

Θέμα: Μονοαξονικός εφελκυσμός σε δοκίμια πολυεστέρα για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων

Επιβλέπων:

Εβελζαμάν Ιωάννης

Σπουδάστριες :

Τσαουσιδου Γεωργία
Τσατμά Σοφία

Σέρρες 2009

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	5
1.2. ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ	6
1.3. ΕΙΔΗ ΦΟΡΕΩΝ.....	8
1.4. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	13
2.1. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	13
2.1.1. Οπτική μικροσκοπία	13
2.1.2. Μικροσκοπία LASER.....	13
2.1.3. Ακουστική μικροσκοπία	14
2.1.4. Φωτοηλεκτρονική φασματοσκοπία ακτίνων-Χ.....	14
2.1.5. Ηλεκτρονική μικροσκοπία	14
2.1.6. Ηλεκτρονική μικροανάλυση.....	15
2.1.7. Φασματοσκοπία AUGER.....	15
2.1.8. Περίθλαση ακτίνων-Χ	15
2.1.9. Περίθλαση ηλεκτρονίων	16
2.1.10. Διαφορική θερμική ανάλυση.....	16
2.1.11. Διαφορική θερμιδομετρική ανίχνευση.....	16
2.1.12. Θερμοβαρυντική ανάλυση ή ανάλυση με θερμοζυγό.....	16
2.2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	17
2.2.1. Ραδιογραφία	17

2.2.2. Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια	17
2.2.3. Έλεγχος με φθορίζοντα-διεισδυτικά υγρά.....	17
2.2.4. Έλεγχος με υπερήχους	18
2.2.5. Έλεγχος με δινορρεύματα	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
3.1. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ	19
3.1.1. Νόμος του Hooke.....	19
3.1.2. Η ΤΑΣΗ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	20
3.2. ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΣΗΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	22
3.3. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	28
4.1. ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ.....	28
4.2. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.....	28
4.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ.....	29
4.3.1. Χημικές ιδιότητες.....	29
4.3.2. Φυσικές ιδιότητες	29
4.3.3. Μηχανικές ιδιότητες.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	30
5.1. ΙΔΕΕΣ-ΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	32
6.1. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	32
6.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ	37
6.3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΩΔΙΚΑ	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	52
7.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	52
7.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΤΕΜΑΧΙΟΥ	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	60
8.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	69
9.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ INSTRON 1200 KN.....	69
9.1.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ	70
9.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	71
9.2.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η αντοχή των υλικών από πρακτική άποψη έχει σαν αντικείμενο:

- i. Να προσδιορίσει τα επικίνδυνα όρια φόρτισης των διαφόρων υλικών σε όλα τα είδη των καταπονήσεων και στη συνέχεια, να καθορίσει τα επιτρεπτά όρια φόρτισης για κάθε ένα είδος φόρτισης ξεχωριστά.
- ii. Να καθοριστεί το πλέον κατάλληλο σχήμα των φορέων και στη συνέχεια να υπολογίσει τις διαστάσεις τους έτσι ώστε αυτοί να είναι σε θέση να παραλάβουν με ασφάλεια και συγχρόνως κατά τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο τη φόρτιση, η οποία είναι δυνατόν να προέρχεται:
 - από εξωτερικές δυνάμεις, οι οποίες προορίζονται να υποβαστάξουν και οι οποίες οφείλονται σε μόνιμα ή σε κινητά φορτία.
 - από καταπονήσεις που προέρχονται από θερμοκρασιακές μεταβολές, ή από υποχωρήσεις στηρίξεων, ή από αυτεντατικές καταστάσεις λόγω κατασκευαστικής ατέλειας.
 - από το ίδιο το βάρος του φορέα ή της κατασκευής.
- iii. Να υπολογίσει το μέγιστο δυνατό φορτίο το οποίο μπορεί με ασφάλεια να αναλάβει ένας φορέας ή μία κατασκευή και να ελέγξει κατά πόσο αυτός είναι ασφαλής έναντι δεδομένης φόρτισης.

Ανακεφαλαιώνοντας εξάγεται ο παρακάτω ορισμός:

Αντοχή υλικών είναι η επιστήμη που υποδεικνύει αναλυτικές μεθόδους για τον υπολογισμό της αντοχής, της ακαμψίας, και της ευσταθείας των μελών μιας κατασκευής με γνώμονα το κόστος να είναι ελάχιστο δυνατό.

1.2. ΕΙΔΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ

Τα είδη των απλών καταπονήσεων είναι τα εξής:

- **Εφελκυσμός:** ένα σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό, όταν επενεργούν δυο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το διασπάσουν.



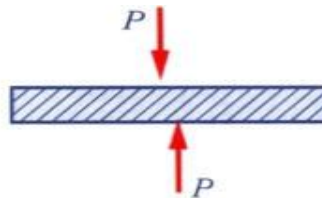
Εφελκυσμός

- **Θλίψη:** ένα σώμα καταπονείται σε θλίψη, όταν επάνω του επενεργούν δυο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το συνθλίψουν.



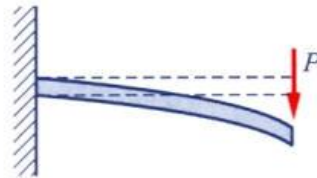
Θλίψη

- **Διάτμηση:** ένα σώμα καταπονείται σε διάτμηση, όταν δυο ίσες και αντίθετες δυνάμεις επενεργούν κάθετα στον άξονά του.



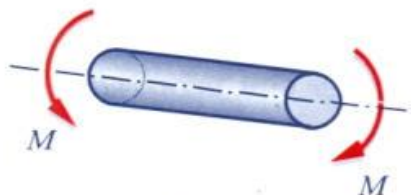
Διάτμηση

- **Κάμψη:** ένα σώμα καταπονείται σε κάμψη, όταν οι δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονά του. Αναπτύσσονται τότε ροπές κάμψης και προκαλείται καμπύλωση της δοκού.



Κάμψη

- **Στρέψη:** ένα σώμα καταπονείται σε στρέψη, όταν οι δυνάμεις αποτελούν ζεύγος με επίπεδο κάθετο στον άξονά του, το οποίο τείνει να περιστρέψουν.



Στρέψη

- **Λυγισμός:** ο λυγισμός από άποψη δράσης των δυνάμεων μοιάζει με θλίψη, ενώ από άποψη παραμορφώσεων μοιάζει με τη κάμψη. Τελικά όμως διαφέρει αρκετά και από τις δυο προηγούμενες, αποτελώντας ιδιαίτερο τρόπο καταπόνησης, η οποία μάλιστα, είναι πολύ επικίνδυνη.



Λυγισμός

1.3. ΕΙΔΗ ΦΟΡΕΩΝ

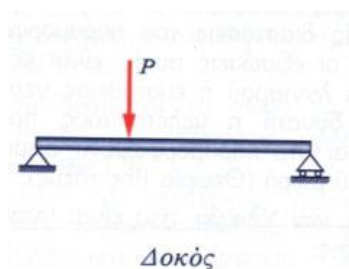
Φορέας ονομάζεται γενικά κάθε σώμα ή κατασκευή που μπορεί να φέρει εξωτερικά φορτία, τα οποία και μεταφέρει στις στηρίξεις του, διαμέσου των οπίων καταλήγουν τελικά συνήθως στο έδαφος.

Στην **αντοχή υλικών** χρησιμοποιούνται διάφορα είδη φορέων. Τα είδη αυτά, διακρίνονται ανάλογα με τη μορφή τους και είναι:

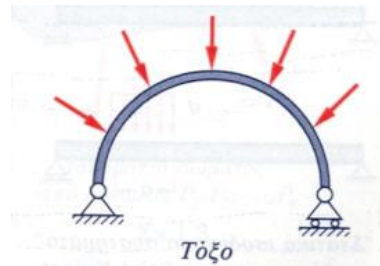
- **Η Ράβδος.** Έτσι χαρακτηρίζεται ένα σώμα που το μήκος του είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο από τις άλλες του διαστάσεις, η οποία έχει έναν ευθύγραμμο άξονα συμμετρίας. Η ράβδος καταπονείται συνήθως σε εφελκυσμό ή θλίψη, δηλαδή μόνο από αξονικά φορτία.



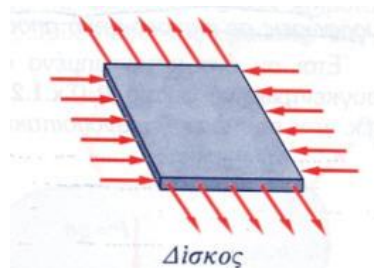
- **Η Δοκός.** Έτσι χαρακτηρίζεται ένα σώμα που το μήκος του είναι αισθητά μεγαλύτερο συγκριτικά με τις άλλες του διαστάσεις και που έχει έναν ευθύγραμμο άξονα συμμετρίας. Η δοκός μπορεί να καταπονείται από αξονικά αλλά και από εγκάρσια φορτία.



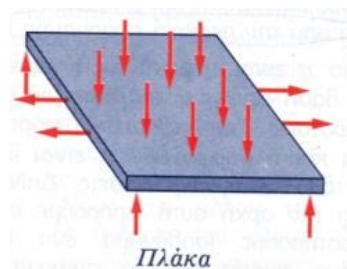
- **Το Τόξο.** Χαρακτηρίζεται έτσι μια δοκός με καμπύλο όμως άξονα.



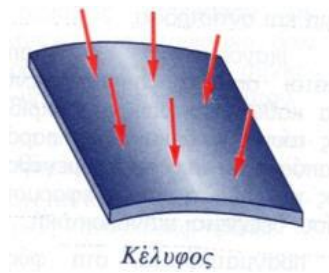
- **Ο Δίσκος.** Έτσι χαρακτηρίζεται ένα επίπεδο σώμα, που έχει πάχος πολύ μικρότερο συγκριτικά με τις άλλες του διαστάσεις. Ο δίσκος μπορεί να καταπονείται από δυνάμεις εφελκυστικές ή θλιπτικές που δρουν στο επίπεδό του.



- **Η Πλάκα.** Χαρακτηρίζεται έτσι ένα επίπεδο σώμα, με πάχος πολύ μικρότερο από τις άλλες του διαστάσεις. Η πλάκα όμως, σε αντίθεση με τον δίσκο, μπορεί επιπλέον να καταπονείται και από εγκάρσια φορτία στο επίπεδό της.



- **Το Κέλυφος.** Έτσι χαρακτηρίζεται ένα σώμα, με πάχος πολύ μικρότερο από τις άλλες του διαστάσεις, που η μέση του επιφάνεια δεν είναι επίπεδη αλλά καμπύλη.



1.4. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η αντοχή των υλικών υποθέτει ότι όλα τα σώματα είναι ισότροπα, ομογενή και συνεχή.

Ισότροπο λέγεται το υλικό εκείνο που παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στη μάζα του. Αν οι ιδιότητες του υλικού εξαρτώνται από την διεύθυνση, τότε ονομάζεται ανισότροπο.

Ομογενές ονομάζεται το υλικό που παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες σε όλα τα σημεία της μάζας του.

Συνεχές ονομάζεται ένα υλικό που η δομική του λίθοι είναι στενά συνδεδεμένοι μεταξύ τους, έτσι ώστε το σώμα να μην παρουσιάζει κενά ή άλλες ασυνέχειες μάζα στη μάζα του, διαφορετικά ονομάζεται ασυνεχές.

Υποθέτει επίσης, ότι οι επιβαλλόμενες εξωτερικές δυνάμεις αυξάνουν πολύ αργά έτσι ώστε, να μπορούν να θεωρηθούν στατικές ή ημιστατικές, σε διάκριση με τις δυναμικές και τις πληκτικές δυνάμεις οι οποίες οδηγούν σε ταλαντώσεις και σε άλλα δυναμικά φαινόμενα. Δέχεται ακόμη ότι στα διάφορα υλικά, οι παραμορφώσεις επέρχονται ή αναιρούνται αμέσως μετά την επιβολή ή την αφαίρεση των εξωτερικών φορτίων, διαφορετικά λέμε ότι έχουμε το φαινόμενο της υστέρησης. Δέχεται τέλος, ότι κατά την έναρξη της φόρτισης δεν προϋπάρχουν εσωτερικές δυνάμεις ή τάσεις εντός του σώματος. Η παραδοχή αυτή δεν ισχύει πάντα όπως χαρακτηριστικά συμβαίνει στις περιπτώσεις των ξύλινων κατασκευών, όπου συνήθως προϋπάρχουν αρχικές τάσεις, που οφείλονται στη μη ομοιόμορφη ξήρανση του ξύλου.

Εκτός των παραπάνω, μία γενική παραδοχή της αντοχής των υλικών είναι, ότι οι προκαλούμενες παραμορφώσεις του σώματος είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με τις διαστάσεις του. Με βάση την παραδοχή αυτή ισχύουν οι

εξισώσεις στατικής ισορροπίας που διατυπώνονται για το αρχικά μη παραμορφωμένο σώμα. Μία ακόμη παραδοχή της αντοχής των υλικών, που είναι γνωστή και σαν αρχή Saint Venant, είναι η εξής: τα στατικά ισοδύναμα συστήματα, επιφέρουν ίδιες τάσεις και παραμορφώσεις σε ικανοποιητική απόσταση από την περιοχή εφαρμογής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1. ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Είναι οι μέθοδοι εκείνες στις οποίες είναι αναγκαία για το χαρακτηρισμό του υλικού, η απόσπαση από αυτό δείγματος καθορισμένων διαστάσεων. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

2.1.1. Οπτική μικροσκοπία

Είναι εδώ και δεκαετίες μια πολύ σημαντική μέθοδος παρατήρησης και ερμηνείας της μικροδομής των υλικών, που αποτελεί το βασικό αντικείμενο της μεταλλογραφίας. Η πηγή ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται είναι συνήθως λευκό φως, η διακριτική ικανότητα είναι περίπου 200 nm και βάθος πεδίου της ίδιας περίπου τάξης μεγέθους.

2.1.2. Μικροσκοπία LASER

Οι δύο βασικές τεχνικές της μικροσκοπίας laser που ξεχωρίζουν είναι:

- **Μικροσκοπία σάρωσης με δέσμη laser.** Κατά τη μέθοδο αυτή η επιφάνεια του δοκιμίου σαρώνεται από δέσμη laser, εστιασμένης, μέσω ενός αντικειμενικού φακού. Η εικόνα ή και άλλα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του υλικού αναπαράγονται ηλεκτρονικά, προσφέροντας τη δυνατότητα υψηλής ανάλυσης σε σχέση με τη συνήθη οπτική μικροσκοπία.
- **Μικροσκοπία Raman.** Η μικροσκοπία Raman αποτελεί μία σημαντική τεχνική ανάλυσης στερεών σωμάτων βασισμένη στο ομώνυμο φαινόμενο Raman. Το φαινόμενο αυτό είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας.

2.1.3. Ακουστική μικροσκοπία

Οι ακουστικές μέθοδοι βασίζονται στην ικανότητα διείσδυσης ηχητικών κυμάτων σε οπτικώς μη διαπερατά υλικά. Αποτέλεσμα της διεισδυτικής ικανότητας των ηχητικών κυμάτων οδηγεί στη συλλογή πληροφοριών για τη δομή και τις ιδιότητες των επιφανειακών στρωμάτων του υλικού. Η ακουστική μικροσκοπία σάρωσης, που είναι η κυριότερη τεχνική της ακουστικής μικροσκοπίας χρησιμεύει στην εξέταση των μικροδομών, των επιφανειακών στρωμάτων και της εντασιακής-παραμορφωσιακής κατάστασης του υλικού σε κάποιο ορισμένο βάθος κάτω από την αρχική επιφάνεια.

2.1.4. Φωτοηλεκτρονική φασματοσκοπία ακτίνων-Χ

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί φωτόνια για τον ιονισμό των επιφανειακών ατόμων των υπό εξέταση υλικών. Η ενέργεια των εξαγόμενων ηλεκτρονίων ανιχνεύεται και μετράται.

2.1.5. Ηλεκτρονική μικροσκοπία

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- **Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.** Σ' αυτή την κατηγορία η στήλη παραγωγής και εστίασης της δέσμης ηλεκτρονίων, λειτουργεί σε κενό. Η πηγή ηλεκτρονίων που λειτουργεί σε μία περιοχή τάσεων από 0-30 kv δημιουργεί δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία διερχόμενη μέσω μιας σειράς μαγνητικών φακών, επιταχύνεται, συγκεντρώνεται και εστιάζεται πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου.
- **Ηλεκτρονική μικροσκοπία διερχόμενης δέσμης.** Σε ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης, η δέσμη των ηλεκτρονίων παράγεται από θερμαινόμενο νήμα βολφραμίου στο πάνω μέρος μιας στήλης που λειτουργεί κάτω από συνθήκες κενού.

2.1.6. Ηλεκτρονική μικροανάλυση

Η τεχνική αυτή είναι συνήθως εφοδιασμένη με το κατάλληλο μικροσκόπιο για την παρατήρηση της αναλυόμενης επιφάνειας. Το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας βοηθά στον προσδιορισμό του στοιχείου και η ένταση αυτής στον ποσοτικό του προσδιορισμό. Με τη μετατόπιση της δέσμης ηλεκτρονίων πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου, μπορεί να πραγματοποιηθεί η λεγόμενη χαρτογράφηση της επιφάνειας μέσω των ακτίνων Χ όπου με τη βοήθεια ειδικών φίλτρων ανιχνεύεται η χαρακτηριστική ακτινοβολία κάποιου στοιχείου.

2.1.7. Φασματοσκοπία AUGER

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μέτρηση της ενέργειας των ομώνυμων ηλεκτρονίων που είναι χαρακτηριστική για το είδος του στοιχείου. Η φασματοσκοπία Auger έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα και χρησιμοποιείται για τη ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της μικροδομής ή και της επιφάνειας των υλικών.

2.1.8. Περίθλαση ακτίνων-Χ

Η περίθλαση ακτίνων-Χ είναι μια διαδικασία εκπομπής ακτίνων-Χ κάτω από ορισμένες συνθήκες αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας. Η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ είναι η βασικότερη τεχνική ανάλυση της κρυσταλλικής δομής και χαρακτηρισμού υλικών, τόσο σε ερευνητικές όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα η ποιοτική και η ποσοτική ανάλυση φάσεων κυρίως σε μεταλλικά και κεραμικά υλικά, καθώς επίσης ο προσδιορισμός της κρυσταλλικότητας πολυμερών και ταχέως στερεοποιημένων μετάλλων αλλά και ανίχνευση κρυσταλλογραφικού ιστού είναι μερικές από τις πιο βασικές εφαρμογές της περίθλασης Χ.

2.1.9. Περίθλαση ηλεκτρονίων

Η τεχνική της περίθλασης ηλεκτρονίων βασίζεται στη δυαδική φύση των ηλεκτρονίων, δηλαδή στο δισυπόστατο χαρακτήρα του ηλεκτρονίου ως υλικό σωματίδιο και ως φωτόνιο ταυτόχρονα. Η περίθλαση ηλεκτρονίων βοηθά στη λεπτομερή ανάλυση και ερμηνεία της κρυσταλλικής δομής των φάσεων και συστατικών των υλικών κατά την παρατήρησή τους στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διερχόμενης δέσμης.

2.1.10. Διαφορική θερμική ανάλυση

Βασίζεται στη χρονική εξέλιξη της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του δείγματος αναφοράς και υπό εξέταση δείγματος, με τη βοήθεια ενός διαφορικού θερμοστοιχείου τύπου Pt/Pt-Rh, όταν και τα δυο δείγματα θερμαίνονται υπό σταθερό ρυθμό.

2.1.11. Διαφορική θερμιδομετρική ανίχνευση

Είναι παρόμοια με τη παραπάνω μέθοδο, αλλά μόνο που τώρα καταγράφεται η χρονική εξέλιξη της ροής θερμότητας προς το εξεταζόμενο δείγμα, έτσι ώστε η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αυτού και του δείγματος αναφοράς να είναι μηδενική, για ένα συγκεκριμένο θερμοκρασιακό εύρος σάρωσης.

2.1.12. Θερμοβαρυτική ανάλυση ή ανάλυση με θερμοζυγό

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη μέτρηση των αλλαγών βάρους της μετασχηματιζόμενης ουσίας σε συνάρτηση με το χρόνο, για ένα συγκεκριμένο

θερμοκρασιακό εύρος εξέτασης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να προσδιοριστεί η χημική σύσταση και η αναλογία των φάσεων σε κάποιο στερεό δείγμα και να μελετηθεί η κινητική μετασχηματισμού των φάσεων.

2.2. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ως μη καταστροφικές δοκιμές ελέγχου θεωρούνται αυτές που η εφαρμογή τους δεν επηρεάζει την ακεραιότητα ή τη λειτουργικότητα των προς έλεγχο αντικειμένων. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη παραγωγική διαδικασία, γιατί βοηθούν στη διάγνωση των καίριων ελαττωμάτων του προϊόντος και οδηγούν στη βελτιστοποίηση των συνθηκών κατασκευής τους.

2.2.1. Ραδιογραφία

Η ραδιογραφία είναι η μέθοδος ελέγχου των υλικών με τη βοήθεια κάποιας πηγής ακτίνων-Χ ή ακτίνων-γ, οι οποίες λόγω του μικρού μήκους κύματος έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα και έτσι επιτρέπουν την εξέταση υλικών μεγάλου σχετικά πάχους.

2.2.2. Έλεγχος με μαγνητικά σωματίδια

Είναι μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ασυνεχειών μέσα σε σιδηρομαγνητικά υλικά και κυρίως, σε χάλυβες. Η μέθοδος μπορεί να βοηθήσει στη διάγνωση επιφανειακών ατελειών, που δεν διακρίνεται με γυμνό μάτι, καθώς και ατελειών σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια, μετά από θερμικές κατεργασίες ή συγκολλήσεις.

2.2.3. Έλεγχος με φθορίζοντα-διεισδυτικά υγρά

Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη χρήση κατάλληλων υγρών, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλη διεισδυτική ικανότητα λόγω της υψηλής τιμής της επιφανειακής τους τάσης. Είναι μια αρκετή ευαίσθητη μέθοδος για τον εντοπισμό των επιφανειακών ατελειών σε διάφορα υλικά μαγνητικά και μη. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση επιφανειακών ελαττωμάτων χυτών και συγκολλητών κατασκευών, καθώς επίσης και έπειτα από επιφανειακές κατεργασίες και κατεργασίες κοπής.

2.2.4. Έλεγχος με υπερήχους

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον εντοπισμό εσωτερικών ατελειών, ρωγμών, πόρων, εγκλεισμάτων αλλά και διεπιφανειακών αστοχιών επιστρώματος. Επίσης, η μέθοδος αυτή είναι γρήγορη και πολύ αξιόπιστη για τον εντοπισμό εσωτερικών ατελειών κυρίως σε χυτές και συγκολλητές κατασκευές.

