_UD	90	-544,550E+0	-66,828E+0	000,000E+0	-904,093E-3	-7,033E+0	-2,201E+0	1,348E-6	OK	
3	m46J_UD	0	-592,430E+0	-482,060E+0	000,000E+0	-1,381E+0	-5,275E+0	-7,530E+0	49,358E-9	OK	
4	m46J_UD	45	-469,319E+0	-383,260E+0	000,000E+0	-1,429E+0	-9,981E+0	-8,897E+0	465,761E-6	OK	
5	m46J_wooven	45	-313,402E+0	-283,054E+0	000,000E+0	-946,409E-3	-6,287E+0	-4,706E+0	562,105E-9	OK	
6	m46J_UD	0	-623,145E+0	-827,439E-3	000,000E+0	-1,321E+0	-9,992E+0	-9,995E+0	158,837E-9	OK	
7	m46J_UD	90	-463,271E+0	-420,048E-3	000,000E+0	-781,511E-3	-6,893E+0	-5,172E+0	560,855E-6	OK	
8	m46J_wooven	45	-469,544E+0	-353,139E+0	000,000E+0	-1,584E+0	-12,906E+0	-9,967E+0	191,438E-6	OK	
9	m46J_wooven	45	-391,022E+0	-379,389E+0	000,000E+0	-1,705E+0	-11,142E+0	-9,008E+0	150,533E-9	OK	
10	m46J_UD	0	-687,643E+0	-881,971E-3	000,000E+0	-1,292E+0	-11,133E+0	-6,295E+0	185,947E-9	OK	
11	m46J_UD	90	-523,110E+0	-483,050E-3	000,000E+0	-892,208E-3	-2,767E+0	-3,236E+0	764,128E-6	OK	
12	m46J_UD	0	-706,893E+0	-903,948E-3	000,000E+0	-1,304E+0	-11,120E+0	-2,819E+0	138,359E-9	OK	
13	m46J_wooven	45	-503,237E+0	-431,889E+0	000,000E+0	-1,945E+0	-659,325E-18	-2,186E-15	118,628E-9	OK	

ZZ 50mm										
ΔOKIMH 3										
max stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_wooven	45	386,389E+0	346,660E+0	000,000E+0	1,689E+0	3,492E+0	3,707E+0	476,366E+0	OK
2	m46J_wooven	45	712,915E+0	277,513E+0	000,000E+0	1,605E+0	6,116E+0	6,288E+0	713,087E+0	OK
3	m46J_UD	90	590,996E+0	302,534E+0	000,000E+0	1,363E+0	6,120E+0	7,699E+0	591,122E+0	OK
4	m46J_UD	0	750,441E+0	286,498E+0	000,000E+0	1,480E+0	7,443E+0	8,855E+0	750,629E+0	OK
5	m46J_wooven	45	576,290E+0	367,178E+0	000,000E+0	1,484E+0	7,444E+0	8,855E+0	576,413E+0	OK
6	m46J_wooven	90	787,968E+0	306,523E+0	000,000E+0	1,354E+0	7,465E+0	7,699E+0	788,165E+0	OK
7	m46J_UD	0	638,118E+0	327,659E+0	000,000E+0	1,501E+0	7,464E+0	6,288E+0	674,536E+0	OK
8	m46J_wooven	45	825,495E+0	326,548E+0	000,000E+0	1,277E+0	6,184E+0	5,561E+0	825,696E+0	OK
9	m46J_UD	90	628,899E+0	340,222E+0	000,000E+0	1,570E+0	3,348E+0	4,208E+0	628,970E+0	OK
10	m46J_UD	0	647,430E+0	346,572E+0	000,000E+0	1,332E+0	4,150E+0	4,115E+0	687,028E+0	OK
11	m46J_wooven	45	435,822E+0	394,536E+0	000,000E+0	1,596E+0	2,965E+0	3,707E+0	528,854E+0	OK
12	m46J_UD	90	309,003E+0	369,636E-3	000,000E+0	676,376E-3	1,252E+0	2,851E+0	376,326E+0	OK
13	m46J_UD	0	675,368E+0	870,735E-3	000,000E+0	1,261E+0	2,962E+0	1,615E+0	724,499E+0	OK
14	m46J_wooven	45	457,313E+0	415,055E+0	000,000E+0	1,681E+0	379,302E-18	1,234E-15	552,310E+0	OK

			min stress value N/mm ² (MPa)							
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_wooven	45	-426,711E+0	-341,180E+0	000,000E+0	-1,502E+0	-7,291E+0	-2,831E+0	319,555E-9	OK
2	m46J_wooven	45	-592,288E+0	-298,305E+0	000,000E+0	-1,392E+0	-7,300E+0	-6,311E+0	163,072E-9	OK
3	m46J_UD	90	-589,930E+0	-356,191E+0	000,000E+0	-1,586E+0	-10,946E+0	-7,726E+0	187,949E-9	OK
4	m46J_UD	0	-637,068E+0	-292,791E+0	000,000E+0	-1,344E+0	-10,949E+0	-8,886E+0	352,596E-9	OK
5	m46J_wooven	45	-561,199E+0	-371,203E+0	000,000E+0	-1,670E+0	-10,949E+0	-8,886E+0	76,528E-9	OK
6	m46J_wooven	90	-644,376E+0	-287,276E+0	000,000E+0	-1,296E+0	-10,946E+0	-7,726E+0	96,521E-9	OK
7	m46J_UD	0	-674,542E+0	-386,214E+0	000,000E+0	-1,754E+0	-7,300E+0	-6,311E+0	70,256E-9	OK
8	m46J_wooven	45	-670,420E+0	-300,272E+0	000,000E+0	-1,272E+0	-7,291E+0	-3,935E+0	210,599E-9	OK
9	m46J_UD	90	-528,607E+0	-401,225E+0	000,000E+0	-1,838E+0	-5,342E+0	-3,933E+0	364,781E-6	OK
10	m46J_UD	0	-687,033E+0	-317,450E+0	000,000E+0	-1,304E+0	-5,341E+0	-4,090E+0	1,817E-3	OK
11	m46J_wooven	45	-470,692E+0	-292,280E+0	000,000E+0	-1,688E+0	-4,294E+0	-3,448E+0	1,225E-6	OK
12	m46J_UD	90	-376,296E+0	-370,735E-3	000,000E+0	-691,563E-3	-1,997E+0	-2,488E+0	9,408E-3	OK
13	m46J_UD	0	-724,507E+0	-913,687E-3	000,000E+0	-1,310E+0	-3,073E+0	-1,606E+0	1,162E-6	OK
14	m46J_wooven	45	-489,756E+0	-306,566E+0	000,000E+0	-1,775E+0	-393,518E-18	-1,241E-15	126,999E-9	OK

t300 - M46J UD											
ZZ 50mm					DOKIMH1						
max stress value N/mm ² (MPa)											
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	m46J_UD	90	619,806E+0	113,769E+0	000,000E+0	1,251E+0	3,069E+0	2,249E+0	619,933E+0	OK	
2	m46J_UD	0	466,972E+0	364,123E+0	000,000E+0	1,618E+0	3,071E+0	3,338E+0	528,663E+0	OK	
3	m46J_UD	45	673,759E+0	202,528E+0	000,000E+0	1,297E+0	3,652E+0	4,561E+0	673,915E+0	OK	
4	m46J_UD	0	393,985E+0	375,076E+0	000,000E+0	1,690E+0	4,291E+0	5,007E+0	448,450E+0	OK	
5	T300_wooven	45	727,711E+0	335,996E+0	000,000E+0	1,355E+0	5,273E+0	5,531E+0	727,893E+0	OK	
6	m46J_UD	90	439,562E+0	386,029E+0	000,000E+0	1,842E+0	5,188E+0	5,531E+0	489,786E+0	OK	
7	m46J_UD	0	820,913E+0	1,114E+0	000,000E+0	1,306E+0	5,278E+0	5,842E+0	821,182E+0	OK	
8	T300_wooven	45	475,487E+0	396,982E+0	000,000E+0	2,051E+0	5,011E+0	5,688E+0	510,481E+0	OK	
9	m46J_UD	0	926,873E+0	1,162E+0	000,000E+0	1,332E+0	5,281E+0	4,885E+0	927,172E+0	OK	
10	T300_wooven	45	473,208E+0	426,038E+0	000,000E+0	2,259E+0	4,819E+0	4,032E+0	517,048E+0	OK	
11	m46J_UD	90	515,129E+0	460,202E-3	000,000E+0	797,491E-3	1,951E+0	4,030E+0	606,908E+0	OK	
12	m46J_UD	0	541,432E+0	830,393E-3	000,000E+0	1,364E+0	4,815E+0	1,768E+0	618,941E+0	OK	
13	T300_wooven	45	470,928E+0	325,763E+0	000,000E+0	1,425E+0	844,256E-18	1,765E-15	531,461E+0	OK	

min stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_UD	90	-579,557E+0	-124,917E+0	000,000E+0	-1,134E+0	-5,281E+0	-2,262E+0	2,130E-6	OK
2	m46J_UD	0	-528,575E+0	-378,896E+0	000,000E+0	-1,606E+0	-5,285E+0	-2,997E+0	113,094E-9	OK

3	m46J_UD	45	-638,585E+0	-219,965E+0	000,000E+0	-1,315E+0	-6,285E+0	-3,995E+0	132,735E-9	OK
4	m46J_UD	0	-417,695E+0	-380,108E+0	000,000E+0	-1,654E+0	-6,289E+0	-5,329E+0	122,147E-9	OK
5	T300_wooven	45	-726,282E+0	-291,993E+0	000,000E+0	-1,316E+0	-7,711E+0	-6,123E+0	190,031E-6	OK
6	m46J_UD	90	-489,745E+0	-384,635E+0	000,000E+0	-1,840E+0	-8,928E+0	-6,007E+0	853,643E-6	OK
7	m46J_UD	0	-813,980E+0	-1,125E+0	000,000E+0	-1,319E+0	-8,928E+0	-6,344E+0	87,020E-9	OK
8	T300_wooven	45	-444,694E+0	-393,012E+0	000,000E+0	-2,091E+0	-8,622E+0	-6,176E+0	204,593E-9	OK
9	m46J_UD	0	-901,678E+0	-1,215E+0	000,000E+0	-1,324E+0	-8,621E+0	-5,857E+0	63,818E-9	OK
10	T300_wooven	45	-448,668E+0	-418,236E+0	000,000E+0	-2,347E+0	-6,997E+0	-4,897E+0	98,300E-6	OK
11	m46J_UD	90	-606,826E+0	-479,926E-3	000,000E+0	-854,580E-3	-3,357E+0	-4,377E+0	5,571E-3	OK
12	m46J_UD	0	-618,889E+0	-804,420E-3	000,000E+0	-1,369E+0	-3,456E+0	-2,299E+0	47,658E-9	OK
13	T300_wooven	45	-459,541E+0	-282,265E+0	000,000E+0	-1,539E+0	-605,969E-18	-1,625E-15	223,321E-9	OK

DOKIMH 2

ZZ 50mm

		max stress value N/mm ² (MPa)									
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	m46J_UD	0	596,120E+0	147,271E+0	000,000E+0	1,647E+0	3,285E+0	3,797E+0	604,428E+0	OK	
2	m46J_UD	90	570,119E+0	144,748E+0	000,000E+0	1,290E+0	4,229E+0	6,007E+0	614,075E+0	OK	
3	m46J_UD	0	601,796E+0	349,289E+0	000,000E+0	1,583E+0	9,377E+0	7,141E+0	608,363E+0	OK	
4	m46J_UD	45	604,045E+0	262,967E+0	000,000E+0	1,184E+0	9,387E+0	8,038E+0	695,037E+0	OK	
5	T300_wooven	45	511,247E+0	497,941E+0	000,000E+0	1,644E+0	12,151E+0	8,028E+0	589,360E+0	OK	
6	m46J_UD	0	665,671E+0	367,530E+0	000,000E+0	1,733E+0	10,392E+0	7,231E+0	665,673E+0	OK	

7	m46J_UD	90	689,317E+0	736,637E-3	000,000E+0	1,121E+0	10,384E+0	5,855E+0	831,727E+0	OK
8	T300_wooven	45	709,700E+0	252,318E+0	000,000E+0	1,122E+0	10,372E+0	5,689E+0	856,921E+0	OK
9	T300_wooven	45	487,419E+0	399,841E+0	000,000E+0	1,992E+0	6,950E+0	5,096E+0	553,978E+0	OK
10	m46J_UD	0	736,544E+0	973,329E-3	000,000E+0	1,423E+0	6,946E+0	3,656E+0	746,480E+0	OK
11	m46J_UD	90	520,401E+0	482,648E-3	000,000E+0	879,945E-3	2,104E+0	3,654E+0	586,904E+0	OK
12	m46J_UD	0	758,606E+0	991,251E-3	000,000E+0	1,429E+0	6,939E+0	1,599E+0	796,841E+0	OK
13	T300_wooven	45	508,890E+0	345,706E+0	000,000E+0	1,920E+0	1,162E-15	2,890E-15	559,304E+0	OK

min stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	m46J_UD	0	-604,562E+0	-124,715E+0	000,000E+0	-1,706E+0	-3,433E+0	-3,695E+0	44,218E-9	OK
2	m46J_UD	90	-613,934E+0	-126,971E+0	000,000E+0	-1,286E+0	-5,472E+0	-6,696E+0	1,740E-3	OK
3	m46J_UD	0	-608,475E+0	-381,093E+0	000,000E+0	-1,628E+0	-5,477E+0	-7,960E+0	581,016E-9	OK
4	m46J_UD	45	-694,854E+0	-208,442E+0	000,000E+0	-1,227E+0	-6,479E+0	-8,959E+0	292,657E-9	OK
5	T300_wooven	45	-518,127E+0	-352,611E+0	000,000E+0	-1,608E+0	-8,226E+0	-8,948E+0	2,483E-3	OK
6	m46J_UD	0	-635,265E+0	-332,996E+0	000,000E+0	-1,472E+0	-8,228E+0	-8,059E+0	107,444E-9	OK
7	m46J_UD	90	-831,505E+0	-817,734E-3	000,000E+0	-1,143E+0	-9,077E+0	-6,394E+0	18,935E-3	OK
8	T300_wooven	45	-856,695E+0	-241,958E+0	000,000E+0	-1,154E+0	-8,860E+0	-6,213E+0	235,232E-9	OK
9	T300_wooven	45	-475,722E+0	-335,015E+0	000,000E+0	-1,710E+0	-7,612E+0	-7,107E+0	568,900E-6	OK
10	m46J_UD	0	-746,269E+0	-922,012E-3	000,000E+0	-1,391E+0	-7,609E+0	-5,138E+0	90,595E-9	OK
11	m46J_UD	90	-586,832E+0	-485,849E-3	000,000E+0	-906,025E-3	-3,683E+0	-3,991E+0	901,331E-6	OK
12	m46J_UD	0	-796,629E+0	-917,835E-3	000,000E+0	-1,371E+0	-4,591E+0	-2,435E+0	85,079E-9	OK
13	T300_wooven	45	-445,600E+0	-336,167E+0	000,000E+0	-1,737E+0	-918,746E-18	-2,646E-15	145,284E-9	OK

DOKIMH 3

ZZ 50mm

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	max stress value N/mm ² (MPa)							von-mises	ASTM D-3039 *
			11	22	33	12	23	31			
1	T300_wooven	45	557,346E+0	608,386E+0	000,000E+0	3,365E+0	4,617E+0	3,518E+0	598,022E+0	OK	
2	T300_wooven	45	1,327E+3	355,950E+0	000,000E+0	2,862E+0	7,118E+0	7,724E+0	1,328E+3	OK	
3	m46J_UD	90	941,320E+0	630,723E+0	000,000E+0	3,349E+0	7,122E+0	9,483E+0	985,710E+0	OK	
4	m46J_UD	0	1,395E+3	398,531E+0	000,000E+0	3,005E+0	8,642E+0	10,885E+0	1,396E+3	OK	
5	T300_wooven	45	951,246E+0	653,060E+0	000,000E+0	3,566E+0	8,643E+0	10,885E+0	981,294E+0	OK	
6	T300_wooven	90	1,463E+3	443,856E+0	000,000E+0	3,149E+0	8,646E+0	9,483E+0	1,464E+3	OK	
7	m46J_UD	0	1,064E+3	675,397E+0	000,000E+0	3,712E+0	8,645E+0	7,724E+0	1,064E+3	OK	
8	T300_wooven	45	1,532E+3	489,181E+0	000,000E+0	3,293E+0	7,131E+0	4,278E+0	1,532E+3	OK	
9	m46J_UD	90	1,031E+3	697,734E+0	000,000E+0	3,893E+0	5,852E+0	4,277E+0	1,032E+3	OK	
10	m46J_UD	0	1,080E+3	534,506E+0	000,000E+0	3,436E+0	5,851E+0	3,607E+0	1,080E+3	OK	
11	T300_wooven	45	387,349E+0	388,906E+0	000,000E+0	3,830E+0	4,691E+0	2,949E+0	367,268E+0	OK	
12	m46J_UD	90	526,312E+0	450,525E-3	000,000E+0	442,870E-3	2,207E+0	2,947E+0	537,283E+0	OK	
13	m46J_UD	0	1,130E+3	2,070E+0	000,000E+0	675,485E-3	2,204E+0	1,282E+0	1,131E+3	OK	
14	T300_wooven	45	404,258E+0	407,039E+0	000,000E+0	4,031E+0	2,070E-15	686,678E-18	383,951E+0	OK	

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	T300_wooven	45	-613,288E+0	-544,021E+0	000,000E+0	-3,298E+0	-5,534E+0	-3,225E+0	23,910E-9	OK
2	T300_wooven	45	-1,309E+3	-340,248E+0	000,000E+0	-2,450E+0	-5,541E+0	-7,081E+0	14,355E-9	OK
3	m46J_UD	90	-985,412E+0	-557,943E+0	000,000E+0	-3,501E+0	-8,308E+0	-8,693E+0	17,110E-9	OK
4	m46J_UD	0	-1,370E+3	-367,669E+0	000,000E+0	-2,571E+0	-8,311E+0	-9,978E+0	37,451E-9	OK
5	T300_wooven	45	-980,991E+0	-574,734E+0	000,000E+0	-3,704E+0	-9,102E+0	-9,978E+0	15,465E-9	OK
6	T300_wooven	90	-1,431E+3	-395,089E+0	000,000E+0	-2,796E+0	-8,308E+0	-8,803E+0	30,664E-9	OK
7	m46J_UD	0	-1,024E+3	-596,441E+0	000,000E+0	-3,907E+0	-9,102E+0	-7,628E+0	5,771E-9	OK
8	T300_wooven	45	-1,462E+3	-422,509E+0	000,000E+0	-3,022E+0	-8,946E+0	-6,326E+0	13,138E-9	OK
9	m46J_UD	90	-1,007E+3	-618,147E+0	000,000E+0	-4,110E+0	-7,847E+0	-6,323E+0	354,864E-6	OK
10	m46J_UD	0	-1,041E+3	-449,929E+0	000,000E+0	-3,248E+0	-7,845E+0	-3,142E+0	867,418E-6	OK
11	T300_wooven	45	-376,564E+0	-390,348E+0	000,000E+0	-3,636E+0	-6,289E+0	-2,646E+0	165,552E-9	OK
12	m46J_UD	90	-537,196E+0	-475,397E-3	000,000E+0	-429,749E-3	-2,959E+0	-2,094E+0	56,296E-3	OK
13	m46J_UD	0	-1,094E+3	-1,998E+0	000,000E+0	-632,680E-3	-2,955E+0	-1,253E+0	137,361E-9	OK
14	T300_wooven	45	-394,305E+0	-407,662E+0	000,000E+0	-3,823E+0	-1,544E-15	-524,446E-18	61,673E-9	OK

t300 t700ud

DOKIMH1

ZZ 50mm										
max stress value N/mm ² (MPa)										
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	T700_UD	90	552,793E+0	130,051E+0	000,000E+0	1,061E+0	5,224E+0	2,323E+0	562,311E+0	OK
2	T700_UD	0	463,047E+0	350,213E+0	000,000E+0	1,388E+0	5,836E+0	3,285E+0	482,168E+0	OK
3	T700_UD	45	581,191E+0	323,701E+0	000,000E+0	1,516E+0	6,983E+0	4,004E+0	676,537E+0	OK
4	T700_UD	0	497,465E+0	354,157E+0	000,000E+0	1,582E+0	7,414E+0	6,013E+0	509,461E+0	OK
5	T300_wooven	45	667,673E+0	228,923E+0	000,000E+0	1,128E+0	8,741E+0	6,853E+0	798,873E+0	OK
6	T700_UD	90	402,650E+0	363,472E+0	000,000E+0	1,848E+0	9,855E+0	6,950E+0	455,993E+0	OK
7	T700_UD	0	772,671E+0	113,882E+0	000,000E+0	1,211E+0	9,914E+0	7,252E+0	921,205E+0	OK
8	T300_wooven	45	438,945E+0	391,195E+0	000,000E+0	2,113E+0	9,543E+0	7,042E+0	492,974E+0	OK
9	T700_UD	0	877,669E+0	116,771E+0	000,000E+0	1,340E+0	9,322E+0	6,056E+0	1,044E+3	OK
10	T300_wooven	45	448,980E+0	418,917E+0	000,000E+0	2,379E+0	7,669E+0	5,053E+0	529,965E+0	OK
11	T700_UD	90	511,767E+0	53,358E+0	000,000E+0	760,120E-3	3,943E+0	4,746E+0	518,518E+0	OK
12	T700_UD	0	610,291E+0	119,659E+0	000,000E+0	1,237E+0	3,350E+0	2,054E+0	621,169E+0	OK
13	T300_wooven	45	459,015E+0	342,224E+0	000,000E+0	1,941E+0	1,951E-15	2,093E-15	516,208E+0	OK

			min stress value N/mm ² (MPa)								
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	T700_UD	90	-542,086E+0	-97,384E+0	000,000E+0	-1,207E+0	-3,774E+0	-2,354E+0	2,460E-6	OK	
2	T700_UD	0	-478,285E+0	-335,511E+0	000,000E+0	-1,481E+0	-4,216E+0	-4,558E+0	140,646E-9	OK	
3	T700_UD	45	-658,454E+0	-236,391E+0	000,000E+0	-1,215E+0	-5,045E+0	-5,555E+0	242,589E-9	OK	
4	T700_UD	0	-495,460E+0	-343,512E+0	000,000E+0	-1,621E+0	-5,356E+0	-8,343E+0	216,318E-9	OK	
5	T300_wooven	45	-777,307E+0	-233,064E+0	000,000E+0	-1,168E+0	-6,314E+0	-9,508E+0	293,982E-9	OK	
6	T700_UD	90	-407,608E+0	-357,646E+0	000,000E+0	-1,760E+0	-7,119E+0	-9,643E+0	632,382E-6	OK	
7	T700_UD	0	-896,160E+0	-117,828E+0	000,000E+0	-1,269E+0	-7,162E+0	-10,063E+0	266,436E-9	OK	
8	T300_wooven	45	-426,773E+0	-376,118E+0	000,000E+0	-1,932E+0	-6,894E+0	-9,771E+0	67,355E-6	OK	
9	T700_UD	0	-1,015E+3	-133,304E+0	000,000E+0	-1,369E+0	-6,734E+0	-8,403E+0	125,358E-9	OK	
10	T300_wooven	45	-445,937E+0	-400,441E+0	000,000E+0	-2,186E+0	-5,540E+0	-7,011E+0	341,310E-9	OK	
11	T700_UD	90	-463,725E+0	-53,066E+0	000,000E+0	-805,271E-3	-2,848E+0	-6,586E+0	10,873E-3	OK	
12	T700_UD	0	-597,846E+0	-94,262E+0	000,000E+0	-1,326E+0	-2,420E+0	-2,849E+0	700,664E-9	OK	
13	T300_wooven	45	-440,148E+0	-257,884E+0	000,000E+0	-1,374E+0	-1,409E-15	-1,509E-15	304,146E-9	OK	

ΔΟΚΙΜΗ 2

ZZ 50mm

		max stress value N/mm ² (MPa)									
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	T700_UD	0	516,453E+0	137,901E+0	000,000E+0	1,428E+0	3,132E+0	3,559E+0	545,200E+0	OK	
2	T700_UD	90	521,318E+0	135,455E+0	000,000E+0	1,143E+0	3,988E+0	5,467E+0	567,542E+0	OK	
3	T700_UD	0	511,983E+0	323,290E+0	000,000E+0	1,406E+0	9,239E+0	6,472E+0	526,822E+0	OK	
4	T700_UD	45	552,400E+0	245,966E+0	000,000E+0	1,091E+0	9,980E+0	7,276E+0	636,418E+0	OK	
5	T300_wooven	45	458,142E+0	433,427E+0	000,000E+0	1,499E+0	11,193E+0	7,260E+0	527,686E+0	OK	
6	T700_UD	0	572,940E+0	338,473E+0	000,000E+0	1,554E+0	9,474E+0	6,554E+0	571,776E+0	OK	
7	T700_UD	90	624,211E+0	85,569E+0	000,000E+0	1,063E+0	8,624E+0	5,555E+0	751,823E+0	OK	
8	T300_wooven	45	624,211E+0	85,569E+0	000,000E+0	1,063E+0	8,624E+0	5,555E+0	751,823E+0	OK	
9	T300_wooven	45	445,912E+0	357,230E+0	000,000E+0	1,793E+0	4,200E+0	4,854E+0	509,906E+0	OK	
10	T700_UD	0	641,343E+0	110,121E+0	000,000E+0	1,327E+0	3,990E+0	3,541E+0	661,120E+0	OK	
11	T700_UD	90	448,331E+0	54,569E+0	000,000E+0	826,276E-3	2,065E+0	3,325E+0	507,672E+0	OK	
12	T700_UD	0	663,535E+0	112,473E+0	000,000E+0	1,336E+0	3,147E+0	1,436E+0	705,673E+0	OK	
13	T300_wooven	45	-410,287E+0	-311,906E+0	000,000E+0	-1,622E+0	-887,607E-18	-1,039E-15	91,749E-9	OK	

min stress value N/mm²(MPa) test method

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *
1	T700_UD	0	-535,857E+0	-117,003E+0	000,000E+0	-1,520E+0	-3,255E+0	-3,472E+0	150,918E-9	OK
2	T700_UD	90	-555,237E+0	-119,390E+0	000,000E+0	-1,152E+0	-5,214E+0	-6,071E+0	2,435E-3	OK
3	T700_UD	0	-537,868E+0	-322,197E+0	000,000E+0	-1,442E+0	-5,736E+0	-7,187E+0	376,804E-9	OK
4	T700_UD	45	-620,492E+0	-200,347E+0	000,000E+0	-1,111E+0	-6,690E+0	-8,080E+0	260,495E-9	OK
5	T300_wooven	45	-456,058E+0	-307,032E+0	000,000E+0	-1,465E+0	-8,059E+0	-8,062E+0	2,535E-3	OK
6	T700_UD	0	-559,635E+0	-307,944E+0	000,000E+0	-1,352E+0	-8,224E+0	-7,278E+0	164,872E-9	OK
7	T700_UD	90	-729,832E+0	-93,271E+0	000,000E+0	-1,076E+0	-8,801E+0	-6,082E+0	21,196E-3	OK
8	T300_wooven	45	-729,832E+0	-93,271E+0	000,000E+0	-1,076E+0	-8,801E+0	-6,082E+0	21,196E-3	OK
9	T300_wooven	45	-426,869E+0	-321,917E+0	000,000E+0	-1,580E+0	-7,453E+0	-5,315E+0	303,988E-6	OK
10	T700_UD	0	-640,592E+0	-103,924E+0	000,000E+0	-1,271E+0	-7,080E+0	-3,877E+0	185,975E-9	OK
11	T700_UD	90	-499,436E+0	-56,372E+0	000,000E+0	-852,508E-3	-3,663E+0	-3,641E+0	2,455E-3	OK
12	T700_UD	0	-684,515E+0	-103,866E+0	000,000E+0	-1,263E+0	-3,255E+0	-1,572E+0	228,373E-9	OK
13	T300_wooven	45	474,830E+0	321,605E+0	000,000E+0	1,745E+0	1,018E-15	1,138E-15	525,362E+0	OK

				Dokimh 3					
ZZ 50mm									

										max stress value N/mm ² (MPa)	test method
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	T300_wooven	45	324,681E+0	289,159E+0	000,000E+0	1,495E+0	3,069E+0	3,273E+0	403,082E+0	OK	
2	T300_wooven	45	618,118E+0	236,361E+0	000,000E+0	1,420E+0	5,368E+0	5,552E+0	635,520E+0	OK	
3	T700_UD	90	520,192E+0	266,524E+0	000,000E+0	1,254E+0	5,746E+0	6,803E+0	535,222E+0	OK	
4	T700_UD	0	653,427E+0	241,472E+0	000,000E+0	1,309E+0	6,907E+0	7,819E+0	672,021E+0	OK	
5	T300_wooven	45	507,656E+0	308,321E+0	000,000E+0	1,363E+0	7,036E+0	7,819E+0	522,711E+0	OK	
6	T300_wooven	90	688,736E+0	250,359E+0	000,000E+0	1,198E+0	7,057E+0	6,803E+0	708,516E+0	OK	
7	T700_UD	0	558,567E+0	290,774E+0	000,000E+0	1,393E+0	6,937E+0	5,552E+0	589,210E+0	OK	
8	T300_wooven	45	724,045E+0	265,459E+0	000,000E+0	1,087E+0	5,819E+0	4,910E+0	745,007E+0	OK	
9	T700_UD	90	525,447E+0	302,933E+0	000,000E+0	1,463E+0	3,203E+0	3,820E+0	533,660E+0	OK	
10	T700_UD	0	567,477E+0	280,558E+0	000,000E+0	1,118E+0	3,121E+0	3,247E+0	600,714E+0	OK	
11	T300_wooven	45	370,759E+0	333,700E+0	000,000E+0	1,475E+0	2,549E+0	3,273E+0	454,486E+0	OK	
12	T700_UD	90	276,313E+0	43,046E+0	000,000E+0	642,697E-3	1,296E+0	2,528E+0	340,741E+0	OK	
13	T700_UD	0	594,941E+0	98,676E+0	000,000E+0	1,162E+0	1,099E+0	1,088E+0	636,172E+0	OK	
14	T300_wooven	45	390,713E+0	352,862E+0	000,000E+0	1,559E+0	908,635E-18	460,866E-18	476,955E+0		

										min stress value N/mm ² (MPa)	test method
Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	ASTM D-3039 *	
1	T300_wooven	45	-360,102E+0	-291,407E+0	000,000E+0	-1,361E+0	-5,679E+0	-2,511E+0	2,070E-6	OK	
2	T300_wooven	45	-532,087E+0	-253,421E+0	000,000E+0	-1,246E+0	-6,611E+0	-5,571E+0	5,604E-6	OK	
3	T700_UD	90	-519,689E+0	-305,222E+0	000,000E+0	-1,409E+0	-9,450E+0	-6,826E+0	6,096E-6	OK	
4	T700_UD	0	-557,454E+0	-249,620E+0	000,000E+0	-1,200E+0	-9,761E+0	-7,846E+0	2,003E-6	OK	
5	T300_wooven	45	-496,318E+0	-319,037E+0	000,000E+0	-1,491E+0	-9,761E+0	-7,846E+0	1,812E-6	OK	
6	T300_wooven	90	-582,821E+0	-245,819E+0	000,000E+0	-1,154E+0	-9,450E+0	-6,826E+0	3,174E-6	OK	
7	T700_UD	0	-591,138E+0	-332,852E+0	000,000E+0	-1,573E+0	-6,611E+0	-5,571E+0	3,052E-6	OK	
8	T300_wooven	45	-608,188E+0	-249,555E+0	000,000E+0	-1,111E+0	-5,761E+0	-3,679E+0	529,686E-9	OK	
9	T700_UD	90	-451,079E+0	-346,668E+0	000,000E+0	-1,655E+0	-5,127E+0	-3,460E+0	1,230E-3	OK	
10	T700_UD	0	-602,620E+0	-263,487E+0	000,000E+0	-1,156E+0	-4,996E+0	-2,824E+0	621,499E-6	OK	
11	T300_wooven	45	-403,436E+0	-253,724E+0	000,000E+0	-1,562E+0	-4,080E+0	-2,342E+0	3,201E-6	OK	
12	T700_UD	90	-336,896E+0	-43,081E+0	000,000E+0	-657,295E-3	-2,075E+0	-2,198E+0	63,887E-3	OK	
13	T700_UD	0	-638,010E+0	-103,928E+0	000,000E+0	-1,216E+0	-1,759E+0	-945,963E-3	5,224E-6	OK	
14	T300_wooven	45	-422,682E+0	-267,695E+0	000,000E+0	-1,649E+0	-1,454E-15	-221,132E-18	1,170E-6	OK	

Συμπέρασμα

Πρόβλημα θραύσης του υλικού παρουσιάζεται στη δοκιμή 3 με υλικό T300 woven και MJ46 Unidirectional .

