



ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ (Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.)  
ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΪΦΑΝΤΟΥΡΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.  
ΤΟΜΕΑΣ ΠΛΕΚΤΙΚΗΣ – ΕΤΟΙΜΟΥ ΕΝΔΥΜΑΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
υποβληθείσα στο Τμήμα για την απόκτηση του Πτυχίου  
Κλωστοϋφαντουργού Μηχανικού

ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΑ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ

THREE-DIMENSIONAL WARP KNITTED SPACER FABRICS

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Α. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Ευθύμιος Λ. Γράβας

ΑΘΗΝΑ 2017

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

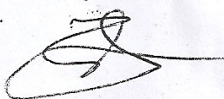
Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Σακελλαρίου Αθανάσιος, του Αντωνίου, φοιτητής του Τμήματος Κλωστοϋφαντουργών Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού βμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

7/9/2016

## Ευχαριστίες

Θέλω να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Ευθύμιο Γράβα που με τις επισημάνσεις και συμβουλές του συνέβαλε στη βελτίωση της παρούσας εργασίας· και που μου εμπιστεύθηκε αυτό το θέμα, βοηθώντας με κατά αυτόν τον τρόπο να ολοκληρώσω τις περιπετειώδεις, από προηγούμενη εργασία στη Βαφική, σπουδές μου αξιοπρεπώς και με φυσιολογικό τρόπο. Είμαι ειλικρινώς ευγνώμων.

## Περίληψη

Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία αναφέρονται τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα, τα οποία παράγονται με την τεχνοτροπία πλέξεως στήμονος σε δίπλακη στημονοπλεκτομηχανή με διπλή βελονοστοιχία. Τα υφάσματα αυτά φέρουν τριδιάστατη δομή, εφόσον σε κάθε μία εκ των δύο πλακών της πλεκτομηχανής πλέκεται στημονοπλεκτό ύφασμα που συνδέεται με το άλλο μέσω συνδετήριων νημάτων. Στη τριδιάστατη δομή των εν λόγω υφασμάτων – και στον τύπο νημάτων που τα αποτελούν – οφείλονται οι ιδιότητές τους, οι οποίες μπορούν να ρυθμισθούν μεταβάλλοντας δομικά χαρακτηριστικά όπως η κλίση και το μήκος των συνδετήριων νημάτων, καθώς και η δομή των στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως. Το μήκος των συνδετήριων νημάτων, που αντιστοιχεί στην απόσταση ανάμεσα στα δύο στημονοπλεκτά υφάσματα, εξαρτάται από την απόσταση των δύο πλακών της πλεκτομηχανής, η οποία καθορίζει το πάχος του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος. Οι ιδιότητες, προκύπτουσες σύμφωνα με τη δομή των υφασμάτων αυτών και οι οποίες παρατίθενται στο πόνημα αυτό, είναι καλή αεροδιαπερατότητα, μεταφορά υγρασίας, αντοχή στη θλίψη, την πρόσκρουση, τη διάτρηση, εφελκυσμός τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο Poisson και απορρόφηση ήχου. Συνεπώς ανακύπτουν σχετικές εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα. Ενδεχόμενες χρήσεις που αναφέρονται, έγκεινται στο πεδίο της οικοδομήσεως, των αναπαυτικών και υποστηρικτικών υποστρωμάτων πληρώσεως, της ιατρικής, της αυτοκινητοβιομηχανίας και της υποδήσεως.

## **Abstract**

In this thesis three-dimensional warp knitted spacer fabrics, produced by warp knitting technique on two-bed warp knitting machine with double needle bar, are referred. Those fabrics have three-dimensional structure, since one warp knitted fabric connected to the other one via spacer (or pile) yarns, is knitted on each bed of warp knitting machine. Spacer fabrics owe their properties to their three-dimensional structure and yarns type comprising them. Their properties can be set by changing structural features such as spacer yarn inclination and length, as well as single face warp knitted fabrics structure. Spacer yarn length, corresponding to the distance between the two warp knitted fabrics, depends on the distance of warp knitting machine's two beds, which determines the thickness of the three-dimensional warp knitted spacer fabric. Properties obtained according to those fabrics' structure, and quoted in this written work, are good air permeability, moisture transfer, compression, impact, stab strength, tensile on auxetic warp knitted spacer fabrics and sound absorption. Consequently, relative applications arise, in which three-dimensional warp knitted spacer fabrics can be used. Potential usages referred, lie in the construction, relieving and supporting filling substrates, medicine, automobile industry and footwear field.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΑ

## ΣΕΛΙΔΕΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
2. ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	11
2.1. Γενική περιγραφή δομικών χαρακτηριστικών .....	11
2.2. Δομές τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων .....	13
2.3. Δομικώς Κατευθυνόμενες Κατασκευές .....	14
3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	17
3.1. Εισαγωγή .....	17
3.2. Απλά τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα .....	17
3.3. Σωληνωτά τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα .....	20
3.4. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα τριών εναλλασσόμενων περιοχών .....	22
3.5. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα μεταβαλλόμενου πάχους .....	23
3.6. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με όψεις ζακάρ .....	24
4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	29
4.1. Ιδιότητες στη θλίψη .....	29
4.2. Ιδιότητες στην πρόσκρουση .....	42
4.3. Ιδιότητες αεροδιαπερατότητας και μεταφοράς υγρασίας .....	53
4.4. Ιδιότητες στη διάτρηση .....	59
4.5. Ιδιότητες απορροφήσεως ήχου .....	62
4.6. Ιδιότητες στον εφελκυσμό, τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο Poisson .....	66
5. ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ .....	75
5.1. Εφαρμογές στην ιατρική .....	75
5.1.1. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά ικριώματα μηχανικής ιστών .....	75
5.1.2. Σωληνωτά στημονοπλεκτά από φυσικές ίνες, ως βάση αγγειακών μοσχευμάτων .....	76
5.1.3. Σωληνωτά στημονοπλεκτά από συνθετικές ίνες, ως βάση αγγειακών μοσχευμάτων .....	78
5.2. Εφαρμογές στην οικοδόμηση .....	79
5.3. Εφαρμογές σε έπιπλα και στρώματα ως αναπαυτικά υλικά πληρώσεως ....	81
5.4. Εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία ως υποστηρικτικά υποστρώματα πληρώσεως καθισμάτων .....	86
5.5. Εφαρμογές στην υπόδηση .....	91
5.5.1. Παραγωγή επενδύσεως (άνω καλύμματος) αθλητικού υποδήματος ..	91
5.5.2. Εσωτερική σόλα υποδημάτων .....	93
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	98

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην επιστήμη της πλεκτικής υπάρχουν δύο τεχνολογίες παραγωγής πλεκτού υφάσματος. Αυτές είναι η πλεκτική στημονιού, με την οποία παράγονται τα στημονοπλεκτά υφάσματα, και η πλεκτική υφαδιού με την οποία παράγονται τα υφαδοπλεκτά υφάσματα. Για την κατασκευή των στημονοπλεκτών χρησιμοποιούνται οι στημονοπλεκτομηχανές τρικότ (Tricot) και ράσσελ (Raschel), ενώ τα υφαδοπλεκτά πλέκονται μέσω των υφαδοπλεκτομηχανών που μπορεί να είναι ευθύγραμμες και κυκλικές. Στις ευθύγραμμες περιλαμβάνονται οι πλεκτομηχανές τύπου V, οι επίπεδες και οι τύπου Cotton. Οι κυκλικές πλεκτομηχανές κατηγοριοποιούνται σε μονόπλακες, σε δίπλακες απλές και ζακάρ, και σε διπλού κυλίνδρου για πλέξη λινξ-λινξ [1].

Οι διαφορές των πλεκτών στήμονος με τα πλεκτά υφαδιού ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά τους είναι πως στην καλή όψη και των δύο κατηγοριών επικρατεί το χαρακτηριστικό σχήμα «V» που αντιστοιχεί στα σκέλη των θηλιών, ενώ στην ανάποδη όψη των πλεκτών υφαδιού επικρατούν ημικύκλια σχήματα που αντιστοιχούν στις θηλιές βελόνης και πλατίνας, και στην ανάποδη όψη των πλεκτών στημονιού εμφανίζονται συνεχή διαγώνια παράλληλα νήματα με ζιγκ-ζαγκ πορεία, τα οποία αποτελούν τα κάτω τυλίγματα θηλιών. Επίσης οι διαστάσεις των πλεκτών στημονιού είναι πιο σταθερές από εκείνες των πλεκτών υφαδιού, με αποτέλεσμα η ευστάθεια των διαστάσεων των στημονοπλεκτών να είναι παραπλήσια με την αντίστοιχη των υφαντών υφασμάτων [1].

Ως προς την τεχντροπία πλέξεως, οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις στημονομηχανές και τις υφαδομηχανές, είναι η ταυτόχρονη πλέξη των θηλιών μιας σειράς των στημονοπλεκτών από όλες τις βελόνες, με ξεχωριστή τροφοδότηση νήματος για την κάθε βελόνη, σε ολόκληρο το πλάτος πλέξεως της στημονοπλεκτομηχανής, σε αντίθεση με τη διαδικασία πλέξεως των υφαδοπλεκτών κατά την οποία η κάθε σειρά τους πλέκεται σταδιακώς, με τις βελόνες να λαμβάνουν κοινό νήμα με διαδοχική άνοδο και τροφοδότησή τους στο πλάτος ή την περίμετρο πλέξεως της πλεκτομηχανής υφαδιού [1]. Επισημαίνεται αναφορικώς πως εκτός από τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα –που είναι το θέμα της παρούσας εργασίας–, δύναται να παραχθούν και

άλλες κατηγορίες υφασμάτων με τρεις διαστάσεις: παραδείγματος χάριν τα τριδιάστατα υφαδοπλεκτά και τα τριδιάστατα υφαντά υφάσματα.

Τα στημονοπλεκτά μπορούν να διακριθούν σε πλεκτά στήμονος μονής όψεως, και σε πλεκτά στήμονος διπλής όψεως τα οποία είναι τριών διαστάσεων. Στην πρώτη περίπτωση, όπως προαναφέρθηκε, η καλή όψη του πλεκτού υφάσματος χαρακτηρίζεται από τα σκέλη της θηλιάς, ενώ η ανάποδη όψη από νήματα που σχηματίζουν ζιγκ-ζαγκ εμφάνιση. Στα στημονοπλεκτά διπλής όψεως, οι δύο όψεις τους αντιστοιχούν σε δύο ξεχωριστά στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως, τα οποία εμπλέκονται μεταξύ τους με συνδετήρια νήματα, δηλαδή με τα κάτω τυλίγματα των θηλιών τους. Η καλή τους όψη βρίσκεται προς την εξωτερική μεριά του στημονοπλεκτού διπλής όψεως, δηλαδή η καλή όψη έκαστου στημονοπλεκτού υφάσματος μονής όψεως είναι εμφανής και από τις δυο μεριές του στημονοπλεκτού διπλής όψεως, ή αλλιώς οι δύο όψεις του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος διπλής όψεως είναι οι καλές όψεις των στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως που το αποτελούν. Η ανάποδη όψη των επί μέρους υφασμάτων μονής όψεως αποτελείται από τα νήματα συνδέσεως (κάτω τυλίγματα θηλιών) που βρίσκονται ανάμεσα σε αυτά τα δύο υφάσματα και τα συγκρατούν αναμεταξύ τους. Τέτοια τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα μπορούν να πλεχθούν σε πλεκτομηχανές Raschel διπλής βελονοστοιχίας [1].

Ο Dr. S. Raz [2] αναφέρει δομές όψεων των στημονοπλεκτών οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «δομικώς κατευθυνόμενες κατασκευές» (D.O.S. - Directionally Oriented Structures). Οι δομές αυτές αφορούν εισαγωγή νημάτων, υπό διάφορες κλίσεις, στις όψεις των στημονοπλεκτών, βελτιώνοντας έτσι τις ιδιότητες των συγκεκριμένων υφασμάτων σε προσβλεπόμενες χρήσεις.

Επίσης, διαφορετικές εφαρμογές άπτονται αντίστοιχων ιδιοτήτων επερχόμενων αναλόγως με τη δομή των όψεων. Συνεπώς, αναλόγως και με τις προαναφερόμενες δομικώς κατευθυνόμενες κατασκευές ικανοποιούνται αντίστοιχες εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα οι P. R. Rankilor και Dr. S. Raz [3] αναφέρουν διαφοροποιημένες δομικώς κατευθυνόμενες κατασκευές που καταλήγουν σε διαφορετικές γεωτεχνικές εφαρμογές. Αναφέρουν δομή όψεως στημονοπλεκτού μονού κτενιού κλωστοφόρων, με κάτω τύλιγμα μίας βελόνης και με εισαγωγή νημάτων κατά τη διεύθυνση και στημονιού



και υφαδιού. Το στημονοπλεκτό με αυτή τη δομή κατασκευάζεται στην πλεκτομηχανή Ράσσελ RS3MSU που είναι εξοπλισμένη με ταχύ μηχανισμό παρεμβολής υφαδιού, και χρησιμοποιείται στην κατασκευή κάθετων τειχών, ως ενισχυτικό στοιχείο ανάμεσα σε στρώσεις εδαφών πληρώσεως. Άλλη δομή όψεως στημονοπλεκτού υφάσματος που αναφέρουν οι συγγραφείς αυτοί, αποτελείται από θηλιές αλυσίδας με παρεμβολή υφαδιού. Για την παραγωγή του υφάσματος αυτού χρησιμοποιείται ένα κτένι κλωστοφόρων με πλήρη τροφοδότηση νήματος και ένας μηχανισμός που παρεμβάλλει στη δομή του υφάσματος νήματα κατά τη διεύθυνση υφαδιού. Η χρησιμοποιηθείσα στημονοπλεκτομηχανή είναι τύπου Ράσσελ RS3MSU. Το παραγόμενο προϊόν διαθέτει νήματα των οποίων τα διαστήματα είναι ελεγχόμενου μεγέθους και προσφέρεται η δυνατότητα χρήσεως διαφόρων πολυμερικών νημάτων πλέξεως. Η χρήση του παραγόμενου προϊόντος απευθύνεται σε εργασίες αποστραγγίσεως και διηθήσεως υπόγειων υγρών στοιχείων του υπεδάφους σε υπονόμους. Το γεωτεχνικό ύφασμα ενισχύει τα τοιχώματα του υπονόμου εμποδίζοντας την κατάρρευσή τους από πιθανή απομάκρυνση τμημάτων του υπεδάφους κατά τη μεταφορά υγρών στοιχείων [3].

Επιπροσθέτως, στις εργασίες [2,3] αναφέρεται κατασκευή σύνθετων όψεων στημονοπλεκτών υφασμάτων. Οι όψεις αυτές αποτελούνται από διαφορετικά υλικά που είναι τα νήματα πλέξεως, τα οποία έχουν διαμορφωθεί σε θηλιές ή έχουν εισαχθεί στη δομή πλέξεως, και το υπόστρωμα που ενσωματώνεται στη δομή πλέξεως. Το ενσωματούμενο υπόστρωμα εγκλωβίζεται και συγκρατείται ανάμεσα στα άνω και κάτω τυλίγματα των θηλιών. Η σύνθετη όψη συνδυάζει τις ιδιότητες που φέρουν τα επιμέρους υλικά που την αποτελούν, με αποτέλεσμα η λειτουργική της συμπεριφορά να είναι καλύτερη από αυτήν των μεμονομένων διαφορετικών συστατικών υλικών της. Μία τέτοια δομή όψεων που αναφέρουν οι ίδιοι συγγραφείς [3] είναι η δομή μονού κτενιού κλωστοφόρων με κάτω τύλιγμα μίας βελόνης, εισαγωγή νημάτων στη διεύθυνση στημονιού και υφαδιού, και ενσωμάτωση μη υφάνσιμου υποστρώματος προς σχηματισμό σύνθετου υλικού. Το εν λόγω σύνθετο ύφασμα παράγεται σε πλεκτομηχανή Ράσσελ RS3 MSU-V που διαθέτει μηχανισμό παρεμβολής υφαδιού και σύστημα τροφοδοτήσεως του μη υφάνσιμου υποστρώματος. Η χρήση του υφάσματος αυτού βρίσκει πεδίο εφαρμογής σε υποστήριξη κατασκευών αναχώματος και σε προστασία ποταμών και

λιμένων από τη διάβρωση που προκαλείται στα τοιχώματα, λόγω της ισχυρής ριπής δυνατών κυμάτων, και την εκτόπιση υποβρυχίων εδαφικών μαζών, λόγω ισχυρών υδάτινων ρευμάτων [3].

Οι δύο όψεις ενός τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος είναι δυνατόν να διαθέτουν αναμεταξύ τους διαφορετική δομή ή να αποτελούνται από διαφορετικά υλικά (plating [3], plated fabric [2]), π.χ. διαφορετικά νήματα πλέξεως ως προς τη χημική σύσταση, την απόχρωση, τη λεπτότητα και άλλα χαρακτηριστικά. Οι δομές που μπορούν να πλεχθούν είναι θηλιά αλυσίδας με ή χωρίς εισαγωγή νημάτων, διάτρητες όψεις με οπές διαφόρων σχημάτων και μεγεθών, και δομές με παραλλαγές στον τύπο θηλιάς (ανοικτή ή κλειστή) και στο μήκος και την κλίση των κάτω τυλιγμάτων αναλόγως με τις κινήσεις των κτενίων κλωστοφόρων [1]. Πιο συγκεκριμένα οι δομές όψεων που μπορούν να κατασκευασθούν κατά την παραγωγή ενός τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος είναι η δομή «τρικόν», «Locknit», «Sharkskin», «Queen's Cord», «χνουδωτά», «Άτλας», «με οπές σχεδόν κυκλικού σχήματος», «με εναπόθεση νήματος», «με παρεμβολή υφαδιού», «με χρήση ελάσματος» [1] και «Δομικώς Κατευθυνόμενων Κατασκευών» [2,3].

Η δομή των τριδιάστατων στημονοπλεκτών επηρεάζει με καθοριστικό τρόπο τις ιδιότητές τους. Συνεπώς, λόγω της δομής τους τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά μπορούν να χαρακτηρίζονται από ιδιότητες στη θλίψη, τον εφελκυσμό, την πρόσκρουση, τη μεταφορά υγρασίας και διαπερατότητα αέρος, τη διάτρηση και την απορρόφηση ήχου. Αναλόγως με τη δομή των όψεων και των συνδετήριων νημάτων των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, επέρχονται διαφοροποιήσεις στην ανταπόκριση ή αλλιώς συμπεριφορά τους απέναντι στις προαναφερόμενες ιδιότητες. Παραδείγματος χάριν, στη θλίψη όσο πιο κάθετα είναι τα συνδετήρια νήματα στις όψεις του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος, τόσο περισσότερο ανθίσταται στη θλίψη το συγκεκριμένο τριδιάστατο κλωστοϋφαντουργικό υπόστρωμα. Επίσης, όσο πιο αραιή είναι η πλέξη των θηλιών των όψεων, τόσο υψηλότερη είναι η διαπερατότητα αέρος του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος. Τέλος, οι χρήσεις που αναφέρονται σε αυτό το πόνημα, αφορούν πεδία εφαρμογών όπως η ιατρική, η οικοδόμηση, αναπαιτικά υλικά πληρώσεως, η αυτοκινητοβιομηχανία και η υπόδηση.

## 2. ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

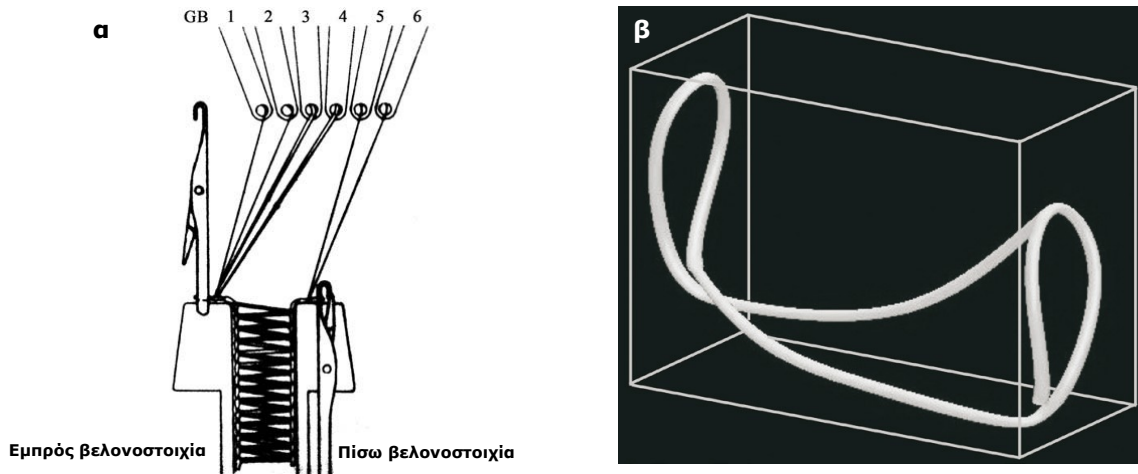
### 2. 1. Γενική περιγραφή δομικών χαρακτηριστικών

Οι δομές από τις οποίες χαρακτηρίζεται ένα τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα είναι δύο στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως και συνδετήρια νήματα που τα ενώνουν και τα διαμορφώνουν σε τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα διπλής όψεως. Η διάταξη των συνδετήριων νημάτων μπορεί να έχει διάφορες μορφές, όπως και η κλίση τους σε σχέση με τις επιφάνειες των δύο πλευρικών υφασμάτων μπορεί να ποικίλει. Αυτές οι διαφορές στη διάταξη και την κλίση των συνδετήριων νημάτων επηρεάζουν διάφορες ιδιότητες των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων [1,4].

Τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα διπλής όψεως παρουσιάζουν και στις δύο όψεις τους καλή όψη με επικρατέστερη τη χαρακτηριστική εμφάνιση των σκελών της θηλιάς (άνω τυλίγμα). Η ανάποδη όψη τους είναι προσανατολισμένη προς το εσωτερικό μέρος του τριδιάστατου υφάσματος, δηλαδή προς το χώρο που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο επί μέρους στημονοπλεκτά υφάσματα. Επίσης, η ανάποδη όψη των επί μέρους υφασμάτων αποτελείται από νήματα που συνδέουν αυτά τα δύο στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως μεταξύ τους. Αυτά τα συνδετήρια νήματα καταλαμβάνουν τον ενδιάμεσο χώρο που οριοθετείται από τα εκατέρωθεν στημονοπλεκτά μονής όψεως, και διαγράφουν πορεία από το ένα στημονοπλεκτό στο άλλο. Δηλαδή οι θηλιές διαμορφώνονται στην εμπρός και την πίσω πλάκα εναλλάξ. Κατά αυτόν τον τρόπο τα νήματα συνδέσεως, δηλαδή τα κάτω τυλίγματα των θηλιών, πορεύονται με διαδοχικό τρόπο μία φορά στο στημονοπλεκτό μονής όψεως της εμπρός πλάκας, και μία φορά στο στημονοπλεκτό της πίσω πλάκας. Σε αυτήν την περίπτωση τα κτένια κλωστοφόρων τροφοδοτούν με νήμα την εμπρός και την πίσω βελονοστοιχία εναλλακτικώς [1]. Στο *Σχήμα 1α*, από την εργασία [5], αναδεικνύεται η τεχνοτροπία παραγωγής τριδιάστατου πλεκτού σε δίπλακη πλεκτομηχανή Ράσσελ.

Επιπροσθέτως, στο άρθρο [6] παρατίθεται εικόνα από πρόγραμμα εξομοίωσης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (*Σχήμα 1β*), η οποία παρουσιάζει τη μορφή της θηλιάς και την πορεία του νήματος μέσα στη δομή του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος. Η εξομοίωση τριδιάστατης θηλιάς πραγματοποιήθηκε από πρόγραμμα που δημιουργήθηκε

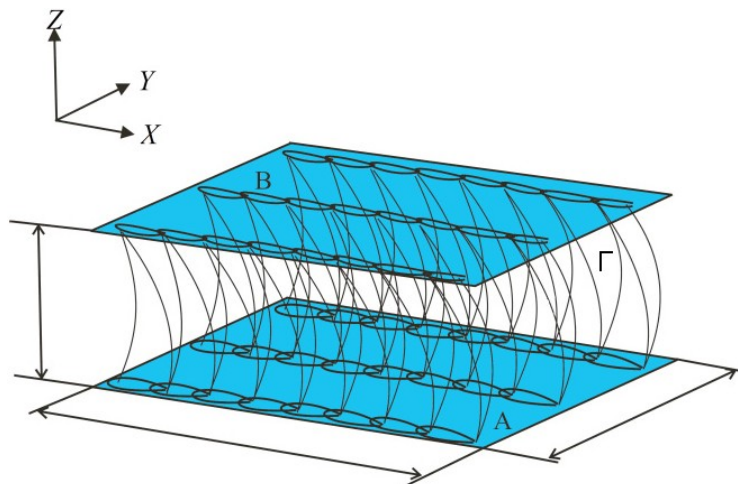
σε γλώσσα προγραμματισμού Visual C++ και χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Open GL (Open Graphic Library) της Visual C++ [6].