2.2.5. Έλεγχος με δινορρεύματα

Ο έλεγχος με τη βοήθεια δινορρευμάτων, γίνεται με την παραγωγή μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου, λόγω εφαρμογής εναλλασσόμενης τάσης σε πρωτεύον πηνίο, μέσα στο οποίο βρίσκεται το προς εξέταση δοκίμιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

Εφελκυσμός είναι το φαινόμενο εκείνο που το δοκίμιο τείνει αρχικά να μηκυνθεί (αυξήσει το μήκος του) και μετά πιθανώς να διασπαστεί (υποστεί θραύση) υπό την επενέργεια δυο ίσων και αντιθέτων δυνάμεων που επενεργούν στα αντίθετα άκρα του ή υπό την επενέργεια μιας δύναμης που επενεργεί στο ένα άκρο όταν το άλλο άκρο είναι πακτωμένο (σταθερά συνδεδεμένο) με κάποιο σώμα.

3.1.1. Νόμος του Hooke

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι για πρισματικές ράβδοι υποβαλλόμενες σε μονοαξονικό εφελκυσμό εντός της περιοχής της ελαστικής συμπεριφοράς των υλικών, ο Hooke παρατήρησε ότι, η επιμήκυνση Δl της ράβδου ήταν ανάλογη τόσο προς την εφελκύουσα δύναμη P , όσο και προς το αρχικό μήκος της l και αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού της διατομής F .

Η πλήρης μαθηματική διατύπωση του νόμου του Hooke είναι η εξής:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}$$

Ο νόμος του Hooke που δίνεται από την παραπάνω εξίσωση ισχύει επακριβώς εφόσον πληρούνται οι παρακάτω παραδοχές:

- Ο άξονας της ράβδου είναι ευθύγραμμος.
- Η δύναμη δρα στη διεύθυνση του άξονα της ράβδου και το σημείο εφαρμογής της είναι το κέντρο βάρους της διατομής.
- Οι τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα στη διατομή.
- Στα θλιβόμενα μέρη δεν υπάρχει κίνδυνος λυγισμού.

- Όλες οι κατά μήκος ίνες της ράβδου επιμηκύνονται το ίδιο.
- Οι διατομές που είναι αρχικά επίπεδες και κάθετες στον άξονα της ράβδου παραμένουν έτσι και μετά την παραμόρφωση.
- Οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι μικρότερες από την τάση αναλογίας σ_A του υλικού.

Δηλαδή ο νόμος του Hooke ισχύει μόνο **εντός της γραμμικά ελαστικής περιοχής** του διαγράμματος σ - ϵ που φαίνεται παρακάτω.

Με την παραδοχή που προαναφέραμε, ότι οι αναπτυσσόμενες ορθές τάσεις σε μια τυχαία διατομή της ράβδου κατανέμονται ομοιόμορφα σε αυτήν και αν αμελήσουμε το ίδιο βάρος της η ορθή τάση σ είναι $\sigma = P/F$, η δε ανηγμένη παραμόρφωση ϵ από τη σχέση ορισμού της είναι $\epsilon = \Delta l/l$.

Οπότε λαμβάνοντας υπόψη τις δυο προηγούμενες εξισώσεις, ο νόμος του Hooke γράφεται και με την εξής απλούστερη μορφή $\sigma = \epsilon \times E$.

3.1.2. Η ΤΑΣΗ ΚΑΙ Η ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Η τάση εφελκυσμού δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Όπου F είναι το στιγμιαίο εφαρμοζόμενο, κάθετα στην επιφάνεια του υλικού, φορτίο σε Newtons και A_0 είναι η αρχική, πριν την εφαρμογή του φορτίου, επιφάνεια της κάθετης τομής του δοκιμίου, σε m^2 . Η τάση έχει μονάδες σε Megapascal (MPa), $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$.

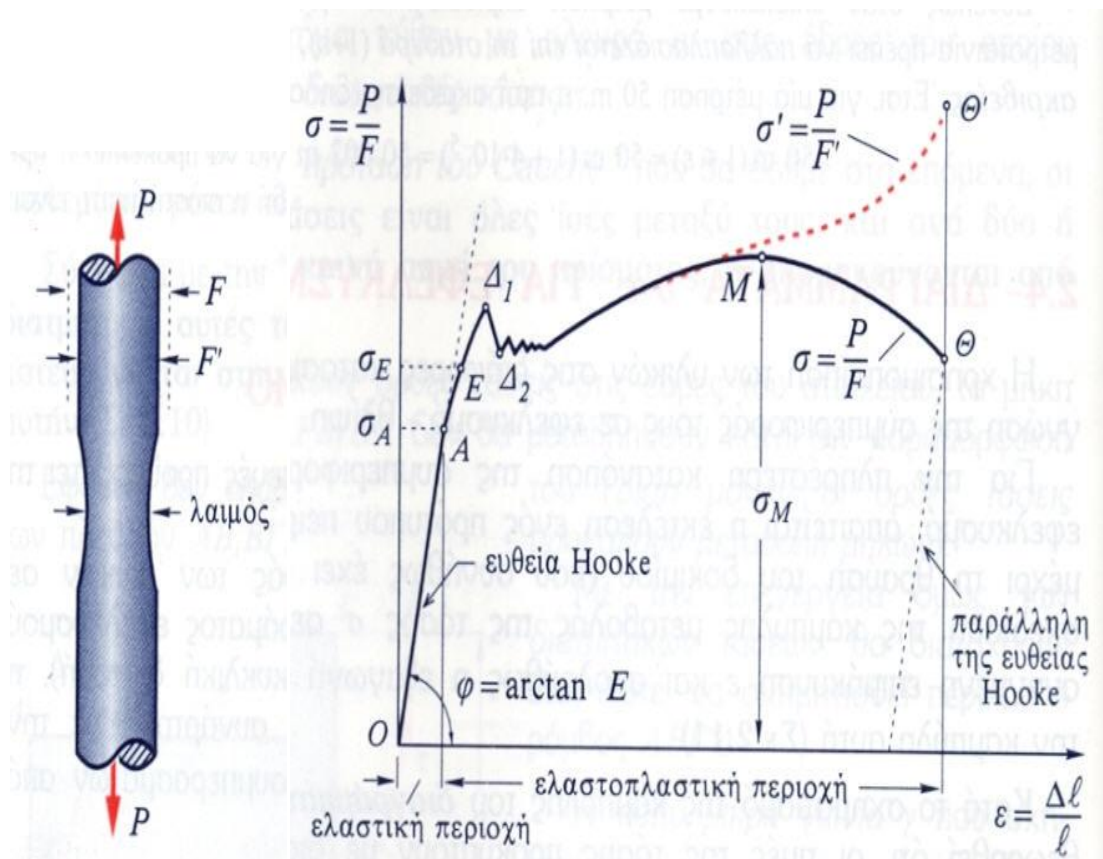
Η παραμόρφωση ορίζεται ως το πηλίκο της επιμήκυνσης ως προς το αρχικό μήκος του υλικού:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Όπου l είναι το μήκος του υλικού πριν την εφαρμογή του φορτίου και Δl είναι η επιμήκυνση. Η παραμόρφωση όπως ορίστηκε είναι αδιάστατο μέγεθος, ενώ μερικές φορές εκφράζεται και σε ποσοστό %.

3.2. ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΑΣΗΣ-ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Κατά το σχηματισμό της καμπύλης του **διαγράμματος του εφελκυσμού** έχει θεωρηθεί ότι, οι τιμές της τάσης προκύπτουν με διαίρεση του αξονικού φορτίου P που επιβάλλεται δια του αρχικού εμβαδού F της διατομής ($\sigma = P/F$), ενώ η παραμόρφωση ε ως λόγος της μεταβολής του μήκους Δl του δοκιμίου δια του αρχικού του μήκους l .



Σχ.3.1. Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων σε εφελκυσμό για το χάλυβα

Στο πρώτο τμήμα του διαγράμματος, από Ο ως το Α, παρατηρείται μία **γραμμική σχέση μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης**. Η σχέση που συνδέει τις τάσεις και τις παραμορφώσεις είναι $\sigma = \varepsilon \times E$, δηλαδή ο νόμος του Hooke.

Ο συντελεστής αναλογίας E είναι το **μέτρο ελαστικότητας** ή **μέτρο Young** του υλικού και έχει μονάδες τάσης. Πειραματικά το μέτρο ελαστικότητας προσδιορίζεται από το πηλίκο σ/ε , που αντιστοιχεί σε οποιοδήποτε σημείο της **περιοχής των ελαστικών παραμορφώσεων** (ΟΑ) ή από την εφαπτόμενη της γωνίας φ . Η τάση σ_A που αντιστοιχεί στο σημείο Α ονομάζεται **όριο αναλογίας** του υλικού. Δηλαδή, το σημείο Α αποτελεί και **το όριο μέχρι του οποίου, ισχύει η γραμμική ελαστικότητα**.

Η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στο σημείο Α, ενώ η σχέση τάσης-παραμόρφωσης δε συνεχίζει να είναι γραμμική, το υλικό εξακολουθεί μέχρι ενός σημείου Ε να συμπεριφέρεται ελαστικά, δηλαδή αν αποφορτιστεί επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις. Η περιοχή (ΑΕ) χαρακτηρίζεται σαν **περιοχή μη γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς του υλικού** και η τάση σ_E που αντιστοιχεί στο σημείο Ε λέγεται **όριο ελαστικότητας**.

Πέρα από το σημείο Ε ακολουθεί μία **ασταθής περιοχή** ($E\Delta_1\Delta_2$) που χαρακτηρίζεται από αύξηση της παραμόρφωσης χωρίς αντίστοιχη σημαντική αύξηση της τάσης. Στην περιοχή αυτήν είναι δυνατόν το δοκίμιο να αυξήσει την επιμήκυνση του δέκα ως δεκαπέντε φορές περισσότερο από την αύξηση που αντιστοιχούσε στο όριο ελαστικότητας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διαρροή** του υλικού.

Αναλυτικότερα, σε αυτήν την περιοχή παρατηρείται αρχικά πως με την αύξηση των ανοιγμένων επιμηκύνσεων, οι ορθές τάσεις αυξάνουν δυσανάλογα μέχρι τη τάση που αντιστοιχεί στο σημείο Δ_1 που ονομάζεται **ανώτατο όριο διαρροής**. Μετά από αυτό, και ενώ οι ανοιγμένες

επιμηκύνσεις εξακολουθούν πάντα να αυξάνουν, οι ορθές τάσεις μικραίνουν φτάνοντας την ελάχιστη τάση επιρροής που αντιστοιχεί στο σημείο Δ_2 και ονομάζεται **κατώτερο όριο διαρροής**.

Η παρατήρηση των δύο ορίων είναι δυνατή κατά την εκτέλεση πειράματος ακρίβειας, διαφορετικά τα σημεία E, Δ_1 , Δ_2 είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν μεταξύ τους η περιοχή ($E\Delta_1\Delta_2$) φαίνεται σαν ένα ευθύγραμμο τμήμα παράλληλο προς τον άξονα των παραμορφώσεων μέσα στο οποίο και για τη περίπτωση του χάλυβα ενώ η τάση παραμένει σταθερή η παραμόρφωση αυξάνει από 0,12% σε 2%. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής αλλά και αιτία της διαρροής είναι η εμφάνιση της επιφάνειας του δοκιμίου ορατών λεπτών λωρίδων (γραμμών) που είναι κεκλιμένες κατά 45° ως προς τον άξονα του δοκιμίου. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται **γραμμές Luders** και η εμφάνιση τους αποδεικνύει ότι η **διαρροή του υλικού οφείλεται σε αστοχία του υλικού σε διάτμηση**.

Ο προσανατολισμός των γραμμών Luders εξηγείται θεωρητικά γιατί οι μέγιστες διατμητικές τάσεις εμφανίζονται στα επίπεδα που είναι κεκλιμένα κατά 45° ως προς τον άξονα του δοκιμίου. Εξακολουθώντας τη φόρτιση στο δοκίμιο πέρα από το σημείο Δ_2 , παρατηρείται μία αύξηση της παραμόρφωσης μέχρι ενός σημείου M. Η αύξηση της τάσης στην περιοχή (Δ_2M) γίνεται με μικρότερο ρυθμό από εκείνο της ελαστικής περιοχής (OA) ώστε το αντίστοιχο τμήμα της καμπύλης να εμφανίζεται με πλατυσμένο και στρέφοντας τα κοίλα προς τα κάτω. Στην περιοχή (Δ_2M) θα μπορούσαμε να πούμε ότι το υλικό επανακτά μέρος της ελαστικής του συμπεριφοράς. Η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή κράτυνσης του υλικού και η μέγιστη τάση σ_M στο σημείο M χαρακτηρίζεται σαν όριο αντοχής ή όριο θραύσης του υλικού, δηλαδή το $\sigma_M = P_{max}/F$.

Πέρα από το M παρατηρείται μία πτώση της τάσης ενώ η παραμόρφωση εξακολουθεί να αυξάνει μέχρι του σημείου Θ όπου το υλικό σπάει απότομα. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο Θ ονομάζεται **τάση θραύσης σε εφελκυσμού του υλικού**.

Χαρακτηριστικό της περιοχής $M\Theta$ είναι ότι λίγο μετά το όριο θραύσης M , το δοκίμιο παρουσιάζει **λαιμό** δηλαδή παρατηρείται μία ορατή ελάττωση της διατομής στο μέσον του δοκιμίου.

Ένα σημείο που πρέπει να επισημανθεί είναι ότι στο διάγραμμα εφελκυσμού (Σχ.3.1.) έχει σχεδιαστεί η **συμβατική τάση** σ , δηλαδή η δύναμη P ανά μονάδα επιφάνειας της αρχικής διατομής F του δοκιμίου, σαν συνάρτηση της προκαλούμενης παραμόρφωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη την ελάττωση της επιφάνειας της διατομής του δοκιμίου, σε συνάρτηση με την πραγματική παραμόρφωση, προκύπτει η **πραγματική τάση** $\sigma' = P/F'$, οι τιμές της οποίας αποτελούν, την καμπύλη που παριστάνεται με διακεκομμένη γραμμή στο (Σχ.3.1.).

Στην καμπύλη αυτή φαίνεται ότι η τάση θραύσης είναι η μέγιστη τάση που παρατηρείται, ενώ το M από σημείο μέγιστης τάσης μετατρέπεται σε σημείο καμψής. Στην πράξη όμως, συντίθεται ο υπολογισμός της τάσης με βάση την αρχική διατομή του δοκιμίου.

3.3. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ

Οι μηχανικές ιδιότητες και τα βασικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στο σχήμα 3.1. είναι τα εξής:

Όριο αναλογίας. Η σχέση σ - ϵ , όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (Σχ.3.1.), είναι γραμμική μέχρι το όριο αναλογίας, διατηρώντας σταθερή κλίση, που αντιστοιχεί στο μέτρο ελαστικότητας E του Young για το υλικό. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι το σημείο αυτό το δοκίμιο συμπεριφέρεται τελείως ελαστικά, ακολουθώντας το νόμο του Hooke.

Όριο διαρροής. Το διάγραμμα σ - ϵ , περνώντας το όριο αναλογίας, παύει να είναι ευθύγραμμο και να είναι καμπύλο, που σημαίνει πως η παραμόρφωση, που ήταν προηγούμενα ελαστική έχει γίνει πλέον πλαστική. Στο διάγραμμα (Σχ.3.1.) παρατηρούμε για το όριο διαρροής, πως ενώ η τάση παραμένει σταθερή, η αντίστοιχη ανοιγμένη επιμήκυνση παρουσιάζει σημαντική αύξηση.

Αντοχή διαρροής. Το σημείο διαρροής για όλα τα υλικά δεν είναι εμφανές, ώστε να απαιτείται ο συμβατικός προσδιορισμός του με τιμή τάσης που αντιστοιχεί σε πλαστική (ανηγμένη) παραμόρφωση συνήθως 0,1-0,2%, όπως φαίνεται και στο (Σχ.3.1.). Στο σημείο Δ του διαγράμματος αντιστοιχεί τότε η αντοχή διαρροής.

Τάση διαρροής. Είναι η τάση που αντιστοιχεί στο όριο διαρροής όπως ορίστηκε παραπάνω.

Αντοχή εφελκυσμού. Περνώντας από τη πλαστική περιοχή, το δοκίμιο εμφανίζει αντίσταση, ενώ αυξάνει η φόρτιση και θεωρούμε ότι βρίσκεται στη περιοχή κράτυνσης, ώσπου να φτάσει στη μέγιστη, ή οριακή αντοχή, η οποία καθορίζει την αντοχή σε εφελκυσμό του δοκιμίου και βρίσκεται στη κορυφή του καμπύλου τμήματος του διαγράμματος (Σχ.3.1.). Ακολούθως, η καμπύλη κατεβαίνει καταγράφοντας μείωση τάσεων τη στιγμή που στο μέσο του δοκιμίου σχηματίζεται λαιμός, ώστε να επέλθει θραύση στο σημείο αυτό.

Ολκιμότητα. Είναι η ικανότητα ενός υλικού που υπόκειται σε μεγάλες και μόνιμες πλαστικές παραμορφώσεις, οι οποίες εμφανίζονται μεταξύ των ορίων αναλογίας και θραύσης. Η ολκιμότητα παρέχει τη δυνατότητα και αποτελεί τη βάση του πλαστικού σχεδιασμού των κατασκευών.

Ψαθυρότητα. Αντίθετα υπάρχουν υλικά που παρουσιάζουν την ιδιότητα της ψαθυρότητας δηλαδή θραύονται χωρίς να διαρρεύσουν προηγούμενα ενώ οι παραμορφώσεις που εμφανίζουν μέχρι τη θραύση τους είναι πολύ μικρές συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των όλκιμων.

Μέτρα ελαστικότητας. Ο λόγος της τάσης προς την ανηγμένη επιμήκυνση στο αρχικό ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος σ-ε καλείται μέτρο ελαστικότητας, ή μέτρο Young και συμβολίζεται με E ελαττώνεται με τη αύξηση της θερμοκρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ

Ο πολυεστέρας είναι μια ρητίνη μελιού. Έχει δηλαδή την ίδια περίπου ρευστότητα με το μέλι. Το χρώμα του είναι ανοιχτόχρωμο και όταν περιέχει επιταχυντή γίνεται μπλε. Η ευρεία χρήση του οφείλεται στο λογικό κόστος του, στην ευκολία παρασκευής του και στην ευκολία στη χρήση του. Τέλος είναι αρκετά επιβλαβής στην υγεία του ανθρώπου.

4.2. ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ

- ❖ Επισκευές σκαφών αναψυχής
- ❖ Επισκευές πολυεστερικών δεξαμενών
- ❖ Επισκευές σε προφυλακτήρες αυτοκινήτων
- ❖ Μοντελισμός / αερομοντελισμός
- ❖ Στεγανοποιήσεις σε ζαρντινιέρες

4.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ

4.3.1. Χημικές ιδιότητες

Γενικώς τα ενισχυμένα πλαστικά έχουν υψηλές χημικές αντοχές. Χαμηλές αντοχές έχουν οι πολυεστέρες γενικής χρήσης στα ισχυρά αλκάλια (βάσεις) και σε ορισμένα ισχυρά οξέα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούμε ειδικού τύπου πολυεστέρες όπως τους βινυλεστέρες.

4.3.2. Φυσικές ιδιότητες

Ο πολυεστέρας παρουσιάζει αρκετά υψηλή συρρίκνωση. **Μέση συρρίκνωση:** 7-8%.

Η θερμική αγωγιμότητά του είναι μικρή. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητάς του κυμαίνεται περίπου στα 0,18 – 0,19 W/m · k.

Οι αντοχές σε υψηλές θερμοκρασίες είναι σχετικά μικρές. Για τους γενικής χρήσης ενισχυμένους πολυεστέρες οι θερμοκρασίες συνεχούς έκθεσης πρέπει να είναι μικρότερες των 110° C.

4.3.3. Μηχανικές ιδιότητες

Οι θλιπτικές, εφελκυστικές και καμπτικές αντοχές των ενισχυμένων πολυεστέρων παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά ανάλογα:

- ❖ με το είδος του οπλισμού: π.χ. mat, woven roving κλπ.
- ❖ με το ποσοστό του οπλισμού
- ❖ με τον προσανατολισμό των ινών του οπλισμού (διαξονικοί, τριαξονικοί οπλισμοί κλπ.).

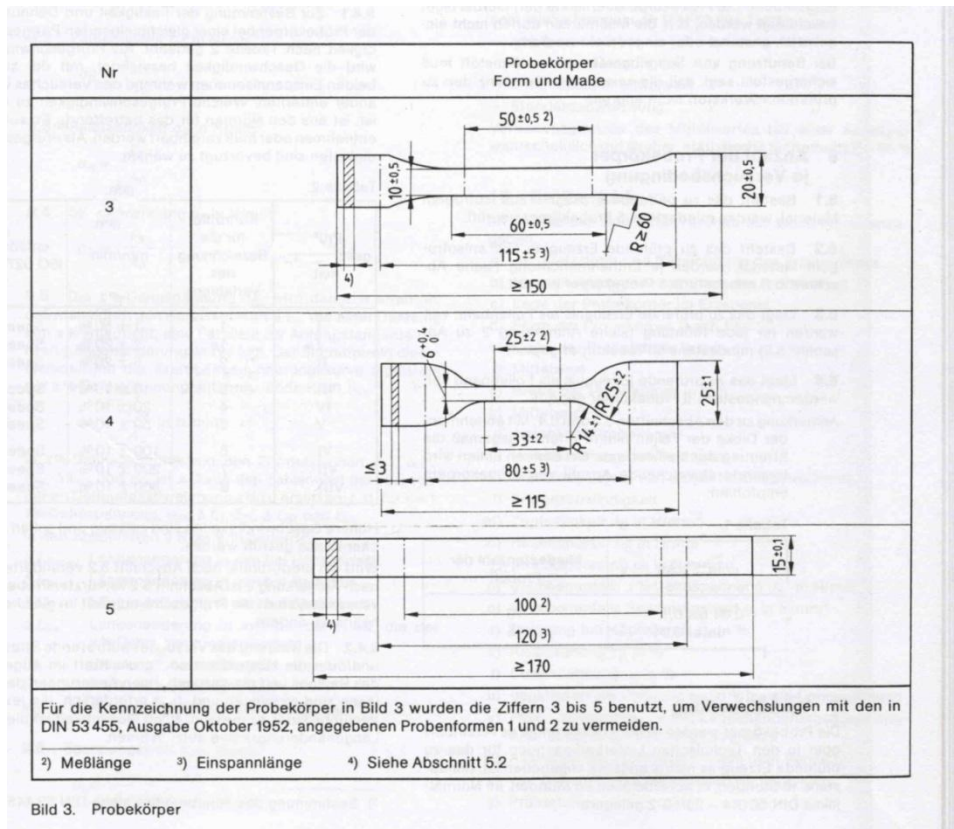
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1. ΙΔΕΕΣ-ΣΚΕΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του πολυεστέρα με εφελκυσμό, είναι απαραίτητο να κατασκευάσουμε κάποια δοκίμια που θα χρησιμοποιήσουμε για την εκτέλεση των πειραμάτων μας. Θα πρέπει τα δοκίμια που θα χρησιμοποιηθούν κατά την πειραματική διαδικασία να έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ποιότητα επιφάνειας, από κάποιο κανονισμό.