Το βάρος του τιμονιού ανάλογα τη συνταγή

M46Jwooven M46J UD		
δοκιμή 1	0,207	kg
δοκιμή 2	0,207	kg
δοκιμή 3	0,243	kg
t300 - M46J UD		
δοκιμή 1	0,154	kg
δοκιμή 2	0,22	kg
δοκιμή 3	0,263	kg
t300 t700ud		
δοκιμή 1	0,224	kg
δοκιμή 2	0,224	kg
δοκιμή 3	0,265	kg

Κριτήριο δυσκαμψίας	
Τεμάχιο	max displacement mm στον zz
M46Jwooven M46J UD	
δοκιμή 1	1,043
δοκιμή 2	0,994
δοκιμή 3	0,986
t300 – M46J UD	
δοκιμή 1	1,024
δοκιμή 2	1,043
δοκιμή 3	1,811
t300 t700ud	
δοκιμή 1	1,02
δοκιμή 2	0,981
δοκιμή 3	0,921

Μέσος όρος των τάσεων που ασκούνται σε κάθε δοκιμή					
		M46Jwooven M46J UD	t300 - M46J UD	t300 t700ud	
δοκιμή 1	εφελκισμός	600,9746681	580,4433664	560,319897	
	θλίψη	-635,2357342	-590,3627531	-588,061676	
δοκιμή 2	εφελκισμός	562,0958228	612,2980793	474,6531701	
	θλίψη	-533,7165504	-647,2668387	-500,107213	
δοκιμή 3	εφελκισμός	601,6033456	984,9942583	522,9336112	
	θλίψη	-576,6732744	-973,2934025	-507,32271	

Ο υπολογισμός της επιφάνειας έγινε με χρήση του εργαλείου measure face . Καταγράφηκε η επιφάνεια της κάθε στρώσης και βγήκαν συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Επιφάνεια που καλύπτει το υλικό για τον υπολογισμό του κόστους			
	mm ² UD	mm ² wooven	Συνολική επιφάνεια mm ²
δοκιμή 1	317925	202647	520572
δοκιμή 2	317925	202647	520572
δοκιμή 3	227975	313729	541704

κοστολόγηση από προσφορά εταιρίας	
Mj46 w	110 £/m ²
Mj46 UD	90 £/m ²
T700 UD	20 £/m ²
T300 w	40 £/m ²

Κόστος τιμονιού	
Mj465wooven M465 UD	Τιμή σε £
δοκιμή 1	50,90442
δοκιμή 2	50,90442
δοκιμή 3	55,02794
t300 - M465 UD	
δοκιμή 1	30,95523
δοκιμή 2	30,95523
δοκιμή 3	37,35461
t300 t700ud	
δοκιμή 1	16,76994
δοκιμή 2	16,76994
δοκιμή 3	15,39358

Για την παραγωγή και για την κάλυψη των αναγκών των πελατών χρειαζόμαστε 3 συνταγές, ανάλογα τι μας ζητάνε , βάρος, στιβαρότητα, τιμή. Παρατήρηση παρόλο που το ποιο στιβαρό από τον πίνακα είναι η δοκιμή 3 με συνδυασμό T300-T700, το βάρος του είναι απαγορευτικό.

Κριτήριο	Συνταγή	Υλικό
βάρος	δοκιμή 1	t300 - M46J UD
Στιβαρότητα / ακαμψία	δοκιμή 2	M46Jwooven M46J UD
τιμή	δοκιμή 3	t300 t700ud

8. Τα πειράματα που χρειάζεται να γίνουν

4.7.7.3 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 1

Εκτός από την περίπτωση που το τιμόνι και ο λαιμός συνδέονται μόνιμα, π.χ. με συγκόλληση ή οξυγονοκόλληση, ευθυγραμμίστε τις λαβές του τμήματος του τιμονιού σε ένα επίπεδο κάθετο προς τον άξονα του λαιμού (βλέπε Σχήμα 19), και ασφαλίστε το τιμόνι με το λαιμό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Σφίξτε το λαιμό με ασφάλεια σε μια βάση με ελάχιστο βάθος εισαγωγής (βλέπε 4.7.3), ή στην περίπτωση ενός λαιμού με επέκταση η οποία προορίζεται να συσφίγγεται σε μία έκταση του στέμματος του πιρουνιού ασφαλίστε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή στο κατάλληλο μήκος.

Για τιμόνι όπου ο κατασκευαστής δηλώνει ότι δεν προορίζονται για χρήση με χειρολαβές, εφαρμόστε πλήρως αντίθετες δυνάμεις από 270 N σε μία θέση 50 mm από το ελεύθερο άκρο κάθε πλευράς του τιμονιού για 100 000 κύκλους, με τις δυνάμεις σε κάθε άκρο του τιμονιού να είναι εκτός φάσεως μεταξύ τους και παράλληλα προς τον άξονα του τιμονιού

όπως φαίνεται στο σχήμα 25 α). Η μέγιστη συχνότητα δοκιμής πρέπει να είναι 25 Hz.

4.7.7.5 Μέθοδος δοκιμής για το στάδιο 2

Εφαρμόστε πλήρως αντίθετες δυνάμεις των 450 N σε θέση 50 mm από τις ελεύθερο άκρο κάθε

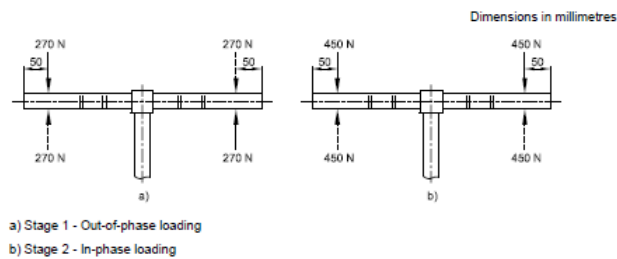


Figure 25 — Handlebar and stem – fatigue tests

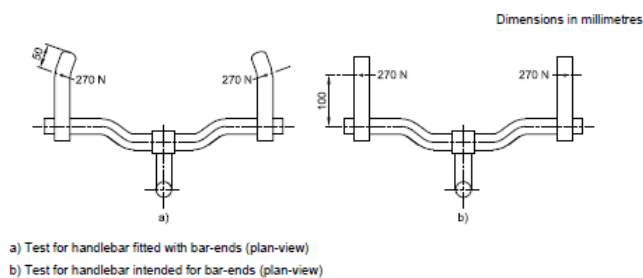


Figure 26 — Handlebar incorporating bar-ends – out-of-phase fatigue tests

πλευράς του τιμονιού για 100 000 κύκλους, με τις δυνάμεις σε κάθε άκρο του τιμονιού να είναι σε αντίθετη φάση με το άλλο και παράλληλα προς τον άξονα του στελέχους τιμονιού όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 25 β). Η μέγιστη συχνότητα δοκιμής πρέπει να είναι 25 Hz.

9. Θεωρία για την προσέγγιση καμπύλων καταπόνησης – κύκλων ζωής

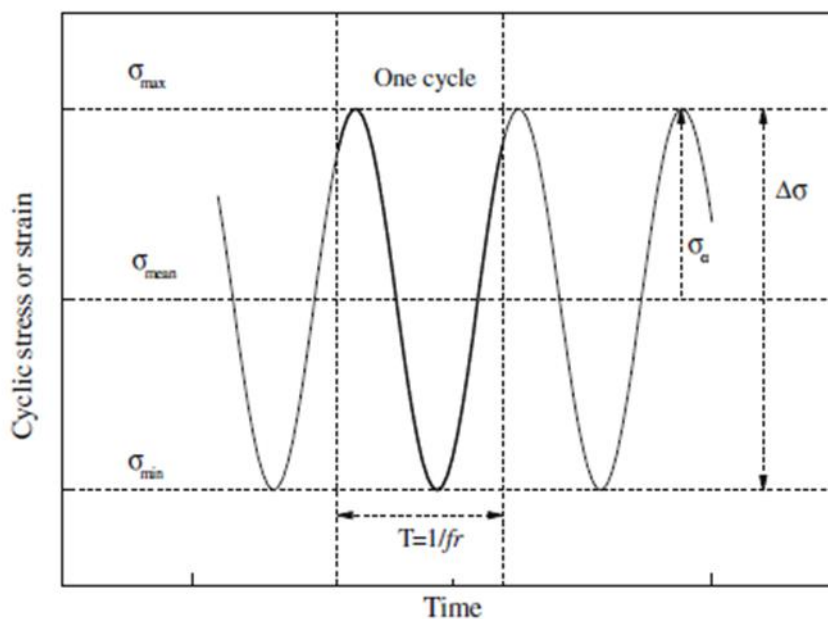
Μια λίστα, που περιέχει τα βασικά σύμβολα που συντομογραφίες δίδεται παρακάτω, καθώς επίσης:

Πίνακας 1 Κατάλογος των συμβόλων και συντημήσεων

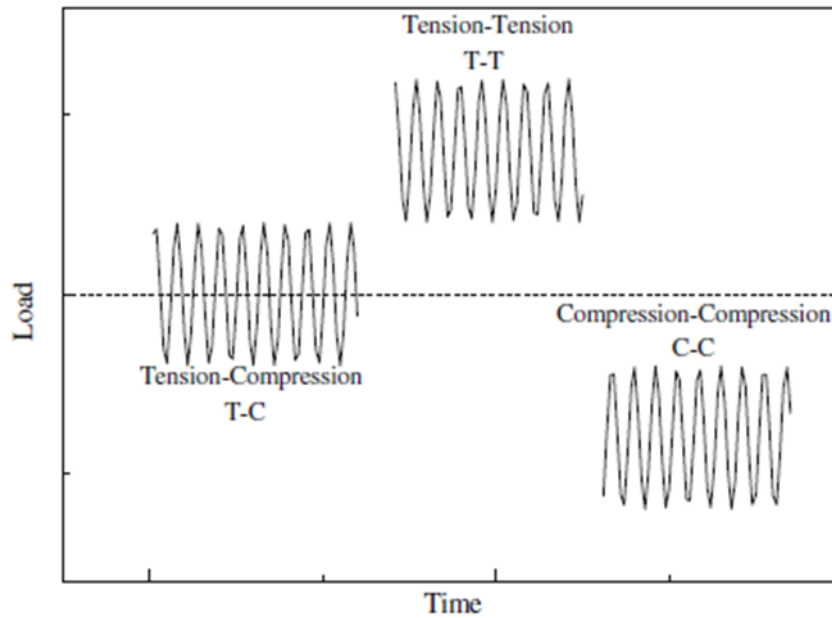
Table 1 List of symbols and abbreviations

σ	Stress variable
σ_a	Stress amplitude
σ_m	Mean cyclic stress
σ_{\min}	Minimum cyclic stress
σ_{\max}	Maximum cyclic stress
$\Delta\sigma$	Stress range
σ_e	Equivalent static strength (wear-out model, Eq. 3.26)
σ_r	Residual strength (wear-out model)
$R = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	Stress ratio
ε	Strain
N	Number of cycles
N_f	Number of cycles to failure
f_r	Fatigue frequency
UTS	Ultimate tensile stress
UCS	Ultimate compressive stress
X	Longitudinal tensile strength
X'	Longitudinal compressive strength
Y	Transverse tensile strength
Y'	Transverse compressive strength
S	In-plane shear strength
$F_{ij}, i,j = 1,2,6$	Failure tensor components
θ	Off-axis angle
σ_{st}	Off-axis static strength
$E(1)$	Young's modulus measured at the first cycle
$E(N)$	Young's modulus measured at the N th cycle
$\sigma_o, k, A, B, \beta, C, G$	$S-N$ curve formulation-model parameters

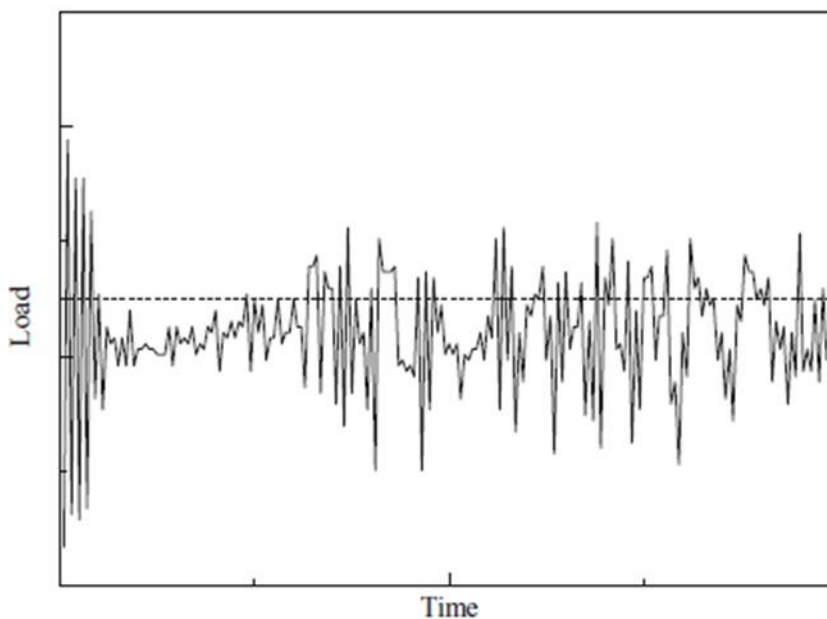
Η βασική ορολογία κόπωση μαζί με τις αντιπροσωπευτικές σταθερού πλάτους και μοτίβα φόρτισης μεταβλητού πλάτους που παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχ. 1, 2, και 3.



Σχ. 2 Αντιπροσωπευτικά μοτίβα σταθερού πλάτους φορτίσεων



Σχ. 3 Παράδειγμα μιας μεταβλητής πλάτους κόπωσης σε χρονικές σειρές



Υποβάθμιση δυσκαμψίας

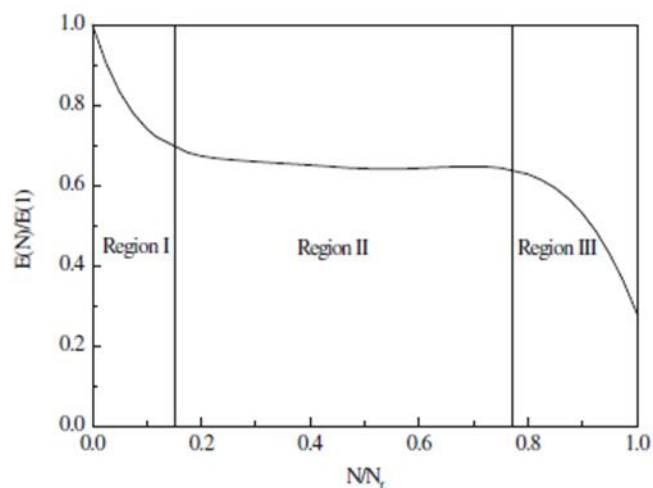
Τα μοντέλα βασισμένα στη δυσκαμψίας/αντοχής ως επι το πλείστον καθιερώθηκαν ως φαινομενολογικά μοντέλα καθώς προτείνουν έναν εξελικτικό νόμο για την περιγραφή της σταδιακής υποβάθμισης της δυσκαμψίας ή της αντοχής του δείγματος από την άποψη των μακροσκοπικά μετρίσιμων ιδιοτήτων τους .

Η μοντελοποίηση των ποικιλιών των καταστροφών αντανακλά τη ζημία που συσσωρεύεται στα δείγματα κατά τη διάρκεια της κόπωσης. Η μετρική ζημία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής κυκλική τάσης, τον αριθμό των κύκλων κόπωσης, η συχνότητα φορτώσεως και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το μοντέλο βασίζεται στην ακαμψία που προέρχεται από τη μεταβολή της ακαμψίας του υλικού ή σε ένα δομικό στοιχείο που υποβάλλονται σε κόπωση. Η υπολειπόμενη ακαμψία εκφράζεται ως μια λειτουργία της αρχικής δυσκαμψίας και του αριθμού των κύκλων. Η σχέση μεταξύ αυτών των τριών παραμέτρων μπορεί να είναι από οποιαδήποτε μαθηματική μορφή, π.χ., γραμμικές, δύναμη, σιγμοειδές, ανάλογα με τα πειραματικά δεδομένα.

Ωστόσο, η δυσκαμψία προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τη δύναμη: μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση μη καταστρεπτικών μεθόδων και παρουσιάζει μικρότερη διασπορά για τα αποτελέσματα της μέτρησης των δεδομένων δύναμη. Επιπλέον, υπολειμματική αντοχή επιδεικνύει μόνο ελάχιστες μειώσεις με τον αριθμό των κύκλων έως ότου αρχίζει να αλλάζει γρήγορα κοντά στο τέλος της ζωής, ενώ εμφανίζει ακαμψία σε μεγαλύτερες αλλαγές κατά τη διάρκεια της ζωής της κόπωσης και κατά συνέπεια μεγαλύτερη ευαισθησία σε εξέλιξη της ζημιάς.

Μία ευρεία ποικιλία σύνθετων υλικών εμφανίζουν μια τάση υποβάθμισης της δυσκαμψίας που μπορεί να προσομοιωθεί με μια καμπύλη όπως αυτή που φαίνεται σχηματικά στο Σχ. 4.31.

Fig. 4.31 Schematic representation of a typical stiffness degradation curve for composite materials



Οι τρεις περιοχές που ορίζονται σε αυτό το σχήμα διακρίθηκαν πρώτα από τον καμπύλη για την ένταση-ένταση (tension-tension) κόπωση των cross-ply carbon/epoxy laminates . Στην αρχική περιοχή, και μέχρι περίπου 10% της ζωής κόπωσης, το υλικό εμφανίζει μια απότομη μείωση της ακαμψίας (σε σύγκριση με την περιοχή II). Στην ενδιάμεση περιοχή, η ακαμψία υλικού αποδομείται σε ένα σταθερό και μέτριο ρυθμό. Τέλος, σημαντική επιδείνωση του υλικού μπορεί να παρατηρηθεί κοντά στο τέλος της διάρκειας ζωής κόπωσης. Η τρίτη περιοχή με μια απότομη κλίση προσομοιώνει το φαινόμενο αυτό. Ο κύριος στόχος της ερευνητικής κοινότητας είναι να διαμορφώσει αυτή τη συμπεριφορά για κάθε επιλεγμένο σύνθετο υλικό για διάφορες δομικές εφαρμογές. Προς το σκοπό αυτό, ένας δυναμικός νόμος συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε στο , για να περιγράψει την υποβάθμιση της ακαμψίας σε ένα ύφασμα σύνθετο φύλλο ινών υάλου και εισήγαγε την ένια του συντελεστή της κόπωσης. Ορίστηκε ως η αναλογία της μέγιστης τάσης προς την μέγιστη τάση στο ένα συγκεκριμένο κύκλο.

Ο συντελεστής κόπωσης που μετράται κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου φόρτωσης υποτίθεται ότι είναι το ίδιο με το μέτρο ελαστικότητας. Το μέτρο κόπωση κατά την αστοχία εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη κυκλικό επίπεδο της τάσης. Ένα τροποποιημένο εκθετικό μοντέλο εισήχθη στο για να περιγράψει τη συμπεριφορά των graphite/epoxy laminates.

Η Ακαμψία σε κάθε κύκλο φόρτωσης εκφράστηκε ως η λειτουργία της αρχικής ακαμψίας, της τελικής αντοχής του ελάσματος, του εφαρμοζόμενου επιπέδου τάσης και δύο σταθερές που θα πρέπει να ρυθμίζεται με προσαρμογή του μοντέλου για τα πειραματικά δεδομένα.

Παρά το γεγονός ότι σε μια σειρά από μελέτες έχουν παρουσιαστεί για την μοντελοποίηση της υποβάθμισης της δυσκαμψίας από διάφορα υλικά, λιγότεροι έχουν παρουσιάσει σχετικά με την διερεύνηση της αντοχής στην κόπωση των δομικών στοιχείων, όπως τα δομικές αρθρώσεις .

Η έννοια του μέτρου διάτμησης της ακαμψίας εισήχθη στο, η μελέτη της ζωής κόπωση των κολλημένων αρμών που παράγεται από bi-directional υφάσματα υαλωνυμάτων και μήτρα πολυπροπυλενίου. Το μέτρο δυσκαμψίας της διάτμηση ορίζεται ως η αναλογία μεταξύ των διατμητικών τάσεων στους δεσμούς και στους άξονες των τάσεων. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δεσμοί έδειξαν μικρή και σχεδόν γραμμική την υποβάθμιση της ακαμψίας κατά το μεγαλύτερο μέρος της ζωής τους, που ακολουθείται από μια ξαφνική μείωση μεταξύ $[0.95 \setminus N / N_f \setminus 1]$. Μια παρόμοια τάση παρατηρήθηκε στην για διπλό γύρο αρθρώσεις που αποτελείται υφάσματα υαλωνυμάτων . Αν και φύλλα γυαλιού παρουσίασαν σημαντική υποβάθμιση της ακαμψίας υπό χαμηλά κυκλικά φορτία, τα κοινά δείγματα έδειξαν αποδόμηση μικρότερη από 5% αστοχίας. Δύο εμπειρικά μοντέλα, ένα γραμμικό και ένα μη γραμμικό, εισήχθησαν, για τη μοντελοποίηση της δυσκαμψίας

4.4.3 Τελικές Παρατηρήσεις

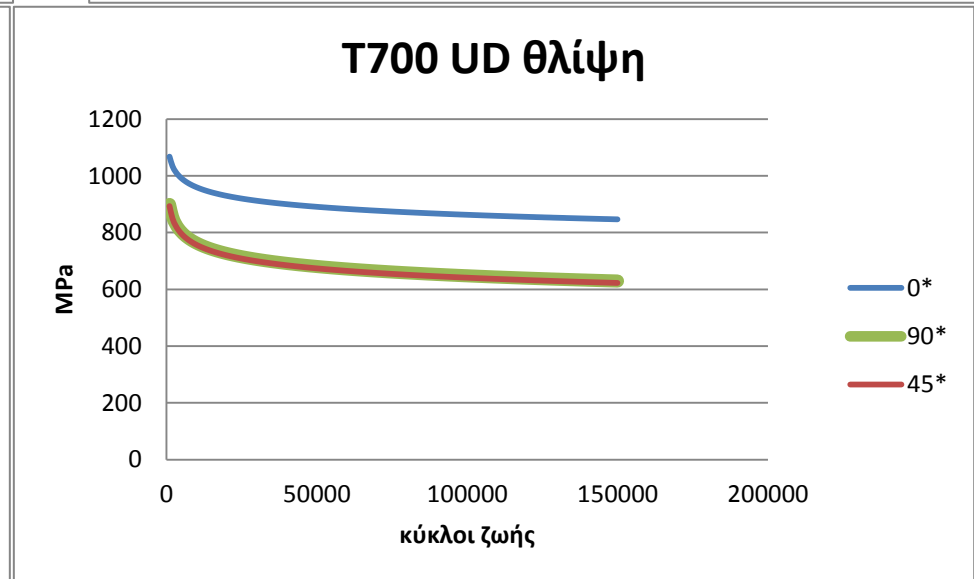
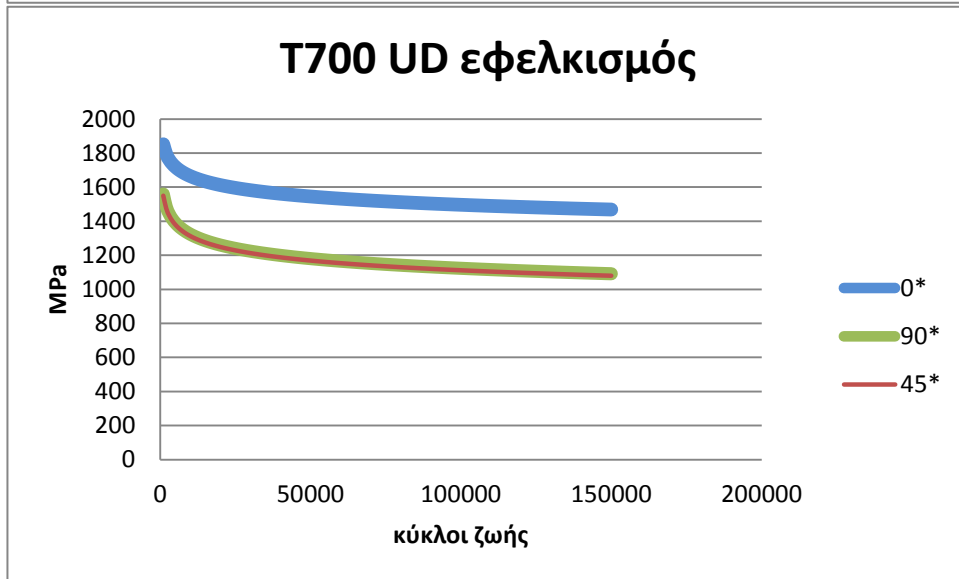
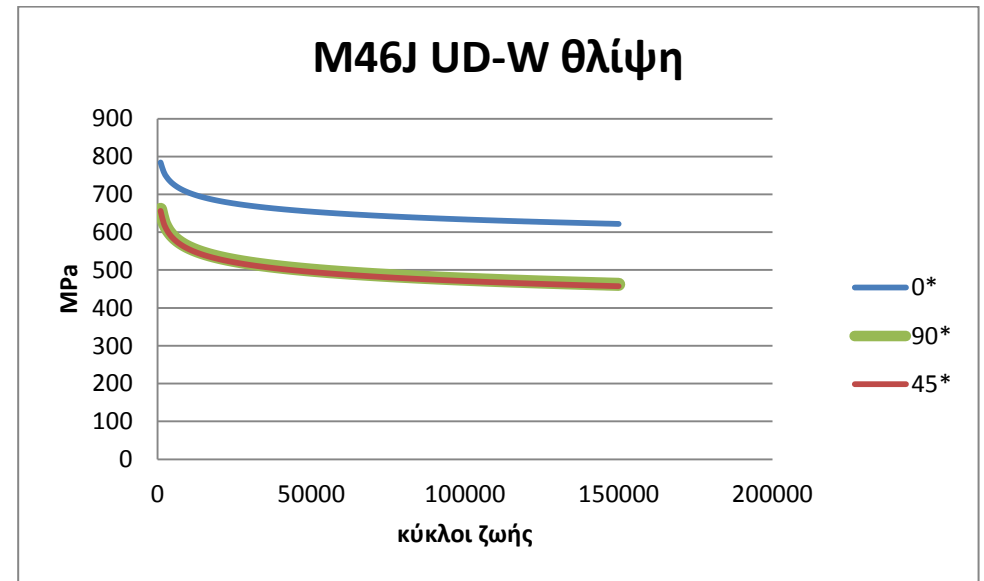
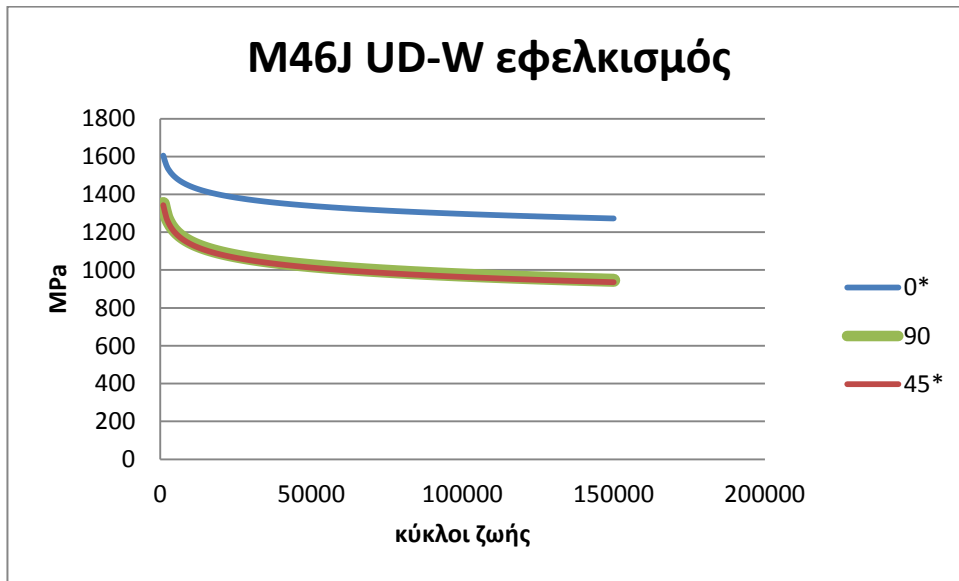
Κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής, η ακαμψία του δομικού στοιχείου μειώνεται. Η μοντελοποίηση της ζωής με κόπωση στα δείγματα κομμένα σε διάφορες γωνίες off-axis γωνίες από ένα πολλαπλών κατευθύνσεων ύφασμα $[0 / (\pm 45) 2/0]$ T που υποβλήθηκε σε μονοαξονική κυκλική φόρτιση σε ένα ευρύ φάσμα από αναλογίες του R διεξήχθη και βασίζεται σε μετρήσεις που έγιναν . Ένα απλό εμπειρικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των καμπυλών σχεδιασμού, οι οποίες δεν αντιστοιχούν στην αντοχή κόπωση αλλά σε μία προκαθορισμένη τιμή της μείωσης της ακαμψίας χρησιμοποιώντας μόνο ένα τμήμα των δεδομένων με κόπωση που απαιτούνται για την καθορισμός ενός αξιόπιστου καμπύλη S-N. Οι καθιερωμένες καμπύλες Sc-N παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επιτρεπόμενη αποδόμηση της ακαμψίας που επίσης η πιθανότητα επιβίωση. Δείχθηκε ότι Sc-N καμπύλες είναι συγκρίσιμα με αντίστοιχο σχεδιασμό επιτρεπόμενες και προήλθε μετά από στατιστική ανάλυση των δεδομένων αντοχή σε κόπωση, παρόλα αυτά καμπύλες που ελέγχουν την δυσκαμψία είναι, στις περισσότερες από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, όχι ιδιαίτερα αποδεχτές, ειδικά για μεγαλύτερο αριθμό κύκλων.

