



ΕΜΓΤ



# Βελτιστοποίηση μεταλλικών συσκευασιών με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης

151

Πτυχιακή εργασία για την απόκτηση του διπλώματος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ LOGISTICS

(Εφοδιασμός και διακίνηση προϊόντος)

από

ΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



00140643

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	40643
COMP.	26190 ή 33713
ΤΑΞΙΝ.	6φο. 285 ΚΑΚ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

**ΚΑΚΟΥΔΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Βιομηχανίας

ΤΜ. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ 2002



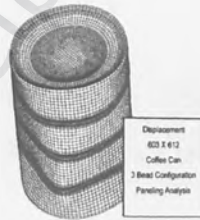
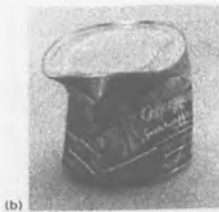
**ΕΜΓΤ ΤΜ. ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΤΜ. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Βελτιστοποίηση μεταλλικών συσκευασιών με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης**



**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ LOGISTICS**

**(Εφοδιασμός και διακίνηση προϊόντος)**

**ΚΑΚΟΥΛΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Βιομηχανίας

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2002

Η παρούσα πτυχιακή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος logistics του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά. Με την περάτωση της εργασίας αυτής ολοκληρώθηκε ο κύκλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών και θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρόεδρο, τους καθηγητές και τους επιστημονικούς συνεργάτες του μεταπτυχιακού, που προσπάθησαν και κατόρθωσαν να ξεπεράσουν δεδομένα λειτουργικά προβλήματα προάγοντας την επιστημονική γνώση.

Θα ήθελα κυρίως να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή Δρ. Δ. Καραλέκα, για την εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου και για την αμέριστη βοήθεια του στην ολοκλήρωση της έρευνας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες κ. Α. Αγγελόπουλο και κ. Ι. Γιαννατσή, για τη συμβολή τους στην αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας του εργαστηρίου.

Οφείλω ακόμα να αναφέρω ότι για την ολοκλήρωση της μελέτης πραγματοποιήθηκαν πειράματα στα εργαστήρια της εταιρείας ΑΡΓΩ ΑΕΒΕ, γεγονός που αποδεικνύει την αραστή συνεργασία Πανεπιστημίου και Βιομηχανίας, και να ευχαριστήσω ειδικά τον Δρ. Χ. Κατσιχτη για τη βοήθεια του στη κατανόηση και χρήση των πειραματικών συσκευών.

Κακουδάκης Ιωάννης

Πειραιάς 16/10/2002

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
Περιεχόμενα	2
Εισαγωγή	6
<b>Κεφάλαιο 1 : ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ Rapid Prototyping and Manufacturing</b>	
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Ταχεία πρωτοτυποποίηση, μια νέα τεχνολογία γεννιέται	9
1.2.1 “ Ένα πρωτότυπο αξίζει όσο χίλιες εικόνες ”	10
1.3 Διαδικασία βελτίωσης προϊόντων με τη δημιουργία πρωτοτύπων	11
1.3.1 Τα οκτώ βήματα της διαδικασίας	12
1.3.2 Σχεδιασμός νέων προϊόντων και αποτελεσματικότητα	14
1.4 Λίγα λόγια για τα φυσικά μοντέλα, πρωτότυπα	14
1.4.1 Έξι διαφορετικοί τύποι πρωτοτύπων	16
1.4.2 Οι εφαρμογές των πρωτοτύπων	18
1.5 Οι απαιτήσεις των σύγχρονων συσκευασιών και η βελτιστοποίηση τους.	19
1.5.1 Η αναγκαιότητα των τεστ σε συσκευασίες	20
1.5.2 Τρία τα βασικότερα τεστ	21
1.5.3 Βελτιστοποίηση πρωτογενών συσκευασιών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων	22
1.5.4 Βελτιστοποίηση πρωτογενών συσκευασιών με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης. Στόχοι παρούσας πτυχιακής	23
<b>Κεφάλαιο 2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων στερεολιθογραφίας</b>	
2.1 Εισαγωγή	26
2.2 Στερεολιθογραφία	26
2.3 Συνηθέστερα προβλήματα	

2.4 Το πλέγμα στήριξης	30
2.5 Τα Φωτοπολυμερή υλικά και οι ιδιότητες τους	31
2.6 Βασικά χαρακτηριστικά των ρητινών και ο ρόλος τους στην επίτευξη ακρίβειας	33

**Κεφάλαιο 3** Παρουσίαση των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Περιγραφή των μηχανικών δοκιμών

3.1 Εισαγωγή	37
3.2 Βελτιστοποίηση μεταλλικών συσκευασιών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων	37
3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων	38
3.3.1 Επίδραση από την απόσταση των δακτυλιδιών (Bead Spacing)	40
3.3.2 Επίδραση του αριθμού των δακτυλιδιών (Number of Beads)	41
3.3.3 Επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών (Bead Depth)	41
3.3.4 Επίδραση του πάχους του τοιχώματος (Wall thickness)	42
3.4 Παρούσα πτυχιακή	43
3.4.1 Περιγραφή της δοκιμής θλίψης στα πρωτότυπα	45
3.4.2 Περιγραφή της δοκιμής υποπίεσης στα πρωτότυπα	47

**Κεφάλαιο 4** Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων Μηχανικών δοκιμών σε πρωτότυπα

4.1 Εισαγωγή	50
4.2 Αποτελέσματα αξονικής φόρτισης στα πρωτότυπα	50
4.2.1 Επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών (bead depth)	55
4.2.2 Επίδραση του πάχους του τοιχώματος (Wall thickness)	60
4.2.3 Επίδραση του αριθμού των δακτυλιδιών (Number of Beads)	62
4.2.4 Επίδραση από την απόσταση των δακτυλιδιών (Bead Spacing)	63

4.3 Αποτελέσματα Υποπίεσης στα πρωτότυπα	66
4.4 Συνολική αξιολόγηση της μεθόδου και τα επόμενα πιθανά βήματα	70
<b>Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα</b>	<b>71</b>
<b>Παράρτημα 1 Τα πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν</b>	<b>78</b>
<b>Παράρτημα 2 Τα γραφήματα τάσης παραμόρφωσης</b>	<b>88</b>
Βιβλιογραφία	95

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός και η δημιουργία των πρώτων μικρών συσκευασιών για διατήρηση των τροφίμων ξεκίνησε στις αρχές του 1790, από τον Nicholas Appert, για τις ανάγκες του στρατού του Ναπολέοντα. Από τότε η πρόοδος, στις συσκευασίες αυτές, ήταν εντυπωσιακή, με αποτέλεσμα στις μέρες μας να αποτελούν τη βασική μέθοδο συντήρησης των τροφίμων. Χαρακτηριστικό είναι ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες η παραγωγή κονσέρβας προσεγγίζει τα 30 εκατομμύρια τεμάχια ετησίως. Η μεγάλη αυτή ζήτηση, όπως είναι φυσικό έχει ωθήσει την βιομηχανία στην χρήση σύγχρονης τεχνολογίας με στόχο τη μείωση του κόστους, περιορίζοντας τις ανάγκες σε πρώτες ύλες αλλά και την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε θλιπτικά φορτία και σε συνθήκες υποπίεσης.

Η επιθυμία αυτή για βελτιστοποίηση των συσκευασιών, ικανοποιείται κυρίως στις μέρες μας με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων όπως τα πεπερασμένα στοιχεία. Τα εξειδικευμένα αυτά υπολογιστικά πακέτα προσομοιώνουν τις μηχανικές δοκιμές σε συσκευασίες και μελετούν την επίδραση των χαρακτηριστικών της στην αντοχή σε θλίψη και σε υποπίεση. Η τεχνική αυτή πάντως αν και έχει δώσει πολύ σημαντικά αποτελέσματα παρουσιάζει πολύ υψηλό κόστος, προϋποθέτει τη συνεργασία ειδικών επιστημόνων και γενικά απαιτεί μεγάλη προσπάθεια μέχρι την προσέγγιση του τελικού στόχου.

Οι σύγχρονες όμως απαιτήσεις των εταιρειών για αύξηση της ταχύτητας ανάπτυξης νέων προϊόντων με παράλληλη μείωση του συνολικού κόστους υποχρέωσαν τις ομάδες σχεδιασμού στην αναζήτηση μιας νέας πιο ευέλικτης τεχνολογίας. Η νέα αυτή τεχνολογία, επιτρέπει τη δημιουργία φυσικών αντικειμένων σχεδιασμένα σε υπολογιστή και λέγεται *Μέθοδος της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης (Rapid Prototyping*

& Manufacturing). Η διαδικασία βελτιστοποίησης με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης αποτελείται από οκτώ βήματα με κύριο χαρακτηριστικό τη δημιουργία πρωτοτύπων ελάχιστα ή και σημαντικά διαφοροποιημένα από τα αρχικό σχέδιο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε και αξιολογήθηκε η μέθοδος για τη βελτιστοποίηση μεταλλικών συσκευασιών, οπότε και κατασκευάστηκαν οκτώ διαφορετικά πρωτότυπα συγκεκριμένων διαστάσεων. Κάθε ένα από αυτά δοκιμάστηκε σε θλίψη και σε συνθήκες υποπίεσης, με τη χρήση κατάλληλων πειραματικών συσκευών και μελετήθηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στην αντοχή τους. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση του βάθους των δακτυλίων ενίσχυσης, της απόστασης των δακτυλίων, του πάχους του τοιχώματος και του αριθμού των δακτυλίων και σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα μεταβολής της αντοχής.

Το σημαντικό μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών ήταν ότι τα πρωτότυπα, κάτω από μηχανική φόρτιση, συμπεριφέρονται ανάλογα με τις μεταλλικές συσκευασίες και ότι η μεταβολή της αντοχής των πρωτοτύπων από την επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας, ήταν εφάμιλλη άλλων μεθόδων βελτιστοποίησης. Τα στοιχεία αυτά συνηγορούν ότι η χρήση της μεθόδου της ταχείας πρωτοτυποποίησης σε διαδικασίες βελτιστοποίησης αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο και αξιόπιστο εργαλείο.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΤΑΧΕΙΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ

#### Rapid Prototyping and Manufacturing

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια πρώτη γνωριμία με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης, και αναλύονται οι λόγοι που την καθιέρωσαν ως ένα από τα χρησιμότερα εργαλεία βελτίωσης διαφόρων προϊόντων. Παράλληλα εξετάζονται οι απαιτήσεις της συσκευασίας στη σύγχρονη ανταγωνιστική αγορά αλλά και το πως η δημιουργία πρωτοτύπων με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης μπορεί να συντελέσει αποτελεσματικά στη βελτιστοποίηση της.

## 1.2 Ταχεία πρωτοτυποποίηση: μια νέα τεχνολογία γεννιέται

Είναι γνωστή η μαγεία που ασκεί στους ανθρώπους η εμφάνιση μιας νέας τεχνολογίας, ειδικότερα όταν αυτή αποδεικνύεται χρήσιμη και αποτελεσματική. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η γέννηση μιας νέας τεχνολογίας που επιτρέπει τη δημιουργία φυσικών αντικειμένων σχεδιασμένα σε υπολογιστή. Η τεχνολογία αυτή λέγεται *Μέθοδος της Ταχείας Πρωτοτυποποίησης* [3] (*Rapid Prototyping & Manufacturing*), πρόγονος της οποίας αποτελεί η στερεολιθογραφία (*Stereolithography*) ή ο σχεδιασμός σε τρεις διαστάσεις. Πιο συγκεκριμένα στερεολιθογραφία ονομάζουμε την διαδικασία που χρησιμοποιείται για την στερεοποίηση υγρού πολυμερούς, πολυμερές πλαστικό ευαίσθητο στο φως, με τη βοήθεια μιας υπέρυθρης ακτίνας Laser. Το φαινόμενο της στερεοποίησης ονομάζεται φωτο-πολυμερισμός (*photopolymerisation*) και είναι ουσιαστικά μια σειρά από αλυσιδωτές αντιδράσεις ανάλογες με αυτές που συμβαίνουν στη παραγωγή οποιουδήποτε πλαστικού αντικειμένου. Κύριο λοιπόν χαρακτηριστικό της μεθόδου

είναι η κατασκευή πρωτοτύπων με τη χρήση της κατάλληλης μηχανής πρωτοτυποποίησης.

### 1.2.1 “Ένα πρωτότυπο αξίζει όσο χίλιες εικόνες”

Η μέθοδος της ταχείας πρωτοτυποποίησης βρίσκεται ακόμα σε νηπιακή ηλικία. Συνεπώς έχει να αντιμετωπίσει τη δυσπιστία της αγοράς και να ξεπεράσει τις πρώτες παιδικές ασθένειες. Είναι μάλιστα γεγονός, ότι τρία χρόνια μετά την εμπορική παρουσίαση της οι πρακτικές εφαρμογές της μεθόδου ήταν περιορισμένες. Κοινός πάντως παρανομαστής των εφαρμογών αυτών ήταν το στάδιο της πρωτοτυποποίησης.

Γρήγορα διαπιστώθηκε, ότι ανεξάρτητα από την εμπειρία που μπορεί να έχει κάποιος, η κατανόηση και η μελέτη μηχανολογικών σχεδίων αποδεικνύεται ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία. Τυφλές τρύπες πολύπλοκα εσωτερικά χωρίσματα, λεπτές εγκοπές, καμπύλες επιφάνειες συχνά οδηγούν σε λάθος εκτιμήσεις. Παραφράζοντας μάλιστα το γνωστό γωμικό “μια εικόνα αξίζει όσο χίλιες λέξεις”, μπορούμε να πούμε ότι “η δημιουργία ενός πρωτοτύπου αντιστοιχεί σε χίλιες εικόνες”. Επομένως, για να είμαστε σίγουροι ότι αυτό που σχεδιάσαμε είναι και αυτό που θέλουμε δεν υπάρχει καλύτερος τρόπος από μα το έχουμε σε φυσική κλίμακα στα χέρια μας και να το παρατηρούμε από διάφορες γωνίες. Η πραγματικότητα αυτή έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμη στη βελτίωση προϊόντων, μιας και συντέλεσε στην αποτελεσματικότερη οργάνωση των ομάδων σχεδιασμού των εταιρειών. Στη παρακάτω ενότητα αναλύεται η διαδικασία βελτιστοποίησης προϊόντων με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης και εξηγείται η αποτελεσματικότητά της.

### 1.3 Διαδικασία βελτίωσης προϊόντων με τη δημιουργία πρωτοτύπων

Τα μηνύματα της αγοράς για βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων είναι γνωστά στους σχεδιαστές, στους μηχανικούς και στους managers, οι οποίοι αποτελούν και τη βασική ομάδα σχεδιασμού και βελτίωσης προϊόντων. Τελικά όμως, παρά τις φιλότιμες προσπάθειες η αγορά κατακλύζεται από προϊόντα μη επιθυμητής ποιότητας. Οι σημαντικότεροι λόγοι που εξηγούν το φαινόμενο αυτό είναι:

- 1 η ανεπιτυχής προσπάθεια της ομάδας σχεδιασμού, στον συμβιβασμό ποιότητας και ταχύτητας εσόδου στην αγορά
- 2 η απουσία πειραματικών δοκιμών σε ολοκληρωμένα πρωτότυπα με την αιτιολογία την σπατάλης πολλών χρημάτων
- 3 η κακή οργάνωση και λειτουργία του τμήματος σχεδιασμού

Όλα τα παραπάνω οδηγούν πολλά προϊόντα στη γραμμή παραγωγής ακόμα και με σημαντικά λειτουργικά και ποιοτικά προβλήματα. Μια τέτοια όμως κοντόφθαλμη πρακτική οδηγεί με μαθηματική ακρίβεια σε εμπορική αποτυχία. Σε σημαντική δηλαδή μείωση των cash flow της εταιρείας και τη δημιουργία αρνητικού κλίματος για όλα τα προϊόντα της (στην έντονα ανταγωνιστική αγορά).

Τα φαινόμενα αυτά μειώνονται σημαντικά, όταν για τη βελτιστοποίηση χρησιμοποιείται η μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης. Η κατασκευή πρωτοτύπων εξασφαλίζει την πραγματοποίηση δοκιμών και την διόρθωση όλων εκείνων των χαρακτηριστικών, ώστε τα προϊόντα που αγοράζει ο καταναλωτής να έχουν την επιθυμητή ποιότητα, με μηδενικό αριθμό λαθών.

### 1.3.1 Τα οκτώ βήματα της διαδικασίας

Η διαδικασία βελτιστοποίησης που ακολουθείται με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι η εξής [3]

1. Σχεδιασμός του πρωτοτύπου σε CAD
2. Κατασκευή του πρωτοτύπου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο RP&M
3. Παρατήρηση του πρωτοτύπου για λάθη στο σχεδιασμό
4. Διόρθωση των λαθών στο CAD
5. Επαλήθευση του νέου πρωτοτύπου
6. Αν είναι το επιθυμητό, δημιουργούμε ένα test model
7. Πραγματοποίηση λειτουργικών τεστ
8. Αν ικανοποιούν τις αρχικές απαιτήσεις προχωρούμε στη κατασκευή.

Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω βήματα η μέθοδος επιτρέπει άμεσα τη δημιουργία πρωτοτύπων ελάχιστα ή και σημαντικά διαφοροποιημένα από τα αρχικά σχέδια, κυρίως όμως εξασφαλίζει διαδικασίες δοκιμής και σφάλματος σε κάθε βήμα της. Πράγματι μετά τον αρχικό σχεδιασμό (βήμα 1) και τη κατασκευή (βήμα 2), τα πρωτότυπα διανέμονται σε όλα ανεξαιρέτως τα τμήματα της εταιρείας. Συνεπώς δίνεται η δυνατότητα ανεξάρτητης μελέτης του πρωτοτύπου σε κάθε τμήμα της εταιρείας και με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις (του τμήματος), το προϊόν γίνεται αποδεκτό ή τροποποιείται ανάλογα. Συχνά μάλιστα οι αλλαγές, που προτείνονται από τα διάφορα τμήματα, είναι αντιδιαμετρικά αντίθετες.

Η ανεξάρτητη αυτή λειτουργία αυτή έχει δείξει, ότι κατανοούνται γρηγορότερα τα ελαττώματα του νέου προϊόντος, μειώνοντας το ρίσκο αποτυχίας του.

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τα αποτελέσματα μελέτης σε πρωτότυπα :

- 1 για το τμήμα marketing, όπου η παρουσίαση του πρωτοτύπου στο καταναλωτικό κοινό έδειξε τη μικρή αποδοχή του, και αποφασίστηκε η επιλογή μιας πιο εύκολα αναγνωρίσιμης συσκευασίας
- 2 για το τμήμα logistics, όπου οι δοκιμές σε πρωτότυπα έδειξαν ότι με το νέο προϊόν δημιουργούνται αυξημένες ανάγκες αποθήκευσης και μεταφοράς, μεταβάλλοντας σημαντικά το συνολικό κόστος λειτουργίας των logistics

Με την ολοκλήρωση της καταγραφής αυτής, η ομάδα σχεδιασμού αποφασίζει για τα τελικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (βήμα 4). Ακολουθεί η κατασκευή του νέου πρωτοτύπου και η επιλογή συγκεκριμένων δοκιμών που να πιστοποιούν την ικανοποίηση των προδιαγραφών (βήμα5,6). Με την επιτυχή ολοκλήρωση των λειτουργικών τεστ το νέο βελτιωμένο προϊόν είναι έτοιμο να μπει στη γραμμή παραγωγής .

Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι παλιότερα η δημιουργία πρωτοτύπων αποτελούσε μια ακριβή και χρονοβόρα διαδικασία που σπάνια είχε θεαματικά αποτελέσματα. Με τη χρήση όμως της μεθόδου της ταχείας πρωτοτυποποίησης είναι εφικτή η δημιουργία σε λιγότερο από 15 μέρες, επαναληπτικών πρωτοτύπων. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι μια σημαντική εξέλιξη για την αποτελεσματικότητα τέτοιων μεθόδων .

### 1.3.2 Σχεδιασμός νέων προϊόντων και αποτελεσματικότητα

Πρέπει να τονίσουμε ότι η επιτυχία της μεθόδου δεν έγκειται μόνο στα πλεονεκτήματα από τη δημιουργία φυσικών πρωτοτύπων αλλά και από το τρόπο συνεργασίας των διαφόρων τμημάτων της εταιρείας που η μέθοδος επιβάλλει. Είναι γεγονός, ότι από τα εκατό νέα προϊόντα που σχεδιάζονται για να λανσαριστούν στην αγορά μόνο τα δέκα κατορθώνουν να επιβιώσουν και μόλις δύο εξακολουθούν να παράγονται μετά την παρέλευση δύο ετών. Οι ατυχές αυτές επιλογές και η σπατάλη μεγάλων χρηματικών ποσών, χωρίς την ανάλογη εισροή κεφαλαίου, έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την αποδυνάμωση των επιχειρήσεων με ορατό τον κίνδυνο του αφανισμού ειδικά για τις μικρότερες εξ αυτών. Οι περισσότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με στόχο να κατανοήσουν το παραπάνω πρόβλημα και να προτείνουν λύσεις για την αύξηση της αποτελεσματικότητας του σχεδιασμού νέων προϊόντων, ανέφεραν ότι η ομαδική δουλειά και η συμμετοχή όλων των τμημάτων στο σχεδιασμό από το αρχικό στάδιο είναι το μοναδικό εργαλείο που μπορεί να στηρίξει ένα νέο και καλό προϊόν.

### 1.4 Λίγα λόγια για τα φυσικά μοντέλα, πρωτότυπα

Έγινε κατανοητό ότι η κατασκευή πρωτοτύπων, αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο απαραίτητο σε κάθε ομάδα σχεδιασμού και δικαιολογημένα θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες διαδικασίες κατά το σχεδιασμό ενός προϊόντος, αφού συρρικνώνεται ο χρόνος δημιουργίας, περιορίζονται τα λειτουργικά έξοδα και κυρίως μειώνεται η πιθανότητα κακής λειτουργίας-αχρηστίας του τελικού προϊόντος. Επειδή όμως καμία

μέθοδος δεν αποτελεί πανάκεια κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούμε εκτενέστερα στα πρωτότυπα, στο τρόπο παραγωγής καθώς και στα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν από την ομάδα σχεδιασμού.

Ένα φυσικό μοντέλο είναι ένα αντικείμενο ή ένα σύνολο αντικειμένων, το οποίο δημιουργείται από διάφορα υλικά με αντικειμενικό στόχο να προσεγγίσει όσο το δυνατόν καλύτερα τη συμπεριφορά του τελικού προϊόντος που θα διανεμηθεί στην αγορά. Γενικά τα φυσικά μοντέλα ή πρωτότυπα, όπως συνήθως ονομάζονται, αποτελούν μια απλοποίηση του τελικού προϊόντος στα οποία πραγματοποιούνται οι απαραίτητες δοκιμές, ώστε να προβλεφθούν κατασκευαστικά αλλά και λειτουργικά προβλήματα.

Τα ιδιαίτερα αυτά χαρακτηριστικά απαιτούν, πριν τη δημιουργία των πρωτοτύπων την απάντηση των παρακάτω ερωτημάτων[11].

1. Πρέπει η ομάδα σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος να κατασκευάσει πρωτότυπα σε προκαθορισμένη στιγμή ?
2. Ποιοι είναι οι λόγοι που υπαγορεύουν την προσπάθεια δημιουργίας ενός πρωτοτύπου ?
3. Ποία πρέπει να είναι τα εξωτερικά χαρακτηριστικά και η μορφή του πρωτοτύπου ?
4. Ποιες απλοποιήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν ?
5. Ποιες δοκιμές πρέπει να πραγματοποιηθούν ?
6. Ποίο είναι το ρίσκο δημιουργίας ενός πρωτοτύπου και ποιοι κίνδυνοι υπάρχουν, αν ο σχεδιασμός συνεχιστεί χωρίς τη δημιουργία και δοκιμή πρωτοτύπων ?