Λόγω της υγρής κατάστασης του πολυεστέρα, για την κατασκευή των δοκιμίων πρέπει πρώτα να κατασκευάσουμε ένα καλούπι. Το υλικό του καλουπιού πρέπει να είναι τέτοιο που να μην συγκολλιέται μόνιμα με τον πολυεστέρα μετά την στερεοποίηση του, και να μας δίνει την δυνατότητα εύκολης αφαίρεσης του δοκιμίου. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη την θέση εισόδου του υγρού πολυεστέρα στο καλούπι, για να αποφύγουμε εγκλωβισμούς φυσαλίδων αέρα μέσα στα δοκίμια, με αποτέλεσμα την διαφορετική αντοχή του κάθε δοκιμίου και τα λανθασμένα αποτελέσματα των πειραμάτων. Πολύ σημαντικό είναι το τελικό προϊόν που στην περίπτωση μας είναι τα δοκίμια, να έχουν τις διαστάσεις, αλλά και ποιότητα επιφάνειας όπως μας την ορίζει ο αντίστοιχος κανονισμός.

Τις πληροφορίες που αφορούν την γεωμετρία του δοκιμίου τις αντλήσαμε από την εικόνα 5.1. που φαίνεται παρακάτω. Η εικόνα είναι μέρος από το DIN 53455 και αφορά την μορφή που μπορεί να έχει το δοκίμιο, και εξαρτάτε από το πάχος, και το μήκος του υλικού που θέλουμε να μετρήσουμε πειραματικά.



Εικόνα 5.1.

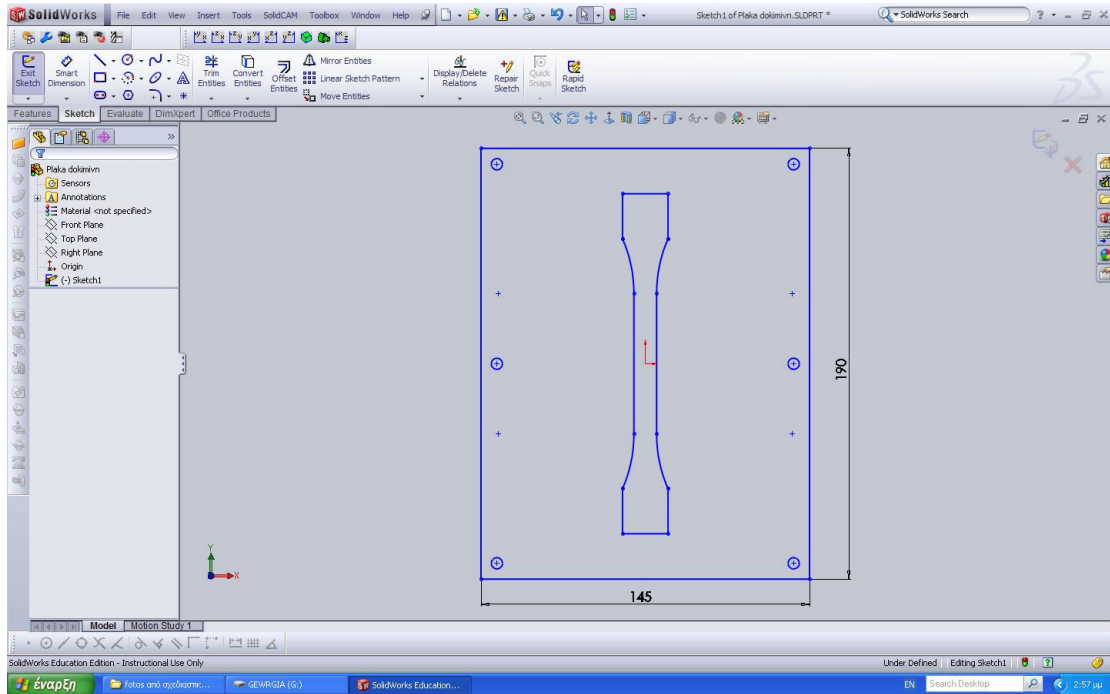
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Για την σχεδίαση του καλουπιού μας χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα **Solid works 2009**. Ποιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε το **solid works** για την σχεδίαση της γεωμετρίας, και το **solid cam** για την δημιουργία του κώδικα G με τον οποίο κάναμε την κατεργασία του καλουπιού.

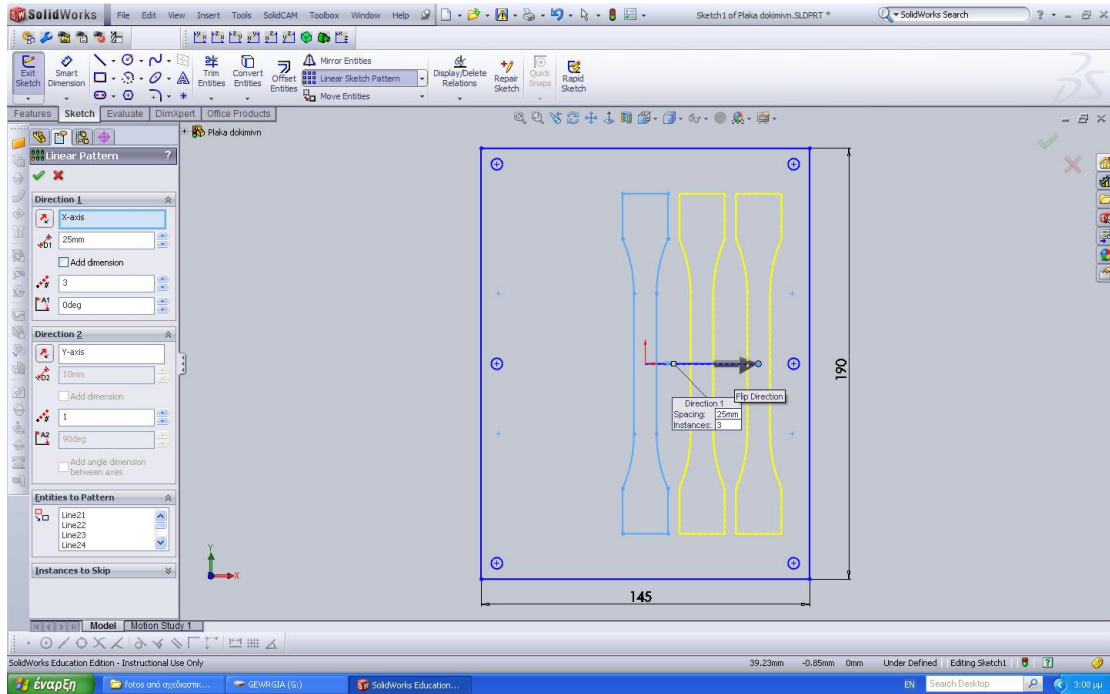
Αρχική ιδέα ήταν να δημιουργήσουμε ένα καλούπι από το οποίο μετά από κάθε χύτευση πολυεστέρα θα παίρναμε και ένα δοκίμιο. Γρήγορα αυτή η ιδέα άλλαξε γιατί για την κατασκευή του κάθε δοκιμίου μία ποσότητα από τον πολυεστέρα, αλλά και μια σύριγγα έπρεπε να πεταχτεί. Στο καλούπι έπρεπε να προσαρμόσουμε μία έξοδο για τον αέρα, ώστε κατά την χύτευση να μην υπάρχει καθόλου εγκλωβισμένος αέρας, που θα μείωνε πάρα πολύ την αντοχή του δοκιμίου. Και τέλος ο χρόνος για την κατασκευή όλων των δοκιμίων θα ήταν αρκετά μεγάλος.

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν καταλήξαμε στην δημιουργία ενός καλουπιού από το οποίο θα παίρνουμε πέντε δοκίμια μετά από κάθε χύτευση. Έτσι ο χρόνος είναι πολύ μικρότερος, τα δοκίμια είναι κατασκευασμένα σαν συγκοινωνούντα δοχεία οπότε ο αέρας μπορεί να φύγει κατά την χύτευση, έχουμε λιγότερα αναλώσιμα, και ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι τα πέντε δοκίμια προέρχονται από την ίδια χύτευση. Συνεπώς έχουν ακριβώς την ίδια σύσταση, και έχουν στερεοποιηθεί με τις ίδιες συνθήκες.



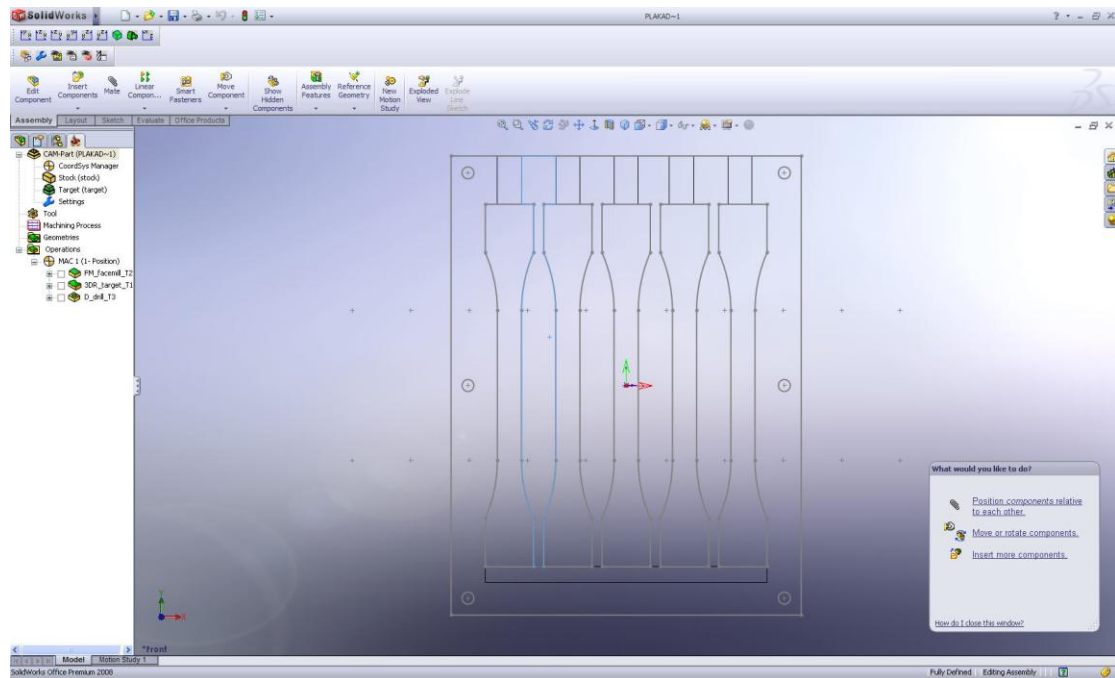
Εικόνα 6.1.

Στην παραπάνω εικόνα **6.1.** βλέπουμε το περιβάλλον σχεδίασης του λογισμικού solid works σε δύο διαστάσεις. Στην αρχή σχεδιάσαμε ένα ορθογώνιο το οποίο και έχει διαστάσεις ανάλογες με την πλάκα που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή του καλουπιού. Οι πλάκες αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για το καλούπι είναι από τεφλόν και προϋπήρχαν στο εργαστήριο εργαλειομηχανών με διαστάσεις 145 mm πλάτος, 190 mm ύψος και 30 mm πάχος. Ακόμη βλέπουμε τις έξι οπές που περνούν οι κοχλίες για την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση του καλουπιού. Τέλος στο κέντρο της πλάκας, στο σύστημα συντεταγμένων σχεδιάσαμε το περίγραμμα του δοκιμίου με βάση το DIN 53455 που χρησιμοποιήσαμε.



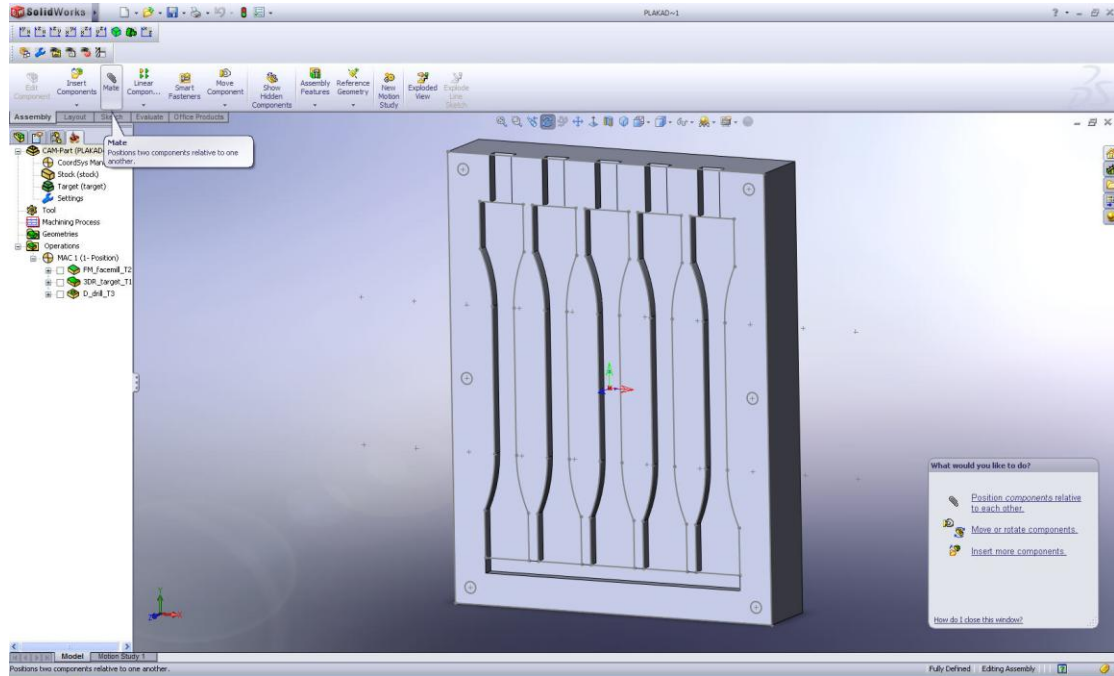
Εικόνα 6.2.

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης του δοκιμίου στο κέντρο της πλάκας όπως φαίνεται παραπάνω εικόνα 6.2. χρησιμοποιήσαμε την εντολή της αντιγραφής και δημιουργήσαμε αντίγραφα σε ίδιες αποστάσεις. Συνολικά έχουμε δημιουργήσει τέσσερα αντίγραφα, δύο αριστερά του αρχικού, και δύο στα δεξιά. Σημαντικό είναι να προσέξουμε τις αποστάσεις μεταξύ των δοκιμίων. Η ελάχιστη απόσταση καλό είναι να μην είναι ποιο μικρή από 3-4mm, γιατί κατά την κατεργασία μπορεί το τεφλόν να παραμορφωθεί από τις δυνάμεις κοπής, αλλά και από την αύξηση της θερμοκρασίας. Άλλος ένας λόγος που δεν πρέπει να είναι πολύ κοντά τα δοκίμια, είναι η στεγανότητα μεταξύ τους. Σε περίπτωση μικρής απόστασης υπάρχει πιθανότητα ο πολυεστέρας να διαπεράσει την επιφάνεια που τα απομονώνει μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα πειράματα, λόγω αλλαγής της γεωμετρίας τους.



Εικόνα 6.3.

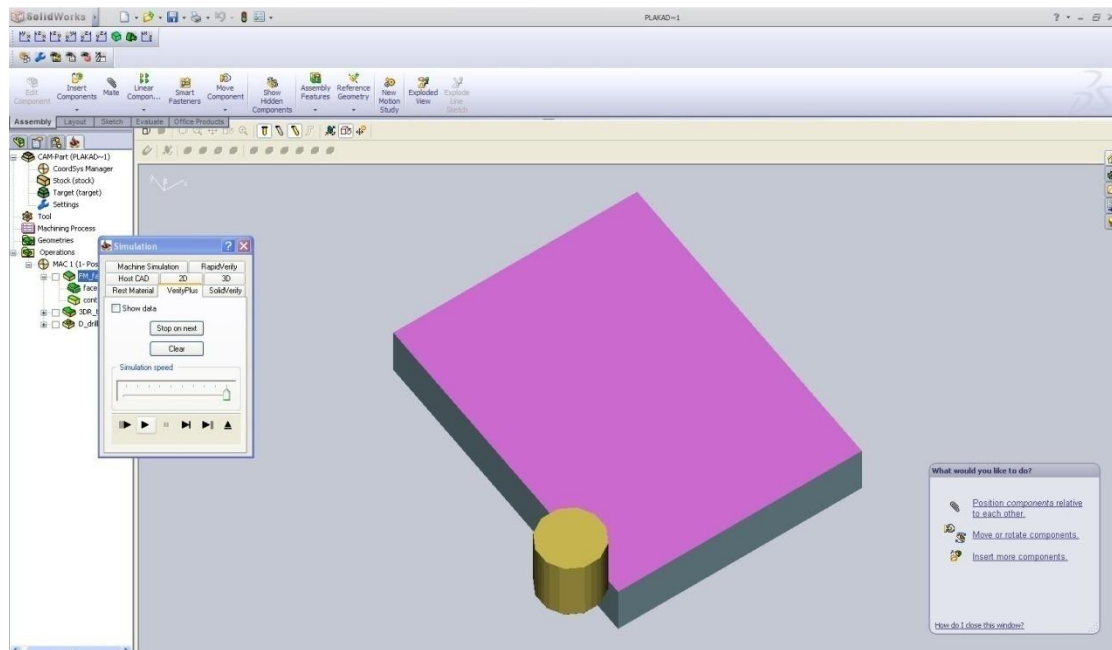
Στην παραπάνω εικόνα **6.3.** βλέπουμε ολοκληρωμένο το σχέδιο μας σε δύο διαστάσεις. Παρατηρούμε ότι στο κάτω μέρος του καλουπιού έχει δημιουργηθεί ένας αγωγός ο οποίος ενώνει τις πέντε γεωμετρίες, και αυτόματα τις μετατρέπει σε συγκοινωνούντα δοχεία. Μπορούμε δηλαδή να κάνουμε την χύτευση μόνο από την είσοδο του ενός δοκιμίου και να γίνει η πλήρωση και των πέντε με πολυεστέρα. Ακόμη στο πάνω μέρος των δοκιμίων έχουμε κατασκευάσει τις οπές από τις οποίες θα γίνει η χύτευση.



Εικόνα 6.4.

Στην παραπάνω εικόνα **6.4.** έχουμε την μορφή του καλουπιού σχεδιασμένη σε τρισδιάστατη μορφή. Βλέπουμε το πάχος της πλάκας, αλλά και τον όγκο της εσοχής που θα πληρωθεί με πολυεστέρα μετά την χύτευση.

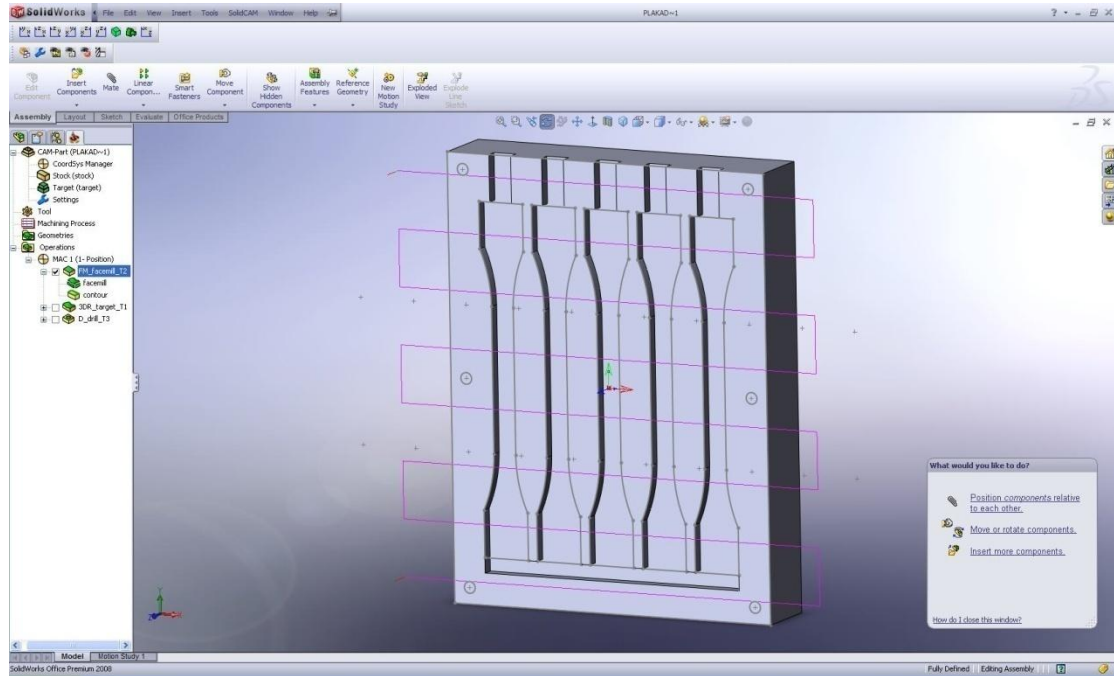
6.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ



Εικόνα 6.5.

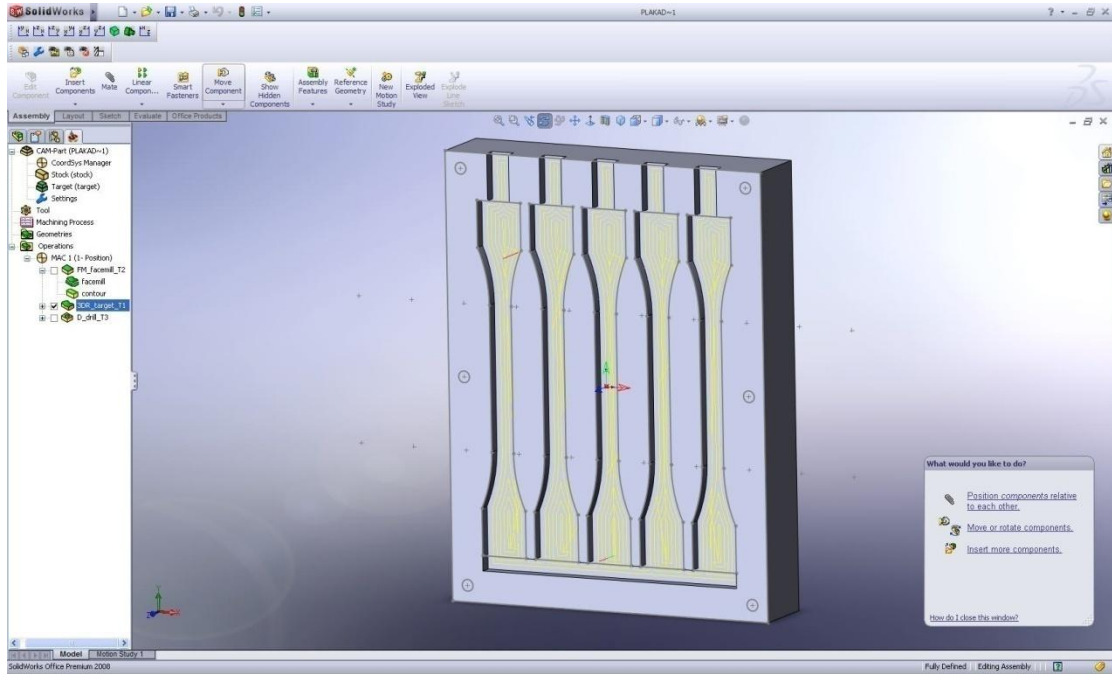
Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιαστικού μέρους της γεωμετρίας, ακολουθεί η προσομοίωση της κατεργασίας της πλάκας έτσι ώστε να πάρουμε τον κώδικα G με την βοήθεια του οποίου θα κατεργαστούμε το τελικό προϊόν. Το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε είναι το solid cam.