**Σχήμα 1:** α) Σχηματική αναπαράσταση πλεκτομηχανής Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας [5]. β) Σχηματική απεικόνιση εξομοίωσης τριδιάστατης θηλιάς σε ηλεκτρονικό υπολογιστή [6].

Στο *Σχήμα 1α* αναδεικνύεται η διάταξη των θηλιών. Πιο συγκεκριμένα, οι θηλιές της εμπρός επιφάνειας έχουν διαφορά ύψους από τις θηλιές της πίσω επιφάνειας κατά το ήμισυ του ύψους θηλιάς. Αυτό συμβαίνει διότι οι θηλιές της εμπρός και πίσω βελονοστοιχίας πλέκονται διαδοχικώς, οπότε το στημονοπλεκτό της πίσω πλάκας, σε σχέση με το στημονοπλεκτό της εμπρός πλάκας, έλκεται με ετεροχρονισμένο τρόπο από το σύστημα έλξεως της πλεκτομηχανής [6].

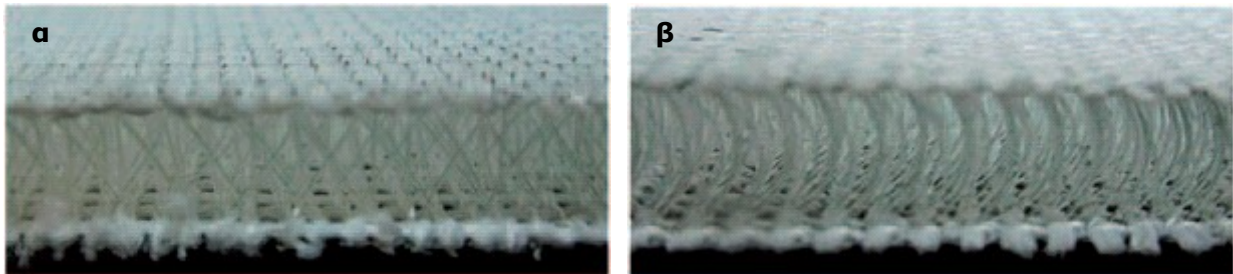
Επιπροσθέτως, στην εργασία [7] περιλαμβάνεται η παραπομπή [8], όπου αναπαρίσταται σχηματικώς η δομή τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος στο χώρο, του οποίου οι διαστάσεις ορίζονται από τους ένθετους άξονες  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (*Σχήμα 2*).



**Σχήμα 2:** Τριδιάστατη δομή στημονοπλεκτού υφάσματος διπλής όψεως [8].

Στο *Σχήμα 2*, το αναπαριστάμενο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν αποτελείται από δύο διδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως (A και B), τα οποία αποτελούν τις δύο όψεις του τριδιάστατου στημονοπλεκτού, και από τα συνδετήρια νήματα (Γ) που ενδιάμεσως των δύο όψεων A και B καταλαμβάνουν τον αντίστοιχο χώρο (πάχος υφάσματος-άξονας z) [7]. Επίσης ο άξονας x αντιστοιχεί στη διεύθυνση των στηλών των θηλιών του υφάσματος (μήκος υφάσματος), ενώ ο άξονας y αντιστοιχεί στη διεύθυνση των σειρών των θηλιών του υφάσματος (πλάτος υφάσματος).

Στην εργασία [4] παρουσιάζεται η εμφάνιση τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος από τις εγκάρσιες τομές κατά τη διεύθυνση των στηλών των θηλιών του (*Εικόνα 1α*) και κατά τη διεύθυνση των σειρών των θηλιών του (*Εικόνα 1β*). Οι διαφορές έγκεινται στην εμφάνιση των συνδετήριων νημάτων από τη διαφορετική όψη της διατάξεώς τους. Στην *Εικόνα 1* διακρίνονται τα εξωτερικά στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως στο επάνω και κάτω μέρος, και ο ενδιάμεσος χώρος που καταλαμβάνεται από τα συνδετήρια νήματα, τα οποία αντιστοιχούν στα κάτω τυλίγματα των θηλιών των εξωτερικών υφασμάτων.



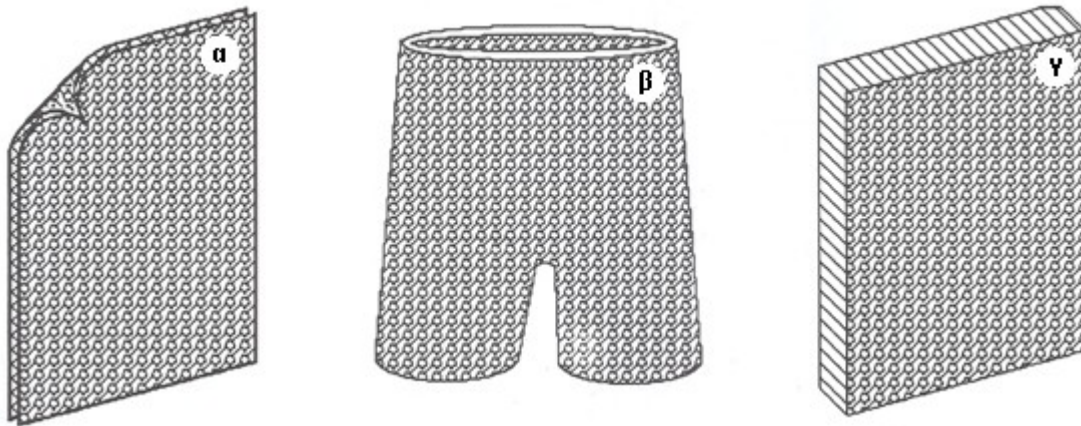
**Εικόνα 1:** Εγκάρσια όψη α) κατά το μήκος και β) κατά το πλάτος του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος [4].

Η όψη της *Εικόνας 1α* αντιστοιχεί στην παρατήρηση του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος του *Σχήματος 2* κατά τον άξονα x (μήκος υφάσματος). Ομοίως, η όψη της *Εικόνας 1β* αντιστοιχεί στην παρατήρηση του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος του *Σχήματος 2* κατά τον άξονα y (πλάτος υφάσματος).

## 2.2. Δομές τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων

Οι P. R. Rankilor και Dr. S. Raz [3] παρουσιάζουν δομές που συναντώνται στα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα. Οι δομές αυτές είναι τριδιάστατα

στημονοπλεκτά υφάσματα διπλής όψεως, σωληνωτά και τριών εναλλασσόμενων περιοχών (όψη-συνδετήρια νήματα-όψη) (sandwich).



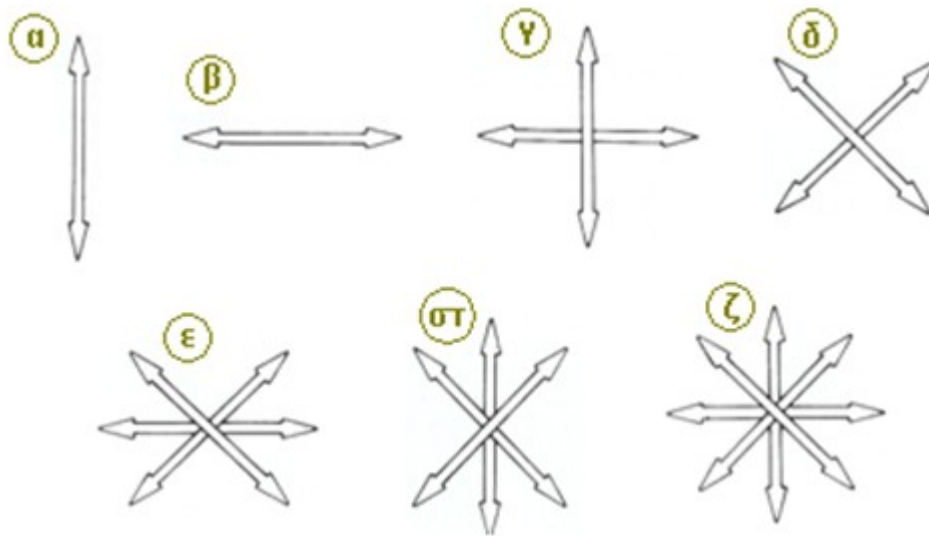
**Σχήμα 3:** Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με α) δομή διπλής όψεως, β) σωληνωτή δομή και γ) δομή τριών εναλλασσόμενων περιοχών [3].

Οι ανωτέρω δομές, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς [3], κατασκευάζονται σε δίπλακες στημονοπλεκτομηχανές Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας. Η δομή διπλής όψεως (Σχήμα 3α) διαθέτει την ιδιότητα να παρουσιάζει στην κάθε όψη της διαφορετικά νήματα πλέξης («plating»). Η σωληνωτή δομή (Σχήμα 3β) δημιουργείται εφόσον κάθε κτένι κλωστοφόρων πλέκει με ξεχωριστά νήματα, σχηματίζοντας δύο ξεχωριστά υφάσματα. Με τη συμμετοχή επιπλέον νημάτων τα δύο αυτά ξεχωριστά υφάσματα συνδέονται διαμορφώνοντας ένα τριδιάστατο σωληνωτό στημονοπλεκτό ύφασμα. Η δομή του Σχήματος 3γ προκύπτει από την πλέξη δύο ξεχωριστών υφασμάτων μέσω δύο κτενιών κλωστοφόρων, και από την ταυτόχρονη συμμετοχή άλλων κλωστοφόρων με πλήρη τροφοδότηση, οι οποίοι – μέσω των συνδετήριων νημάτων που εναποθέτουν – συνδέουν τα δύο ξεχωριστά υφάσματα. Η δομή αυτή είναι τριών εναλλασσόμενων περιοχών (sandwich), δηλαδή υφάσματος (ή όψεως), συνδετήριων νημάτων, υφάσματος [3].

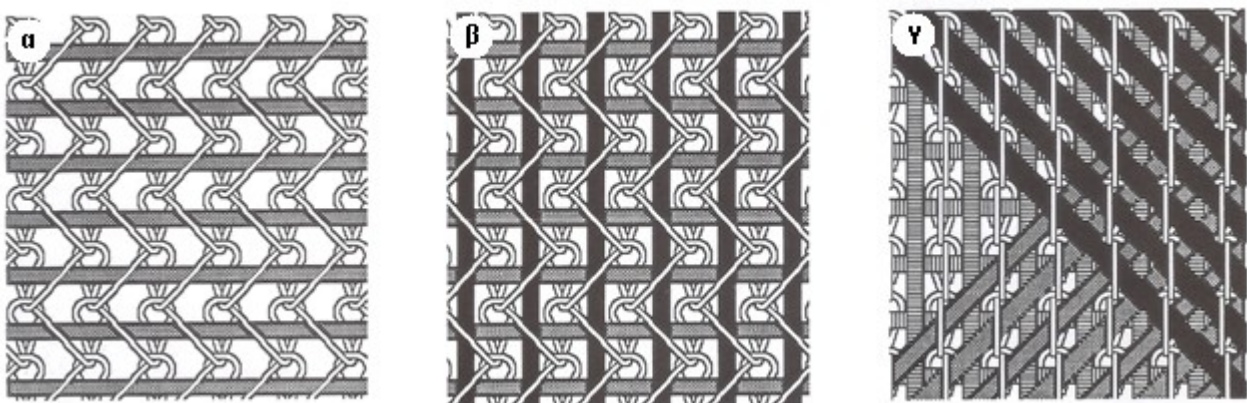
### 2.3. Δομικώς Κατευθυνόμενες Κατασκευές

Οι ίδιοι συγγραφείς στην εργασία τους [3] αναφέρουν κάποιες ιδιαίτερες δομές που μπορούν να διαθέτουν οι όψεις των στημονοπλεκτών υφασμάτων. Οι ιδιαίτερες αυτές δομές χαρακτηρίζονται ως «Δομικώς Κατευθυνόμενες Κατασκευές» (Directionally

Oriented Structures – D.O.S.). Σύμφωνα με τις δομές αυτές παράλληλα νήματα ενσωματώνονται, σε διάφορες διευθύνσεις, στις όψεις των στημονοπλεκτών υφασμάτων. Κατά τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η ενίσχυση των στημονοπλεκτών υφασμάτων κατά τις διευθύνσεις ενσωμάτωσης των παραλλήλων νημάτων [2,3]. Οι διευθύνσεις κατά τις οποίες ενσωματώνονται τα πρόσθετα παράλληλα νήματα δύνανται να είναι κατά τη διεύθυνση στημονιού, κατά τη διεύθυνση υφαδιού, κατά διαγώνια διεύθυνση και κατά τον συνδυασμό των προαναφερθεισών διευθύνσεων (Σχήμα 4) [2].



**Σχήμα 4:** Διευθύνσεις εισαγωγής νημάτων. Μονοαξονική διεύθυνση α) στημονιού και β) υφαδιού, γ) κάθετη και δ) διαγώνια διαξονική διεύθυνση, διαγώνια τριαξονική διεύθυνση με ε) υφάδι και στ) στημόνι και ζ) πολυαξονική διεύθυνση [2].



**Σχήμα 5:** Δομικώς Κατευθυνόμενες Κατασκευές με εισαγωγή νημάτων α) κατά τη διεύθυνση υφαδιού, β) κατά τη διεύθυνση στημονιού και γ) κατά διαγώνια διεύθυνση [3].

Στο Σχήμα 5α απεικονίζεται δομή όψεως στημονοπλεκτού υφάσματος με παρεμβολή υφαδιού. Τα νήματα που έχουν εισαχθεί κατά τη διεύθυνση υφαδιού από

τον μηχανισμό παρεμβολής υφαδιού, με τον οποίο είναι εξοπλισμένη η εκάστοτε στημονοπλεκτομηχανή Ράσσελ, είναι παράλληλα μεταξύ τους και χωρίς πτυχώσεις. Στο *Σχήμα 5β* έχουν προστεθεί παράλληλα, ευθυτενισμένα νήματα κατά τη διεύθυνση στημονιού, ενώ στο *Σχήμα 5γ* έχουν προστεθεί επιπλέον παράλληλα νήματα σε διαγώνια διαξονική διεύθυνση, συμβάλλοντας στη σταθερότητα των διαστάσεων κατά όλες τις διευθύνσεις επάνω στο επίπεδο της στημονοπλεκτής όψεως. Σε όλες τις δομές του *Σχήματος 5* παρατηρείται πως τα εισηγμένα νήματα δεν παρουσιάζουν πτυχώσεις, δηλαδή δε φέρουν κυμάτωση· παραμόρφωση που συναντάται στα υφαντά υφάσματα λόγω της διασταυρώσεως στημονιών και υφαδιών. Η διατήρηση των εισηγμένων, στη δομή της όψεως, νημάτων σε παράλληλη διάταξη και χωρίς κυμάτωση επιφέρει πλήρη αξιοποίηση των ιδιοτήτων των νημάτων αυτών, διότι τα ασκούμενα φορτία κατευθύνονται σε αξονική διεύθυνση, δηλαδή παράλληλα με τον άξονα των εισηγμένων νημάτων, εξαντλώντας όλες τις δυνατότητες των μηχανικών ιδιοτήτων των εν λόγω νημάτων. Κατά τον τρόπο αυτόν, απλοποιείται η παραγωγή δομικώς κατευθυνόμενων κατασκευών βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών, καθώς δύναται να εκτιμηθούν εκ των προτέρων οι ιδιότητες των δομών αυτών [2,3].



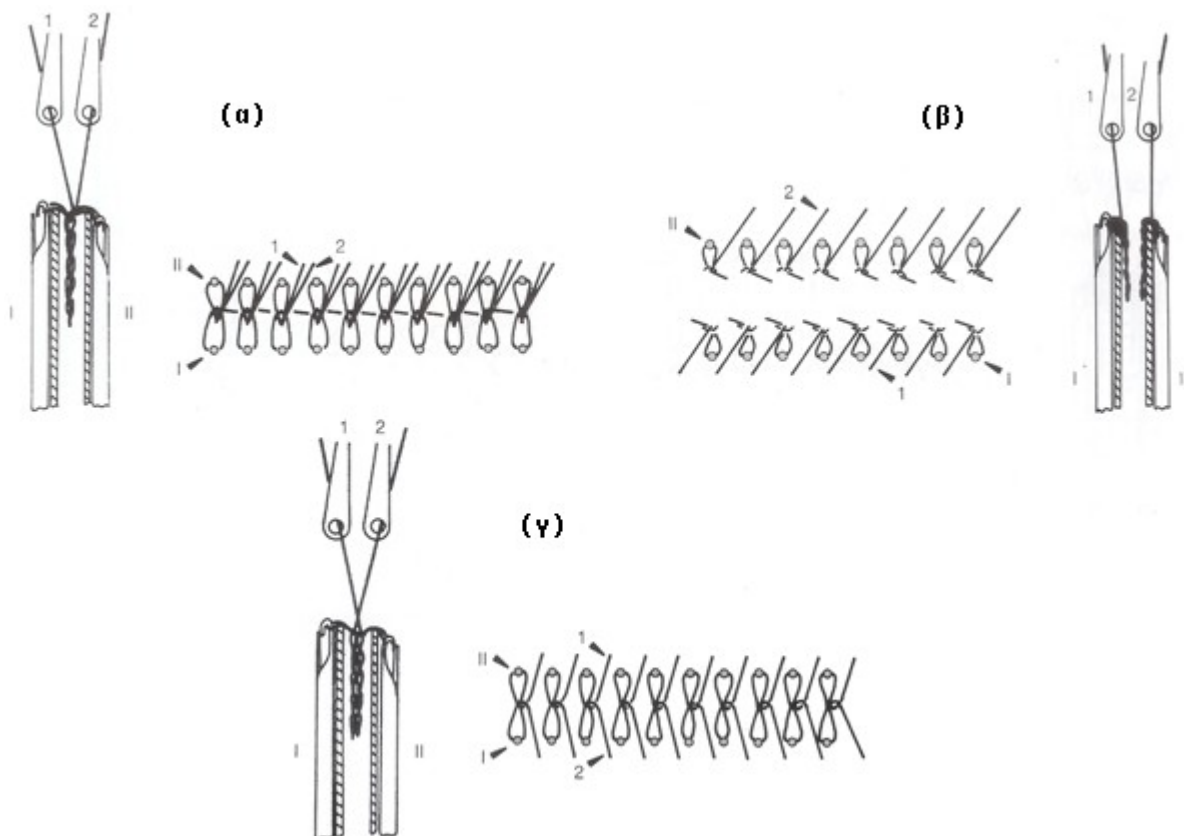
### **3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Αναλόγως με τον αριθμό των κτενιών κλωστοφόρων, τις κινήσεις που αυτά εκτελούν, και τις βελονοστοιχίες τις οποίες επιλέγεται να τροφοδοτήσουν με νήμα για να διαμορφώσουν τα άνω και κάτω τυλίγματα, προκύπτουν διάφορες δομές. Για την παραγωγή των δομών αυτών απαιτείται ο κατάλληλος τύπος στημονοπλεκτομηχανής, η οποία πρέπει να είναι δίπλακη, με διπλή βελονοστοιχία, και να διαθέτει τον απαραίτητο αριθμό κτενιών κλωστοφόρων, ώστε, συμπεριλαμβανομένων και των ρυθμιστικών επιλογών της στημονοπλεκτομηχανής που συνεισφέρουν στην υλοποίηση των δομικών παραμέτρων των παραγόμενων υφασμάτων, να πραγματοποιείται η παραγωγή για το εκάστοτε επιθυμητής δομής τελικό προϊόν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι παραγωγής τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων απλών, σωληνωτών, τριών εναλλασσόμενων περιοχών, μεταβαλλόμενου πάχους και με όψεις ζακάρ.

#### **3.2. Απλά τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα**

Τα απλά τριδιάστατα πλεκτά στημονιού παράγονται σε πλεκτομηχανές Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας. Όπως προαναφέρθηκε, κατά την παραγωγή οι κλωστοφόροι τροφοδοτούν εναλλάξ τις βελόνες της εμπρός και της πίσω βελονοστοιχίας, δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο συνδετήρια νήματα (που αντιστοιχούν στα κάτω τυλίγματα των θηλιών) από την εμπρός στην πίσω πλάκα και αντιστρόφως, με διαδοχικό τρόπο [1].

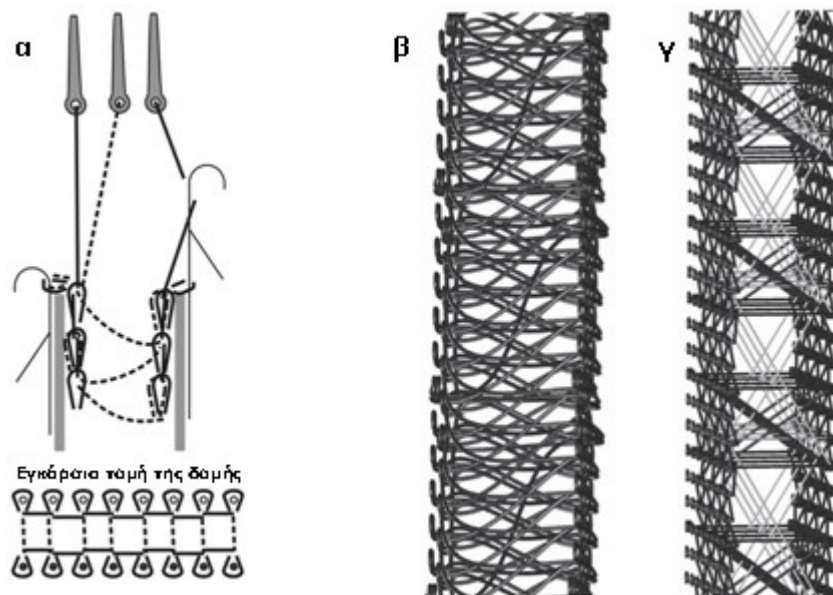


**Σχήμα 6:** Σχηματική αναπαράσταση πλέξεως και κινήσεων κτενιών κλωστοφόρων για α) διπλής όψεως, β) δύο ξεχωριστά και γ) διπλής όψεως, με διαφορετικά νήματα πλέξεως στην κάθε όψη, στημονοπλεκτά υφάσματα [2].

Στην εργασία [2] παρατίθεται το Σχήμα 6, με το οποίο αναφέρεται η μέθοδος πλέξεως στημονοπλεκτών υφασμάτων σε διπλής βελονοστοιχίας πλεκτομηχανή στήμονος. Στο Σχήμα 6α παρουσιάζεται η πλέξη στημονοπλεκτού υφάσματος διπλής όψεως. Η πλέξη αυτή πραγματοποιείται από δύο κτένια κλωστοφόρων, τα οποία αιωρούνται πάνω και από τις δύο βελονοστοιχίες για να σχηματισθούν οι θηλιές. Το Σχήμα 6β αναπαριστά την πλέξη δύο ξεχωριστών διδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, ένα στην κάθε βελονοστοιχία. Για την πλέξη αυτή χρησιμοποιούνται δύο κτένια κλωστοφόρων, ένα εκ των οποίων τροφοδοτεί σταθερά τη μία βελονοστοιχία, και το άλλο τροφοδοτεί μόνο την άλλη βελονοστοιχία. Στο Σχήμα 6γ παράγεται στημονοπλεκτό ύφασμα διπλής όψεως με διαφορετικές αναμεταξύ τους, ως προς τη χημική σύσταση των νημάτων που τις αποτελούν, τις δύο εκατέρωθεν όψεις του. Δύο κτένια κλωστοφόρων εκτελούν αιωρούμενες κινήσεις προς σχηματισμό θηλιών· το πρώτο κτένι στη δεύτερη, ενώ το δεύτερο κτένι στην πρώτη βελονοστοιχία. Κατά τον τρόπο αυτόν πλέκονται δύο στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως, ένα σε κάθε

βελονοστοιχία, τα οποία συνδέονται μέσω των κάτω τυλιγμάτων των σχηματισθεισών θηλιών τους [2].

Επίσης, υπάρχει μία σειρά και από άλλες τεχνοτροπίες παραγωγής τριδιάστατων πλεκτών στήμονος. Σύμφωνα με την εργασία [9] είναι δυνατόν να παραχθούν τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα σε πλεκτομηχανή Ράσσελ με τρία κτένια κλωστοφόρων. Το πρώτο τροφοδοτεί με νήμα την εμπρός βελονοστοιχία, το δεύτερο τροφοδοτεί εναλλάξ την εμπρός και την πίσω βελονοστοιχία, και το τρίτο τροφοδοτεί την πίσω βελονοστοιχία (Σχήμα 7).