Table 4.3 Stiffness-controlled and S-N curves for 95% survival probability*

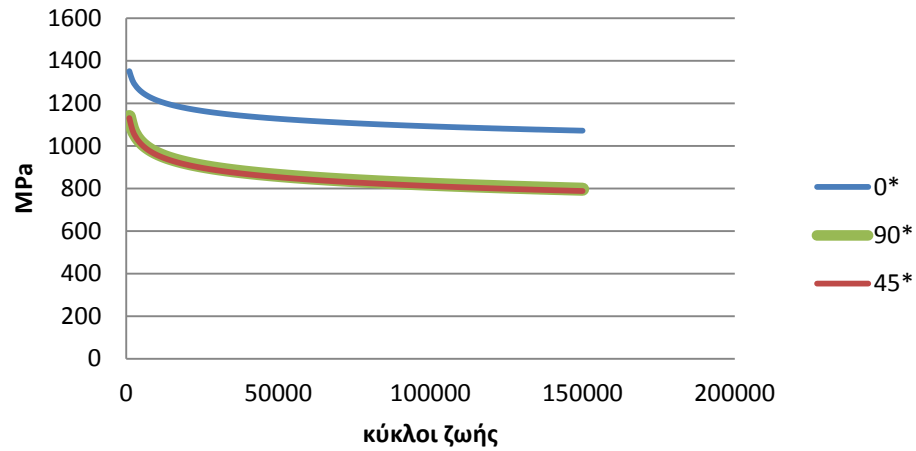
Direction	R-ratio							
	10		-1		0.1		0.5	
	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N	Sc-N	S-N
0°	305.1 $N^{-0.0591}$ (0.97)	244.51 $N^{-0.0387}$	164.6 $N^{-0.0585}$ (0.98)	142.2 $N^{-0.0463}$	585.4 $N^{-0.1116}$ (0.85)	528.5 $N^{-0.1008}$	366.4 $N^{-0.0502}$ (0.95)	326.4 $N^{-0.0420}$
15°					168.2 $N^{-0.0733}$ (0.96)	164.9 $N^{-0.0694}$		
30°	327.7 $N^{-0.1139}$ (0.99)	321.9 $N^{-0.1115}$	113.2 $N^{-0.0807}$ (0.96)	113.8 $N^{-0.0788}$				
45°	216.9 $N^{-0.0758}$ (0.98)	238.8 $N^{-0.0843}$	133.4 $N^{-0.0850}$ (0.95)	112.9 $N^{-0.0721}$	161.6 $N^{-0.0950}$ (0.98)	153.4 $N^{-0.0921}$	166.9 $N^{-0.0719}$ (0.93)	156.96 $N^{-0.0671}$
60°	154.2 $N^{-0.0953}$ (0.98)	143.5 $N^{-0.0833}$	121.7 $N^{-0.0986}$ (0.89)	121.8 $N^{-0.0993}$				
75°					94.47 $N^{0.0995}$ (0.83)	75.03 $N^{-0.0769}$		
90°	67.20 $N^{-0.0441}$ (0.99)	70.39 $N^{-0.0485}$		77.46 $N^{-0.0712}$	70.62 $N^{-0.0963}$ (0.84)	55.41 $N^{-0.0690}$		

* Numbers in parentheses indicate the respective $E(N)/E(1)$ values

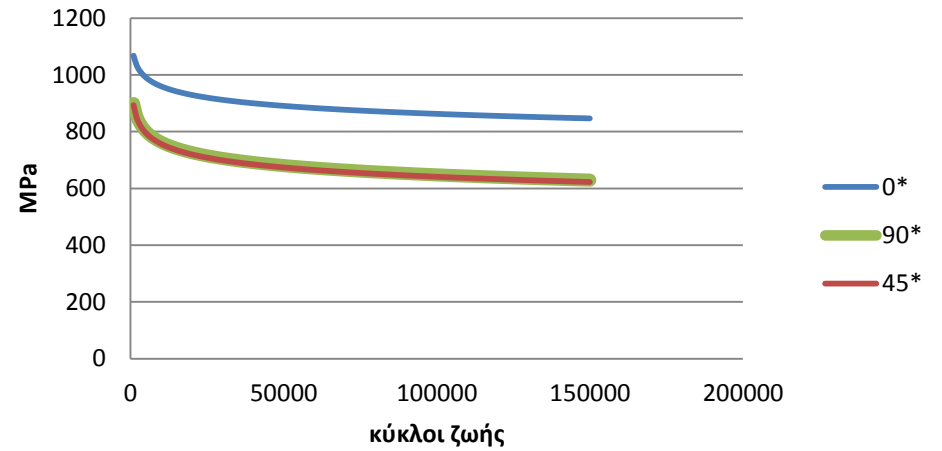
Διαγράμματα κύκλων ζωής



T300 w εφελκισμός



T300 w θλίψη



10. Αποτελέσματα πειραμάτων προσομοίωσης

Σε αυτούς τους πίνακες κρατάει τις μέγιστες τάσεις που αναπτύσσονται στις κύριες διευθύνσεις ανά στρώση, υλικό και γωνία κατεύθυνσης του υφάσματος. Στο τελευταίο κελί σημειώνεται αν σύμφωνα με τους πίνακες η τάση που αναπτύσσεται είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές ασφαλείας .

Πίνακας ορίων κύκλων καταπόνησης (MPa)			
		εφελκυσμός	Θλίψη
T700 UD	0*	1400	800
	45*	1000	600
	90*	1000	600
M46J UD-W	0*	1200	600
	45*	900	450
	90*	900	450
T300 W	0*	1050	850
	45*	800	600
	90*	800	600

Συνταγή 1, ελαφριά κατασκευή

Υλικό : T300 w MJ46 UD

Δοκιμή με 450N στα 50mm

max stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	Test
1	m46j_UD	90	298,869E+0	51,208E+0	000,000E+0	562,763E-3	1,668E+0	1,012E+0	298,935E+0	Ok
2	m46j_UD	0	240,778E+0	168,560E+0	000,000E+0	727,869E-3	1,670E+0	1,502E+0	240,799E+0	Ok
3	m46j_UD	45	323,551E+0	122,439E+0	000,000E+0	592,571E-3	1,986E+0	2,052E+0	323,625E+0	Ok
4	m46j_UD	0	248,117E+0	168,763E+0	000,000E+0	760,512E-3	1,987E+0	2,253E+0	248,137E+0	Ok
5	T300_wooven	45	348,234E+0	151,210E+0	000,000E+0	609,626E-3	2,436E+0	2,492E+0	348,314E+0	Ok
6	m46j_UD	90	198,886E+0	173,693E+0	000,000E+0	829,168E-3	2,821E+0	2,492E+0	221,150E+0	Ok
7	m46j_UD	0	372,916E+0	501,106E-3	000,000E+0	587,566E-3	2,821E+0	2,632E+0	373,004E+0	Ok
8	T300_wooven	45	213,945E+0	178,624E+0	000,000E+0	922,859E-3	2,724E+0	2,562E+0	229,690E+0	Ok
9	m46j_UD	0	417,054E+0	525,532E-3	000,000E+0	599,414E-3	2,724E+0	2,201E+0	417,189E+0	Ok
10	T300_wooven	45	215,422E+0	191,702E+0	000,000E+0	1,017E+0	2,211E+0	1,817E+0	233,865E+0	Ok
11	m46j_UD	90	232,792E+0	207,802E-3	000,000E+0	359,542E-3	1,061E+0	1,816E+0	277,202E+0	Ok
12	m46j_UD	0	291,140E+0	381,428E-3	000,000E+0	613,923E-3	1,059E+0	796,557E-3	291,224E+0	Ok
13	T300_wooven	45	218,383E+0	146,607E+0	000,000E+0	681,632E-3	215,484E-18	794,766E-18	239,998E+0	Ok

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	Test
1	m46j_UD	90	-281,709E+0	-56,196E+0	000,000E+0	-510,426E-3	-2,376E+0	-988,297E-3	3,707E-3	Ok
2	m46j_UD	0	-237,841E+0	-182,393E+0	000,000E+0	-740,017E-3	-2,378E+0	-1,318E+0	196,445E-6	Ok
3	m46j_UD	45	-299,684E+0	-141,191E+0	000,000E+0	-591,888E-3	-2,828E+0	-1,798E+0	642,227E-6	Ok
4	m46j_UD	0	-206,143E+0	-181,373E+0	000,000E+0	-778,464E-3	-2,837E+0	-2,333E+0	335,955E-6	Ok
5	T300_wooven	45	-326,857E+0	-131,414E+0	000,000E+0	-592,460E-3	-3,469E+0	-2,705E+0	1,869E-3	Ok
6	m46j_UD	90	-221,132E+0	-180,353E+0	000,000E+0	-837,446E-3	-4,017E+0	-2,705E+0	123,047E-3	Ok
7	m46j_UD	0	-366,326E+0	-506,201E-3	000,000E+0	-593,843E-3	-4,017E+0	-2,857E+0	1,073E-3	Ok
8	T300_wooven	45	-202,990E+0	-179,334E+0	000,000E+0	-940,977E-3	-3,879E+0	-2,782E+0	784,269E-6	Ok
9	m46j_UD	0	-405,795E+0	-546,643E-3	000,000E+0	-605,842E-3	-3,878E+0	-2,389E+0	526,428E-6	Ok
10	T300_wooven	45	-207,107E+0	-188,236E+0	000,000E+0	-1,056E+0	-3,148E+0	-1,972E+0	911,323E-6	Ok
11	m46j_UD	90	-277,165E+0	-218,312E-3	000,000E+0	-387,838E-3	-1,510E+0	-1,971E+0	79,048E-3	Ok

12	m46j_UD	0	-278,471E+0	-368,646E-3	000,000E+0	-622,231E-3	-1,508E+0	-864,758E-3	605,733E-6	Ok
13	T300_wooven	45	-211,225E+0	-156,289E+0	000,000E+0	-695,821E-3	-218,435E-18	-732,085E-18	384,364E-6	Ok

Συνταγή 1 , ελαφριά κατασκευή

Υλικό : T300 w MJ46 UD

Δοκιμή με 270N στα 50mm

max stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46j_UD	90	179,321E+0	30,725E+0	000,000E+0	337,658E-3	1,001E+0	607,202E-3	179,361E+0	ok
2	m46j_UD	0	144,467E+0	101,136E+0	000,000E+0	436,722E-3	1,002E+0	901,199E-3	144,479E+0	ok
3	m46j_UD	45	194,131E+0	73,463E+0	000,000E+0	355,543E-3	1,192E+0	1,231E+0	194,175E+0	ok
4	m46j_UD	0	148,870E+0	101,258E+0	000,000E+0	456,307E-3	1,192E+0	1,352E+0	148,882E+0	ok
5	T300_wooven	45	208,940E+0	90,726E+0	000,000E+0	365,775E-3	1,462E+0	1,495E+0	208,989E+0	ok
6	m46j_UD	90	119,332E+0	104,216E+0	000,000E+0	497,501E-3	1,692E+0	1,495E+0	132,690E+0	ok
7	m46j_UD	0	223,750E+0	300,664E-3	000,000E+0	352,539E-3	1,693E+0	1,579E+0	223,802E+0	ok
8	T300_wooven	45	128,367E+0	107,174E+0	000,000E+0	553,715E-3	1,635E+0	1,537E+0	137,814E+0	ok
9	m46j_UD	0	250,233E+0	315,319E-3	000,000E+0	359,648E-3	1,634E+0	1,320E+0	250,313E+0	ok
10	T300_wooven	45	129,253E+0	115,021E+0	000,000E+0	609,930E-3	1,326E+0	1,090E+0	140,319E+0	ok
11	m46j_UD	90	139,670E+0	125,000E-3	000,000E+0	216,000E-3	636,000E-3	1,089E+0	144,750E+0	ok
12	m46j_UD	0	174,684E+0	228,857E-3	000,000E+0	368,354E-3	635,491E-3	477,934E-3	174,734E+0	ok
13	T300_wooven	45	131,029E+0	87,964E+0	000,000E+0	408,979E-3	129,290E-18	476,860E-18	143,999E+0	ok

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46j_UD	90	-169,026E+0	-33,718E+0	000,000E+0	-306,256E-3	-1,425E+0	-592,978E-3	2,224E-3	ok
2	m46j_UD	0	-142,705E+0	-109,436E+0	000,000E+0	-444,010E-3	-1,427E+0	-790,637E-3	117,890E-6	ok
3	m46j_UD	45	-179,810E+0	-84,715E+0	000,000E+0	-355,133E-3	-1,697E+0	-1,079E+0	385,424E-6	ok
4	m46j_UD	0	-123,686E+0	-108,824E+0	000,000E+0	-467,078E-3	-1,702E+0	-1,400E+0	201,708E-6	ok
5	T300_wooven	45	-196,114E+0	-78,849E+0	000,000E+0	-355,476E-3	-2,081E+0	-1,623E+0	1,121E-3	ok
6	m46j_UD	90	-132,679E+0	-108,212E+0	000,000E+0	-502,468E-3	-2,410E+0	-1,623E+0	73,828E-3	ok
7	m46j_UD	0	-219,796E+0	-303,721E-3	000,000E+0	-356,306E-3	-2,410E+0	-1,714E+0	643,753E-6	ok
8	T300_wooven	45	-121,794E+0	-107,600E+0	000,000E+0	-564,586E-3	-2,327E+0	-1,669E+0	470,561E-6	ok

9	m46J_UD	0	-243,477E+0	-327,986E-3	000,000E+0	-363,505E-3	-2,327E+0	-1,434E+0	315,880E-6	OK
10	T300_wooven	45	-124,264E+0	-112,942E+0	000,000E+0	-633,585E-3	-1,889E+0	-1,183E+0	546,731E-6	OK
11	m46J_UD	90	-166,300E+0	-131,000E-3	000,000E+0	-233,000E-3	-906,000E-3	-1,183E+0	166,320E+0	OK
12	m46J_UD	0	-167,082E+0	-221,188E-3	000,000E+0	-373,338E-3	-904,899E-3	-518,855E-3	363,473E-6	OK
13	T300_wooven	45	-126,735E+0	-93,773E+0	000,000E+0	-417,492E-3	-131,061E-18	-439,251E-18	230,512E-6	OK

Συνταγή 2 , άκαμπτη στοιβαρή

Υλικό : MJ46 UD, MJ46 UD

Δοκιμή με 450N στα 50mm

max stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46J_UD	0	292,861E+0	71,668E+0	000,000E+0	770,894E-3	2,375E+0	1,866E+0	292,872E+0	OK
2	m46J_UD	90	261,983E+0	69,973E+0	000,000E+0	599,219E-3	3,166E+0	2,913E+0	282,844E+0	OK
3	m46J_UD	0	273,175E+0	216,924E+0	000,000E+0	738,066E-3	4,492E+0	3,442E+0	286,973E+0	OK
4	m46J_UD	45	276,411E+0	172,411E+0	000,000E+0	643,035E-3	4,497E+0	4,004E+0	318,304E+0	OK
5	m46J_wooven	45	255,597E+0	248,752E+0	000,000E+0	753,234E-3	5,809E+0	3,855E+0	291,940E+0	OK
6	m46J_UD	0	300,807E+0	179,556E+0	000,000E+0	786,954E-3	5,015E+0	4,498E+0	316,352E+0	OK
7	m46J_UD	90	313,007E+0	335,323E-3	000,000E+0	513,808E-3	5,011E+0	2,724E+0	377,388E+0	OK
8	m46J_wooven	45	322,799E+0	158,905E+0	000,000E+0	713,063E-3	5,809E+0	4,485E+0	389,204E+0	OK
9	m46J_wooven	45	242,111E+0	198,842E+0	000,000E+0	903,923E-3	5,015E+0	4,054E+0	275,934E+0	OK
10	m46J_UD	0	331,680E+0	444,207E-3	000,000E+0	655,762E-3	5,011E+0	2,833E+0	365,304E+0	OK

11	m46J_UD	90	236,574E+0	218,243E-3	000,000E+0	401,443E-3	1,239E+0	1,705E+0	267,316E+0	ok
12	m46J_UD	0	341,971E+0	452,187E-3	000,000E+0	657,694E-3	5,005E+0	1,269E+0	375,094E+0	ok
13	m46J_wooven	45	251,191E+0	194,343E+0	000,000E+0	875,232E-3	295,118E-18	1,167E-15	276,020E+0	ok

min stress value N/mm^2(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46J_UD	0	-280,564E+0	-62,351E+0	000,000E+0	-797,240E-3	-1,689E+0	-2,324E+0	217,749E-6	ok
2	m46J_UD	90	-282,780E+0	-62,978E+0	000,000E+0	-596,116E-3	-2,613E+0	-3,251E+0	2,699E-3	ok
3	m46J_UD	0	-286,914E+0	-230,807E+0	000,000E+0	-757,743E-3	-2,615E+0	-3,841E+0	353,627E-6	ok
4	m46J_UD	45	-318,220E+0	-153,349E+0	000,000E+0	-627,998E-3	-3,084E+0	-4,315E+0	1,589E-3	ok
5	m46J_wooven	45	-256,702E+0	-176,096E+0	000,000E+0	-735,656E-3	-3,880E+0	-4,303E+0	1,361E-3	ok
6	m46J_UD	0	-316,273E+0	-166,400E+0	000,000E+0	-673,330E-3	-3,881E+0	-4,252E+0	487,559E-6	ok
7	m46J_UD	90	-377,287E+0	-371,166E-3	000,000E+0	-522,364E-3	-4,254E+0	-2,971E+0	140,008E-3	ok
8	m46J_wooven	45	-389,100E+0	-158,157E+0	000,000E+0	-676,720E-3	-4,141E+0	-4,240E+0	1,075E-3	ok
9	m46J_wooven	45	-234,518E+0	-165,006E+0	000,000E+0	-775,503E-3	-3,573E+0	-3,832E+0	1,543E-3	ok
10	m46J_UD	0	-365,205E+0	-421,766E-3	000,000E+0	-634,182E-3	-3,571E+0	-2,678E+0	302,320E-6	ok
11	m46J_UD	90	-267,283E+0	-223,465E-3	000,000E+0	-416,450E-3	-1,708E+0	-1,859E+0	90,281E-3	ok
12	m46J_UD	0	-374,992E+0	-419,076E-3	000,000E+0	-624,229E-3	-2,440E+0	-1,199E+0	221,543E-6	ok
13	m46J_wooven	45	-218,597E+0	-189,478E+0	000,000E+0	-792,786E-3	-254,981E-18	-1,070E-15	368,488E-6	ok

Συνταγή 2, άκαμπτη στοιβαγή

Υλικό : MJ46 UD, MJ46 UD

Δοκιμή με 270N στα 50mm

max stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46j_UD	0	175,717E+0	43,001E+0	000,000E+0	462,537E-3	1,425E+0	1,120E+0	175,723E+0	Ok
2	m46j_UD	90	157,190E+0	41,984E+0	000,000E+0	359,531E-3	1,900E+0	1,748E+0	169,707E+0	Ok
3	m46j_UD	0	163,905E+0	130,154E+0	000,000E+0	442,840E-3	2,695E+0	2,065E+0	172,184E+0	Ok
4	m46j_UD	45	165,847E+0	103,447E+0	000,000E+0	385,821E-3	2,698E+0	2,402E+0	190,982E+0	Ok
5	m46j_wooven	45	153,358E+0	149,251E+0	000,000E+0	451,940E-3	3,485E+0	2,313E+0	175,164E+0	Ok
6	m46j_UD	0	180,484E+0	107,734E+0	000,000E+0	472,172E-3	3,009E+0	2,699E+0	189,811E+0	Ok
7	m46j_UD	90	187,804E+0	201,194E-3	000,000E+0	308,285E-3	3,007E+0	1,634E+0	226,433E+0	Ok
8	m46j_wooven	45	193,679E+0	95,343E+0	000,000E+0	427,838E-3	3,485E+0	2,691E+0	233,522E+0	Ok
9	m46j_wooven	45	145,267E+0	119,305E+0	000,000E+0	542,353E-3	3,009E+0	2,432E+0	165,560E+0	Ok
10	m46j_UD	0	199,008E+0	266,524E-3	000,000E+0	393,457E-3	3,007E+0	1,700E+0	219,183E+0	Ok
11	m46j_UD	90	141,944E+0	130,946E-3	000,000E+0	240,866E-3	743,585E-3	1,023E+0	160,389E+0	Ok
12	m46j_UD	0	205,183E+0	271,312E-3	000,000E+0	394,617E-3	3,003E+0	761,106E-3	225,056E+0	Ok
13	m46j_wooven	45	150,715E+0	116,606E+0	000,000E+0	525,139E-3	177,071E-18	700,446E-18	165,612E+0	Ok

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	m46j_UD	0	-168,338E+0	-37,411E+0	000,000E+0	-478,344E-3	-1,013E+0	-1,394E+0	130,648E-6	Ok
2	m46j_UD	90	-169,668E+0	-37,787E+0	000,000E+0	-357,670E-3	-1,568E+0	-1,951E+0	1,620E-3	Ok
3	m46j_UD	0	-172,149E+0	-138,484E+0	000,000E+0	-454,646E-3	-1,569E+0	-2,305E+0	212,195E-6	Ok
4	m46j_UD	45	-190,932E+0	-92,010E+0	000,000E+0	-376,799E-3	-1,850E+0	-2,589E+0	953,573E-6	Ok
5	m46j_wooven	45	-154,021E+0	-105,658E+0	000,000E+0	-441,394E-3	-2,328E+0	-2,582E+0	816,725E-6	Ok
6	m46j_UD	0	-189,764E+0	-99,840E+0	000,000E+0	-403,998E-3	-2,329E+0	-2,551E+0	292,527E-6	Ok
7	m46j_UD	90	-226,372E+0	-222,700E-3	000,000E+0	-313,418E-3	-2,553E+0	-1,783E+0	84,005E-3	Ok
8	m46j_wooven	45	-233,460E+0	-94,894E+0	000,000E+0	-406,032E-3	-2,485E+0	-2,544E+0	644,986E-6	Ok
9	m46j_wooven	45	-140,711E+0	-99,004E+0	000,000E+0	-465,302E-3	-2,144E+0	-2,299E+0	925,811E-6	Ok
10	m46j_UD	0	-219,123E+0	-253,060E-3	000,000E+0	-380,509E-3	-2,143E+0	-1,607E+0	181,422E-6	Ok
11	m46j_UD	90	-160,370E+0	-134,079E-3	000,000E+0	-249,870E-3	-1,025E+0	-1,116E+0	54,169E-3	Ok
12	m46j_UD	0	-224,995E+0	-251,445E-3	000,000E+0	-374,538E-3	-1,464E+0	-719,453E-3	132,927E-6	Ok
13	m46j_wooven	45	-131,158E+0	-113,687E+0	000,000E+0	-475,672E-3	-152,989E-18	-642,203E-18	221,270E-6	Ok

Συνταγή 3 , οικονομική κατασκευή

Υλικό : T300 w , T700 ud

Δοκιμή με 450N στα 50mm

max stress value N/mm² (MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	T300_wooven	45	165,001E+0	131,139E+0	000,000E+0	618,315E-3	2,555E+0	1,129E+0	186,632E+0	ok
2	T300_wooven	45	244,859E+0	120,186E+0	000,000E+0	597,364E-3	2,974E+0	2,506E+0	285,983E+0	ok
3	T700_UD	90	251,486E+0	137,357E+0	000,000E+0	634,271E-3	4,252E+0	3,070E+0	257,565E+0	ok
4	T700_UD	0	250,869E+0	127,776E+0	000,000E+0	664,003E-3	4,392E+0	3,529E+0	302,408E+0	ok
5	T300_wooven	45	271,915E+0	144,595E+0	000,000E+0	671,174E-3	4,392E+0	3,529E+0	288,172E+0	ok
6	T300_wooven	90	262,285E+0	129,240E+0	000,000E+0	705,157E-3	4,252E+0	3,680E+0	318,830E+0	ok
7	T700_UD	0	292,344E+0	152,329E+0	000,000E+0	711,081E-3	2,974E+0	3,735E+0	318,778E+0	ok
8	T300_wooven	45	273,700E+0	134,502E+0	000,000E+0	760,650E-3	2,600E+0	3,613E+0	335,307E+0	ok
9	T700_UD	90	212,302E+0	160,063E+0	000,000E+0	753,803E-3	2,313E+0	3,552E+0	241,432E+0	ok
10	T700_UD	0	271,203E+0	119,748E+0	000,000E+0	520,422E-3	2,254E+0	2,933E+0	270,347E+0	ok
11	T300_wooven	45	181,549E+0	114,128E+0	000,000E+0	703,093E-3	1,841E+0	2,396E+0	204,524E+0	ok
12	T700_UD	90	159,112E+0	20,340E+0	000,000E+0	307,061E-3	936,228E-3	2,244E+0	162,799E+0	ok
13	T700_UD	0	287,134E+0	51,074E+0	000,000E+0	547,292E-3	793,938E-3	951,933E-3	286,308E+0	ok
14	T300_wooven	45	190,209E+0	120,411E+0	000,000E+0	742,037E-3	656,304E-18	113,905E-18	214,633E+0	ok

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	T300_wooven	45	-146,168E+0	-130,079E+0	000,000E+0	-682,491E-3	-1,810E+0	-1,475E+0	445,827E-6	ok
2	T300_wooven	45	-278,152E+0	-107,511E+0	000,000E+0	-646,558E-3	-3,165E+0	-2,548E+0	166,905E-6	ok
3	T700_UD	90	-248,166E+0	-119,941E+0	000,000E+0	-564,341E-3	-3,389E+0	-3,122E+0	431,385E-6	ok
4	T700_UD	0	-294,041E+0	-109,398E+0	000,000E+0	-623,243E-3	-4,073E+0	-3,589E+0	524,211E-6	ok
5	T300_wooven	45	-277,955E+0	-138,698E+0	000,000E+0	-613,553E-3	-4,149E+0	-3,589E+0	172,998E-6	ok
6	T300_wooven	90	-309,929E+0	-118,860E+0	000,000E+0	-666,810E-3	-4,161E+0	-3,366E+0	372,650E-6	ok
7	T700_UD	0	-307,744E+0	-130,844E+0	000,000E+0	-627,010E-3	-4,090E+0	-2,948E+0	108,625E-6	ok
8	T300_wooven	45	-325,817E+0	-128,611E+0	000,000E+0	-710,377E-3	-3,651E+0	-2,482E+0	155,289E-6	ok
9	T700_UD	90	-237,735E+0	-136,314E+0	000,000E+0	-660,866E-3	-3,129E+0	-2,334E+0	251,406E-3	ok
10	T700_UD	0	-255,381E+0	-127,099E+0	000,000E+0	-515,168E-3	-3,036E+0	-1,670E+0	280,441E-6	ok
11	T300_wooven	45	-166,856E+0	-150,113E+0	000,000E+0	-663,854E-3	-2,444E+0	-1,475E+0	542,468E-6	ok
12	T700_UD	90	-161,182E+0	-19,854E+0	000,000E+0	-293,888E-3	-1,215E+0	-1,278E+0	179,600E-3	ok
13	T700_UD	0	-267,737E+0	-51,547E+0	000,000E+0	-522,792E-3	-1,026E+0	-610,769E-3	508,995E-6	ok
14	T300_wooven	45	-175,837E+0	-158,732E+0	000,000E+0	-701,834E-3	-454,654E-18	-207,648E-18	193,764E-6	ok

Συνταγή 3 , οικονομική κατασκευή

Υλικό : T300 w , T700 ud

Δοκιμή με 270N στα 50mm

max stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	T300_wooven	45	99,001E+0	78,683E+0	000,000E+0	370,989E-3	1,533E+0	677,613E-3	111,979E+0	OK
2	T300_wooven	45	146,915E+0	72,112E+0	000,000E+0	358,418E-3	1,785E+0	1,503E+0	171,590E+0	OK
3	T700_UD	90	150,892E+0	82,414E+0	000,000E+0	380,563E-3	2,551E+0	1,842E+0	154,539E+0	OK
4	T700_UD	0	150,522E+0	76,665E+0	000,000E+0	398,402E-3	2,635E+0	2,118E+0	181,445E+0	OK
5	T300_wooven	45	163,149E+0	86,757E+0	000,000E+0	402,704E-3	2,635E+0	2,118E+0	172,903E+0	OK
6	T300_wooven	90	157,371E+0	77,544E+0	000,000E+0	423,094E-3	2,551E+0	2,208E+0	191,298E+0	OK
7	T700_UD	0	175,407E+0	91,397E+0	000,000E+0	426,648E-3	1,785E+0	2,241E+0	191,267E+0	OK
8	T300_wooven	45	164,220E+0	80,701E+0	000,000E+0	456,390E-3	1,560E+0	2,168E+0	201,184E+0	OK
9	T700_UD	90	127,381E+0	96,038E+0	000,000E+0	452,282E-3	1,388E+0	2,131E+0	144,859E+0	OK
10	T700_UD	0	162,722E+0	71,849E+0	000,000E+0	312,253E-3	1,353E+0	1,760E+0	162,208E+0	OK
11	T300_wooven	45	108,930E+0	68,477E+0	000,000E+0	421,856E-3	1,105E+0	1,438E+0	122,714E+0	OK
12	T700_UD	90	95,467E+0	12,204E+0	000,000E+0	184,237E-3	561,737E-3	1,347E+0	97,679E+0	OK
13	T700_UD	0	172,280E+0	30,644E+0	000,000E+0	328,375E-3	476,363E-3	571,160E-3	171,785E+0	OK
14	T300_wooven	45	114,125E+0	72,247E+0	000,000E+0	445,222E-3	393,782E-18	68,343E-18	128,780E+0	OK

min stress value N/mm²(MPa)

Ply Id	Material Name	Angle (deg)	11	22	33	12	23	31	von-mises	test
1	T300_wooven	45	-87,701E+0	-78,048E+0	000,000E+0	-409,495E-3	-1,086E+0	-884,856E-3	267,495E-6	OK
2	T300_wooven	45	-166,891E+0	-64,507E+0	000,000E+0	-387,935E-3	-1,899E+0	-1,529E+0	100,151E-6	OK
3	T700_UD	90	-148,899E+0	-71,965E+0	000,000E+0	-338,604E-3	-2,033E+0	-1,873E+0	258,721E-6	OK
4	T700_UD	0	-176,424E+0	-65,639E+0	000,000E+0	-373,946E-3	-2,444E+0	-2,153E+0	314,523E-6	OK
5	T300_wooven	45	-166,773E+0	-83,219E+0	000,000E+0	-368,132E-3	-2,489E+0	-2,153E+0	103,791E-6	OK
6	T300_wooven	90	-185,957E+0	-71,316E+0	000,000E+0	-400,086E-3	-2,497E+0	-2,020E+0	223,590E-6	OK
7	T700_UD	0	-184,647E+0	-78,507E+0	000,000E+0	-376,206E-3	-2,454E+0	-1,769E+0	65,208E-6	OK
8	T300_wooven	45	-195,490E+0	-77,167E+0	000,000E+0	-426,226E-3	-2,191E+0	-1,489E+0	93,254E-6	OK
9	T700_UD	90	-142,641E+0	-81,788E+0	000,000E+0	-396,520E-3	-1,878E+0	-1,401E+0	150,843E-3	OK
10	T700_UD	0	-153,229E+0	-76,259E+0	000,000E+0	-309,101E-3	-1,821E+0	-1,002E+0	168,237E-6	OK
11	T300_wooven	45	-100,114E+0	-90,068E+0	000,000E+0	-398,313E-3	-1,466E+0	-884,856E-3	325,477E-6	OK
12	T700_UD	90	-96,709E+0	-11,913E+0	000,000E+0	-176,333E-3	-729,136E-3	-766,593E-3	107,760E-3	OK
13	T700_UD	0	-160,642E+0	-30,928E+0	000,000E+0	-313,675E-3	-615,895E-3	-366,462E-3	305,391E-6	OK
14	T300_wooven	45	-105,502E+0	-95,239E+0	000,000E+0	-421,101E-3	-272,792E-18	-124,589E-18	116,228E-6	OK

11. Συμπέρασμα

Σύμφωνα με την θεωρητική προσέγγιση που κάναμε και τις τιμές που μας δίνει η εταιρία για τα συγκεκριμένα προϊόντα, η επιλογή αυτών των συνταγών είναι σωστή και περνάει θεωρητικά το τεστ καταπόνησης.

12. Κατασκευή πατρών

Η μεθοδολογία περιγράφεται στο παράρτημα . Για την εύρεση των κοψιμάτων επιλέχτηκε η εξής διαδικασία. Υπολογίστηκε για την διάμετρο 22,2mm το φάρδος της κάθε στρώσης . Με κανόνα ότι τα UD βρίσκονται μόνο στην πάνω και κάτω μεριά και όχι στη μέση, καθώς και ότι η διαφορά των διαδοχικών στρώσεων ανά ίδιο υλικό είναι 10-20φορές το πάχος του υφάσματος από την κάθε πλευρά. Υπολογίστηκε με βάση την αρχική περίμετρο η κάθε περίμετρος και από αυτές υπολογίστηκαν τα ακτίνια θεωρώντας σταθερή την ακτίνα και μετατράπηκαν σε μοίρες .

Μπορούμε να χωρίσουμε την τομή του κυλίνδρου πλέον ανά μοίρες και να ορίσουμε τα χωρίσματα εκ νέου. Αφού είναι ανά μοίρες μπορούμε να το μοντελοποιήσουμε ακόμα πιο εύκολα ,δηλαδή σε περίπτωση σφάλματος και λάθους απλά πειράζουμε τις μοίρες.

Με την εύρεση των ορίων της κάθε στρώσης με τις γωνίες πηγαίνουμε στην μικρότερη διάμετρο και ξεκινάμε να δημιουργούμε τα χωρίσματα.

Το δυσκολότερο είναι να υπολογιστεί η over μεριά των στρώσεων. Ακολουθούμε τη λογική ότι η κάθε στρώση της over συμπληρώνει την under μεριά ώστε να δημιουργείτε ομοιόμορφα στρώση της συνταγής.