Οι παραπάνω ερωτήσεις πρέπει να τύχουν προσεκτικής ανάλυσης, ώστε η κατασκευή των πρωτοτύπων να συμβάλλει θετικά στη διαδικασία βελτιστοποίησης.



### 1.4.1 Έξι διαφορετικοί τύποι πρωτοτύπων

Πριν καταλήξει η ομάδα σχεδιασμού στην δημιουργία των πρωτοτύπων κρίνεται ιδιαίτερος χρήσιμο να μελετηθούν οι σύγχρονοι τρόποι κατασκευής τους από την βιομηχανία.

Στις μέρες μας, χρησιμοποιούνται έξι διαφορετικοί τύποι πρωτοτύπων :

- 1 Πρωτότυπα επιτευξιμότητας, (Proof-of concept models)
- 2 Βιομηχανικά πρωτότυπα
- 3 Πειραματικά πρωτότυπα (DOE)
- 4 Alpha (ίδια υλικά και γεωμετρία, διαφορετική κατασκευή)
- 5 Beta (τελική φάση παραγωγής, συναρμολόγηση)
- 6 προ-παραγωγή ( πιλοτική παραγωγή, περιορισμένη ποσότητα)

**Τα πρωτότυπα επιτευξιμότητας**, χρησιμοποιούνται όταν πρέπει να ερευνηθεί η δυνατότητα παραγωγής των προτεινόμενων, προϊόντων. Κατασκευάζονται συνήθως από απλά άμεσα διαθέσιμα υλικά, όπου γίνεται μελέτη συγκεκριμένου στοιχείου της κατασκευής ή υποσυστήματος της. Η βασική ερώτηση που πρέπει αν απαντηθεί είναι αν η συμπεριφορά του προϊόντος είναι αντίστοιχη με αυτή που περιγράφεται στο χαρτί αλλά και να γνωστοποιηθούν λειτουργικές ατέλειες από τη χρήση του.

**Βιομηχανικά πρωτότυπα.** Παρουσιάζει την τελική μορφή αλλά και την γενικότερη αισθητική του τελικού προϊόντος. Κατασκευάζεται συνήθως από εύπλαστα υλικά, ώστε να μπορεί να δίνει γρήγορα τις διαφορές σχεδιαστικές προτάσεις. Συνήθως

προσεγγίζει απόλυτα τις εξωτερικές διαστάσεις του τελικού προϊόντος αλλά δεν φέρει εσωτερικά ανταλλακτικά .

**Πειραματικός σχεδιασμός. (DOE)** Τα πρωτότυπα αυτά προσεγγίζουν τα τελικά προϊόντα με στόχο την παραμετροποίηση εμπειρικών δεδομένων αλλά και απάντηση ερωτημάτων που αφορούν τη τελική μορφή τους. Ειδικότερα γίνεται προσπάθεια μελέτη ενός υποσυστήματος του προϊόντος με στόχο να προσεγγίσει μια συγκεκριμένη απόδοση λειτουργίας. Τα πρωτότυπα αυτά παρασκευάζονται από τα ίδια υλικά και με αντίστοιχη γεωμετρία, σε διάφορες αναλογίες. Πετυχαίνουμε έτσι να προσεγγίσουμε ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του τελικού προϊόντος απλοποιώντας τις διαδικασίες παραγωγής, εξοικονομώντας παράλληλα χρόνο και χρήμα

**Alpha.** Τα πρωτότυπα αυτά κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τα προτεινόμενα από την ομάδα υλικά και έχοντας τις ακριβείς διαστάσεις του προϊόντος. Το alpha αποτελεί την πρώτη κατασκευή, η οποία αποτελείται από υποσυστήματα τα οποία έχουν ελεγχθεί με τη μέθοδο (DOE). Παράλληλα συντελούν στην πραγματοποίηση δοκιμών, ελέγχοντας το προϊόν συνολικά σαν ένα σύστημα.

**Beta.** Τα πρωτότυπα αυτά σε αντίθεση με τα παραπάνω είναι τα πρώτα που κατασκευάζονται με τα υλικά που τελικά επιλέχθηκαν για την παραγωγή των τελικών τεμαχίων. Συνήθως δε χρησιμοποιείται η ίδια παραγωγική διαδικασία που θα ακολουθηθεί με τα προς διάθεση προϊόντα. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα πλαστικά μέρη των πρωτοτύπων αυτών είναι κυρίως CNC παρά Injection molded

**Προ-παραγωγή.** Είναι το τελικό στάδιο παρασκευής φυσικών πρωτοτύπων. Τα πρωτότυπα αυτά χρησιμοποιούνται ώστε να ανακαλυφθούν τα προβλήματα της γραμμής παραγωγής. Πολλές εταιρείες συνηθίζουν να ταυτίζουν τη φάση αυτή με τη

Beta

## 1.4.2 Οι εφαρμογές των πρωτότυπων

Στην παραπάνω ενότητα παρουσιάστηκαν επιγραμματικά τα βασικά χαρακτηριστικά των πρωτότυπων, και παρουσιάστηκαν οι έξι κύριες κατηγορίες διαφοροποίησης τους, με βάση τον τρόπο παραγωγής και τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Ανεξάρτητα όμως από την διαφοροποίηση αυτή τα πρωτότυπα παρουσιάζουν κάποια γενικά στοιχεία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω :

- **Επικοινωνία** : παρουσίαση του προϊόντος σε πιθανούς πελάτες, σε προμηθευτές, σε πωλητές αλλά και στη ανώτατη διοίκηση
- **Παρουσίαση** : ειδικών χαρακτηριστικών και πλεονεκτημάτων σε σχέση με τον ανταγωνισμό, σε πελάτες, πωλητές και επενδυτές
- **Προγραμματισμός** : περιορισμό των μη αποτελεσματικών διαδικασιών κατά το σχεδιασμό
- **Έλεγχος επιτευξιμότητας** : εστίαση σε συγκεκριμένα υποσυστήματα του τελικού προϊόντος και μελέτη της αποτελεσματικής τους λειτουργίας και αποδοχής από το καταναλωτικό κοινό. Συνήθως τα αποτελέσματα καταγράφονται και αναλύονται
- **Παραμετροποίηση** : Μελέτη της συμπεριφοράς του προϊόντος χρησιμοποιώντας κατάλληλα πειραματικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων στοχεύουν στην βελτιστοποίηση των τελικών προϊόντων
- **Σχεδιαστική βελτίωση** : μελέτη της καλής λειτουργίας και αποτελεσματικής συνεργασίας των επιμέρους στοιχείων της κατασκευής, και καλύτερος σχεδιασμός του τρόπου παραγωγής

## 1.5 Οι απαιτήσεις των σύγχρονων συσκευασιών και η βελτιστοποίησή τους

Ξεκινώντας κάποιος να διαβάσει ένα βιβλίο σχετικά με τη συσκευασία γρήγορα συνειδητοποιεί ότι στις μέρες μας η συσκευασία, είτε αυτή είναι πρωτογενής, είτε δευτερογενής αποτελεί αποτέλεσμα εκτεταμένης έρευνας και απαιτεί την εφαρμογή πολλών και συχνά εξαντλητικών δοκιμών για να πιστοποιηθεί η ικανότητα της στην ασφαλή μεταφορά των προϊόντων. Σκοπός της, σύμφωνα και με κάποιον ορισμό είναι η προστασία των αγαθών, η διευκόλυνση της διακίνησης και της διάθεσής τους καθώς και η ελκυστική εμφάνιση, για την καλύτερη προσέγγιση του τελικού καταναλωτή.

Έτσι μια συσκευασία για να μπορεί να επιτύχει το σκοπό της θα πρέπει να εκπληρώνει τουλάχιστον μέρος ορισμένων προϋποθέσεων. Οι προϋποθέσεις αυτές μπορούν να χωριστούν σε τεχνικές, οικονομικές και σε προϋποθέσεις υγιεινής. Στη παρακάτω ενότητα θα ασχοληθούμε κυρίως με τις τεχνικές προϋποθέσεις και με την αξιολόγηση της συσκευασίας σε θέματα που αφορούν την μηχανική καταπόνηση.

Πράγματι για να μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα για τη συσκευασία αλλά και την επιλογή των υλικών της είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα φυσικά όρια των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ δεν πρέπει να λησμονείται ότι η αξιολόγηση της γίνεται πάντα με γνώμονα τις βασικές ανάγκες που αυτή καλείται να εκπληρώσει, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Επειδή, όπως είναι φυσικό η αξιολόγηση της γίνεται με την εφαρμογή κάποιων τεστ πρέπει να γνωρίζουμε τους λόγους για τους οποίους κάνουμε τα τεστ αυτά και κάτω από ποιες συνθήκες τα τεστ αυτά πρέπει να γίνουν.

### 1.5.1 Η αναγκαιότητα των τεστ σε συσκευασίες

Υπάρχουν τρεις λόγοι που επιβάλουν την πραγματοποίηση τεστ για τις συσκευασίες και τα υλικά συσκευασιών.

- 1 για να προβλεφτεί η απόδοση της συσκευασίας στην πράξη
- 2 για να ελεγχθεί η ποιότητα της
- 3 για να αντλήσουμε πληροφορίες χρήσιμες, για τη βελτίωση της και τη μείωση του κόστους.

Αναλυτικότερα για να υπολογίσουμε την απόδοση της συσκευασίας πρέπει να γίνουν οι απαραίτητοι συσχετισμοί ανάμεσα στα τεστ που λαμβάνουν χώρα στο εργαστήριο και στην συμπεριφορά της συσκευασίας στην πράξη. Στην ουσία τέσσερις συσχετισμοί απαιτούνται :

- 1 αρχικά ανάμεσα (field performance) στη συσκευασία και στα εργαστηριακά τεστ
- 2 δεύτερον ανάμεσα στα εργαστηριακά τεστ μεταφοράς, χρησιμοποιώντας μια συσκευασία μαζί με το περιεχόμενο της και μιας άδειας
- 3 τρίτον συσχετισμοί των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών συσκευασίας όπως αντοχή κ.α με τα τεστ στα άδεια περιεχόμενα
- 4 τέλος σε υλικά όπως το χαρτί και το πλαστικό συχνά απαιτούνται συσχετισμοί ανάμεσα στις ιδιότητες τους και στις βιομηχανικές μεταβλητές.

Φυσιολογικά τα τεστ που εφαρμόζονται για να προβλεφτεί η απόδοση της συσκευασίας ολοκληρώνονται μαζί με αυτή και δεν χρειάζεται να επαναλάβουμε τη

διαδικασία. Μετά την απόδειξη ότι η συσκευασία εκπληρώνει τις προϋποθέσεις για τις οποίες δημιουργήθηκε είναι απαραίτητο να ελέγχουμε μόνο την ποιότητα αυτής. Τα τεστ που εφαρμόζονται για το σκοπό αυτό είναι διαφορετικά σε πολλούς τομείς από τα τεστ πιστοποίησης. Πρέπει να είναι σχετικά απλά, να μπορούν να πραγματοποιηθούν γρήγορα και να δίνουν αριθμητικό αποτέλεσμα.

### 1.5.2 Τρία τα βασικότερα τεστ

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι από τεστ, διαθέσιμοι για συσκευασίες που υπόκεινται σε μηχανική καταπόνηση λόγω μεταφοράς.

1. Για την προσομοίωση δυναμικών φορτίων που ασκούνται σε συστήματα διανομής, πραγματοποιούμε μια σειρά από διάφορα διαδοχικά τεστ. Συνήθως μια σειρά από πτώσης με περίοδο δόνησης και τεστ σταθερότητας
2. Παράλληλα απλά επαναλαμβανόμενα τεστ με δεδομένο αριθμό ή μέχρι να προσεγγιστεί κάποιο τελικό σημείο. Στα τεστ αυτά περιλαμβάνονται οι πτώσεις από συγκεκριμένο ύψος ή από αυξανόμενο ύψος μέχρι του σημείου που θα εμφανιστεί η πρώτη αστοχία
3. Απλό τεστ που λαμβάνει χώρα μια φορά είτε σε δεδομένο επίπεδο ή σε σταδιακά αυξανόμενο επίπεδο, όπως για παράδειγμα το τεστ θλίψης με αυξανόμενο φορτίο, για τον καθορισμό του φορτίου αστοχίας.

Αυτό που είναι αναγκαίο να τονιστεί είναι ότι τα τεστ αυτά πρέπει να δίνουν αριθμητικό αποτέλεσμα, ώστε να είναι εύκολη η σύγκριση των συσκευασιών. Σε μια σειρά από διαδοχικά τεστ συνήθως η συσκευασία και το περιεχόμενο βαθμολογούνται στο τέλος του τεστ ή σε συγκεκριμένα και από πριν καθορισμένα

μεσοδιαστήματα. Σε απλά τεστ το τεστ πραγματοποιείται σε δεδομένο επίπεδο φόρτισης μέχρι να αστοχήσει η συσκευασία από φορτία κόπωσης.

Η πιο απλή μέθοδος βαθμολόγησης των συσκευασιών είναι η ταξινόμηση τους σε :

1. τέλειες
2. παραμορφωμένες αλλά χωρίς να μειώνουν σημαντικά την εμπορική αξία του προϊόντος
3. συσκευασίες με σημαντικές παραμορφώσεις που μειώνουν σημαντικά την εμπορική τους αξία

### 1.5.3 Βελτιστοποίηση πρωτογενών συσκευασιών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Για να μπορέσει επομένως η συσκευασία να ανταποκριθεί στο ρόλο της πρέπει, πριν το σχεδιασμό και τη δημιουργία της, να κατανοηθούν οι απαιτήσεις του προϊόντος που μεταφέρει, το περιβάλλον που θα χρησιμοποιηθεί, τα μέσα μεταφοράς και οι φορτίσεις που δέχεται. Στις περισσότερες περιπτώσεις πρέπει να αναλυθούν διεξοδικά θέματα που αφορούν την αποθήκευση και την μεταφορά των συσκευασιών σε συνάρτηση με τους τρεις πιο κρίσιμους παράγοντες αυτής δηλαδή φυσικές διαστάσεις, αντοχή και σχήμα.

Για την μελέτη της συμπεριφοράς της συσκευασίας και την ικανοποίηση των θεμάτων που μόλις αναφέρθηκαν, χρησιμοποιούνται ευρύτατα εξειδικευμένα πακέτα υπολογιστικής μηχανικής, όπως τα πεπερασμένα στοιχεία Finite Element Method (FEM). Με τα (FEM) μπορεί με αρκετή ακρίβεια να προβλεφθεί η μηχανική

συμπεριφορά της συσκευασίας σε διάφορες φορτίσεις και να πραγματοποιηθούν έγκαιρα οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά της συσκευασίας. Η μέθοδος όμως αυτή για να μπορέσει να παρουσιάσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, απαιτεί πολύ χρόνο μέχρι την πραγματοποίηση ακόμα και των πρώτων δοκιμών και τη λειτουργία εξειδικευμένης τεχνολογίας από ειδικούς επιστήμονες για την προσομοίωση του κατάλληλου περιβάλλοντος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Παράλληλα προϋποθέτει την διενέργεια μεγάλου αριθμού πειραμάτων, των οποίων η αξιοπιστία στις περισσότερες φορές αποδεικνύεται μόνο με την εκτέλεση αντίστοιχων πειραμάτων σε πραγματικά δοκίμια. Μπορεί λοιπόν να φαίνεται σύγχρονη και λειτουργική η μέθοδος βελτιστοποίησης με τη χρήση υπολογιστικών πακέτων, αλλά δυστυχώς ο χρόνος και το συνολικό κόστος της μεθόδου υποβαθμίζουν το ρόλο της σε απλό υποστηρικτικό εργαλείο.

#### 1.5.4 Βελτιστοποίηση πρωτογενών συσκευασιών με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης. Στόχοι παρούσας πτυχιακής

Μια διαφορετική προσέγγιση στην προσπάθεια βελτιστοποίησης πλαστικών και μεταλλικών συσκευασιών παρουσιάστηκε πρόσφατα χρησιμοποιώντας την μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης και τη πραγματοποίηση μηχανικών δοκιμών σε φυσικά μοντέλα, πρωτότυπα. Η μέθοδος στηρίζεται στο ότι τα πρωτότυπα αυτά συμπεριφέρονται ανάλογα με τις αντίστοιχες μεταλλικές συσκευασίες. Συνεπώς δεν είναι απαραίτητη



- η κατασκευή πραγματικών δοκιμών, κάτι που θα ήταν αρκετά δαπανηρό και χρονοβόρο, ούτε και
- η προσομοίωση των μηχανικών δοκιμών στο υπολογιστή, διαδικασία με αρκετές αδυναμίες.

Είναι πάντως γεγονός ότι η πρακτική αυτή βελτιστοποίησης μεταλλικών συσκευασιών με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης δεν έχει επαρκώς δοκιμαστεί και ελεγχθεί η αξιοπιστία της. Με βάση αυτό η παρούσα πτυχιακή έχει ως βασικό της στόχο να μελετήσει την αξιοπιστία της μεθόδου πραγματοποιώντας δοκιμές θλίψης και υποπίεσης σε πρωτότυπα και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με αντίστοιχα άλλων τεχνικών, όπως τα πεπερασμένα στοιχεία. Πρέπει να αναφερθεί ότι τα πρωτότυπα είναι κατασκευασμένα από ρητίνη, και συνεπώς παρουσιάζουν αντοχές πολύ μικρότερες των πραγματικών. Αυτό όμως που έχει σημασία, για την βελτιστοποίηση είναι η επίδραση των διαφόρων χαρακτηριστικών της συσκευασίας στην αντοχή της, η καμπύλη δηλαδή μεταβολής και όχι οι απόλυτες τιμές των δυνάμεων σε Newton (N).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων στερεολιθογραφίας

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

## 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά, οι βασικές αρχές λειτουργίας της στερεολιθογραφίας και της αντίστοιχης ορολογίας, η τεχνική περιγραφή του συστήματος STEREOS Desktop S και των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, και ολοκληρώνεται με την περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθείται για την κατασκευή ενός αντικειμένου με το παραπάνω σύστημα.

## 2.2 Στερεολιθογραφία

Στερεολιθογραφία ονομάζουμε την διαδικασία που χρησιμοποιείται για την στερεοποίηση υγρού πολυμερούς (πολυμερές πλαστικό ευαίσθητο στο φως) με τη βοήθεια μιας υπέρυθρης ακτίνας Laser. Το φαινόμενο της στερεοποίησης ονομάζεται φωτο-πολυμερισμός (photolymersation) και είναι ουσιαστικά μια σειρά από αλυσιδωτές αντιδράσεις ανάλογες με αυτές που συμβαίνουν στη παραγωγή οποιουδήποτε πλαστικού αντικειμένου [5].

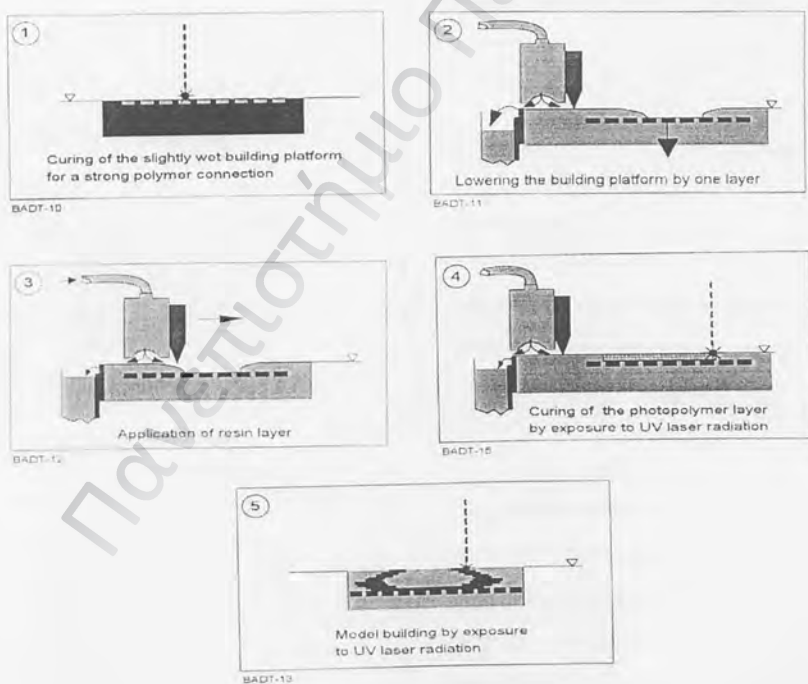
Για να μπορέσουμε να κατασκευάσουμε το αντικείμενο που επιθυμούμε πρέπει αρχικά να το σχεδιάσουμε χρησιμοποιώντας κάποιο μοντέλο CAD, το οποίο μόλις ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός μορφοποιείται σε αρχείο STL. Ακολούθως το αρχείο STL, και πιο συγκεκριμένα το σχεδιασμένο αντικείμενο που αυτό περιέχει, πρέπει να τεμαχιστεί σε λεπτά στρώματα (layers) ή φύλλα, ώστε να ακολουθήσει η διαδικασία κατασκευής.

Η διαδικασία κατασκευής ακολουθεί τρία επαναλαμβανόμενα βήματα.

1. Η ακτίνα Laser καθοδηγούμενη από υπολογιστή σαρώνει το πρώτο στρώμα υλικού κατά το X-Y επίπεδο, που είναι και το επίπεδο της πλατφόρμας. Έτσι

μέσω της ακτινοβολίας στερεοποιείται το πολυμερές σε πλαστικό και δημιουργείται ένας ισχυρός δεσμός μεταξύ πλατφόρμας και κομματιού.

2. Αμέσως μετά η πλατφόρμα κατεβαίνει κατά το πάχος του επόμενου στρώματος (0,1-0,3 mm)
3. Η μονάδα επικάλυψης αποτελούμενη από μια ελαστική λεπίδα και τη μονάδα εξαγωγής πολυμερούς κινείται κατά μήκος της πλατφόρμας (X διεύθυνση) απλώνοντας ομοιόμορφα ένα νέο στρώμα πολυμερούς. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαδοχικά μέχρι να ολοκληρωθεί ο σχηματισμός του αντικειμένου και του πλέγματος στήριξης.