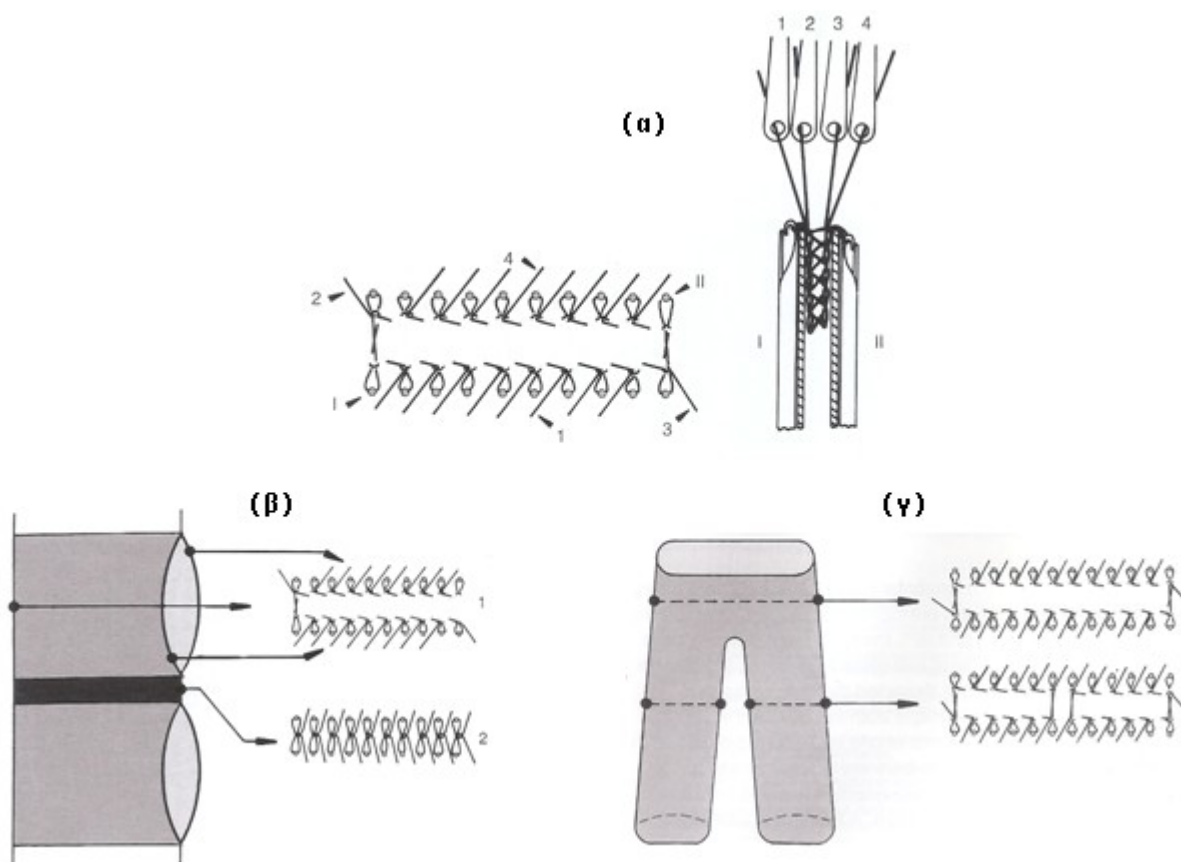


**Σχήμα 7:** α) Σχηματική αναπαράσταση πλεκτομηχανής κατά τη διαδικασία παραγωγής. Μοντέλα τριδιάστατων υφασμάτων β) με ένα σύστημα συνδετήριου νήματος όπως στην απεικόνιση α), και γ) με δύο συστήματα συνδετήριων νημάτων για καλύτερη σταθερότητα στο σχίσιμο [9].

Έτσι κατασκευάζονται δύο ξεχωριστά στημονοπλεκτά μονής όψεως, ένα στην εμπρός και ένα στην πίσω πλάκα της πλεκτομηχανής, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τα ενδιάμεσα συνδετήρια νήματα, δηλαδή μέσω των κάτω τυλιγμάτων των σχηματισθεισών θηλιών στην εμπρός και την πίσω βελονοστοιχία εναλλάξ. Τα ενδιάμεσα κτένια κλωστοφόρων, τα οποία τροφοδοτούν και τις δύο βελονοστοιχίες με διαδοχική σειρά, μπορούν να είναι περισσότερα από ένα (πχ. Σχήμα 7γ) [9].

### 3.3. Σωληνωτά τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα

Ακόμη, στην εργασία [2] παρουσιάζεται ο τρόπος πλέξεως τριδιάστατων σωληνωτών στημονοπλεκτών υφασμάτων.

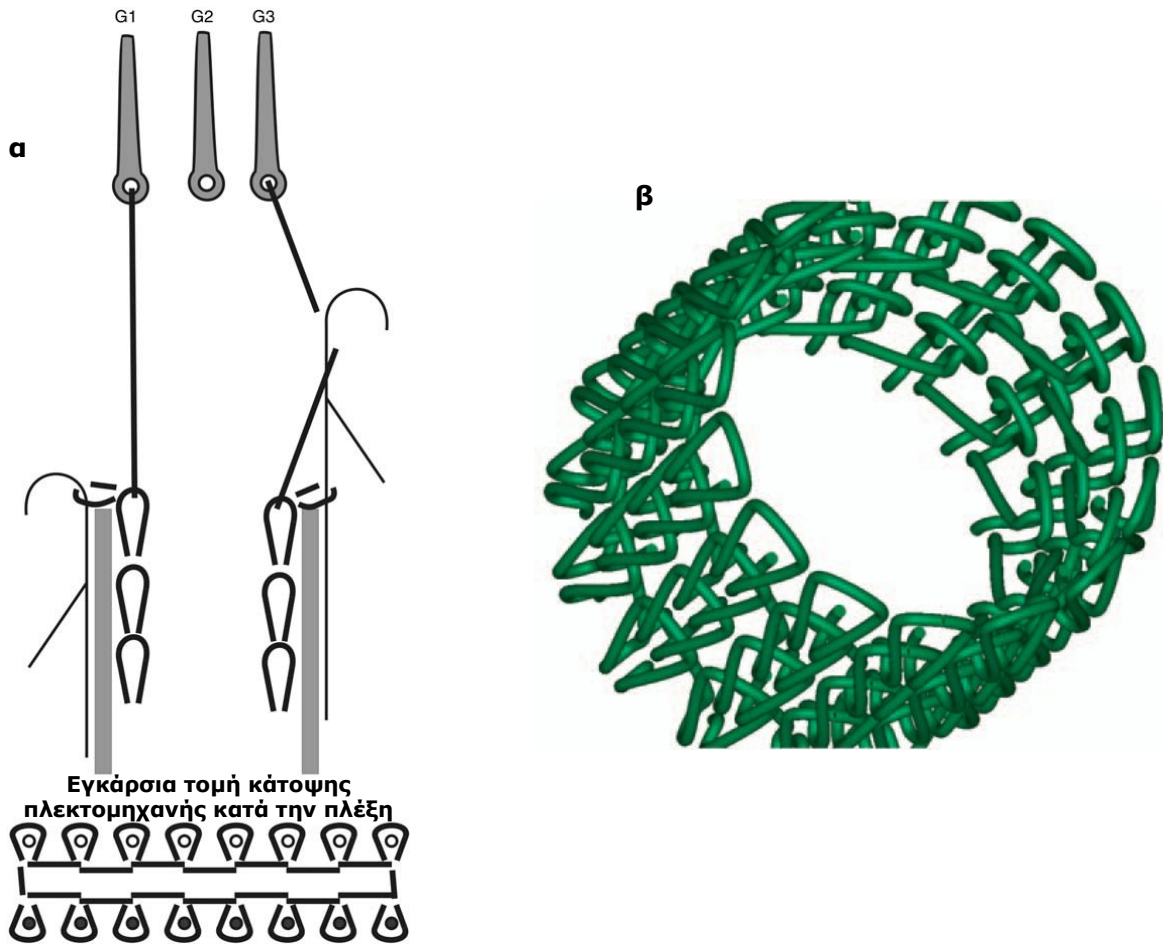


**Σχήμα 8:** Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής α) τριδιάστατων σωληνωτών στημονοπλεκτών υφασμάτων, β) οριζοντίως και γ) καθέτως [2].

Στην εργασία [2] περιγράφεται η μέθοδος παραγωγής σωληνωτών στημονοπλεκτών υφασμάτων. Στο Σχήμα 8α τέσσερα κτένια κλωστοφόρων εκτελούν αιωρούμενες κινήσεις για τον σχηματισμό των θηλιών των υφασμάτων. Το πρώτο κτένι αιωρείται πάνω από την πρώτη βελονοστοιχία με πλήρη τροφοδότηση νήματος, το τέταρτο πάνω από τη δεύτερη βελονοστοιχία με πλήρη τροφοδότηση νήματος, ενώ το δεύτερο και το τρίτο πάνω και από τις δύο βελονοστοιχίες με επιμέρους τροφοδότηση νήματος στα άκρα των βελονοστοιχιών. Σύμφωνα με το Σχήμα 8β κατασκευάζονται οριζόντια τριδιάστατα σωληνωτά στημονοπλεκτά υφάσματα με χρήση δύο κτενίων κλωστοφόρων. Στην πρώτη (1) φάση τα κτένια κλωστοφόρων αιωρούνται ένα πάνω από κάθε βελονοστοιχία, πλέκοντας έτσι δύο ξεχωριστά στημονοπλεκτά υφάσματα. Στη δεύτερη (2) φάση τα κτένια κλωστοφόρων αιωρούνται πάνω από τις αντίθετες

βελονοστοιχίες, με αποτέλεσμα τα δύο ξεχωριστά υφάσματα της προηγούμενης φάσεως να συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας ένα τριδιάστατο σωληνωτό στημονοπλεκτό ύφασμα. Το *Σχήμα 8γ* αναπαριστά την κάθετη παραγωγή τριδιάστατων σωληνωτών πλεκτών υφασμάτων στήμονος. Κτένια κλωστοφόρων με πλήρη τροφοδότηση νήματος παρέχουν νήμα σε συγκεκριμένη βελονοστοιχία έκαστο κτένι, προς σχηματισμό ξεχωριστών στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως. Κτένια κλωστοφόρων με επιμέρους τροφοδότηση νήματος παρέχουν νήμα στις ακρινές βελόνες και των δύο βελονοστοιχιών, ώστε να συνδεθούν τα ξεχωριστά στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως αναμεταξύ τους και να προσδοθεί η σωληνωτή δομή. Με επαρκή αριθμό κτενιών κλωστοφόρων, διαιρούμενων ανά ομάδες για διαφορετικές ζώνες πλέξεως, δύναται να παραχθούν τριδιάστατα σωληνωτά στημονοπλεκτά υφάσματα με διακλαδώσεις (*Σχήμα 8γ*) [2].

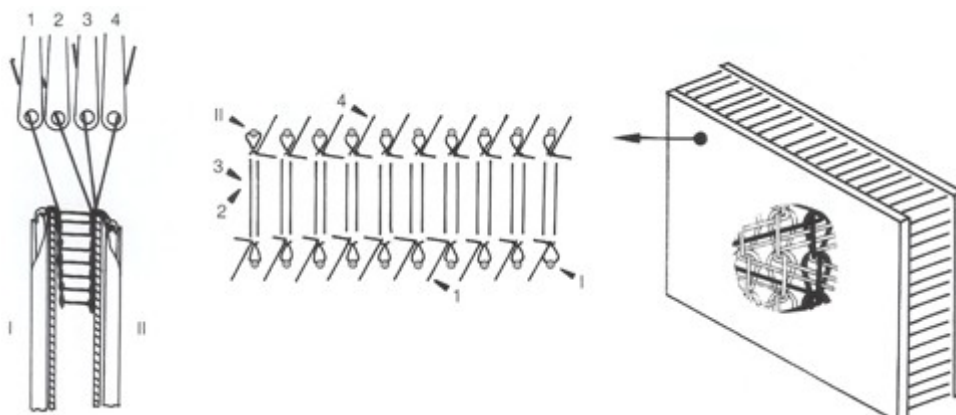
Στην εργασία [9] περιγράφεται ένας διαφορετικός τρόπος παραγωγής σωληνωτών τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, που παράγονται σε πλεκτομηχανές στημονιού διπλής βελονοστοιχίας, ο οποίος περιλαμβάνει τρία συστήματα νημάτων, ένα για κάθε κτένι κλωστοφόρων. Το πρώτο κτένι κλωστοφόρων (G1 στο *Σχήμα 9*) τροφοδοτεί μόνο την εμπρός βελονοστοιχία, το τρίτο κτένι κλωστοφόρων (G3) τροφοδοτεί αποκλειστικώς την πίσω βελονοστοιχία, ενώ το δεύτερο κτένι κλωστοφόρων (G2), που απεικονίζεται κενό στο *Σχήμα 9* επειδή πρόκειται για την τομή της πλεκτομηχανής και συνεπώς και των κτενιών κλωστοφόρων, τροφοδοτεί με συνδετήριο νήμα μόνο τις ακρινές βελόνες της εμπρός και πίσω βελονοστοιχίας, ώστε να σχηματισθεί μια κλειστή δομή με ενδιάμεσο κενό από τη μη τροφοδότηση των υπολοίπων βελονών [9].



Σχήμα 9: α) Τεχνοτροπία κατασκευής σωληνωτών δομών, β) εξομοίωση σωληνωτής δομής [9].

### 3.4. Τριδιάστατα στημονολεκτά υφάσματα τριών εναλλασσόμενων περιοχών

Επιπροσθέτως, στην εργασία [2] αναφέρονται οι αρχές πλέξεως τριδιάστατου στημονολεκτού υφάσματος με δομή τριών εναλλασσόμενων περιοχών (sandwich).

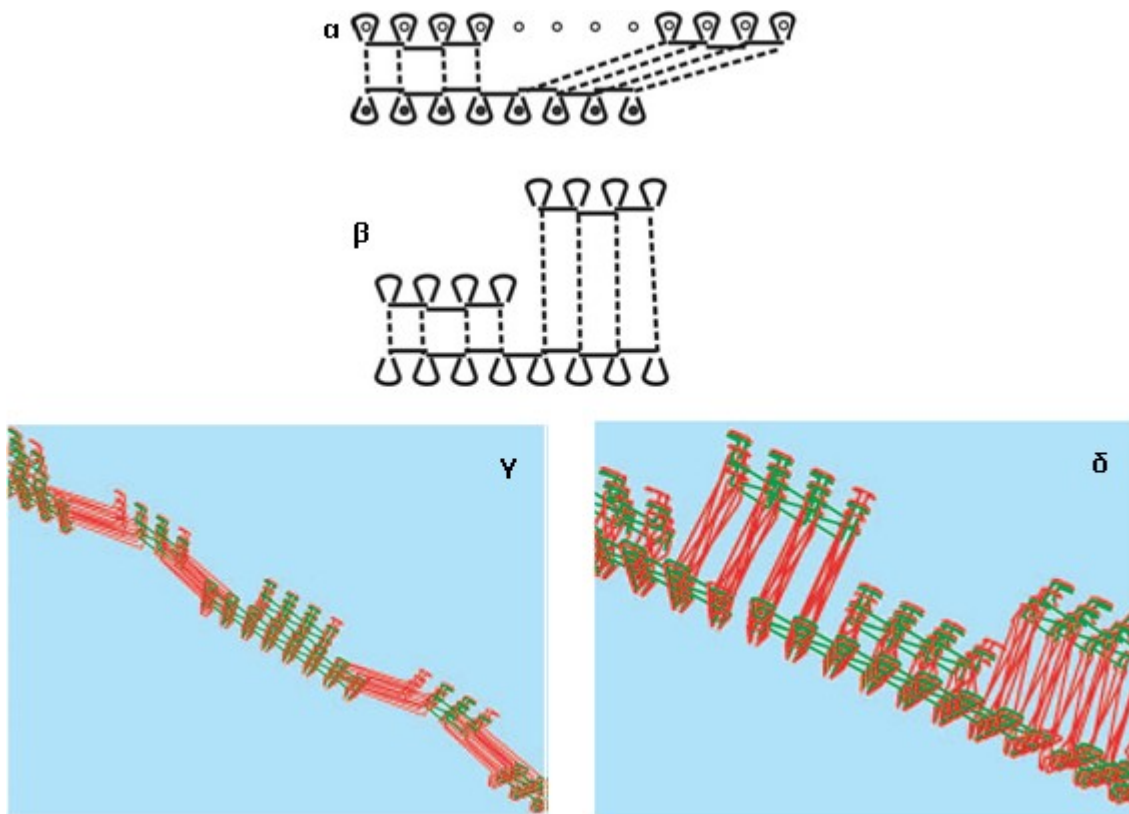


Σχήμα 10: Παραγωγή τριδιάστατου στημονολεκτού υφάσματος δομής τριών εναλλασσόμενων περιοχών [2].

Η εργασία [2] στο *Σχήμα 10* αναδεικνύει τις αρχές πλέξεως για τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα τριών εναλλασσόμενων περιοχών. Το πρώτο από τα τέσσερα κτένια κλωστοφόρων σχηματίζει άνω και κάτω τυλίγματα με πλήρη τροφοδότηση νήματος στην πρώτη βελονοστοιχία, ενώ το τέταρτο κτένι λειτουργεί κατά τον ίδιο τρόπο στη δεύτερη βελονοστοιχία. Τα ενδιάμεσα κτένια κλωστοφόρων, το δεύτερο και το τρίτο, αιωρούνται πάνω και από τις δύο βελονοστοιχίες με επιμέρους τροφοδότηση νήματος, εναποθέτοντας τα ενδιάμεσα συνδετήρια νήματα. Το πάχος του πλεκτού προϊόντος μπορεί να ρυθμισθεί αναλόγως με την προσαρμοζόμενη απόσταση των δύο πλακών της στημονοπλεκτομηχανής [2].

### **3.5. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα μεταβαλλόμενου πάχους**

Επιπλέον, στην εργασία [9] παρατίθεται η παραπομπή [10] σύμφωνα με την οποία υπάρχει και η δυνατότητα παραγωγής τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος με περιοχές ελεγχόμενου μεταβαλλόμενου πάχους χωρίς την ενσωμάτωση ραφών σε μεταγενέστερο στάδιο. Η πλέξη τέτοιων υφασμάτων πραγματοποιείται ανά ομάδες βελονών, δηλαδή ο σχηματισμός των θηλιών τους μετατοπίζεται ανά κάποιον αριθμό βελονών (*Σχήμα 11α*). Ως αποτέλεσμα, τα συνδετήρια νήματα διαμορφώνονται σε κατάλληλη διάταξη και αποκτούν κλίση (*Σχήμα 11γ*). Έτσι αυξάνεται το μήκος τους ανάμεσα στις δύο βελονοστοιχίες, ώστε να μεταβάλλεται αναλόγως και το τελικό πάχος του υφάσματος (*Σχήμα 11β*), που εξαρτάται από το μήκος των συνδετήριων νημάτων. Η τελική μορφή του υφάσματος (*Σχήμα 11δ*) παρατηρείται μετά τη διαδικασία πλέξεως κατά την έξοδο του υφάσματος από την πλεκτομηχανή [9].



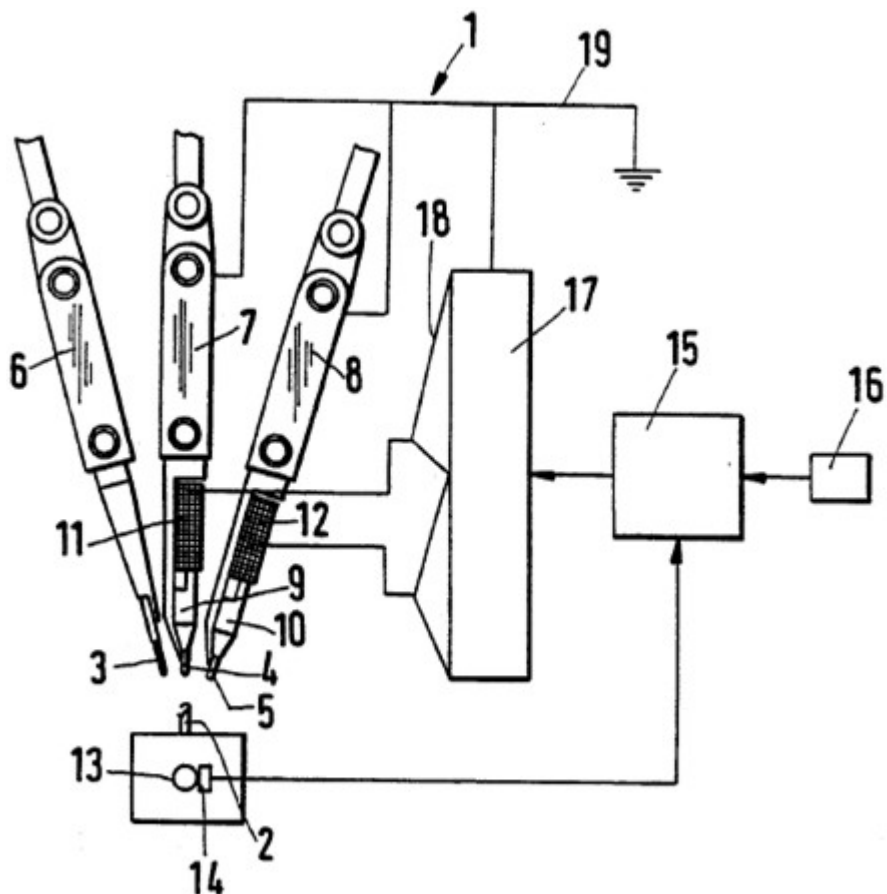
**Σχήμα 11:** Σχηματική απεικόνιση α) πλέξεως με μετατόπιση βελονών, β) τελικού μήκους συνδετήριων νημάτων των μετατοπισθεισών βελονών. Εξομοίωση γ) της πλέξεως που αντιστοιχεί στο Σχήμα 9α, δ) της μορφής του υφάσματος μετά την έξοδό του από την πλεκτομηχανή με πάχος που αντιστοιχεί στο Σχήμα 9β [9].

### 3.6. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με όψεις ζακάρ

Στις στημονοπλεκτομηχανές, εκτός από τους απλούς κλωστοφόρους που πλέκουν τη βάση του στημονοπλεκτού υφάσματος, υπάρχουν και οι κλωστοφόροι ζακάρ οι οποίοι διαθέτουν ανεξάρτητη κίνηση, ώστε να παρέχουν νήμα ή νήματα στις περιοχές που υποδεικνύει το σχέδιο πλέξεως. Συνεπώς, τα κτένια κλωστοφόρων διακρίνονται σε κτένια βάσεως και σε κτένια ζακάρ που ελέγχονται από το αντίστοιχο σύστημα ζακάρ [1].

Αναφέρεται ευρεσιτεχνία [11] στην οποία περιγράφεται εξοπλισμός σχεδιάσεως ζακάρ ελεγχόμενος από πιεζοηλεκτρικό μηχανισμό σε στημονοπλεκτομηχανή. Παρατίθενται σχήματα, από την ευρεσιτεχνία [11], της διατάξεως της πλεκτομηχανής στήμονος (Σχήμα 12) και δύο διαφορετικών όψεων των κτενίων κλωστοφόρων ζακάρ (Σχήμα 13).