Στην παραπάνω εικόνα **6.5.** βλέπουμε την πλάκα σταθεροποιημένη στην εργαλειομηχανή, και εφαρμόζουμε την πρώτη κατεργασία με την οποία παίρνουμε πρόσωπο από την επιφάνεια σε βάθος 2mm για λόγους επιπεδότητας. Για την κατεργασία που προηγήθηκε είχαμε επιλέξει κοπτικό εργαλείο (φρέζα) τετράπτερη με διάμετρο 45 mm.



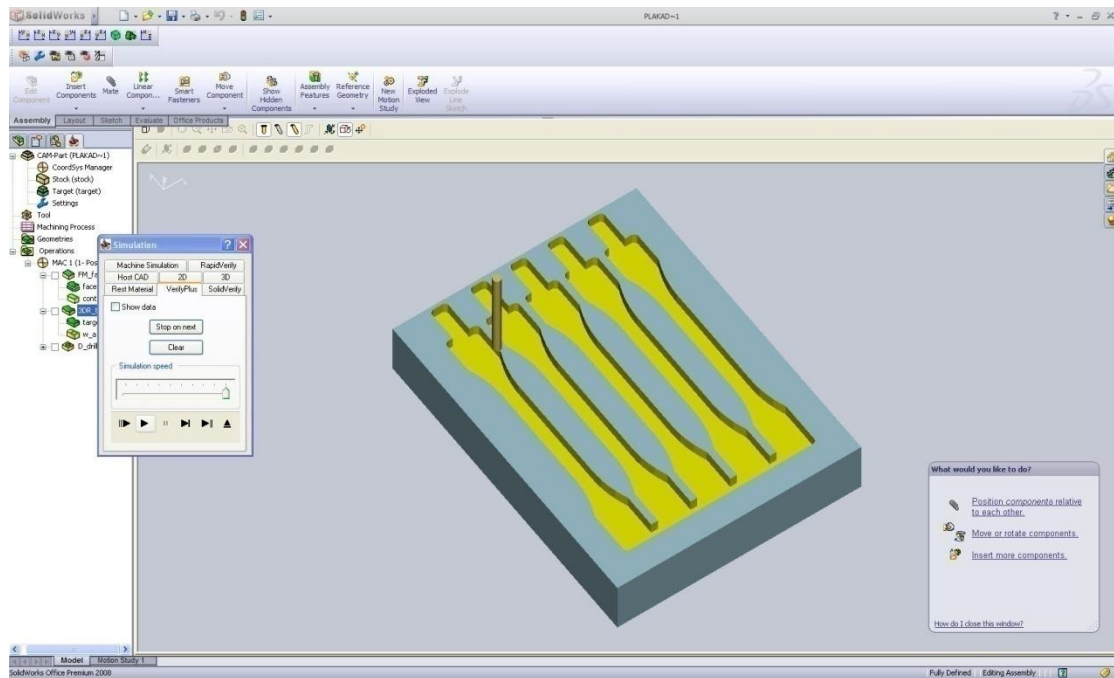
Εικόνα 6.6.

Με την βοήθεια του λογισμικού μπορούμε να κάνουμε προσομοίωση της κατεργασίας και να δούμε τις τροχιές του κοπτικού, αν υπάρχει κάποιο λάθος κατά την κατεργασία, η αν υπάρχει κάποια σύγκρουση του κοπτικού με την εργαλειομηχανή. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη, διότι αποφεύγουμε τα λάθη στο πρόγραμμα πριν την κατεργασία.



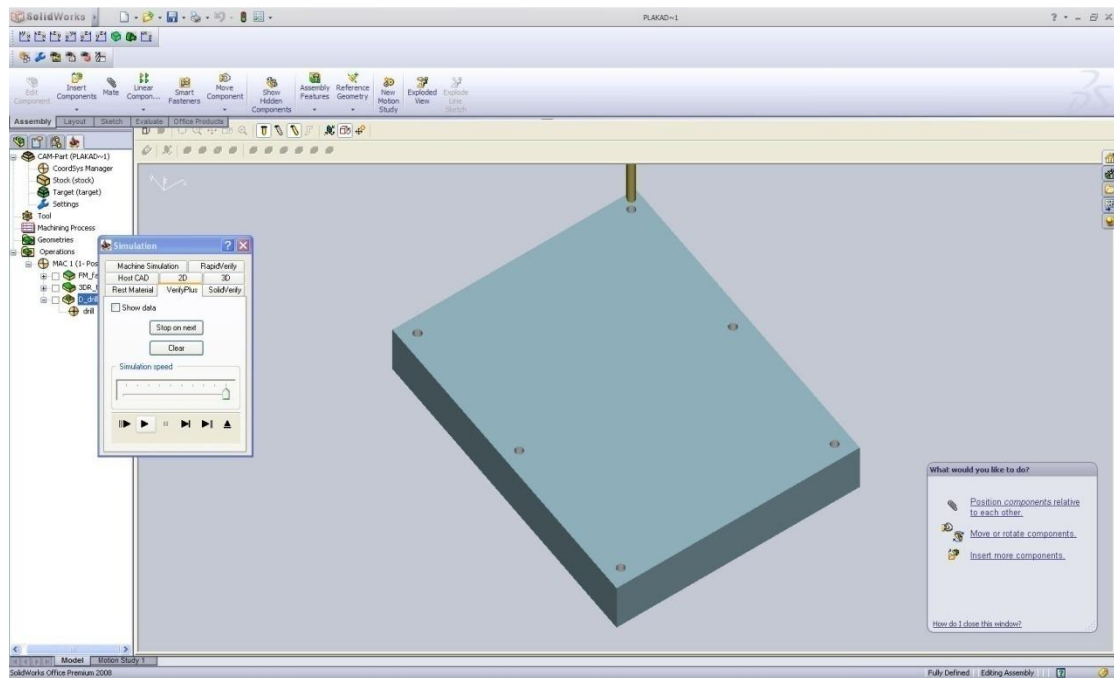
Εικόνα 6.8.

Αφού ολοκληρώσαμε την κατεργασία του προσώπου του τεμαχίου, συνεχίζουμε με την δεύτερη κατεργασία που είναι το σκάψιμο της κοιλότητας που θα γίνει η χύτευση του πολυεστέρα. Για την κατεργασία που ακολουθεί επιλέξαμε ένα κονδύλι επίπεδης απόληξης με διάμετρο 5mm. Αφού πρώτα επιλέξουμε το σημείο μηδέν του τεμαχίου, και ορίσουμε στροφές, πρόωση, και μέγιστο βάθος του κάθε περάσματος, είμαστε έτοιμοι για να δούμε την προσομοίωση της κοπής. Στην παραπάνω **6.8.** εικόνα βλέπουμε τις τροχιές που θα ακολουθήσει το κοπτικό στην κατεργασία.



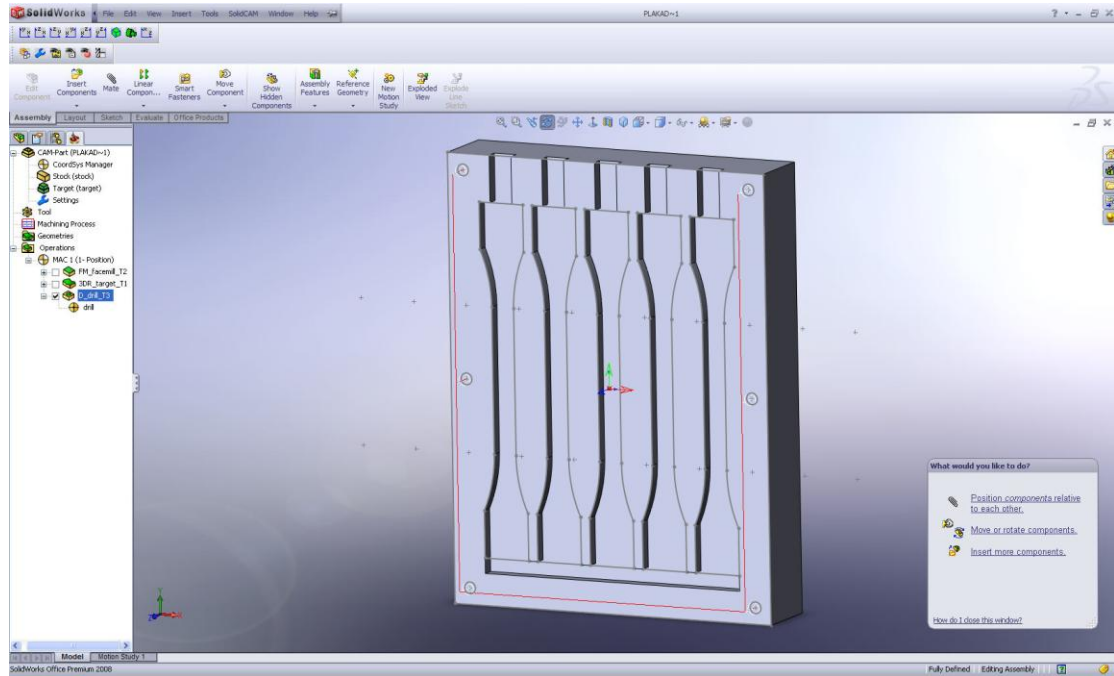
Εικόνα 6.9.

Στην εικόνα **6.9.** βλέπουμε σε τρισδιάστατη μορφή το αποτέλεσμα της κατεργασίας. Με την τρισδιάστατη απεικόνιση της κατεργασίας μπορούμε να κάνουμε έναν οπτικό έλεγχο για τυχών λάθει στο καλούπι. Από ότι βλέπουμε δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την κατεργασία, και το αποτέλεσμα είναι αυτό που περιμέναμε από την σχεδίαση.



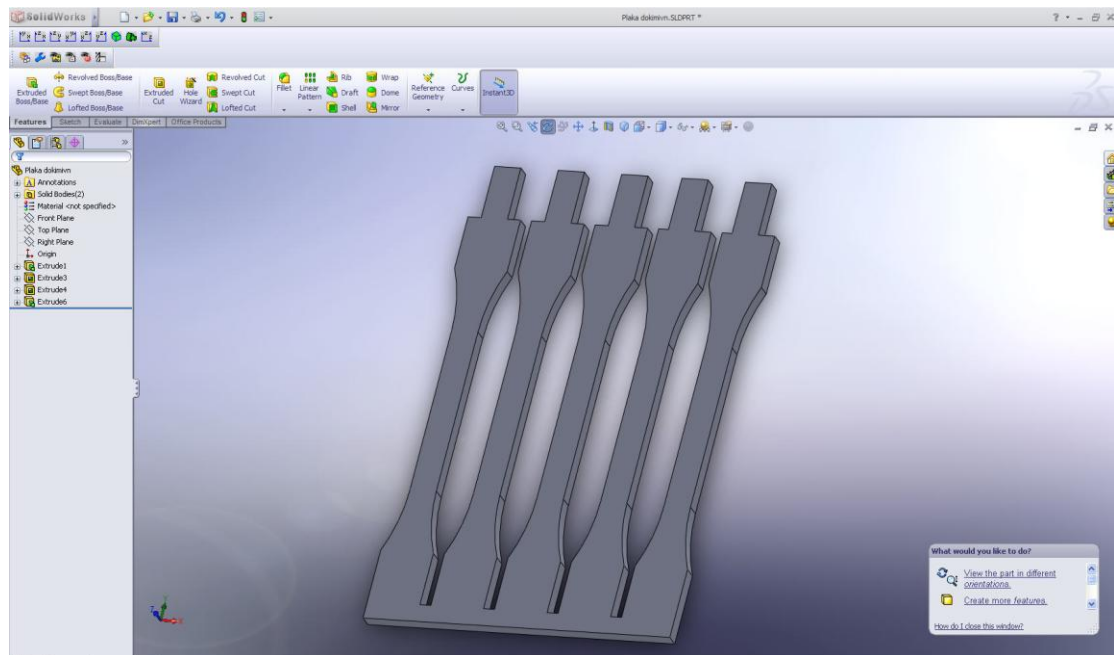
Εικόνα 6.10.

Τέλος ακολουθεί η κατεργασία της διάτρησης, και των σπειρωμάτων. Στο καπάκι του καλουπιού πρέπει να κατασκευαστούν έξι οπές φρεζαρισμένες στην εξωτερική πλευρά έτσι ώστε το κεφάλι του κοχλία να μην εξέχει από την πλάκα. Στην άλλη πλάκα του καλουπιού με τα δοκίμια πρέπει να δημιουργήσουμε τις έξι οπές με τρυπάνι 6.2mm και στην συνέχεια να κάνουμε τα σπειρώματα με κολαούζο M8. Στην παραπάνω εικόνα **6.10**. βλέπουμε την προσομοίωση της διάτρησης των οπών στην μία από τις δυο πλάκες του καλουπιού.



Εικόνα 6.11.

Στην παραπάνω εικόνα **6.11** βλέπουμε το τελικό αποτέλεσμα. Μετά το τέλος της κατεργασίας σκοπός μας ήταν το καλούπι μας να έχει την παραπάνω μορφή όπως φαίνεται και εικόνα μας. Σε αυτό το σημείο της δουλειάς μας αφού έχουμε κάνει αρκετές προσομοιώσεις της κοπής, και ελέγξαμε ότι δεν υπάρχει κάποιο λάθος μπορούμε να πάρουμε των κώδικα G.



Εικόνα 6.12.

Στην παραπάνω εικόνα **6.12.** βλέπουμε τα δοκίμια όπως περιμένουμε να τα παίρνουμε μετά από την χύτευση του πολυεστέρα. Βέβαια για την τελική χρήση των δοκιμίων θα πρέπει να κόψουμε τα επάνω και τα κάτω άκρα ώστε να μπορούν να συγκρατηθούν στην μηχανή εφελκυσμού.

6.3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΩΔΙΚΑ

Για την κατεργασία του καλουπιού μας χρησιμοποιήσαμε δύο κώδικες κατεργασίας τους οποίους πήραμε από το **cam**. Αυτοί οι κώδικες έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

Κώδικας 1

%PM5002	N34 T27 M6 (END MILL)
N5002 (PTYΧΙΑΚΗ ΠΛΑΚΑ ΔΟΚΙΜΙΟΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ)	N35 ()
N1 G90	N36 G0 X0 Y70 Z-72 S2500 M3
N2 G18	N37 (KONDILI 5MM)
N3 G98 X-10 Y-20 Z-10 I160 J30 K200	N38 (-----)
N4 G99 X0 Y-20 Z0 I145 J25 K190	N39 (3DR-TZRGET-T1 - MSC)
N5 (*WKY 2 - DIZ 40.0*)	N40 (-----)
N6 T1 M6 (FZCE MILL)	N41 G0 X0 Z-72 Y10
N7 G54	N42 G0 Y2
N8 G0 X-95.299 Y70 Z85.499 S1500 M3	N43 G1 Y-5 F150
N9 (FREZA 45MM)	N44 X0.5 F300
N10 (FM-FZCEMILL-T2 -)	N45 Z-56.905
N11 (-----)	N46 G2 X0 Z-55.623 R69.5
N12 G0 X-95.299 Z85.499 Y10	N47 X-0.501 Z-56.907 R69.5
N13 G0 Y2	N48 G1 X-0.517 Z-72
N14 G1 Y0 F200	N49 X0
N15 X95.299 F300	N50 Z-73.75
N16 Z61.071	N51 X2.25
N17 X-95.299	N52 Z-56.565
N18 Z36.642	N53 G2 X0.004 Z-50.143 R67.75
N19 X95.299	N54 X-0.793 Z-52.643 R66.253
N20 Z12.214	N55 X-2.25 Z-56.566 R67.75
N21 X-95.299	N56 G1 X-2.269 Z-73.75
N22 Z-12.214	N57 X0
N23 X95.299	N58 Z-75.5
N24 Z-36.642	N59 X4.021
N25 X-95.299	N60 G2 X4 Z-75 R6
N26 Z-61.071	N61 G1 Z-56.22
N27 X95.299	N62 G2 X0.01 Z-42.525 R66
N28 Z-85.499	N63 X-2.451 Z-52.082 R64.503
N29 X-95.299	N64 X-4 Z-56.22 R66
N30 G0 Y10	N65 G1 X-4.021 Z-75.5
N31 M9	N66 X0
N32 G0 X0 Z0 Y100	N67 Z55.623
N33 (*WKY 1 - DIZ 5.0*)	N68 G2 X0.5 Z56.905 R69.5

N69 G1 Z66.633	N119 G1 Z-31.021
N70 G2 X0 Z66.922 R9.5	N120 G3 X7.5 Z-55.516 R62.5
N71 X-0.5 Z66.633 R9.5	N121 G1 Z-75
N72 G1 Z56.905	N122 G3 X10 Z-77.5 R2.5
N73 G2 X0 Z55.623 R69.5	N123 G1 X14.167
N74 G1 X1.637 Z55.003	N124 G3 X16.667 Z-75 R2.5
N75 G2 X2.25 Z56.565 R67.75	N125 G1 Z-55.516
N76 G1 Z67.754	N126 G3 X18.401 Z-50.959 R62.5
N77 G2 X0 Z69.079 R7.75	N127 X19.807 Z-46.214 R61.003
N78 X-2.25 Z67.754 R7.75	N128 G1 X23.65 Z-72
N79 G1 Z56.565	N129 X24.667
N80 G2 X-0.006 Z50.149 R67.75	N130 Z-56.905
N81 X0.99 Z53.22 R66.061	N131 G2 X24.167 Z-55.623 R69.5
N82 X1.637 Z55.003 R67.75	N132 X23.666 Z-56.907 R69.5
N83 G1 X3.273 Z54.384	N133 G1 X23.65 Z-73.75
N84 G2 X4 Z56.22 R66	N134 X26.417
N85 G1 Z69.084	N135 Z-56.565
N86 G2 X0 Z71.683 R6	N136 G2 X24.171 Z-50.143 R67.75
N87 X-4 Z69.084 R6	N137 X23.374 Z-52.643 R66.253
N88 G1 Z56.22	N138 X21.916 Z-56.566 R67.75
N89 G2 X-0.012 Z42.536 R66	N139 G1 X21.898 Z-73.75
N90 X2.642 Z52.643 R64.311	N140 X23.65
N91 X3.273 Z54.384 R66	N141 Z-75.5
N92 G1 X4.91 Z53.764	N142 X28.188
N93 G2 X5.75 Z55.87 R64.25	N143 G2 X28.167 Z-75 R6
N94 G1 Z70.75	N144 G1 Z-56.22
N95 X5	N145 G2 X24.177 Z-42.525 R66
N96 G2 X0.75 Z75 R4.25	N146 X21.716 Z-52.082 R64.503
N97 G1 Z90.75	N147 X20.167 Z-56.22 R66
N98 X-0.75	N148 G1 X20.146 Z-75.5
N99 Z75	N149 X23.65
N100 G2 X-5 Z70.75 R4.25	N150 X24.167 Z55.623
N101 G1 X-5.75	N151 G2 X24.667 Z56.905 R69.5
N102 Z55.87	N152 G1 Z66.068
N103 G2 X-0.75 Z31.07 R64.25	N153 G2 X23.667 Z66.497 R9.5
N104 G1 Z30.874	N154 G1 Z56.905
N105 Z-30.996	N155 G2 X24.167 Z55.623 R69.5
N106 G2 X-4.108 Z-51.52 R62.753	N156 G1 X25.803 Z55.003
N107 X-5.75 Z-55.87 R64.25	N157 G2 X26.417 Z56.565 R67.75
N108 G1 Z-75	N158 G1 Z67.394
N109 G2 X-6.394 Z-77.25 R4.25	N159 G2 X22.903 Z69.079 R7.75
N110 G1 X6.394	N160 X21.917 Z68.37 R7.75
N111 G2 X5.75 Z-75 R4.25	N161 G1 Z56.565
N112 G1 Z-55.87	N162 G2 X24.16 Z50.149 R67.75
N113 G2 X0.75 Z-31.021 R64.25	N163 X25.157 Z53.22 R66.061
N114 G1 Z31.017	N164 X25.803 Z55.003 R67.75
N115 G2 X4.294 Z52.066 R62.561	N165 G1 X27.44 Z54.384
N116 X4.91 Z53.764 R64.25	N166 G2 X28.167 Z56.22 R66
N117 G1 X5.463 Z50.057	N167 G1 Z69

N168 X27.903	N217 X46.064 Z-73.75
N169 G2 X22.903 Z71.683 R6	N218 X50.583
N170 X20.167 Z69.443 R6	N219 Z-56.565
N171 G1 Z56.22	N220 G2 X48.338 Z-50.143 R67.75
N172 G2 X24.154 Z42.536 R66	N221 X47.54 Z-52.643 R66.253
N173 X26.809 Z52.643 R64.311	N222 X46.083 Z-56.566 R67.75
N174 X27.44 Z54.384 R66	N223 G1 X46.066 Z-71.998
N175 G1 X29.077 Z53.764	N224 X44.316 Z-71.996
N176 G2 X29.917 Z55.87 R64.25	N225 X44.312 Z-75.5
N177 G1 Z70.75	N226 X52.333
N178 X27.903	N227 Z-56.22
N179 G2 X23.653 Z75 R4.25	N228 G2 X48.344 Z-42.525 R66
N180 G1 Z90.75	N229 X45.883 Z-52.082 R64.503
N181 X22.153	N230 X44.333 Z-56.22 R66
N182 Z75	N231 G1 X44.316 Z-71.996
N183 G2 X18.417 Z70.781 R4.25	N232 X45.359 Z-38.861
N184 G1 Z55.87	N233 G3 X45.833 Z-31 R61.003
N185 G2 X23.417 Z31.07 R64.25	N234 G1 Z-23.8
N186 G1 Z30.874	N235 X48.333 Z55.623
N187 Z-30.996	N236 G2 X48.833 Z56.905 R69.5
N188 G2 X20.059 Z-51.52 R62.753	N237 G1 Z66.068
N189 X18.417 Z-55.87 R64.25	N238 G2 X47.833 Z66.497 R9.5
N190 G1 Z-75	N239 G1 Z56.905
N191 G2 X17.772 Z-77.25 R4.25	N240 G2 X48.333 Z55.623 R69.5
N192 G1 X30.561	N241 G1 X49.97 Z55.003
N193 G2 X29.917 Z-75 R4.25	N242 G2 X50.583 Z56.565 R67.75
N194 G1 Z-55.87	N243 G1 Z67.394
N195 G2 X24.917 Z-31.021 R64.25	N244 G2 X47.07 Z69.079 R7.75
N196 G1 Z31.017	N245 X46.083 Z68.37 R7.75
N197 G2 X28.461 Z52.066 R62.561	N246 G1 Z56.565
N198 X29.077 Z53.764 R64.25	N247 G2 X48.327 Z50.15 R67.75
N199 G1 X29.629 Z50.057	N248 X49.358 Z53.319 R66.061
N200 G3 X26.667 Z31.021 R60.811	N249 X49.97 Z55.003 R67.75
N201 G1 Z-31.021	N250 G1 X51.607 Z54.384
N202 G3 X31.667 Z-55.516 R62.5	N251 G2 X52.333 Z56.22 R66
N203 G1 Z-75	N252 G1 Z69
N204 G3 X34.167 Z-77.5 R2.5	N253 X52.07
N205 G1 X38.333	N254 G2 X47.07 Z71.683 R6
N206 G3 X40.833 Z-75 R2.5	N255 X44.333 Z69.443 R6
N207 G1 Z-55.516	N256 G1 Z56.22
N208 G3 X42.568 Z-50.959 R62.5	N257 G2 X48.32 Z42.541 R66
N209 X43.974 Z-46.214 R61.003	N258 X51.009 Z52.739 R64.311
N210 G1 X47.816 Z-72	N259 X51.607 Z54.384 R66
N211 X48.833	N260 G1 X53.243 Z53.764
N212 Z-56.905	N261 G2 X54.083 Z55.87 R64.25
N213 G2 X48.333 Z-55.623 R69.5	N262 G1 Z70.75
N214 X47.833 Z-56.907 R69.5	N263 X52.07
N215 G1 X47.816 Z-72	N264 G2 X47.82 Z75 R4.2
N216 X46.066 Z-71.9	N265 G1 Z90.75