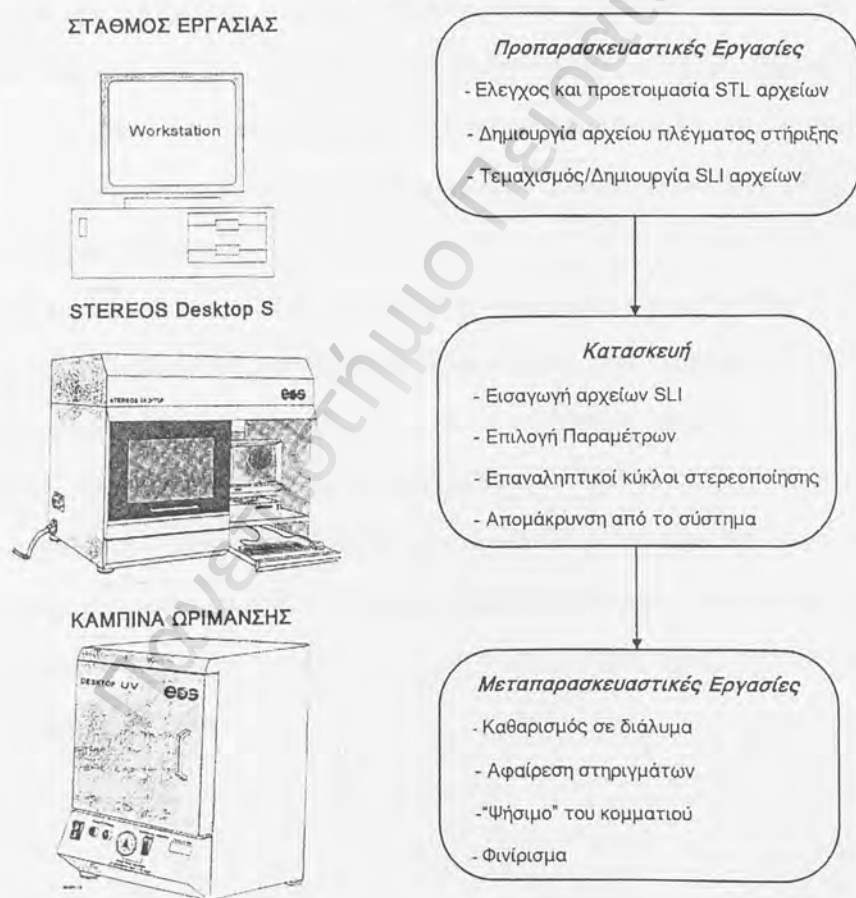


Σχήμα 2.1 Τα τρία στάδια στη στερεοποίηση ενός στρώματος πολυμερούς

Μόλις τελειώσει η παραπάνω επεξεργασία το αντικείμενο αφαιρείται από τη μηχανή για να ακολουθήσουν οι εργασίες καθαρισμού καθώς και οι εργασίες φινιρίσματος και ωρίμανσης σε φούρνο υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η διαδικασία λοιπόν μπορεί να χωριστεί σε τρία κύρια στάδια:

- τις προπαρασκευαστικές εργασίες (STL αρχείο, στηρίξεις)
- την διαδικασία παραγωγής (στερεοποίηση πολυμερούς)
- και τις μεταπαρασκευαστικές εργασίες (καθάρισμα, ψήσιμο)



Σχήμα 2.2 Διαδικασία παρασκευής με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης

## 2.3 Συνηθέστερα προβλήματα

Το φαινόμενο του πολυμερισμού οφείλεται ως γνωστόν στην έκθεση του πολυμερούς σε υπέρυθη ακτινοβολία που αποδίδει μια ακτίνα Laser. Η ασταθής ισχύς της μάλιστα κατά τη διάρκεια της κατασκευής θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας που μειώνει την ακρίβεια των συστημάτων.

Επίσης ο τρόπος δημιουργίας, από λεπτά φύλλα υλικού δημιουργεί ένα επιπλέον πρόβλημα, το λεγόμενο φαινόμενο της κλιμακωτής επιφάνειας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα εμφανίζεται όταν έχουμε καμπύλες επιφάνειες ή επιφάνειες με κλίση και είναι πρακτικά αδύνατο να αποφευχθεί. Μπορεί όμως να ελαττωθεί αν τα στρώματα είναι όσο το δυνατόν λεπτότερα. Συνήθως απαιτείται λείανση της επιφάνειας κατά τη φάση του φινιρίσματος.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί και το πρόβλημα των κλειστών όγκων που αποτελεί μια σαφή αδυναμία της στερεολοθογραφίας. Το πρόβλημα σχετίζεται κυρίως με τη φάση της επικάλυψης και τις ιδιότητες των υλικών. Κατά τη φάση αυτή έχουμε απόθεση νέου υλικού που στη συνέχεια με το πέρασμα της λεπίδας δημιουργεί μια ομοιόμορφη επιφάνεια. Στη περίπτωση όμως που χτίζουμε ένα αντικείμενο σε μορφή ποτηριού, παγιδεύεται υγρή ρητίνη, οπότε έχουμε ανομοιόμορφη στερεοποίηση των στρωμάτων. Το φαινόμενο μπορεί να περιοριστεί με τη μελέτη της ταχύτητας της λεπίδας επικάλυψης.

## 2.4 Το πλέγμα στήριξης

Το πλέγμα στήριξης αποτελεί μια βοηθητική κατασκευή που χτίζεται μαζί με το κομμάτι και είναι απαραίτητη για τους εξής λόγους

- Το κομμάτι δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με την πλατφόρμα ώστε κατά την απομάκρυνση του από αυτή να μην <<τραυματιστεί>>.
- Πρέπει να υπάρχουν στηρίγματα για περιοχές που υπάρχει πιθανότητα να καταρρεύσουν λόγω βάρους ή κατά τη φάση της επικάλυψης. Κίνδυνο να καταρρεύσουν διατρέχουν όλες οι οριζόντιες επιφάνειες και όλες όσες σχηματίζουν γωνία μέχρι 20 μοίρες με το επίπεδο της πλατφόρμας.
- Τα στηρίγματα κρατούν το κομμάτι σταθερό κατά την διάρκεια των διαδοχικών φάσεων επικάλυψης και αποτρέπουν έτσι οποιαδήποτε μετακίνηση του σε σχέση με την αρχική του θέση.
- Διορθώνουν οποιαδήποτε περίπτωση γωνιακής απόκλισης μεταξύ πλατφόρμας και της επιφάνειας του υγρού εντός του δοχείου.

Ουσιαστικά λοιπόν έχουμε μια επιπλέον κατασκευή που δεν χρειάζεται βέβαια να είναι ούτε πολύ συνεκτική, ούτε ακριβής, ούτε ανθεκτική όσο το αντικείμενο το ίδιο. Για το λόγο αυτό το πλέγμα στήριξης έχει τη μορφή κυψέλης με απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων η οποία κυμαίνεται ανάμεσα στα 5 και 13 mm. Το πάχος κάθε επιμέρους στηρίγματος κυμαίνεται συνήθως, μεταξύ 0,1 και 0,3 mm, ενώ το ύψος της κατασκευής συνήθως δεν είναι λιγότερο από 7 mm.

## 2.5 Τα Φωτοπολυμερή υλικά και οι ιδιότητες τους

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα της στερεολιθογραφίας αποτελεί η χρησιμοποίηση μιας σχετικά μικρής γκάμας υλικών. Δεν είναι όμως μόνο η μικρή ποικιλία που δημιουργεί συχνά προβλήματα, αλλά και οι περιορισμοί που επιβάλλουν τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Γενικά αποτελεί κοινή παραδοχή, ότι οι περισσότεροι περιορισμοί της μεθόδου βρίσκονται στον τομέα των υλικών.

Αναλυτικότερα μπορούμε να πούμε ότι υπάρχουν τρία είδη ρητινών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη στερεολιθογραφία :

- οι ακρυλικές ρητίνες (βασισμένες κυρίως σε ακρυλικό άλας), που αποτελούν και τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν
- οι ρητίνες που βασίζονται στο βινυλαιθέρα και διαθέτουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και καλύτερη εμφάνιση αισθητικά
- οι εποξειδικές ρητίνες, οι οποίες αποτελούν το τελευταίο επίτευγμα της βιομηχανίας Πετροχημικών και διαθέτουν και εξαιρετικές για τα σημερινά δεδομένα ιδιότητες και καλή συμπεριφορά κατά την διαδικασία.

Πρέπει να τονισθεί, ότι δεν έχει ακόμα παρουσιαστεί ρητίνη που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις όλων των χρηστών σε ταχύτητα κατασκευής, ποιότητα και ακρίβεια. Έτσι ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη επιβάλλεται η χρήση διαφορετικού υλικού. Λόγου χάρη αν ο χρήστης θέλει το κομμάτι πολύ γρήγορα και το προορίζει για μοντέλο σε εργασίες χύτευσης καλό είναι να χρησιμοποιεί ρητίνες βινυλαιθέρα, ενώ αν θέλει ένα κομμάτι ανθεκτικό και ακριβές, αλλά δεν τον ενοχλεί ο χρόνος ή το κόστος τότε ενδείκνυται να χρησιμοποιεί εποξειδικές ρητίνες. Η ρητίνη που



χρησιμοποιήθηκε για τα πρωτότυπα είναι η SOMOS 7110. Τα βασικά χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται παρακάτω στον (Πίνακα 2.1). Αναλυτικός πίνακας για τις ρητίνες της μεθόδου στο παράρτημα 1 (Πίνακας 1)

### Physical Properties

The numbers reported below are only approximate values. The actual values may vary with build conditions.

Test	Description	Green Parts		UV Postcure		UV + Thermal Postcure	
		MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi
D633M	Tensile Strength	44	6,400	56	8,100	69	10,000
	Elongation at Break	4.7 - 7.4 %	4.7 - 7.4 %	5.4 - 7.1 %	5.4 - 7.1 %	4.2 - 4.9 %	4.2 - 4.9 %
	Young's Modulus	1,758	255,000	2,117	307,000	2,413	350,000
D790M	Flexural Strength	59	8,600	85	12,300	110	15,900
	Flexural Modulus	1,710	248,000	2,434	353,000	2,668	387,000
D2240	Hardness (Shore D)	81	81	82	82	85	85
D256A	Izod Impact (notched)	26.2 J/m	0.49 ft-lb/in	27.8 J/m	0.52 ft-lb/in	34.2 J/m	0.54 ft-lb/in
D548	Heat Deflection Temperature	45 - 54 °C	113 - 129 °F	59 - 72 °C	138 - 162 °F	77 - 89 °C	171 - 192 °F

The ProtoFunctional<sup>™</sup> Materials Company

DSM Somos<sup>®</sup>



Two Penn's Way, Suite 401, New Castle, DE 19720 USA, Tel: 302-328-5435, Fax: 302-328-5693, <http://www.dsmsomos.com>

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά ρητίνης SOMOS 7110 [12].

## 2.6 Βασικά χαρακτηριστικά των ρητινών και ο ρόλος τους στην επίτευξη ακρίβειας

Ρητίνη ονομάζεται το μίγμα υγρού φωτοπολυμερούς που χρησιμοποιείται από τη μέθοδο της στερεολιθογραφίας. Όπως κάθε πολυμερές αποτελείται από μόρια διαφορετικών μονομερών που κατάλληλα συνδυαζόμενα δίνουν τις ανάλογες ιδιότητες στο πολυμερισμένο πλαστικό.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε δύο είδη μονομερών:

- τα μονομερή μικρού μοριακού βάρους, που καθορίζουν συνήθως το ιξώδες
- τα μονομερή μεγάλου μοριακού βάρους, που είναι κυρίως υπεύθυνα για τις φυσικές ιδιότητες της ρητίνης

Στο μίγμα αυτό προστίθεται και δύο σημαντικά ακόμα συστατικά

- ο καταλύτης έναρξης της αντίδρασης, που απορροφά ενέργεια και ξεκινά την αντίδραση του πολυμερισμού και
- τα προσθετικά που χρησιμοποιούνται για να σταθεροποιήσουν το μίγμα και να του δώσουν ξεχωριστές ιδιότητες ανάλογα με τη χρήση του.

Όταν το πολυμερές εκτίθεται σε ακτινοβολία τα μονομερή ενώνονται για να σχηματίσουν μόρια μεγαλύτερου μοριακού βάρους. Το μέγεθος των μορίων αυτών μεγαλώνει όσο αυξάνεται ο χρόνος έκθεσης (ουσιαστικά η ενέργεια που έχει απορροφηθεί) και αντίστοιχα το υλικό περνά από μια ενδιάμεση φυσική κατάσταση μέχρι να στερεοποιηθεί πλήρως. Η φάση αυτή ονομάζεται και κατάσταση γέλης στην οποία ουσιαστικά το υλικό έχει τη μορφή ενός εξαιρετικά παχύρρευστου υγρού. Το

πόσο θα διαρκέσει η φάση αυτή εξαρτάται από την χαρακτηριστική καμπύλη του υλικού και τη ποσότητα της ενέργειας που εφαρμόζουμε.

Η συρρίκνωση του όγκου του πολυμερούς οφείλεται σε ορισμένα χαρακτηριστικά του φαινομένου του φωτοπολυμερισμού. Κάθε φωτοευαίσθητη ρητίνη περιέχει ένα αριθμό από πιθανές ενεργείς περιοχές. Κάποιες από αυτές τις περιοχές παγιδεύονται μέσα στο σχηματισμένο στερεό χωρίς να ενεργοποιηθούν. Αυτές λοιπόν οι περιοχές ευθύνονται για τη συρρίκνωση κατά τη διάρκεια των μεταπαρασκευαστικών εργασιών και προκαλούν τη λεγόμενη παραμόρφωση ερπυσμού. Αντίστοιχα στη φάση του πολυμερισμού έχουμε συρρίκνωση γιατί ο συνολικός όγκος του στερεοποιημένου υλικού είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο της ρητίνης.

Έχει αποδειχτεί ότι το ποσοστό συρρίκνωσης εξαρτάται από:

- τη πυκνότητα των πιθανών ενεργών περιοχών στο μίγμα
- το ρυθμό της αντίδρασης και
- το ποσοστό της στερεοποίησης κατά την έκθεση

Γενικά ρητίνες που παρουσιάζουν χαμηλή συγκέντρωση μικρού μεγέθους μονομερών, υψηλό ρυθμό πολυμερισμού και υψηλό βαθμό στερεοποίησης κατά τη φάση της έκθεσης θα εμφανίζουν και το μικρότερο ποσοστό συρρίκνωσης.

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι όλα τα υλικά αυτού του είδους είναι ευαίσθητα τόσο στη θερμοκρασία όσο και σε οποιοδήποτε αλλοίωση

Η προσπάθεια βελτίωσης των υλικών επικεντρώνεται σε εννέα κυρίως σημεία

- υψηλή δραστηριότητα του υλικού σε έκθεση του σε ακτινοβολία για ταχεία στερεοποίηση

- σταθερό και ελεγχόμενο ιξώδες
- καλά χαρακτηριστικά ωρίμανσης
- καταλληλότητα για μεγάλος εύρος τεχνολογιών ΤΑΠ
- χαμηλή πτητικότητα
- χαμηλό ποσοστό συρρίκνωσης
- υψηλό βαθμό στερεοποίησης και στην ανώριμη και στην ώριμη φάση του κομματιού
- Υψηλή αντοχή και στις δύο παραπάνω φάσεις

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

#### Παρουσίαση των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

#### Περιγραφή των μηχανικών δοκιμών

### 3.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός και η δημιουργία των πρώτων μικρών συσκευασιών για διατήρηση των τροφίμων ξεκίνησε στις αρχές του 1790, από τον Nicholas Appert, για τις ανάγκες του στρατού του Ναπολέοντα. Από τότε η πρόοδος στις συσκευασίες ήταν εντυπωσιακή, με αποτέλεσμα στις μέρες μας να αποτελούν τη βασική μέθοδο συντήρησης των τροφίμων. Χαρακτηριστικό είναι ότι στις Ηνωμένες Πολιτείες η παραγωγή κονσέρβας προσεγγίζει τα 30 εκατομμύρια. Η μεγάλη αυτή ζήτηση όπως είναι φυσικό έχει ωθήσει τη βιομηχανία στη χρήση σύγχρονης τεχνολογίας με στόχο τη μείωση του κόστους αλλά και τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Η μείωση του κόστους ανά κονσέρβα, όσο μικρή και αν φαντάζει, συνολικά συμβάλει σημαντικά στη μείωση των οικονομικών μεγεθών παραγωγής και διάθεσης.

### 3.2 Βελτιστοποίηση μεταλλικών συσκευασιών με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Παραδοσιακά η βελτιστοποίηση μιας μεταλλικής συσκευασίας ήταν μια επίπονη και δαπανηρή διαδικασία. Για την ολοκλήρωση της απαιτούνταν διαδικασίες, εσωτερικού και εξωτερικού σχεδιασμού, εργαλείων παραγωγής, δημιουργία συσκευασιών και τελική αποτίμηση. Η ανάπτυξη όμως της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών συντέλεσε στη χρήση πιο αποτελεσματικών και αποδοτικών μεθόδων αξιολόγησης τους.

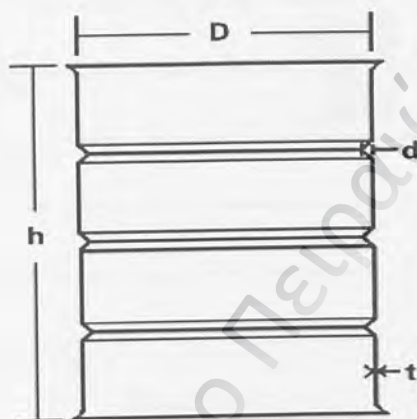
Οι περισσότερες μελέτες που έχουν μέχρι σήμερα πραγματοποιηθεί αναλύουν τη συμπεριφορά συγκεκριμένων συσκευασιών χρησιμοποιώντας αριθμητικές μέθοδοι.

όπως τα πεπερασμένα στοιχεία. Αξίζει να αναφερθεί κανείς στους Sodeik και Sauer [7] οι οποίοι μελέτησαν τη μηχανική συμπεριφορά μιας συσκευασίας τροφίμων κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές μέθοδοι για να προβλεφθεί η αξονική φόρτιση και η υπερπίεση. Επίσης ο Travesin [8] χρησιμοποίησε πεπερασμένα στοιχεία για την αποτίμηση των κουτιών τροφίμων, με ιδιαίτερη έμφαση στον ακριβή προσδιορισμό της γεωμετρίας της συσκευασίας. Τέλος ο Kahrs [9] και οι συνεργάτες του μελέτησαν την επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή της συσκευασίας. Αποδείχτηκε ότι τα πεπερασμένα στοιχεία υπολόγισαν με μεγάλη ακρίβεια τη θλιπτική φόρτιση. Αντίθετα για τον υπολογισμό της υπερπίεσης χρησιμοποιήθηκε ένας εμπειρικός κανόνας. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας του Dr Jyhwen Wang [11], τα οποία έδωσαν και το ερέθισμα για την παρούσα διπλωματική.

### **3.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων**

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση της θλιπτικής τάσης και της υποπίεσης σε μεταλλικές συσκευασίες και μελετήθηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στα φορτία αυτά, με στόχο τη βελτιστοποίησή τους. Η συσκευασία που επιλέχτηκε (Εικόνα 3.1), είναι η κλασική μεταλλική συσκευασία του καφέ. Με βάση μάλιστα τα τυποποιημένα μεγέθη κυλινδρικών κουτιών [10] ανήκει στην κατηγορία A 2 ½ με διαστάσεις περίπου 99X139 mm (διάμετρος X ύψος). Επίσης βασικά χαρακτηριστικά της αποτελούν ο αριθμός των δακτυλίων ενίσχυσης (stiffeners), το βάθος τους, η απόσταση μεταξύ

τους και το πάχος του τοιχώματος. Αυτό όμως που είναι ιδιαίτερα κρίσιμο είναι ότι τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν διαφορετικά και συχνά αντίθετα την αντοχή σε θλίψη και υποπίεση, που είναι και οι βασικές κατασκευαστικές απαιτήσεις των συσκευασιών (Κεφάλαιο 1).



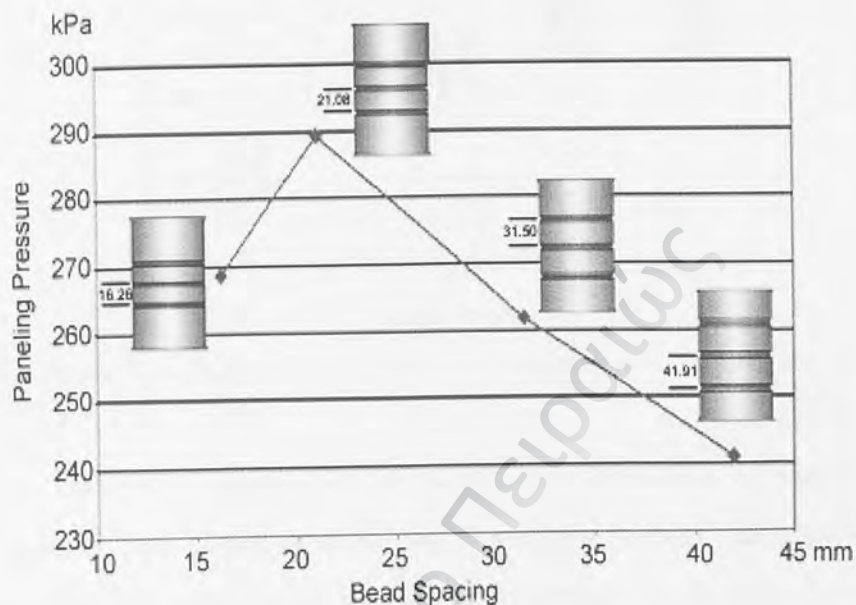
h = Height  
D = Diameter  
d = Bead Depth  
t = Material Thickness

Εικόνα 3.1

Πράγματι ενώ τα δακτυλίδια στηρίζουν το τοίχωμα, όταν μεταβληθεί η εσωτερική ή η εξωτερική πίεση της συσκευασίας, κατά τη φάση της αποστείρωσης, μειώνουν σημαντικά την αντοχή της σε αξονικά φορτία. Επίσης ενώ το βάθος των δακτυλιδιών βελτιώνει την αντοχή σε υποπίεση η αύξηση του υποβαθμίζει την συμπεριφορά σε θλίψη. Για τη περαιτέρω μελέτη των φαινομένων αυτών προσομοιώθηκαν με τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων οι δοκιμές θλίψης και υποπίεσης. Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται παρακάτω:



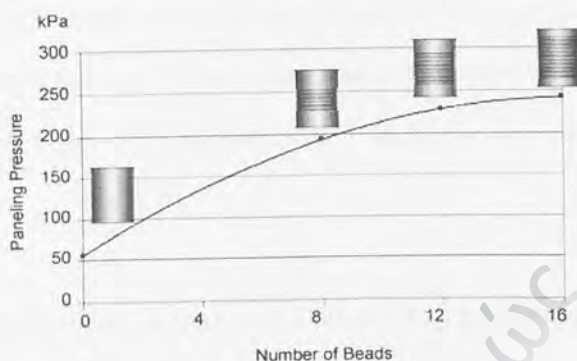
### 3.3.1 Επίδραση από την απόσταση των δακτυλιδιών (Bead Spacing)



Γράφημα 3.1: Μεταβολή της αντοχής σε υποπίεση σε σχέση με την απόσταση των δακτυλιδιών

Στο Γράφημα 3.1 παρατηρούμε τη συμπεριφορά της συσκευασίας σε υποπίεση όταν μεταβάλλεται η απόσταση των δακτυλιδιών. Το βασικό είναι ότι υπάρχει βέλτιστη λύση και αυτή έχει υπολογιστεί στα 21.08 mm. Οποιαδήποτε άλλη μεταβολή μειώνει την αντοχή της. Στο συγκεκριμένο πείραμα η συσκευασία είχε τρία δακτυλίδια στο εξωτερικό της τοίχου.

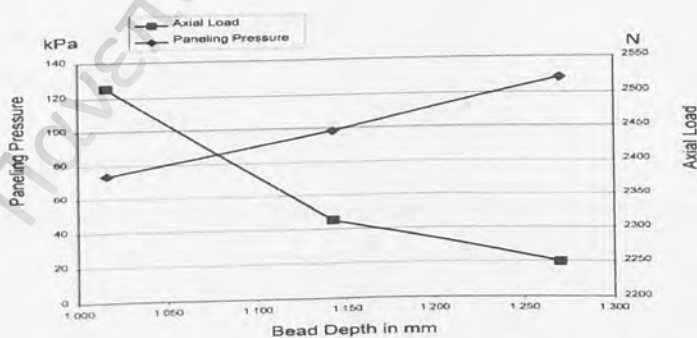
### 3.3.2 Επίδραση του αριθμού των δακτυλιδιών (Number of Beads)



Γράφημα 3.2: Μεταβολή της αντοχής σε υποπίεση σε σχέση με τον αριθμό των δακτυλιδιών

Στο Γράφημα 3.2 παρουσιάζεται η επίδραση των δακτυλιδιών σε συνθήκες υποπίεσης. Είναι χαρακτηριστικό ότι όσοι περισσότεροι δακτύλιοι τοποθετηθούν τόσο περισσότερο βελτιώνεται η αντοχή της. Δυστυχώς στην εργασία αυτή δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες μετρήσεις σε θλίψη.