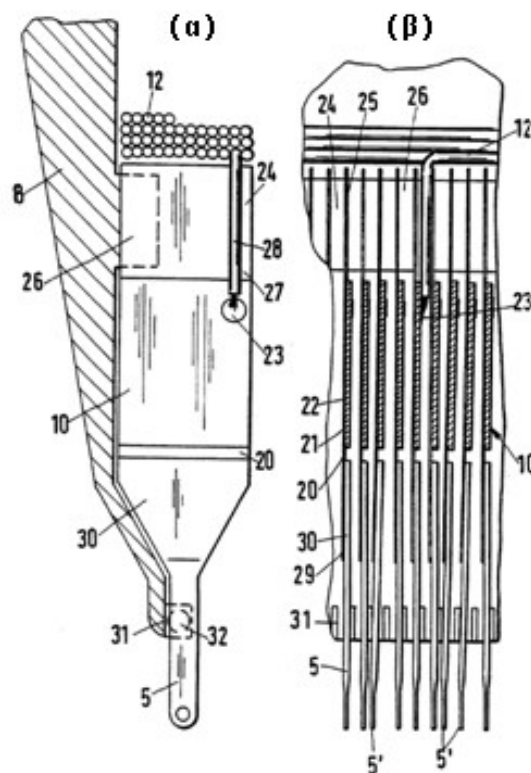




**Σχήμα 12:** Σχηματική απεικόνιση πλεκτομηχανής στημονιού [11].

Στο *Σχήμα 12* αναπαρίσταται η βελονοστοιχία **2**, τρεις σειρές κλωστοφόρων **3**, **4**, **5**, και τα αντίστοιχα κτένια κλωστοφόρων **6**, **7**, **8** της πλεκτομηχανής στημονιού **1**. Οι απλοί κλωστοφόροι **3** έχουν μεταξύ τους απόσταση ίδια με αυτήν ανάμεσα στις βελόνες που αποτελούν τη βελονοστοιχία. Η ενδιάμεση απόσταση των ζακάρ κλωστοφόρων **4** και **5** είναι η διπλάσια αυτής από βελόνα σε βελόνα της βελονοστοιχίας. Επίσης, οι κλωστοφόροι ζακάρ **4** και **5** είναι μετατοπίσιμοι κατά απόσταση μίας βελόνης. Ο μηχανισμός ζακάρ των κλωστοφόρων **4** και **5** διαθέτει αντιστοίχως πιεζοηλεκτρικούς μετασχηματιστές **9** και **10**, οι οποίοι ελέγχονται από τα ηλεκτρικά καλώδια **11** και **12** αντιστοίχως. Ο μηχανισμός αυτός, για τον έλεγχο των κλωστοφόρων ζακάρ **4** και **5**, διαθέτει επίσης ένα περιστροφικό μέσο μετρήσεως **14** (π.χ. κωδικοποιητής άξονα) της γωνίας κατά την οποία περιστρέφεται ο κύριος άξονας **13** της πλεκτομηχανής. Το μέσο μετρήσεως γωνίας της περιστροφής του κύριου άξονα μεταβιβάζει ηλεκτρικά σήματα περιστροφής στον ηλεκτρονικό υπολογιστή **15**, με τον οποίο είναι συνδεδεμένη η μνήμη του **16** που λειτουργεί ως συσκευή αποθηκεύσεως σχεδίων. Σε κάθε κύκλο

πλέξεως ο ηλεκτρονικός υπολογιστής **15**, βάσει των αποθηκευμένων σχεδίων στη μνήμη **16**, τροφοδοτεί κάθε πιεζοηλεκτρικό μετασχηματιστή **9** και **10** με το κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα ελέγχου. Το σήμα αυτό πριν μεταβιβασθεί στους μετασχηματιστές, μεταφέρεται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, με διαφορά δυναμικού 5 Volt, στους μετατροπείς DC/DC **17** (Direct Current: συνεχές ρεύμα), των οποίων οι έξοδοι **18** συνδέονται με τα ηλεκτρικά καλώδια ελέγχου **11** και **12**. Η κατάλληλη έξοδος, όταν ενεργοποιείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή **15**, παρέχει δυναμικό χαμηλής τάσεως σε εύρος τιμών από 25 έως 30 Volt. Με το δυναμικό των τιμών αυτών, οι πιεζοηλεκτρικοί μετασχηματιστές εκτροπής προκαλούν την επιθυμητή παρέκκλιση των αντίστοιχων κλωστοφόρων. Το δυναμικό εφαρμόζεται ανάμεσα στα ηλεκτρικά καλώδια ελέγχου **11** και **12**, και τη σύνδεση γειώσεως **19**, η οποία είναι κοινή για τους μετατροπείς DC/DC **17** και τα κτένια κλωστοφόρων **7** και **8** [11].



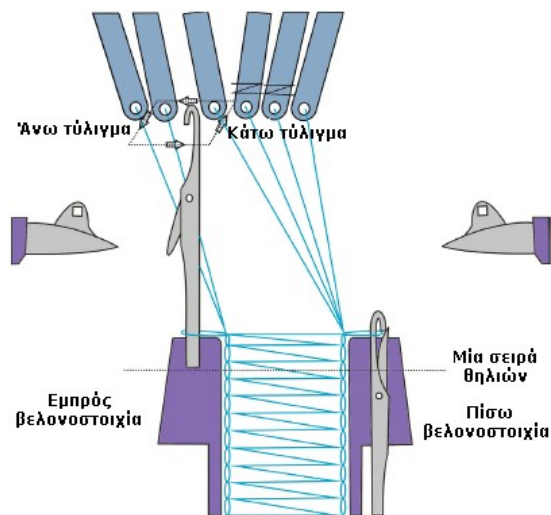
**Σχήμα 13:** Κτένια κλωστοφόρων ζακάρ. α) Όψη κοινή με αυτήν του Σχήματος 11, β) πλάγια –ως προς την α)– όψη [11].

Στο Σχήμα 13 παρατίθενται δύο διαφορετικές όψεις του πιεζοηλεκτρικού μετασχηματιστή εκτροπής **10** του κτενιού κλωστοφόρων **8**. Τέτοιοι μετασχηματιστές αποτελούνται από έναν φορέα **20** μορφής ορθογωνίου πλακιδίου, το οποίο είναι

καλυμμένο από τη μια του πλευρά με στρώση **21** πιεζοηλεκτρικώς ενεργού υλικού. Στην πλευρά αυτή υπάρχει ένα ηλεκτρόδιο **22**, το οποίο μέσω ενός μέσου συνδέσεως **23** συνδέεται με τα ηλεκτρικά καλώδια ελέγχου **12**. Το άνω άκρο **24** του φορέα **20** είναι τοποθετημένο σε εγκοπές **25** μιας προεξοχής του κτενιού κλωστοφόρων **8**, και λειτουργεί ως μέσο στερεώσεως **26** το οποίο είναι ηλεκτρικώς αγώγιμο και αποτελεί γείωση για τον φορέα **20**. Η διάταξη στερεώσεως **26** έχει βάθος μικρότερο από το πλάτος του άκρου **24** του φορέα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ελεύθερος χώρος **27** ο οποίος προσφέρει διαμήκες πέρασμα για το τμήμα **28** του άκρου του καλωδίου ελέγχου, το οποίο τοποθετείται στη σύνδεση **23**. Στο κάτω άκρο **29** του φορέα **20**, ένα επίπεδο τεμάχιο **30** προσκολλάται στον κλωστοφόρο **5**. Έκαστος κλωστοφόρος διαθέτει εκατέρωθεν του δύο οδηγούς **31** (ή πλακίδια πεδήσεως) οι οποίοι ορίζουν τις θέσεις λειτουργίας των ενδιάμεσων κλωστοφόρων. Επιπλέον, κάθε πλακίδιο πεδήσεως διαθέτει μόνιμο μαγνήτη **32** για την εξομάλυνση κραδασμών και αιωρήσεων των κλωστοφόρων κατά την επαφή τους με τα εν λόγω πλακίδια **31** [11].

Όταν ο μετασχηματιστής εκτροπής **10** τροφοδοτείται με δυναμικό ελέγχου, το πιεζοηλεκτρικό υλικό παραμορφώνεται. Συνεπώς, επειδή ο φορέας **20** δεν υφίσταται παραμόρφωση συστολής ούτε διαστολής, η παραμόρφωση παρατηρείται μόνο από την πλευρά που είναι επιστρωμένο το πιεζοηλεκτρικό υλικό. Το ελεύθερο άκρο του μετασχηματιστή **10** μετατοπίζεται προς τη μία ή την άλλη πλευρά σε συμφωνία με την κατεύθυνση του εφαρμοζόμενου δυναμικού ελέγχου. Οι μετατοπισμένοι κλωστοφόροι συμβολίζονται ως **5'** [11].

Άλλη εργασία [7] αναφέρει τη σχεδίαση τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων διπλής όψεως ζακάρ, με τη συνέργεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (CAD: Computer Aided Design) μέσω γλώσσας προγραμματισμού Visual C++. Με τη μέθοδο αυτή η σχεδίαση και παραγωγή τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με όψεις ζακάρ καθίσταται απλούστερη και αποτελεσματικότερη. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα πλέξεως ποικίλων σχεδίων ζακάρ στις όψεις των εν λόγω υφασμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται από την εργασία [7] δίπλακη πλεκτομηχανή Ράσσελ, η οποία είναι εξοπλισμένη με δύο κτένια κλωστοφόρων ζακάρ στην πίσω πλάκα της (Σχήμα 14).



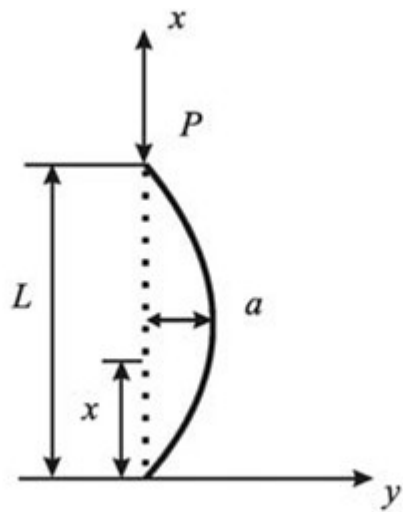
**Σχήμα 14: Δίπλαη πλεκτομηχανή Ράσσελ για κατασκευή τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων διπλής όψεως ζακάρ [7].**

Τα συγκεκριμένα κτένια είναι ξεχωριστά μεταξύ τους και το νούμερό τους είναι το μισό αυτού της πλεκτομηχανής. Επιπροσθέτως, οι κινήσεις των κτενιών αυτών ελέγχονται από πιεζοηλεκτρικό μηχανισμό ζακάρ. Με την πλέξη μέσω των κτενιών ζακάρ παρέχεται η δυνατότητα ευέλικτης σχεδιάσεως ποικίλων δικτυωτών δομών με πολλές χρήσεις, χαρακτήρων και λογοτύπων στις δύο όψεις του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος. Κάθε ξεχωριστή βελόνα κλωστοφόρου ζακάρ αποτελεί ένα ενιαίο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο του οποίου οι κινήσεις εκτελούνται, μέσω του μηχανισμού ζακάρ, ανεξαρτήτως από αυτές των άλλων κλωστοφόρων. Τα εν λόγω πιεζοηλεκτρικά στοιχεία απαρτίζονται από δύο πιεζοηλεκτρικά κεραμικά υλικά που μονώνονται μέσω μίας στρώσεως από ίνες υάλου. Κατά την εφαρμογή διαφοράς δυναμικού 200 Volt, τα προαναφερθέντα κεραμικά υλικά παραμορφώνονται προκαλώντας μετατόπιση των κλωστοφόρων ζακάρ είτε προς τη δεξιά ή προς την αριστερή πλευρά, αναλόγως με την αντίστοιχη πλευρά του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου στην οποία εφαρμόζεται το δυναμικό με χρήση διακόπτη. Συνεπώς, ο πιεζοηλεκτρικός μηχανισμός ζακάρ επιτρέπει στους κλωστοφόρους ζακάρ να μετατοπίζονται σχηματίζοντας και άνω και κάτω τύλιγμα, εκτελώντας δύο μετατοπίσεις για μία σειρά θηλιών, καθιστώντας με τον τρόπο αυτόν εφικτή την παραγωγή ποικίλων σχεδίων. Κάθε σειρά θηλιών αποτελείται από δύο σειρές βρόχων, εκ των οποίων η μία πλέκεται στην εμπρός και η άλλη στην πίσω βελονοστοιχία [7].

## 4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

### 4.1. Ιδιότητες στη θλίψη

Η μελέτη [4] αναφέρει τις ιδιότητες τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων υπό καταπόνηση σε θλίψη, με βάση τη θεωρία του λυγισμού. Τα συνδετήρια νήματα των τριδιάστατων στημονοπλεκτών, καταπονούνται σε θλίψη, αντιστοιχούν σε αμφιαρθρωτή ράβδο υπό λυγισμό (Σχήμα 15).



**Σχήμα 15:** Σχηματική αναπαράσταση λυγισμού ενός συνδετήριου νήματος –σε αντιστοιχία με αμφιαρθρωτή ράβδο– υπό καταπόνηση σε θλίψη [4].

Στο Σχήμα 15 αναπαρίσταται ένα συνδετήριο νήμα [4], συμπεριφερόμενο ως αμφιαρθρωτή ράβδος, στο οποίο ασκείται αξονικό θλιπτικό φορτίο λυγισμού  $P$  κατά τη διεύθυνση του άξονα  $x$ . Η παρουσιαζόμενη παραμόρφωση κατά τον άξονα  $y$  σημειώνει μέγιστη τιμή για βέλος κάμψεως  $a$  σε μήκος δοκού  $L/2$ . Βέλος κάμψεως είναι, κατά την παραμόρφωση της ράβδου υπό την επίδραση φορτίου λυγισμού, η απόκλιση της ράβδου από την αρχική της θέση κατάστασης ηρεμίας. Βάσει της μελέτης [4] και της παραπομπής [12], η μαθηματική εξίσωση που εκφράζει το φαινόμενο του λυγισμού για αμφιαρθρωτή στήριξη είναι:

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (1) \quad [4,12]$$

όπου  $P$  (N: Newton) είναι το αξονικό θλιπτικό φορτίο λυγισμού,  $E$  (N/mm<sup>2</sup>) είναι

το μέτρο ελαστικότητας του υλικού συστάσεως,  $I$  ( $\text{mm}^4$ ) η ροπή αδρανείας της διατομής και  $L$  ( $\text{mm}$ ) το μήκος του συνδετήριου νήματος [4,12].

Σύμφωνα με το άρθρο [4] και το βιβλίο [12], το βέλος κάμψεως  $y$ , που είναι η παραμόρφωση του συνδετήριου νήματος υπό λυγισμό, εκφράζεται ως προς τη ροπή κάμψεως  $M(x)$  με την εξίσωση:

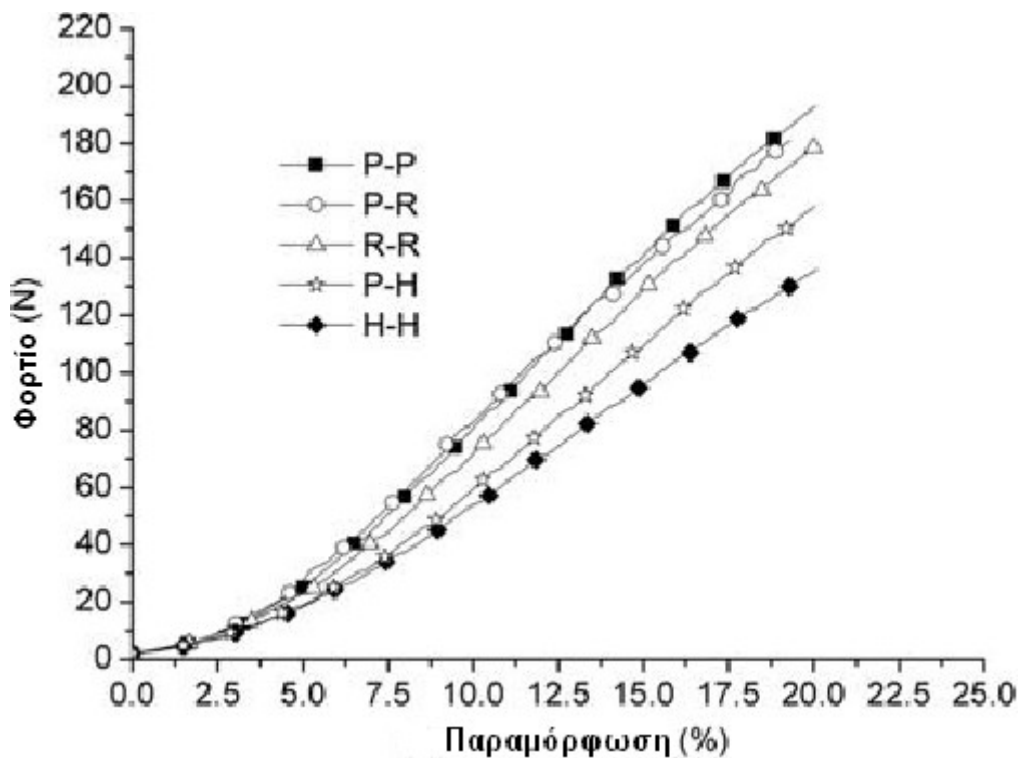
$$M(x) = Py \quad (2) \quad [4,12]$$

Η παραπάνω εξίσωση **(2)**, σε σχέση με το *Σχήμα 15*, για το μέγιστο βέλος κάμψεως  $a$ , που αντιστοιχεί στο μισό του μήκους  $L$  του συνδετήριου νήματος, παίρνει την εξής μορφή:

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = Pa \quad (3)$$

Στη μελέτη [4] διεξήχθη δοκιμασία λυγισμού με βάση τα πρότυπα FZ/T01051.2-1998, σε δοκίμια κλιματισμένα σε συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας  $20^\circ \text{C}$  και 65% αντιστοίχως. Χρησιμοποιήθηκαν όργανα ακριβείας TexLab CT250 παρέχοντας τις γραφικές παραστάσεις θλιπτικού φορτίου – παραμορφώσεως των δοκιμίων (*Σχήμα 16*). Το όργανο ασκήσεως θλιπτικού φορτίου απετέλεσε ένα πέλμα συμπίεσεως με επιφάνεια επαφής  $20 \text{ cm}^2$  και ταχύτητα κάθετης κινήσεως  $12 \text{ mm/λεπτό}$ . Ένας αισθητήρας στην κορυφή του πέλματος συμπίεσεως έλαβε μέτρηση της τιμής της ασκούμενης δυνάμεως σε κάθε πραγματοποιηθείσα δοκιμή. Ταυτοχρόνως, ένας άλλος αισθητήρας κατέγραψε τη θέση του πέλματος συμπίεσεως για συγκεκριμένη τιμή θλιπτικού φορτίου. Η θέση του πέλματος συμπίεσεως αντιστοιχούσε στο πάχος (δηλαδή παραμόρφωση) του δοκιμίου υπό συγκεκριμένο φορτίο. Τα δοκίμια που υπεβλήθησαν στη δοκιμασία θλίψεως ήταν σχήματος κυκλικού με εμβαδόν  $50 \text{ cm}^2$  και η χημική τους σύσταση ήταν πολυαιθύλενο τερεφθαλικού εστέρα (PET: polyethylene terephthalate), δηλαδή πολυεστέρα. Τα νήματα πλέξεως για τα δύο επί μέρους στημονοπλεκτά υφάσματα του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος, διέθεταν 96 κλώνους και λεπτότητα  $33,3 \text{ tex}$  ( $33.3 \text{ tex}/96\text{f}$ ). Όσον αφορά τα συνδετήρια νήματα, αυτά αποτελούνταν από έναν κλώνο και η διάμετρός τους ήταν  $0,2 \text{ mm}$ . Στη μελέτη αυτή

κατασκευάσθηκαν πέντε τριδιάστατα στημονοπλεκτά δοκίμια σε πλεκτομηχανή Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας με νούμερο 18. Τα δοκίμια αυτά διέθεταν αναμεταξύ τους διαφορετική δομή πλέξεως των δύο όψεων τους. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο δοκίμιο διέθετε και στις δύο όψεις του δομή πλέξεως με θηλιά αλυσίδας και παρεμβολή υφαδιού. Η δομή πλέξεως και των δύο όψεων του δεύτερου δοκιμίου ήταν δικτυωτή δομή με οπές ρομβοειδούς σχήματος. Το τρίτο δοκίμιο αποτελούταν από όψεις δικτυωτής δομής με οπές εξαγωνικού σχήματος. Το τέταρτο δοκίμιο έφερε όψεις εκ των οποίων η δομή της μίας ήταν θηλιά αλυσίδας με παρεμβολή υφαδιού, και της άλλης δικτυωτή δομή με οπές ρομβοειδούς σχήματος. Το πέμπτο δοκίμιο σε κάθε όψη του έφερε αφ' ενός δομή θηλιάς αλυσίδας με παρεμβολή υφαδιού, αφ' ετέρου δικτυωτή δομή με οπές εξαγωνικού σχήματος. Από διαφορετικές δομικές παραμέτρους, όπως η δομή (σχήμα θηλιάς, επιφανειακή πυκνότητα) των δύο εξωτερικών στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως, και η διάταξη των συνδετήριων νημάτων, προκύπτουν τριδιάστατα στημονοπλεκτά δοκίμια με διαφορετική ανταπόκριση στη θλίψη. Για διαφορετικά σχήματα θηλιών στις όψεις των δύο επιφανειακών στημονοπλεκτών, αντιστοιχούν συνδετήρια νήματα με διαφορετική διάταξη. Αναλόγως με τη διάταξή τους, τα συνδετήρια νήματα έχουν διαφορετική κλίση ως προς τα εξωτερικά στημονοπλεκτά μονής όψεως. Οι διαφορές αυτές στη δομή των πέντε εξεταζόμενων τριδιάστατων στημονοπλεκτών επιφέρουν διαφορετικές ιδιότητες στη θλίψη. Όσο πιο κάθετα είναι τα συνδετήρια νήματα στα δύο επί μέρους στημονοπλεκτά, τόσο περισσότερη αντίσταση παρουσιάζει το τριδιάστατο ύφασμα στη θλίψη. Στη συνέχεια παρατίθεται η πειραματική γραφική παράσταση φορτίου (N) – παραμορφώσεως (%) και των πέντε δοκιμίων (Σχήμα 16) [4].



**Σχήμα 16:** Πειραματικές καμπύλες διαγράμματος φορτίου (N) – παραμορφώσεως (%) [4].

Οι συμβολισμοί της άνωθεν γραφικής παραστάσεως υποδηλώνουν τη δομή των δύο όψεων έκαστου τριδιάστατου στημονοπλεκτού δοκιμίου: P (pillar+weft insertion=θηλιά αλυσίδας με παρεμβολή υφαδιού), R (rhombic mesh=δικτυωτή δομή με οπές ρομβοειδούς σχήματος) και H (Hexagonal mesh=δικτυωτή δομή με οπές εξαγωνικού σχήματος) [4].

Στην εργασία [13] η συμπεριφορά τριδιάστατου στημονοπλεκτού σε καταπόνηση θλίψεως έχει προσεγγισθεί και μέσω της θεωρίας της ελαστικής γραμμής. Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε εξομοίωση (Σχήμα 17α) της παραμορφώσεως του τριδιάστατου πλεκτού υπό θλιπτικό φορτίο, υπολογίζοντας και τις μεταβολές των συνδετήριων νημάτων ως προς την ακτίνα καμπυλότητάς τους και τη γωνία κλίσεώς τους κατά την άσκηση του θλιπτικού φορτίου. Η προαναφερθείσα μοντελοποίηση περιγράφει με καλή προσέγγιση το πείραμα θλίψεως, στο οποίο υπεβλήθη δοκίμιο τριδιάστατου στημονοπλεκτού. Το δοκίμιο που υπεβλήθη σε εξέταση της συμπεριφοράς του στη θλίψη, παρήχθη σε πλεκτομηχανή Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας. Τα νήματα



πλέξεως του δοκιμίου ήταν πολυεστερικής χημικής συστάσεως. Κατά το πείραμα αυτό η ράμπα θλιπτικής φορτίσεως μετακινούταν με ρυθμό 1 mm/λεπτό και το σταδιακώς μειωνόμενο πάχος του δοκιμίου μετρήθηκε με τη λειτουργία μετρήσεως της χρησιμοποιηθείσας συσκευής (εικόνα Σχήματος 17β). Κατά τη διάρκεια της ασκήσεως του θλιπτικού φορτίου, σε διάφορα στάδια ελήφθησαν μετρήσεις της γωνίας κλίσεως και της ακτίνας καμπυλότητας των συνδετήριων νημάτων, μέσω φωτογραφιών από φωτογραφική μηχανή σε δύο πλευρές του δοκιμίου· στη μία πλευρά κατά τη διεύθυνση των στηλών των θηλιών (μήκος) του δοκιμίου, και στην άλλη πλευρά κατά τη διεύθυνση των σειρών των θηλιών (πλάτος) του δοκιμίου [13].



**Σχήμα 17:** α) Μοντέλο διατάξεως συνδετήριων νημάτων με μεταβλητές ακτίνες καμπυλότητας και γωνίες κλίσεως στη διάρκεια της θλίψεως. Σημείο εφαρμογής (P) θλιπτικού φορτίου (F) σε συνδετήριο νήμα παρατηρούμενο κατά τη διεύθυνση των στηλών A και των σειρών B . β) Φωτογραφία τριδιάστατου στημονοπλεκτού υπό καταπόνηση σε θλίψη μέσω συσκευής Instron 5566 [13].

Οι μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την παραμόρφωση των συνδετήριων νημάτων χρησιμοποιώντας τη θεωρία της ελαστικής γραμμής σύμφωνα με την παραπομπή [12] είναι:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \pm \frac{M_z(x)}{EI_z} \quad \text{(4) Διαφορική εξίσωση ελαστικής γραμμής [12]}$$

όπου  $y$  (mm) είναι το βέλος κάμψεως,  $x$  είναι το σημείο, κατά το μήκος της ράβδου, στο οποίο αντιστοιχεί το βέλος κάμψεως  $y$ ,  $M_z(x)$  (N·mm) είναι η καμπτική ροπή,  $E$  (N/mm<sup>2</sup>) είναι το μέτρο ελαστικότητας Young, και  $I_z$  (mm<sup>4</sup>) είναι η ροπή αδρανείας. Το γινόμενο  $EI_z$  χαρακτηρίζεται ως μέτρο δυσκαμψίας. Το πρόσημο εξαρτάται από το σύστημα αναφοράς της θετικής και της αρνητικής φοράς της παραμορφώσεως του

δοκιμίου. Το βέλος κάμψεως  $y$  είναι η μετατόπιση ενός σημείου  $x$  του δοκιμίου, κατά την καταπόνηση και παραμόρφωσή του, ή αλλιώς η απόκλιση του σημείου  $x$  από την αρχική του θέση [12].