N266 X46.32	N316 Z-56.905
N267 Z75	N317 G2 X-24.167 Z-55.623 R69.5
N268 G2 X42.583 Z70.781 R4.25	N318 X-24.667 Z-56.907 R69.5
N269 G1 Z55.87	N319 G1 X-24.684 Z-72
N270 G2 X47.583 Z31.07 R64.25	N320 X-21.917
N271 G1 Z30.874	N321 Z-56.565
N272 Z-30.996	N322 G2 X-24.162 Z-50.143 R67.75
N273 G2 X44.225 Z-51.52 R62.753	N323 X-24.96 Z-52.643 R66.253
N274 X42.583 Z-55.87 R64.25	N324 X-26.417 Z-56.566 R67.75
N275 G1 Z-75	N325 G1 X-26.436 Z-73.75
N276 G2 X41.939 Z-77.25 R4.25	N326 X-21.917
N277 G1 X54.083	N327 Z-72
N278 Z-55.87	N328 X-20.167
N279 G2 X49.083 Z-31.021 R64.25	N329 Z-56.22
N280 G1 Z30.658	N330 G2 X-24.156 Z-42.525 R66
N281 G2 X52.66 Z52.16 R62.561	N331 X-26.617 Z-52.082 R64.503
N282 X53.243 Z53.764 R64.25	N332 X-28.167 Z-56.22 R66
N283 G1 X45.115 Z40.472	N333 G1 X-28.188 Z-75.5
N284 G2 X45.833 Z31.068 R62.5	N334 X-20.146
N285 G1 Z30.875	N335 G2 X-20.167 Z-75 R6
N286 Z-31	N336 G1 Z-72
N287 G2 X42.568 Z-50.959 R61.003	N337 X-21.216 Z-38.51
N288 X40.833 Z-55.516 R62.5	N338 G2 X-21.667 Z-31.021 R62.5
N289 G1 Z-75	N339 G1 Z-24.141
N290 G2 X38.333 Z-77.5 R2.5	N340 X-24.167 Z55.623
N291 G1 X34.167	N341 G2 X-23.667 Z56.905 R69.5
N292 G2 X31.667 Z-75 R2.5	N342 G1 Z66.633
N293 G1 Z-55.516	N343 G2 X-24.167 Z66.922 R9.5
N294 G2 X26.667 Z-31.021 R62.5	N344 X-24.667 Z66.633 R9.5
N295 G1 Z10.306	N345 G1 Z56.905
N296 X21.667 Z2.13	N346 G2 X-24.167 Z55.623 R69.5
N297 Z-31	N347 G1 X-22.53 Z55.003
N298 G2 X18.401 Z-50.959 R61.003	N348 G2 X-21.917 Z56.565 R67.75
N299 X16.667 Z-55.516 R62.5	N349 G1 Z67.754
N300 G1 Z-75	N350 G2 X-24.167 Z69.079 R7.75
N301 G2 X14.167 Z-77.5 R2.5	N351 X-26.417 Z67.754 R7.75
N302 G1 X10	N352 G1 Z56.565
N303 G2 X7.5 Z-75 R2.5	N353 G2 X-24.173 Z50.149 R67.75
N304 G1 Z-55.516	N354 X-23.177 Z53.22 R66.061
N305 G2 X2.5 Z-31.021 R62.5	N355 X-22.53 Z55.003 R67.75
N306 G1 Z-29.212	N356 G1 X-20.893 Z54.384
N307 X-2.872 Z-37.996	N357 G2 X-20.167 Z56.22 R66
N308 G2 X-5.765 Z-50.959 R61.003	N358 G1 Z69.084
N309 X-7.5 Z-55.516 R62.5	N359 G2 X-24.167 Z71.683 R6
N310 G1 Z-75	N360 X-28.167 Z69.084 R6
N311 G2 X-10 Z-77.5 R2.5	N361 G1 Z56.22
N312 G1 X-14.167	N362 G2 X-24.179 Z42.536 R66
N313 G2 X-16.667 Z-75 R2.5	N363 X-21.524 Z52.643 R64.311
N314 G1 Z-60.554	N364 X-20.893 Z54.384 R66
N315 X-23.667 Z-72	N365 G1 X-19.257 Z53.764

N366 G2 X-18.417 Z55.87 R64.25
N367 G1 Z70.75
N368 X-19.167
N369 G2 X-23.417 Z75 R4.25
N370 G1 Z90.75
N371 X-24.917
N372 Z75
N373 G2 X-29.167 Z70.75 R4.25
N374 G1 X-29.917
N375 Z55.87
N376 G2 X-24.917 Z31.07 R64.25
N377 G1 Z30.874
N378 Z-30.996
N379 G2 X-28.275 Z-51.52 R62.753
N380 X-29.917 Z-55.87 R64.25
N381 G1 Z-75
N382 G2 X-30.561 Z-77.25 R4.25
N383 G1 X-17.772
N384 G2 X-18.417 Z-75 R4.25
N385 G1 Z-55.87
N386 G2 X-23.417 Z-31.021 R64.25
N387 G1 Z31.017
N388 G2 X-19.872 Z52.066 R62.561
N389 X-19.257 Z53.764 R64.25
N390 G1 X-26.667 Z21.153
N391 Z-31
N392 G2 X-29.932 Z-50.959 R61.003
N393 X-31.667 Z-55.516 R62.5
N394 G1 Z-75
N395 G2 X-34.167 Z-77.5 R2.5
N396 G1 X-38.333
N397 G2 X-40.833 Z-75 R2.5
N398 G1 Z-55.516
N399 G2 X-42.854 Z-50.087 R62.5
N400 G1 X-47.833 Z-72
N401 Z-56.905
N402 G2 X-48.333 Z-55.623 R69.5
N403 X-48.833 Z-56.905 R69.5
N404 G1 Z-72
N405 X-46.083
N406 Z-56.565
N407 G2 X-48.329 Z-50.143 R67.75
N408 X-49.126 Z-52.643 R66.253
N409 X-50.583 Z-56.565 R67.75
N410 G1 Z-73.75
N411 X-46.083
N412 Z-72
N413 X-44.333
N414 Z-56.22
N415 G2 X-48.323 Z-42.525 R66
N416 X-50.784 Z-52.082 R64.503
N417 X-52.333 Z-56.22 R66
N418 G1 Z-75.5
N419 X-44.312
N420 G2 X-44.333 Z-75 R6
N421 G1 Z-72
N422 X-45.383 Z-38.51
N423 G2 X-45.833 Z-31.021 R62.5
N424 G1 Z-24.141
N425 X-48.333 Z55.623
N426 G2 X-47.833 Z56.905 R69.5
N427 G1 Z66.633
N428 G2 X-48.333 Z66.922 R9.5
N429 X-48.833 Z66.633 R9.5
N430 G1 Z56.905
N431 G2 X-48.333 Z55.623 R69.5
N432 G1 X-46.697 Z55.003
N433 G2 X-46.083 Z56.565 R67.75
N434 G1 Z67.754
N435 G2 X-48.333 Z69.079 R7.75
N436 X-50.583 Z67.754 R7.75
N437 G1 Z56.565
N438 G2 X-48.34 Z50.149 R67.75
N439 X-47.343 Z53.22 R66.061
N440 X-46.697 Z55.003 R67.75
N441 G1 X-45.06 Z54.384
N442 G2 X-44.333 Z56.22 R66
N443 G1 Z69.084
N444 G2 X-48.333 Z71.683 R6
N445 X-52.333 Z69.084 R6
N446 G1 Z56.22
N447 G2 X-48.346 Z42.536 R66
N448 X-45.691 Z52.643 R64.311
N449 X-45.06 Z54.384 R66
N450 G1 X-43.423 Z53.764
N451 G2 X-42.583 Z55.87 R64.25
N452 G1 Z70.75
N453 X-43.333
N454 G2 X-47.583 Z75 R4.25
N455 G1 Z90.75
N456 X-49.083
N457 Z75
N458 G2 X-53.333 Z70.75 R4.25
N459 G1 X-54.083
N460 Z55.87
N461 G2 X-49.083 Z31.07 R64.25

N462 G1 Z30.874
N463 Z-30.996
N464 G2 X-52.441 Z-51.52 R62.753
N465 X-54.083 Z-55.87 R64.25
N466 G1 Z-77.25
N467 X-41.939
N468 G2 X-42.583 Z-75 R4.25
N469 G1 Z-55.87
N470 G2 X-47.583 Z-31.021 R64.25
N471 G1 Z31.017
N472 G2 X-44.039 Z52.066 R62.561
N473 X-43.423 Z53.764 R64.25
N474 G1 X-41.787 Z53.145
N475 G2 X-40.833 Z55.516 R62.5
N476 G1 Z72.5
N477 X-43.333
N478 G2 X-45.833 Z75 R2.5
N479 G1 Z92.5
N480 X-50.833
N481 Z75
N482 G2 X-53.333 Z72.5 R2.5
N483 G1 X-55.833
N484 Z55.516
N485 G2 X-50.833 Z31.068 R62.5
N486 G1 Z30.875
N487 Z-31
N488 G2 X-54.099 Z-50.959 R61.003
N489 X-55.833 Z-55.516 R62.5
N490 G1 Z-79
N491 X55.833
N492 Z-55.516
N493 G2 X50.833 Z-31.021 R62.5
N494 G1 Z30.667
N495 G2 X54.312 Z51.58 R60.811
N496 X55.833 Z55.516 R62.5
N497 G1 Z72.5
N498 X52.07
N499 G2 X49.57 Z75 R2.5
N500 G1 Z92.5
N501 X44.57
N502 Z75
N503 G2 X42.07 Z72.5 R2.5
N504 G1 X40.833
N505 Z55.516
N506 G2 X45.833 Z31.068 R62.5
N507 G1 Z30.875
N508 Z-31
N509 G2 X42.568 Z-50.959 R61.003
N510 X40.833 Z-55.516 R62.5
N511 G1 Z-75
N512 G2 X38.333 Z-77.5 R2.5
N513 G1 X34.167
N514 G2 X31.667 Z-75 R2.5
N515 G1 Z-55.516
N516 G2 X26.667 Z-31.021 R62.5
N517 G1 Z31.021
N518 G2 X30.113 Z51.489 R60.811
N519 X31.667 Z55.516 R62.5
N520 G1 Z72.5
N521 X27.903
N522 G2 X25.403 Z75 R2.5
N523 G1 Z92.5
N524 X20.403
N525 Z75
N526 G2 X17.903 Z72.5 R2.5
N527 G1 X16.667
N528 Z55.516
N529 G2 X21.667 Z31.068 R62.5
N530 G1 Z30.875
N531 Z-31
N532 G2 X18.401 Z-50.959 R61.003
N533 X16.667 Z-55.516 R62.5
N534 G1 Z-75
N535 G2 X14.167 Z-77.5 R2.5
N536 G1 X10
N537 G2 X7.5 Z-75 R2.5
N538 G1 Z-55.516
N539 G2 X2.5 Z-31.021 R62.5
N540 G1 Z31.021
N541 G2 X5.947 Z51.489 R60.811
N542 X7.5 Z55.516 R62.5
N543 G1 Z72.5
N544 X5
N545 G2 X2.5 Z75 R2.5
N546 G1 Z92.5
N547 X-2.5
N548 Z75
N549 G2 X-5 Z72.5 R2.5
N550 G1 X-7.5
N551 Z55.516
N552 G2 X-2.5 Z31.068 R62.5
N553 G1 Z30.875
N554 Z-31
N555 G2 X-5.765 Z-50.959 R61.003
N556 X-7.5 Z-55.516 R62.5
N557 G1 Z-75
N558 G2 X-10 Z-77.5 R2.5
N559 G1 X-14.167
N560 G2 X-16.667 Z-75 R2.5
N561 G1 Z-55.516

N562 G2 X-21.667 Z-31.021 R62.5
N563 G1 Z31.021
N564 G2 X-18.22 Z51.489 R60.811
N565 X-16.667 Z55.516 R62.5
N566 G1 Z72.5
N567 X-19.167
N568 G2 X-21.667 Z75 R2.5
N569 G1 Z92.5
N570 X-26.667
N571 Z75
N572 G2 X-29.167 Z72.5 R2.5
N573 G1 X-31.667
N574 Z55.516
N575 G2 X-26.667 Z31.068 R62.5
N576 G1 Z30.875
N577 Z-31
N578 G2 X-29.932 Z-50.959 R61.003
N579 X-31.667 Z-55.516 R62.5
N580 G1 Z-75
N581 G2 X-34.167 Z-77.5 R2.5
N582 G1 X-38.333
N583 G2 X-40.833 Z-75 R2.5
N584 G1 Z-55.516
N585 G2 X-45.833 Z-31.021 R62.5
N586 G1 Z31.021
N587 G2 X-42.387 Z51.489 R60.811
N588 X-41.787 Z53.145 R62.5
N589 G0 Y10
N590 M9
N591 G0 X0 Z0 Y100
N592 M30

Κώδικας 2

%PM5003
N5003 (OPES PLAKA DOKIMION EFELKYSMOY)
N1 G90
N2 G18
N3 G98 X-10 Y-20 Z-10 I160 J30 K200
N4 G99 X0 Y-20 Z0 I145 J25 K190
N5 T27 M6 (DRILL 6.8MM)
N6 G0 X-65.5 Z88 Y70 S1000 M3
N7 G81 X1.5 Y2 Z-37 B20 F200 S800 M3
N8 G79 X-65.5 Y0 Z88
N10 G79 X-65.5 Y0 Z-88
N11 G79 X65.5 Y0 Z-88
N12 G79 X65.5 Y0 Z0
N13 G79 X65.5 Y0 Z88
N14 G0 Y100
N15 T3 M6 (FREZA 10MM)
N16 G0 X-65.5 Z88 Y70 S1000 M3
N17 G81 X1.5 Y2 Z-2 B20 F200 S800 M3
N18 G79 X-65.5 Y0 Z88
N19 G79 X-65.5 Y0 Z0
N20 G79 X-65.5 Y0 Z-88
N21 G79 X65.5 Y0 Z-88
N22 G79 X65.5 Y0 Z0
N23 G79 X65.5 Y0 Z88
N24 T12 M6 (KOLAOUZO 8MM)
N25 G84 X1 Y5 Z-35 B20 I3 J1.25 S250 M3
N24 G79 X-65.5 Y0 Z88
N25 G79 X-65.5 Y0 Z0
N26 G79 X-65.5 Y0 Z-88
N27 G79 X65.5 Y0 Z-88
N28 G79 X65.5 Y0 Z0
N29 G79 X65.5 Y0 Z88
N30 G0 Y100
N31 M30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την κατεργασία του καλουπιού είναι ο εξής :

- Η εργαλειομηχανή DECKEL MAHO 600C.
- Η συσκευή μέτρησης εργαλείων.
- Τα κοπτικά εργαλεία.
- Τα εξαρτήματα για τη συγκράτηση του ακατέργαστου υλικού.
- Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε.

Το ψηφιακά καθοδηγούμενο κέντρο κατεργασίας MAHO 600C διαθέτει αυτόματα στρεφόμενη κεφαλή για οριζόντιο και κάθετο Milling (φρεζάρισμα) και Boring (διάτρηση). Έχει δυνατότητα αυτόματης αλλαγής εργαλείων και οριζόντια και κάθετα. Η τράπεζα εργασίας μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον κάθετο (τέταρτος άξονας) ενώ με προσθήκη ψηφιακά καθοδηγούμενου διαιρέτη που τοποθετείται στη τράπεζα εργασίας δημιουργείται ο πέμπτος άξονας κατεργασίας. Ο διαιρέτης αυτός αφαιρείται ή τοποθετείται ανάλογα με της ανάγκες κατεργασίας. Και οι πέντε άξονες μπορούν να είναι ψηφιακά καθοδηγούμενοι ταυτόχρονα. Το κέντρο κατεργασίας διαθέτει σύστημα ανακύκλωσης του υγρού κοπής, διαχωρισμού και απομάκρυνσης των παραγόμενων αποβλήτων ενώ η περιοχή των κατεργασιών περιβάλλεται από καμπίνα προστασίας. Η μετάδοση της κίνησης προς την άτρακτο της εργαλειομηχανής γίνεται αφού παρεμβληθεί κιβώτιο ταχυτήτων τουλάχιστον δύο βαθμίδων, ενώ η ακρίβεια κίνησης εξασφαλίζεται με κατάλληλο γραμμικό μετρικό σύστημα πάνω στους οδηγούς. Τέλος το κέντρο κατεργασίας συνοδεύεται από μετρήσεις όσον αφορά την γεωμετρική ακρίβεια την ακρίβεια

τοποθέτησης και το μέγεθος θορύβου σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.

Η ΜΑΗΟ 600c όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα έχει τα εξής τεχνολογικά χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη διαδρομή στον άξονα X 600 mm
- Μέγιστη διαδρομή στον άξονα Y 450 mm
- Μέγιστη διαδρομή στον άξονα Z 450 mm
- Ισχύς κινητήρα ατράκτου (AC) 10 KW
- Πεδίο ταχυτήτων 20-6300 rpm
- Πεδίο ταχυτήτων προώσεων και στους τρεις άξονες 1-6000 mm/min
- Γρήγορη πρόωση για τοποθέτηση 6 m/min
- Υποδοχή εργαλείου κατά ISO 40
- Αυτόματη αλλαγή εργαλείου και στις δύο κατευθύνσεις 30 εργαλεία



Εικόνα 7.1. Εργαλειομηχανή DECKEL MAHO 600C

Ο έλεγχος και η καθοδήγηση της εργαλειομηχανής εξασφαλίζεται από το λογισμικό CNC 532 της Philips το οποίο έχει τεχνικά χαρακτηριστικά και παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες :

- Μνήμη : 2 MB με ιδιαίτερη μνήμη, macros και εργαλεία.
- Ανάλυση : 0,001 mm, 0,01 mm, 0,1mm, 1mm, 0,001", 0,01", 0,1", 1".
- Υπολογισμοί : Δυνατότητα για ορισμό σημείων, ευθειών και κύκλων με καρτεσιανές συντεταγμένες ή πολικές συντεταγμένες , δυνατότητα προσδιορισμού σημείων από γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως τομές κ.λ.π.
- Κώδικας : ISO/DIN – Εντολές G M κατά DIN 66025 – αυτόματη αναγνώριση κώδικα EIA ή ISO.
- Συστήματα μονάδων : Προγραμματισμός σε μετρικό ή αγγλοσαξονικό σύστημα.
- Εργαλεία : Αποθήκευση για 250 εργαλεία των χαρακτηριστικών τους όπως μήκος, ακτίνα, θέση κ.λ.π.
- Έλεγχος : Παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης και ελέγχου του προγράμματος χωρίς ή με κινήσεις, χωρίς ή με περιστροφή του εργαλείου, και έλεγχος με γραφική παρουσίαση.
- Κύκλοι κατεργασιών : Διαθέτει έτοιμους κύκλους κατεργασιών για διάτρηση, βαθιά διάτρηση, φρεζάρισμα εσοχών και νησίδων, σπειροτόμηση, γλύφανση κ.λ.π.
- Οθόνη : Οθόνη 14" το λιγότερο 8 χρωμάτων με επιλογές με απλή επαφή στην οθόνη.
- Πληκτρολόγιο – Δισκέτα : Πληκτρολόγιο ASC II και μονάδα δισκέτας 3.5" συμβατή με MS-DOS.
- Γλώσσες : Αγγλικά και Γερμανικά.

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος αλλαγής εργαλείων είναι τα εξής :

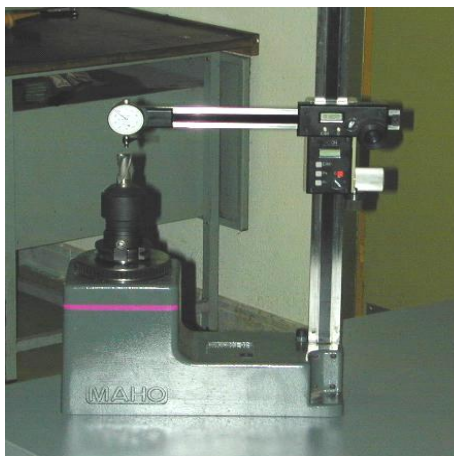
- Αριθμός εργαλείων 30
- Υποδοχή εργαλείου ISO 40
- Μέγιστο μήκος εργαλείου 250 mm
- Μέγιστη διάμετρος εργαλείου 130 mm
- Μέγιστο βάρος 10 Kg

Η ΜΑΗΟ 600C διαθέτει κώνους υποδοχή για εργαλειοδέτη (μανέλα) κοπτικού κωνικής μορφής. Οι μανέλες αυτές έχουν τυποποιημένο όμοιο κωνικό στέλεχος ουράς (πίσω τμήμα) ενώ το μπροστινό τμήμα τους διαθέτει οπή διαφορετικής, ανά μανέλα, διαμέτρου για την υποδοχή των κοπτικών εργαλείων.

Στην αρχή κάθε προγράμματος πρέπει η καθοδήγηση να γνωρίζει ποιο είναι το επίπεδο κατεργασίας και αντίστοιχα σε ποιόν άξονα είναι τοποθετημένο το κοπτικό εργαλείο. Ο ορισμός αυτός του επιπέδου πραγματοποιείται με μια από τις εντολές G17, G18 και G19 για τα επίπεδα XY, XZ και YZ αντίστοιχα. Σε περίπτωση που δεν δίνεται μέσα στο πρόγραμμα μια από τις προαναφερόμενες εντολές G, λαμβάνεται από τις σταθερές παραμέτρους του συστήματος.