### 3.3.3 Επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών (Bead Depth)

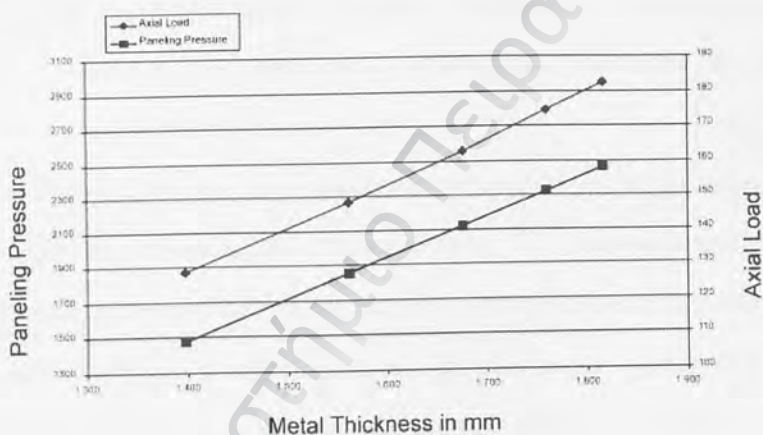


- Bead configuration: 7-bead
- Diameter: 99.57mm
- Height: 136.27mm
- Material thickness: 0.156mm.

Γράφημα 3.3: Μεταβολή της αντοχής σε υποπίεση και θλίψη σε σχέση με το βάθος των δακτυλιδιών

Στο Γράφημα 3.3 παρατηρείται η αντιστρόφως ανάλογη επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη και υποπίεση . Η αύξηση του βάθους των δακτυλιδιών από 1,03mm σε 1,27mm, ενώ βελτιώνει την αντοχή σε υποπίεση μειώνει την αντοχή σε θλίψη. Η συσκευασία είχε 7 δακτυλίδια κα πάχος τοιχώματος 0,156mm.

### 3.3.4 Επίδραση του πάχους του τοιχώματος (Wall thickness)



- Bead configuration: 7-bead
- Diameter: 99.57mm
- Height: 136.27mm
- Bead depth: 1.27mm.

Γράφημα 3.4: Μεταβολή της αντοχής σε υποπίεση και θλίψη σε σχέση με το πάχος του τοιχώματος

Στο Γράφημα αυτό παρουσιάζεται η επίδραση του πάχους του τοιχώματος. Όπως βλέπουμε επηρεάζει ανάλογα και τη θλίψη και την υποπίεση.

### 3.4 Παρούσα πτυχιακή

Τα αποτελέσματα αυτά ουσιαστικά αποτέλεσαν και τη βασική ιδέα για την εφαρμογή και αξιολόγηση της μεθόδου της ταχείας πρωτοτυποποίησης στις διαδικασίες βελτιστοποίησης συσκευασιών. Το ερώτημα το οποίο πρέπει να απαντηθεί είναι αν :

1. οι δοκιμές θλίψης και υποπίεσης στα πρωτότυπα δίνουν αντίστοιχα αποτελέσματα,
2. βελτιώνεται η αντοχή σε θλίψη με τον περιορισμό των δακτυλιδιών και τι συμβαίνει όταν μεταβάλλονται το βάθος τους, η απόσταση τους και το πάχος του τοιχώματος.

Χρησιμοποιώντας επομένως την τεχνολογία της στερεολιθογραφίας που υπάρχει στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Πειραιά (Εικόνα 3.1) κατασκευάστηκαν οκτώ διαφορετικά πρωτότυπα (Πίνακας 3.1), τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμές θλίψης και υποπίεσης. Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα μεταβολής της αντοχής (θλίψης και υποπίεσης) και αξιολογήθηκε η μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης στις διαδικασίες βελτιστοποίησης. Στην παρακάτω ενότητα γίνεται η περιγραφή της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε στις μηχανικές δοκιμές.



Εικόνα 3.1 Η πειραματική συσκευή της μεθόδου Rapid Prototyping.

Πρωτότυπα	Ημέρα παρασκευής	Βάθος Δακτ	Πάχος Τοιχώμ	Αριθμ. Δακτυλ.	Απόσταση Δακτ
gk6	25/7/2002	1,27 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
2gk6	27/8/2002	1,27 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
gk61	16/7/2002	1,03 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
2gk61	25/7/2002	1,03 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
gk62	16/7/2002	1,14 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
2gk62	23/7/2002	1,14 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
3gk62	25/7/2002	1,14 mm	0,3 mm	3	41,91 mm
gk63	18/7/2002	1,27 mm	0,5 mm	3	41,91 mm
gk64	18/7/2002	1,27 mm	1 mm	3	41,91 mm
gk10	25/7/2002	1,27 mm	0,3 mm	6	41,91 mm

Πρωτότυπα	Ημέρα παρασκευής	Βάθος Δακτ	Πάχος Τοιχώμ	Αριθμ. Δακτυλ.	Απόσταση Δακτ
gk11	26/7/2002	1,27 mm	0,3 mm	0	
gk9	26/7/2002	1,27 mm	0,3 mm	3	16,26 mm
gk8	10/7/2002	1,27 mm	0,3 mm	3	21,54 mm
2gk8	27/8/2002	1,27 mm	0,3 mm	3	21,54 mm

Πίνακας 3.1. Συγκεντρωτικός πίνακας των πρωτοτύπων που κατασκευάστηκαν και οι επιμέρους διαφορές τους

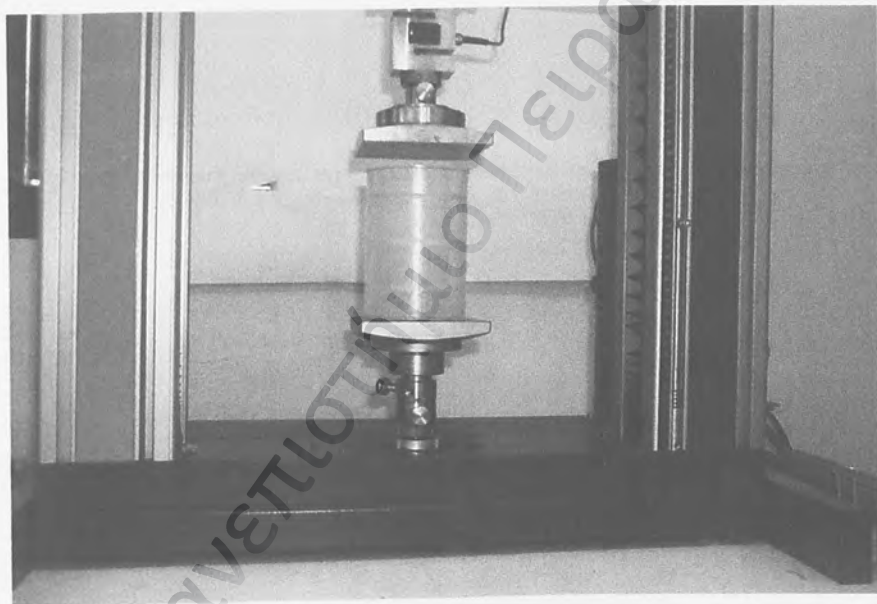
### 3.4.1 Περιγραφή της δοκιμής θλίψης στα πρωτότυπα

Όπως αναφέρθηκε, με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, ουσιαστικά προσομοιώνεται η αξονική φόρτιση χρησιμοποιώντας κατάλληλο υπολογιστικό πακέτο. Αντίθετα η δημιουργία πρωτοτύπων επιτρέπει την πραγματοποίηση των πειραματικών μετρήσεων στη μηχανή θλίψης (Εικόνα 3.2). Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζεται η αντοχή της συσκευασίας σε θλιπτικά φορτία και μελετάται η επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας σε αυτήν.

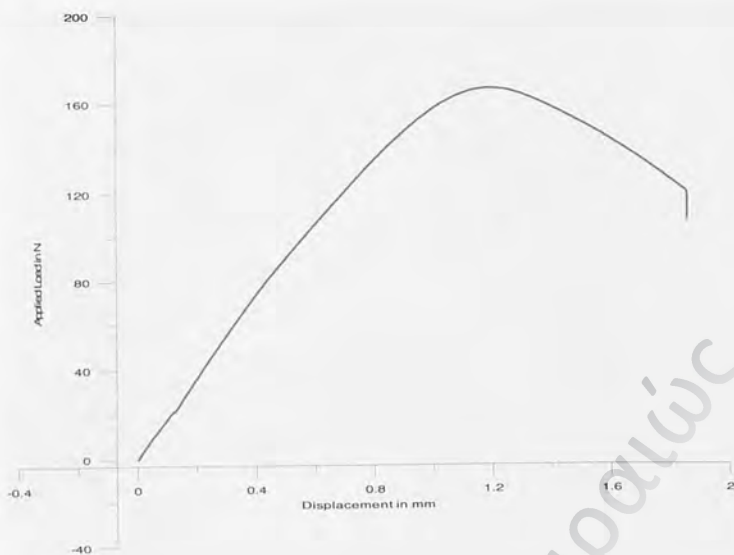
Η μηχανή αποτελείται βασικά από δύο οριζόντιες πλατφόρμες. Η πλατφόρμα που βρίσκεται χαμηλά είναι ακίνητη και πάνω της τοποθετείται το κάτω μέρος της συσκευασίας. Το μοναδικό κινητό μέρος της μηχανής αυτής είναι η πάνω πλατφόρμα, στην οποία έχουν τοποθετηθεί οι απαραίτητοι αισθητήρες για τον υπολογισμό της αξονικής δύναμης που δέχεται η πλατφόρμα από τη συσκευασία. Χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό (software) μετακινείται η πλατφόρμα μέχρι να έρθει σε επαφή με το πάνω μέρος του πρωτοτύπου. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία στήριξης του πρωτοτύπου πάνω στις δύο πλατφόρμες δύναται να πραγματοποιηθεί η δοκιμή θλίψης. Πρέπει να αναφερθεί ότι το λογισμικό (software) της μηχανής επιτρέπει στο χρήστη την πραγματοποίηση διαφόρων αλλαγών, με σημαντικότερη την ταχύτητα

καθόδου της πλατφόρμας. Στα πειράματα που ακολουθούν (Κεφάλαιο 4) η πλατφόρμα κατεβαίνει με σταθερή ταχύτητα 5mm/min, ώστε να προσεγγίζεται καλύτερα η φόρτιση σε πραγματικές συνθήκες.

Η πλατφόρμα, με την κατάλληλη εντολή αρχίζει να κινείται και στην οθόνη του υπολογιστή καταγράφεται το φορτίο εκείνο που δέχεται από τη συσκευασία (Γράφημα 3.2). Η αξονική δύναμη αυξάνει μέχρι την αστοχία του πρωτοτύπου και το μέγιστο αυτό φορτίο λαμβάνεται ως η αντοχή της συσκευασίας σε θλίψη.



Εικόνα 3.2 Η μηχανή θλίψης που χρησιμοποιήθηκε για την αξονική φόρτιση των πρωτοτύπων

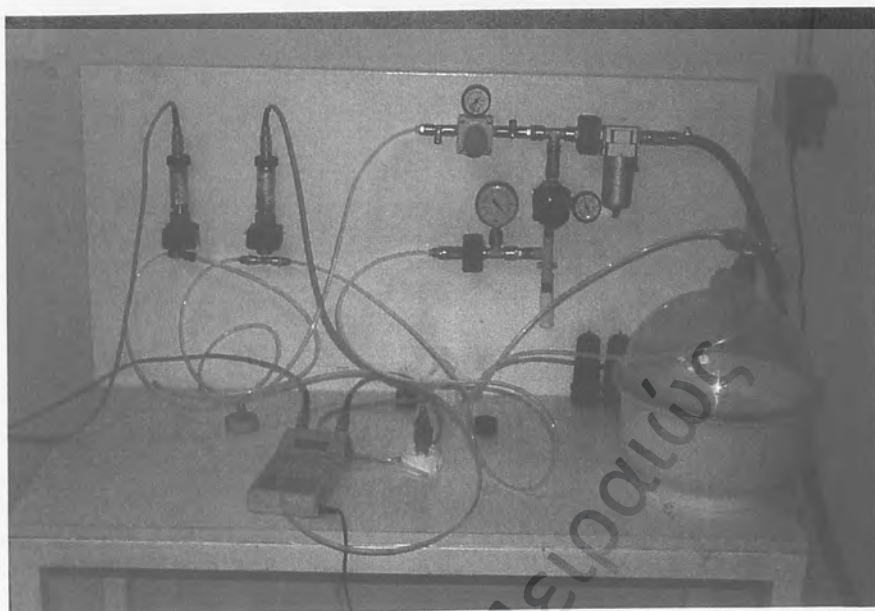


Γράφημα 3.2 Η γραφική παράσταση τάσης παραμόρφωσης, και ο καθορισμός του κρίσιμου φορτίου λυγισμού

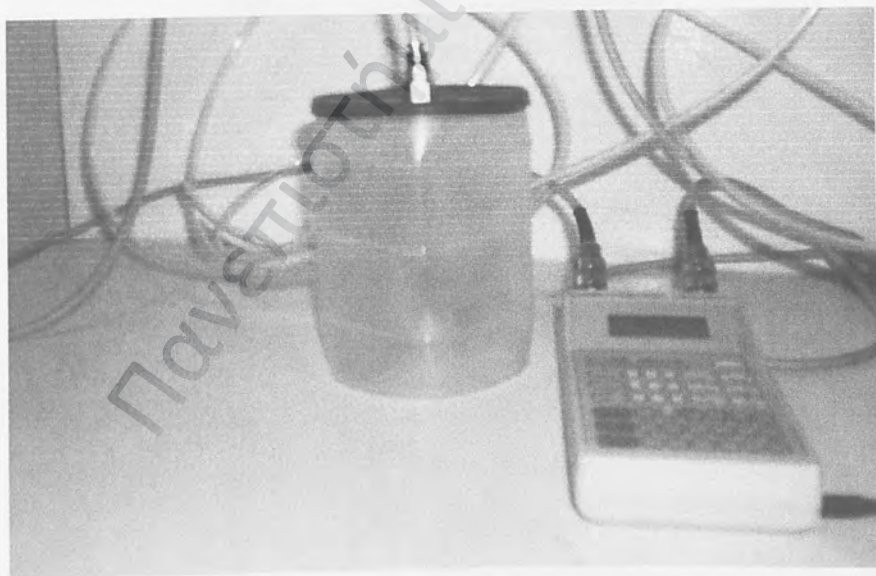
### 3.4.2 Περιγραφή της δοκιμής υποπίεσης στα πρωτότυπα

Ο υπολογισμός της αντοχής σε υποπίεση πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρείας ΑΡΓΩ ΑΕΒΕ, η οποία κατασκευάζει πλαστικά είδη συσκευασίας. Η πειραματική συσκευή παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 3.3). Στη δοκιμή αυτή αφαιρείται ο αέρας που υπάρχει εσωτερικά του πρωτοτύπου, και καταγράφουμε την υποπίεση εκείνη που οδηγεί σε αστοχία. Η αύξηση της υποπίεσης γίνεται με την δεξιόστροφη κίνηση του τροφέα, η ταχύτητα περιστροφής του οποίου επηρεάζει την μέγιστη τιμή της. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στη σωστή εφαρμογή του πώματος, ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα της συσκευασίας καθόλη τη διάρκεια του πειράματος (Εικόνα 3.4).





Εικόνα 3.3 Η πειραματική συσκευή για τη δοκιμή υποπίεσης.



Εικόνα 3.4 Η σωστή εφαρμογή του πόματος εξασφαλίζει αξιόπιστες μετρήσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων των

### Μηχανικών δοκιμών σε πρωτότυπα

## 4.1 Εισαγωγή

Με οδηγό λοιπόν τα αποτελέσματα [1] για τη βελτιστοποίηση της συσκευασίας, με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων, κατασκευάστηκαν και μελετήθηκε η αντοχή σε θλίψη και σε συνθήκες υποπίεσης οκτώ διαφορετικών πρωτοτύπων. Οι διαστάσεις και γενικότερα τα βασικά χαρακτηριστικά, όπως διάμετρο, ύψος, αριθμός δακτυλιδιών κ.λ.π ήταν αντίστοιχα του άρθρου [1] και μάλιστα σύμφωνα με τις διαστάσεις των τυποποιημένων κυλινδρικών κουτιών “δοχεία open top” [2].

## 4.2 Αποτελέσματα αξονικής φόρτισης στα πρωτότυπα

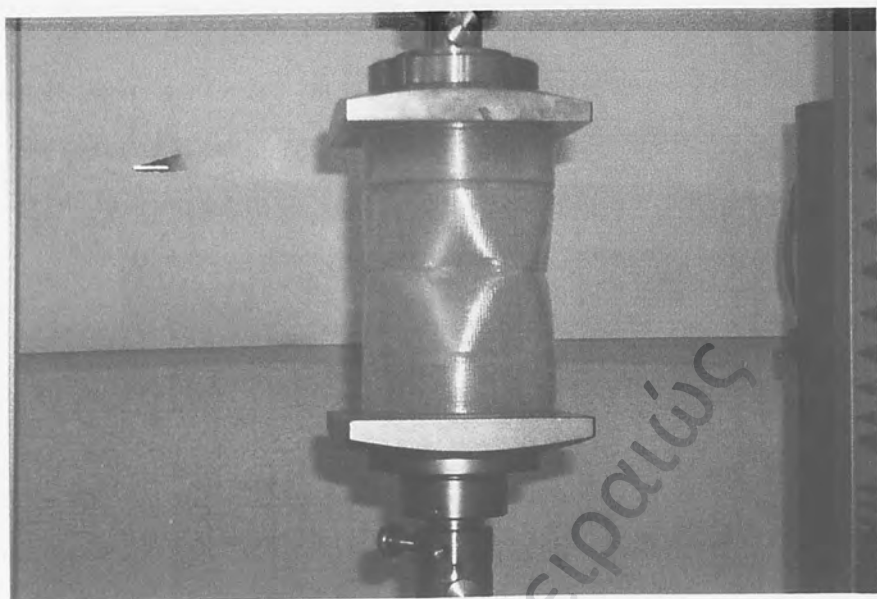
Οι δεδομένες αυτές διαστάσεις των πρωτοτύπων σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας της ταχείας πρωτοτυποποίησης περιορίζουν την παραγωγή σε μόλις τρία πρωτότυπα ανά κύκλο παραγωγής (Εικόνα 4.1).

Μάλιστα ο αριθμός αυτός συχνά μειώνεται εξαιτίας της αστοχίας των πρωτοτύπων κατά τη διάρκεια των μεταπαρασκευαστικών εργασιών. Πράγματι από την πρώτη προσπάθεια λειτουργίας της μηχανής της ταχείας πρωτοτυποποίησης κατασκευάστηκε μόνο ένα πρωτότυπο στις 10/7/2002 με το κωδικό όνομα gk8 (Παράρτημα1). Το πρωτότυπο αυτό δοκιμάστηκε αρκετές φορές σε θλίψη και βοήθησε να κατανοηθεί η γενικότερη συμπεριφορά των πρωτοτύπων ώστε πιο σωστά να μελετηθεί η επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στην αξονική φόρτιση.

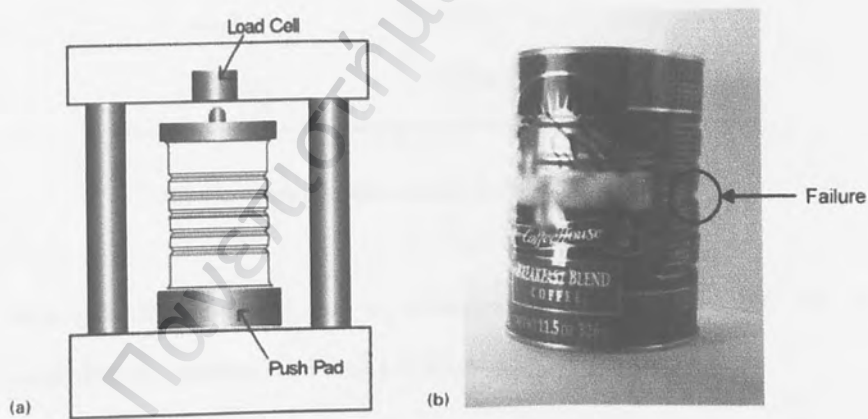


Εικόνα 4.1. Τρία πρωτότυπα σε κάθε κύκλο παραγωγής

Η πρώτη δοκιμή έγινε δύο μέρες μετά την παρασκευή του και το φορτίο λυγισμού δε ξεπερνούσε τα 106,13 N. Το σημαντικό όμως εκείνη τη στιγμή ήταν ότι ο λυγισμός του πρωτοτύπου άρχιζε από το μεσαίο δακτυλίδι γεγονός που αποδείκνυε ότι η συσκευασία συμπεριφέρεται ανάλογα με τις αντίστοιχες μεταλλικές (εικόνες 4.2,4.3). Επίσης ένα άλλο χαρακτηριστικό του πρώτου πειράματος ήταν, ότι η συσκευασία δεν αστόχησε, αν και παραμορφώθηκε σημαντικά, οπότε καθιστούσε εφικτή την επανάληψη των δοκιμών χωρίς την κατασκευή του αντίστοιχου πρωτοτύπου. Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης της μελέτης.



Εικόνα 4.2 Ο λυγισμός του πρωτοτύπου αρχίζει από το μεσαίο δακτυλίδι.



Εικόνα 4.3. Η αστοχία σε μεταλλικές συσκευασίες εμφανίζεται στο μεσαίο δακτυλίδι

Ακολούθησαν άλλες επτά δοκιμές θλίψης της συγκεκριμένης συσκευασίας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών και το χρονικό σημείο αυτών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Δοκιμές θλίψης gk8 (10/7/2002)	Ημέρα δοκιμής	Φορτίο σε (N)
Πρώτη	12/7/2002	106,13
Δεύτερη	15/7/2002	206,71
Τρίτη	16/7/2002	180,05
Τέταρτη	16/7/2002	123,05
Πέμπτη	17/7/2002	191,30
Έκτη	18/7/2002	233,83
Έβδομη	19/7/2002	202,83
Όγδοη	20/7/2002	173,37
Ένατη	22/7/2002	238,22

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης του πρωτοτύπου gk8

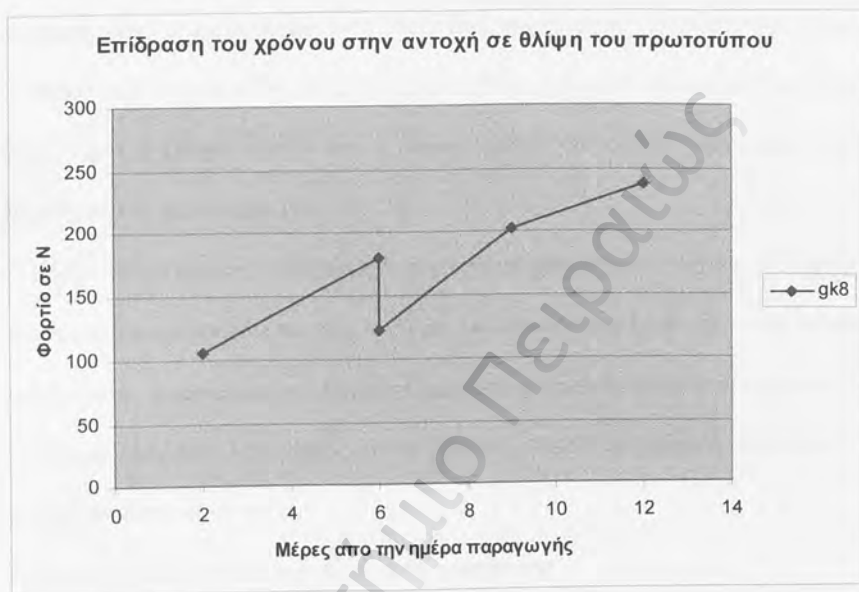
Παρατηρώντας προσεκτικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων αλλά και το χαρακτηριστικό γράφημα (Γράφημα 4.1) προκύπτει :

- ότι η αντοχή σε θλίψη του πρωτοτύπου αυξάνει με τη πάροδο του χρόνου.