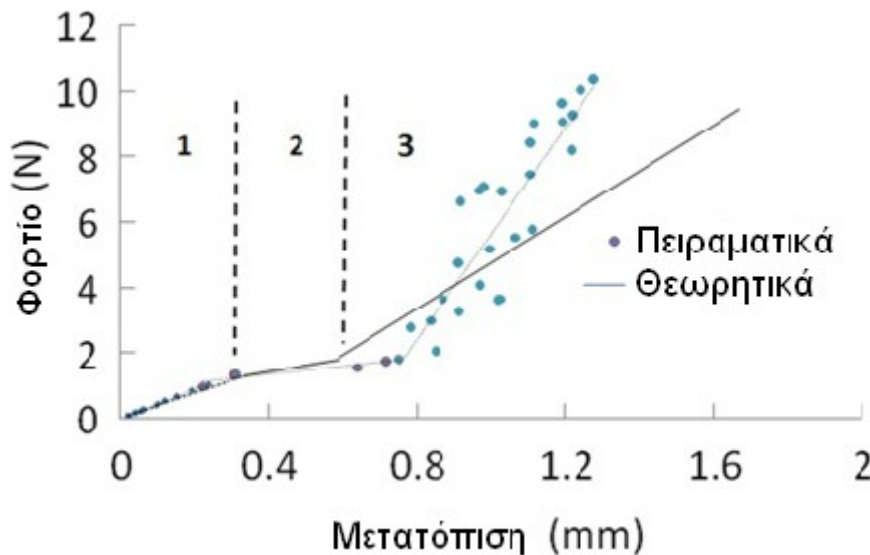
Η προηγούμενη εξίσωση εκφράζεται ισοδυνάμως, ως προς τη ροπή κάμψεως  $M_z(x)$ , με την εξής σχέση [12]:

$$EI_z \frac{d^2 y}{dx^2} = \pm M_z(x) \quad (5) [12]$$

Με δύο διαδοχικές ολοκληρώσεις της εξισώσεως αυτής προκύπτουν: η κλίση ( $dy/dx$ ) της καμπύλης με την πρώτη ολοκλήρωση (εξίσωση **6**), και το βέλος κάμψεως ( $y$ ) με τη δεύτερη ολοκλήρωση (εξίσωση **7**) [12].

$$\text{Πρώτη ολοκλήρωση: } \pm M_z(x) = EI_z \frac{d^2 y}{dx^2} \rightarrow \pm \int M_z(x) = EI_z \frac{dy}{dx} \quad (6) [12]$$

$$\text{Δεύτερη ολοκλήρωση: } \pm M_z(x) = EI_z \frac{d^2 y}{dx^2} \rightarrow \pm \iint M_z(x) = EI_z y \quad (7) [12]$$



**Σχήμα 18:** Σύγκριση πειραματικών με θεωρητικά αποτελέσματα κατά τη δοκιμασία θλίψεως [13].

Παρατηρώντας το διάγραμμα φορτίου (N) – μετατοπίσεως (mm) του Σχήματος 18, διακρίνονται στις καμπύλες τρεις περιοχές: η περιοχή 1 που χαρακτηρίζεται ως ελαστική, η περιοχή 2 ως περιοχή διαρροής και η περιοχή 3 ως πλαστική περιοχή. Στην ελαστική περιοχή (1) παρατηρείται αύξηση του φορτίου σε γραμμική αναλογία με την

αύξηση της επιβραχύνσεως του δοκιμίου. Στην περιοχή διαρροής (2), για σταθερό ή αμυδρώς μεταβαλλόμενο φορτίο αντιστοιχεί εξακολουθητική αύξηση της επιβραχύνσεως. Συνεπώς, η καμπύλη, όπως παρατηρείται στο *Σχήμα 18*, είναι σχεδόν παράλληλη με τον άξονα της μετατοπίσεως (επιβραχύνσεως). Στην πλαστική περιοχή (3), το τριδιάστατο στημονοπλεκτό δείγμα έχει υποστεί τόση επιβράχυνση που οι εξωτερικές στημονοπλεκτές επιφάνειές του τείνουν να προσεγγίσουν η μία την άλλη. Σε αυτό το στάδιο τα συνδετήρια νήματα, λόγω της έντονης καμπτικής τους παραμορφώσεως (μεγάλο βέλος κάμψεως), εφάπτονται μεταξύ τους, και μέσω της επαφής τους καθίσταται δυσκολότερη η συνέχιση της επιβραχύνσεως, διότι η ενέργεια του ασκούμενου φορτίου διαχέεται στα συνδετήρια νήματα που βρίσκονται σε επαφή. Επιπλέον στην πλαστική περιοχή (3) παρατηρείται απόκλιση της θεωρητικής καμπύλης από την αντίστοιχη πειραματική (*Σχήμα 18*). Αυτό οφείλεται στην υπερεκτίμηση της επιβραχύνσεως από την εκτελεσθείσα εξομοίωση της εργασίας [13], καθώς δεν υπολογίζεται στο στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως ότι τα συνδετήρια νήματα, λόγω της έντονης κάμψεώς τους, εφάπτονται αναμεταξύ τους, με αποτέλεσμα να συμπιέζονται και συνεπώς να επιφέρουν περαιτέρω αντίσταση στο ασκούμενο θλιπτικό φορτίο. Επίσης η συμπεριφορά του δοκιμίου στη θλίψη μπορεί να επηρεαστεί από τη σκληρότητα της υφής των πλευρικών στημονοπλεκτών του τριδιάστατου στημονοπλεκτού δείγματος [13].

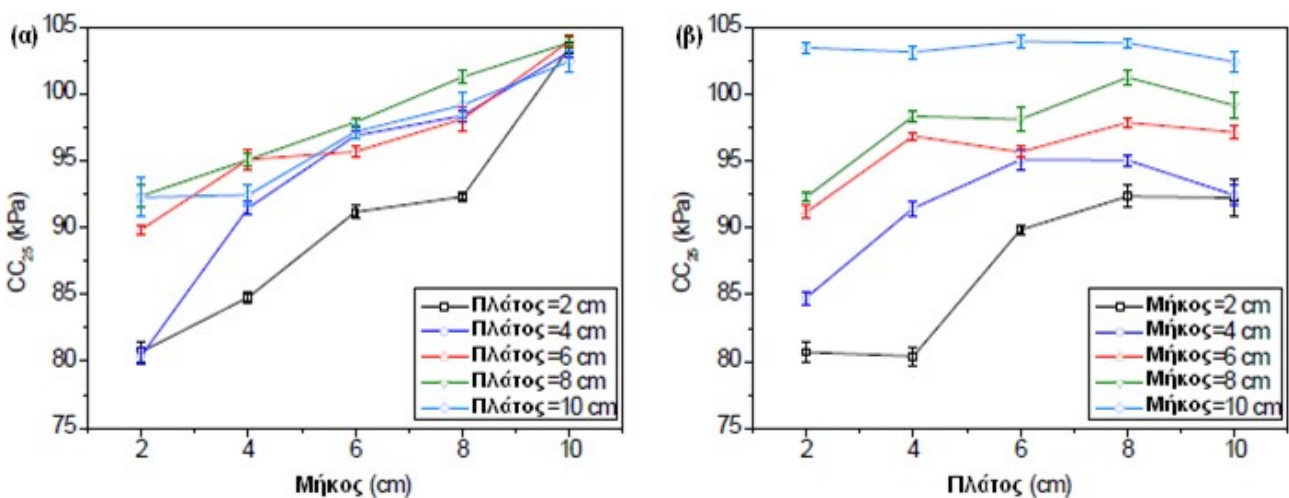
Σύμφωνα με την εργασία [14] πραγματοποιήθηκε δοκιμασία θλίψεως σε είκοσι πέντε τριδιάστατα στημονοπλεκτά δοκίμια με διαστάσεις 2, 4, 6, 8 και 10 cm σε μήκος (κατά τη διεύθυνση των στηλών) και σε πλάτος (κατά τη διεύθυνση των σειρών), διατηρώντας σταθερό μήκος για κάθε τιμή διαστάσεως, μεταβάλλοντας το πλάτος στις προαναφερθείσες τιμές διαστάσεων, και αντιστρόφως διατηρώντας σταθερό το πλάτος και μεταβάλλοντας το μήκος. Με αυτόν τον τρόπο επετεύχθησαν είκοσι πέντε συνδυασμοί μεγεθών δοκιμίων. Τα δοκίμια αυτά κατασκευάσθηκαν σε μία υψηλής ταχύτητας μηχανή Ράσσελ GE296 διπλής βελονοστοιχίας, εξοπλισμένη με έξι κτένια κλωστοφόρων. Το νούμερο της μηχανής ήταν E18 και χρησιμοποιήθηκαν πολύκλινα λεπτότητας 300 Denier με 96 κλώνους (300D/96F για τα εξωτερικά, επιφανειακά

στημονολεκτά στα κτένια κλωστοφόρων GB1, GB2, GB5, GB6) και μονόκλινα λεπτότητας διαμέτρου 0,2 mm (για τα συνδετήρια νήματα στα κτένια κλωστοφόρων GB3, GB4) νήματα πολυεστέρα [14].

Η δοκιμασία της θλίψεως στα είκοσι πέντε δοκίμια, που περιγράφεται στην εργασία [14], πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ASTM D 575, το οποίο αναφέρεται σε μεθοδολογίες εξετάσεως ελαστικών ιδιοτήτων υπό καταπόνηση σε θλίψη. Για τη διεξαγωγή της δοκιμασίας χρησιμοποιήθηκε συσκευή Instron 5566 Universal Testing Machine (Εικόνα 2) με δύο κυκλικές βάσεις διαμέτρου 15 cm και ταχύτητα συνθλίψεως 12 mm/λεπτό. Οι δοκιμές διεξήχθησαν σε κανονική ατμόσφαιρα για κλωστοϋφαντουργικά υλικά (θερμοκρασία 20°C, σχετική υγρασία 65%) [14].

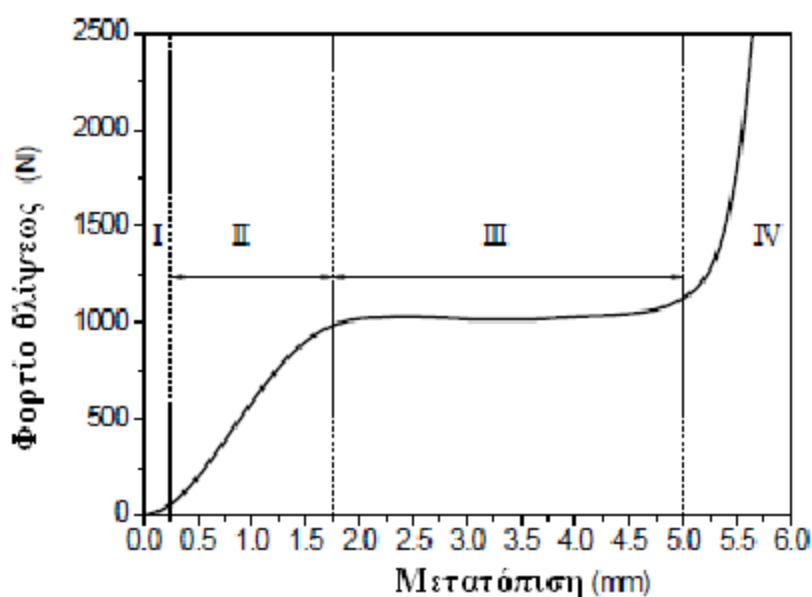


**Εικόνα 2:** Συσκευή συνθλίψεως για τη δοκιμασία των τριδιάστατων στημονολεκτών δοκιμών σε θλίψη [14].



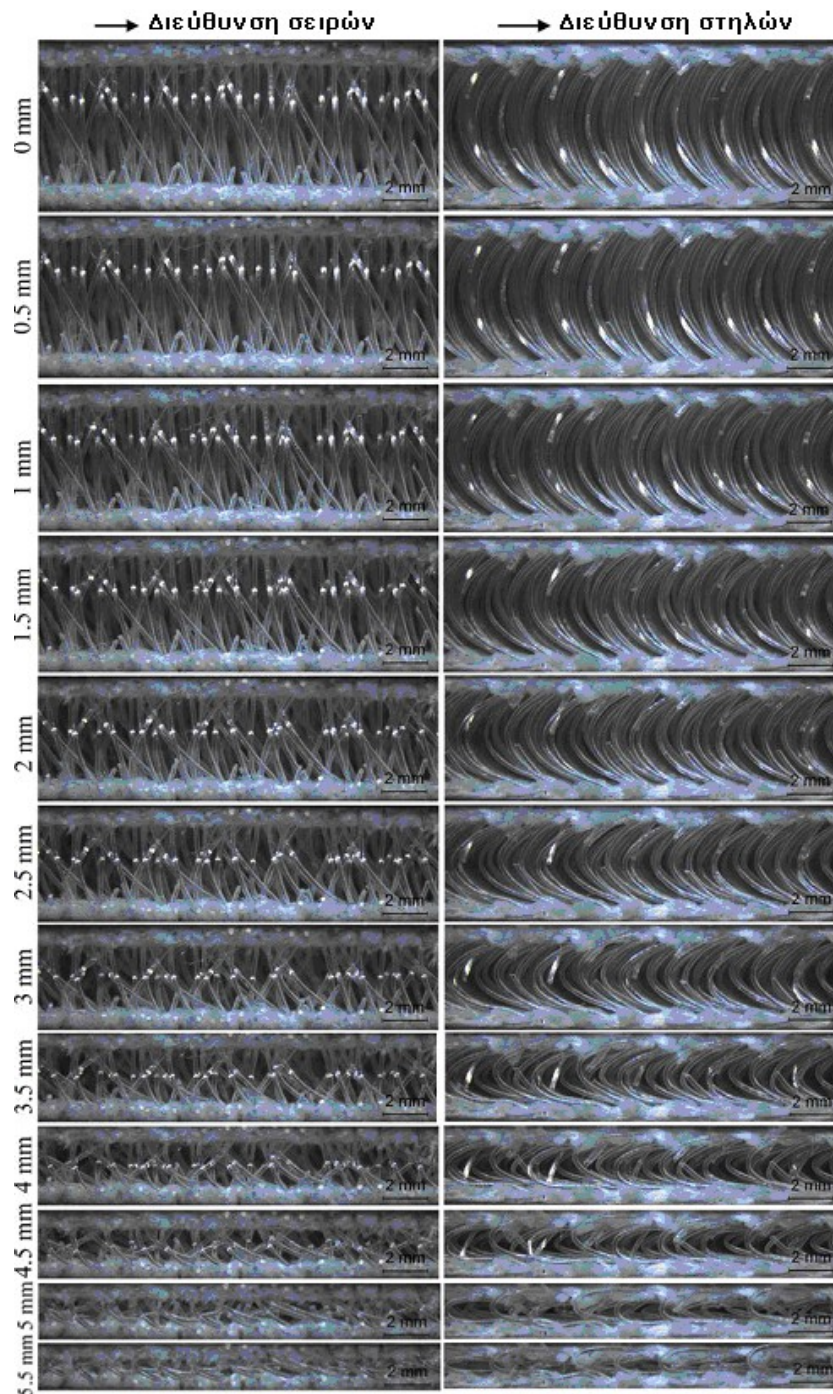
**Σχήμα 19:** Επίδραση α) του μήκους και β) του πλάτους των δοκιμών στις ιδιότητες θλίψεώς τους [14].

Από τις διεξαχθείσες δοκιμές της εργασίας [14] προέκυψαν συμπεράσματα σχετικώς με τον τρόπο τοποθέτησής των δοκιμίων στη κυκλική βάση της συσκευής, και το μέγεθος των δοκιμίων, παράμετροι οι οποίες επηρέασαν τις ιδιότητες των δοκιμίων ως προς τη συμπεριφορά τους στη θλίψη. Ο τρόπος τοποθέτησής, ο οποίος περιελάμβανε προσκόλληση και μη προσκόλληση (είδος στηρίξεως) των δοκιμίων στις βάσεις συσκευής ελέγχου (*Εικόνα 2*), δεν επέφερε σημαντική διαφορά στην ανταπόκριση των δοκιμίων στα θλιπτικά φορτία. Αντιθέτως, οι διαστάσεις των δοκιμίων είχαν πιο καθοριστικό ρόλο στην αντίδραση των δοκιμίων κατά τη δοκιμασία ελέγχου στη θλίψη, καθώς βάσει των προτύπων EN ISO 3386 "Flexible cellular polymeric materials - Determination of stress-strain characteristics in compression", για διαφορετικές τιμές μήκους (*Σχήμα 19α*) κατά τη διεύθυνση των στηλών στην *Εικόνα 3*, και πλάτους (*Σχήμα 19β*) κατά τη διεύθυνση των σειρών στην *Εικόνα 3*, προέκυψαν διαφορές στις ιδιότητες των δοκιμίων στη θλίψη, λόγω διαφορετικής διατάξεως των συνδετήριων νημάτων ανά έκαστη διεύθυνση. Στις γραφικές παραστάσεις του *Σχήματος 19*, το μέγεθος  $CC_{25}$  του κάθετου άξονα είναι η χαρακτηριστική τάση θλίψεως και αντιπροσωπεύει την θλιπτική τάση που αντιστοιχεί στο στάδιο διαρροής (περιοχή III διαγράμματος του *Σχήματος 20*) της θλίψεως των δοκιμίων, για 25% παραμόρφωση των δοκιμίων [14].



**Σχήμα 20:** Καμπύλη φορτίου (N) – μετατοπίσεως (mm) κατά τη θλίψη ενός εκ των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων [14].

Από το παραπάνω διάγραμμα του *Σχήματος 20* διαπιστώνεται πως η ανταπόκριση ενός δοκιμίου στη θλίψη διακρίνεται σε τέσσερα στάδια, τα οποία αντιστοιχούν σε τέσσερις περιοχές του διαγράμματος. Στο στάδιο θλίψεως (I) με αρχικό φορτίο, το δοκίμιο υφίσταται μικρή παραμόρφωση και ελαφρά ολίσθηση των θηλιών των συνδετήριων νημάτων, οι οποίες έχουν πλεχθεί στις στημονοπλεκτές επιφάνειες του δοκιμίου. Στο στάδιο (II) παρατηρείται γραμμική αναλογία φορτίου – μετατοπίσεως (ελαστική περιοχή) και κάμψη των συνδετήριων νημάτων καθώς τα άνω και κάτω άκρα τους εφάπτονται με τις στημονοπλεκτές επιφάνειες του δοκιμίου υπό αυξανόμενο φορτίο. Στο στάδιο (III) αντιστοιχεί η περιοχή διαρροής του δοκιμίου, η οποία περιγράφεται από σημαντική μετατόπιση υπό σχεδόν σταθερό φορτίο. Αυτό το στάδιο είναι ιδιαίτερος χαρακτηριστικό για τα δοκίμια και ενδεικτικό της δυνατότητάς τους στην απορρόφηση ενέργειας του ασκούμενου φορτίου, διότι εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την αντοχή τους και την παραμόρφωσή τους στη θλίψη. Το στάδιο (IV) χαρακτηρίζεται από την περιοχή πλαστικής παραμορφώσεως, όπου οι δύο στημονοπλεκτές επιφάνειες του τριδιάστατου στημονοπλεκτού δοκιμίου τείνουν να έρθουν σε επαφή και τα συνδετήρια νήματα εφάπτονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να ανθίστανται στη θλίψη περισσότερο, καθώς περιορίζεται η μετατόπισή τους. Επίσης έχουν ληφθεί στα στάδια της συμπεριφοράς και ανταποκρίσεως των δοκιμίων στη θλίψη που περιγράφονται προηγουμένως, μέσω μικροσκοπίου φωτισμού (LEICA M165 C), φωτογραφίες της εγκάρσιας τομής τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων που παρατίθενται στην *Εικόνα 3* [14].

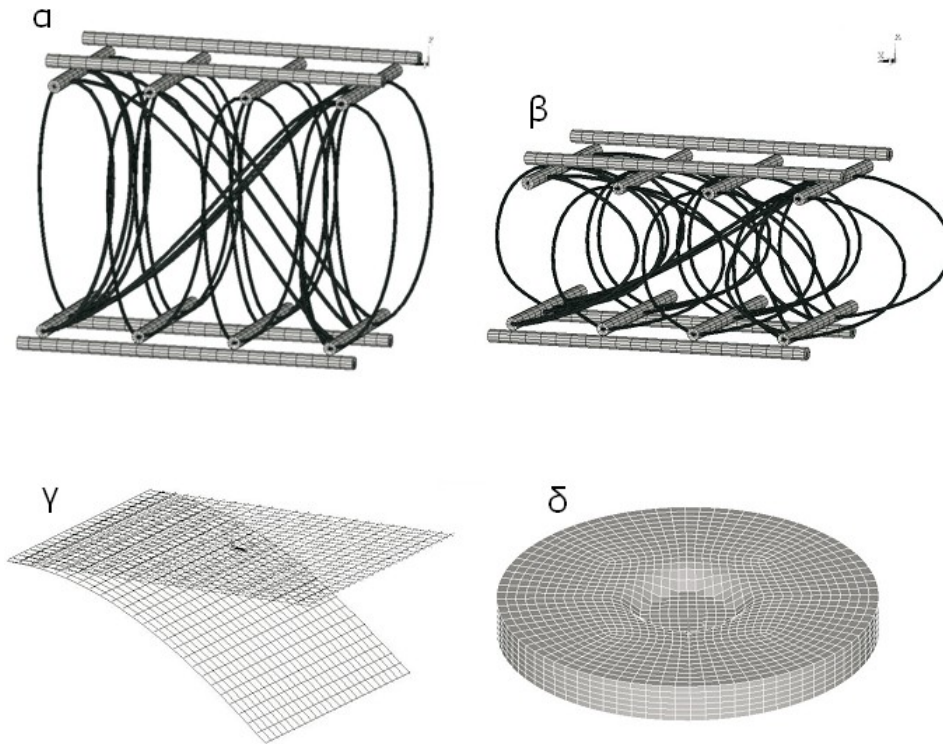


**Εικόνα 3:** Φωτογραφίες εγκάρσιας τομής τριδιάστατου στημονοπλεκτού στο αρχικό και ελαστικό στάδιο (μετατόπιση 0 – 1.5 mm), στο στάδιο διαρροής (2 – 4.5 mm) και στο στάδιο πλαστικής παραμορφώσεως (5 και 5.5 mm) [14].