Δοκιμη1

Υπολογισμός Under

	w45	UD0	UD90	UD0	W45	W45	UD90	UD0	W45	W45	UD0	UD90	UD0	
ply	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
wide	34,87167845	17,43583923	34,87167845	17,43583923	27,87168	27,87168	27,87168	17,43584	20,87168	20,87168	17,43584	20,87168	17,43584	mm
angle	180	90	180	90	143,8675	143,8675	143,8675	90	107,7351	107,7351	90	107,7351	90	moires

Υπολογισμός OVER

	w45	UD0	UD90	UD0	W45	W45	UD90	UD0	W45	W45	UD0	UD90	UD0	
ply	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	
wide	58,87167845	17,43583923	58,87167845	17,43583923	51,87168	51,87168	51,87168	17,43584	44,87168	44,87168	17,43584	44,87168	17,43584	mm
angle	303,8827665	90	303,8827665	90	267,7503	267,7503	267,7503	90	231,6178	231,6178	90	231,6178	90	moires

Δοκιμη2

Υπολογισμός Under

	w45	UD0	UD90	W45	UD0	W45	UD0	UD90	W45	UD0	W45	UD0	UD90	
ply	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
wide	34,87167845	17,43583923	34,87167845	28,47167845	17,43584	28,47168	17,43584	28,47168	22,07168	17,43584	22,07168	17,43584	22,07168	mm
angle	180	90	180	146,9645956	90	146,9646	90	146,9646	113,9292	90	113,9292	90	113,9292	moires

Υπολογισμός OVER

	w45	UD0	UD90	W45	UD0	W45	UD0	UD90	W45	UD0	W45	UD0	UD90	
ply	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	
wide	57,67167845	17,43583923	57,67167845	51,27167845	17,43584	51,27168	17,43584	51,27168	44,87168	17,43584	44,87168	17,43584	44,87168	mm
angle	297,6886282	90	297,6886282	264,6532238	90	264,6532	90	264,6532	231,6178	90	231,6178	90	231,6178	moires

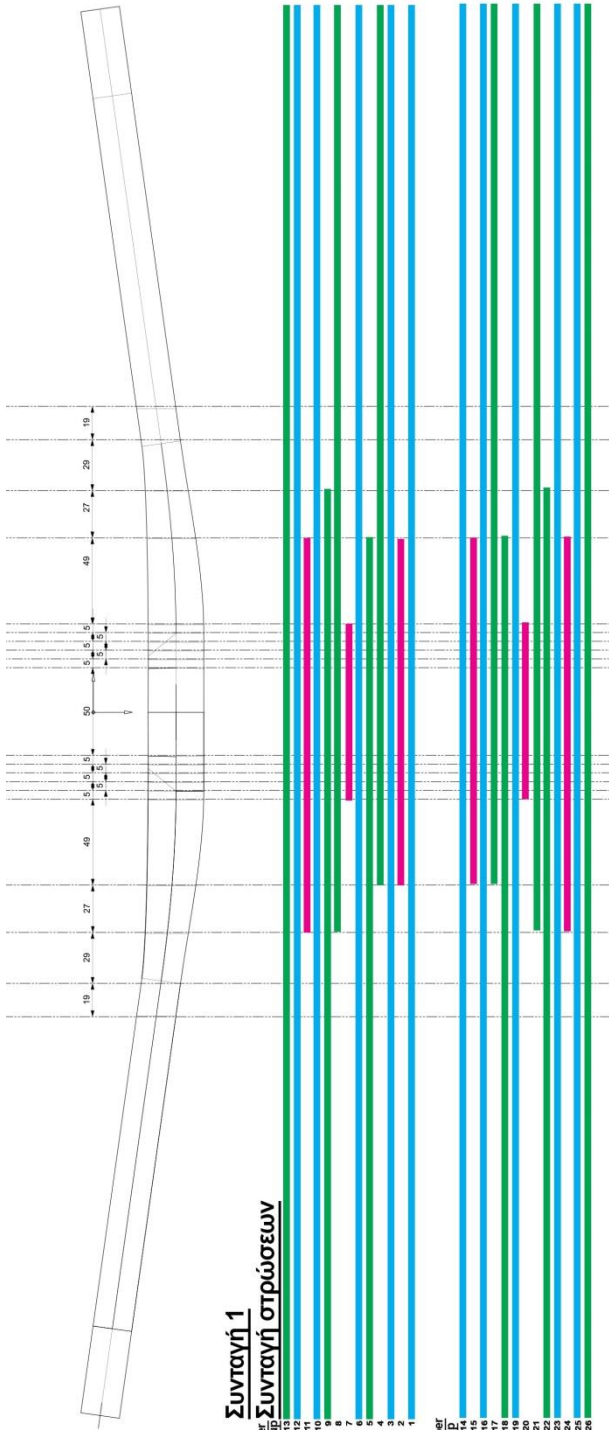
Δοκιμη3

Υπολογισμός Under

	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	W45	
ply	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
wide	34,87167845	17,43583923	34,87167845	28,87167845	17,43584	28,87168	22,87168	17,43584	22,87168	22,87168	17,43584	16,87168	16,87168	16,87168	mm
angle	180	90	180	149,0293084	90	149,0293	118,0586	90	118,0586	118,0586	90	87,08793	87,08793	87,08793	moires

Υπολογισμός OVER

	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	UD0	UD90	W45	W45	
ply	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	
wide	62,87167845	17,43583923	62,87167845	62,87167845	17,43584	56,87168	56,87168	17,43584	50,87168	56,87168	17,43584	44,87168	50,87168	50,87168	mm
angle	324,5298943	90	324,5298943	324,5298943	90	293,5592	293,5592	90	262,5885	293,5592	90	231,6178	262,5885	262,5885	moires



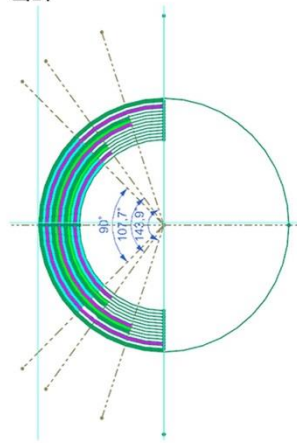
Συνταγή 1
Συνταγή στρώσεων

ply number
under layup

- 13
- 12
- 11
- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1

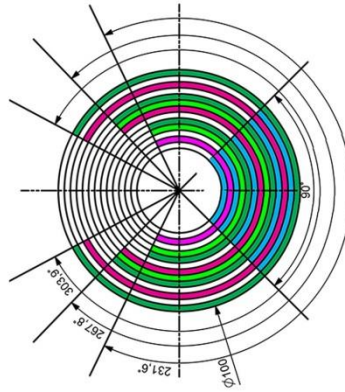
ply number
over layup

- 15
- 14
- 13
- 12
- 11
- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1



ply number
under layup

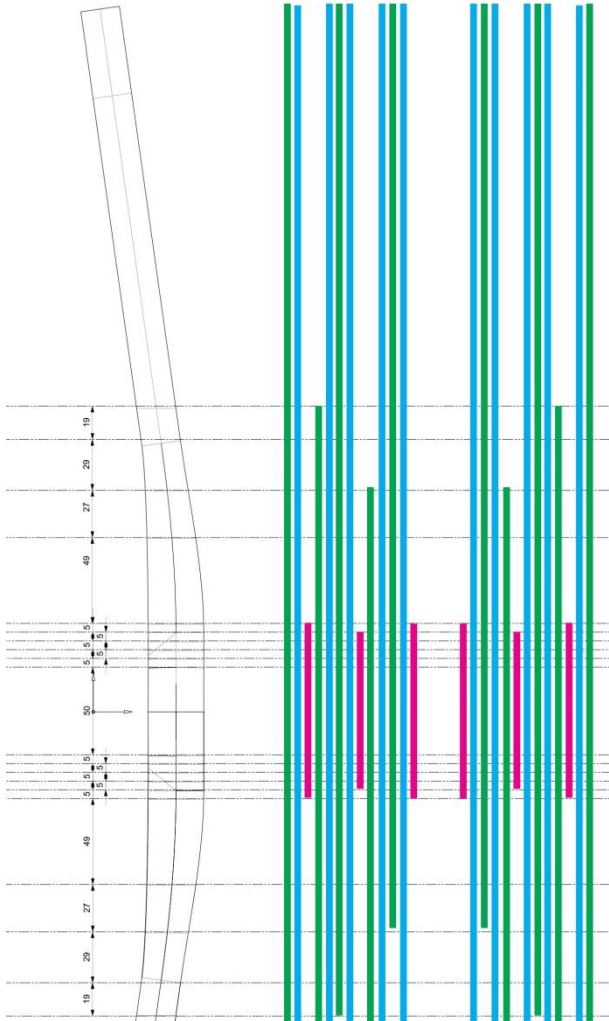
- 13
- 12
- 11
- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1



ply number
over layup

- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26

Υπόμνημα	
Χρώμα	υλικό
	M46J unidirectional 0°
	M46J unidirectional 90°
	T300 wooven 45°



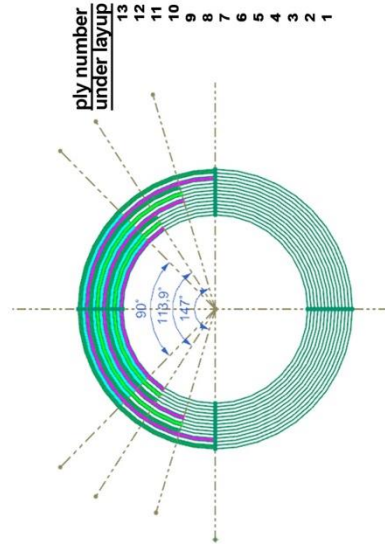
Συνταγή 2
Συνταγή στρώσεων

ply number
under layout

13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

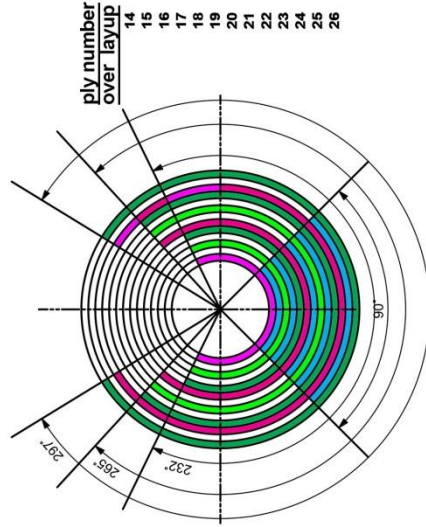
ply number
over layout

14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26



ply number
under layout

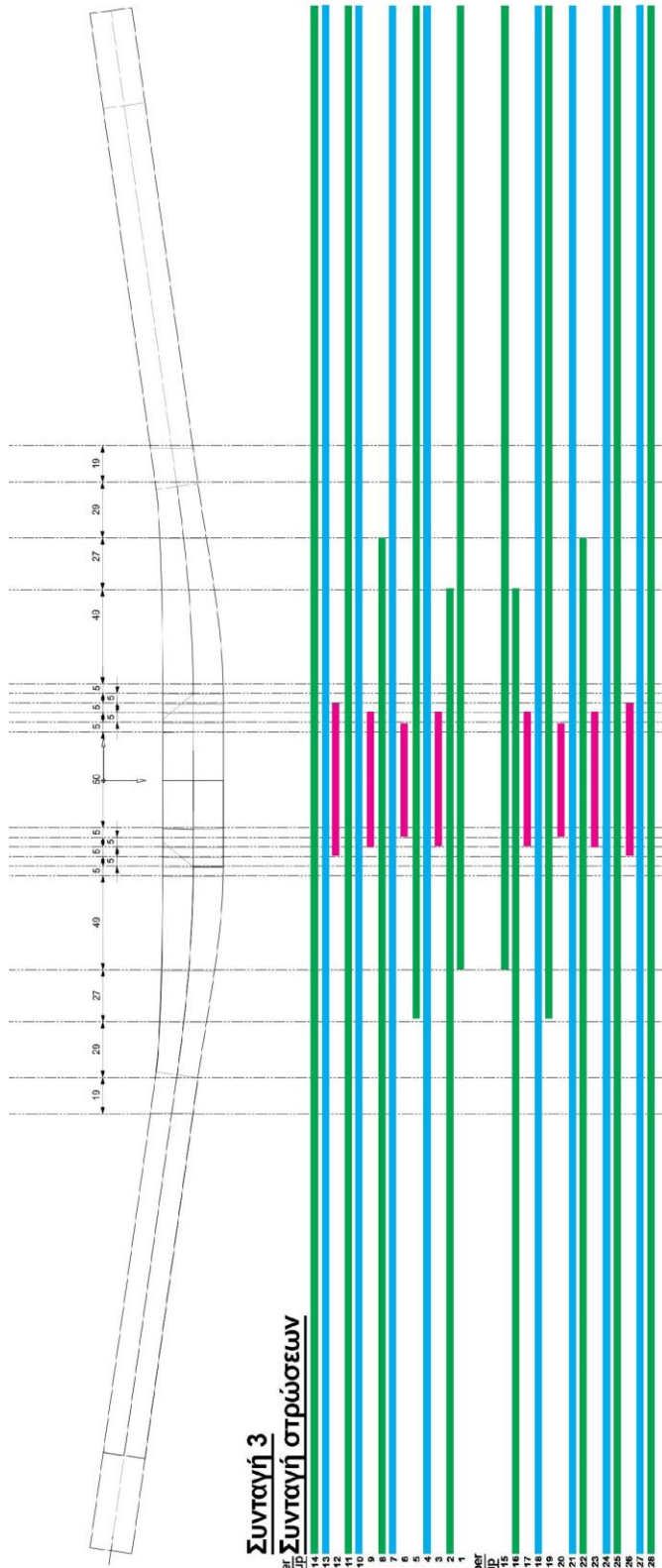
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1



ply number
over layout

14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

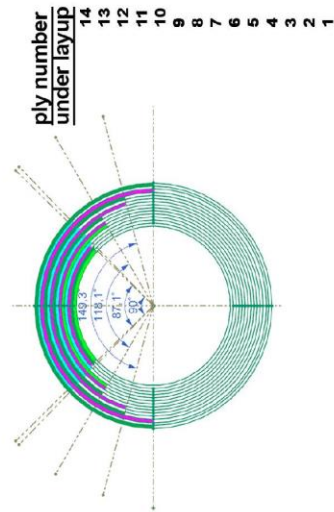
Υπόμνημα	Υλικό
Χρώμα	M46J unidirectional 0°
	M46J unidirectional 90°
	M46J wovoven 45°



Συνταγή 3
Συνταγή στρώσεων

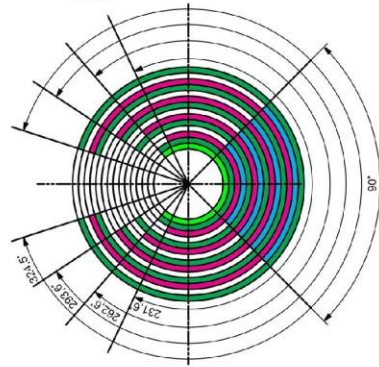
ply number	under layup
14	
13	
11	
10	
8	
7	
6	
4	
3	
2	

ply number	over layup
16	
18	
19	
20	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	



ply number
under layup

- 14
- 13
- 12
- 11
- 10
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1



ply number
over layup

- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28

Υπόμνημα	Χρώμα	υλικό
	Blue	T700 unidirectional 0°
	Pink	T700 unidirectional 90°
	Green	T300 wooven 45°

13. Σχεδιασμός και μελέτη μήτρας

Κατασκευή μήτρας

Αφού καταλήξαμε στο σχέδιο του τιμονιού, ακολούθησε η σχεδίαση της μήτρας.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν:

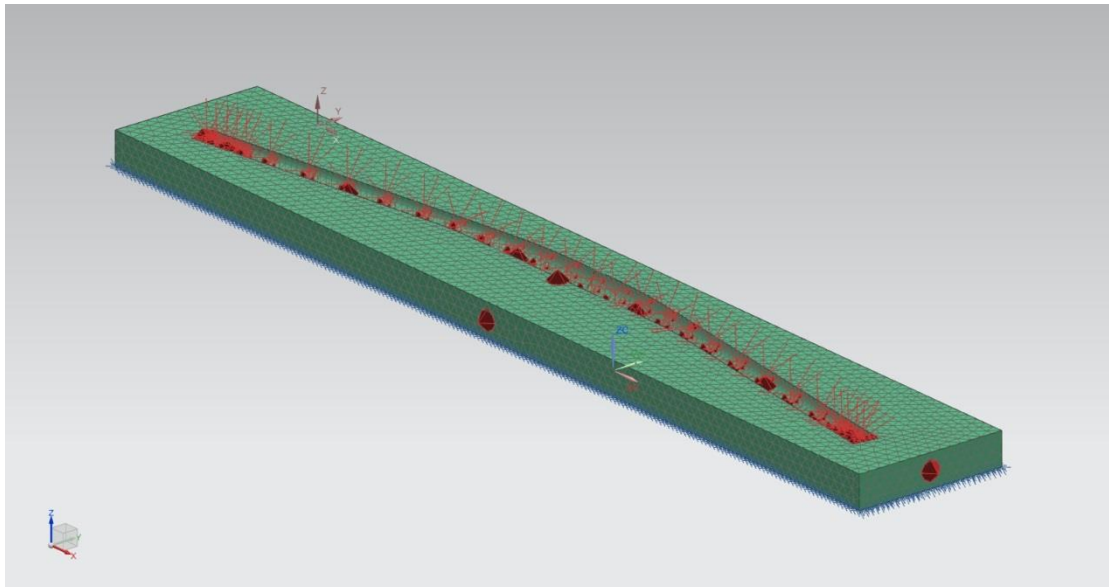
- 1) επιλογή εμπειρικά πάχους
- 2) εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών με κριτήριο τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στον άξονα ZZ'.
- 3) εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών αλλά και τον αποστάσεων μεταξύ τους για να έχουμε το μικρότερο αναπτυσσόμενο βέλος κάμψης (displacement ZZ' axis)
- 4) εύρεση καταλληλότερου πάχους της μήτρας για την ελάχιστη παραμόρφωση στο τεμάχιο.
- 5) γεωμετρικές αλλαγές λόγω θερμικών διαστολών και τελικός σχεδιασμός

1. Επιλογή εμπειρικά πάχους

Επιλέχτηκε στην αρχή πάχος 25mm.

2. Εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών με κριτήριο τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στον άξονα ZZ'.

Έγινε προσομίωση της μήτρας στο πρόγραμμα ώστε να βρεθούν οι αντιδράσεις στήριξης για να υπολογιστούν οι κοχλίες που χρειάζονται, οι υπολογισμοί θα γίνουν στην μία πλευρά αφού παρουσιάζεται συμμετρία και χρειαζόμαστε μόνο τις δυνάμεις στον ZZ' γιατί οι βίδες θα καταπονιθούν μόνο εφελκιστικά.



Μπαίνουν η πίεση 8bars, το θερμικό φορτίο 120°C, και πακτώσεις στις 4 άκρες.

Αποτελέσματα

Reaction forces	X	Y	Z
Max	1.42E+004	1.64+004	2.40+004

Min	-1.43E+004	-1.63E+004	-6.33E+004
Magnitude	2.86+004		

ΤΥΠΟΣ	Βήμα σπειρώματος, P	Κυρία διάμετρος, d = D	Μέση διάμετρος, d ₂ = D ₂	Εσωτερική διάμετρος κοχλία, d ₃	Εσωτερική διάμετρος περικοχλίου, D ₁	Βάθος σπειρώματος, h ₃	Φορτιζόμενη επιφάνεια, A, mm ²
M 8	1.25	8.00	7.188	6.466	6.647	0.767	36.60
M 10	1.50	10.00	9.026	8.160	8.876	0.920	58.30

Η καταπονούμενη επιφάνεια του κοχλία είναι

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad \text{αν η φόρτιση είναι στατική, και} \quad A = \frac{\pi d_3^2}{4} \quad \text{αν είναι δυναμική}$$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΑ	S _u	S _y	S _{y0.2}	δ _u (% επιμήκυνση μετά τη θραύση)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΡΙ-ΚΟΧΛΙΟΥ	S _u
	(MPa)	(MPa)	(MPa)			(MPa)
3.6	300	180	-	25	5	500
4.6	400	240	-	22	5	500
4.8	400	320	-	14	5	500
5.6	500	300	-	20	5	500
5.8	500	400	-	10	5	500
6.6	600	360	-	16	6	600
6.8	600	480	-	8	6	600
6.9	600	-	540	12	6	600
8.8	800	-	640	12	8	800
10.9	1000	-	900	9	10	1000
12.9	1200	-	1080	8	12	1200
14.9	1400	-	1260	7	14	1400

Θα επιλέξουμε κοχλία και περικόχλιο M10 και κατηγορία 8,8

Η δύναμη στο ZZ θα είναι από τις δύο πλευρές της μήτας οπότε διαλέγω την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή X2

$$F = 6,33^E + 004 \times 2 \Rightarrow$$

$$F = 126600 \text{ N}$$

Η εφελκυστική τάση στο κορμό του κοχλία είναι $\sigma = F/A$ το όριο θραύσης $S_{y0.2} = 640 \text{ MPa}$

Θέτω συντελεστή ασφαλείας 4

Οπότε

$$S_{y0.2}/4 > F / (\text{αριθμό κοχλιών} \cdot A)$$

$$640 \text{ MPa} / 4 > 126600 \text{ N} / (x \cdot \pi \cdot ((9.026 + 8.160) / 2)^2) / 4 \Rightarrow$$

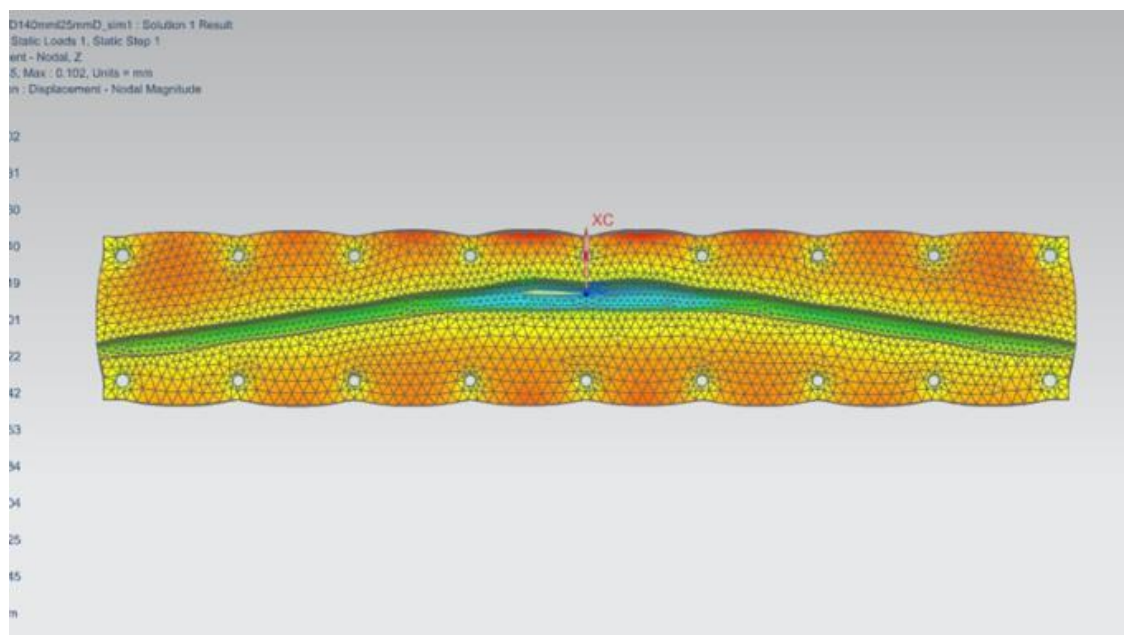
$$x > 16.7 \Rightarrow$$

Μιναριθμός κοχλιών =17

3. Εύρεση ελάχιστου αριθμού κοχλιών αλλά και τον αποστάσεων μεταξύ τους για να έχουμε το μικρότερο αναπτυσσόμενο βέλος κάμψης (displacement ZZ' axis)

Σταδιακά αυξάναμε τον αριθμό των κοχλιών από 18 στους 24 καταγράφοντας τη μέγιστη απόλυτη μετατόπιση στον άξονα zz' με σκοπό να πέσουμε σε τιμή μικρότερη του 0,1mm. Οι δυνάμεις αντίδρασης και υπόλοιπα στατικά φορτία δεν καταγράφονται γιατί έχουν τιμές πολύ χαμηλότερες του ορίου.

Τους κοχλίες τους μοντελοποιώ στο πρόγραμμα σαν πακτώσεις και η ανάλυση γίνεται με πλέγμα 5mm (mesh)



Αριθμός κοχλιών	absolute max displacement ZZ axis
18	0,145mm
20	0.125mm
22	0.110mm
24	0.105mm
26	0.105mm

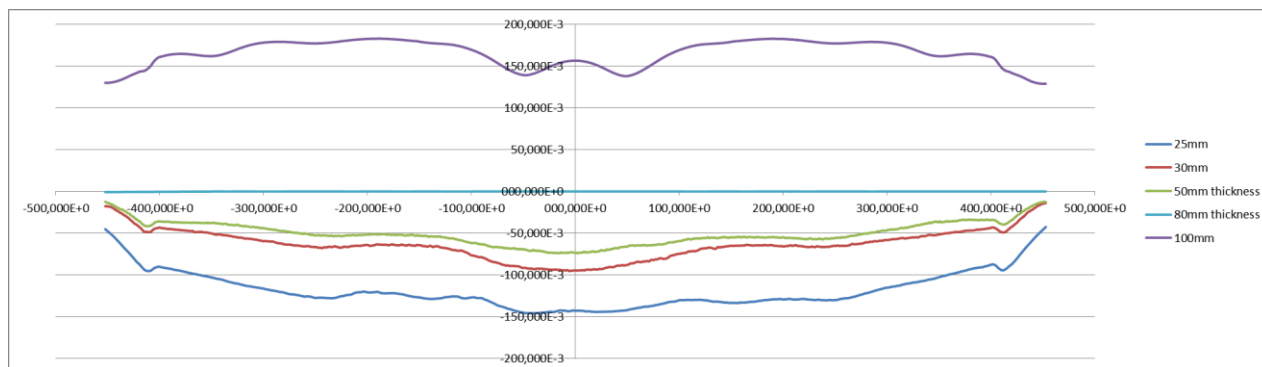
Παρατηρούμε ότι όσες και να προσθέσουμε κάτω από το όριο δεν πέφτουμε και με τις μεγαλύτερες μετατοπίσεις να βρίσκονται στο μέσο της μήτρας. Προσθέτουμε 2 ακόμα οπές πιο κοντά στο μέσο και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα :

Αριθμός κοχλιών	absolute max displacement ZZ axis
18+2	0,105mm
20+2	0,083284mm
22+2	0,081mm
24+2	0.080mm
26+2	0.080mm

Επιλέγω το μοντέλο με τις 20+2 οπές.

4. Εύρεση καταλληλότερου πάχους της μήτρας για την ελάχιστη παραμόρφωση στο τεμάχιο.

Σε ένα εύρος τιμών από τα 25-100mm αυξήσαμε σταδιακά το πάχος της μήτρας . Καταγράψαμε στην γραμμή της «κορυφής» του αποτυπώματος του τεμαχίου ,την μετατόπιση των σημείων στον άξονα zz' .



Παρατηρούμε ότι κάτω από την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης η αύξηση του πάχους από τα 25-80mm εξισορροπούνται μέχρι που μηδενίζεται. Μετά όσο αυξάνουμε το πάχος παρατηρούμε απότομη αύξηση της μετατόπιση προς την αντίθετη πλευρά, στην ουσία μικραίνει ο χώρος που αποτυπώνεται το τεμάχιο.

Λόγο οικονομικών και λειτουργικών περιορισμών θα εξετάσουμε τα πάχη 25mm και 30mm.

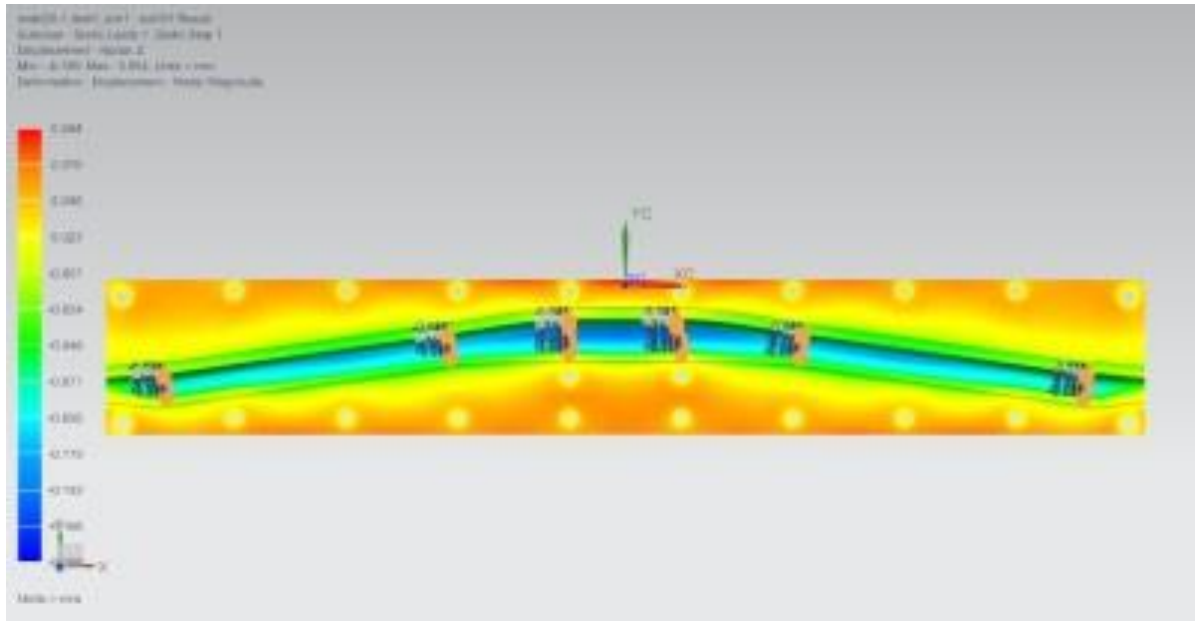
5. Γεωμετρικές αλλαγές λόγο θερμικών διαστολών και τελικός σχεδιασμός

Μελέτη στα 30mm και 25mm πάχος.

Πλησιάζοντας στην ολοκλήρωση της κατασκευής της μήτρας πρέπει να υπολογίσουμε ότι στις τελικές διαμέτρους D1,D2 πρέπει να έχουμε σκεφτεί ότι τουλάχιστον 1μm είναι το πάχος του φιλμ του βερνικιού και ότι το τεμάχιο θα βγει από τη μήτρα όταν ακόμα θα είναι σε διαστολή από το θερμικό φορτίο .

Αλλάξαμε τις διαστάσεις του τεμαχίου στις δύο κύριες διαμέτρους από D1=22,2mm σε 22,18mm και από D2=31,8mm σε 31,783mm.

Αυτές οι τιμές προκύπτουν από τον μέσο όρο των σημείων 1,2,5,6 για το D1 και ο μέσος όρος των 3,4 για τη D2 .



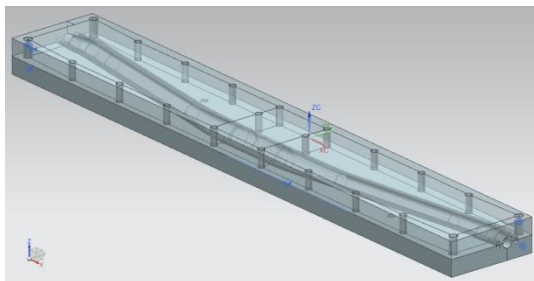
Σημεία 1,2,3,4,5,6 από αριστερά προς δεξιά

Μέσος όρος μετατοπίσεων σε mm								M.O βραχίονα	M.O κέντρο
Θέση/ πάχος μήτρας	1	2	3	4	5	6			
25mm	0,0359793	0,03484	0,0182092	0,0167856	0,03481225	0,028789	0,0208645	0,0174974	
30mm	0,022014	0,02181	0,0118142	0,0113524	0,02178982	0,0178485	0,0243569	0,0115833	

Συμπέρασμα

Με τις νέες διαστάσεις προκύπτει ότι με τη θερμική καταπόνηση δεν μεταβάλλει ιδιαίτερα τη διάμετρο άρα και για το πάχος της μήτρας θα επιλέξουμε τα 25mm.