Το στοιχείο αυτό οφείλεται στο φαινόμενο του πολυμερισμού και στις ιδιότητες των ρητινών που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ίσως και στο φαινόμενο της εργοσκλήρυνσης, εξαιτίας της επαναλαμβανόμενης φόρτισης της συσκευασίας.

- ότι πρέπει να γίνεται μια μόνο δοκιμή τη φορά για κάθε πρωτότυπο

Η τέταρτη δοκιμή έγινε λίγο μετά την τρίτη, οπότε είναι λογικό η μέτρηση αυτή να είναι πολύ χαμηλότερη από την πραγματική αντοχή του πρωτοτύπου εξαιτίας των παραμορφώσεων της συσκευασίας που προηγήθηκαν.



Γράφημα 4.1 Τα αποτελέσματα των πρώτων δοκιμών στο πρωτότυπο gk8

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω χαρακτηριστικά ακολούθησαν συγκεκριμένες δοκιμές με στόχο τη κατανόηση του ρόλου των χαρακτηριστικών της συσκευασίας,

- του βάθους των δακτυλιδιών ( bead depth)
- του πάχους του τοιχώματος ( wall thickness)
- του αριθμού των δακτυλιδιών ( number of beads)
- την απόσταση των δακτυλιδιών (bead spacing)

στην αντοχή σε θλίψη, και τον έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθόδου της ταχείας προτυποποίησης σε μηχανικές δοκιμές

#### 4.2.1 Επίδραση του βάθους των δακτυλίων ενίσχυσης (bead depth)

Τα επόμενα λοιπόν πρωτότυπα που δημιουργήθηκαν είχαν στόχο την κατανόηση της επίδρασης του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τρεις ίδιες συσκευασίες, με μοναδική διαφορά το βάθος των δακτυλιδιών τους, με τιμές 1,27mm (για τη συσκευασία με κωδικό όνομα gk6), 1,03mm (gk61) και 1,14mm (gk62). Οι ακριβείς διαστάσεις τους βρίσκονται στο παράρτημα ένα.

Η επίδραση του χρόνου στην αντοχή των πρωτοτύπων, όπως αυτή παρουσιάστηκε στα προηγούμενα πειράματα, και ο ρόλος των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στην αντοχή υποχρεώνει την σύγκριση πρωτότυπων που διαφοροποιούνται μόνο σε ένα χαρακτηριστικό (π.χ βάθος δακτυλιδιών). Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι συγκρίνονται πρωτότυπα

- που παρασκευάστηκαν στον ίδιο κύκλο παραγωγής
- που παρέμειναν τον ίδιο χρόνο στο φουρνάκι
- που δοκιμάστηκαν στη μηχανή θλίψης διαδοχικά
- που διαφοροποιούνται μόνο σένα χαρακτηριστικό

Ο πρώτος κύκλος παρασκευής των τριών αυτών πρωτοτύπων ξεκίνησε στις 16/7/2002, όπου δυστυχώς προέκυψε και πάλι μια αστοχία, όποτε κατασκευάστηκαν δύο μόνο πρωτότυπα το gk61 και το gk62. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα (Πίνακα 4.2).

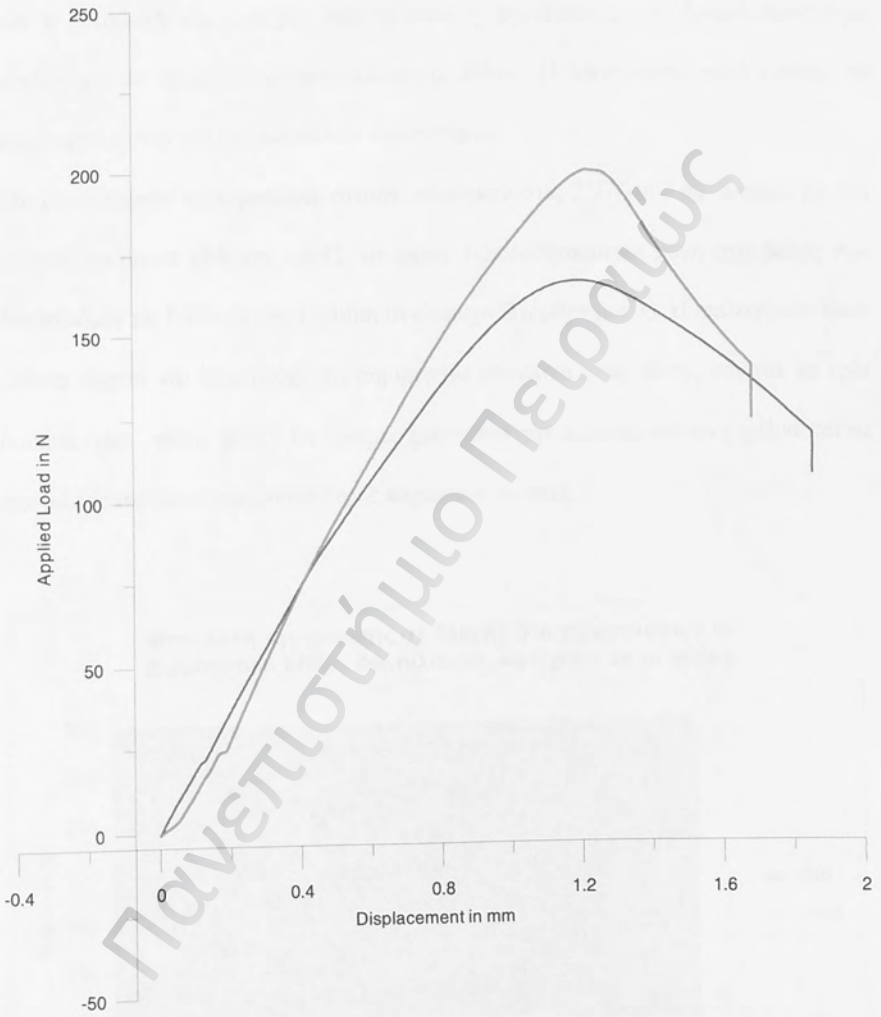


<i>Κατασκευή</i>	<i>Ημέρα δοκιμής</i>	<i>Πρωτότυπο gk61</i>	<i>Πρωτότυπο gk62</i>
<i>16/7/2002</i>	<i>Βάθος δακτυλ.</i>	<i>1,03mm</i>	<i>1.14mm</i>
		<i>Φορτίο σε (N)</i>	<i>Φορτίο σε (N)</i>
<i>Πρώτη</i>	<i>17/7/2002</i>	<i>159,65</i>	<i>159,45</i>
<i>Δεύτερη</i>	<i>18/7/2002</i>	<i>170,12</i>	<i>142,89</i>
<i>Τρίτη</i>	<i>18/7/2002</i>	<i>152,27</i>	<i>155,8</i>
<i>Τέταρτη</i>	<i>19/7/2002</i>	<i>206,42</i>	<i>196,01</i>
<i>Πέμπτη</i>	<i>20/7/2002</i>	<i>187,74</i>	<i>164,85</i>
<i>Έκτη</i>	<i>22/7/2002</i>	<i>239,86</i>	<i>204,15</i>
<i>Έβδομη</i>	<i>25/7/2002</i>	<i>274,41</i>	<i>228,01</i>
<i>Όγδοη</i>	<i>21/8/2002</i>	<i>330</i>	<i>309,92</i>

Πίνακας 4.2 : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης των πρωτοτύπων gk61-gk62

Οι δοκιμές θλίψης επομένως στα πρωτότυπα παρουσιάζουν την επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη και αποδεικνύουν, ότι η αντοχή σε θλίψη μειώνεται όσο το βάθος των δακτυλιδιών αυξάνει. Μελετώντας περισσότερο τα αποτελέσματα και τα γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης των δοκιμών θλίψης προκύπτει :

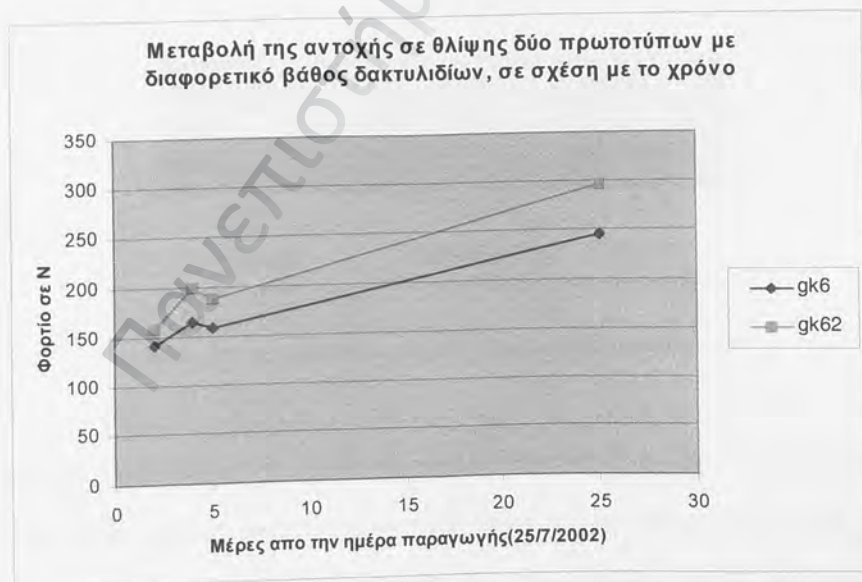
1. το δοκίμιο gk61, με το μικρότερο βάθος δακτυλιδιών, παρουσιάζει και την μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη. Πρέπει να αναφερθεί ότι η πρώτη μέτρηση δεν λαμβάνεται υπόψη μιας και έγινε την αμέσως επόμενη ημέρα της παρασκευής και η τρίτη δοκιμή δεν θεωρείται αξιόπιστη γιατί πραγματοποιήθηκε την ίδια μέρα με την δεύτερη, γεγονός όπως αναφέρθηκε αλλοιώνει τα αποτελέσματα.
2. και τα δύο δοκίμια αυξάνουν την αντοχή τους με το χρόνο



Γραφήματα τάσης-παραμόρφωσης για τα πρωτότυπα gk6 -3gk62. Με κόκκινη γραμμή το 3gk62

Επομένως τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά και έδειχναν, ότι μηχανικές δοκιμές σε πρωτότυπα κατασκευασμένα με τη μέθοδο της ταχείας προτυποποίησης, μπορούν να οδηγήσουν στη βελτιστοποίηση των συσκευασιών μιας και η μεταβολή της αντοχής από τη μείωση του βάθους των δακτυλιδιών είναι αντίστοιχη με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων. Η τάση όμως αυτή έπρεπε να αποδειχτεί με την μελέτη και άλλων πρωτοτύπων.

Με βάση λοιπόν το παραπάνω κατασκευάστηκαν στις 25/7/2002 τα δοκίμια με την κωδική ονομασία gk6 και 3gk62, τα οποία διαφοροποιούνται μόνο στο βάθος των δακτυλιδιών με 1,27mm και 1,14mm αντίστοιχα (Παράρτημα 1). Η επιλογή δεν ήταν βέβαια τυχαία και έχει στόχο τη δημιουργία συνολικά μιας τάσης και για τα τρία δοκίμια (gk6 , gk61, gk62). Οι δοκιμές ξεκίνησαν την αμέσως επόμενη ημέρα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.



Γράφημα 4.2: Επίδραση του χρόνου σε πρωτότυπα του ίδιου κύκλου παρασκευής με μόνη διαφορά το βάθος των δακτυλιδιών.

Κατασκευή	Ημέρα δοκιμής	Δοκίμιο gk6	Δοκίμιο 3gk62 1.14mm
25/7/2002	Βάθος δακτυλ.	1.27mm	Φορτίο σε( N)
Δοκιμές θλίψης		Φορτίο σε( N)	
<b>Πρώτη</b>	26/7/2002	99,96	83,35
<b>Δεύτερη</b>	27/7/2002	142,64	158,86
<b>Τρίτη</b>	29/7/2002	166,27	200,08
<b>Τετάρτη</b>	30/7/2002	158,69	188,6
<b>Πέμπτη</b>	21/8/2002	246,73	296,27

Πίνακας 4.3a : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης των πρωτοτύπων gk6-gk62

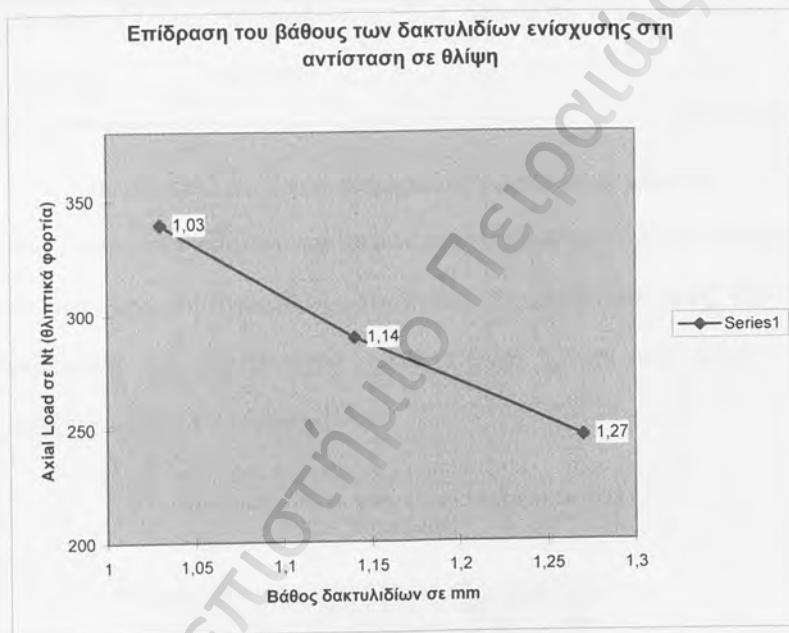
Δοκιμές θλίψης	Ημέρα δοκιμής	Φορτίο σε N
<b>2gk62</b> (23/7/2002)		
<b>Πρώτη</b>	26/7/2002	187.9
<b>Δεύτερη</b>	21/8/2002	297.46

Πίνακας 4.3b : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης του πρωτοτύπου 2gk62

Με την ολοκλήρωση των πειραμάτων αυτών σχηματίζεται μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα (Γράφημα 4.2) για την επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στη αντοχή σε θλίψη αλλά και μελετάται συμπεριφορά δύο ίδιων δοκιμίων (gk62) που έχουν διαφορετική ημέρα παρασκευής 16/7/2002 και 25/7/2002 αντίστοιχα.

Παρατηρείται λοιπόν ότι και στα πειράματα αυτά το πρωτότυπο με το μικρότερο βάθος δακτυλιδιών είχε την μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη, (το πρώτο πείραμα για τους γνωστούς λόγους δεν λαμβάνεται σοβαρά υπόψη).

Η επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη παρουσιάζεται χαρακτηριστικά στο γράφημα 4.3. Ως φορτίο, λαμβάνεται αυτό που προέκυψε από τις τελευταίες δοκιμές.



Γράφημα 4.3. Συνολική παρουσίαση της επίδρασης του βάθους των δακτυλίων ενίσχυσης (Bead Depth) στην αντοχή σε θλίψη.

#### 4.2.2 Επίδραση του πάχους του τοιχώματος (Wall thickness)

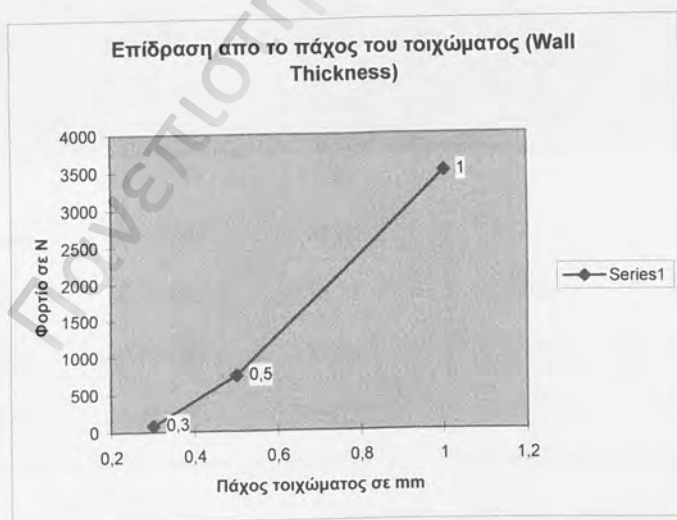
Με οδηγό το πρωτότυπο gk6 στις 18/7/2002 σχεδιάστηκαν δύο νέα δοκίμια το gk63 και το gk64 με πάχος τοιχώματος 0,5mm και 1 mm αντίστοιχα (Παράρτημα1), με

στόχο να μελετηθεί η επίδραση του πάχους του τοιχώματος στην αντοχή σε θλίψη. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται παρακάτω.

Κατασκευή (18/7/2002)	Δοκίμιο gk63	Δοκίμιο gk64
Δοκιμές θλίψης	Wall thickness	0,5 mm
Ημέρα δοκιμής	Φορτίο σε ( N)	Φορτίο σε ( N)
Πρώτη	20/7/2002	570
Δεύτερη	28/7/2002	752

Πίνακας 4.4 : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης των πρωτοτύπων gk63-gk64

Τα πρωτότυπα αυτά εξαιτίας του πάχους του τοιχώματος ήταν πιο ψαθυρά, με αποτέλεσμα μετά τον λυγισμό να αστοχήσουν. Το αποτέλεσμα όμως ήταν τόσο χαρακτηριστικό που από το πρώτο κιάλας πείραμα η τάση ήταν προφανής και παρουσιάζεται παρακάτω (Γράφημα 4.4).



Γράφημα 4.4. Συνολική παρουσίαση της επίδρασης του πάχους του τοιχώματος (Wall Thickness) στην αντοχή σε θλίψη

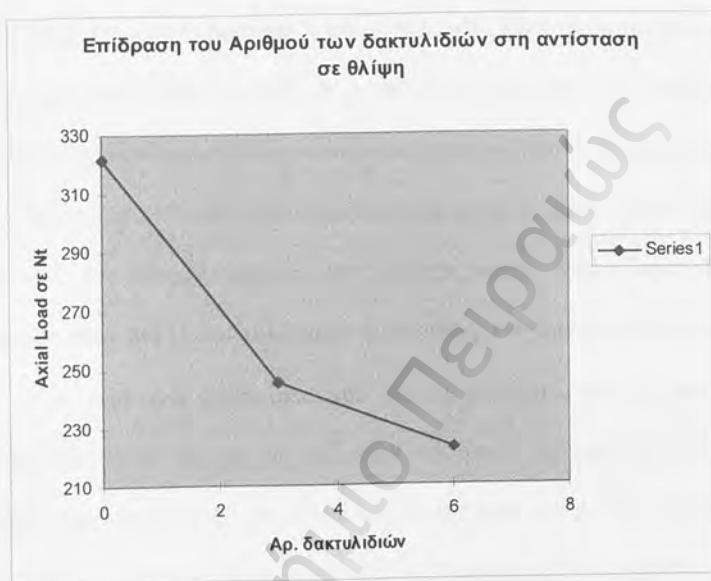
#### 4.2.3 Επίδραση του αριθμού των δακτυλιδιών.

Είναι γνωστό ότι η ύπαρξη των δακτυλιδιών στη συσκευασία επηρεάζει αρνητικά την αντοχή της σε θλίψη. Με την ταχεία προτυποποίηση έγινε προσπάθεια απόδειξης του δεδομένου αυτού, και παράλληλα μελετήθηκε η γενικότερη συμπεριφορά των πρωτοτύπων σε συνάρτηση με τις μεταλλικές συσκευασίες. Στη κατεύθυνση αυτή δημιουργήθηκαν, με οδηγό το πρωτότυπο gk6 δύο ακόμα πρωτότυπα το gk10 με έξι δακτυλίδια στο τοίχωμα (Παράρτημα 1) και το gk11 χωρίς δακτυλίδια στο τοίχωμα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων και η επίδραση των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη παρουσιάζονται παρακάτω.

<i>Κατασκευή</i>		<i>gk6</i>	<i>gk10</i>	<i>gk11 (26/7/02)</i>
<i>25/7/2002</i>	<i>Αρ. Δακτυλ.</i>	<i>3 δακτυλίδια</i>	<i>6 δακτυλίδια</i>	<i>0 δακτυλίδια</i>
<i>Δοκιμές</i>	<i>Ημέρα</i>	<i>Φορτίο σε(N)</i>	<i>Φορτίο σε(N)</i>	<i>Φορτίο σε(N)</i>
<i>Πρώτη</i>	<i>26/7/2002</i>	<i>99,96</i>		
<i>Δεύτερη</i>	<i>27/7/2002</i>	<i>142,64</i>	<i>89,4</i>	
<i>Τρίτη</i>	<i>29/7/2002</i>	<i>166,27</i>	<i>121,04</i>	<i>310,11</i>
<i>Τετάρτη</i>	<i>30/7/2002</i>	<i>158,69</i>	<i>127,31</i>	<i>272,37</i>
<i>Πέμπτη</i>	<i>21/8/2002</i>	<i>246,73</i>	<i>223,31</i>	<i>322,59</i>

Πίνακας 4.5 : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης των πρωτοτύπων gk61-gk62

Από τις δοκιμές αποδεικνύεται ότι η αντοχή σε θλίψη μειώνεται όσο ο αριθμός των δακτυλιδιών αυξάνει, γεγονός που παρουσιάζεται χαρακτηριστικά στο παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 4.5. Διάγραμμα Αντοχής σε θλίψη ως συνάρτηση του αριθμού των δακτυλίων ενίσχυσης

#### 4.2.4 Επίδραση από την απόσταση των δακτυλιδιών.

Παρατηρείται λοιπόν, ότι η συμπεριφορά των πρωτοτύπων σε όλες τις σειρές των πειραμάτων, ήταν σύμφωνη με τη θεωρία και τα αποτελέσματα των υπολογιστικών πακέτων, που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ολοκληρώνοντας τις μετρήσεις σε δοκιμές θλίψης πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε πρωτότυπα που παρουσίαζαν διαφορές στην απόσταση των δακτυλιδιών. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες δοκιμές του πρωτοτύπου gk8, όπου η απόσταση των δακτυλιδιών είναι



21,54mm , του δοκιμίου gk6 με αποστάσεις 41,91mm ανά δακτυλίδι, ενώ παρασκευάστηκε και το δοκίμιο gk9 με αποστάσεις 16,26mm ανά δακτυλίδι. Όπως ήταν φυσικό οι μετρήσεις του gk8 αν και θεωρούνται αξιόπιστες δεν μπορούν να συγκριθούν με μετρήσεις άλλων δοκιμίων, μιας και διαφέρει σημαντικά ο χρόνος παρασκευής. Μοναδική σύγκριση μπορούσε να γίνει μόνο ανάμεσα στα πρωτότυπα gk6 και gk9, όπου παρασκευάστηκαν με μόνο μια μέρα διαφοράς. Προκειμένου να μην γίνουν λαθεμένες υποθέσεις κατασκευάστηκαν ξανά τα πρωτότυπα gk6, gk8, gk61. Τα νέα πρωτότυπα πήραν τους κωδικούς 2gk6, 2gk8, 2gk61, με το 2 να συμβολίζει ότι παρασκευάζονται για δεύτερη φορά, διατηρώντας βέβαια τις διαστάσεις τους. Με το νέο αυτό κύκλο παρασκευής συγκρίνεται η συμπεριφορά του 2gk6 με το 2gk8 ενώ χρησιμοποιώντας και τις μετρήσεις του gk6 με το gk9 θα σχηματίζεται τάση και για τα τρία αυτά πρωτότυπα (gk6,gk8,gk9), δηλαδή την επίδραση της απόστασης των δακτυλίων ενίσχυσης (bead spacing) στη θλίψη. Παράλληλα με τη δημιουργία του 2gk61 ελέγχεται και η μηχανή της ταχείας πρωτοτυποποίησης, δηλαδή αν κατασκευάζει και μετά από ένα μήνα λειτουργίας πρωτότυπα με συμπεριφορά ανάλογη των αρχικών.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης.