Η συσκευή σεταρίσματος επιτρέπει την ακριβή μέτρηση του μήκους και της διαμέτρου των κοπτικών εργαλείων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εισάγονται στην ειδική μνήμη, για τα κοπτικά εργαλεία, της καθοδήγησης της εργαλειομηχανής. Η παραπάνω διαδικασία αποτελεί το λεγόμενο "σετάρισμα" των εργαλείων. Η συσκευή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

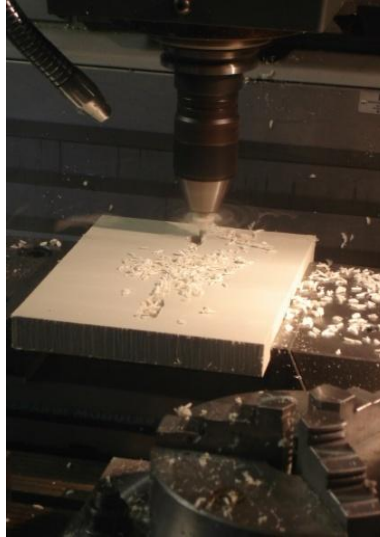
- Διαθέτει ψηφιακή οθόνη για παρουσίαση των οριζόντιων και κατακόρυφων μετρήσεων.
- Το μετρητικό ρολόι με το οποίο γίνονται οι μετρήσεις μπορεί να περιστραφεί ανά 90 °.
- Υπάρχει δυνατότητα μέτρησης στο Μετρικό ή στο Αγγλοσαξονικό σύστημα.
- Διαθέτει θύρα επικοινωνίας RS232.
- Μέγιστο μήκος μέτρησης : 400 mm.
- Μέγιστη διάμετρος μέτρησης : 205 mm.
- Ανάλυση μέτρησης : < 0,01 mm.
- Ακρίβεια μέτρησης : < 0,025 mm.



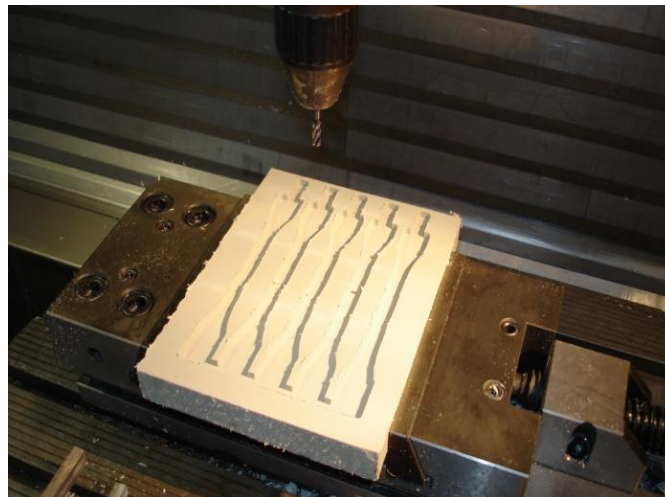
Εικόνα 7.2. Συσκευή μέτρησης εργαλείων

7.2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΤΕΜΑΧΙΟΥ

Αρχικά συγκρατούμε το ακατέργαστο τεμάχιο στην μέγγενη του τραπεζιού της εργαλειομηχανής. Πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί γιατί αν το σφύξουμε πολύ παραμορφώνετε, αν δεν το σφίξουμε αρκετά το τεμάχιο υπάρχει κίνδυνος να φύγει κατά την κοπή. Μεταφέρουμε τα προγράμματα στην εργαλειομηχανή αφού πρώτα ελέγξουμε να μην υπάρχουν ίδια ονόματα αποθηκευμένα στη μνήμη. Τοποθετούμε στην εργαλειομηχανή τα απαραίτητα κοπτικά που είχαμε χρησιμοποιήσει κατά τις κατεργασίες στο solidcam, αφού πρώτα μετρήσουμε το μήκος τη διάμετρο του κοπτικού και το ονομάσουμε κατάλληλα. Στη συνέχεια μηδενίζουμε στο κέντρο της ορθογώνιας πλάκας με την βοήθεια του ανιχνευτή ακμής. Ο μηδενισμός έγινε στο ίδιο σημείο που είχαμε ορίσει στο solidcam το μηδέν, για να εξασφαλιστεί με ακρίβεια η θέση που θα γίνει η κατεργασία. Έπειτα ορίσαμε με το χέρι τη θέση μηδέν στον άξονα Y της εργαλειομηχανής 1mm πιο βαθιά στο υλικό. Με αυτό τον τρόπο στην πρώτη κατεργασία θα μας δημιουργήσει το πρόσωπο ακριβός μέχρι το επίπεδο μηδέν, και στην συνέχεια κατά την δεύτερη κατεργασία θα έχουμε το κανονικό όπως το σχεδιάσαμε. Έτσι λοιπόν πάρθηκε το πρόσωπο με την φρέζα $\varnothing 45$ σε βάθος 1mm από το αρχικό στοκ στην συνέχεια έγινε εναλλαγή κοπτικού για το κυρίως τεμάχιο με επίπεδο κονδύλι δίπτερο $\varnothing 5\text{mm}$, ενώ για τις λεπτομέρειες και τα τελειώματα το κοπτικό άλλαξε με ένα επίπεδο κονδύλι δίπτερο $\varnothing 4\text{mm}$. Οι παρακάτω εικόνες **7.3.** και **7.4.** που ακολουθούν είναι μετά το τέλος της κατεργασίας



Εικόνα 7.3. Κομμάτι κατά την κατεργασία



Εικόνα 7.4. Ολοκλήρωση της κατεργασίας για την κατασκευή δοκιμίων



Εικόνα 7.5. Ολοκλήρωση της 2 πλάκας.

Στην παραπάνω πλάκα βλέπουμε ολοκληρωμένο το καπάκι του καλουπιού. Παρατηρούμε τις έξι οπές, αλλά και τις μεγεθύνσεις των οπών έτσι ώστε να μην εξέχουν τα κεφάλια από τις βίδες. Από την άλλη πλευρά το καπάκι απλά το κάναμε επίπεδο, για να μην υπάρχουν κενά και να εφάπτεται όσο το δυνατό καλύτερα όταν δένουμε το καλούπι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΥΤΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Κατά την πειραματική διαδικασία, για να έχουμε μια ποιο ολοκληρωμένη εικόνα των αποτελεσμάτων κατασκευάσαμε 10 δοκίμια για κάθε μία από τις τρεις αναλογίες. Στον παρακάτω πίνακα 1. βλέπουμε τις αναλογίες του σκληρυντή και του πολυεστέρα που χρησιμοποιήσαμε στα δοκίμια. Αυτές τις αναλογίες τις επιλέξαμε με βάση τον οδηγό χρήσης του πολυεστέρα στον οποίο ο κατασκευαστής μας επιτρέπει από 2% έως 4% περιεκτικότητα σε σκληρυντή.

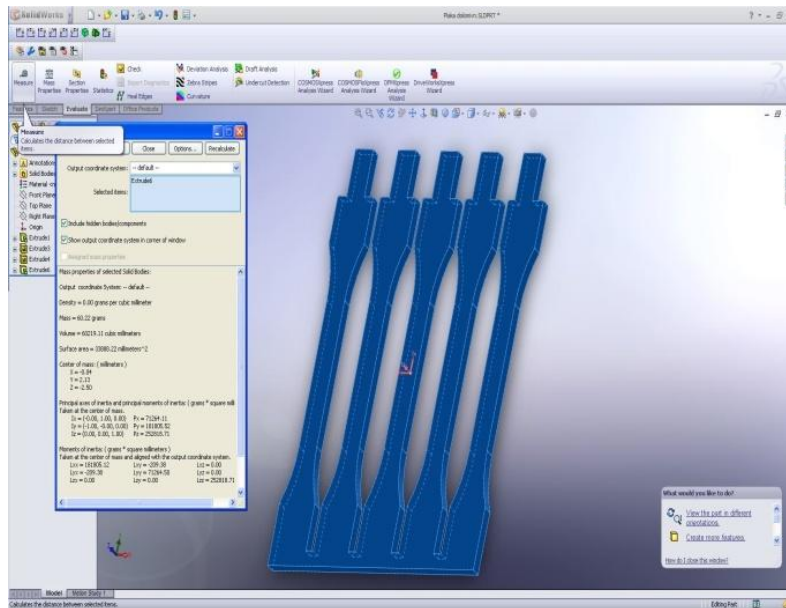
P102	1,6 ml σκληρυντή	78,4 ml πολυεστέρα	2% περιεκτικότητα σκληρυντή
P103	2,4 ml σκληρυντή	77,6 ml πολυεστέρα	3% περιεκτικότητα σκληρυντή
P104	3,2 ml σκληρυντή	76,8 ml πολυεστέρα	4% περιεκτικότητα σκληρυντή

Πίνακας 1.Αναλογίες δοκιμίων



Εικόνα 8.1.

Το καλούπι μας όπως φαίνεται στην εικόνα **8.1.** μας είναι διαιρούμενο, δηλαδή αποτελείται από δύο πλάκες. Πάνω στις δύο πλάκες είχαμε ανοίξει έξι οπές όπου με την βοήθεια των κοχλιών θα μας βοηθούσαν στην συναρμολόγηση του καλουπιού μας. Έπειτα τοποθετήσαμε την μία πλάκα πάνω στη άλλη με την βοήθεια των κοχλιών. Πριν βιδώσουμε τις πλάκες μας τις ελέγξαμε πρώτα αν είναι καθαρές και αν έχουν κάποια σωματίδια από υπολείμματα πολυεστέρα έτσι ώστε τα δοκίμια μας να είναι ομοιόμορφα.



Εικόνα 8.2.

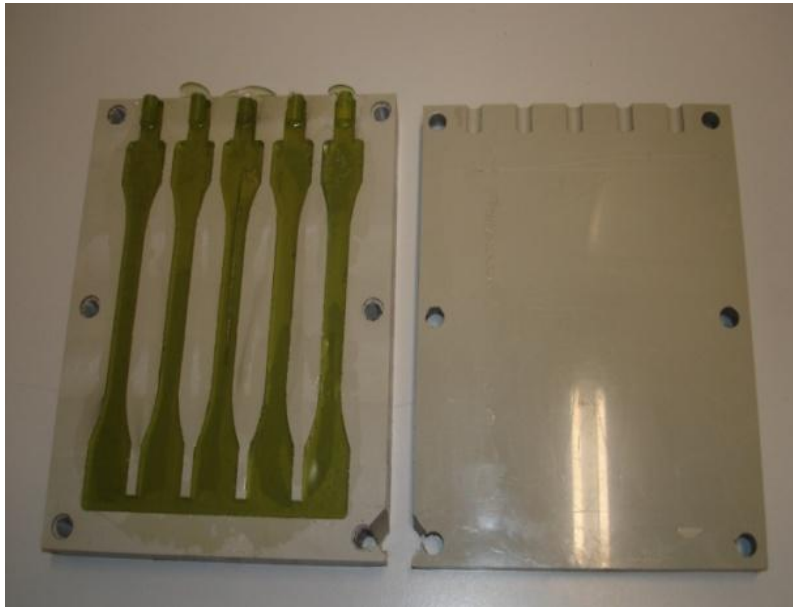
Στη διαδικασία της χύτευσης χρησιμοποιήσαμε ένα μικρό δοχείο 100 ml περίπου για την ανάμιξη των δύο συστατικών, μία σύριγγα 60 ml για να πάρουμε την αντίστοιχη ποσότητα πολυεστέρα και να την τοποθετήσουμε στο δοχείο, και μία σύριγγα 5 ml για τον σκληρυντή. Έπειτα αναμειγνύαμε τις αντίστοιχες ποσότητες του πολυεστέρα και του σκληρυντή στο δοχείο και με τη μεγαλύτερη σύριγγα τοποθετούσαμε το μείγμα μας στην οπή εισόδου του καλουπιού. Παρατηρήσαμε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα τα είχαμε όταν η χύτευση ολοκληρώνονταν με μία έγχυση στο καλούπι. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε σύριγγα 60 ml ώστε να χυτεύουμε με ένα γέμισμα.

Τον συνολικό όγκο του πολυεστέρα που θα χρειαστούμε για την χύτευση του καλουπιού μας όπως βλέπουμε στην εικόνα **8.2.** μας την υπολογίζει το SolidWork με βάση το σχέδιο. Ο όγκος του πολυεστέρα στο δοκιμίου μας είναι 60,22 ml και γι' αυτό εμείς διαλέξαμε την σύριγγα των 60 ml.



Εικόνα 8.3.

Στην παραπάνω εικόνα **8.3.** βλέπουμε της πέντε οπές που οδηγούν στα δοκίμια. Εφόσον το μείγμα μας είναι έτοιμο με τις αντίστοιχες αναλογίες του πολυεστέρα και του σκληρυντή κάνουμε την χύτευση, και αφήσουμε το καλούπι μας όρθιο μέχρι την στερεοποίηση του πολυεστέρα. Στην περίπτωση μας όμως αφήναμε μία μέρα για την στερεοποίηση , έτσι ώστε να αποκτή ο πολυεστέρας το μεγαλύτερο μέρος της τελικής του αντοχής του, και να μην κινδυνεύει κατά την εξαγωγή του από το καλούπι.



Εικόνα 8.4.

Την επόμενη μέρα ανοίγαμε τις δύο πλάκες του καλουπιού και αφαιρούσαμε τα δοκίμια εικόνα **8.4**. Στο δικό μας πείραμα συγκεκριμένα αφαιρούσαμε πέντε δοκίμια κάθε φορά, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου, αναλώσιμων υλικών, και την κατασκευή των δοκιμίων από την ίδια χύτευση πολυεστέρα, για να έχουν και τις ίδιες ιδιότητες. Την διαδικασία αυτή την επαναλάβαμε έξι φορές.



Εικόνα 8.5.

Κατά την αφαίρεση των δοκιμίων εικόνα **8.5**, δώσαμε μεγάλη προσοχή στην αποκόλληση των δοκιμίων διότι το υλικό είναι ψαθυρό. Η αποκόλληση του κάθε δοκιμίου γινόταν ξεχωριστά, και σταδιακά για να μην καταστραφούν.



Εικόνα 8.6.

Από την παραπάνω εικόνα συμπεραίνουμε ότι τα δοκίμια που είχαμε αφαιρέσει από το καλούπι μας ήταν ενωμένα όπως είχαν σχεδιαστεί, όμοια μεταξύ τους και με λείες επιφάνειες.



Εικόνα 8.7.

Τα δοκίμια μας όπως φαίνεται στην εικόνα μας τα είχαμε κωδικοποιήσει έτσι ώστε μετά την κατεργασία να μην μπερδευτούν μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε το καθένα με τις αντίστοιχες αναλογίες του πολυεστέρα και του σκληρυντή.

Για περιεκτικότητα 2% σε σκληρυντή η κωδικοποίηση είναι P102

Για περιεκτικότητα 3% σε σκληρυντή η κωδικοποίηση είναι P103

Για περιεκτικότητα 4% σε σκληρυντή η κωδικοποίηση είναι P104



Εικόνα 8.8.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τα δοκίμια μας έτοιμα για να γίνουν τα πειράματα στην μηχανή εφελκυσμού στο εργαστήριο των εργαλειομηχανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ INSTRON 1200 KN

Στα πειράματα μας χρησιμοποιήσαμε την μηχανή **INSTRON SATED 1200 KN** όπου έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη δύναμη 1,200 kN, 120,000 kgf (270,000 lbf)
- Μέγιστο ωφέλιμο μήκος λειτουργίας 2311mm (91 in)
- Αριθμός κολώνων 2
- Μέγιστη ταχύτητα πειράματος 200 mm/mm (7,87 in/min)
- Βάρος μηχανής 6645 kg (14650 lb)

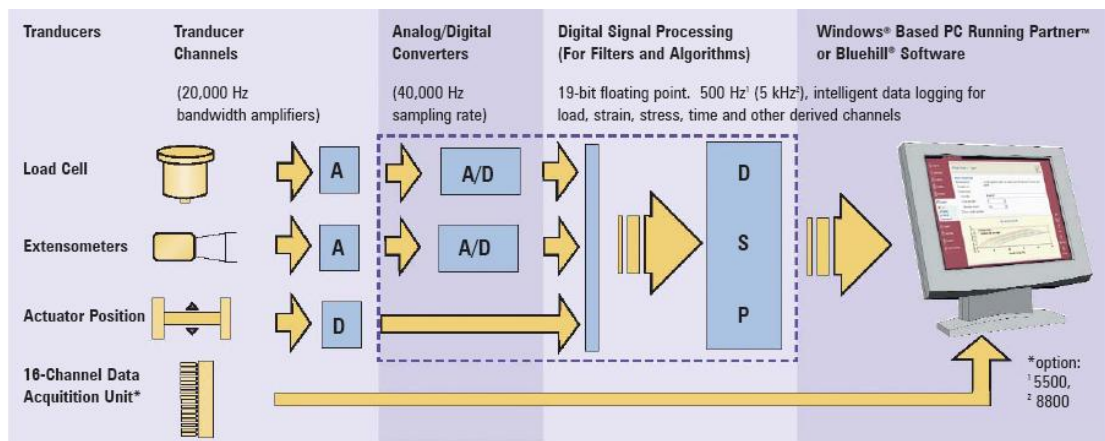
Τα χαρακτηριστικά της μηχανής φαίνονται και πιο αναλυτικά και στον παρακάτω πίνακα.

Model	300KN	600KN	1200KN	1500KN	2000KN
Frame Capacity	300 kN, 30,000 kgf (67,500 lbf)	600 kN, 60,000 kgf (135,000 lbf)	1,200 kN, 120,000 kgf (270,000 lbf)	1,500 kN, 150,000 kgf (337,500 lbf)	2,000 kN, 200,000 kgf (450,000 lbf)
Maximum Vertical Test Opening ¹	1625 mm (64 in)	1625 mm (64 in)	2311 mm (91 in)	2311 mm (91 in)	2311 mm (91 in)
Horizontal Test Opening	711 mm (28 in)	711 mm (28 in)	876 mm (34.5 in)	876 mm (34.5 in)	876 mm (34.5 in)
Actuator Stroke	508 mm (20 in)	508 mm (20 in)	610 mm (24 in)	610 mm (24 in)	610 mm (24 in)
Number of Columns ²	2	2	2	2 or 4	4
Table Size (WxD)	711 mm x 762 mm (28 in x 30 in)	711 mm x 762 mm (28 in x 30 in)	876 mm x 940 mm (34.5 in x 37 in)	876 mm x 940 mm (34.5 in x 37 in)	876 mm x 1118 mm (34.5 in x 44 in)
Testing Speed at Full Load, Maximum	400 mm/min (15.5 in/min)	200 mm/min (7.87 in/min)	200 mm/min (7.87 in/min)	200 mm/min (7.87 in/min)	200 mm/min (7.87 in/min)
Frame Weight ^{3,5}	2500 kg (5510 lb)	2845 kg (6270 lb)	6645 kg (14650 lb)	6645 kg (14650 lb)	9570 kg (21090 lb)
Maximum Frame Height ⁴	3404 mm (134 in)	3531 mm (139 in)	4636 mm (182.5 in)	4636 mm (182.5 in)	4712 mm (185.5 in)
Overall Frame Width ²	1120 mm (44 in)	1120 mm (44 in)	1500 mm (59 in)	1500 mm (59 in)	1500 mm (59 in)
Overall Frame Depth ²	762 mm (30 in)	762 mm (30 in)	940 mm (37 in)	940 mm (37 in)	1118 mm (44 in)
Ground Bearing Pressure	0.29 kg/cm ² (4.18 psi)	0.34 kg/cm ² (4.84 psi)	0.51 kg/cm ² (7.25 psi)	0.51 kg/cm ² (7.25 psi)	0.63 kg/cm ² (8.85 psi)
Stiffness Deflection	<1.0 mm (<0.04 in)	<1.0 mm (<0.04 in)	<1.0 mm (<0.04 in)	<1.0 mm (<0.04 in)	<1.0 mm (<0.04 in)

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά μηχανής

9.1.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ

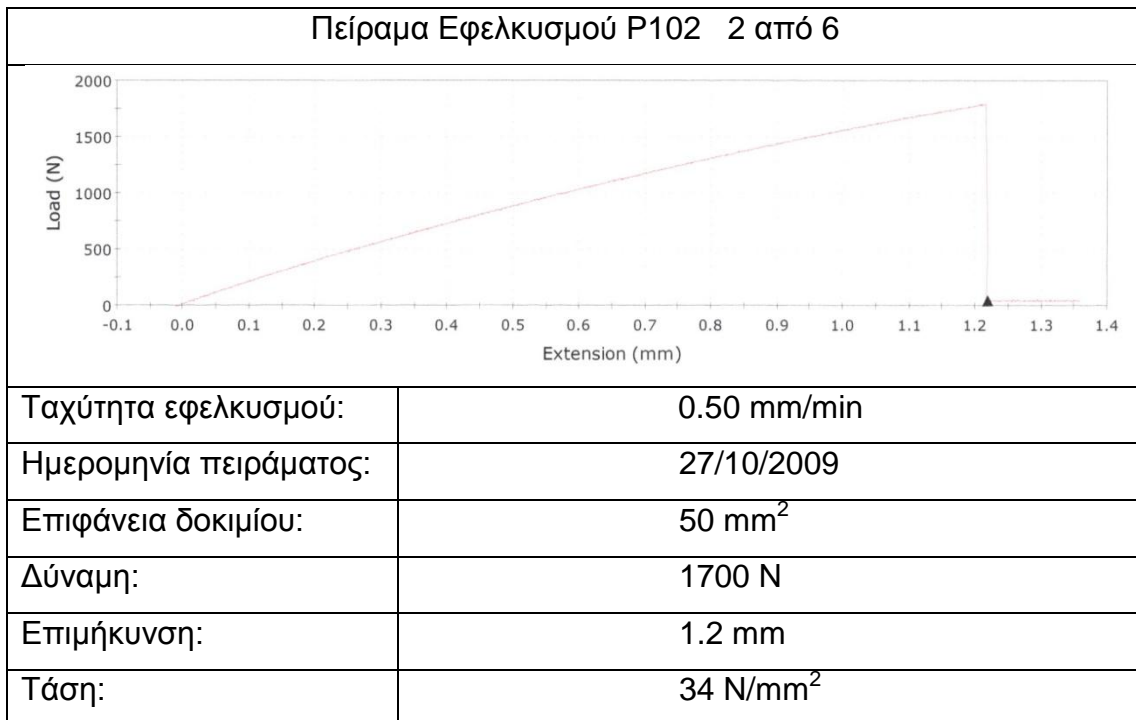
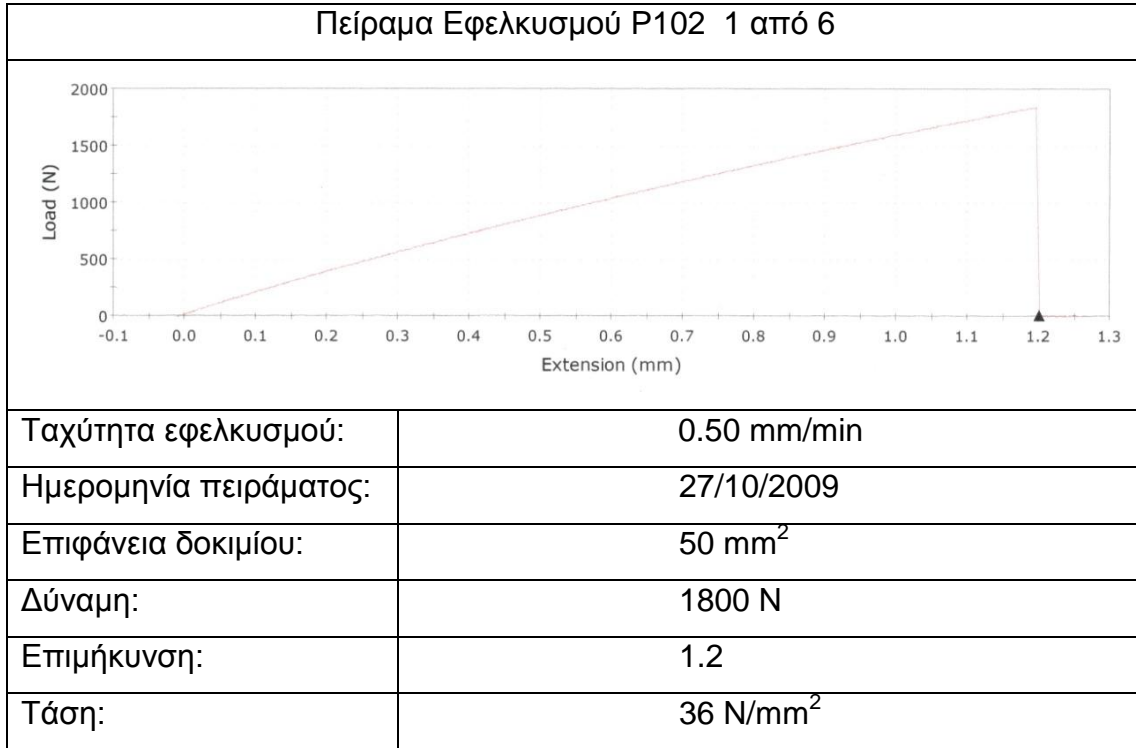
Η συσκευή επικοινωνίας της μηχανής με τον υπολογιστή αποτελείται από τον μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό και τους αλγόριθμους και τα φίλτρα για τα διάφορα σήματα. Η συσκευή αυτή παίρνει τα σήματα από τους αισθητήρες της μηχανής INSTRON πχ.(αισθητήρας επιμήκυνσης, αισθητήρας θέσης δυναμοκυψέλη και 16 κανάλι μεταφορά πληροφοριών). Τέλος όλα αυτά καταλήγουν στον υπολογιστή, όπου έχει το δικό του λογισμικό και παίρνει πληροφορίες και δίνει εντολές. Το διάγραμμα αυτό φαίνεται παρακάτω.