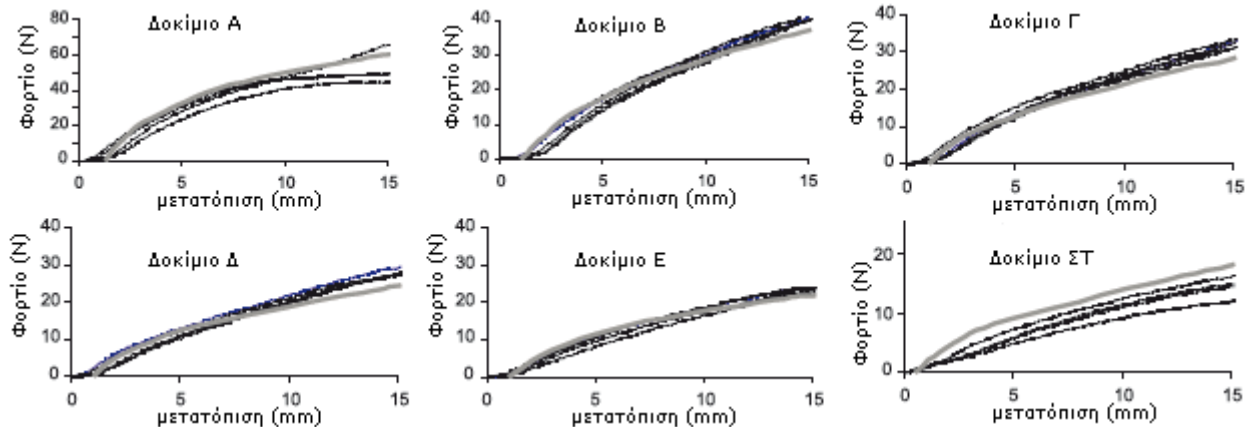
Στη μελέτη [15] ερευνήθηκε η συμπεριφορά τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, ειδικώς κατασκευασμένων για εφαρμογές οικοδομήσεως με σκυρόδεμα, στη θλίψη. Τα υφάσματα αυτά παρήχθησαν σε πλεκτομηχανή Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας, της οποίας ο τύπος είναι HDR 6-7 DPLM, Karl Mayer Textilmaschinenfabrik GmbH, Obertshausen, με ειδική τροποποίηση για εφαρμογές με σκυρόδεμα [16]. Τα νήματα πλέξεως των εν λόγω υφασμάτων ήταν πολύκλωνα

νήματα χημικής συστάσεως πολυπροπυλενίου και λεπτότητας 16 tex για τα δύο εκατέρωθεν διδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα (δύο όψεις) των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, προνήματα ανθεκτικά σε αλκαλικό περιβάλλον, χημικής συστάσεως υάλου και λεπτότητας 2400 tex για τα παρεμβαλλόμενα στημόνια, προνήματα ανθεκτικά σε αλκαλικό περιβάλλον, χημικής συστάσεως υάλου και λεπτότητας 2400 tex, με στριμμένα νήματα χημικής συστάσεως πολυαμιδίου ως περίβλημα των συγκεκριμένων προνημάτων για τα παρεμβαλλόμενα υφάδια, μονόκλινα νήματα χημικής συστάσεως πολυεστέρα και λεπτότητας διαμέτρου 0,25 mm για την πρώτη κατηγορία συνδετήριων νημάτων, και μονόκλινα νήματα χημικής συστάσεως πολυεστέρα και λεπτότητας διαμέτρου 0,30 mm για τη δεύτερη κατηγορία συνδετήριων νημάτων. Τα δείγματα δοκιμασίας που προέκυψαν είχαν αναμεταξύ τους διαφορετικές κλίσεις συνδετήριων νημάτων, με αντίκτυπο στις ιδιότητες θλίψεως τους (Σχήμα 22). Η εργασία [15] αναφέρει τις παραπομπές [17,18] για να περιγράψει τη μέθοδο εξετάσεως των δοκιμίων στη θλίψη. Βάσει της μεθόδου αυτής τοποθετήθηκε στη συσκευή ελέγχου θλίψεως Zwick/Roell 2.5 ένα πέλμα πίεσεως διαμέτρου 50 mm. Η ταχύτητα ασκήσεως θλιπτικού φορτίου ήταν 100 mm/λεπτό και τα εξετασθέντα δοκίμια κόπηκαν σε κυκλική μορφή με διάμετρο 200 mm. Εξετάσθηκαν οι ιδιότητες των νημάτων που απαρτίζουν τις εξωτερικές στημονοπλεκτές επιφάνειες, και εκείνες των συνδετήριων νημάτων, ώστε να προκύψει η συσχέτιση των ιδιοτήτων των υφασμάτων αυτών στη θλίψη με τις παραμέτρους της δομής τους. Στην εργασία [15], χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method ή αλλιώς FEM), πραγματοποιήθηκε η εξομοίωση της θλίψεως των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων σε δύο κλίμακες, τη μικροσκοπική και τη μακροσκοπική κλίμακα. Η μικροσκοπική κλίμακα αφορά την αντίσταση της δομικής μονάδας στη θλίψη για τα συνδετήρια νήματα (Σχήμα 21α και β), και στην κάμψη για τα επιφανειακά στημονοπλεκτά (Σχήμα 21γ), ενώ η μακροσκοπική κλίμακα αφορά τη σύνθετη παραμόρφωση κατά τη θλίψη των δοκιμίων, εξετάζοντάς τα ως ένα ολόκληρο σύνολο (Σχήμα 21δ). Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ήταν η αντικατάσταση της διακριτής δομής από τη συνεχή δομή, ώστε η μοντελοποιημένη δομή να φέρει ενιαία και πανομοιότυπη μηχανική συμπεριφορά [15].





**Σχήμα 21:** Μοντέλο παραμορφώσεως συνδετήριων νημάτων δείγματος δοκιμασίας α) σε κατάσταση ηρεμίας και β) σε κατάσταση παραμορφώσεως. Μοντέλο παραμορφώσεως γ) στημονοπλεκτικής επιφάνειας (όψεως) τριδιάστατου δοκιμίου λόγω κάμψεως και δ) τριδιάστατου δοκιμίου σε μακροσκοπική κλίμακα κατά τη θλίψη του από την κυκλική βάση της συσκευής συνθλίψεως [15].



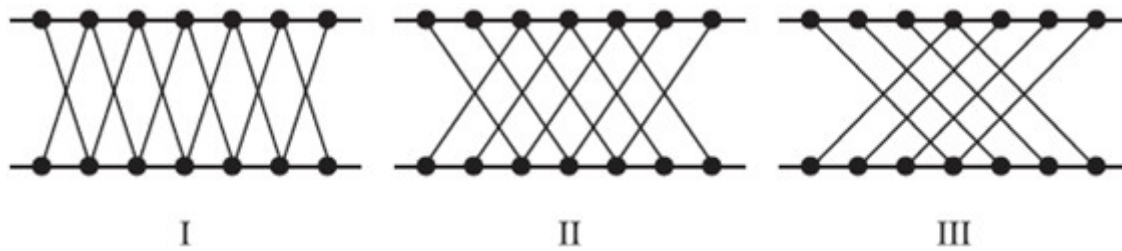
**Σχήμα 22:** Γραφικές παραστάσεις φορτίου (N) – μετατοπίσεως (mm) διαφορετικών δοκιμών ελέγχου στη θλίψη, προκύπτουσες από το πείραμα (μελανές καμπύλες) και την εξομοίωση (φαιές καμπύλες) [15].

Όπως αναφέρεται στην εργασία [15], από τις γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 22 διαπιστώνεται μέσω συγκρίσεως των καμπυλών, πως τα πειραματικά αποτελέσματα της δοκιμασίας (μελανές καμπύλες) είναι σε καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα εξομοιώσεως (φαιές καμπύλες), προσφέροντας με τον τρόπο αυτόν δυνατότητα προβλέψεως των ιδιοτήτων θλίψεως των τριδιάστατων στημονοπλεκτών

υφασμάτων, ειδικώς κατασκευασμένων για εφαρμογές με σκυρόδεμα στο πεδίο οικοδομήσεως.

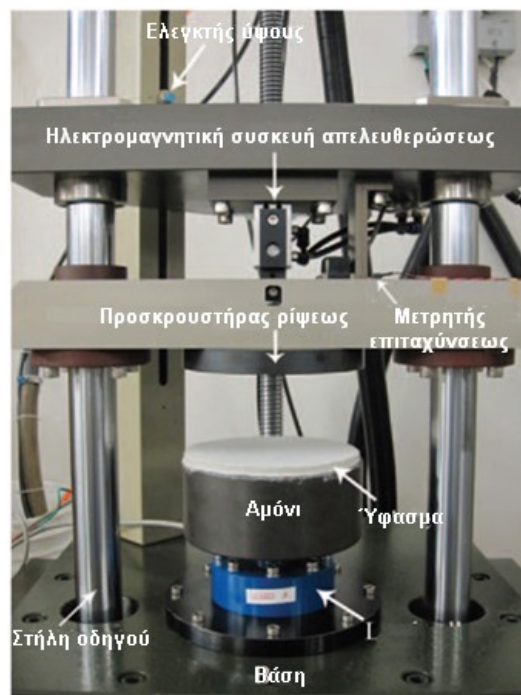
#### 4.2. Ιδιότητες στην πρόσκρουση

Τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα έχουν βρει πεδίο εφαρμογής ως υλικά προστατευτικού εξοπλισμού κατά της προσκρούσεως. Λόγω της δομής τους φέρουν ιδιότητες που τα καθιστούν κατάλληλα και ικανά να αντέχουν σε καταπονήσεις προσκρούσεως. Ρυθμίζοντας τα δομικά χαρακτηριστικά τους, διαμορφώνεται το επίπεδο και το εύρος της αντοχής τους σύμφωνα με τις εκάστοτε επιθυμητές τελικές χρήσεις. Μέσω διεξαχθείσας έρευνας [19] αναγνωρίστηκε η συσχέτιση και επίδραση των δομικών χαρακτηριστικών στις ιδιότητες αντοχής τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμών στην πρόσκρουση, εφόσον κατασκευάσθηκαν δώδεκα τέτοια δοκίμια σε στημονοπλεκτομηχανή Ράσσελ GE296 (RD6) υψηλής ταχύτητας, με διπλή βελονοστοιχία και νούμερο E18. Τα παραγόμενα δοκίμια απετελέσθησαν από διάφορα πάχη, δομές εκατέρωθεν πλευρικών στημονοπλεκτών μονής όψεως, λεπτότητα και κλίση συνδετήριων νημάτων, για την ανάδειξη της επιδράσεως των διαφορετικών δομικών χαρακτηριστικών στις ιδιότητες των δοκιμών. Οι χρησιμοποιηθείσες δομές των επιφανειακών στημονοπλεκτών μονής όψεως είναι οι δομές Locknit, θηλιά αλυσίδας με εναπόθεση νήματος, δικτυωτό πλέγμα μικρού ρομβοειδούς σχήματος και δικτυωτό πλέγμα μεγάλου εξαγωνικού σχήματος (*Εικόνα 5* στη σελίδα 50). Η χημική σύσταση των συνδετήριων νημάτων ήταν πολυεστερική. Η γραμμική πυκνότητά τους για τα έντεκα εκ των δώδεκα δειγμάτων ήταν νήματα διαμέτρου 0,20 mm, ενώ για το ένα δείγμα ήταν νήματα διαμέτρου 0,16 mm. Η κλίση των συνδετήριων νημάτων διαφέρει βάσει του αριθμού των βελονών κατά τον οποίο μετατοπίσθηκαν τα αντίστοιχα κτένια κλωστοφόρων (*Σχήμα 23*). Τα νήματα που απετέλεσαν τα στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως ήταν πολύκλωνα νήματα πολυεστέρα 300D/96F, δηλαδή νήματα γραμμικής πυκνότητας 300 denier και 96 κλώνων [19].



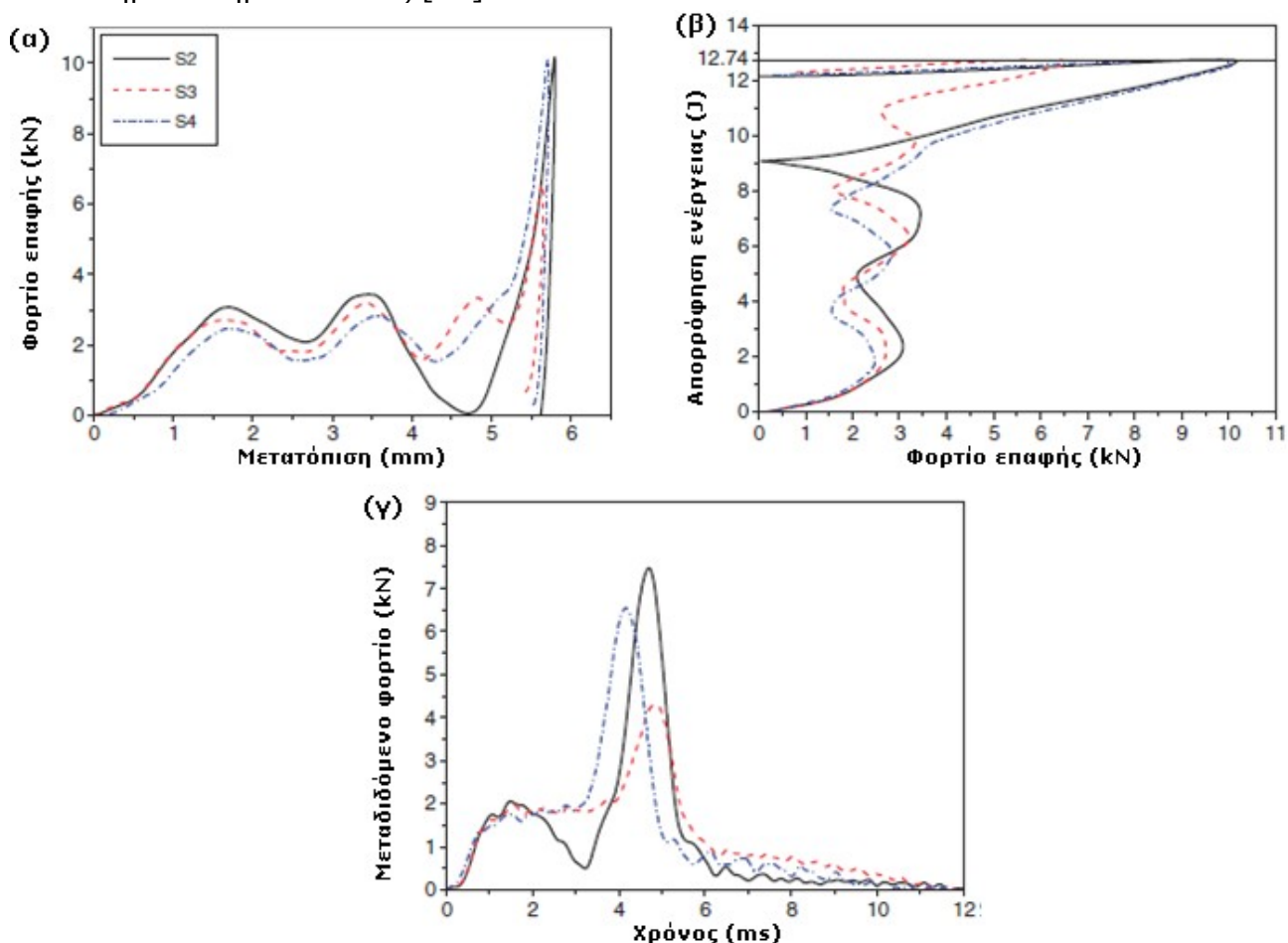
**Σχήμα 23:** Κλίση συνδετήριων νημάτων. Μετατόπιση κτενιών κλωστοφόρων (I) κατά μία βελόνη, (II) κατά δύο βελόνες και (III) κατά τρεις βελόνες [19].

Η δοκιμασία προσκρούσεως της εργασίας [19] πραγματοποιήθηκε μέσω της χρήσεως της συσκευής προσκρούσεως που παρουσιάζεται στην *Εικόνα 4*. Η ταχύτητα προσκρούσεως ήταν 1.98 m/s και η ενέργεια προσκρούσεως ήταν 12.74 J. Ο προσκρουστήρας τοποθετήθηκε σε απόσταση 20 cm πάνω από τα δοκίμια, η επιφάνειά του ήταν κυκλικού σχήματος με διάμετρο 150 mm και το βάρος του ήταν 6,5 kg. Τα δείγματα που τοποθετήθηκαν στο αμόνι, κόπηκαν με ακτίνα laser διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) σε κυκλικό σχήμα διαμέτρου 145 mm. Ένας μετρητής επιταχύνσεως ήταν προσκολλημένος στον προσκρουστήρα για την καταγραφή της επιταχύνσεως προσκρούσεως. Κάτω από το αμόνι ήταν τοποθετημένο ένα κύτταρο ανιχνεύσεως φορτίου για την καταγραφή της μεταδιδόμενης τάσεως. Η δοκιμασία διεξήχθη υπό συνθήκες περιβάλλοντος με θερμοκρασία 20° C και σχετική υγρασία 65% και βάσει των προτύπων ASTM D 1596-97 [19].



**Εικόνα 4:** Συσκευή δοκιμής σε πρόσκρουση [19].

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμασίας η εργασία [19] εξήγαγε κάποια συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των δοκιμών στην πρόσκρουση σε σχέση με τα δομικά χαρακτηριστικά τους, επεξηγώντας και εκτιμώντας τις γραφικές παραστάσεις από τις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις. Η εκτίμηση των ιδιοτήτων των δοκιμών στην πρόσκρουση πραγματοποιήθηκε συναρτήσει του μεγίστου φορτίου επαφής, του μεγίστου μεταδιδόμενου φορτίου και της απορρόφησης ενέργειας. Η κλίση των συνδετήριων νημάτων επηρέασε τη συμπεριφορά των δοκιμών στην πρόσκρουση, καθώς όπως μαρτυρούν οι γραφικές παραστάσεις του Σχήματος 24, παρατηρείται διαφορετική αντίδραση στην πρόσκρουση για δοκίμια με διαφορετική κλίση των συνδετήριων νημάτων τους [19].



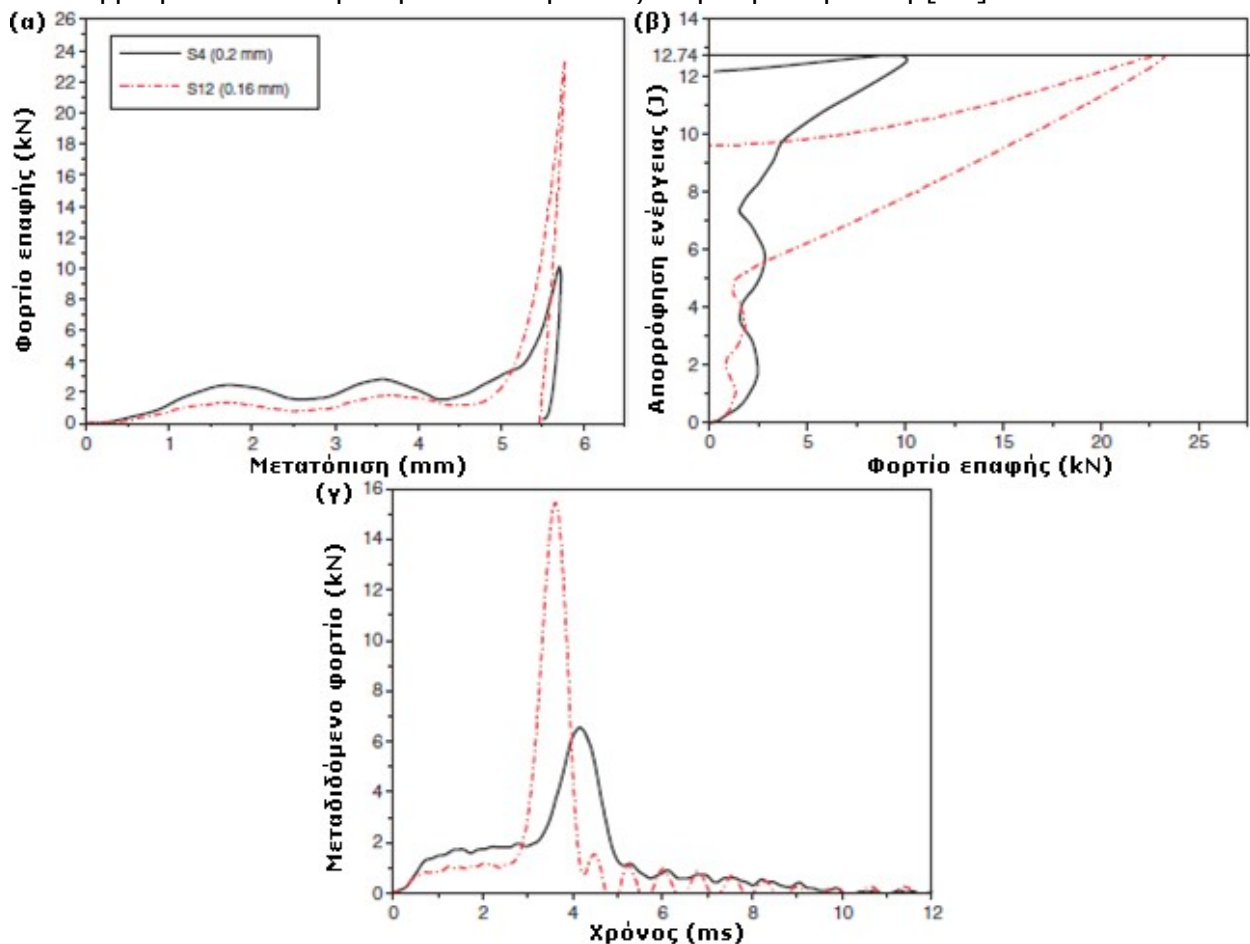
**Σχήμα 24:** Επίδραση της κλίσης των συνδετήριων νημάτων στην ανταπόκριση των δοκιμών κατά την πρόσκρουση. Μετατόπιση κτενίων κλωστοφόρων (S2) κατά μία βελόνη, (S3) κατά δύο βελόνες και (S4) κατά τρεις βελόνες [19].

Όσο πιο κάθετα είναι τα συνδετήρια νήματα στα στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως, δηλαδή όσο πιο παράλληλα με τη διεύθυνση του ασκούμενου φορτίου προσκρούσεως, τόσο πιο υψηλή είναι η αντίσταση των δοκιμών στην πρόσκρουση.

Όσο πιο κάθετα είναι τα συνδετήρια νήματα στις επιφάνειες του τριδιάστατου στημονοπλεκτού, τόσο πιο μικρό είναι το μήκος τους. Αντιθέτως όταν αυξάνεται η κλίση τους ως προς τις δύο στημονοπλεκτές πλευρές του δοκιμίου, το μήκος τους αυξάνεται. Από την εξίσωση **(1)** (σελίδα 29) που εκφράζει το λυγισμό μιας ράβδου, σε αντιστοίχιση με τα συνδετήρια νήματα, γίνεται αντιληπτό πως για μεγαλύτερο μήκος νημάτων ( $l$ ) –κεκλιμένα συνδετήρια νήματα– το φορτίο λυγισμού ( $P$ ) μειώνεται, δηλαδή τα συνδετήρια νήματα λυγίζουν πιο εύκολα, υπό μικρότερο φορτίο λυγισμού. Το αντίθετο ισχύει για κάθετα συνδετήρια νήματα με πιο μικρό μήκος. Η αποτελεσματική συμπεριφορά των δοκιμίων ως προστατευτικών εξοπλισμών, χρήζει μέτρου και ισορροπίας καθώς υπάρχει ένα κρίσιμο και καθοριστικό σημείο κατά το οποίο η αντίσταση στην πρόσκρουση συνοδεύεται και από την προστατευτική λειτουργία των δοκιμίων. Όταν τα συνδετήρια νήματα είναι πολύ κάθετα στις εκατέρωθεν επιφάνειες, τότε ενώ είναι υψηλή η αντίσταση στην πρόσκρουση, η απορρόφηση της ενέργειας προσκρούσεως είναι χαμηλή και συνεπώς είναι υψηλή η μεταδιδόμενη ενέργεια προσκρούσεως από τη μία επιφάνεια, η οποία υφίσταται την καταπόνηση, στην άλλη επιφάνεια, μέσω των συνδετήριων νημάτων. Κατά αυτόν τον τρόπο το τριδιάστατο στημονοπλεκτό δοκίμιο συμπεριφέρεται ως σκληρό υλικό, με μειωμένη ικανότητα παραμορφώσεως, ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια προσκρούσεως. Επίσης, εάν τα συνδετήρια νήματα είναι λιγότερο κάθετα στις στημονοπλεκτές όψεις, τότε το δοκίμιο παραμορφώνεται με ευκολία, δηλαδή με μικρό φορτίο προσκρούσεως, και επομένως η αντίσταση στην πρόσκρουση είναι μειωμένη. Λόγω της εύκολης παραμορφώσεως οι δύο εξωτερικές στημονοπλεκτές επιφάνειες τείνουν να έρθουν σε επαφή υπό συνθήκες προσκρούσεως. Η παραμόρφωση αυτή είναι πλαστική, δηλαδή το δοκίμιο δεν επανέρχεται πλήρως στην αρχική του κατάσταση· η περιοχή διαρροής του δοκιμίου, η οποία αντιπροσωπεύει την ικανότητά του στην απορρόφηση ενέργειας μέσω της αυξανόμενης του παραμορφώσεως υπό σχεδόν σταθερό φορτίο, είναι πολύ περιορισμένη, οπότε η απορρόφηση ενέργειας προσκρούσεως είναι χαμηλή. Άρα πολύ κάθετα και πολύ κεκλιμένα συνδετήρια νήματα ως προς τις δύο επιφάνειες του δοκιμίου, καταλήγουν σε μη ικανοποιητικές ιδιότητες προστασίας. Αντιθέτως, η ενδιάμεση κατάσταση, με κλίση συνδετήριων νημάτων που

επιτυγχάνεται με μετατόπιση των αντίστοιχων κτενιών κλωστοφόρων κατά δύο βελόνες, καταλήγει σε βέλτιστες επιδόσεις των τριδιάστατων στημονοπλεκτών κλωστούφαντουργικών προϊόντων ως προς την προστατευτική τους λειτουργικότητα. Τα συνδετήρια νήματα των προϊόντων αυτών δε λυγίζουν ούτε πολύ δύσκολα (κάθετα συνδετήρια νήματα) ούτε πολύ εύκολα (κεκλιμένα συνδετήρια νήματα), ώστε και στις δύο περιπτώσεις να μεταδίδεται αρκετή ενέργεια προσκρούσεως με χαμηλή απορρόφησή της. Η ενδιάμεση κλίση που διαθέτουν αυτά τα συνδετήρια νήματα είναι κατάλληλη, ώστε να επιτρέπει στα δοκίμια ικανοποιητική απορρόφηση της ενέργειας προσκρούσεως για εφαρμογές προστατευτικού εξοπλισμού [19].