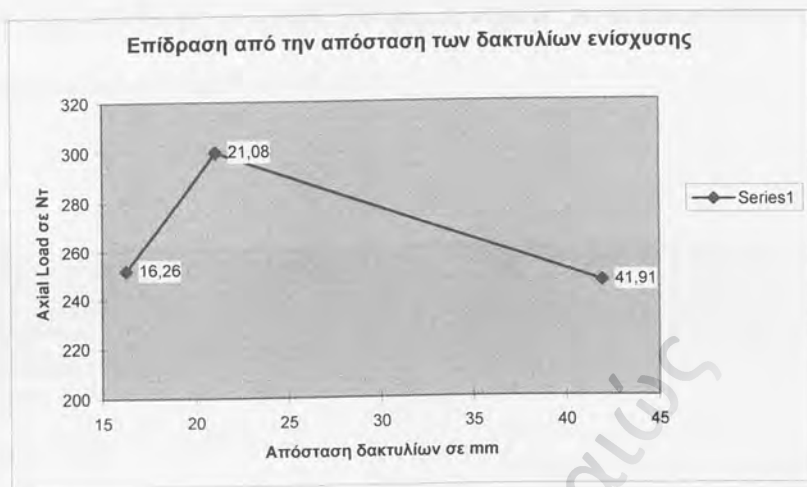
Δοκιμές θλίψης	Ημέρα δοκιμής	gk6 (25/7/2002)	gk9 (26/7/2002)
	<i>Bead Spacing</i>	41,91mm	16.26mm
		Φορτίο σε (N)	Φορτίο σε (N)
<i>Πρώτη</i>	26/7/2002	99,96	
<i>Δεύτερη</i>	27/7/2002	142,64	
<i>Τρίτη</i>	29/7/2002	166,27	178,57
<i>Τετάρτη</i>	30/7/2002	158,69	165,47
<i>Πέμπτη</i>	21/8/2002	246,73	252,04

Πίνακας 4.6 : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης

Δοκιμές θλίψης	Ημέρα δοκιμής	2gk6 (27/8/2002)	2gk8 (27/8/2002)
	<i>Bead Spacing</i>	41.91mm	21.54mm
		Φορτίο σε N	Φορτίο σε N
<i>Πρώτη</i>	30/8/2002	139,16	130,63
<i>Δεύτερη</i>	31/7/2002	152,52	135,82

Πίνακας 4.7 : Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης

Με βάση τα παραπάνω αποδεικνύεται ότι τα πρωτότυπα gk6- gk9 παρουσιάζουν ίδια αντοχή στη θλίψη ενώ το 2gk8 μικρότερη σε σχέση με το 2gk6. Επομένως προκύπτει το παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 4.6: Ενδεικτικό διάγραμμα μεταβολής της αντοχής σε συνάρτηση με την απόσταση των δακτυλιδιών.

### 4.3 Αποτελέσματα Υποπίεσης στα πρωτότυπα

Η ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων αποδεικνύει ότι τα πρωτότυπα μπορούν να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα για την συμπεριφορά της συσκευασίας σε αξονικά φορτία. Επειδή όμως η συσκευασία πρέπει να ικανοποιεί και τις απαιτήσεις σε υποπίεση (paneling pressure) μελετήθηκε και η συμπεριφορά των πρωτοτύπων στα φορτία αυτά. Οι δοκιμές έλαβαν χώρα στο εργαστήριο της εταιρείας ΑΡΓΩ (ενότητα 3.2), χρησιμοποιώντας τα πρωτότυπα που είχαμε ήδη κατασκευάσει.

Με το κατάλληλο μετρητικό όργανο υπολογίζετε η υποπίεση του πρωτότυπου σε mbar, η οποία αυξάνεται μέχρι το σημείο που αστοχούσαν τα τοιχώματα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων, με την διευκρίνιση ότι οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο τριών διαδοχικών μετρήσεων.

Μάλιστα σε αντίθεση με τη θλίψη, διαδοχικά πειράματα στο ίδιο πρωτότυπο δεν υποβάθμιζαν την αντοχή σε υποπίεση.

Πρωτότυπο	gk6	2gk6	2gk8	2gk61	3gk62	gk11	gk9
κατασκευή	25/7/02	27/8/02	27/8/02	27/8/02	25/7/02	26/7/02	26/7/02
Αποστ. Δακτ	41,91	41,91	21,08	41,91	41,91	-	16,26
Βάθος Δακτ	1,27	1,27	1,27	1,03	1,14	-	1,27
Αρ. Δακτ	3	3	3	3	3	-	3
εφαρμογή πόματος	μέτρια	ιδανική	ιδανική	ιδανική	μέτρια	ιδανική	ιδανική
Υποπίεση σε mbar	52	26	34	29?	45,1	26	52

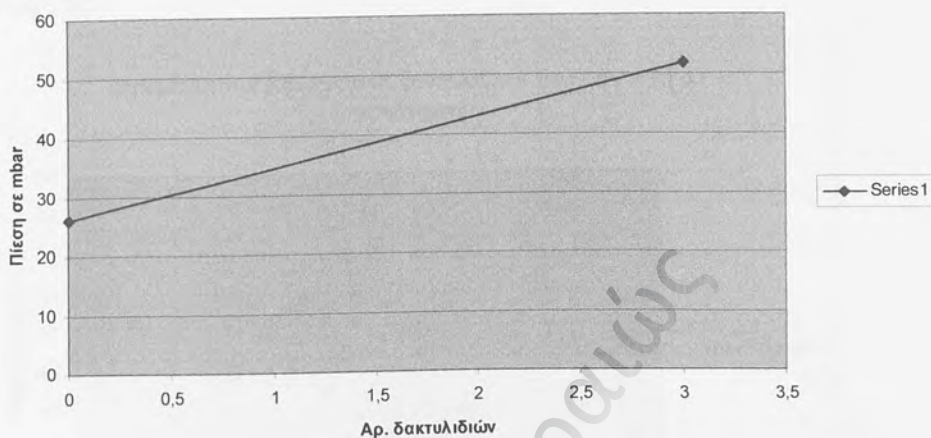
Πίνακας 4.8 : Αντοχή σε υποπίεση

Όπως έχει αναφερθεί τα πειραματικά αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα μόνο για τα πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν την ίδια περίοδο. Συνεπώς συγκρίνεται το gk6 με το gk9, 3gk62 και με το gk11 (χωρίς δακτυλίδια), και αντίστοιχα το 2gk6 με 2gk8, 2gk61

Με βάση τα παραπάνω αποδεικνύεται:

- Η παρουσία των δακτυλιδιών στη συσκευασία βελτιώνει την αντόχί της σε υποπίεση

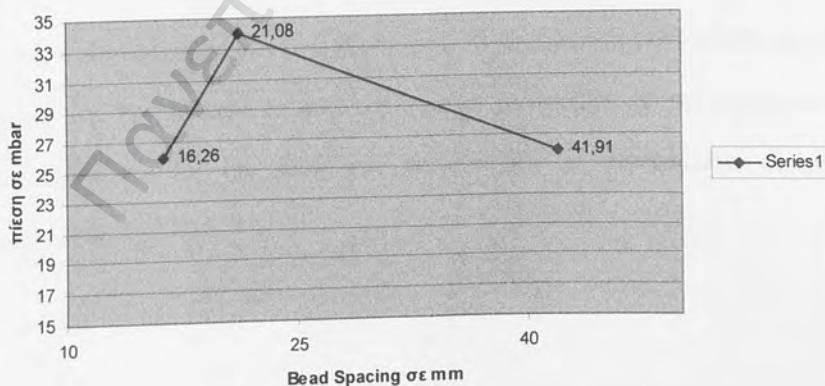
Επίδραση των δακτυλιδιών στην αντοχή σε υποπίεση



Γράφημα 4.7: Μεταβολή της αντοχής σε υποπίεση με τη παρουσία δακτυλιδιών στο τοίχωμα της συσκευασίας

- Η απόσταση των δακτυλιδιών (bead Spacing) επηρεάζει την αντοχή σε υποπίεση και μάλιστα υπάρχει βέλτιστη λύση (Γράφημα 4.8)

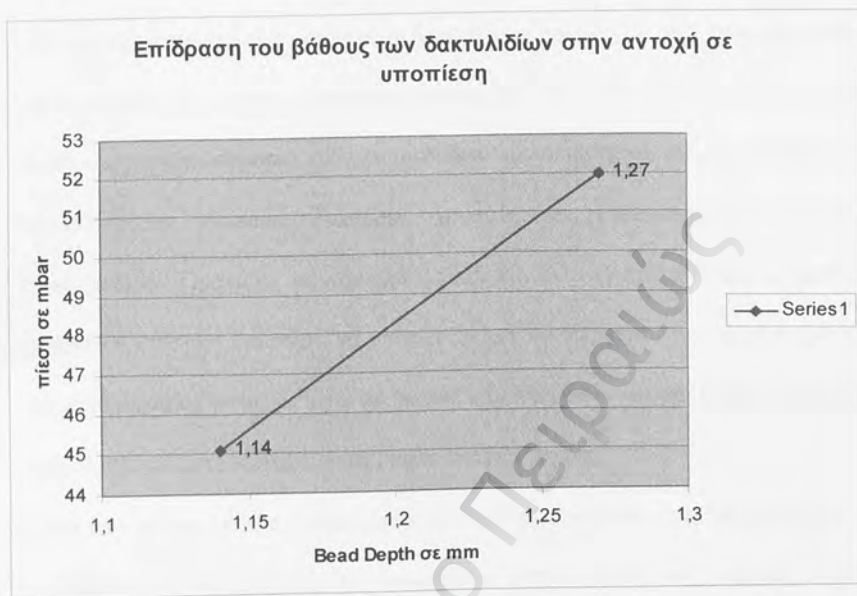
Η μετακίνηση των δακτυλιδιών οδηγεί σε βέλτιστη λύση



Γράφημα 4.8 : Η διαφοροποίηση στην απόσταση των δακτυλιδιών μεταβάλλει την αντοχή σε υποπίεση

- Η αύξηση του βάθους των δακτυλιδιών βελτιώνει την αντοχή σε υποπίεση

(Γράφημα 4.9).



Γράφημα 4.9: Μεταβολή στο βάθος των δακτυλιδιών διαφοροποιεί την αντοχή σε υποπίεση

1. αντοχή του πρωτοτύπου 2gk61 δε μειώθηκε σε σχέση με το 2gk6, κάτι που θα ήταν και το λογικό, με βάση τη παραπάνω διαπίστωση.

Το σημαντικότερο όμως είναι ότι και σε αυτά τα πειράματα η τάση μεταβολής της αντοχής των πρωτοτύπων, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της συσκευασίας είναι αντίστοιχη με την τάση των υπολογισμών με πεπερασμένα στοιχεία (Κεφάλαιο 3)

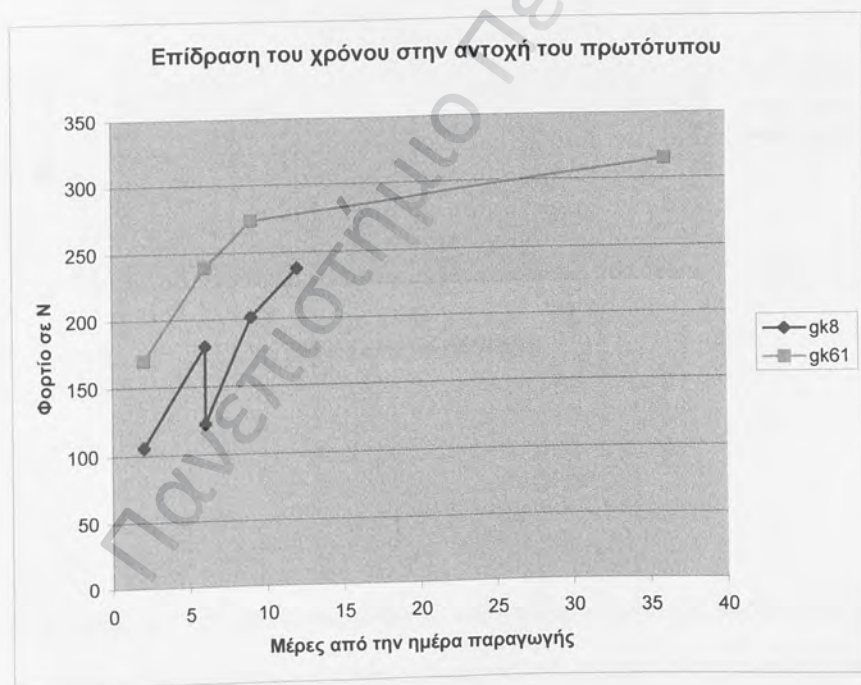
#### 4.4 Συνολική αξιολόγηση της μεθόδου και τα επόμενα πιθανά βήματα

Με την ολοκλήρωση των μηχανικών δοκιμών σε πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης και την σύγκρισή των αποτελεσμάτων αυτών με αποτελέσματα άλλων μεθόδων αποδεικνύεται, ότι η μέθοδος είναι αξιόπιστη και συνεπώς ιδιαίτερος χρήσιμη σε διαδικασίες βελτιστοποίησης συσκευασιών. Πράγματι με την κατασκευή και δοκιμή πρωτότυπων ο ερευνητής μπορεί σε σύντομο διάστημα να αποφανθεί για την επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στην αντοχή σε θλίψη και υποπίεση και να διαφοροποιήσει το αρχικό σχέδιο ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις της .

Αυτό που πρέπει να πραγματοποιηθεί ακολούθως, προφανώς στα πλαίσια μιας νέας πτυχιακής εργασίας, είναι η προσπάθεια υπολογισμού της σχέσης αντοχής πρωτοτύπων και μεταλλικής συσκευασίας. Πρέπει να μελετηθεί λοιπόν αν ο λόγος (αντοχής πρωτότυπου) / (αντίστοιχης μεταλλικής συσκευασίας ) παραμένει σταθερός ανεξάρτητα τις αλλαγές στη συσκευασία. Αν υπολογιστεί μια τέτοια μεταβλητή τότε η αποτελεσματικότητα και η χρησιμότητα της μεθόδου θα βελτιωθεί σημαντικά.

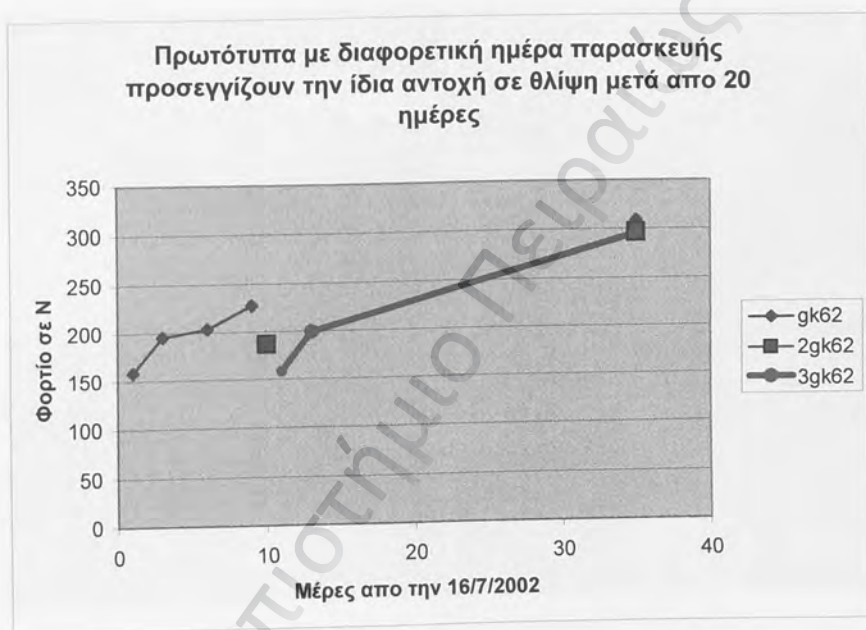
## Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα

1. Η αντοχή του πρωτοτύπου σε θλίψη αυξάνεται με τη πάροδο του χρόνου. Είναι χαρακτηριστικό, ότι αυτή τη συμπεριφορά παρουσίασαν όλα τα πρωτότυπα και το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και μέρες μετά την ημέρα παρασκευής. Το παρακάτω γράφημα είναι χαρακτηριστικό. Δύο πρωτότυπα με διαφορετικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν την ίδια τάση μεταβολής της αντοχής τους σε σχέση με το χρόνο.





2. Ίδια πρωτότυπα με διαφορετική ημέρα παρασκευής προσεγγίζουν μετά από 30 μέρες περίπου την ίδια αντοχή σε θλίψη. Το γράφημα είναι ενδεικτικό. Τα πρωτότυπα gk62, 2gk62, 3gk62 αν και κατασκευάστηκαν διαφορετικές ημερομηνίες, η αντοχή τους σε θλίψη και των τριών βρίσκεται στην περιοχή των 300 N.



3. Εξαιτίας της μεταβολής της αντοχής, λόγω πολυμερισμού της ρητίνης, για να προκύπτουν ασφαλή και αξιόπιστα συμπεράσματα, πρέπει να συγκρίνονται, όσο αφορά τις μηχανικές δοκιμές, πρωτότυπα που παρασκευάστηκαν στο ίδιο κύκλο παρασκευής.

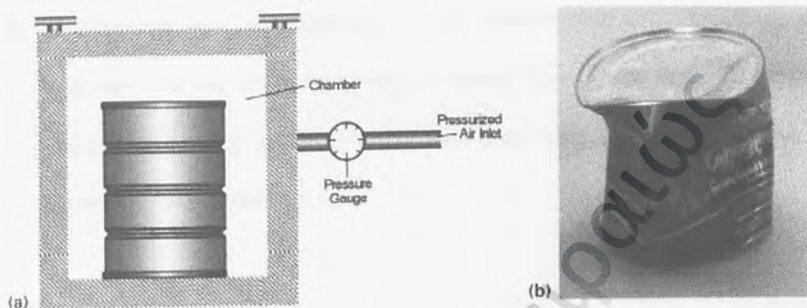
4. Η ελαστική συμπεριφορά της ρητίνης επιτρέπει στα πρωτότυπα να δεχτούν μεγάλες παραμορφώσεις ( Εικόνα 1 ), οι οποίες όμως δεν οδηγούν σε αστοχία. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά εφικτή την πραγματοποίηση αρκετών δοκιμών στο ίδιο πρωτότυπο. Συνεπώς δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή πολλών ίδιων πρωτοτύπων.



Εικόνα 1 Το πρωτότυπο δέχεται μεγάλες παραμορφώσεις, χωρίς να αστοχεί. Παρατηρείστε ότι η παραμόρφωση ξεκινάει από το μεσαίο δακτυλίδι

5. Εξαιτίας των μεγάλων παραμορφώσεων που δέχονται τα πρωτότυπα από τη μηχανή θλίψης δεν πρέπει να γίνονται την ίδια ημέρα, παραπάνω από μία δοκιμή στο ίδιο δοκίμιο.

6. Τα πρωτότυπα συμπεριφέρονται, σε δοκιμές θλίψης όπως και οι μεταλλικές συσκευασίες, μιας και ο λυγισμός λαμβάνει χώρα στο μεσαίο δακτυλίδι, όπως και στα πραγματικά, (Εικόνα 1). Αντίστοιχα χαρακτηριστικά και στην υποπίεση όπου έχουμε την κατάρρευση ολόκληρου του τοιχώματος, (Εικόνες 2,3)

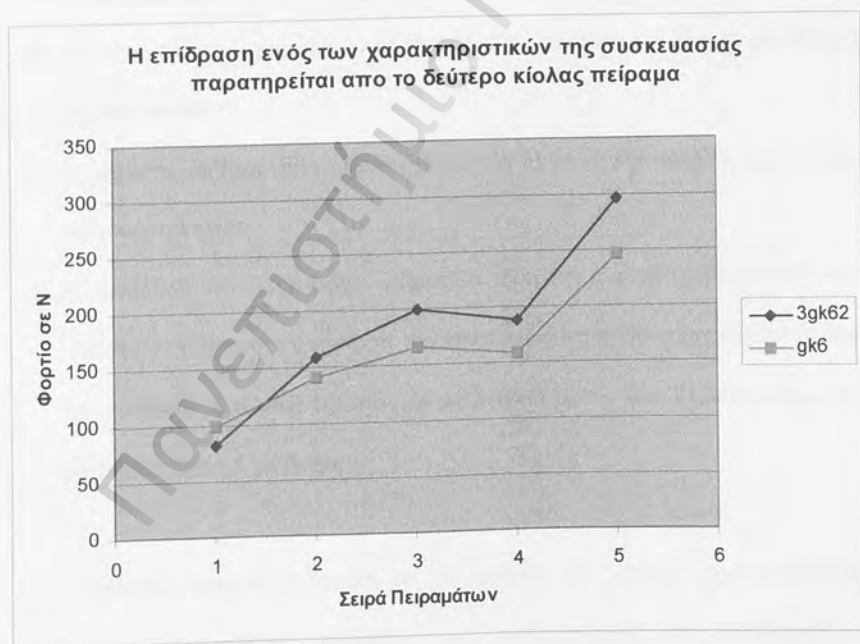


εικόνα 2b . Μεταλλική συσκευασία μετά από δοκιμή paneling



Εικόνα 2. Η συμπεριφορά του πρωτότυπου σε δοκιμές υποπίεσης είναι αντίστοιχη των μεταλλικών συσκευασιών

7. Η πραγματοποίηση μηχανικών δοκιμών σε πρωτότυπα και οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας στις μηχανικές δοκιμές θλίψης και υποπίεσης
8. Η επίδραση ενός χαρακτηριστικού της συσκευασίας στις μηχανικές δοκιμές παρατηρείται από το δεύτερο κύκλος πείραμα, γεγονός που σημαίνει ότι η ταχεία προτυποποίηση ως μέθοδος βελτιστοποίησης συσκευασιών μπορεί να δώσει άμεσα αποτελέσματα.



Γράφημα 5.1. Είναι γεγονός ότι απο το δεύτερο πείραμα εμφανίστηκε η επίδραση του βάθους των δακτυλιδιών στην αντοχή σε θλίψη, κάτι που στη συνέχεια γενικεύτηκε.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης μελετήθηκε η επίδραση των χαρακτηριστικών της συσκευασίας

- του βάθους των δακτυλιδίων ( bead depth)
- του πάχους του τοιχώματος ( wall thickness)
- του αριθμού των δακτυλιδίων ( number of beads)
- την απόσταση των δακτυλιδίων (bead spacing)

σε θλίψη και σε υποπίεση, και τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση τη θεωρητική ανάλυση και τη βελτιστοποίηση αντίστοιχων συσκευασιών με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων.

9. Η αύξηση του βάθους των δακτυλιδίων επηρεάζει αρνητικά την αντοχή της συσκευασίας σε θλίψη ενώ αντίθετα βελτιώνει την αντοχή της σε υποπίεση.