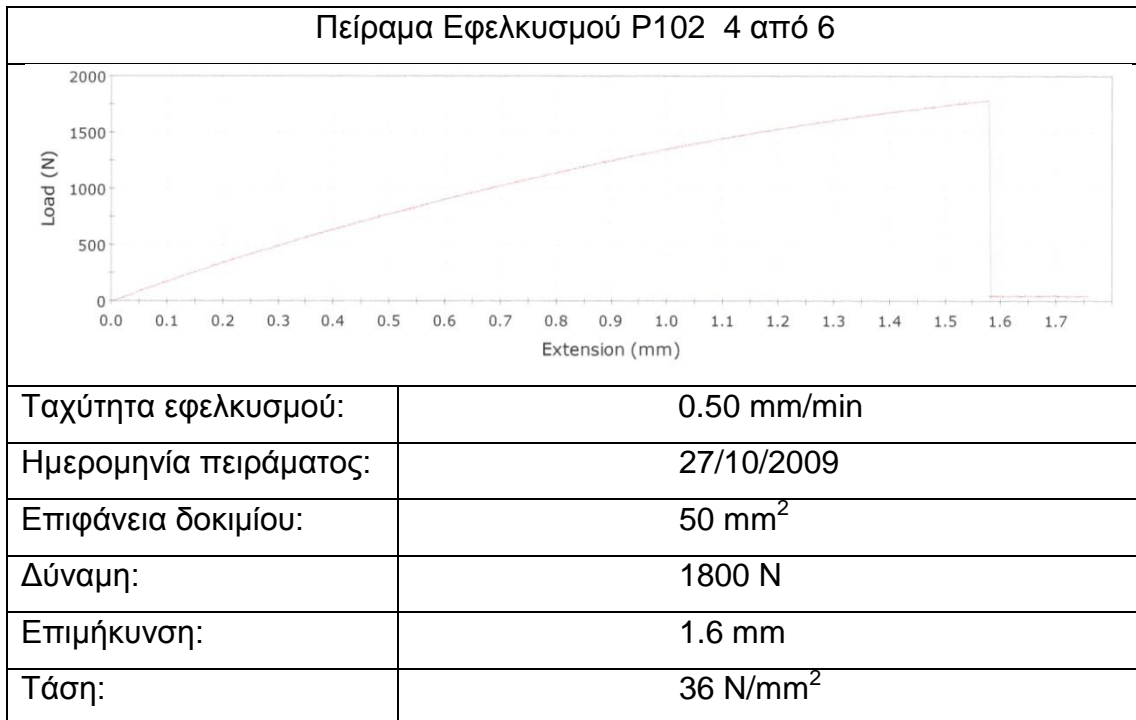
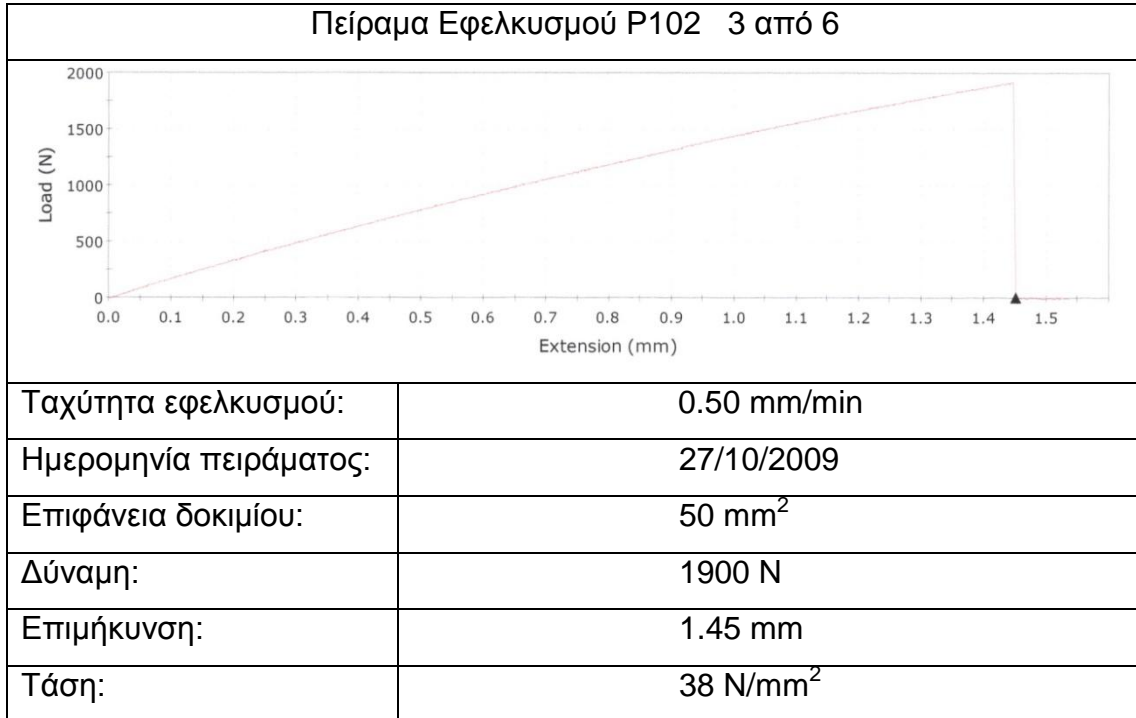


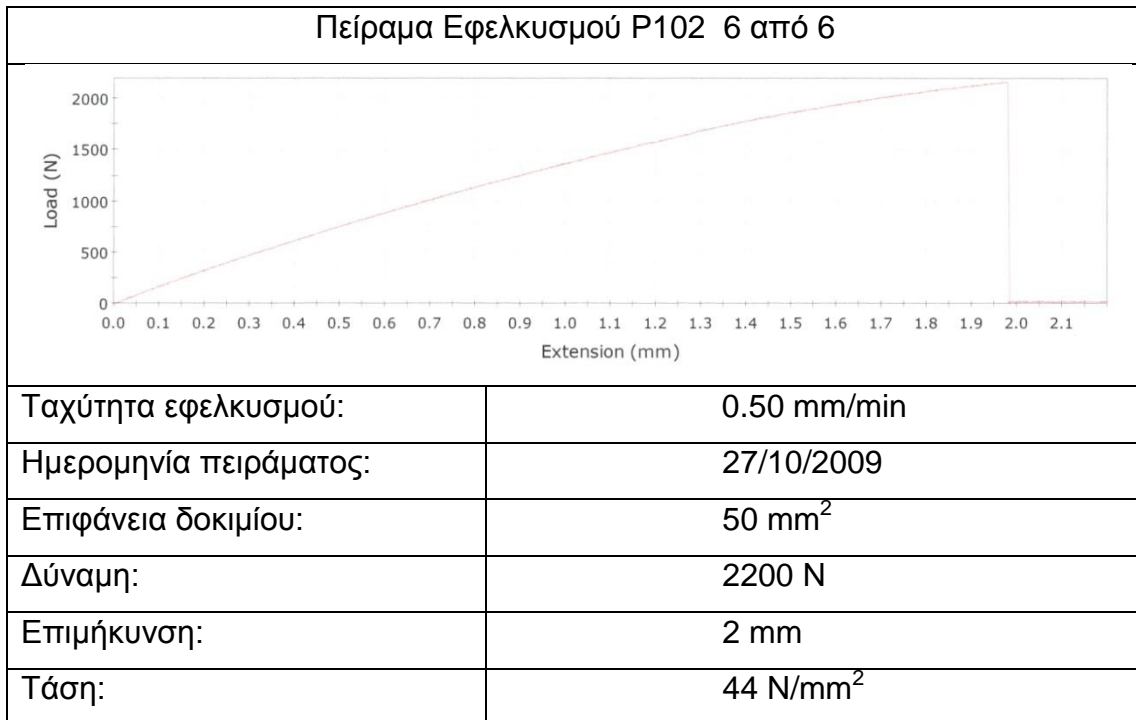
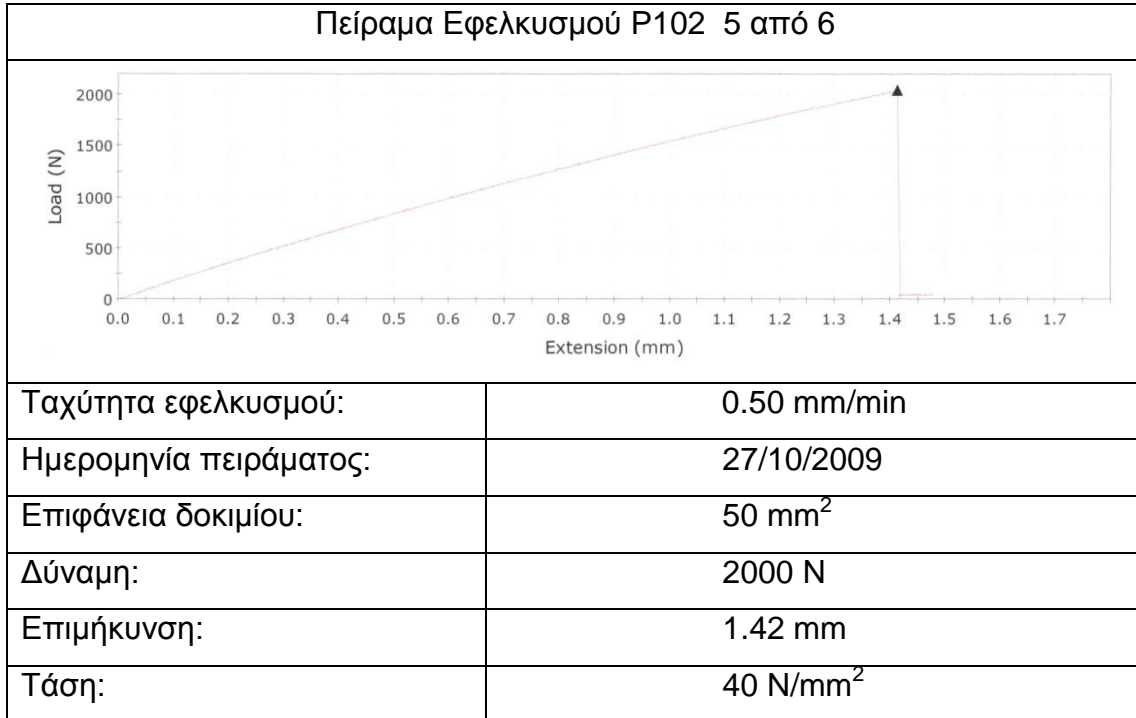
Σχ.9.1. Διάγραμμα επικοινωνίας λογισμικού με μηχανή

9.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

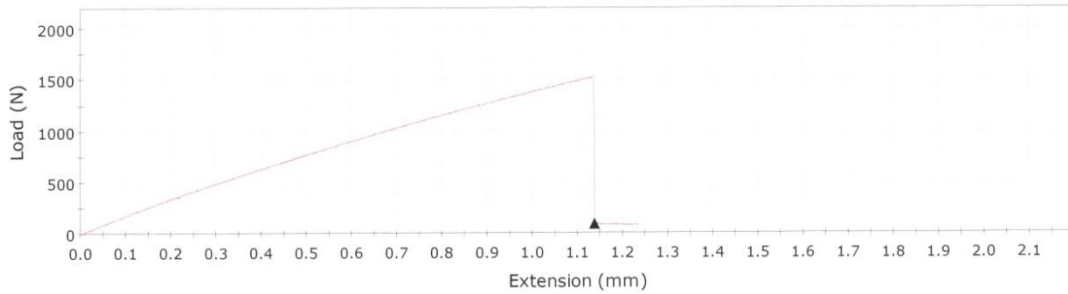
Μετά από την σχεδίαση καλουπιού, την προσομοίωση της κατεργασίας, την δημιουργία κώδικα, την κατεργασία την διαδικασία χύτευσης και την επεξεργασία δοκιμίων φτάσαμε στην πειραματική διαδικασία που είναι και το τελικό στάδιο. Εμείς τα πειράματα μας τα κάναμε στην μηχανή εφελκυσμού INSTRON 1200 KN. Σκοπός μας ήταν να δούμε την συμπεριφορά του πολυεστέρα χωρίς σπλισμό όταν των υποβάλουμε σε φορτία μονοαξονικού εφελκυσμού με διαφορετικές περιεκτικότητες σε σκληρυντή. Το λογισμικό της μηχανής εφελκυσμού έχει την δυνατότητα να μας απεικονίσει δυνάμεις από 1N στην καμπύλη δύναμης παραμόρφωσης, με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που παίρνουμε από τα πειράματα να είναι αναγνωρίσιμες λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της μηχανής. Εμείς είχαμε να κάνουμε πειράματα με περιεκτικότητα σκληρυντή 2%, 3% και 4% με κωδική ονομασία, P102, P103 και P104 αντίστοιχα. Κατά την πειραματική διαδικασία ακολουθούσαμε κάποια βήματα. Αρχικά το κομμάτι μας το τοποθετούσαμε στην μηχανή μας, στις ειδικές σιαγόνες που κατασκευάσαμε για την συγκράτηση του. Η ιδιοκατασκευή σιαγόνων έγινε διότι το μέγεθος των δοκιμίων ήταν πολύ μικρό για την απευθείας συγκράτηση στην μηχανή εφελκυσμού Έπειτα κάναμε τις αντίστοιχες ρυθμίσεις στον υπολογιστή που συνδέεται με την μηχανή και περιμέναμε μέχρι να σπάσει το κομμάτι μας. Αυτό το επαναλάβαμε αρκετές φορές για όλα τα δοκίμια, με τις αντίστοιχες περιεκτικότητες του σκληρυντή, P102, το P103 και το P104. Τα πειράματα εφελκυσμού φαίνονται παρακάτω.





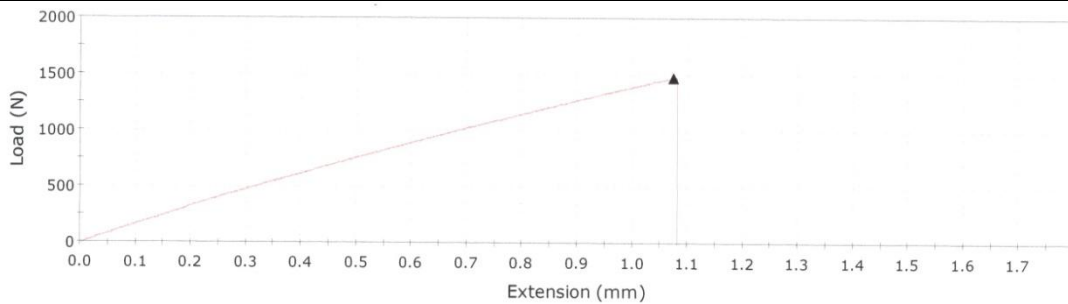


Πείραμα Εφελκυσμού P103 1 από 6

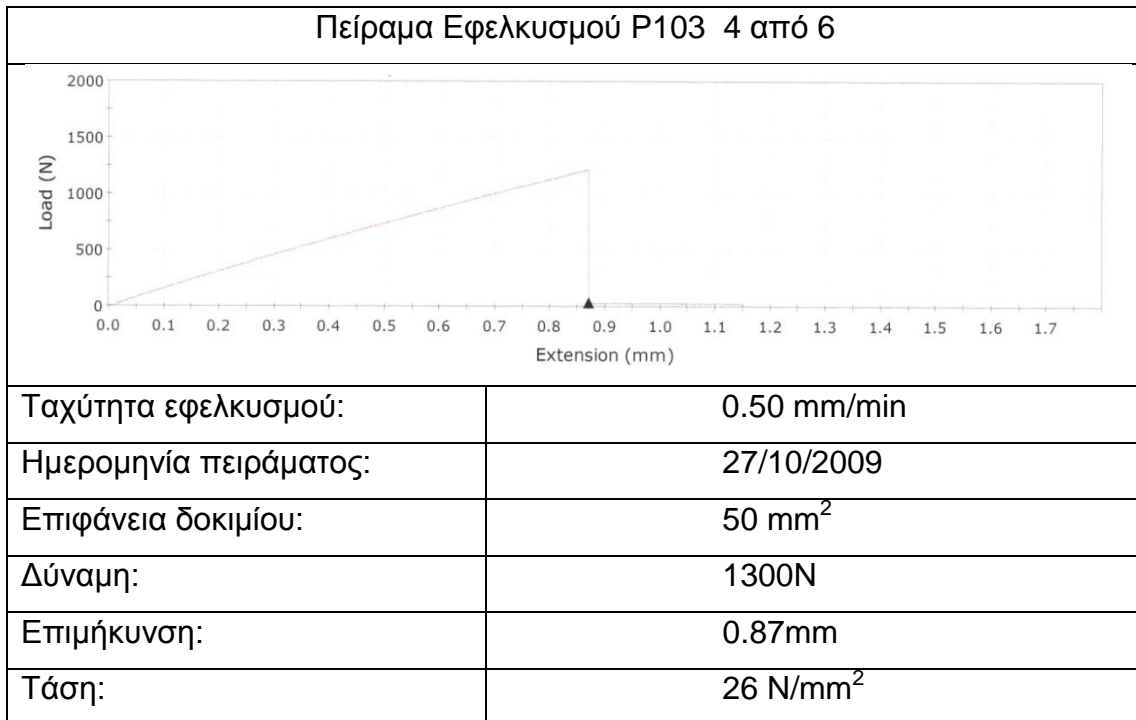
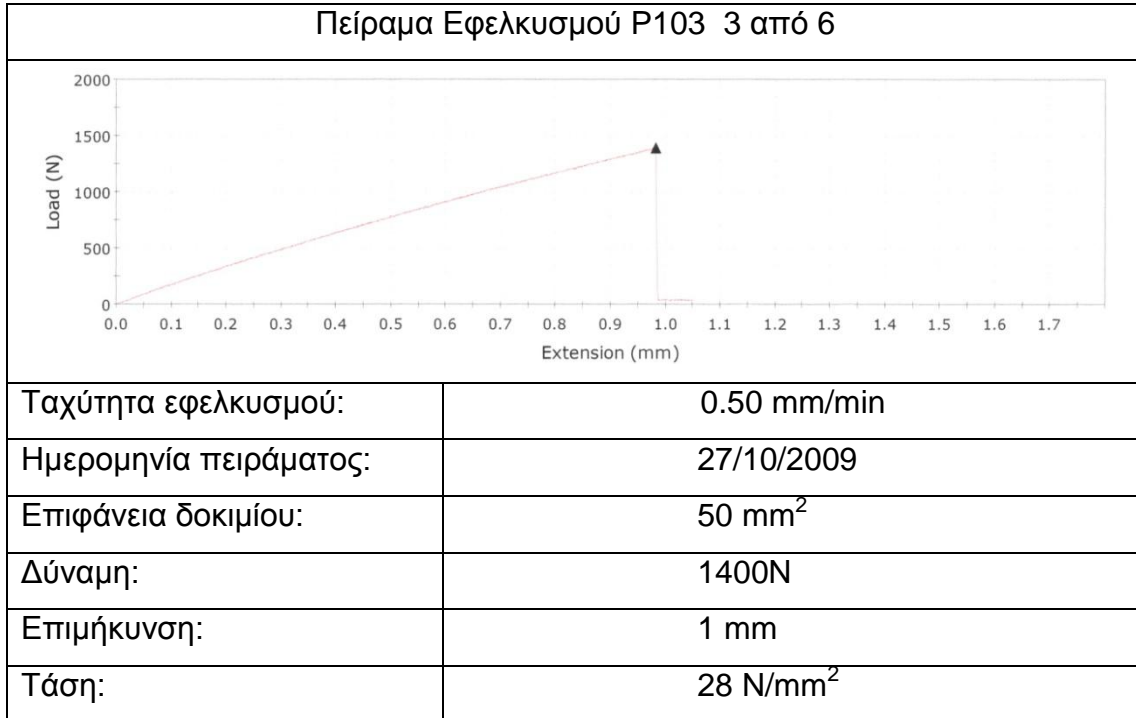