Στην εργασία [19] μελετήθηκε η εξάρτηση των ιδιοτήτων των δοκιμίων στην κρούση, από τη λεπτότητα των συνδετήριων νημάτων τους, χρησιμοποιώντας δείγματα που έχουν τα υπόλοιπα δομικά χαρακτηριστικά τους όμοια, και διαφέρουν μόνο στη λεπτότητα των συνδετήριων νημάτων, τα οποία έχουν διάμετρο 0,20 mm και 0,16 mm. Τα συμπεράσματα που διαμορφώθηκαν, προέκυψαν από γραφικές παραστάσεις που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια δοκιμασίας στην πρόσκρουση [19].



**Σχήμα 25:** Επίδραση της λεπτότητας των συνδετήριων νημάτων στην πρόσκρουση [19].

Η εγκάρσια τομή των συνδετήριων νημάτων είναι κυκλικού σχήματος και η ροπή αδρανείας ( $I$ ) που έχουν, όπως παρατίθεται στην εργασία [19], εκφράζεται από την εξίσωση:

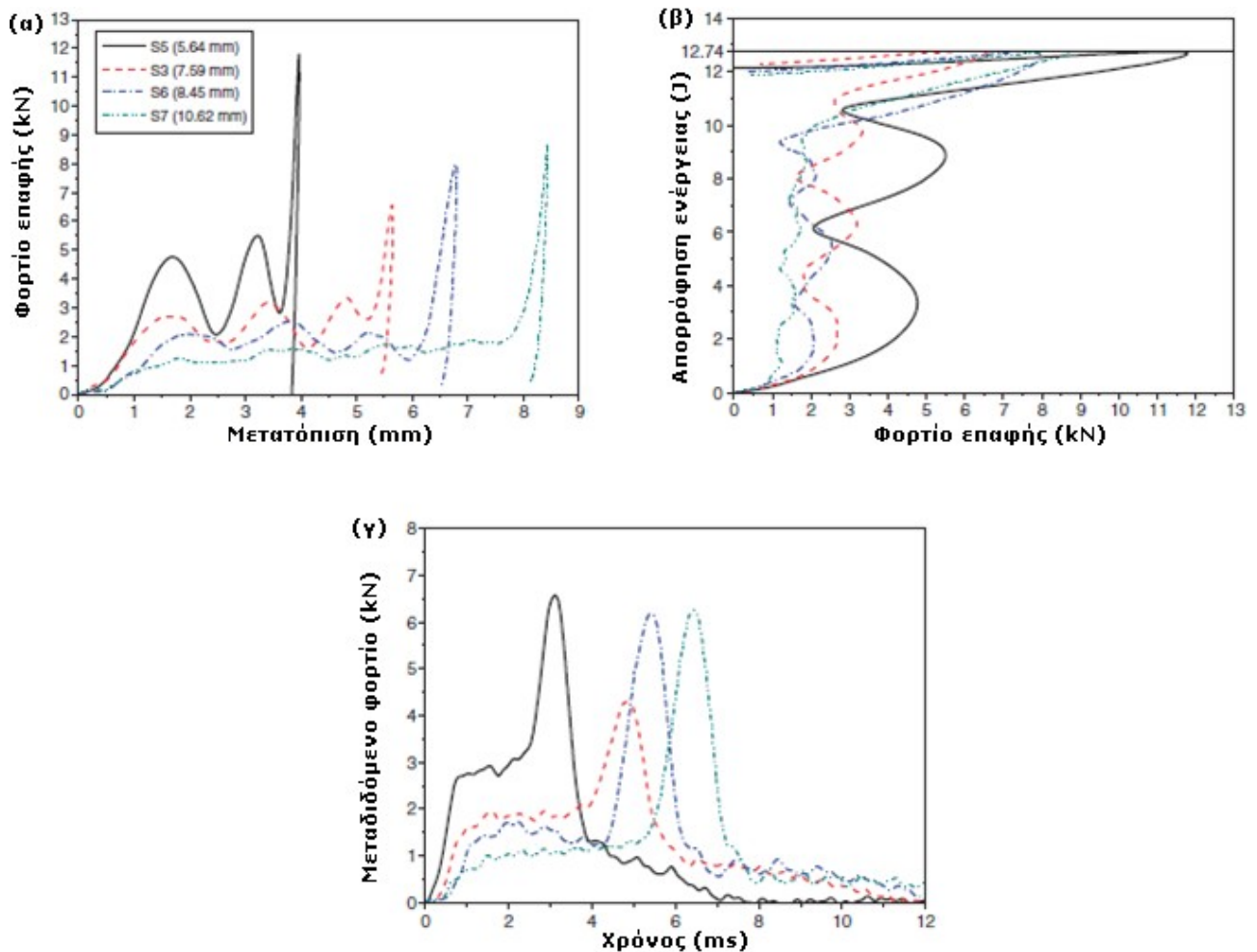
$$I = \frac{\pi R^4}{4} \quad \text{(8) [12,19]}$$

η οποία σε συνδυασμό με την εξίσωση λυγισμού **(1)** (σελίδα 29) εξηγεί, πως νήματα με μεγαλύτερη ακτίνα ( $R$ ) έχουν μεγαλύτερη ροπή αδρανείας ( $I$ ), επομένως και υψηλότερο φορτίο λυγισμού ( $P$ ): δηλαδή λυγίζουν πιο δύσκολα, υπό υψηλότερο φορτίο. Επίσης, στη γραφική παράσταση του Σχήματος 25α φαίνεται πως τα νήματα μεγαλύτερης διαμέτρου παρουσιάζουν χαμηλότερη απορρόφηση ενέργειας από αυτήν των λεπτότερων νημάτων στα αρχικά στάδια, δηλαδή το ελαστικό στάδιο και το στάδιο διαρροής. Αντιθέτως, σε υψηλές τιμές μετατοπίσεως όπου αντιστοιχεί το στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως, παρατηρείται χαμηλότερο φορτίο επαφής για νήματα μεγαλύτερης διαμέτρου –δηλαδή υψηλότερη απορρόφηση ενέργειας (Σχήμα 25β)–, ενώ για λεπτότερα νήματα το φορτίο επαφής είναι αρκετά υψηλότερο, δηλαδή η ικανότητα απορροφήσεως ενέργειας είναι χαμηλότερη (Σχήμα 25β). Επιπροσθέτως, στο Σχήμα 25γ παρουσιάζεται η μεταδιδόμενη ενέργεια προσκρούσεως σε σχέση με το χρόνο διάρκειάς της. Διαπιστώνεται πως η μέγιστη τιμή της μεταδιδόμενης ενέργειας προσκρούσεως για τα λεπτότερα νήματα είναι υψηλότερη από αυτήν των χονδρότερων νημάτων, διότι η απορρόφηση της ενέργειας προσκρούσεως είναι χαμηλότερη. Ακόμη, τα λεπτότερα νήματα φτάνουν στη μέγιστη μεταδιδόμενη ενέργεια προσκρούσεως σε συντομότερο χρονικό διάστημα συγκριτικώς με τα νήματα μεγαλύτερης διαμέτρου. Αυτό εξηγείται από το ότι τα λεπτότερα νήματα (δηλαδή εκείνα με μικρότερη ακτίνα) λόγω μικρότερης ροπής αδρανείας παρουσιάζουν και χαμηλότερο φορτίο λυγισμού, οπότε λυγίζουν πιο εύκολα, φτάνοντας συντομότερα στο στάδιο πλαστικής παραμορφώσεως όπου η απορρόφηση ενέργειας είναι μειωμένη και η μεταδιδόμενη ενέργεια είναι αυξημένη. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί μέσω ρυθμιστικών επιλογών των δομικών χαρακτηριστικών, η μεγαλύτερη δυνατή διάρκεια της διαδικασίας προσκρούσεως, καθώς μέσω της επιβραδύνσεώς της αυξάνεται η ικανότητα

απορροφήσεως ενέργειας προσκρούσεως και βελτιώνονται οι προστατευτικές ιδιότητες των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων. Υπό αυτούς τους όρους συμπεραίνεται πως συνδετήρια νήματα με μεγαλύτερη διάμετρο μειώνουν την επιτάχυνση της διαδικασίας προσκρούσεως, η οποία συνδέεται με το μέγιστο φορτίο επαφής και μεταδόσεως κατά την πρόσκρουση, αυξάνοντας την απορρόφηση ενέργειας. Συνεπώς, τέτοια νήματα με τις αντίστοιχες ιδιότητές τους, συνίστανται για προστατευτικές εφαρμογές σε καταστάσεις προσκρούσεως. Κρίνεται απαραίτητο όμως να τηρηθεί ένα μέτρο, εφόσον αυξάνοντας τη διάμετρο των συνδετήριων νημάτων παραπάνω από ένα κρίσιμο σημείο, χάνεται η ιδιότητα της ανέσεως. Πρέπει λοιπόν να επιλέγονται συνδετήρια νήματα τέτοιας λεπτότητας, ώστε να συνδυάζονται τόσο ιδιότητες ανέσεως όσο και ιδιότητες προστασίας κατά της προσκρούσεως [19].

Στην εργασία [19] εξετάστηκαν οι ιδιότητες των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων στην πρόσκρουση, συναρτήσει του πάχους τους. Τα λοιπά δομικά χαρακτηριστικά τους παρέμειναν κοινά· η διάμετρος των συνδετήριων νημάτων ήταν 0,20 mm, η κλίση των νημάτων αυτών ήταν αντίστοιχη της μετατοπίσεως των – χρησιμοποιηθέντων για συνδετήρια νήματα– κτενιών κλωστοφόρων κατά δύο βελόνες, η δομή των εκατέρωθεν επιφανειακών στημονοπλεκτών μονής όψεως ήταν θηλιά αλυσίδας με εναπόθεση νήματος. Η διαφορά των δοκιμίων στα πάχη τους έγκειται στις διαφορετικές τιμές των παχών, οι οποίες είναι 5,64, 7,59, 8,45, και 10,62 mm. Η εκτίμηση των ιδιοτήτων στην πρόσκρουση πραγματοποιήθηκε μέσω των γραφικών παραστάσεων του *Σχήματος 26* [19].



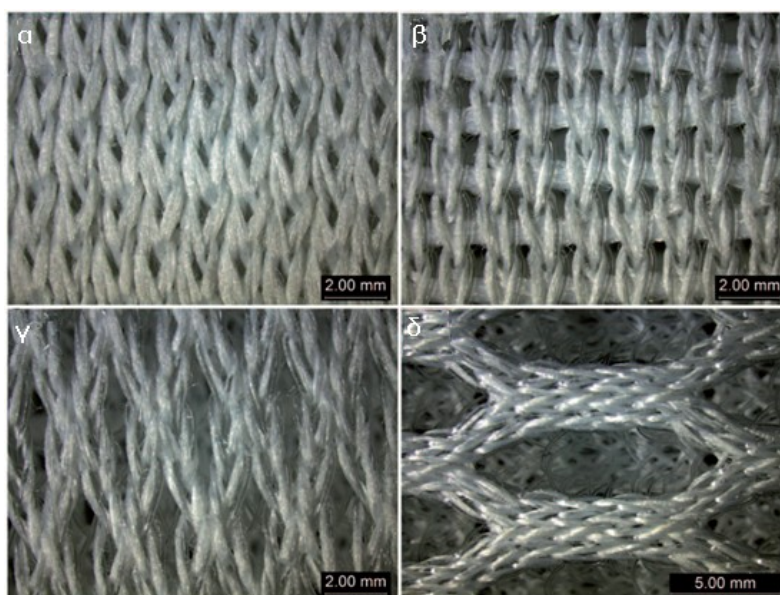


**Σχήμα 26:** Επίδραση του πάχους των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων στην πρόσκρουση [19].

Όπως περιγράφεται στην εργασία [19], στο Σχήμα 26α παρατηρούνται διακυμάνσεις του φορτίου επαφής της προσκρούσεως πριν την εμφάνιση του μεγίστου φορτίου επαφής. Αυτές οι διακυμάνσεις είναι πιο έντονες για δείγματα μικρού πάχους και πιο αμυδρές για δείγματα μεγαλύτερου πάχους. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι στα λεπτότερα δείγματα η διαδικασία της προσκρούσεως επιτελείται σε συντομότερο χρονικό διάστημα, με μικρότερη μετατόπιση, δηλαδή χαμηλότερη απορρόφηση ενέργειας προσκρούσεως, καθιστώντας πιο έντονη την πρόσκρουση. Εν αντιθέσει, τα παχύτερα δείγματα παρουσιάζουν πιο ομαλή ανταπόκριση κατά την πρόσκρουση, λόγω της πιο εκτενούς μετατοπίσεως των μεγαλύτερου μήκους συνδετήριων νημάτων τους, οπότε επέρχεται υψηλότερη απορρόφηση ενέργειας προσκρούσεως. Η συμπεριφορά αυτή επεξηγείται και μέσω της εξισώσεως λυγισμού **(1)** (σελίδα 29) που όπως σημειώνεται ανωτέρω, νήματα μεγαλύτερου μήκους λυγίζουν ή αλλιώς εκτοπίζονται πιο

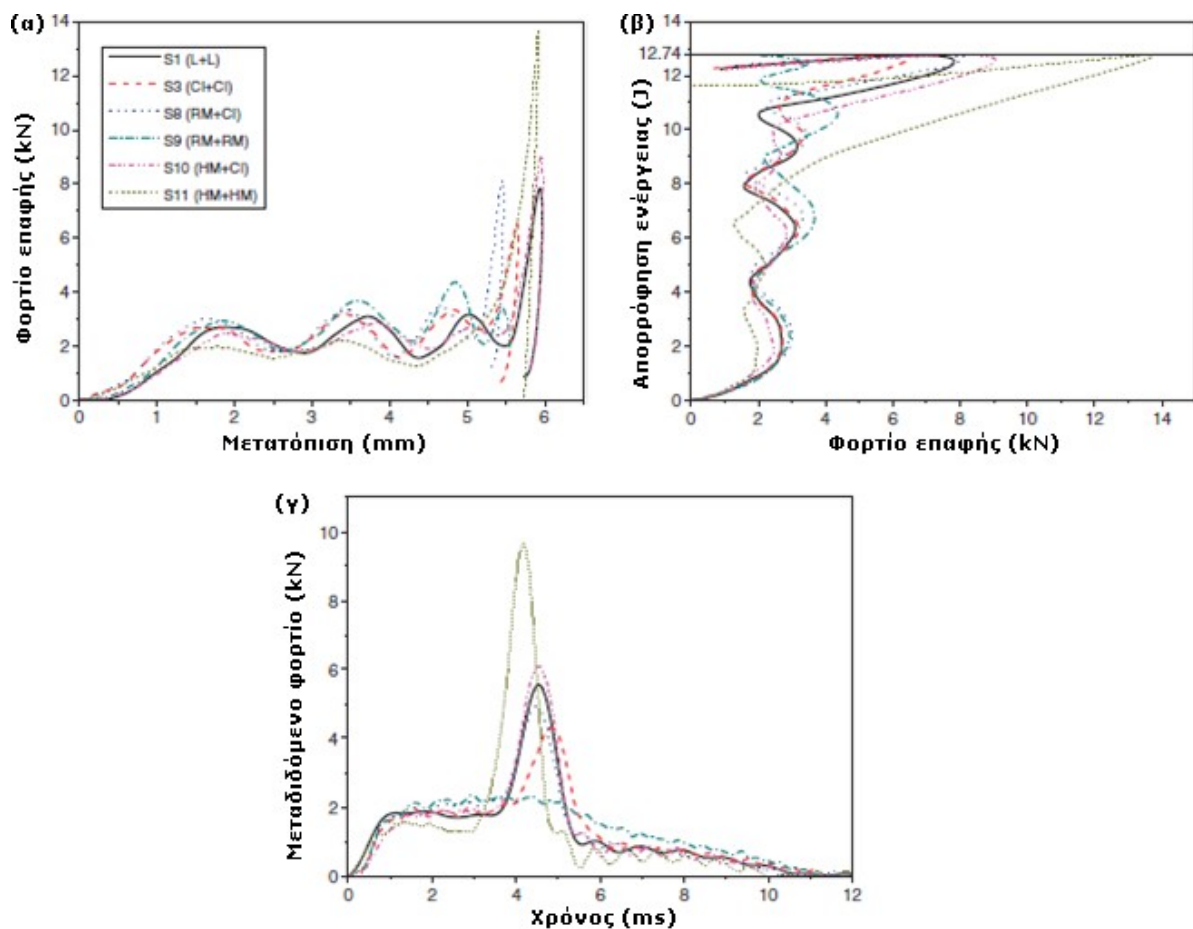
εύκολα. Συνεπώς μέσω της ευρύτερης παραμορφώσεως που υφίστανται τα μακρύτερα συνδετήρια νήματα, επιτυγχάνεται καλύτερη απορρόφηση ενέργειας, με διαρκέστερη και ομαλότερη διαδικασία προσκρούσεως. Γι' αυτό εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της γραφικής παραστάσεως φορτίου επαφής – μετατοπίσεως (Σχήμα 26α), αυξανόμενου του πάχους των δειγμάτων. Στη γραφική παράσταση απορροφούμενης ενέργειας – φορτίου επαφής (Σχήμα 26β), για παραπλήσιες τιμές απορροφήσεως ενέργειας παρατηρείται υψηλότερο φορτίο επαφής σε λεπτότερα δείγματα. Επίσης στη γραφική παράσταση μεταδιδόμενου φορτίου – χρόνου (Σχήμα 26γ) διαπιστώνεται πως όσο μικρότερο είναι το πάχος των δειγμάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η μετάδοση φορτίου προσκρούσεως σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Άρα τα λεπτότερα δείγματα επιδεικνύουν αυξημένο φορτίο επαφής για όμοια απορροφούμενη ενέργεια, και αυξημένη μετάδοση φορτίου· δηλαδή διαθέτουν λιγότερη ικανότητα απορροφήσεως ενέργειας προσκρούσεως εν συγκρίσει με τα παχύτερα δείγματα [19].

Στη συνέχεια η εργασία [19] αναλύει την επίδραση της δομής των στημονοπλεκτών μονής όψεως, που βρίσκονται στις δύο εκατέρωθεν πλευρικές επιφάνειες των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμίων, στην πρόσκρουση. Οι δομές που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη δοκιμασία στην πρόσκρουση είναι η δομή Λόκνιτ, η δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος, δομή με οπές σχήματος ρόμβου και δομή με οπές σχήματος εξαγώνου (Εικόνα 5).



**Εικόνα 5:** Εικόνες μικροσκοπίας επιφανειών στημονοπλεκτών μονής όψεως με (α) δομή Λόκνιτ, (β) δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος, (γ) δομή με οπές σχήματος ρόμβου και (δ) δομή με οπές σχήματος εξαγώνου [19].

Η δομή που διαθέτουν τα δύο στημονοπλεκτά μονής όψεως ενός τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος, επηρεάζει την κλίση των συνδετήριων νημάτων, τη σύνδεση και συνοχή τους με τα στημονοπλεκτά μονής όψεως και την κατανομή τους στο χώρο που καταλαμβάνουν. Συνεπώς η επιφανειακή δομή των δειγμάτων επηρεάζει και τις ιδιότητές τους στην πρόσκρουση. Τα δοκίμια που εξετάστηκαν σύμφωνα με την εργασία [19], κατασκευάσθηκαν σε τρεις συνδυασμούς δομών των δύο επιφανειακών στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως· και οι δύο επιφάνειες διέθεταν κλειστή δομή (δηλαδή Λόκνιτ και θηλιά αλυσίδας με εναπόθεση νήματος), και οι δύο επιφάνειες διέθεταν ανοιχτή δομή (δηλαδή δομή με οπές σχήματος ρόμβου και δομή με οπές σχήματος εξαγώνου) και η μία επιφάνεια διέθετε κλειστή δομή, ενώ η άλλη διέθετε ανοιχτή δομή. Μετά από τη διεξαγωγή της δοκιμασίας στην πρόσκρουση, από την εργασία [19], ελήφθησαν γραφικές παραστάσεις φορτίου επαφής – μετατοπίσεως, απορροφούμενης ενέργειας – φορτίου επαφής και μεταδιδόμενου φορτίου – χρόνου (Σχήμα 27).



**Σχήμα 27:** Επίδραση της δομής των επιφανειακών στημονοπλεκτών μονής όψεως στην πρόσκρουση. Οι ενδείξεις στο ένθετο σημαίνουν: L δομή Λόκνιτ, CI δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος, RM δομή με οπές σχήματος ρόμβου και HM δομή με οπές σχήματος εξαγώνου [19].

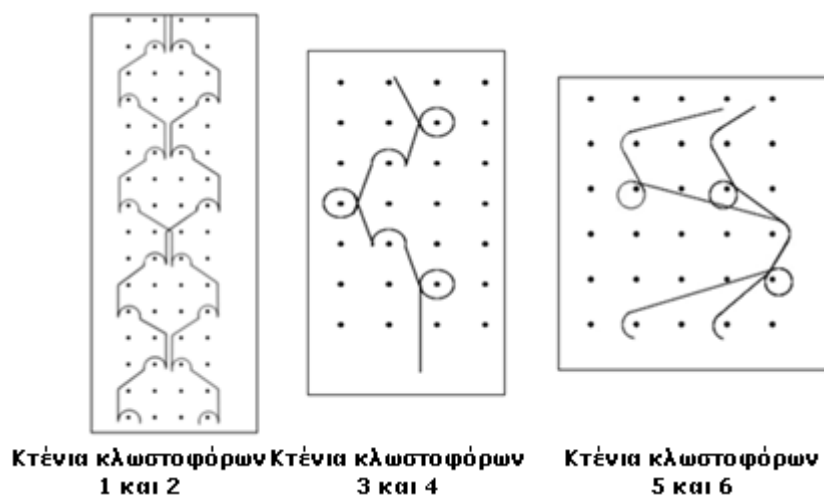
Ως συμπεράσματα της εργασίας [19], από τις ανωτέρω γραφικές παραστάσεις διαπιστώνεται πως τα κατασκευασθέντα δείγματα με οπές σχήματος εξαγώνου και στις δύο πλευρές τους παρουσιάζουν τις υψηλότερες μέγιστες τιμές φορτίου επαφής και μεταδιδόμενου φορτίου, και επιπλέον τη χαμηλότερη απορροφούμενη ενέργεια. Απεναντίας, τα δοκίμια με οπές σχήματος ρόμβου και στις δύο πλευρές τους χαρακτηρίζονται από τις χαμηλότερες μέγιστες τιμές φορτίου επαφής και μεταδιδόμενου φορτίου, ενώ εμφανίζουν την υψηλότερη απορροφούμενη ενέργεια. Δείγματα που αποτελούνται στη μία πλευρά από δομή οπών σχήματος εξαγώνου και στην άλλη πλευρά από δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος διαθέτουν μεγαλύτερο φορτίο επαφής και μεταδιδόμενο φορτίο σε σύγκριση με δείγματα που αποτελούνται στη μια πλευρά από δομή οπών σχήματος ρόμβου και στην άλλη πλευρά από δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος. Τα δείγματα με δομές Λόκνιτ και θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος διακρίνονται από ενδιάμεσες μέγιστες τιμές φορτίου επαφής και μεταδιδόμενου φορτίου, με τη δομή Λόκνιτ να παρουσιάζει υψηλότερες αντίστοιχες τιμές φορτίων από αυτές της δομής θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος. Παρατηρώντας την *Εικόνα 5* διαπιστώνεται πως η δομή με οπές σχήματος ρόμβου και η δομή με οπές σχήματος εξαγώνου διαθέτουν πιο μικρές και σφιχτές θηλιές από τις αντίστοιχες της δομής θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος και της δομής Λόκνιτ· εκ των οποίων η δομή Λόκνιτ έχει πιο μεγάλες και χαλαρές θηλιές. Όσο πιο μικρές είναι οι θηλιές στη δομή των επιφανειών, τόσο πιο σφιχτά συνδεδεμένα είναι τα συνδετήρια νήματα με τις επιφάνειες· παράμετρος που επιδράει στις ιδιότητες στην πρόσκρουση. Όσον αφορά την κλίση των συνδετήριων νημάτων, η δομή με οπές σχήματος εξαγώνου επιφέρει τα πιο κεκλιμένα – επομένως πιο ευάλωτα στο λυγισμό – συνδετήρια νήματα (πιο κάθετα στο φορτίο και πιο παράλληλα με τις επιφάνειες) συγκριτικώς με τα αντίστοιχα των άλλων δομών, οι οποίες δε διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό μεταξύ τους ως προς την κλίση των συνδετήριων νημάτων τους. Κατά συνέπεια, από τις παραπάνω αναφερόμενες παρατηρήσεις μέσω εκτιμήσεως των γραφικών παραστάσεων (*Σχήμα 27*) και των εικόνων (*Εικόνα 5*), συμπεραίνεται πως η δομή με οπές σχήματος εξαγώνου φέρουν τη χαμηλότερη αντίσταση στην πρόσκρουση και ακολούθως τις πιο ανεπαρκείς ιδιότητες προστασίας απέναντι στην πρόσκρουση. Εν

αντιθέσει η δομή με οπές σχήματος ρόμβου, λόγω σφιχτής συνοχής συνδετήριων νημάτων και επιφανειών, φέρουν τη μεγαλύτερη αντίσταση στην πρόσκρουση, και επομένως τις βέλτιστες ιδιότητες προστασίας κατά της προσκρούσεως. Οι ιδιότητες προστασίας εναντίον της προσκρούσεως που προσφέρουν η δομή Λόκνιτ και η δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος, είναι ενδιάμεσες των αντίστοιχων των δύο προηγούμενων δομών, διότι υφίσταται η συνέργια χαλαρής συνοχής στη σύνδεση συνδετήριων νημάτων με τις επιφάνειες, και ελαφρώς κεκλιμένων – οπότε και λυγιζόμενων – συνδετήριων νημάτων. Επίσης, μια επιπλέον παράμετρος των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων ως προς την προστατευτική τους λειτουργικότητα είναι η προσαρμογή του σχήματός τους στο σώμα του ατόμου που τα χρησιμοποιεί. Η δομή Λόκνιτ και η δομή θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος παρέχουν τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα που είναι σκληρότερα εν συγκρίσει με τις άλλες δομές, επομένως αυξανόμενου του πάχους τους είναι δυσκολότερο να εφαρμόσουν στο σώμα του χρήστη. Ωστόσο, η δομή με οπές σχήματος ρόμβου διαμορφώνει τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα που συνδυάζουν καλή εφαρμογή στο σώμα που περιβάλλουν και καλή προστατευτική επίδοση. Ρυθμίζοντας το μέγεθος των οπών ικανοποιούνται διαφορετικές απαιτήσεις προστασίας. Είναι χρήσιμο να διατηρείται ισορροπία ανάμεσα στην προσφερόμενη προστασία και την προσαρμοστικότητα του σχήματος των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, μέσω της κατάλληλης διαμορφώσεως των δομών των επιφανειών τους, ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές των επιθυμητών τελικών χρήσεων [19].