5.1 Τελικός σχεδιασμός



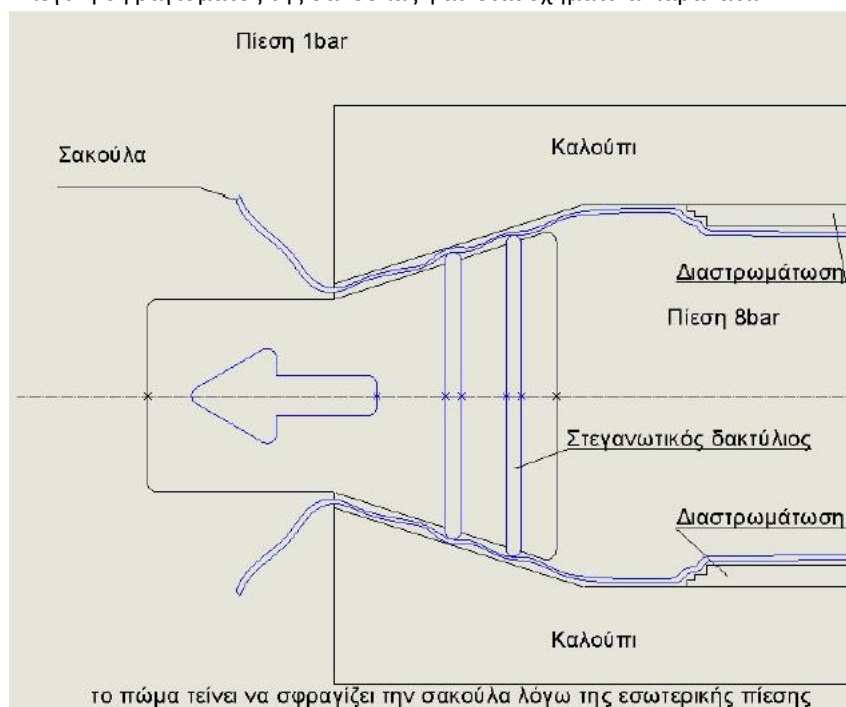
Η τελική μήτρα αποτελείται από 2 μέρη το αρσενικό και το θηλυκό στα οποία θα προσαρμοστούν 2 θέσεις για πύρους κεντραρίσματος και στο αρσενικό 2 τρύπες για βίδες τύπου εξολκέα με τις οποίες θα γίνεται το άνοιγμα του καλουπιού μετά την έξοδο από το φούρνο.

Στις εικόνες αυτές μπορεί να δείτε την κοιλότητα διαστρωμάτωσης, πώς κλείνει το καλούπι και τα επιμέρους στοιχεία του εκτός από τους κοχλίες. Οι μαύροι κύλινδροι είναι οι εξολκέες, οι γκριζοί είναι οι κωνικοί πείροι κεντραρίσματος και οι κώνοι που

φαίνονται είναι τα πώματα.

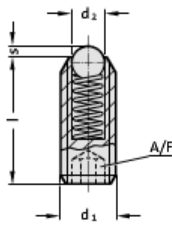
Στο καλούπι υπάρχουν αυλακώσεις για να συγκρατούν την ρητίνη που θα διαρρεύσει από τους αρμούς (επειδή είναι πολύ λεπτόρρευστη) και κάποιες εγκοπές για να ανοίξει το καλούπι με έναν μοχλό, σε περίπτωση που δεν δουλέψουν σωστά οι εξολκείς.

Ο αριστερά κώνος είναι συμπαγής και έχει ένα κυλινδρικό μέρος ως χερούλι ενώ ο δεξιά έχει οπή και σπείρωμα για να βιδωθεί ο σύνδεσμος του κυκλώματος πίεσης. Η λογική σφραγίσματος της σακούλας φαίνεται σχηματικά παρακάτω.



Η στεγάνωση της σακούλας γίνεται από τους στεγανωτικούς δακτυλίους σιλικόνης. Επιλέχθηκαν δακτύλιοι σιλικόνης για να αντέχουν στην θερμοκρασία. Οι εξολκείς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ουσιαστικά κοχλίες με μία σφαίρα στην κεφαλή τους η οποία συμπιέζει ένα ελατήριο (εσωτερικά του κοχλίου) όταν οι εξολκείς χρησιμοποιούνται.

2471.03.



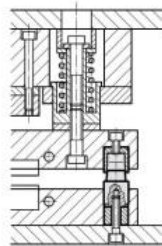
2471.03. Spring plunger, with spring loaded ball, with hexagon socket, standard spring force

Order No	d ₁	d ₂	A/F	l	s	Spring force [N]	
						initial	final
2471.03.003	M3	1.5	1.5	8	0.4	3	4.5
2471.03.004	M4	2.5	2	12	0.8	8.5	14
2471.03.005	M5	3	2.5	14	0.9	8	14
2471.03.006	M6	3.5	3	15	1	11	18
2471.03.008	M8	4.5	4	18	1.5	18	31
2471.03.010	M10	6	5	23	2	24	45
2471.03.012	M12	8	6	26	2.5	26	49
2471.03.016	M16	10	8	33	3.5	41	86
2471.03.020	M20	12	10	43	4.5	56	111
2471.03.024	M24	15	12	48	5.5	81	151

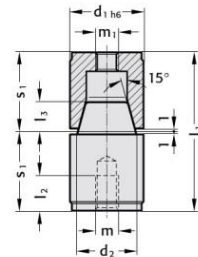
Οι πείροι κεντραρίσματος που επιλέχτηκαν είναι κωνικοί και αυτό θα βοηθούσε στο να κλείσει εύκολα το καλούπι και δεν θα υπήρχε φόβος λόγω θερμικής διαστολής να σφηνώσει το αρσενικό με το θηλυκό μέρος.



Mounting example



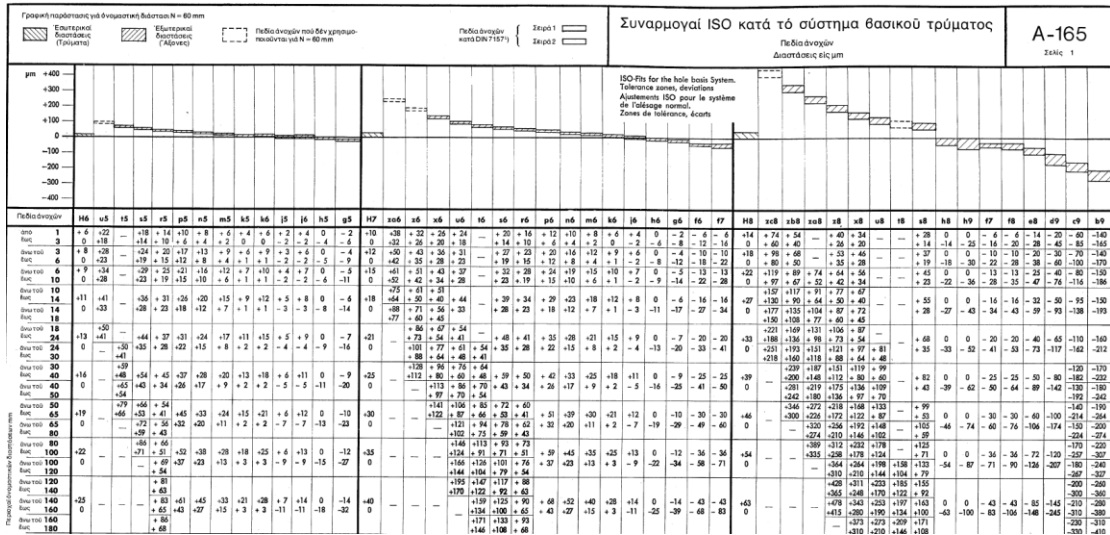
2442.12.



2442.12. Centring unit

Order No	d ₁	d ₂	l ₁	l ₂	l ₃	m	m ₁	s ₁
2442.12.012.034	12	8	34	6	4	4	4	17
2442.12.014.034	14	10	34	7.5	6	5	5	17
2442.12.016.034	16	10	34	7.5	6	5	5	17
2442.12.020.054	20	15	54	12	9	8	8	27
2442.12.025.054	25	20	54	12	10	8	8	27
2442.12.026.054	26	20	54	12	10	8	8	27
2442.12.030.072	30	25	72	15	14	10	10	36
2442.12.032.072	32	25	72	15	14	10	10	36
2442.12.042.092	42	35	92	15	18	10	10	46

Η συναρμογή του πείρου είναι τύπου h6 οπότε σχεδιάστηκαν ανάλογα και οι τρύπες στις οποίες θα προσαρμοστούν. Ακολουθήσαμε τα δεδομένα από το παρακάτω πίνακα συναρμογών για σφιχτή συναρμογή.



14. Επίλογος

Το δύσκολο ήταν ότι δεν υπήρχε καμιά μέθοδος για να γνωρίζουμε ούτε πως βελτιστοποιείται μια γεωμετρία ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα. Αναπτύχθηκε μέθοδος που αποτυπώνει διάγραμμα τάσεων πάνω σε κρίσιμο σημείο της γεωμετρίας με την οποία μπορούσαμε να φτιάξουμε συγκριτικά διαγράμματα και να έχουμε σα κριτήριο την βελτίωση της κατανομής των τάσεων και την μείωση των ακρότατων.

Για να μπορέσει να γίνει το simulation γρήγορα και αποδοτικά , για να έχουμε μικρά αρχεία δεδομένων, έγινε local meshing μικρότερων στοιχείων στα κρίσιμα σημεία της κατασκευής .Τα αποτελέσματα δεν δείχνουν την πλήρη διάδοση των τάσεων στα γραφήματα όπου εκτιμούμε ότι είναι ομαλή χωρίς συγκεντρώσεις και στα κρίσιμα σημεία δηλαδή όπου υπάρχουν λεπτομέρειες , μικρές διατομές και αλλαγή της γεωμετρίας έχουμε μεγαλύτερη ανάλυση.

Η κατασκευή των πατρών εμπεριέχει το στοιχείο της πείρας. Δεν υπάρχει ακριβή επιστημονική μεθοδολογία και αναπτύχθηκε μια τεχνική για τον τρόπο με τον οποίον θα χωρίζονταν οι στρώσεις . Παρά το ότι το τιμόνι στην ουσία είναι ένα κύλινδρος που αλλάζει πάχος , δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε υλικό σαν «κάλτσα» αλλά κομμένα υφάσματα. Η τεχνική που αναπτύχθηκε αποσκοπεί στα πατρών να υπάρχει μια ομαλή μετάβαση και ομοιομορφία στη τοποθέτησή τους.

Οι κατασκευές από ορθοτροπικά υλικά σε αντίθεση με τα ιστροπικά παρουσιάζουν αλλαγές στα όρια θλίψης , εφελκυσμού και στο κύκλο ζωής των υλικών τους ανάλογα με τη γεωμετρία και το πάχος της κατασκευής. Κάθε κατασκευή έχει διαφορετικές τιμές. Για τα τεστ για τον προσδιορισμό του υλικού βρέθηκε από την διεθνή βιβλιογραφία ότι υπάρχει χαρακτηριστικής μορφή καμπύλη , και σύμφωνα με τα όρια από τα data sheet των υλικών και με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας κατασκευάστηκαν καμπύλες κύκλου ζωής σε θλίψη και εφελκυσμό για κάθε υλικό ξεχωριστά.

Τελικός παράγοντας στον σχεδιασμό του τιμονιού είναι η ανάγκες του χρήστη. Συνοψίστηκαν σε τρεις , α) βάρος , β) στιβαρότητα και γ) τιμή. Αυτοί οι παράγοντες καθόρισαν την επιλογή των υλικών δίνοντας τρεις επιλογές στο χρήστη ανάλογα τις ανάγκες του.

15. Παράρτημα 1

ΥΛΙΚΟ

Aluminum 7075-T651

Material properties:

Locally defined material

Material Type: Isotropic

Label: 1

Alternate Name :
Category :
Sub-Category :
Mass Density (RHO) : 0.102 lbm/in³

===== Mechanical

Young's Modulus (E) : 71705 N/mm²(MPa)
: Major Poisson's Ratio
Poisson's Ratio (NU) : 0.33
Shear Modulus (G) : 26900 N/mm²(MPa)
Structural Damping Coefficient (GE) : Not defined
Stress-Strain (H) : 159 N/mm²(MPa)
Type of Nonlinearity (TYPE) : PLASTIC
Yield Function Criterion (YF) : von Mises
Hardening Rule (HR) : Isotropic
Initial Yield Point (LIMIT1) : Not defined
Initial Friction Angle (LIMIT2) : Not defined

===== Strength

Yield Strength : 503 N/mm²(MPa)
Ultimate Tensile Strength : 572 N/mm²(MPa)
Tsai-Wu Interaction Coefficient (F12): Not defined
Tension (ST) : Not defined
Compression (SC) : Not defined
Shear (SS) : Not defined
Tension (XT) : Not defined
Compression (XC) : Not defined
Shear (XS) : Not defined

===== Durability

Stress-Life Data : Expression
Fatigue Strength Coefficient : Not defined
Fatigue Strength Exponent : Not defined
Strain-Life Data : Expression
Fatigue Ductility Coefficient : Not defined
Fatigue Ductility Exponent : Not defined
Cyclic Yield Strength : Not defined
Cyclic Strength Coefficient : Not defined
Cyclic Strain Hardening Exponent : Not defined
Fatigue Limit Strength in Bending : Not defined
Fatigue Limit Strength in Torsion : Not defined
Percent Reduction in Area : 0

===== Formability

Work Hardening : Not defined

Forming Limit : Not defined
Plastic Strain Ratio : Not defined
Initial Strain : Not defined
Hardening Exponent : Not defined
Strength Coefficient : Not defined
R0 : Not defined
R45 : Not defined
R90 : Not defined
Bend Radii - SI Material Stock : No Field
Bend Radii - English Material Stock : No Field

===== Thermal/Electrical

Temperature (TREF) : Not defined
Thermal Expansion Coefficient (A) : 2.46e-005 1/C
Thermal Conductivity (K) : 130 W/m-C
Specific Heat (CP) : 960 J/kg-K
Latent Heat (L) : Not defined
Phase Change Temperature : Not defined
Phase Change Temperature Range : Not defined
Specific Heat Above Phase Change : Not defined
Resistivity : Not defined
Scattering : Not defined
Extinction : Not defined
Scattering : Not defined
Extinction : Not defined

===== Creep

: None

===== Viscoelasticity

Domain : None

===== Visual

Crosshatch Pattern :

===== Miscellaneous

Fixed Stock Thickness : false
Default Thickness : Not defined
Adhesive :
Adult HIC1000 Offset : 95 mm
Adult HIC1700 Offset : 74 mm
Child HIC1000 Offset : 85 mm
Child HIC1700 Offset : 68 mm
Leg Impact Offset : 50 mm
NCAP Adult 650 Offset : 115 mm
NCAP Child 650 Offset : 105 mm
NCAP Adult 1000 Offset : 94 mm
NCAP Child 1000 Offset : 90 mm
NCAP Adult 1350 Offset : 74 mm
NCAP Child 1350 Offset : 70 mm
NCAP Adult 1700 Offset : 65 mm
NCAP Child 1700 Offset : 60 mm

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Material : T300 wooven

Material properties:

Locally defined material

Material Type: Orthotropic

Label: 6

Alternate Name :
Category :
Sub-Category :
Mass Density (RHO) : 1.76 kg/mm³

===== Mechanical

Shear Modulus (G13) : 4000000
 mN/mm²(kPa)
 Shear Modulus (G23) : 4000000
 mN/mm²(kPa)
 Structural Damping Coefficient (GE) : Not defined
 Stress-Strain Input Data Type : Engineering Stress-Strain
 Stress-Strain (H) : Not defined
 Type of Nonlinearity (TYPE) : PLASTIC
 Yield Function Criterion (YF) : von Mises
 Hardening Rule (HR) : Isotropic
 Initial Yield Point (LIMIT1) : Not defined
 Initial Friction Angle (LIMIT2) : Not defined

=====
 Strength
 Yield Strength : Not defined
 Yield Strength - 2 : Not defined
 Yield Strength - 12 : Not defined
 Ultimate Tensile Strength : Not defined
 Ultimate Tensile Strength 2 : Not defined
 Ultimate Tensile Strength 12 : Not defined
 Tsai-Wu Interaction Coefficient (F12): 1.2345e-009

mm⁴/N²
 Max Stress Tension (ST) : 1600000
 mN/mm²(kPa)
 Tension (ST2) : 24000 mN/mm²(kPa)
 Tension (ST3) : 24000 mN/mm²(kPa)
 Max Stress Compression (SC) : 1360000
 mN/mm²(kPa)
 Compression (SC2) : 280000 mN/mm²(kPa)
 Compression (SC3) : 280000 mN/mm²(kPa)
 Max Stress Shear (SS) : 50000 mN/mm²(kPa)
 Shear (S13) : 50000 mN/mm²(kPa)
 Shear (S23) : 50000 mN/mm²(kPa)
 Max Strain Tension (XT) : 310000 mm/mm
 Tension (XT2) : 320000 mm/mm
 Tension (XT3) : 330000 mm/mm
 Max Strain Compression (XC) : 410000 mm/mm
 Compression (XC2) : 420000 mm/mm
 Compression (XC3) : 430000 mm/mm
 Max Strain Shear (XS) : 101000000 mm/mm
 Shear (X13) : Not defined
 Shear (X23) : Not defined

=====
 Durability
 Stress-Life Data : Expression
 Fatigue Strength Coefficient : Not defined
 Fatigue Strength Coefficient 2 : Not defined
 Fatigue Strength Coefficient 12 : Not defined
 Fatigue Strength Exponent : Not defined
 Fatigue Strength Exponent 2 : Not defined
 Fatigue Strength Exponent 12 : Not defined
 Strain-Life Data : Expression
 Fatigue Ductility Coefficient : Not defined
 Fatigue Ductility Coefficient - 2 : Not defined
 Fatigue Ductility Coefficient - 12 : Not defined
 Fatigue Ductility Exponent : Not defined
 Fatigue Ductility Exponent - 2 : Not defined
 Fatigue Ductility Exponent - 12 : Not defined
 Cyclic Yield Strength : Not defined
 Cyclic Strength Coefficient : Not defined
 Cyclic Strain Hardening Exponent : Not defined
 Fatigue Limit Strength in Bending : Not defined
 Fatigue Limit Strength in Torsion : Not defined
 Percent Reduction in Area : 0

=====
 Thermal/Electrical
 Temperature (TREF) : 21 C
 Specific Heat (CP) : 4.1 microJ/kg-K
 Thermal Expansion Coefficient (A) : 0.11 1/C
 Thermal Expansion (A2) : 0.12 1/C
 Thermal Expansion (A3) : 0.13 1/C
 Thermal Conductivity (K) : 2.1 microW/mm-C
 Thermal Conductivity (K2) : 2.2 microW/mm-C
 Thermal Conductivity (K3) : 2.3 microW/mm-C
 Latent Heat (L) : 0.42 microJ/kg
 Phase Change Temperature : 37 C
 Phase Change Temperature Range : 6 deltaC
 Specific Heat Above Phase Change : 3 microJ/kg-K
 Resistivity : 25.4 ohm-mm
 Scattering : 0.1 1/mm
 Extinction : 0.2 1/mm
 Scattering : 0.3 1/mm
 Extinction : 0.4 1/mm

=====
 Creep : None

=====
 Viscoelasticity
 Domain : None

=====
 Visual
 Crosshatch Pattern :

=====
 Damage : None

Material : M46J woven

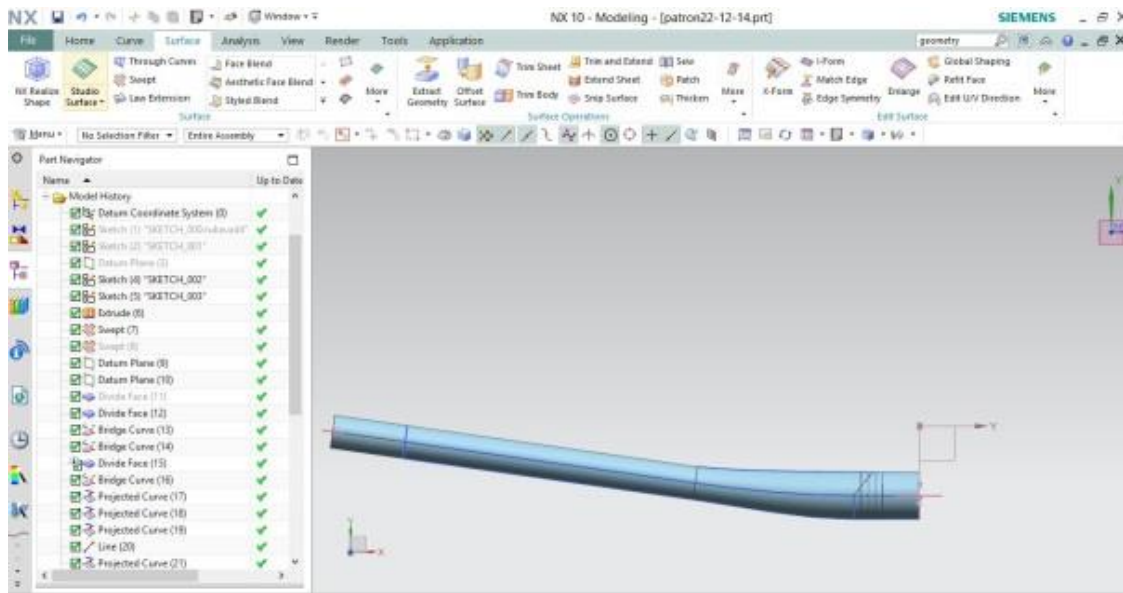
Material properties:
 Locally defined material
 Material Type: Orthotropic
 Label: 1
 Alternate Name :
 Category :
 Sub-Category :
 Mass Density (RHO) : 1.75 kg/mm³

=====
 Mechanical
 Young's Modulus (E) : 377000000
 mN/mm²(kPa)
 Young's Modulus (E2) : 2000000
 mN/mm²(kPa)
 Young's Modulus (E3) : 2000000
 mN/mm²(kPa)
 : Major Poisson's Ratio
 Poisson's Ratio (NU) : 0.162
 Poisson's Ratio (NU23) : 0.162
 Poisson's Ratio (NU13) : 0.162
 Shear Modulus (G) : 4000000 mN/mm²(kPa)
 Shear Modulus (G13) : 4000000
 mN/mm²(kPa)
 Shear Modulus (G23) : 4000000
 mN/mm²(kPa)
 Structural Damping Coefficient (GE) : Not defined
 Stress-Strain Input Data Type : Engineering Stress-Strain
 Stress-Strain (H) : Not defined
 Type of Nonlinearity (TYPE) : PLASTIC

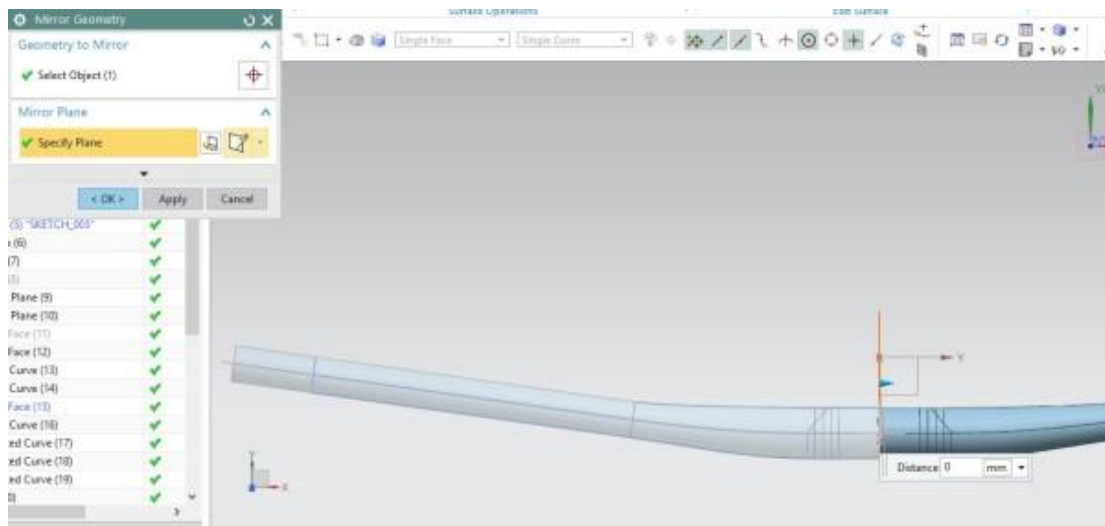
Yield Function Criterion (YF) : von Mises	Fatigue Ductility Coefficient - 12 : Not defined
Hardening Rule (HR) : Isotropic	Fatigue Ductility Exponent : Not defined
Initial Yield Point (LIMIT1) : Not defined	Fatigue Ductility Exponent - 2 : Not defined
Initial Friction Angle (LIMIT2) : Not defined	Fatigue Ductility Exponent - 12 : Not defined
	Cyclic Yield Strength : Not defined
===== Strength	Cyclic Strength Coefficient : Not defined
Yield Strength : Not defined	Cyclic Strain Hardening Exponent : Not defined
Yield Strength - 2 : Not defined	Fatigue Limit Strength in Bending : Not defined
Yield Strength - 12 : Not defined	Fatigue Limit Strength in Torsion : Not defined
Ultimate Tensile Strength : Not defined	Percent Reduction in Area : 0
Ultimate Tensile Strength 2 : Not defined	
Ultimate Tensile Strength 12 : Not defined	===== Thermal/Electrical
Tsai-Wu Interaction Coefficient (F12): 1.2345e-009	Temperature (TREF) : 21 C
mm^4/N^2	Specific Heat (CP) : 4.1 microJ/kg-K
Max Stress Tension (ST) : 1676000	Thermal Expansion Coefficient (A) : 0.11 1/C
mN/mm^2(kPa)	Thermal Expansion (A2) : 0.11 1/C
Tension (ST2) : 27000 mN/mm^2(kPa)	Thermal Expansion (A3) : 0.11 1/C
Tension (ST3) : 27000 mN/mm^2(kPa)	Thermal Conductivity (K) : 2.1 microW/mm-C
Max Stress Compression (SC) : 1424000	Thermal Conductivity (K2) : 2.2 microW/mm-C
mN/mm^2(kPa)	Thermal Conductivity (K3) : 2.3 microW/mm-C
Compression (SC2) : 295000 mN/mm^2(kPa)	Latent Heat (L) : 0.42 microJ/kg
Compression (SC3) : 295000 mN/mm^2(kPa)	Phase Change Temperature : 37 C
Max Stress Shear (SS) : 8000 mN/mm^2(kPa)	Phase Change Temperature Range : 6 deltaC
Shear (S13) : 8000 mN/mm^2(kPa)	Specific Heat Above Phase Change : 3 microJ/kg-K
Shear (S23) : 8000 mN/mm^2(kPa)	Resistivity : 25.4 ohm-mm
Max Strain Tension (XT) : 310000 mm/mm	Scattering : 0.1 1/mm
Tension (XT2) : 320000 mm/mm	Extinction : 0.2 1/mm
Tension (XT3) : 320000 mm/mm	Scattering : 0.3 1/mm
Max Strain Compression (XC) : 410000 mm/mm	Extinction : 0.4 1/mm
Compression (XC2) : 420000 mm/mm	
Compression (XC3) : 420000 mm/mm	===== Creep
Max Strain Shear (XS) : 101000000 mm/mm	: None
Shear (X13) : Not defined	
Shear (X23) : Not defined	===== Viscoelasticity
	Domain : None
===== Durability	
Stress-Life Data : Expression	===== Visual
Fatigue Strength Coefficient : Not defined	Crosshatch Pattern :
Fatigue Strength Coefficient 2 : Not defined	
Fatigue Strength Coefficient 12 : Not defined	===== Damage
Fatigue Strength Exponent : Not defined	: None
Fatigue Strength Exponent 2 : Not defined	
Fatigue Strength Exponent 12 : Not defined	
Strain-Life Data : Expression	
Fatigue Ductility Coefficient : Not defined	
Fatigue Ductility Coefficient - 2 : Not defined	

Βήματα για zone based meshing, assembly meshing

1.Εχω σχεδιάσει το αρχικό μοντέλο



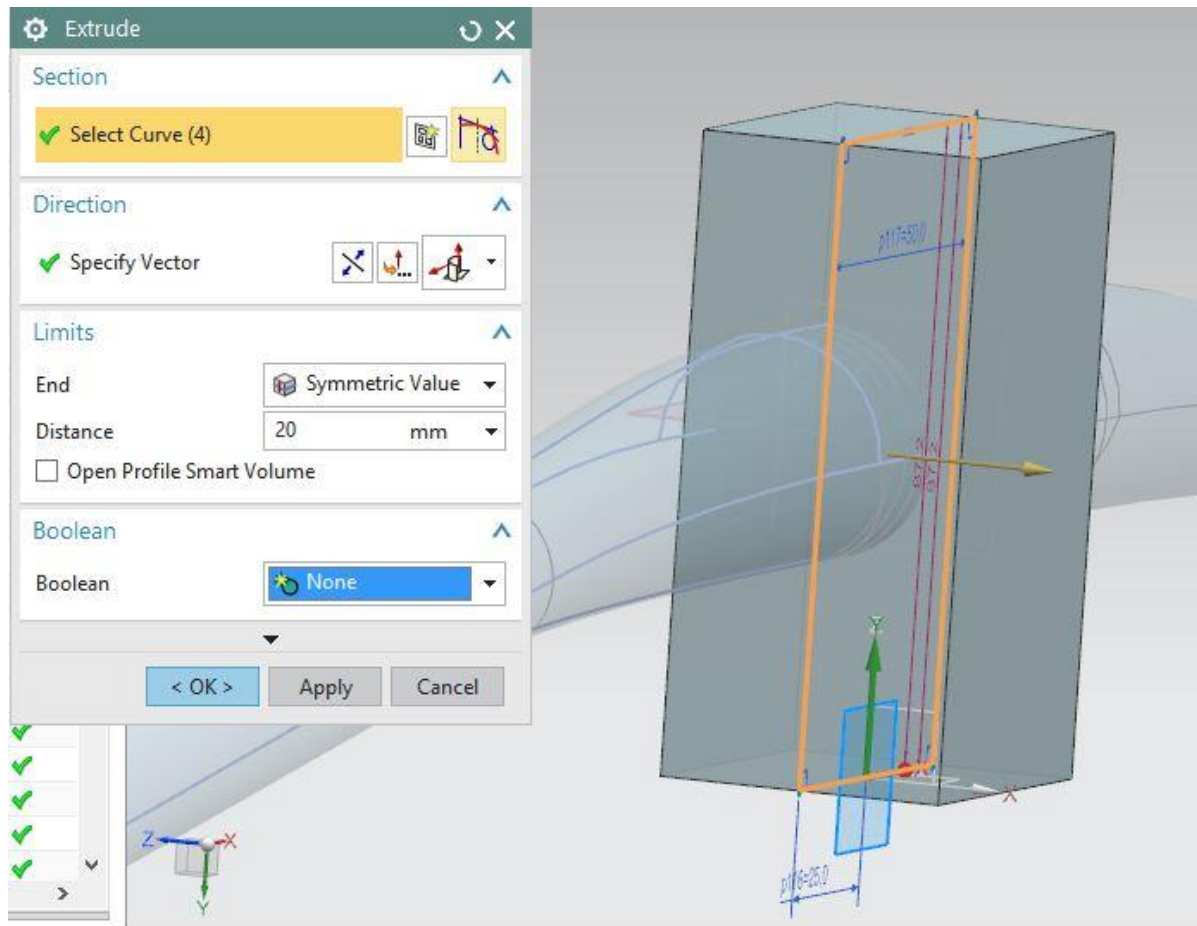
2. Είναι συμμετρικό και επιλέγω mirror geometry και για να ενώσω τις 2 επιφάνειες επιλέγω sew.



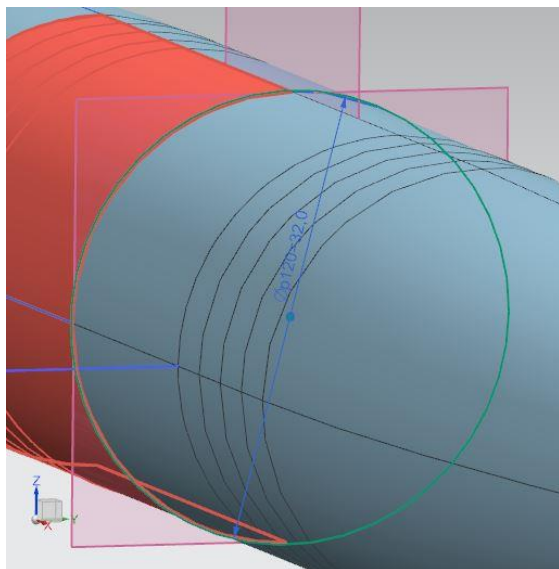
3. Κατασκευάζω μια τυπική βάση στην οποία θα είναι χωνευτό το τεμάχιο .