10. Η αύξηση του πάχους του τοιχώματος βελτιώνει τόσο την αντοχή σε θλίψη όσο και την υποπίεση

11. Η παρουσία δακτυλιδίων μειώνει το φορτίο λυγισμό ενώ αυξάνει την πίεση που προκαλεί αστοχία

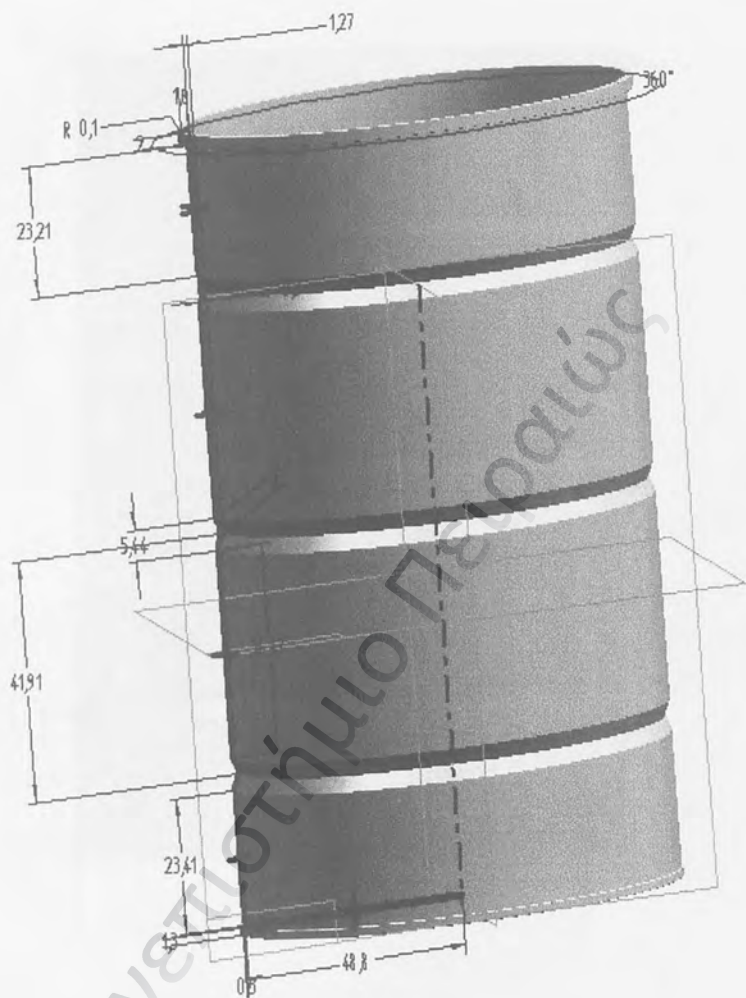
12. Η απόσταση των δακτυλιδίων επηρεάζει τόσο την αντοχή σε θλίψη όσο και σε υποπίεση. Μάλιστα η απόσταση των δακτυλιδίων που δίνει την καλύτερη αντοχή σε υποπίεση, που παρατηρείται με τη μείωση αυτής στα 21,54mm έχουμε την μικρότερη αντοχή σε θλίψη.

13. Συνεπώς παρατηρούμε ότι με τη μέθοδο της ταχείας πρωτοτυποποίησης μπορούμε σε σύντομο διάστημα να αντιληφθούμε την επίδραση ενός χαρακτηριστικού στην αντοχή σε θλίψη και υποπίεση μιας συσκευασίας και να τη βελτιστοποιήσουμε.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

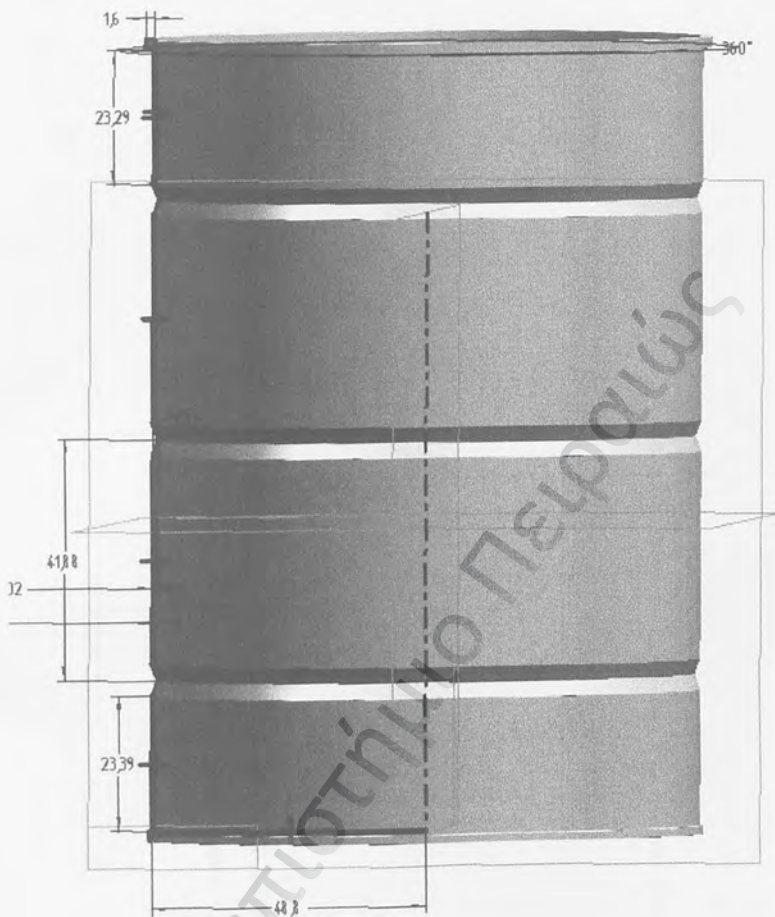
ΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΑΝ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



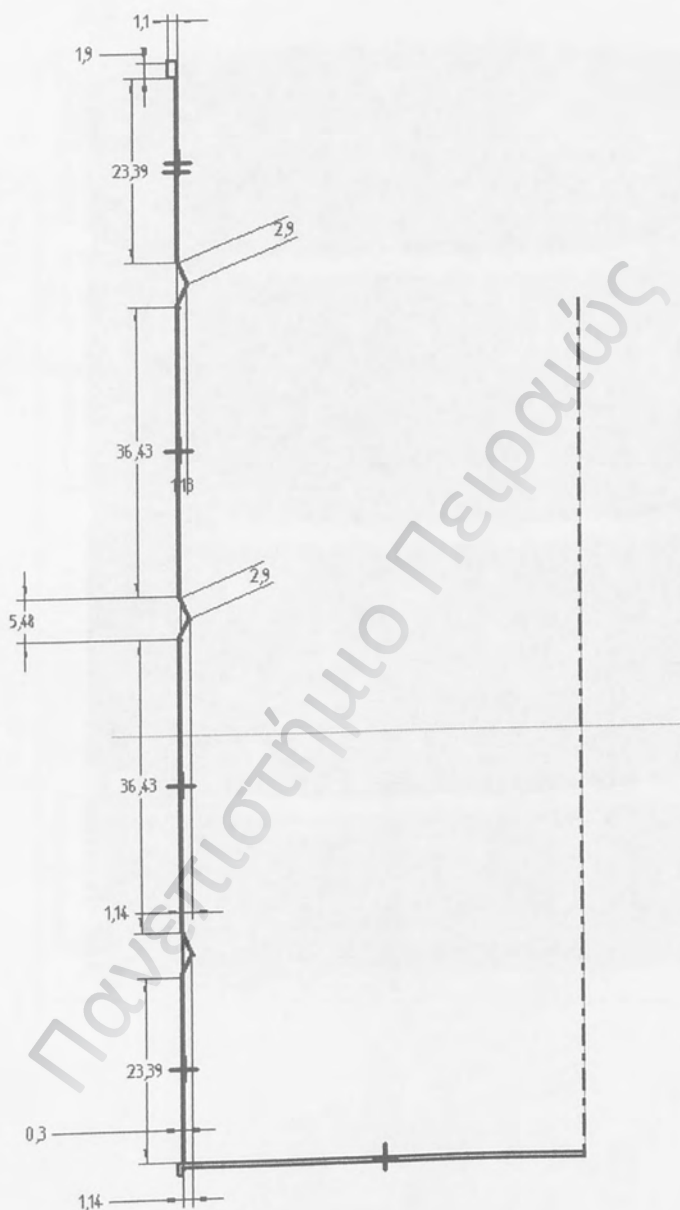
Εικόνα Π.1.

Το πρωτότυπο gk6, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.

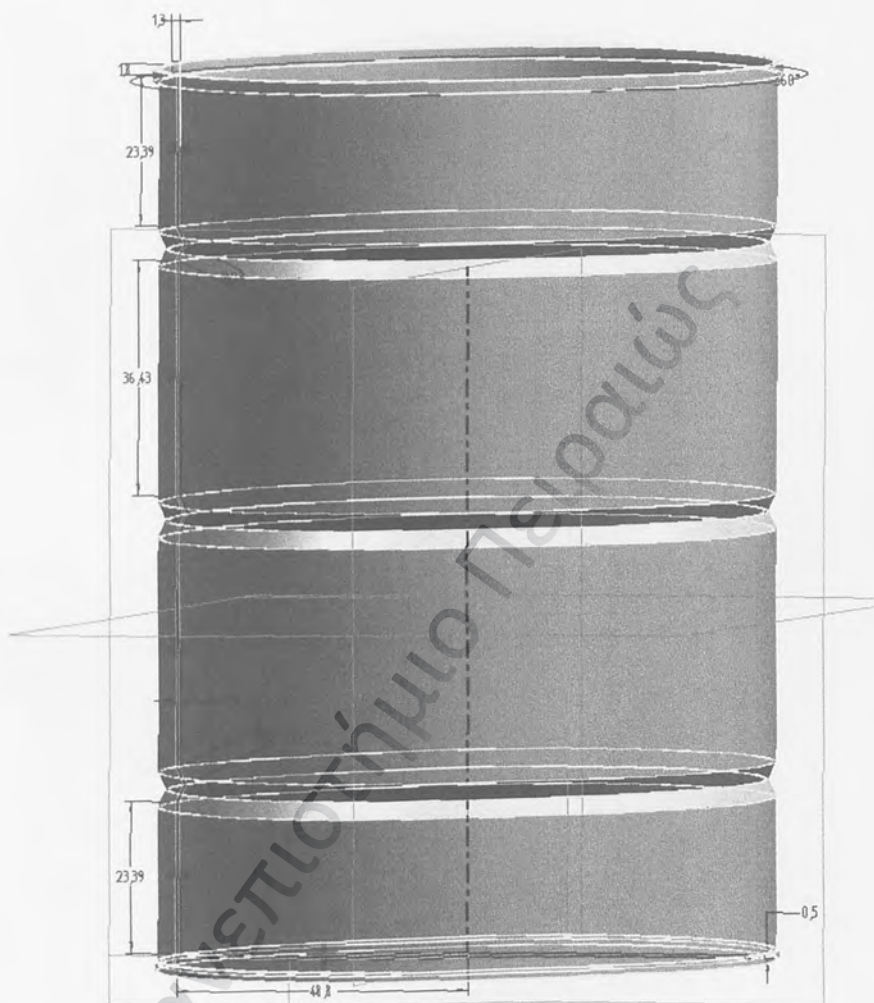


Εικόνα Π1.2  
Το πρωτότυπο gk61, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.

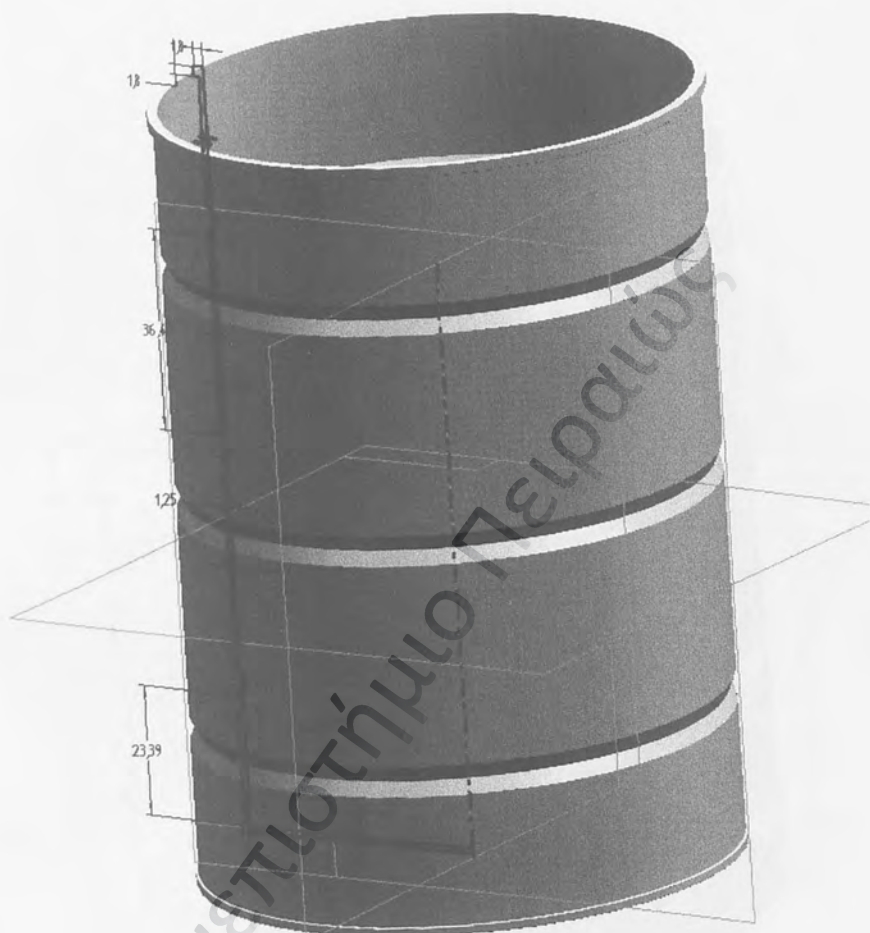




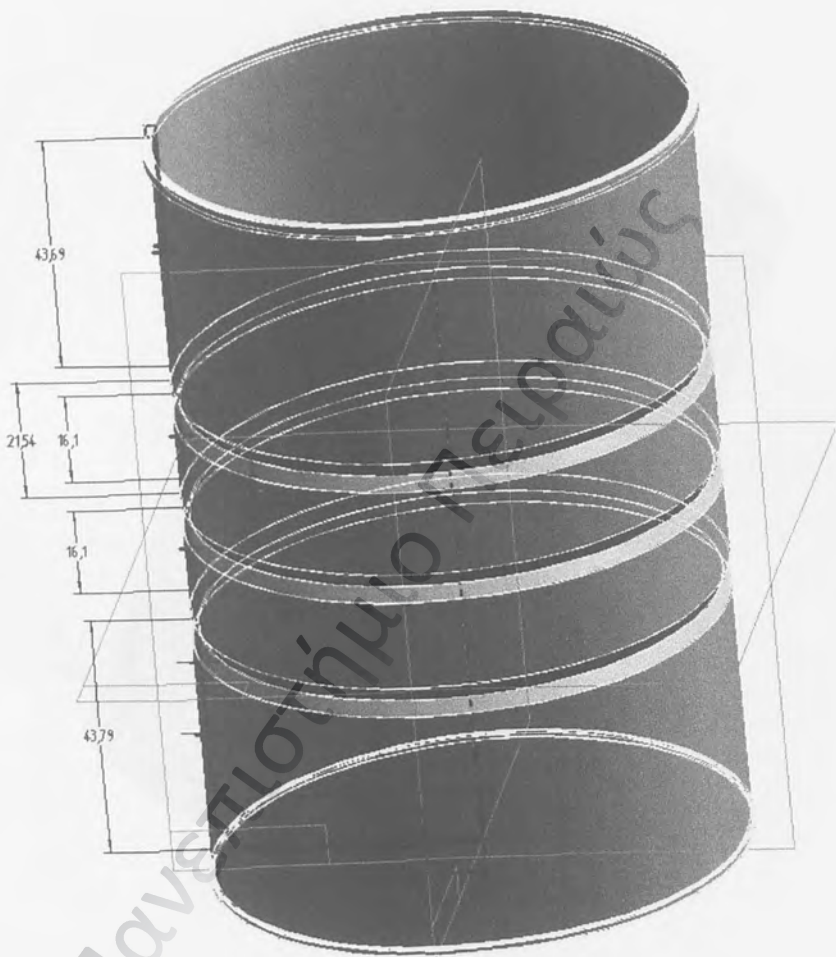
Εικόνα Π1.3  
 Το πρωτότυπο gk62, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
 Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.



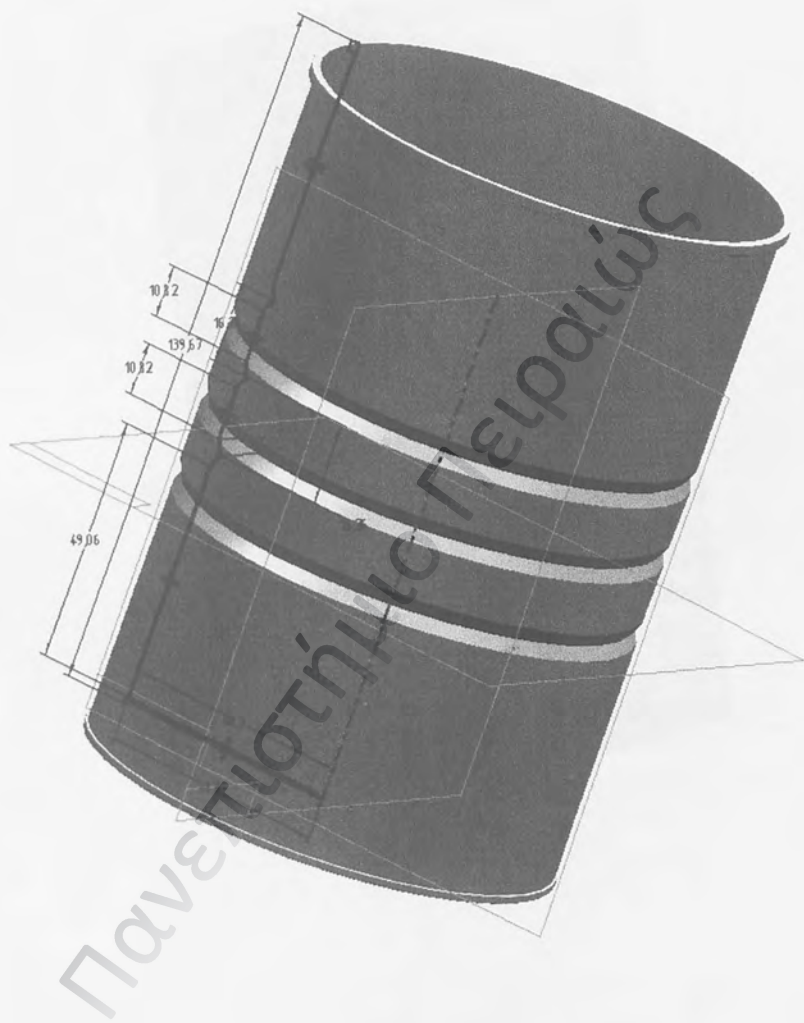
Εικόνα Π1.4  
Το πρωτότυπο gk63, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.



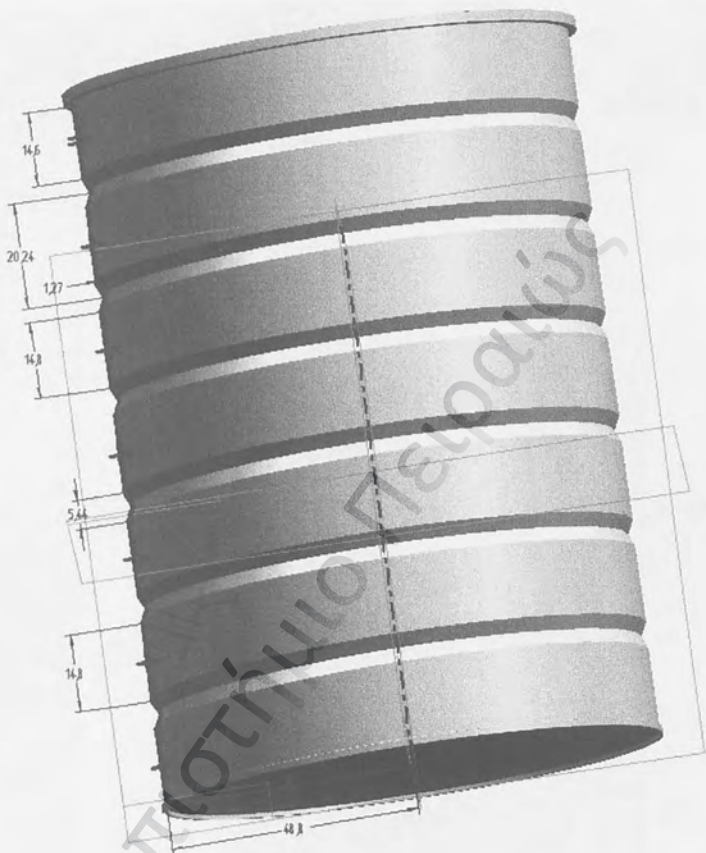
Εικόνα Π1.5  
Το πρωτότυπο gk64, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.



ΕικόναΠ1.6  
Το πρωτότυπο gk8, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.



Εικόνα Π1.7  
Το πρωτότυπο gk9, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.



Εικόνα Π1.8

Το πρωτότυπο gk10, όπως αυτό σχεδιάστηκε στον Η/Υ.  
Διακρίνονται οι βασικές του διαστάσεις.