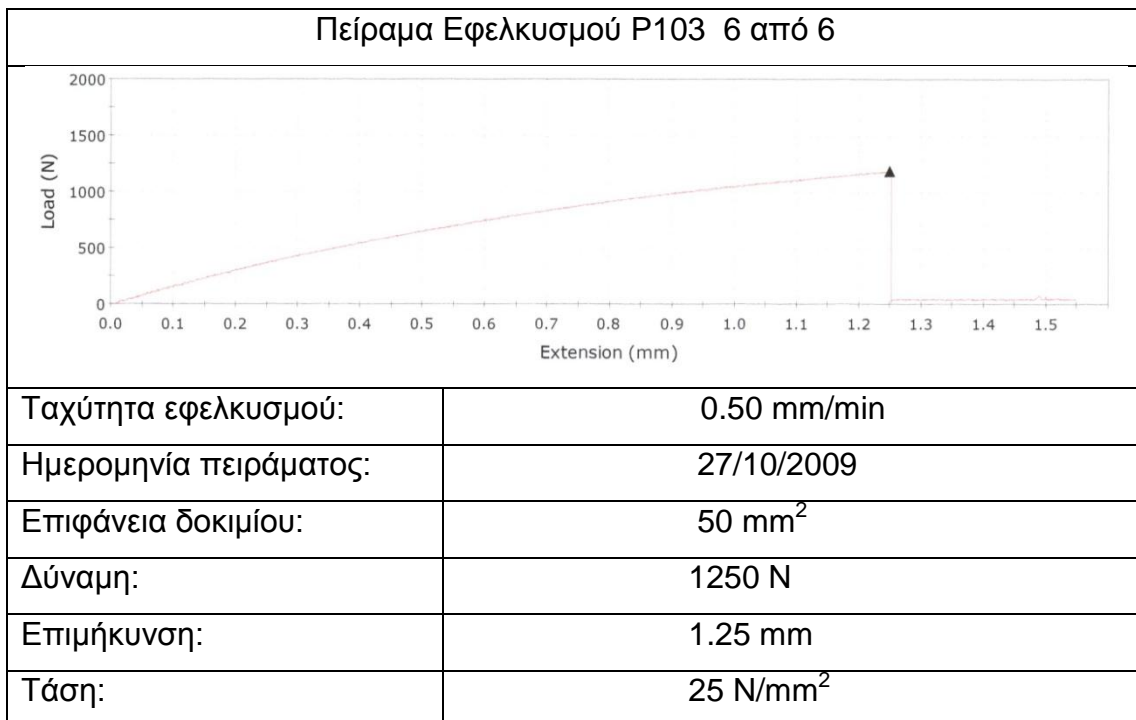
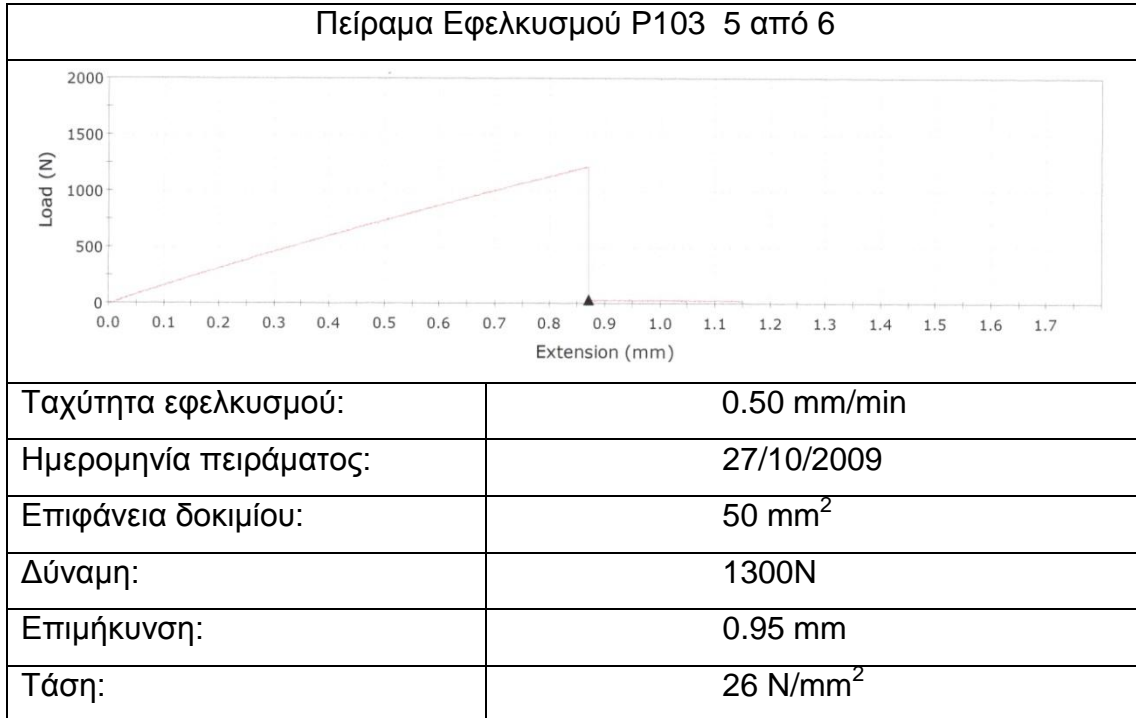
Ταχύτητα εφελκυσμού:	0.50 mm/min
Ημερομηνία πειράματος:	27/10/2009
Επιφάνεια δοκιμίου:	50 mm ²
Δύναμη:	1500N
Επιμήκυνση:	1.15 mm
Τάση:	30 N/mm ²

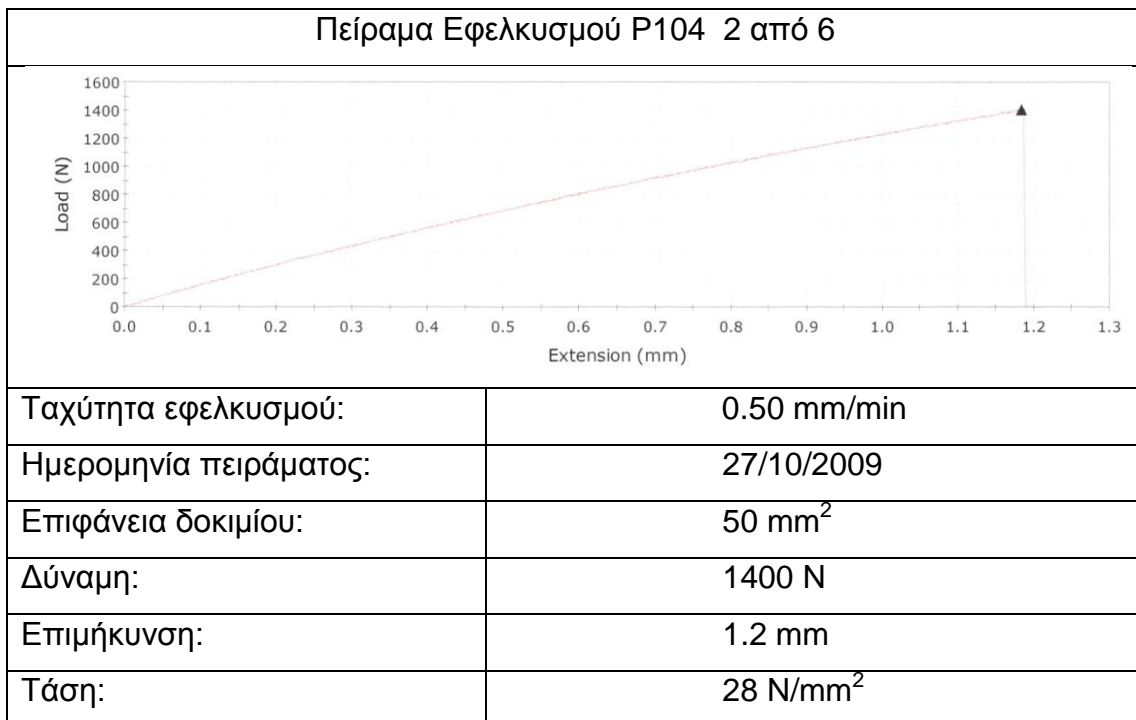
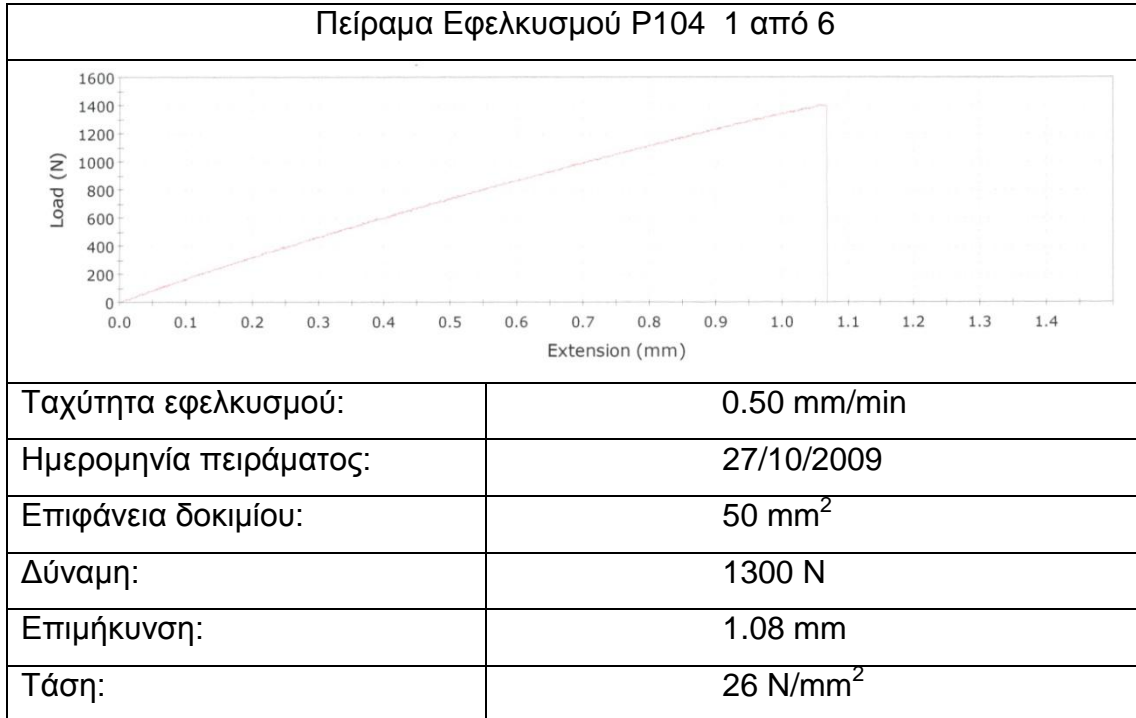
Πείραμα Εφελκυσμού P103 2 από 6

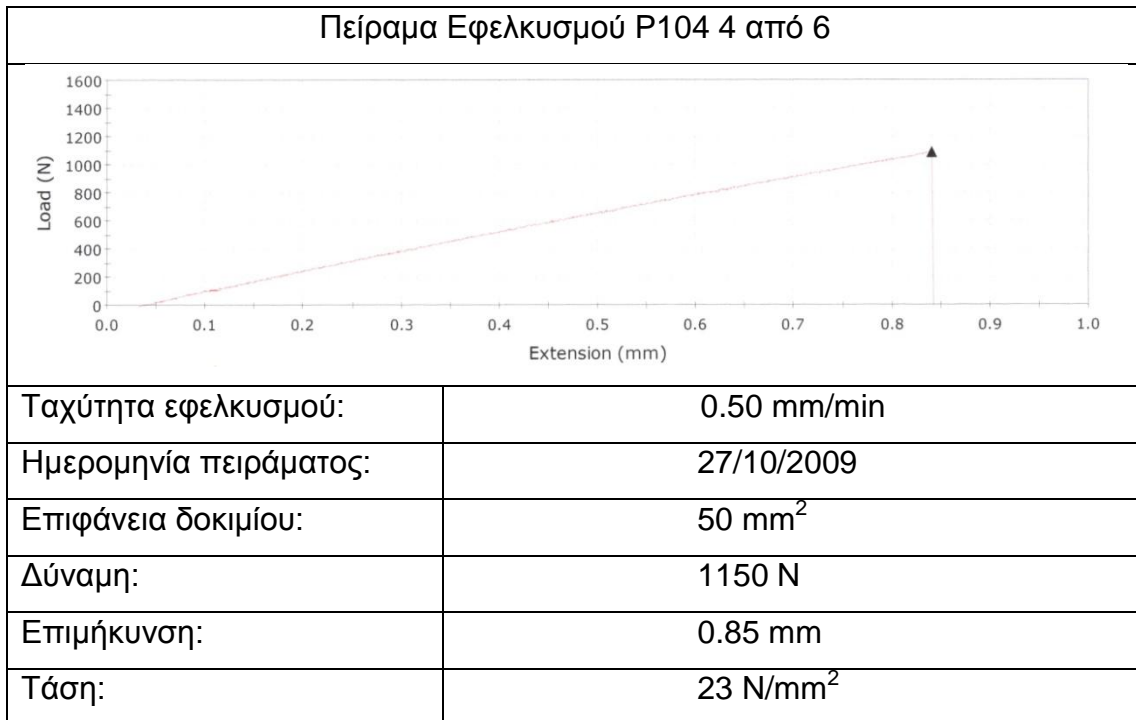
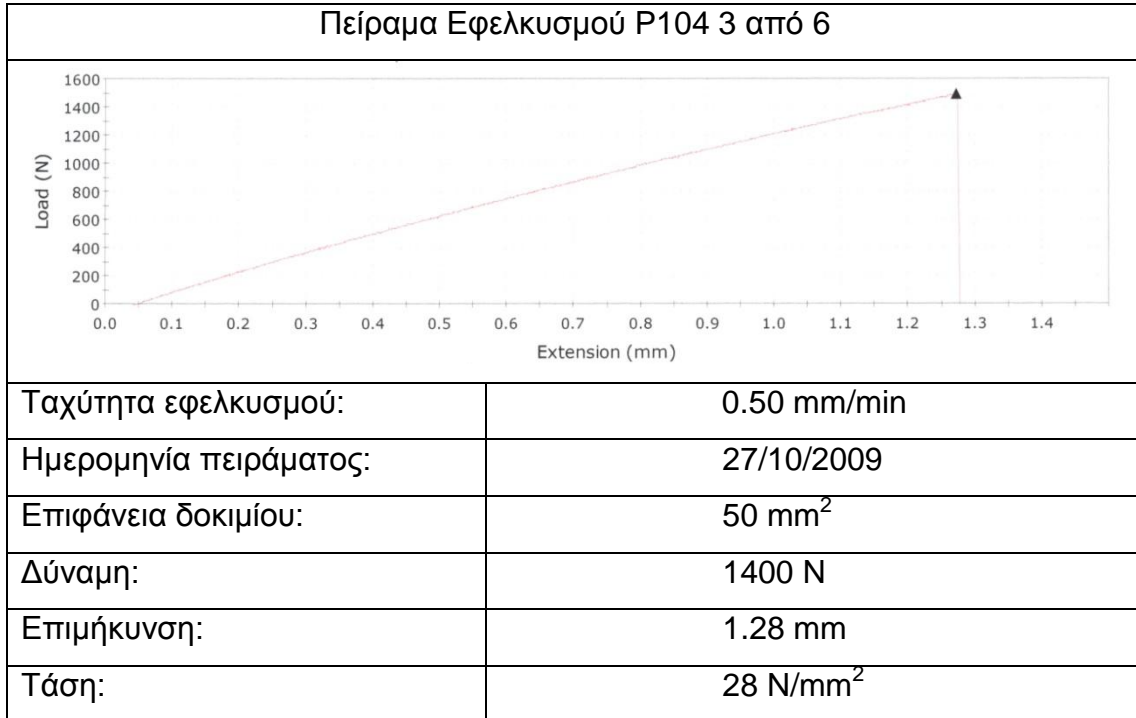


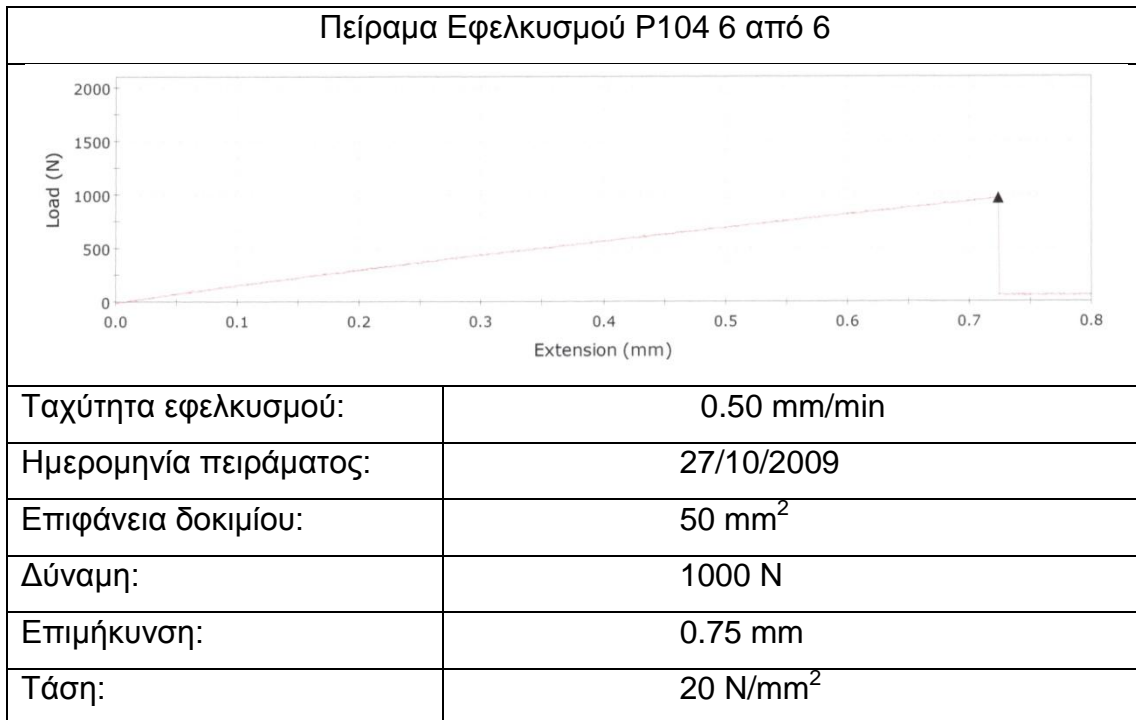
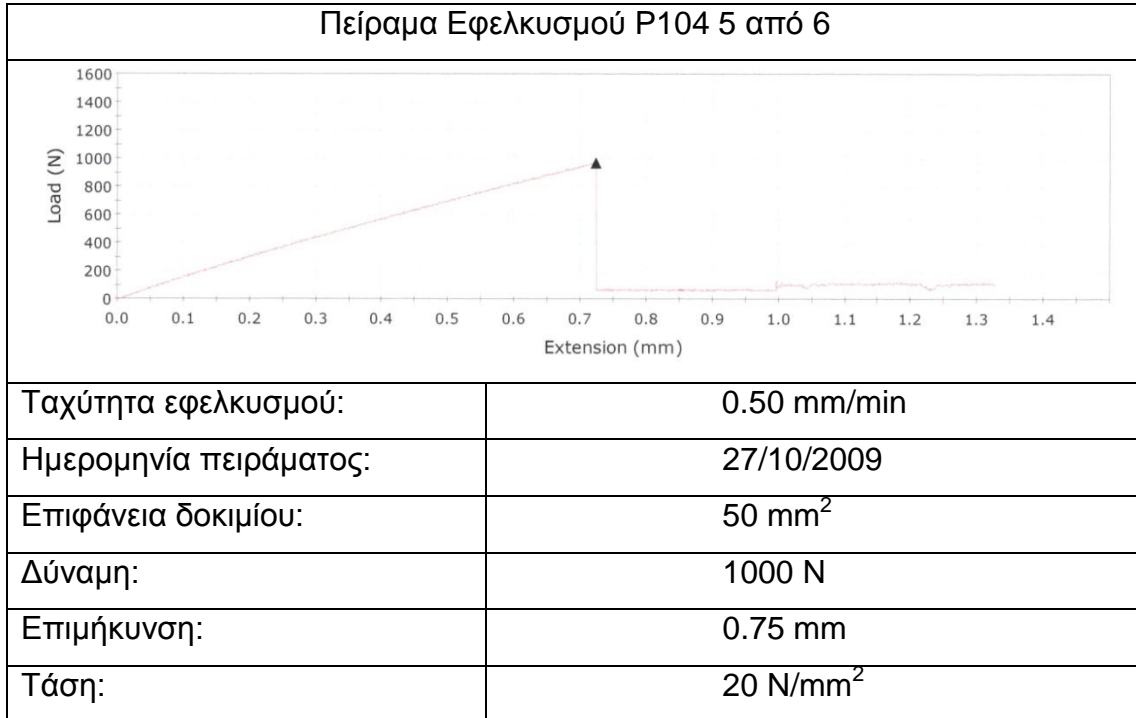
Ταχύτητα εφελκυσμού:	0.50 mm/min
Ημερομηνία πειράματος:	27/10/2009
Επιφάνεια δοκιμίου:	50 mm ²
Δύναμη:	1490N
Επιμήκυνση:	1.1 mm
Τάση:	29.8 N/mm ²











9.2.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω πειράματα καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα.

- Ο πολυεστέρας όταν δεν έχει οπλισμό είναι πάρα πολύ ψαθυρό υλικό, με αποτέλεσμα να κινδυνεύει να σπάσει κατά την συγκράτηση του στην μηχανή εφελκυσμού.
- Με την αύξηση του σκληρυντή πετυχαίνουμε ταχύτερη στερεοποίηση του πολυεστέρα, Αλλά αυξάνεται η ψαθυρότητα, και μειώνετε η αντοχή του σε εφελκυσμό.
- Η χρησιμοποίηση σκληρυντή σε μεγάλο ποσοστό όταν έχουμε δοκίμια με μεγάλο πάχος μας δημιουργεί το πρόβλημα των ρωγμών.

Τελικά αποτελέσματα αντοχής P102	
Μ.Ο Δύναμης:	1900 N
Μ.Ο Επιμήκυνσης:	1.48 mm
Μ.Ο Τάσης:	38N/mm ²

Τελικά αποτελέσματα αντοχής P103	
Μ.Ο Δύναμης:	1374 N
Μ.Ο Επιμήκυνσης:	1.05 mm
Μ.Ο Τάσης:	26.5N/mm ²

Τελικά αποτελέσματα αντοχής P103	
Μ.Ο Δύναμης:	1208 N
Μ.Ο Επιμήκυνσης:	1 mm
Μ.Ο Τάσης:	24.16N/mm ²

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γιάννης Δ. Χρυσουλάκης- Δημήτριος Ι. Παντελής, <<Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών>>, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008.
- Παναγιώτης Α. Βουθούνης, <<Αντοχή των Υλικών>>, Αθήνα 1993.
- Θεοχάρη Π.Σ., <<Μηχανική-Αντοχή των Υλικών>>, Αθήνα 1981.
- Κανελλοπούλου Α., << Τεχνική Μηχανική-Αντοχή των Υλικών>>, Αθήνα 1973.
- Γκρός Γ., <<Αντοχή Υλικών >>,Αθήνα 1978.
- Κωβαίου Μ.Κ ., <<Αντοχή των Υλικών>>, Αθήνα 1977.
- Σπυρόπουλος Ι., <<Μηχανική ΙΙ, Αντοχή Υλικών>>, Μεσολόγγι 1995.
- Φούντα Γ., <<Αντοχή Υλικών, Τόμοι Ι,ΙΙ,>>,Αθήνα.
- Χαρώνη Π., <<Μηχανική ΙΙ Αντοχή των Υλικών>>, Αθήνα 1983.
- Θ.Κερμανίδης –Ε.Μαστρογιάννης, <<Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υλικών>>, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 1991.