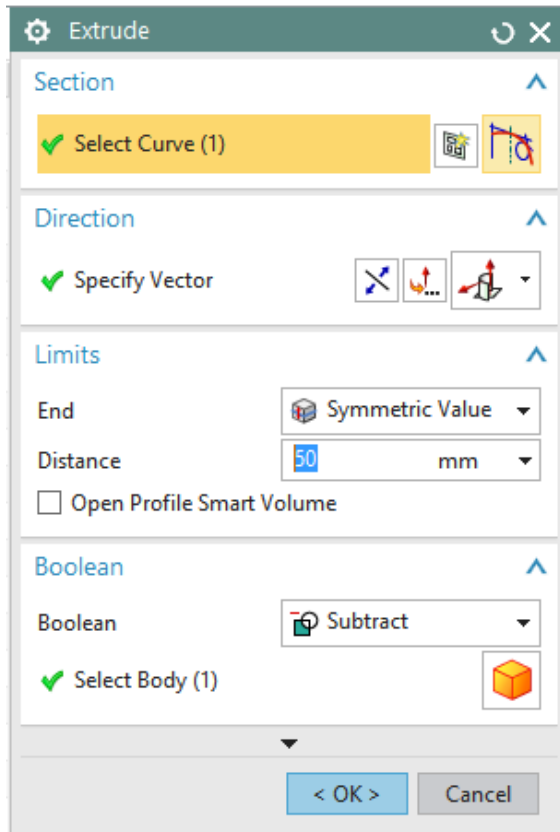
a) Sketch

b) Extrude.



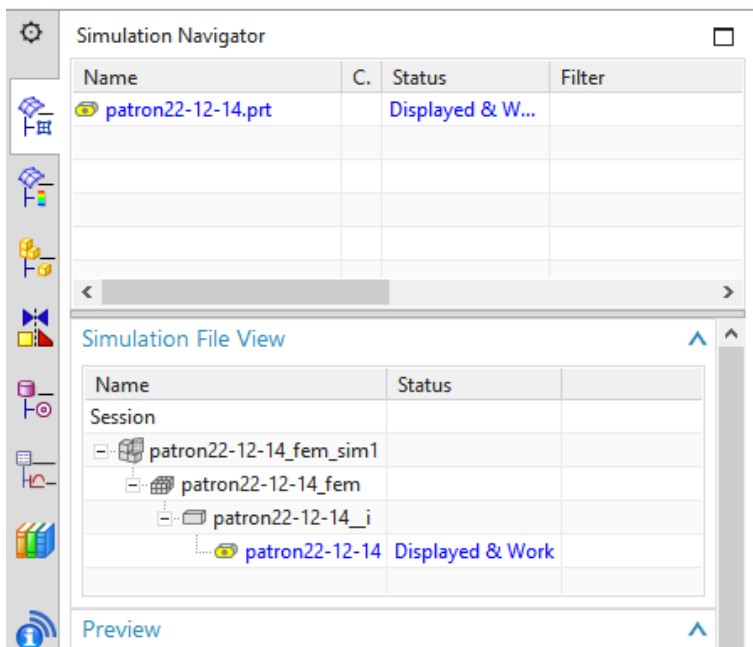
C) Σχεδιάζω τρύπα βασιζόμενος στο υπάρχον σχέδιο του τεμαχίου. Την οποία πάλι με extrude και επιλέγοντας Boolean/subtract.



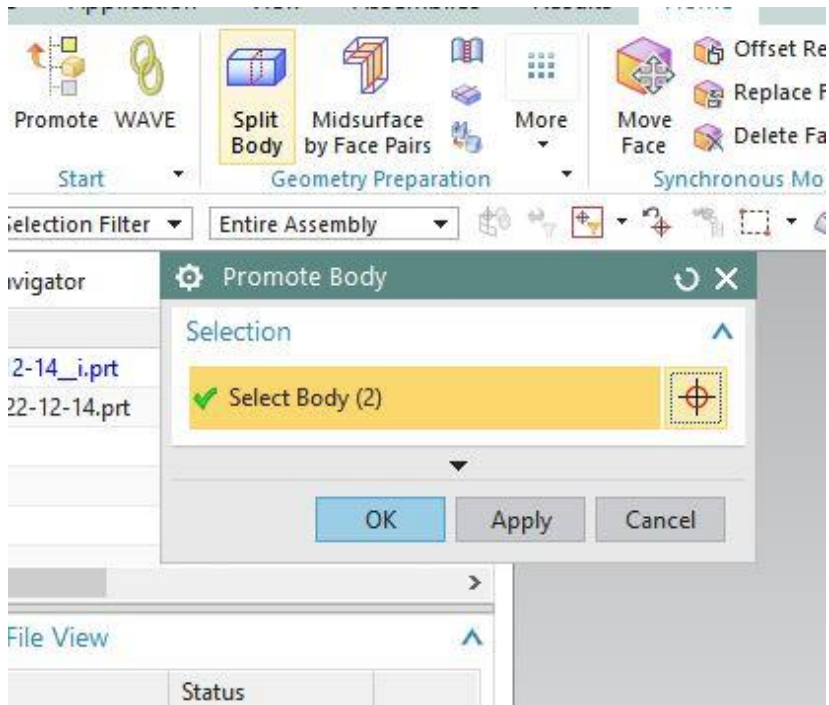


4. Φεύγω από το modeling πηγαίνοντας file/start/advanced simulation

5. Επιλέγω από το tab-home/New FEM and simulation και δημιουργεί 3 αρχεία, στα οποία πηγαίνω με δεξί κλικ “make work part”

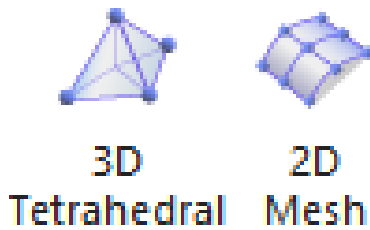


6. Στο _i.prt επιλέγω promote body

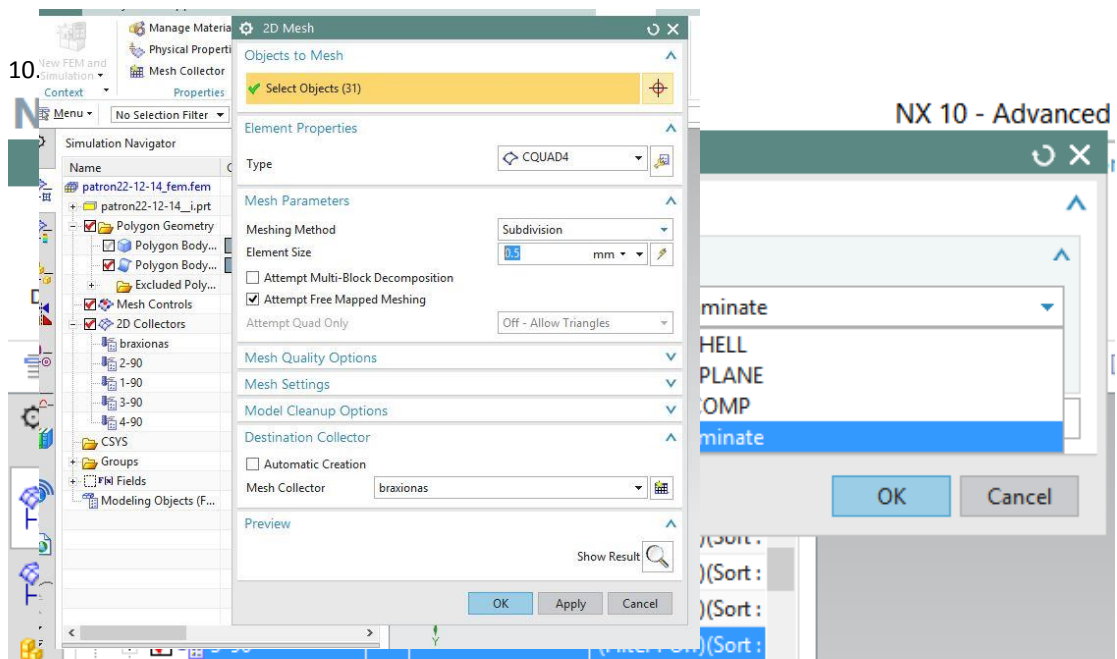


7. Πηγαίνω στο .fem

8. Αν έχω solid part επιλέγω 3D για επιφάνειες 2D

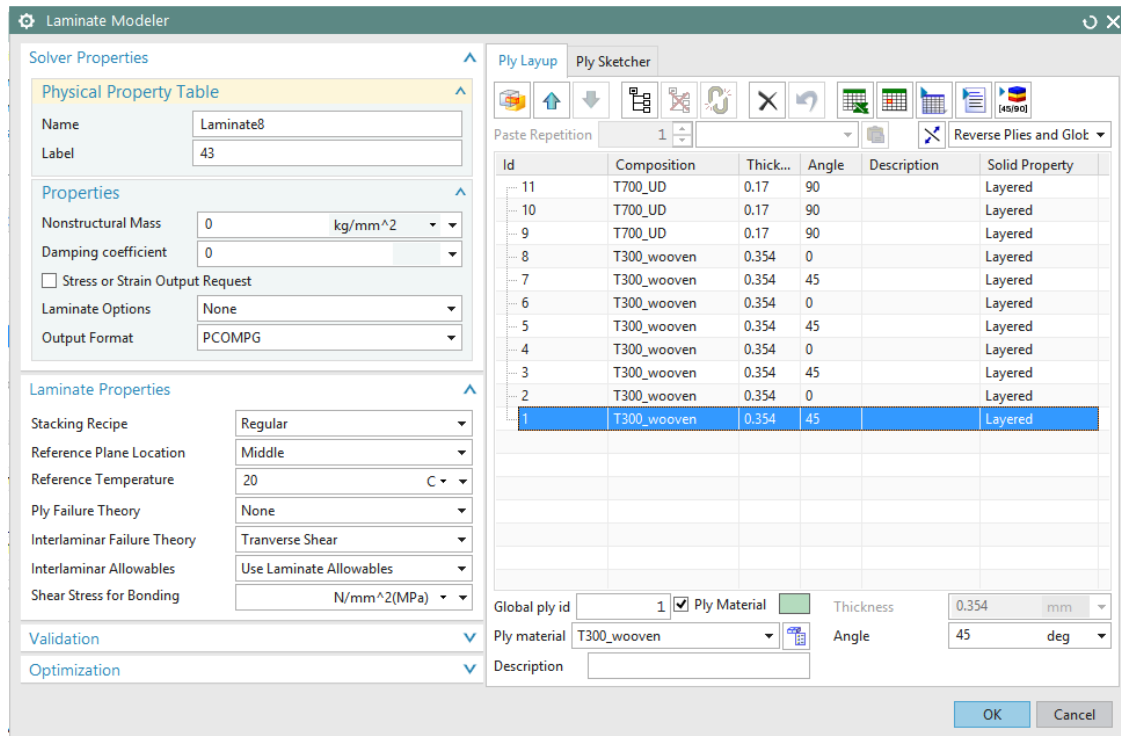


9. Επιλέγω element type και element size και mesh collector

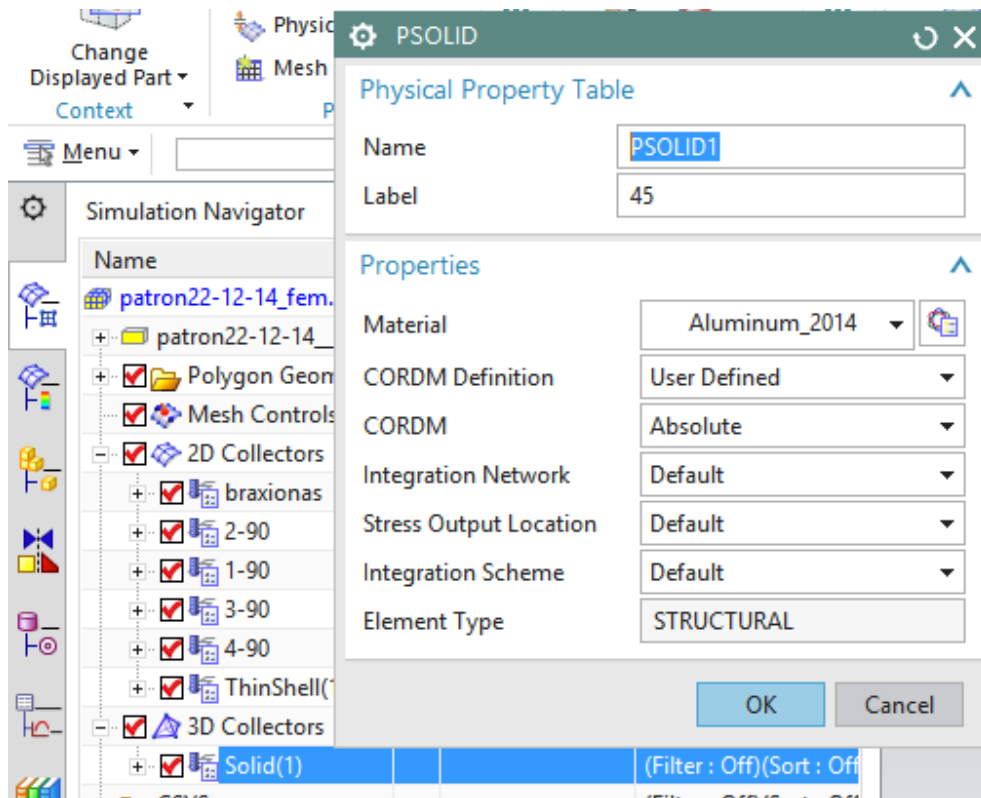


και edit. Επιλέγω PSHELL για solid.

a) Αν έχω laminate εμφανίζεται το μενού και επιλέγω το υλικό και τη συνταγή.



b) Αν έχω solid από το 3D collector/ solid1 /edit επιλέγω υλικό

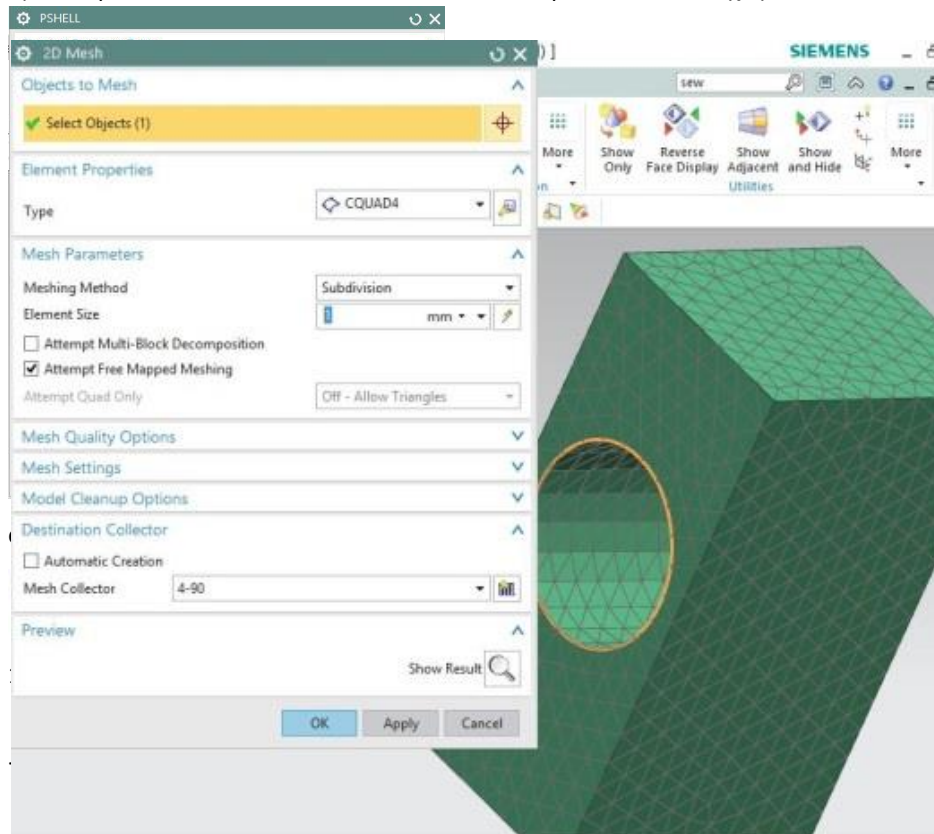


c) όταν

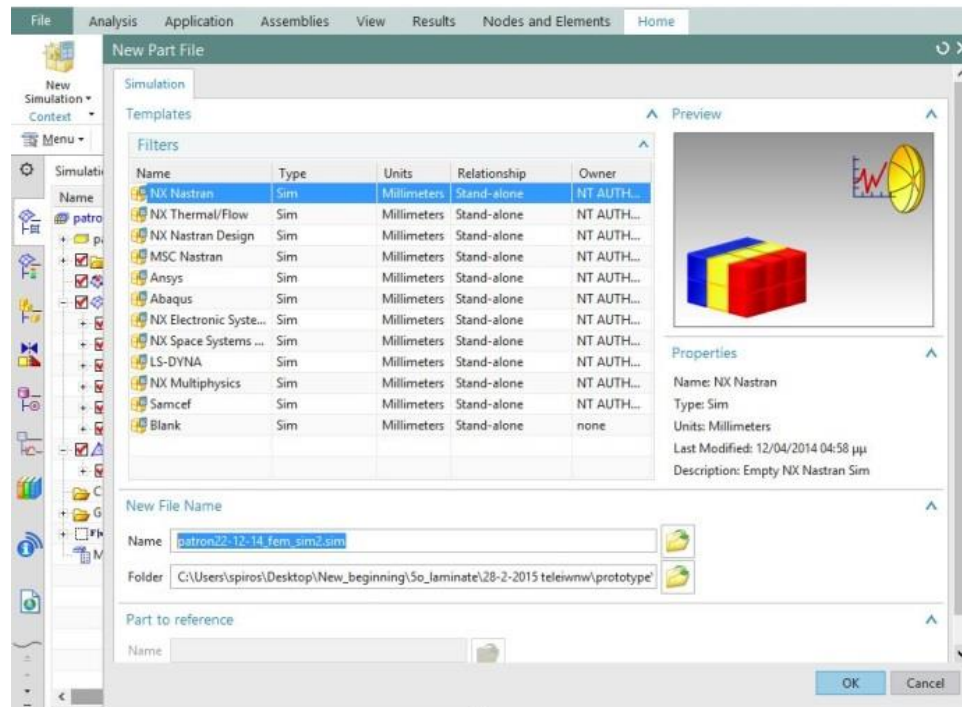
Έχω assembly και κυρίως συναρμογές αλλάζω το τοπικό meshing για καλύτερη ακρίβεια, αφού πρώτα το έχω κάνει mesh με 3D.

Επιλέγω 2D

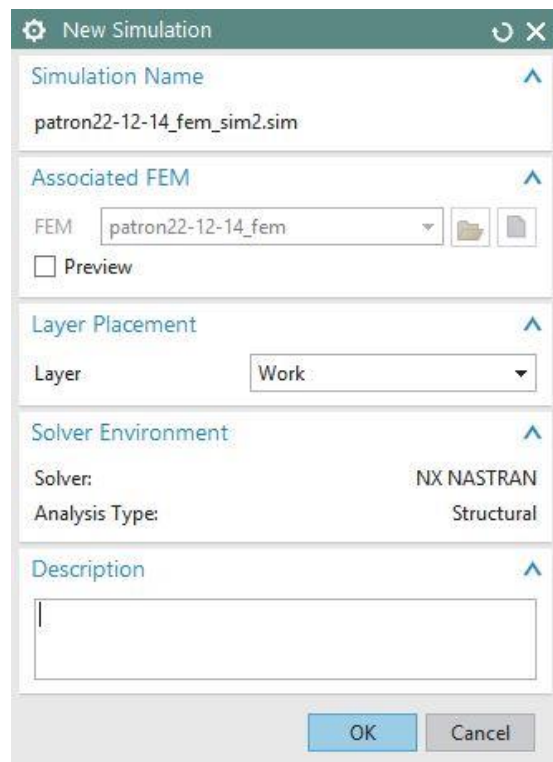
d) Επιλέγω Destination collector στον οποίο επιλέγω υλικό και πάχος.



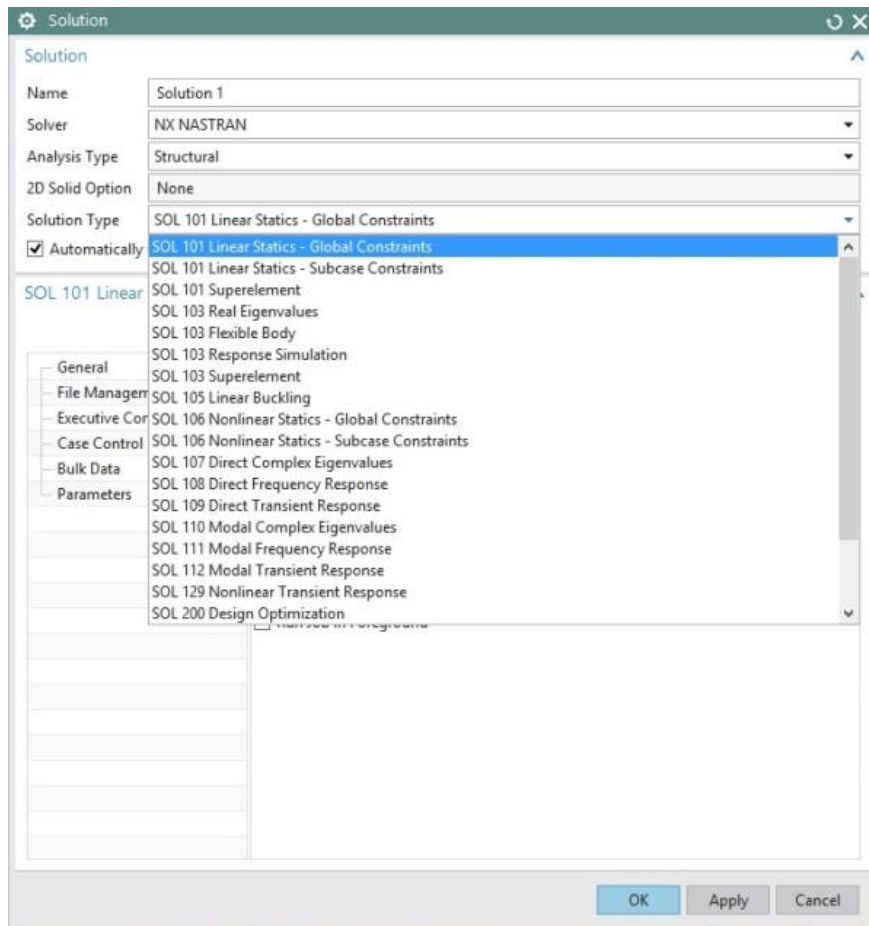
1) Επιλέγουμε new solution και διαλέγουμε τύπο solver , επιλέγουμε NX Nastran.



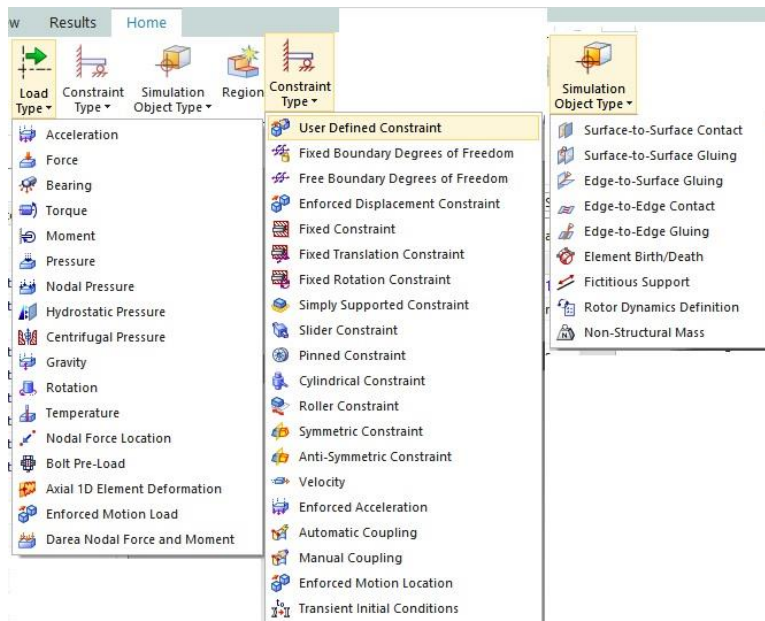
2) Επιλέγουμε OK.



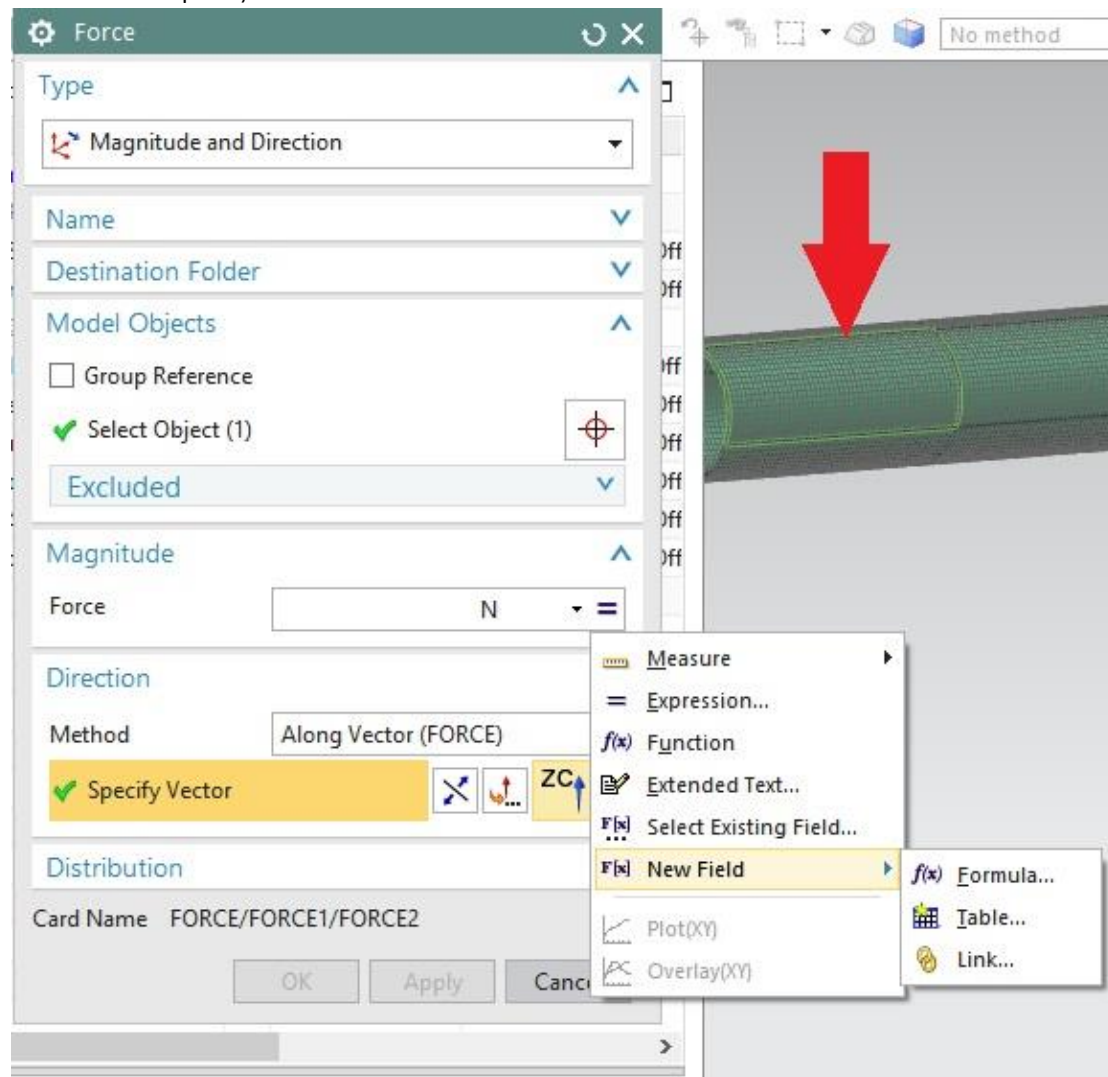
3. Επιλέγουμε solution type



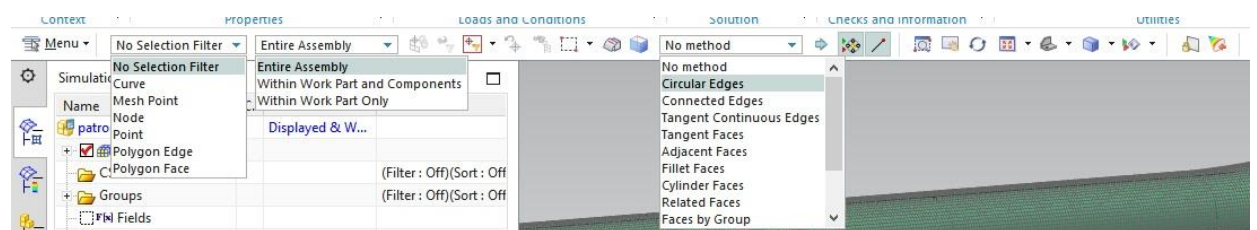
4. Ανάλογα με το πρόβλημα που έχουμε υπάρχουν τρεις κατηγορίες εργαλείων
 a. Load type b. Constraint type c. simulation object type αν έχουμε assembly



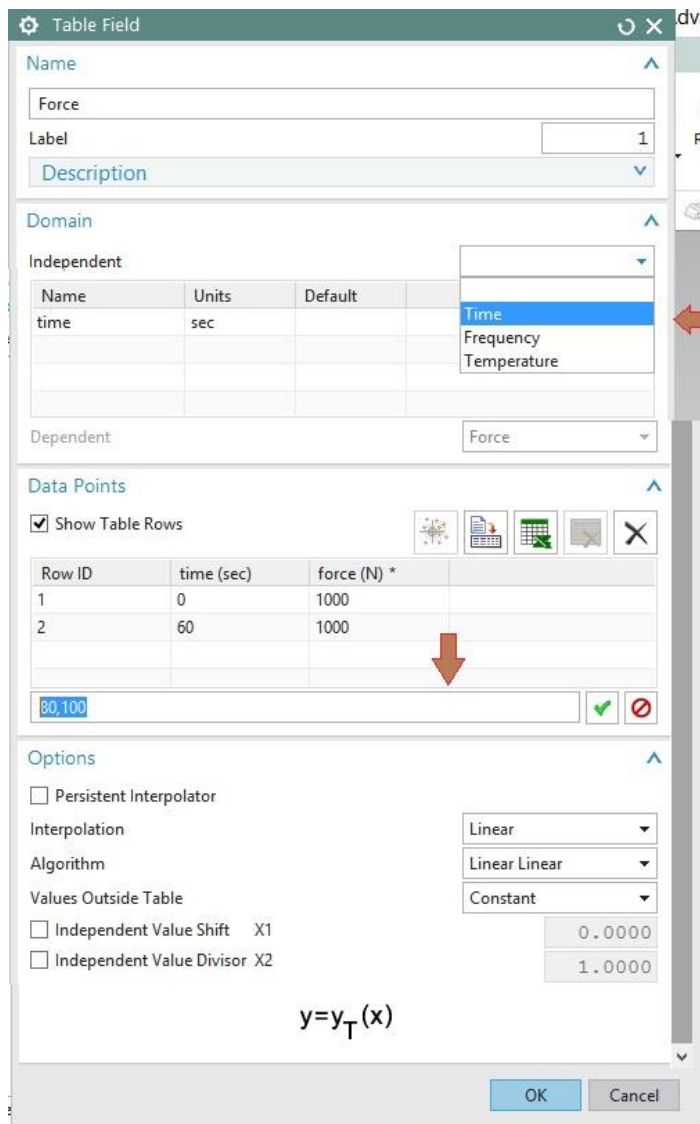
5. Π.Χ. Επιλογή αξονικής δύναμης. Στην οποία έχω επιλέξει να εφαρμοστεί στην περιοχή που υποδεικνύει το βέλος.