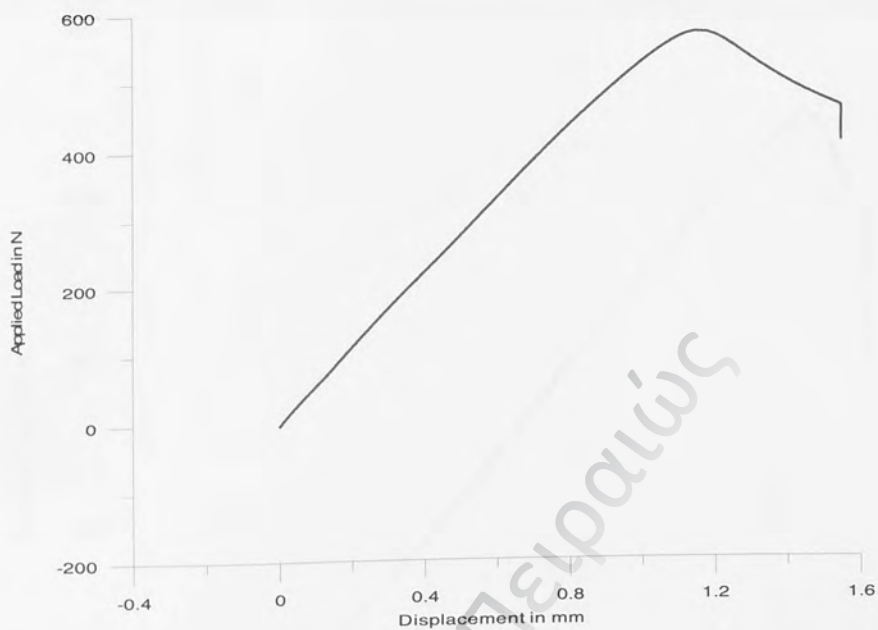
Μέθοδος Παραγωγής	STEREOS	STEREOS	SLA250	Χύτευση με έγχυση	Χύτευση με έγχυση
Όνομα Υλικού	Exactomer 2002	SOMOS 6100	XB 5149		
Τύπος Υλικού	Βινυλαι θέρμα	Εποξεική ρητίνη	Ακρυλική ρητίνη	Nylon 11	ABS
Μέτρο Ελαστικότητας (N/mm)	1110-1660	2690-3000		1400	2300-3000
Αντοχή σε εφελκυσμό (N/mm)	55-71	54-71	11,5	49-60	33-55
Παραμόρφωση σε εφελκυσμό (%)	6-8	4,4-11,4	1,5-2,5	250-300	15
Αντοχή σε κρουστικά φορτία	40	34-48	20-26	74-96	200

Πίνακας Π1.1. Οι σημαντικότερες ρητίνες που χρησιμοποιούνται στην στερεολοθογραφία

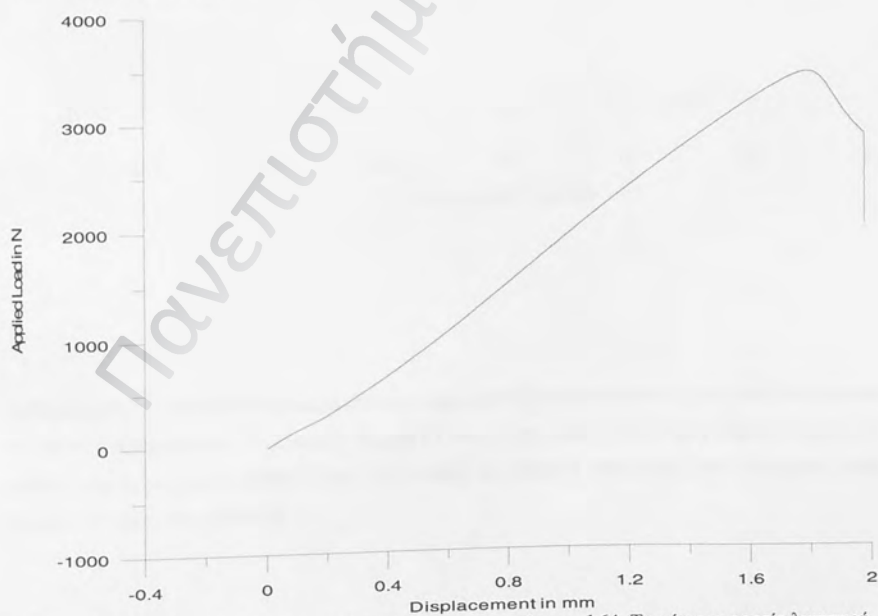
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Διαγράμματα τάσης παραμόρφωσης

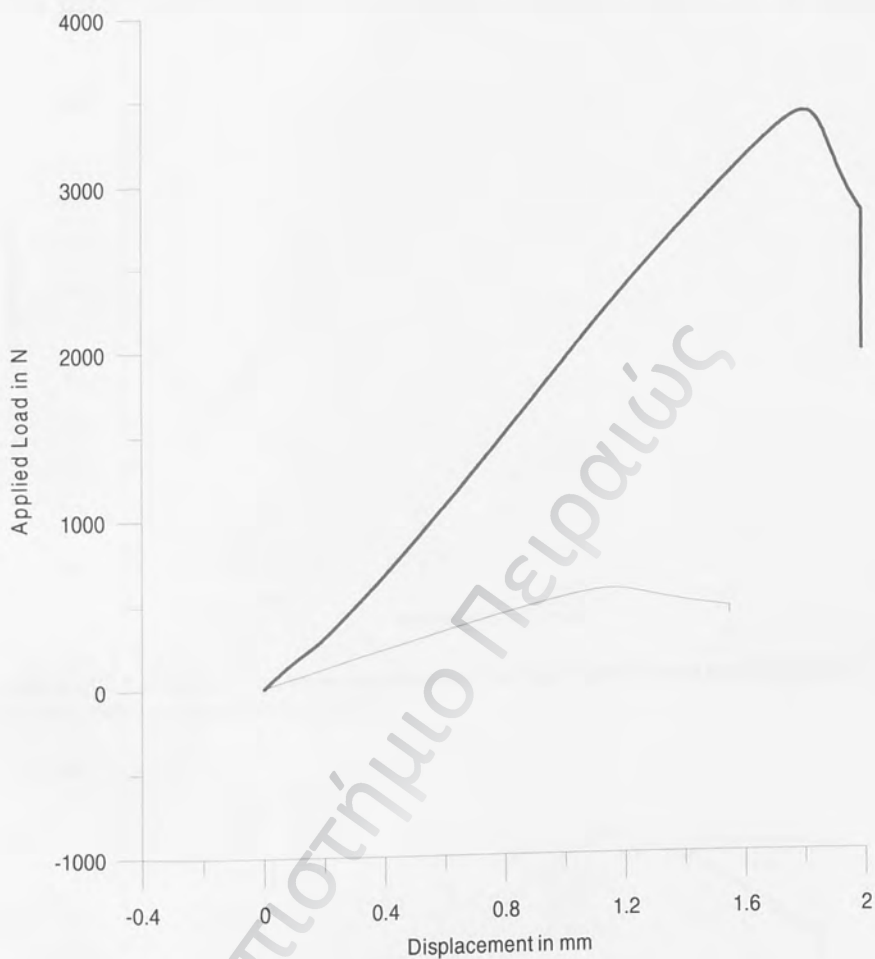




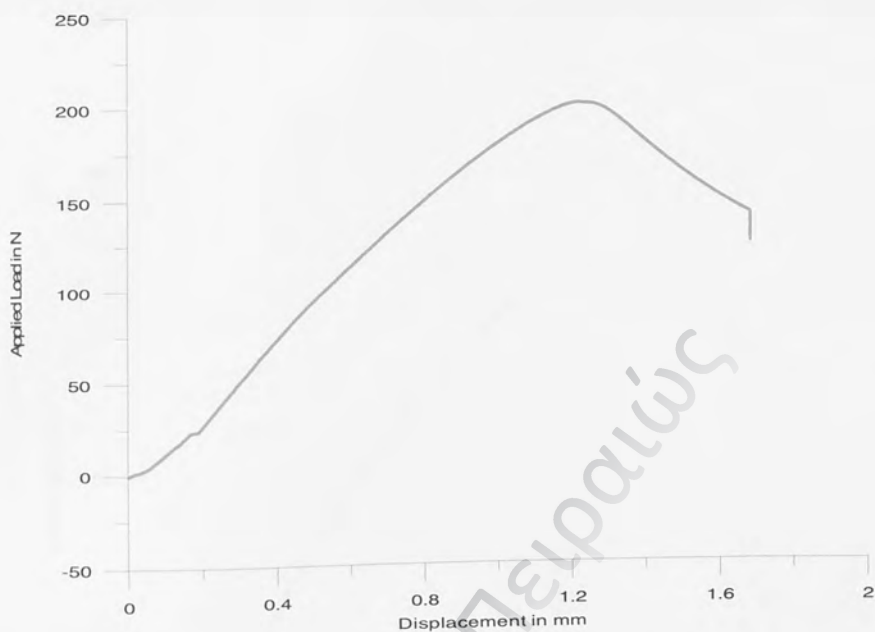
Γράφημα Π2.1. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο gk63. Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 569,25 N.



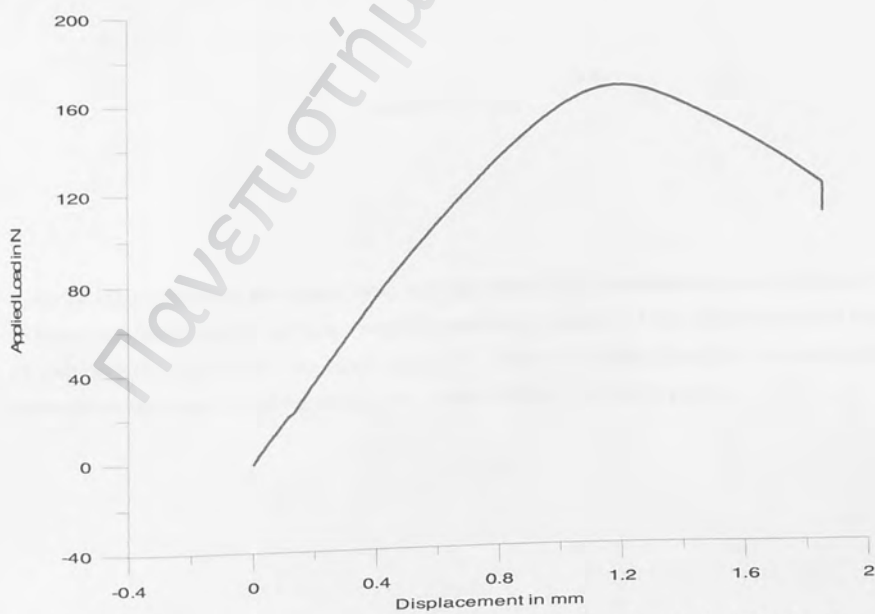
Γράφημα Π2.2. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο gk64. Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 3409,46 N.



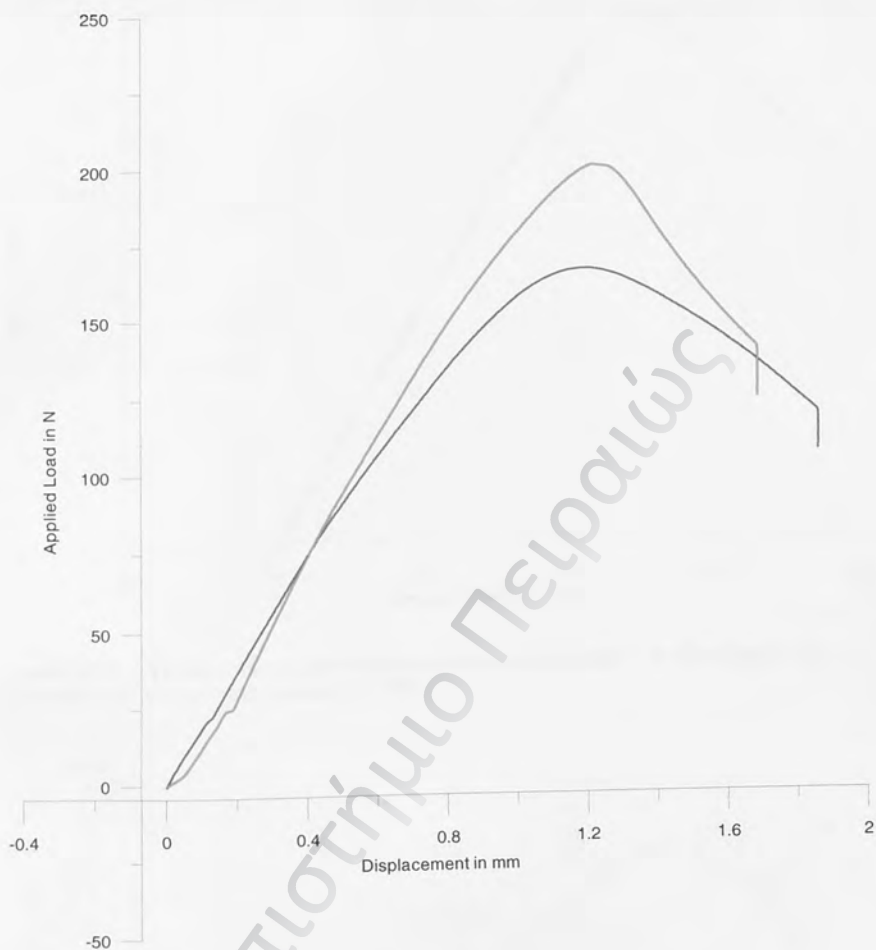
Γράφημα Π2.3. Συγκριτικό διάγραμμα (τάσης-παραμόρφωσης) δύο πρωτοτύπων με μοναδική διαφορά το πάχος του τοιχώματος. Με πράσινη γραμμή το πρωτότυπο gk64 (1 mm πάχος τοιχώματος) και με μαύρη γραμμή το gk63 (0,5mm πάχος τοιχώματος). Η επίδραση του πάχους του τοιχώματος στην αντοχή σε θλίψη είναι προφανής.



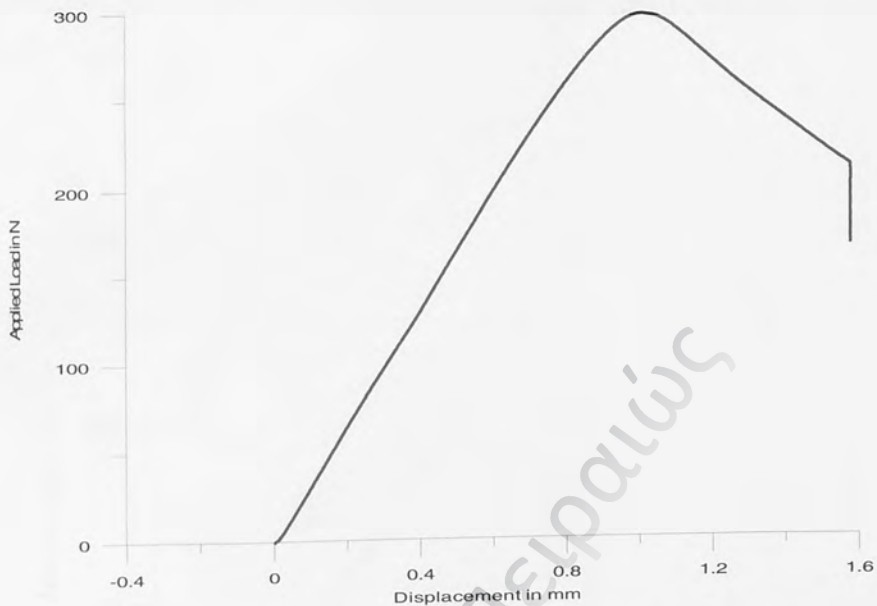
Γράφημα Π2.4. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο 3gk62 ( δοκιμή τρίτη). Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 200,08 N.



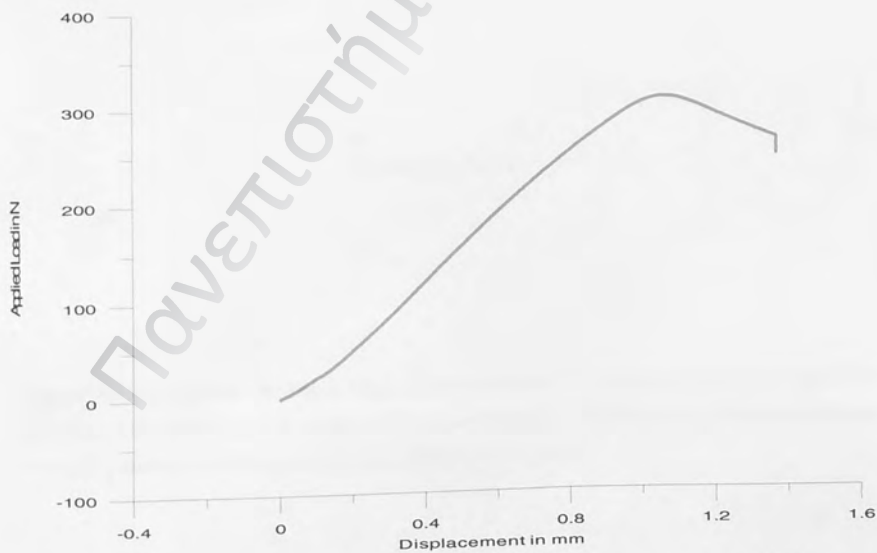
Γράφημα Π2.5. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο gk6 ( δοκιμή τρίτη). Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 166,27 N.



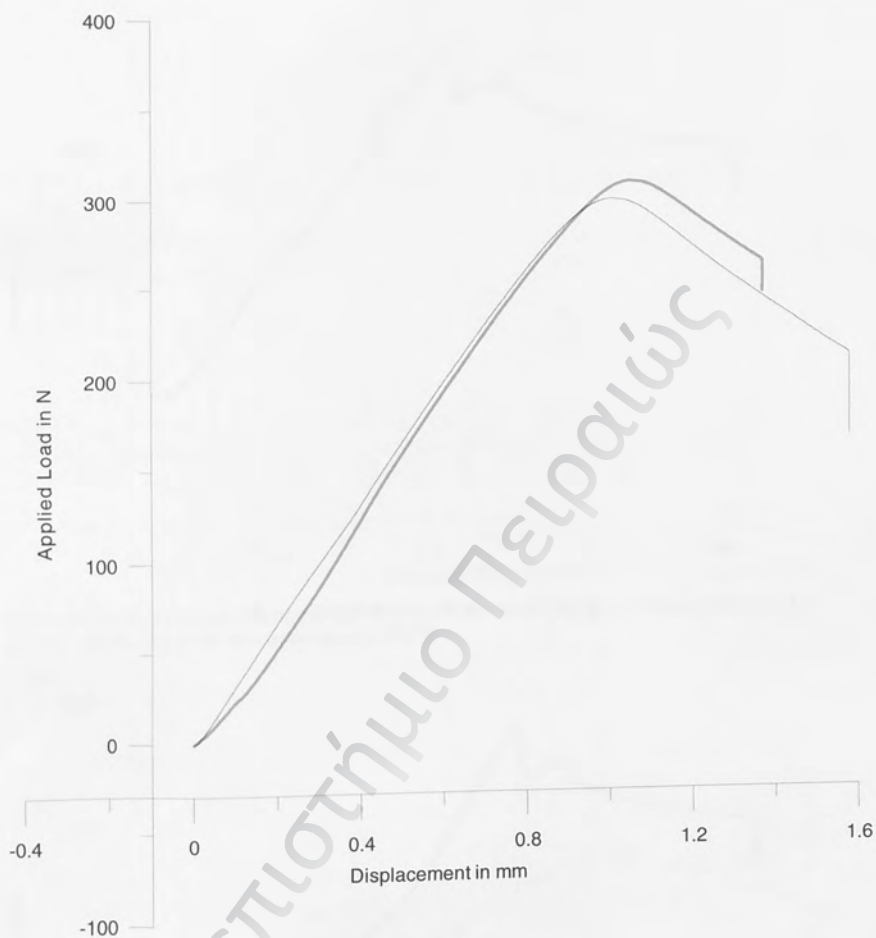
Γράφημα Π2.6. Συγκριτικό διάγραμμα (τάσης-παραμόρφωσης) δύο πρωτοτύπων με μοναδική διαφορά το βάθος των δακτυλίων. Με κόκκινη γραμμή το πρωτότυπο 3gk62 (1,14 mm βάθος δακτυλίων) και με μπλε γραμμή το gk6 (1,27 mm βάθος δακτυλίων). Από το γράφημα προκύπτει, τα πρωτότυπα παρουσίασαν ίδια συμπεριφορά στο πείραμα με μοναδική διαφορά το μέγιστο φορτίο.



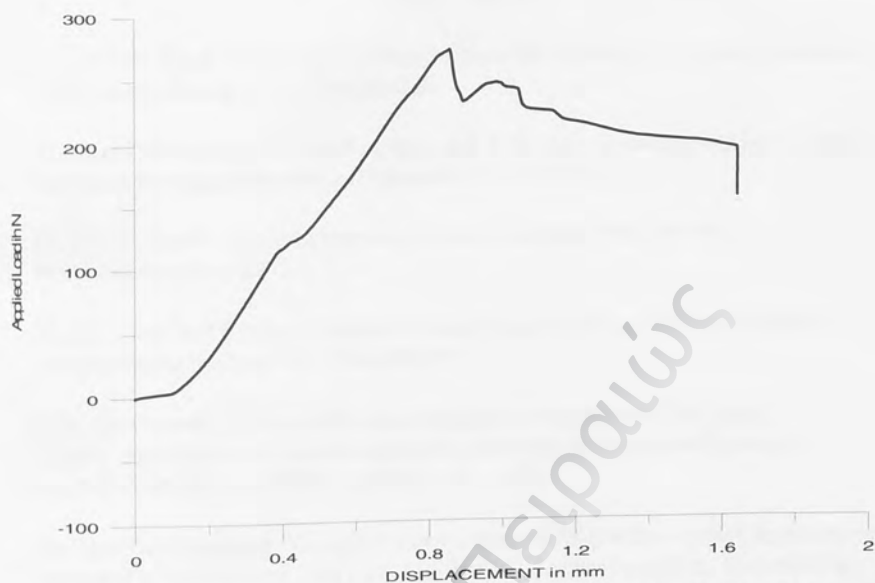
Γράφημα Π2.7. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο 2gk62 (δοκιμή δεύτερη). Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 297,46 N.



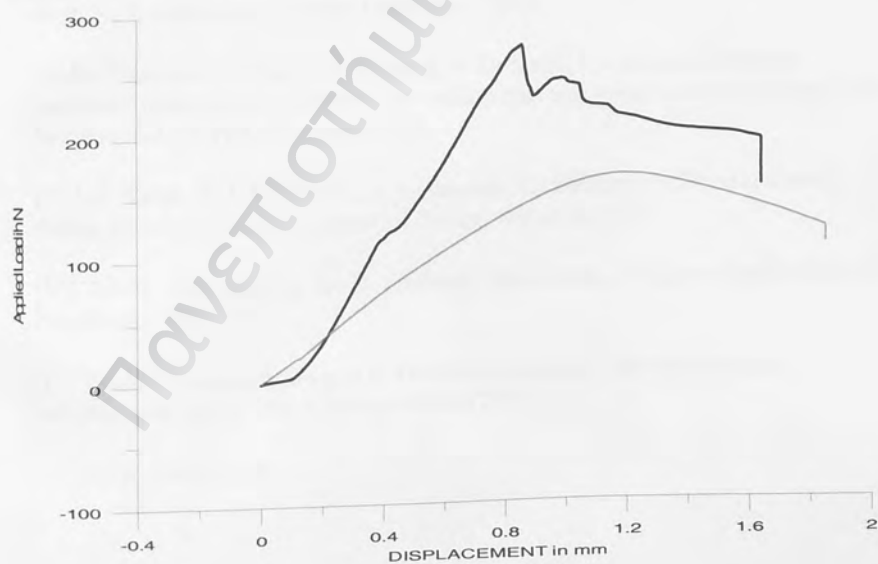
Γράφημα Π2.8. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο 3gk62 (δοκιμή πέμπτη). Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 296,27 N.



Γράφημα Π2.9 Συγκριτικό διάγραμμα τάσης παραμόρφωσης των πρωτότυπων 2gk62 και 3gk62. Τα πρωτότυπα κατασκευάστηκαν σε διαφορετικό κύκλο παραγωγής, αλλά όπως παρατηρούμε μετά από 30 ημέρες η συμπεριφορά τους και το μέγιστο φορτίο είναι το ίδιο.



Γράφημα Π2.10. Γράφημα τάσης παραμόρφωσης για το πρωτότυπο gk11 (δοκμή τέταρτη). Το μέγιστο φορτίο λυγισμού υπολογίστηκε στα 272 N.



Γράφημα Π2.11. Το πρωτότυπο χωρίς δακτυλίους (μαύρη γραμμή) παρουσιάζει αυξημένη αντοχή στη θλίψη και διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με το gk6( δοκμή τρίτη)

## Βιβλιογραφία

- [1] Jyhwen Wang, Design optimization of rigid metal containers, Finite Elements in Analysis and Design 37 (2001) 273-286
- [2] Shad Dowlatshahi, A modeling approach to logistics in concurrent engineering, European Journal of Operational Research 115(1999) 59-76
- [3] Paul F. Jacobs, Rapid Prototyping & Manufacturing Fundamentals of StereoLithography , 1992
- [4] C.K.Chua and S.L.Lye, Parametric modelling of drinking bottles, Integrated Manufacturing Systems 9/2 [1998] 99-108
- [5] Γ. Γιαννατσής, Ε.Καλαθάς, Β.Δεδούσης, Μ.Γιαννακούρου, Ν.Μπλεσιος  
Τεχνικά χαρακτηριστικά και απαιτούμενες επιδόσεις των εγκαταστάσεων της  
στερεολιθογραφίας, ΕΠΕΤ ΙΙ- ΝΕΚΤΕΡ 672, 1996
- [6] Dimitrios Karalekas, Vassilis Dedoussis Stereolithography Assisted Engineering Design of a New Product- The Case of a Bottle – Shaped Container, University of Piraeus, 2001
- [7] M. Sodeik, R. Sauer, Mechanical behaviour of food cans under radial and axial load, 3rd International Tin Plate Conference, 1984.
- [8] M. Traversin, P. Magain, P. Jodogne, P. Dubreuil, P. Cochet, Mechanical behaviour optimization of three-piece tinplate cans using numerical simulations, fifth International Tin Plate Conference 1992
- [9] J. R. Kahrs, D. J. Radakovic, S. J. Bianculli, Optimization of Food can bead design by finite element techniques, US Steel Research, 1992
- [10] Δρ. Ν. Καρακασίδης, Δρ. Π. Ρεκλειτή, Συσκευασία Σύγχρονη Περιβαλλοντική Νομοθεσία, 1999
- [11] Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Kevin Otto & Kristin Wood (2001)
- [12] [www.dsomos.com](http://www.dsomos.com)