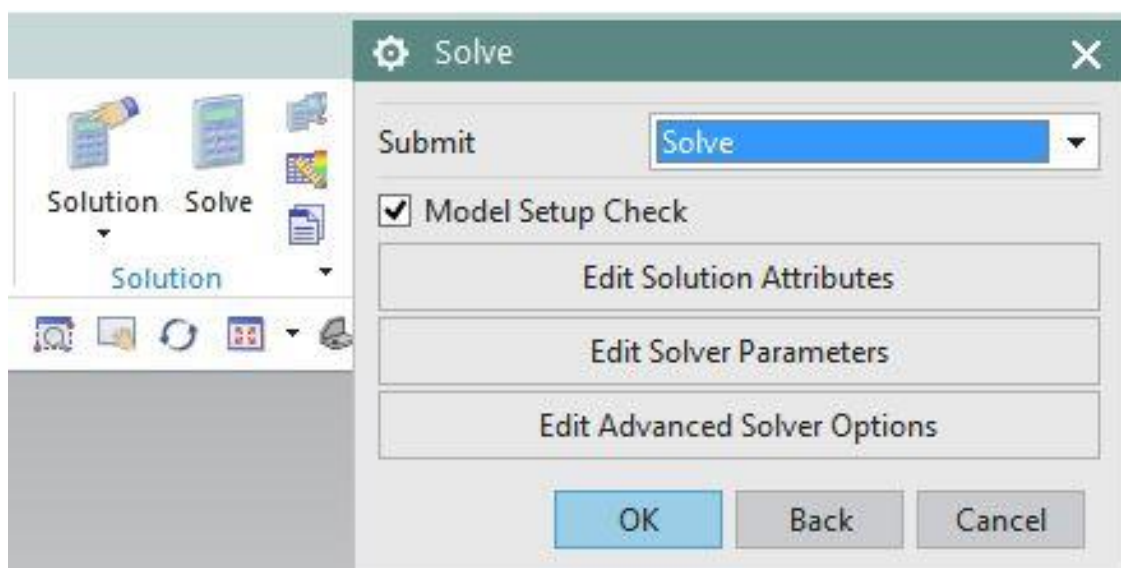
6. Υπάρχει δυνατότητα να επιλέξω το σημείο εφαρμογής της δύναμης



7. Αν η δύναμη μου είναι από μορφή πίνακα. Εισάγω table όπου η δύναμη εξαρτάται από το χρόνο, τη συχνότητα ή τη θερμοκρασία.



8. Τέλος αφού τα ολοκληρώσω όλα αυτά πατάω solve και OK.



Διαδικασία fatigue analysis

Το πρόγραμμα NX μας προσφέρει την δυνατότητα από τη στιγμή που έχουμε δεδομένα που συσχετίζουν τις καταπονήσεις με τους κύκλους ζωής του τεμαχίου μας να πραγματοποιήσουμε Durability analysis.

Βήματα :

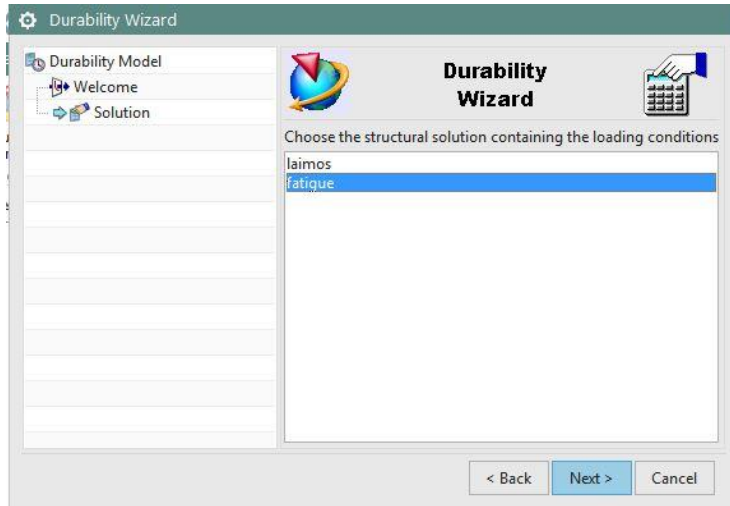
1. Πηγαίνουμε μέσω του navigator στο simulation wizard, αφού πάντα έχουμε πραγματοποιήσει static test, κυρίως υποστηρίζει το Nastran, sol101 .



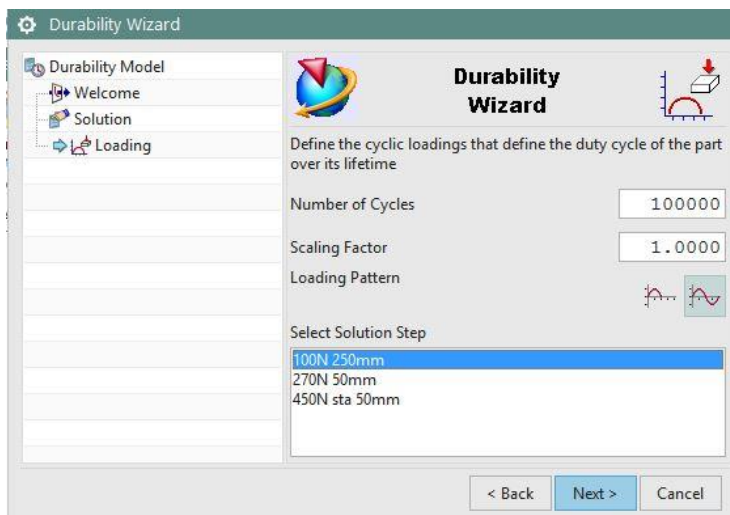
2. Δίνουμε ονομασία και πατάμε next



3. Επιλέγουμε από ποια ανάλυση θα πάρουμε δεδομένα.



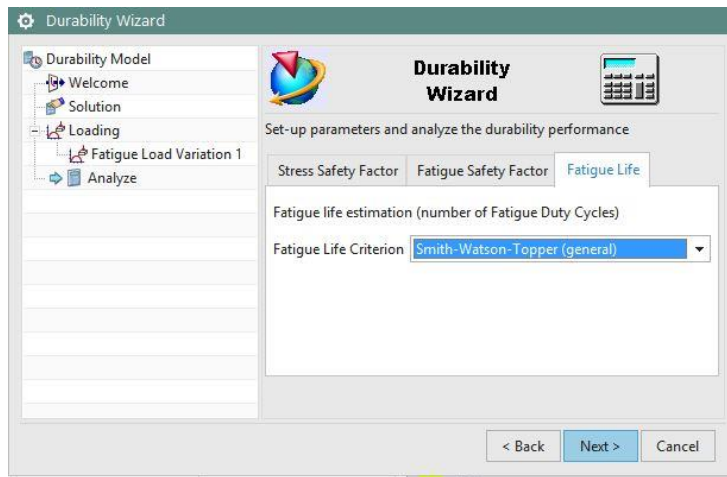
4. Αν έχουμε subcase αν έχουμε βάλει μέσα στο solution, ορίζουμε τους κύκλους του περάματος και το loading pattern δηλαδή το μοτίβο της δύναμεις , θέλουμε να είναι ομόρροπες ή να είναι αντίρροπες . Επιλέγουμε next



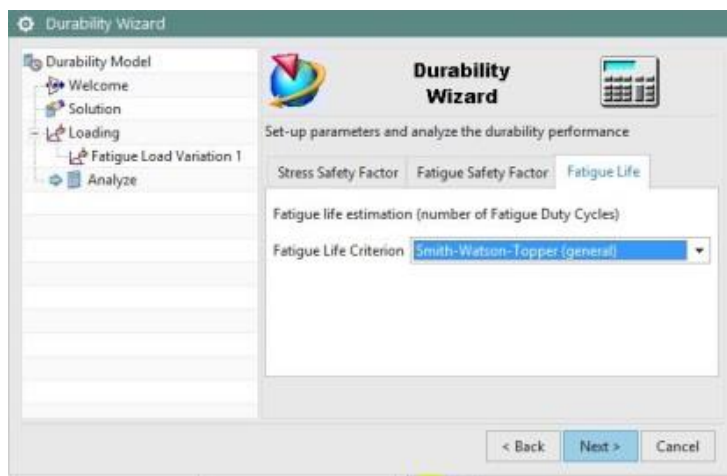
5.

α. Συνεχίζουμε και ορίζουμε ιδιότητες στην ανάλυση.



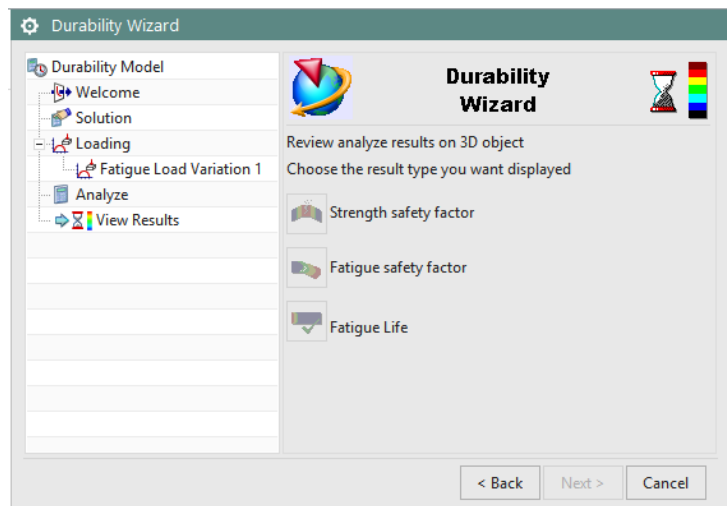


γ.



Πατάμε next

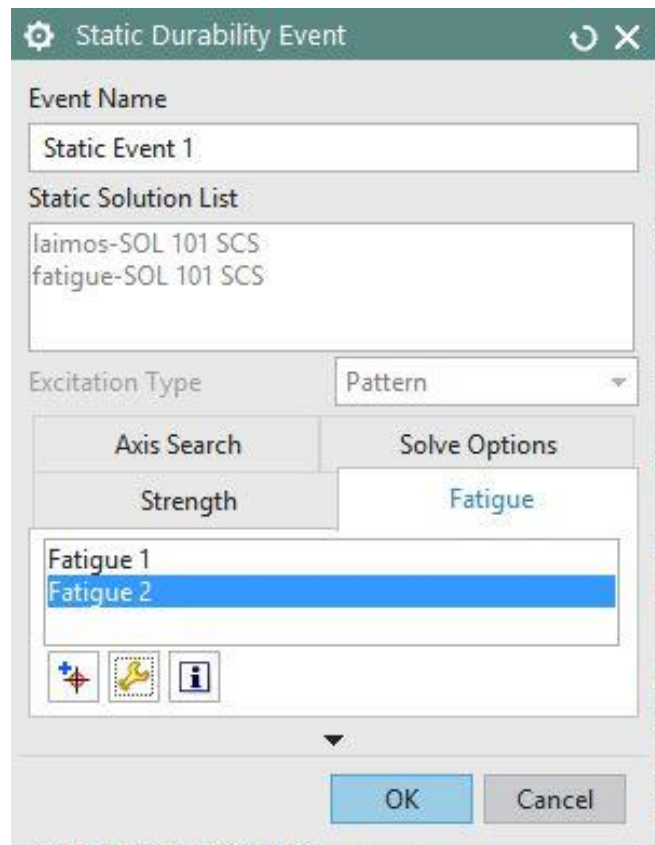
6. Πραγματοποιείτε η ανάλυση και μας βγάζει



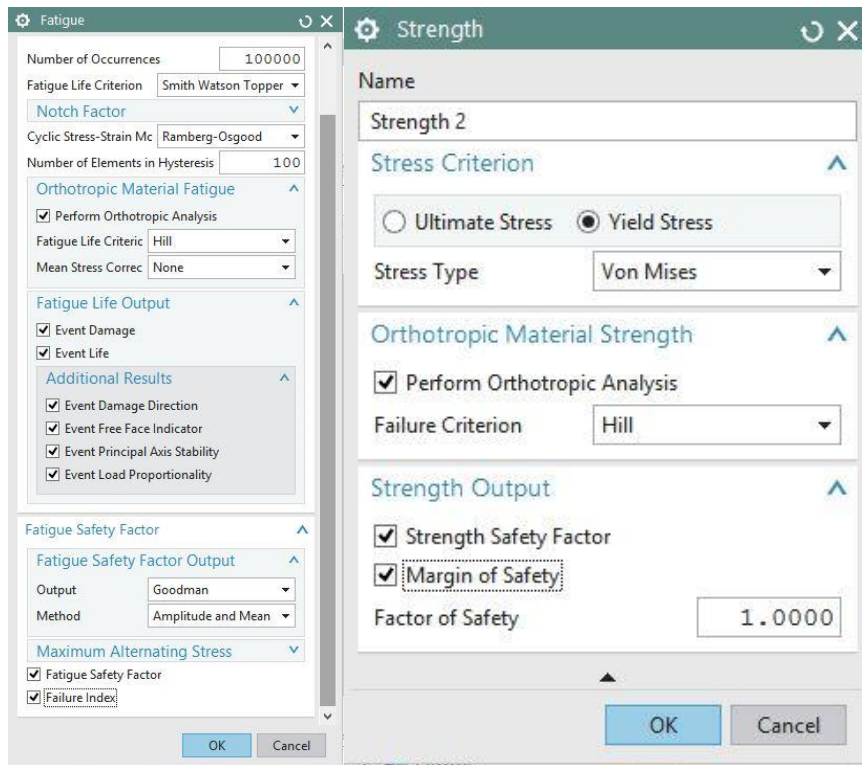
7. Εάν χρησιμοποιούμε ορθοτροπικό υλικό ή επιθυμούμε παραπάνω δεδομένα στην έξοδο, κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε edit στο simulation navigator/static event.



8. Επιλέγω από το μενού τα tabs που θέλω να αλλάξω παραμέτρους επιλέγοντας το και πατώντας edit.



9. Τα σημαντικότερα tabs είναι το fatigue & static στα οποία ορίζω το υλικό αν είναι ορθοτροπικό.



Λειτουργία βελτιστοποίησης laminate

Με αυτή τη λειτουργία μπορούμε να βελτιστοποιήσουμε

1. την γωνία του υφάσματος
2. το πάχος του υφάσματος
3. Το υλικό του υφάσματος
4. Τον αριθμό των στρώσεων

Μπορούμε να ορίσουμε ως σταθερές

1. Τη μάζα του laminate
2. το συντελεστή λογισμού
3. Το μέτρο εφελκυσμού στον X,Y
4. Το μέτρο διάτμησης στον XY
5. Αριθμό poisson
6. συντελεστής θερμικής διαστολής στον X,Y,XΨ

Μπορούμε να ορίσουμε περιορισμούς

1. την γωνία του υφάσματος
2. το πάχος του υφάσματος
3. το δείκτη αστοχίας της στρώσης
4. Φυσική συχνότητα
5. αλληλουχία στρώσεων

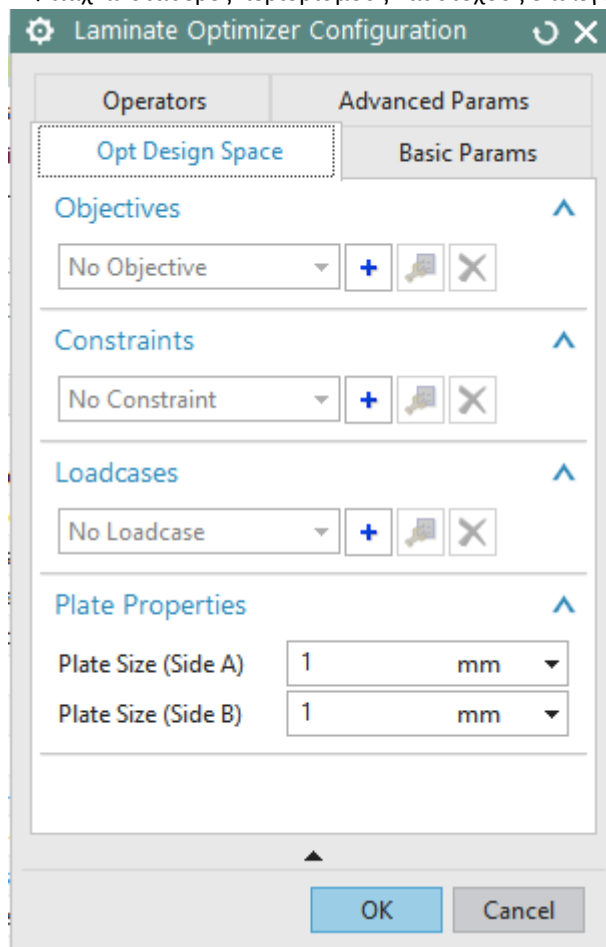
- 6. Το μέτρο εφελκυσμού στον X,Y
- 7. Το μέτρο διάτμησης στον XY
- 8. Αριθμό poisson
- 9. συντελεστής θερμικής διαστολής στον X,Y,XΨ

Βήματα

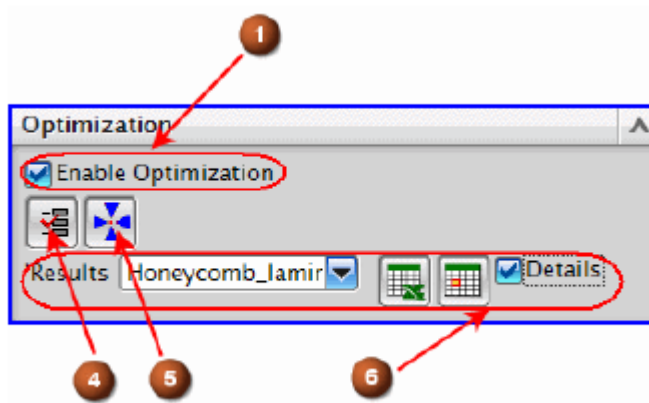
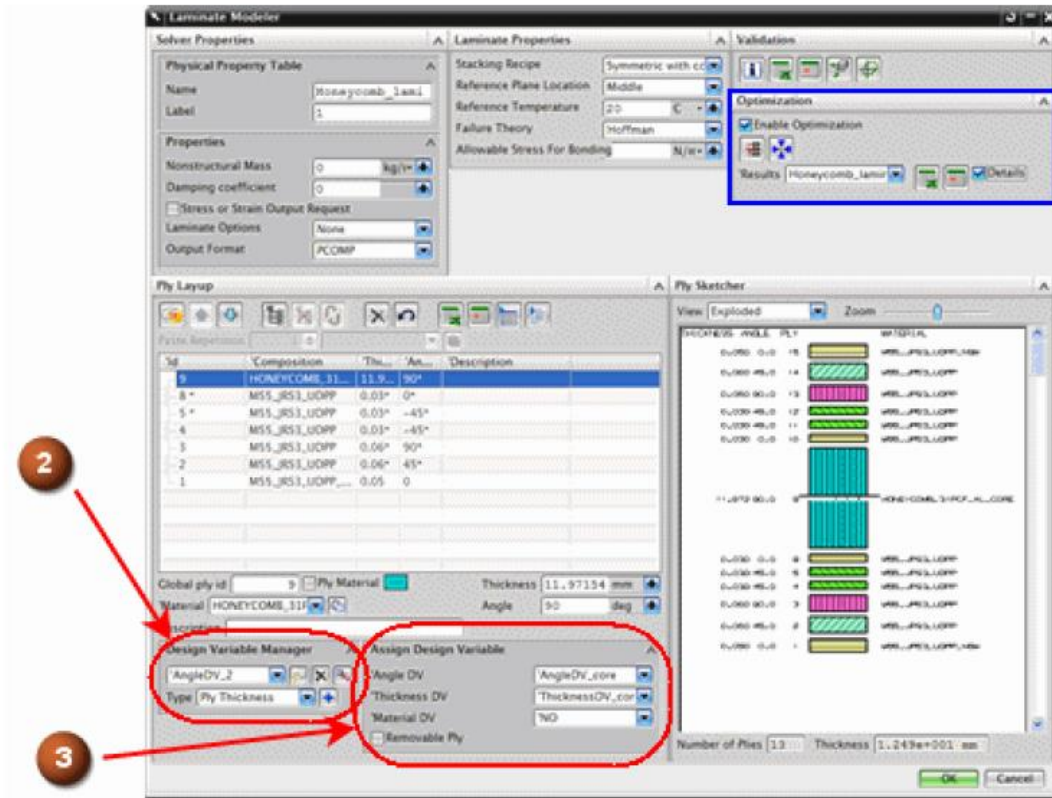
A. ανοίγω το laminate modifier

- 1. ενεργοποιώ το optimization
- 2. φτιάχνω τις μεταβλητές σχεδίασης
- 3. Εισάγω τις μεταβλητές στις αντίστοιχες στρώσεις

4. Φτιάχνω σταθερές περιορισμούς και στόχους επιλέγοντας το



- 5. τρέχω το optimization
- 6. εξάγω τα αποτελέσματα σε αρχείο τύπου excel.

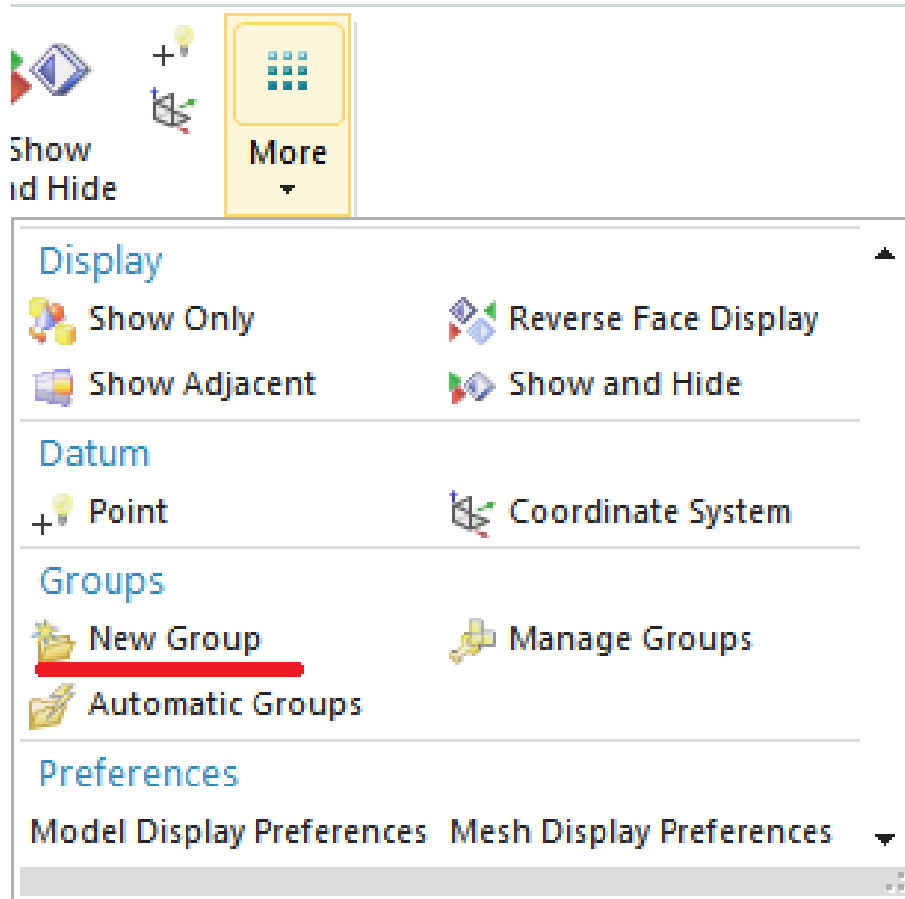


Αναζήτηση Δεδομένων

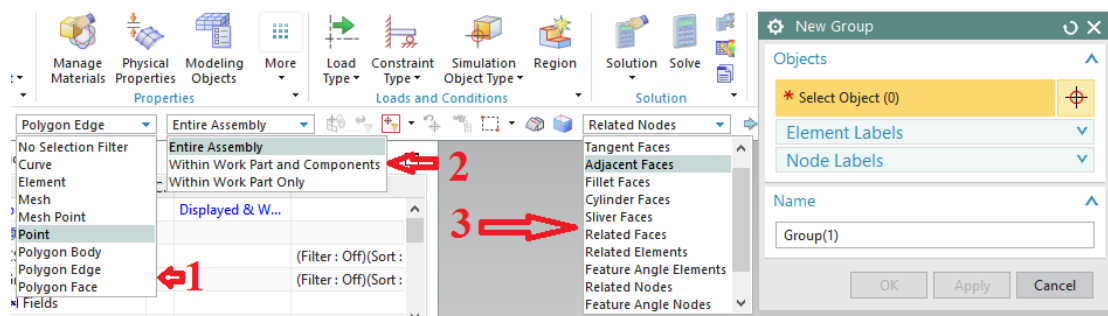
Υπάρχουν πολλοί τρόποι και συνδυασμοί που προσφέρει το πρόγραμμα, εγώ χρησιμοποίησα 2 τεχνικές .

Δημιουργία ομάδων

1) Βρίσκομαι είτε στο αρχείο .fem είτε στο .sim. επιλέγουμε HOME/MORE/ NEW GROUP

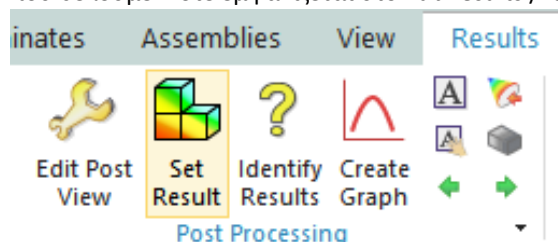


2) Στο παράθυρο που εμφανίζεται και με τους περιορισμούς που ορίζω στις επιλογές 1,2,3 φτιάνω ομάδα είτε από nodes είτε από elements και πατάω OK

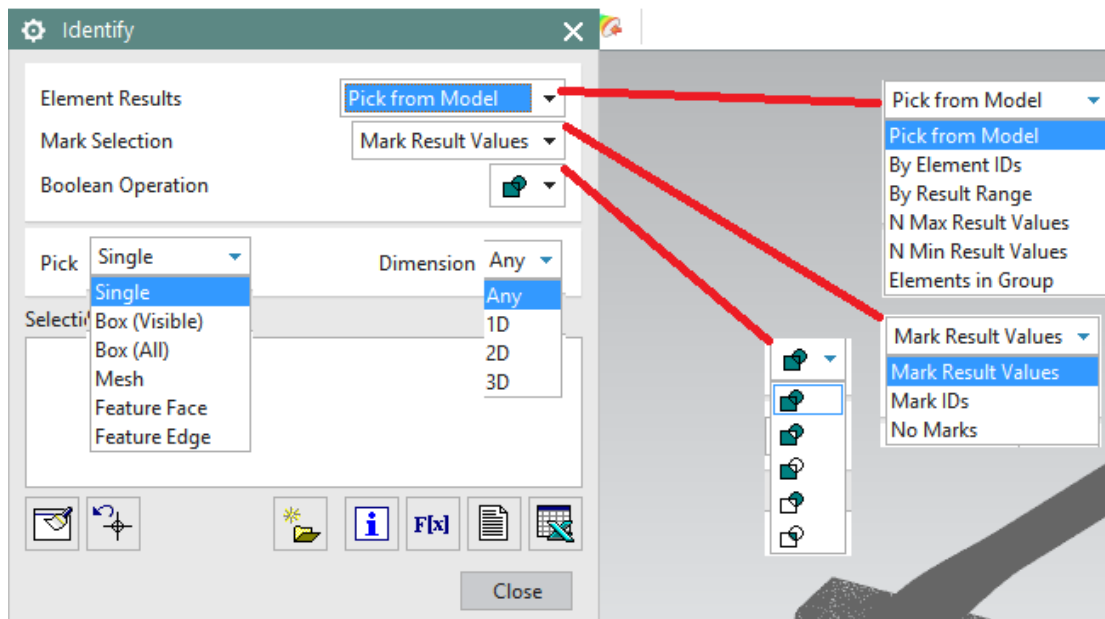


Εξαγωγή αποτελεσμάτων

- 1) Βρισκόμαστε στο αρχείο .sim και έχουμε ανοίξει τα results και πηγαίνουμε στο αποτέλεσμα που θέλουμε. Τότε εμφανίζεται στο Tab results / identify results.



- 2) Πατώντας το εμφανίζεται παράθυρο με επιλογές.



- 3) Τέλος αφού έχουμε επιλέξει τα elements η nodes που χρειαζόμαστε πατάμε το εικονίδιο του excel για να πάρουμε τα τελικά δεδομένα.



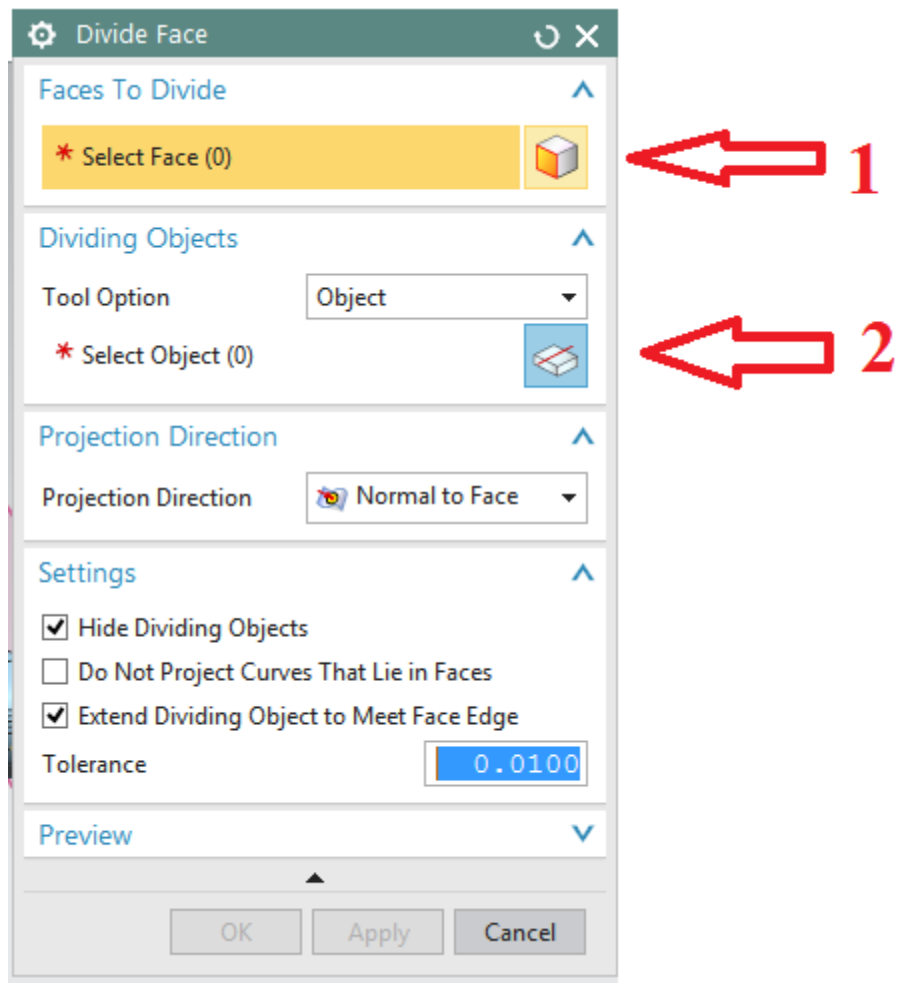
Η κατασκευή του πατρόν είναι μια τεχνική που εμπεριέχει αρκετές άλλες

- 1) Προετοιμάζουμε το αρχικό μας part χωρίζοντας την επιφάνειά του σε περιοχές.

α) Επιλέγοντας το divide face



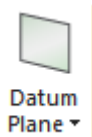
β) στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγω την ζητούμενη επιφάνεια και το εργαλείο τεμαχισμού της.



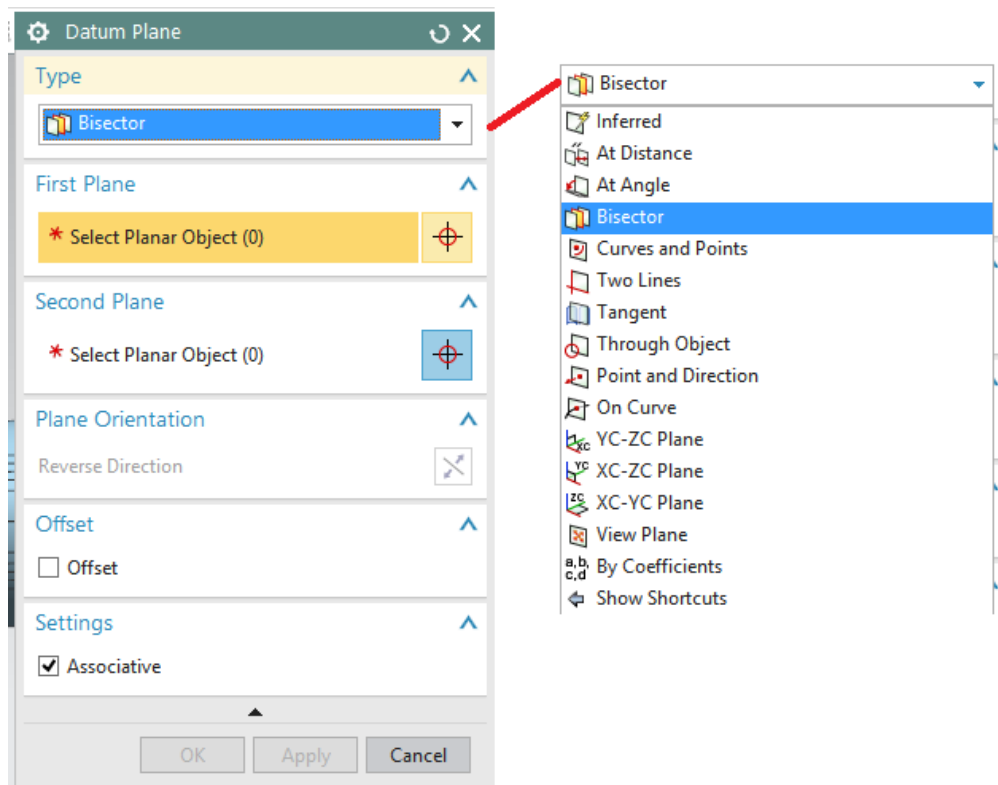
c) το εργαλείο μπορεί να είναι είτε μια γραμμή από το σχέδιο είτε κάποιο plane

Κατασκευή plane

d) επιλέγω datum plane



e) Επιλέγω τύπο δημιουργίας και συμπληρώνω τις υπόλοιπες επιλογές και πατάω OK.

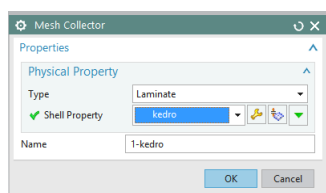


2. Βρίσκομαι στο .fem

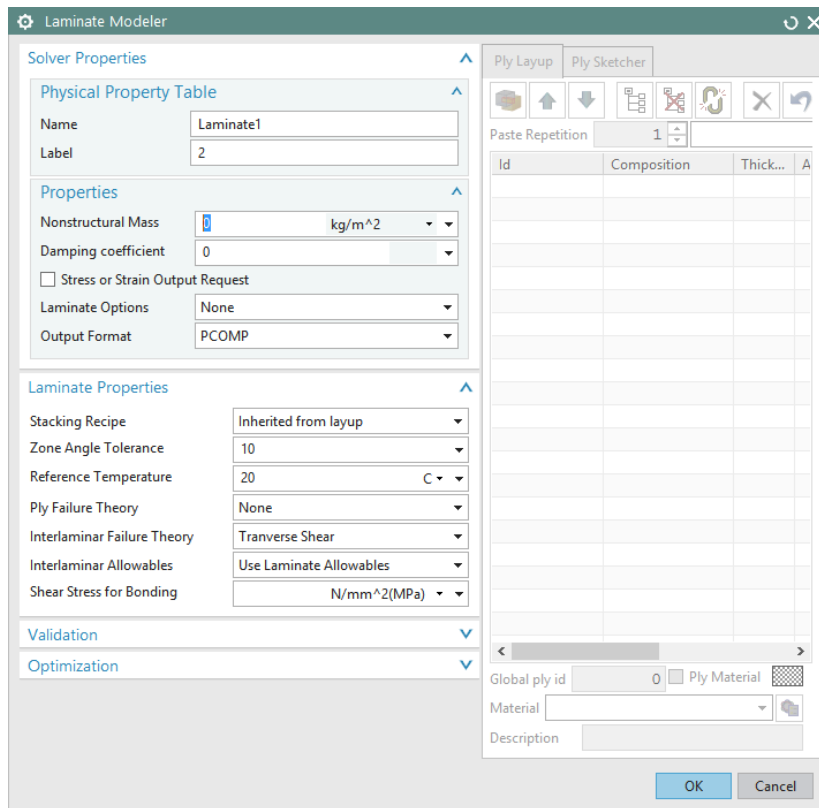
A. Επιλέγω 2D mesh και επιλέγω όλη την επιφάνεια του τεμαχίου



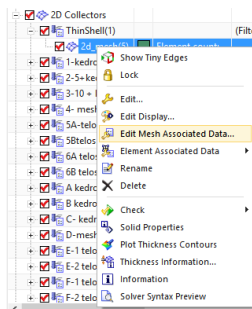
B. Επιλέγω το mesh collector/ edit



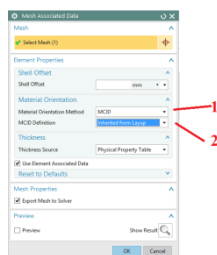
c. Στο shell collector επιλέγω edit και εμφανίζει το LAMINATE MODELER
 επιλέγω output forma/PCOMP & Stacking Recipe/inherited from layup & OK



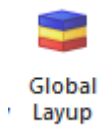
d. Επιλέγω από το navigator το mesh , δεξί κλικ edit mesh associated data



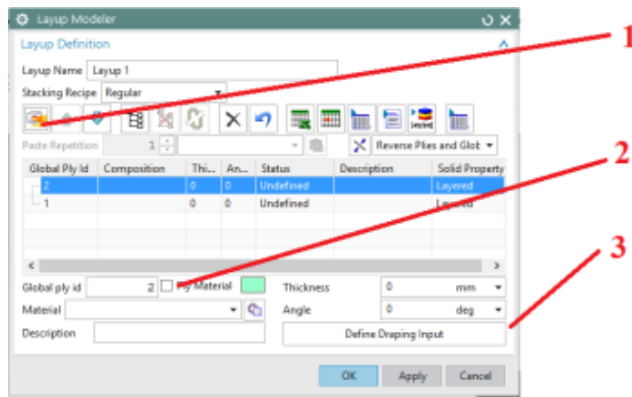
c. Βάζω τις επιλογές 1,2



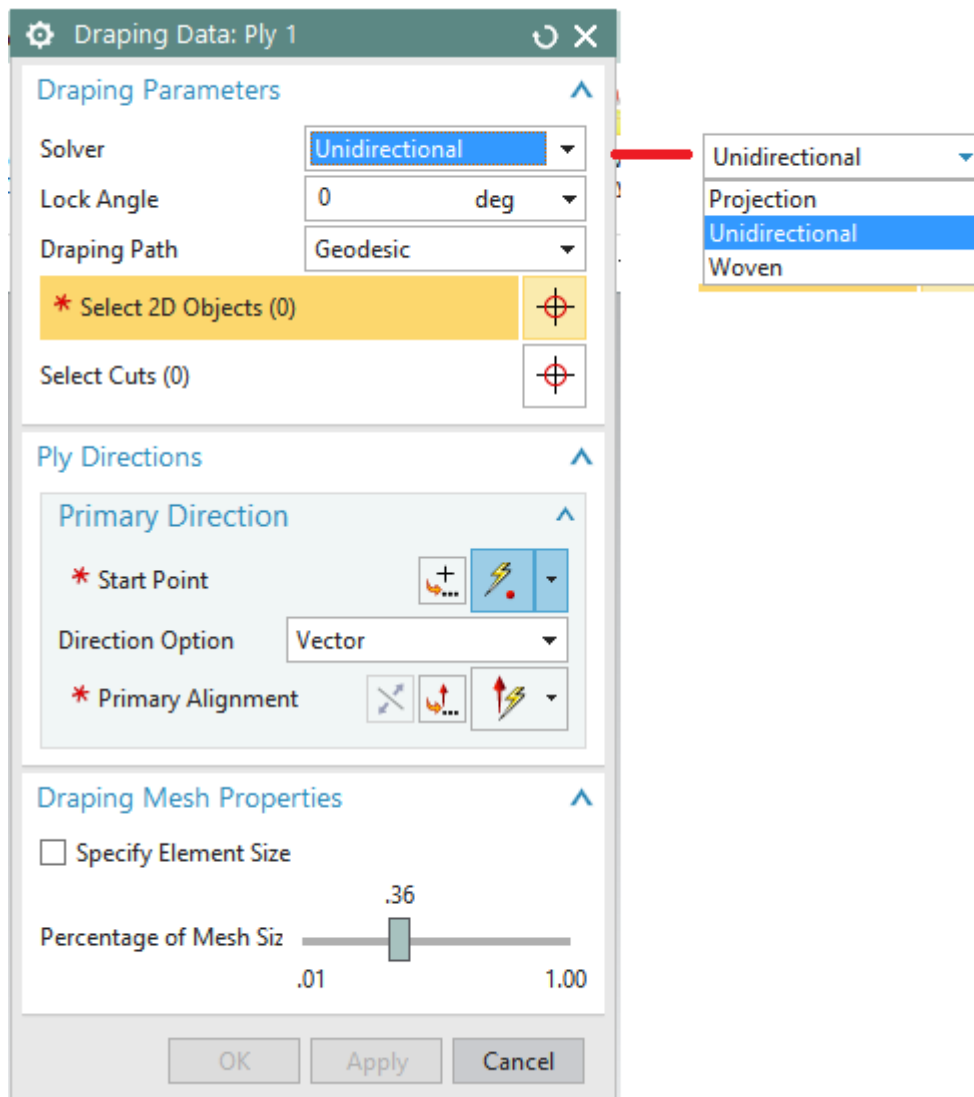
e. Επιλέγω global layup



f. Επιλέγω 1) τις στρώσεις 2) τις ιδιότητες μου 3) την περιοχή που θα είναι η συγκεκριμένη στρώση



g. Επιλέγω τρόπο στρώση υλικού και OK



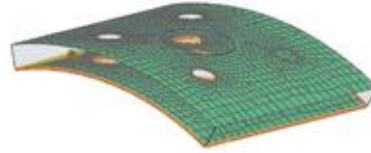
H.

-  4 (Global Ply Id)
-  +  6 (Global Ply Id)
-

The Draping Data dialog box appears.

Solver


-  Select the bottom meshed surface.

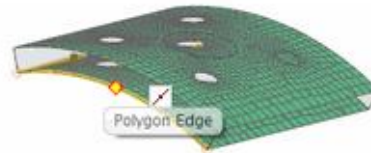




-  Start Point

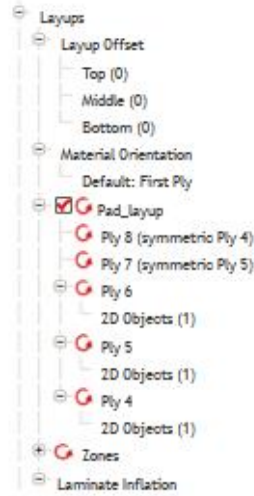


Enable Snap Point, Mid Point (Selection Bar)





-  Select the midpoint of the polygon edge as shown.

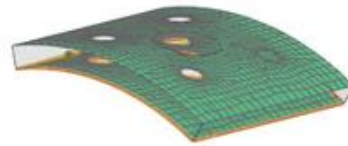


- YC-axis (Primary Alignment,  Inferred Vector list)
- Close all dialog boxes.
-  Save (Standard toolbar)



Define a new material orientation





-  Simulation Navigator
-  Material Orientation
-  New Orientation
-  Select the bottom meshed surface.

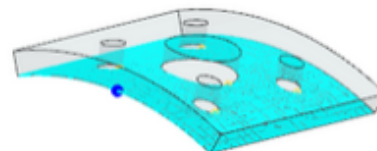





Select reference ply

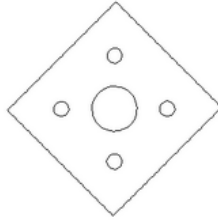
- Layups
 - Layup Offset
 - Top (0)
 - Middle (0)
 - Bottom (0)
 - Material Orientation
 - Default: First Ply
 - Orientation 1
 - 2D Object (1)
 - Pad_layup

Drape the layup over the pad


-  Simulation Navigator
-  2d_mesh(2) (deselect)
-  Pad_layup
-  Update
- The draping process takes 1 to 2 minutes.
- the Information window



-  Simulation Navigator
-  Pad_layout
-  View Flat Patterns



Export Settings 

 Browse (Filename)

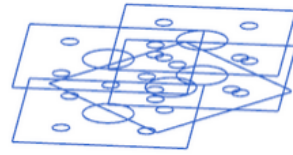
Note Make sure that you select a folder for which you have write privileges.

File Name:

(Open)


Create individual files


The *pad_flat_pattern.prt* file opens.



Note On the View toolbar, click  to display the flat patterns of the mud guard using the whole graphics window.


(Flat Patterns)

 File→Close→Save and Close



 Window→pad_flat_pattern_Ply4.prt

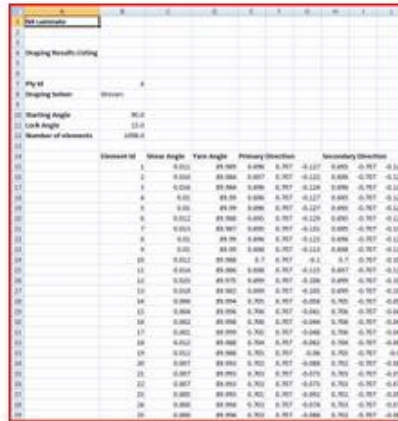


Note You can review, save, and close the part files containing the flat pattern of the other plies.

 Window→Pad_fill.fem


Export draping results

-  Simulation Navigator
-  Pad_layout
-  List Draping Results
- Yarn Angle
- Primary Direction
- Secondary Direction
-  Export to Spreadsheet



Element Id	Shear Angle	Yarn Angle	Primary Direction	Secondary Direction
1	0.011	89.989	0.989	-0.111
2	0.008	89.992	0.992	-0.108
3	0.004	89.996	0.996	-0.104
4	0.001	89.999	0.999	-0.101
5	0.000	90.000	1.000	-0.100
6	0.002	89.998	0.998	-0.102
7	0.005	89.995	0.995	-0.105
8	0.009	89.991	0.991	-0.109
9	0.013	89.987	0.987	-0.113
10	0.017	89.983	0.983	-0.117
11	0.021	89.979	0.979	-0.121
12	0.025	89.975	0.975	-0.125
13	0.029	89.971	0.971	-0.129
14	0.033	89.967	0.967	-0.133
15	0.037	89.963	0.963	-0.137
16	0.041	89.959	0.959	-0.141
17	0.045	89.955	0.955	-0.145
18	0.049	89.951	0.951	-0.149
19	0.053	89.947	0.947	-0.153
20	0.057	89.943	0.943	-0.157

Note There is one worksheet per ply.

-  File → Close & Return to Draping Results
- (List Draping Results)

Καταχώρηση υλικού

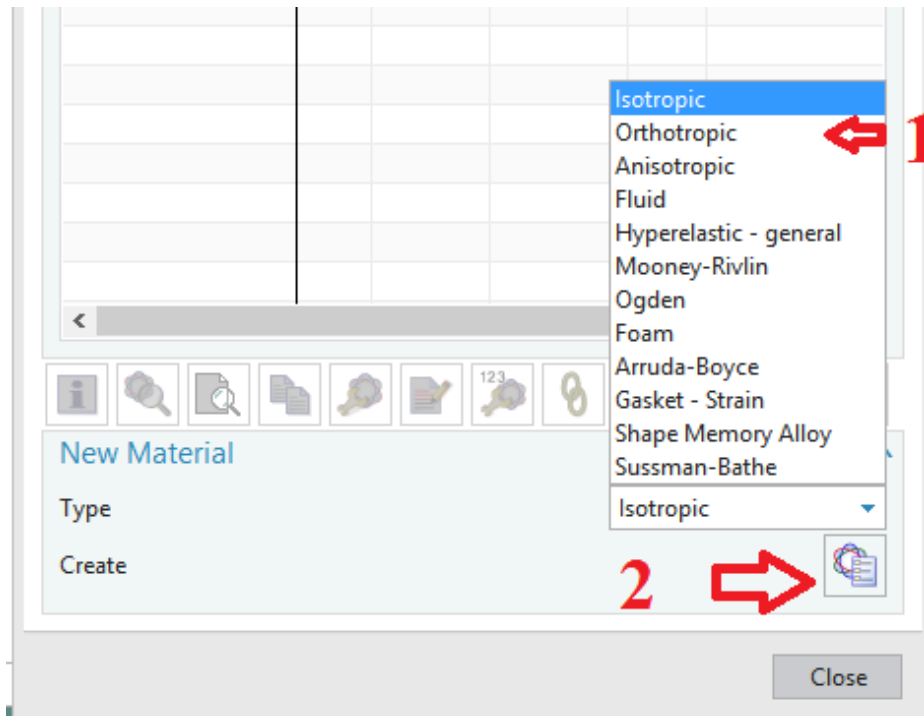
Το πρόγραμμα προσφέρει μια βιβλιοθήκη με ιδιότητες αρκετών βασικών υλικών και την δυνατότητα για την κατασκευή άλλων. Ισοτροπικά, ορθοτροπικά, ανισοτροπικά ρευστά, υπερελαστικά, Mooney-Rivlin, Ogden, αφρούς, Arruda-Boyce, Gasket-Strain, Shape memory alloy, Sussman-Bathe. Για την κατασκευή laminate υπάρχουν 2 τρόποι.

A) τρόπος κατασκευής laminate.

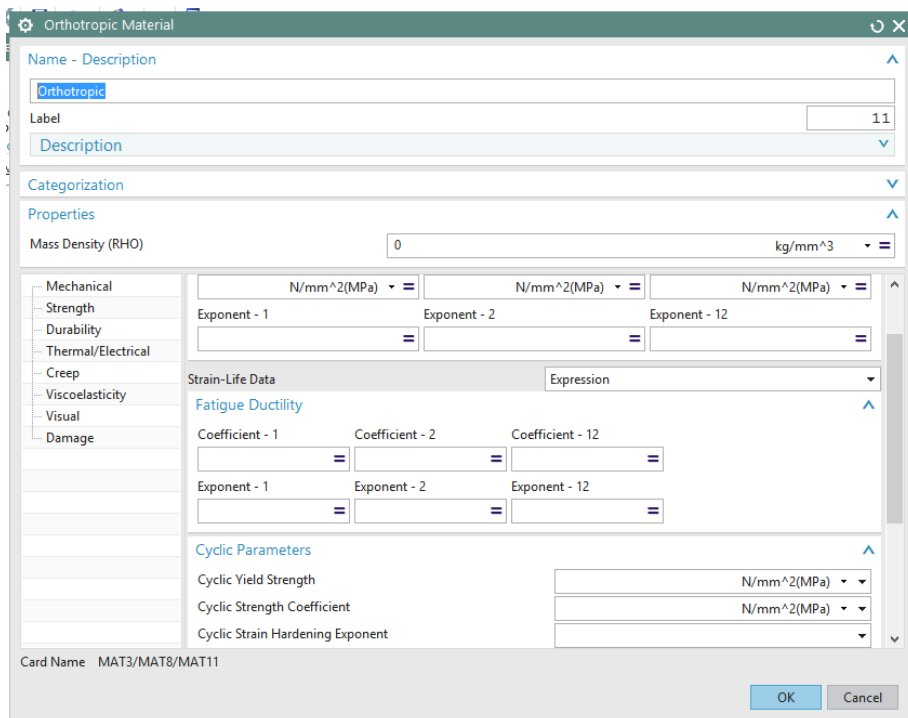
- 1) Βρισκόμαστε στο αρχείο .fem
- 2) Κάνουμε κλικ στο manage materials



- 3) Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε ορθοτροπικό υλικό και μετά create new

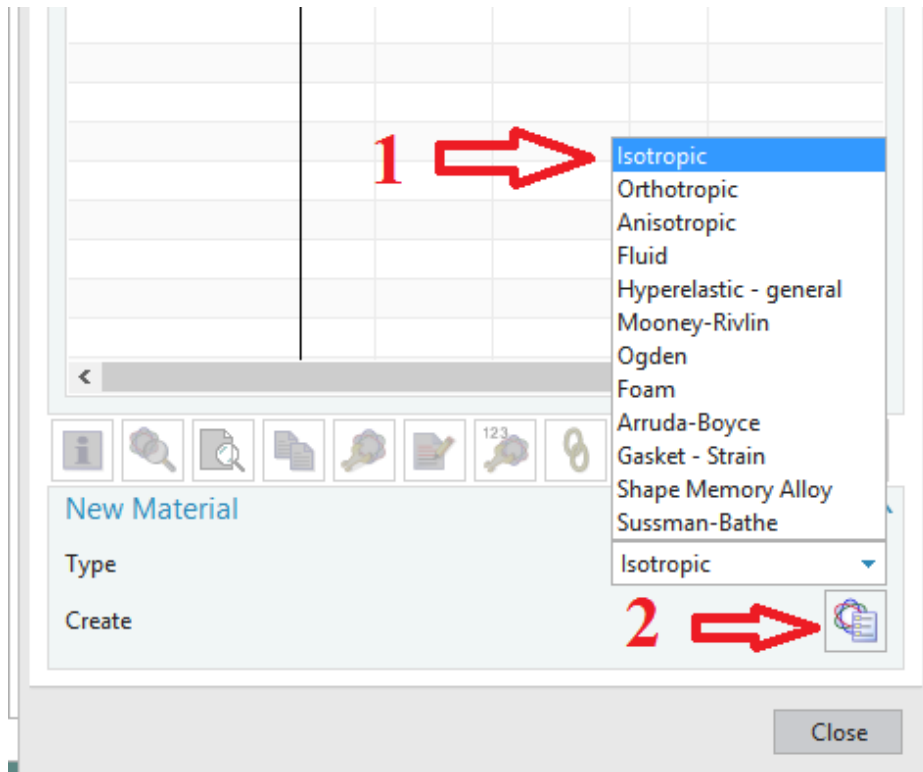


4) Συμπληρώνουμε τα δεδομένα του υλικού κυρίως Mechanical – stress – thermal – durability και τέλος OK.

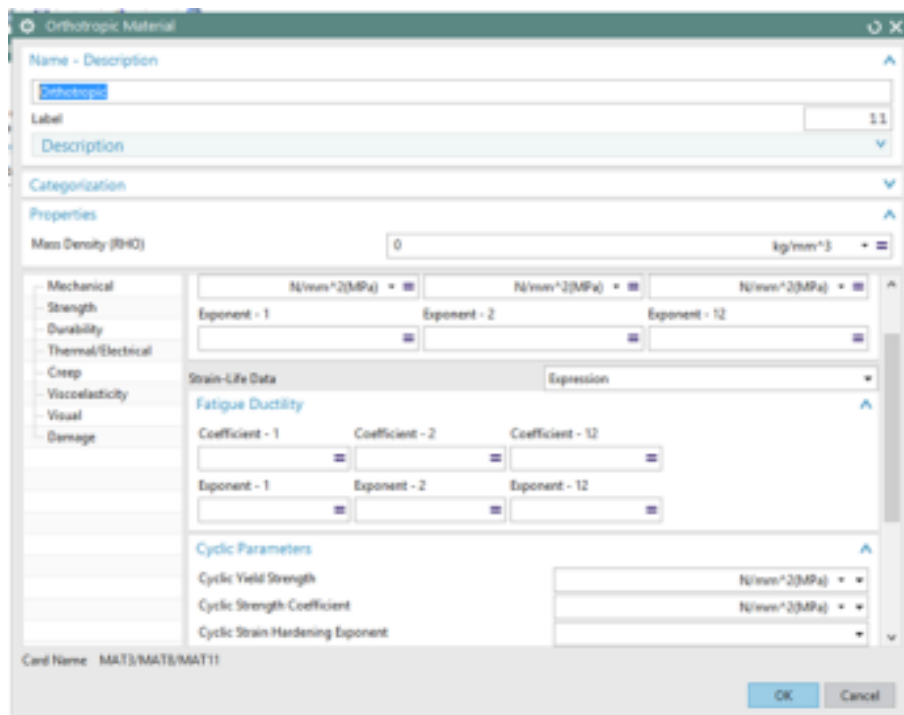


B) Τρόπος κατασκευής PLY-MATERIAL

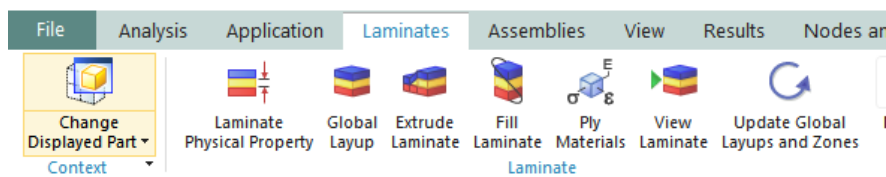
1) Φτιάχνουμε το ύφασμα με τον Α) τρόπο και φτιάχνουμε και την εποχική με τον ίδιο τρόπο αλλά επιλέγοντας ισοτροπικό υλικό.



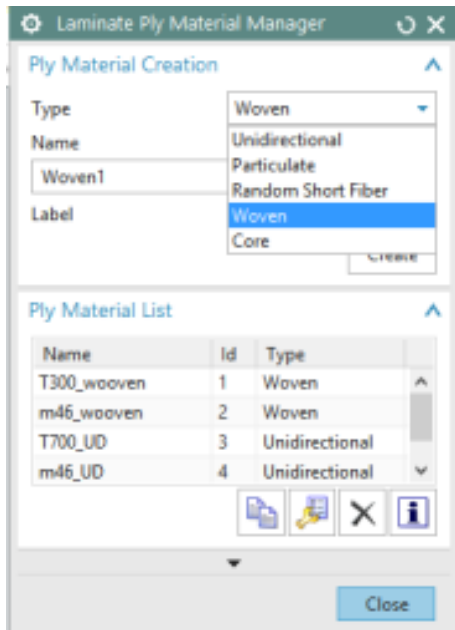
2) Συμπληρώνουμε και πατάμε OK



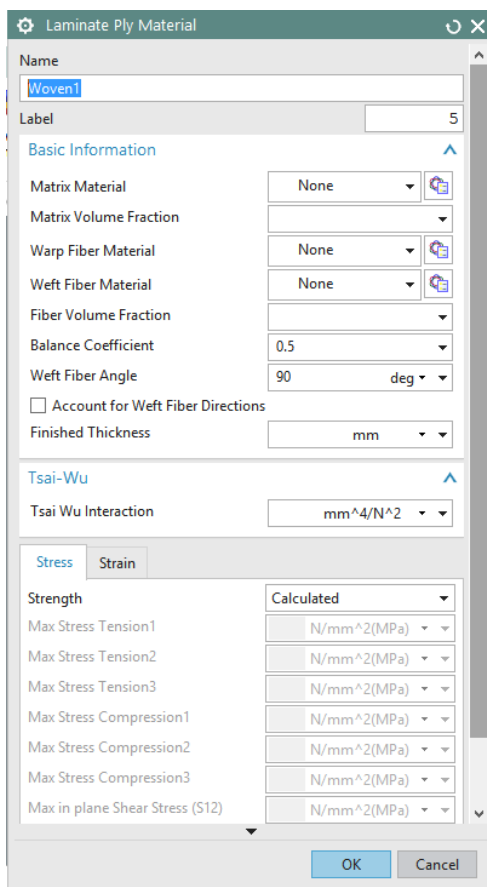
3) Στο Tab laminates επιλέγουμε ply-Materials



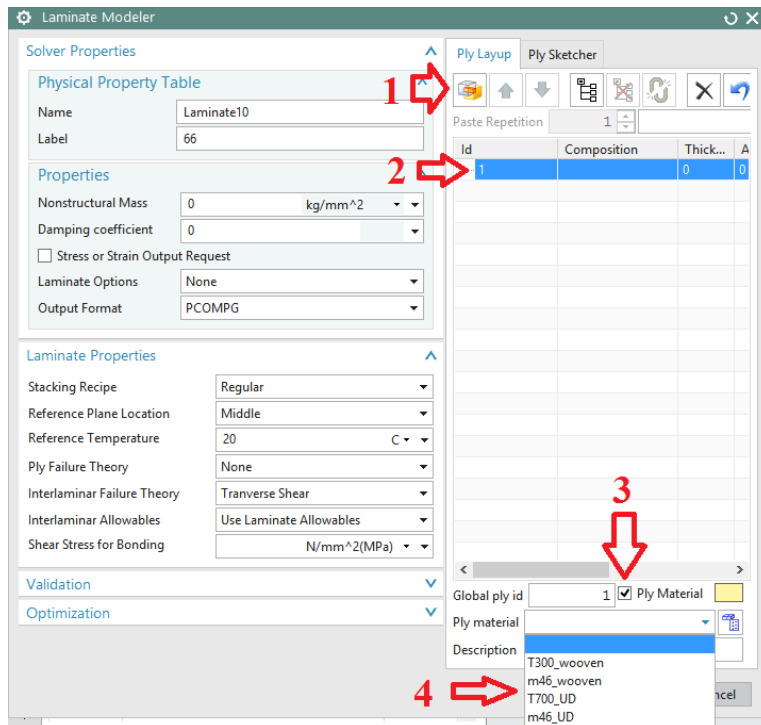
- 4) Στο παράθυρο που μας εμφανίζει επιλέγουμε το είδος του εμποτισμένου υφάσματος που θέλουμε να φτιάξουμε. Επιλέγουμε ανάμεσα σε Unidirectional, Particulate, Random, Woven και Core. Πατάμε create.



- 5) Συμπληρώνουμε τις ιδιότητες του υφάσματος και πατάμε OK.

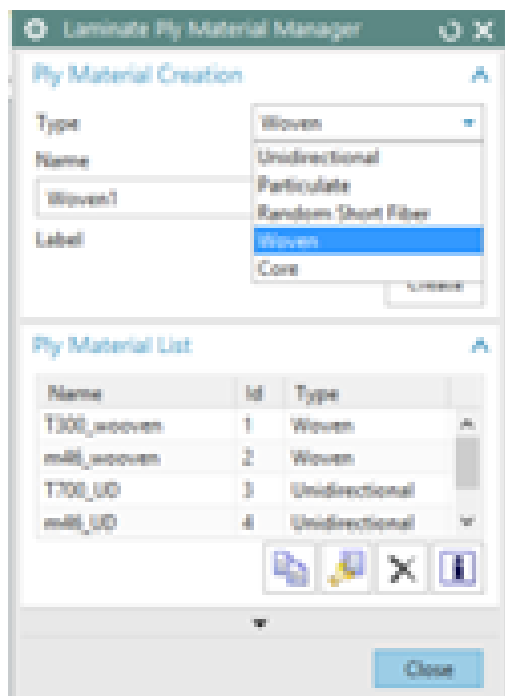


- 6) Το υλικό μας είναι έτοιμο και μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε όταν έχουμε ανοίξει το Laminate Modeler, επιλέξαμε τη στρώση και κάναμε κλικ στο ply material.



7) Με τον A) τρόπο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το Durability analysis με την B) OXI

8) Για να μπορέσουμε να κάνουμε durability analysis σε ένα ply material, πρέπει να το μετατρέψουμε σε απλό υλικό (με τον τρόπο A). Στο παράθυρο με τις ιδιότητες, κάνουμε κλικ στο εικονίδιο με τα information .



Εμφανίζεται παράθυρο με τις ιδιότητες του ply material και πηγαίνουμε και κατασκευάζουμε ένα νέο ορθοτροπικό υλικό με αυτές τις ιδιότητες προσθέτοντας και τα δεδομένα για fatigue analysis.

16.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Κατασκευαστικά σχέδια

17. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Σημειώσεις μαθήματος Προηγμένα υλικά
Δημήτριος Μανωλάκος
- 2) Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά
Δημήτρης Ι. Παντελής
- 3) «ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΛΟΥΠΙΩΝ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ CFRP ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ» ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΡΑΚΙΖΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. Κος ΔΗΜ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ
- 4) Σχεδιασμός και κατασκευή ανθρακονημάτινου τιμονιού αγωνιστικού ποδηλάτου - Μάρκος Κατσίτης
Επιβλέπων Καθηγητής Ε.Μ.Π. Κος Δημ. Μανωλάκος
- 5) NX Laminate Composites Student Guide October, 2011
MT15029-s-nx8
- 6) Fatigue of Fiber-reinforced Composites Anastasios P. Vassilopoulos •
Thomas Keller
- 7) NONLINEAR MECHANICAL RESPONSE OF CFRP LAMINATES UNDER OFF-AXIS TENSILE LOADING
Shinji Ogihara*, Eishin Adachi** and Satoshi Kobayashi***
- 8) HANDBOOK OF DIE DESIGN Copyright © 2006, 1998 by Ivana Suchy., McGraw-Hill
- 9) «A Math-Based Methodology for Fatigue Longevity Prediction of 3D Woven»
Fiberglass Reinforced Vinyl-ester Composites Michael C. H. Lee, William , T. Short,
Delphi Research Labs.
- 10) " Fatigue in composites Science and technology of the fatigue response of fibre-reinforced plastics"
Edited by Bryan Harris

Ιστοσελίδες

<http://www.torayca.com>
<http://www.carbonfiber.gr.jp>
<http://www.bikefitting.com/>
<http://www.advanced-composites.co.uk/>
<http://www.elinyae.gr>