#### **4.3. Ιδιότητες αεροδιαπερατότητας και μεταφοράς υγρασίας**

Στην εργασία [20] των R. Bagherzadeh, M. Gorji, M. Latifi, P. Payvandy και L. X. Kong αναφέρονται λειτουργικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, τα οποία διαθέτουν ιδιότητες μεταφοράς υγρασίας μέσω τριχοειδούς απορροφήσεως, αεροδιαπερατότητας και παροχής αισθήσεως της ανέσεως κατά τη χρήση τους. Κλωστοϋφαντουργικά υποστρώματα με τέτοια χαρακτηριστικά έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές προστατευτικών εξοπλισμών όπως τα αλεξίσφαιρα γιλέκα. Σύμφωνα με την εργασία αυτή παρήχθησαν τρία στημονοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα σε

στημονοπλεκτομηχανή Ράσσελ RD6 υψηλής ταχύτητας με διπλή βελονοστοιχία, νούμερο E24 και έξι κτένια κλωστοφόρων. Η τροφοδότηση των κτενιών κλωστοφόρων ήταν πλήρης και οι κινήσεις τους παρουσιάζονται στο σχέδιο κινήσεως κτενιών κλωστοφόρων του Σχήματος 28. Τα τρία υφάσματα διαφέρουν μεταξύ τους στους διαφορετικούς τύπους νημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για το κάθε ύφασμα και το αποτελούν. Πιο συγκεκριμένα, και τα τρία υφάσματα για τις εμπρός όψεις τους διέθεταν πολύκλινα νήματα πολυεστέρα, 48 κλώνων, λεπτότητας 175 Denier, και για τα συνδετήρια νήματά τους διέθεταν μονόκλινα νήματα πολυεστέρα λεπτότητας 30 Denier. Η διαφορά των τριών αυτών υφασμάτων αφορούσε την πίσω όψη τους, η οποία αποτελούταν για το πρώτο ύφασμα (Δοκίμιο αναφοράς) εξ ολοκλήρου από πολύκλινα νήματα πολυεστέρα 48 κλώνων λεπτότητας 175 Denier. Η πίσω όψη του δεύτερου υφάσματος (50PES) διέθετε πολύκλινα νήματα 50% coolmax και 50% πολυεστέρα 48 κλώνων και λεπτότητας 175 Denier. Τα νήματα «coolmax» είναι νήματα με γεωμετρία εγκάρσιας τομής που επιφέρει πολλαπλά κανάλια στην επιφάνειά τους για τη μεταφορά υγρών στοιχείων. Η πίσω όψη του τρίτου υφάσματος (Cool) αποτελούταν εξ ολοκλήρου από νήματα coolmax ίδιας λεπτότητας και ισάριθμων κλώνων με αυτά των άλλων δύο υφασμάτων. Μετά τη διαδικασία παραγωγής της πλέξεως, τα υφάσματα ατμίστηκαν, τεμαχίστηκαν στις απαιτούμενες διαστάσεις και, πριν τη διεξαγωγή των δοκιμών, κλιματίστηκαν για είκοσι τέσσερις ώρες σε περιβάλλον θερμοκρασίας 20 °C και σχετικής υγρασίας 65%, σύμφωνα με το πρότυπο (BS1051) [20].



**Σχήμα 28: Σχηματική αναπαράσταση κινήσεων των κτενιών κλωστοφόρων για την πλέξη των δειγμάτων δοκιμών [20].**

Τα δοκίμια, όπως αναφέρει η εργασία [20], υπεβλήθησαν σε τέσσερα είδη δοκιμασιών: τη δοκιμασία αεροδιαπερατότητας, τη δοκιμασία διαπερατότητας υδρατμών, την κάθετη απορρόφηση ύδατος μέσω τριχοειδούς δράσεως και τον έλεγχο ιδιοτήτων ανταποκρίσεως στην υγρασία. Η δοκιμασία της αεροδιαπερατότητας πραγματοποιήθηκε με βάση το πρότυπο BS 5636 σε δέκα τεμάχια από κάθε δείγμα, και τα αποτελέσματα από το μέσο όρο των μετρήσεων παρουσιάζονται στον *Πίνακα 1* [20].

**Πίνακας 1: Επίδραση του τύπου νήματος στην αεροδιαπερατότητα δοκιμών αποτελούμενων από διαφορετικά νήματα [20].**

Είδη δοκιμών	Αεροδιαπερατότητα (mL·sec <sup>-1</sup> )
Δοκίμιο αναφοράς	225.0±2.5
50PES	226.0±2.0
Cool	230.5±3.9

Η εργασία [20] διεξήγαγε τη δοκιμασία διαπερατότητας υδρατμών βάσει του προτύπου BS 7209, όπου προέκυψε η απορρόφηση υδρατμών από τα δοκίμια μέσω μετρήσεως της μάζας τους πριν και μετά την πραγματοποίηση της δοκιμασίας. Μετά το πέρας είκοσι τεσσάρων ωρών, η διαφορά στη μάζα των δειγμάτων δοκιμών μετετράπη σε διαπερατότητα υδρατμών βάσει των εξισώσεων που αναφέρονται στην εργασία [20]:

$$WVP \left( g \cdot m^{-2} \cdot \eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha^{-1} \right) = \frac{24M}{At} \quad (9) \quad [20]$$

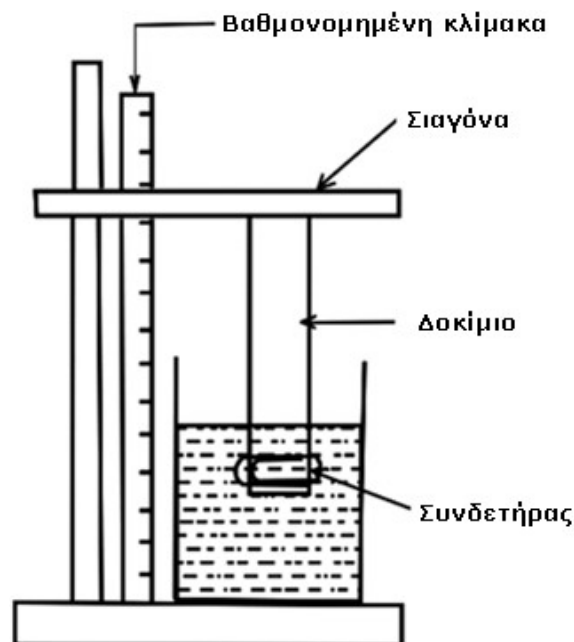
$$A = \frac{\pi d^2 \times 10^{-6}}{4} \quad (10) \quad [20]$$

όπου WVP είναι η διαπερατότητα υδρατμών,  $M$  είναι η διαφορά μάζας (g),  $t$  είναι ο χρόνος ανάμεσα στις ζυγίσεις (hr),  $A$  είναι η εξεταζόμενη περιοχή (επιφάνεια) του δοκιμίου (mm<sup>2</sup>), και  $d$  είναι η διάμετρος της εξεταζόμενης επιφάνειας (mm) [20].

Στην εργασία [20] επισημαίνεται πως η διαπερατότητα υδρατμών είναι ιδιότητα αντιπροσωπευτική της ικανότητας των εξεταζόμενων τριδιάστατων στημονοπλεκτών δοκιμών στη μεταφορά υγρού στοιχείου. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από τη δομή των δειγμάτων δοκιμών και από τα χρησιμοποιηθέντα νήματα που τα αποτελούν. Η μεταφορά υγρού στοιχείου υφίσταται με τρεις τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω

των πόρων των δοκιμίων. Ο δεύτερος μέσω της απορροφήσεως από το υπόστρωμα και της εξατμίσεως από τις επιφάνειες αυτού. Ο τρίτος τρόπος συνίσταται στη μεταφορά του υγρού στοιχείου, από την εξωτερική στημονοπλεκτή επιφάνεια του δοκιμίου προς τον ενδιάμεσο χώρο που καταλαμβάνουν τα συνδετήρια νήματα, και στην εξατμηση αυτών των υγρών ποσοτήτων στην περιοχή των συνδετήριων νημάτων. Ο τρίτος τρόπος καθίσταται ως ο πιο αποτελεσματικός [20].

Η δοκιμασία της κάθετης απορροφήσεως ύδατος μέσω τριχοειδούς δράσεως εξετελέσθη από την εργασία [20] βυθίζοντας καθέτως το ένα άκρο του δοκιμίου σε αποσταγμένο ύδωρ, σε βάθος 2 cm (Σχήμα 29). Από κάθε δοκίμιο ελήφθησαν πέντε τεμάχια διαστάσεων 20 cm × 2,5 cm τόσο κατά τη διεύθυνση στηλών, όσο και κατά τη διεύθυνση σειρών. Η δυνατότητα τριχοειδούς απορροφήσεως εξεφράσθη μέσω της δεσμεύσεως ύδατος από τα εξεταζόμενα τεμάχια συναρτήσεως του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, μετρήθηκε το ύψος του τριχοειδώς απορροφούμενου ύδατος επάνω στα τεμάχια δοκιμών. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιήθηκε επανειλημμένως, με συχνότητα ενός λεπτού, για διάρκεια δέκα λεπτών [20].

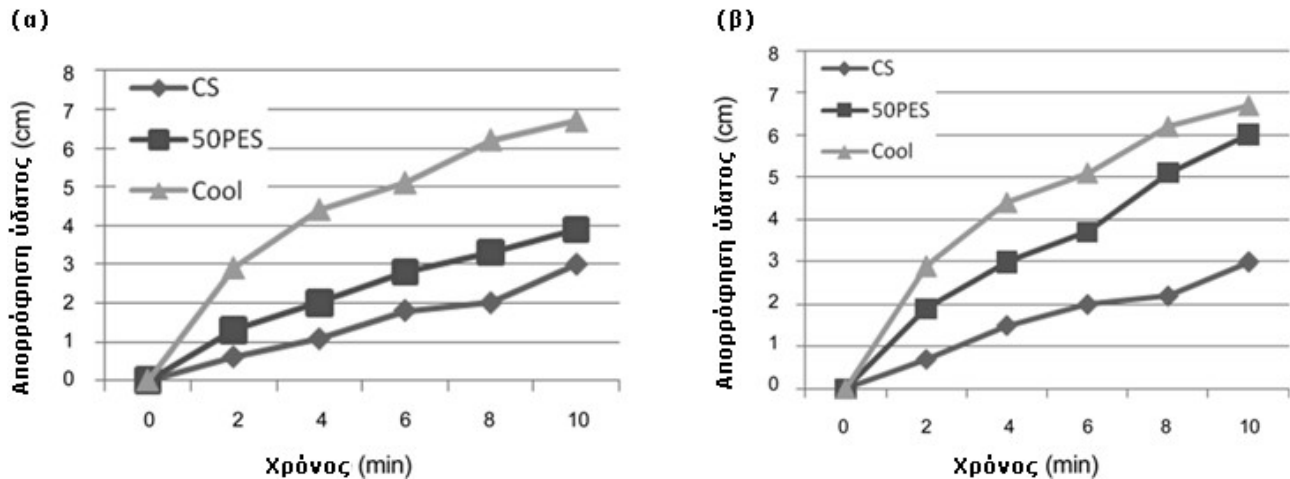


**Σχήμα 29:** Σχηματική αναπαράσταση συσκευής για δοκιμασία τριχοειδούς απορροφήσεως [20].

Από την εργασία [20] εξήχθησαν οι καμπύλες κάθετης τριχοειδούς απορροφήσεως και για τις δύο διευθύνσεις κοπής των δειγμάτων δοκιμών. Οι καμπύλες αυτές

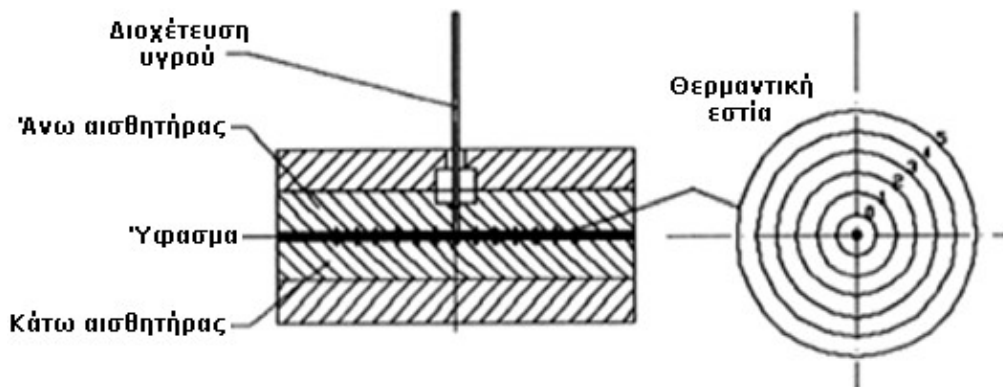


εμφανίζονται στο *Σχήμα 30*. Οι ονομασίες στα ένθετα του *Σχήματος 30* αντιπροσωπεύουν τα τρία διαφορετικά υφάσματα του *Πίνακα 1*, με το CS να αντιστοιχεί στο Δοκίμιο αναφοράς.



**Σχήμα 30:** Κάθετη τριχοειδής απορρόφηση διαφορετικών δοκιμίων α) κατά τη διεύθυνση στηλών και β) κατά τη διεύθυνση σειρών [20].

Στην εργασία [20] για να εκτιμηθούν οι γενικότερες ιδιότητες ανταποκρίσεως των δοκιμίων προς την υγρασία, πραγματοποιήθηκε δοκιμασία ελέγχου της ανταποκρίσεως (συμπεριφοράς) στην υγρασία βάσει του προτύπου AATCC TM 195. Επίσης η εργασία [20] αναφέρει τις παραπομπές [21,22] για την περιγραφή της συσκευής ελέγχου και των ιδιοτήτων μεταφοράς υγρασίας αντιστοίχως. Η χρησιμοποιηθείσα συσκευή (*Σχήμα 31*) αποτελείται [21] από δύο σειρές αισθητήρων τοποθετημένων στην επάνω και κάτω επιφάνεια (όψη) του δείγματος δοκιμής. Αρχικώς εισήχθησαν 0,2 g συνθετικού υγρού και ακολούθως προκλήθηκε μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως του δοκιμίου, η οποία κατεγράφη δυναμικώς (καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ελέγχου) από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Μέσω αυτής της μεθόδου παρατηρήθηκαν και σημειώθηκαν δέκα ιδιότητες ανταποκρίσεως στην υγρασία: ο χρόνος διαβροχής της επάνω και κάτω επιφάνειας του δοκιμίου, ο ρυθμός απορροφήσεως των δύο επιφανειών, η ακτίνα της διαβρεγμένης περιοχής και στις δύο επιφάνειες, η ταχύτητα εξαπλώσεως της διαβρεγμένης περιοχής στις δύο όψεις, η διαφορά του περιεχομένου υγρασίας στις δύο επιφάνειες [22], και η συνολική δυνατότητα του δοκιμίου στη μεταφορά υγρασίας [20].



**Σχήμα 31:** Σχηματικό διάγραμμα της συσκευής ελέγχου της ανταποκρίσεως (συμπεριφοράς) στην υγρασία [22].

Σύμφωνα με την εργασία [20] που παραπέμπει στο άρθρο [22], η ιδιότητα της διαφοράς του περιεχομένου υγρασίας, στις δύο επιφάνειες του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος, υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης **(11)**:

$$OWTC = \frac{\int U_b - \int U_t}{T} \quad \text{(11)} \quad [20,22]$$

όπου  $OWTC$  είναι η διαφορά του περιεχομένου υγρασίας στις δύο επιφάνειες του τριδιάστατου στημονοπλεκτού δοκιμίου,  $U_b$  και  $U_t$  είναι το περιεχόμενο υγρασίας στην κάτω και άνω επιφάνεια του υφάσματος αντιστοίχως, και  $T$  είναι ο χρόνος διάρκειας της δοκιμής [20,22].

Η ιδιότητα της συνολικής δυνατότητας του δοκιμίου στη μεταφορά υγρασίας υπολογίζεται βάσει της εργασίας [20] ως εξής:

$$OMMC = C_1 MAR_b + C_2 OWTC + C_3 SS_b \quad \text{(12)} \quad [20]$$

όπου  $OMMC$  είναι η συνολική δυνατότητα (δηλαδή σε διάφορες διευθύνσεις) μεταφοράς υγρασίας,  $MAR_b$  είναι ο ρυθμός απορροφήσεως υγρασίας της κάτω επιφάνειας, και  $SS_b$  είναι η ταχύτητα εξαπλώσεως της υγρασίας στην κάτω επιφάνεια,  $C_1$  και  $C_3$  είναι συντελεστές με τιμή 0,25 και  $C_2$  είναι συντελεστής με τιμή 0,50 [20].

Η εξίσωση **(12)** αποτελεί ένα δείκτη για τη συνολική δυνατότητα των δοκιμίων ως προς τη μεταφορά υγρασίας, ο οποίος μαζί με τις προαναφερθείσες ιδιότητες μεταφοράς υγρασίας παρατίθεται στον *Πίνακα 2* της εργασίας [20]:

**Πίνακας 2: Δείκτες των ιδιοτήτων ανταπόκρισης των δοκιμών ως προς την υγρασία [20].**

Δείγματα	Χρόνος διαβροχής (sec)		Ρυθμός απορροφήσεως (%/sec)		Μέγιστη ακτίνα διαβροχής (mm)		Ταχύτητα εξαπλώσεως (mm/sec)		Διαφορά περιεχόμενης υγρασίας στις δύο επιφάνειες (%)	Συνολική δυνατότητα μεταφοράς υγρασίας
	Άνω όψη	Κάτω όψη	Άνω όψη	Κάτω όψη	Άνω όψη	Κάτω όψη	Άνω όψη	Κάτω όψη		
CS	14,04	9,34	18,45	36,82	6,05	6,00	0,58	0,52	261,12	0,68
50PES	13,55	8,32	26,83	64,76	8,00	8,00	0,63	0,26	496,62	0,70
Cool	8,17	25,07	68,25	124,65	15,71	15,71	1,22	1,55	593,43	0,74

Από τον Πίνακα 2 διαπιστώνεται η καλύτερη ανταπόκριση στη μεταφορά υγρασίας για το δοκίμιο (Cool), διότι η πίσω όψη του αποτελείται από νήματα πολυεστέρα με πολλαπλά κανάλια στην επιφάνειά τους, διευκολύνοντας τη μεταφορά υγρασίας λόγω μικρότερης γωνίας επαφής υγρών με τα συγκεκριμένα νήματα [20].

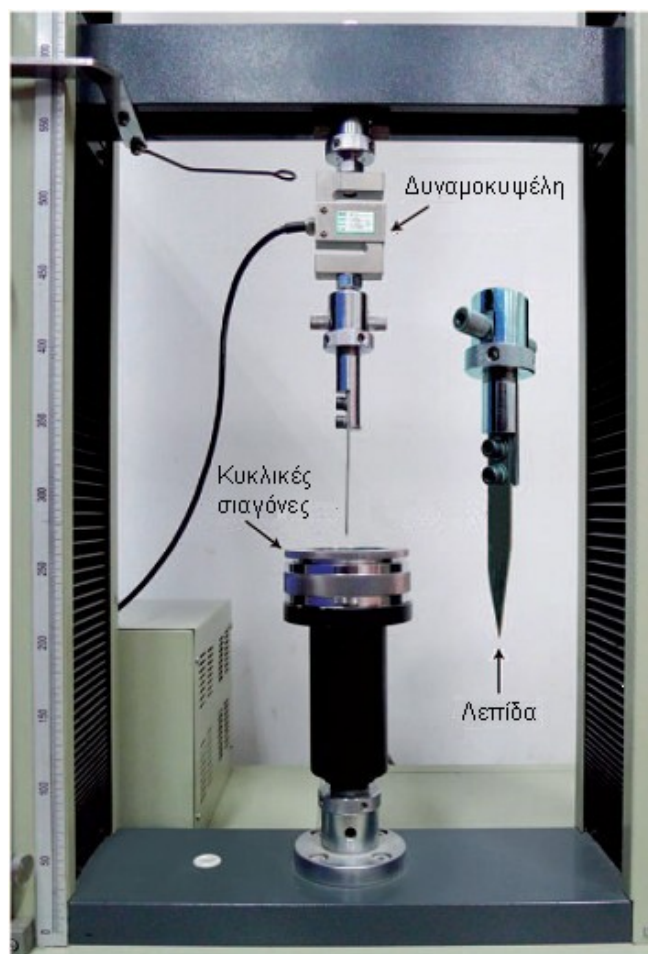
#### 4.4. Ιδιότητες στη διάτρηση

Στην παραπομπή [23] πραγματοποιήθηκε εξέταση τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος στη διάτρηση που προκλήθηκε μέσω χρήσεως λεπίδας. Οι δομικές παράμετροι της πυκνότητας, του πάχους του υφάσματος, και της συμπεριφοράς των συνδετήριων νημάτων στη θλίψη, συσχετίστηκαν με την αντοχή του υφάσματος στη διάτρηση. Διακρίθηκαν τρεις μηχανισμοί αντιστάσεως στη διάτρηση: εγκλωβισμός της λεπίδας (knife self-locking), διάχυση ενέργειας και μετριασμός της τριβής. Παρήχθησαν δώδεκα δοκίμια εκ συνδυασμού τεσσάρων τιμών για το πάχος τους, και τριών τιμών για την επιφανειακή πυκνότητα των θηλιών των επιφανειακών στημονοπλεκτών μονής όψεως που τα αποτελούν. Το πάχος έκαστου δοκιμίου ρυθμίστηκε μέσω της επιλογής της αποστάσεως των πλακών της στημονοπλεκτομηχανής, ενώ η επιφανειακή πυκνότητα μέσω της επιλογής του τραβήγματος του συστήματος έλξεως πλεκτού υφάσματος, της πλεκτομηχανής. Για την παραγωγή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε στημονοπλεκτομηχανή Ράσσελ διπλής βελονοστοιχίας με νούμερο μηχανής E16 και έξι κτένια κλωστοφόρων [23].

Η σύσταση των νημάτων πλέξεως ήταν πολυαιθυλένιο πάρα πολύ υψηλού μοριακού βάρους (UHMWPE) για τα επιφανειακά στημονοπλεκτά μονής όψεως, και πολυεστέρας για τα συνδετήρια νήματα. Τα νήματα πολυαιθυλενίου είχαν γραμμική

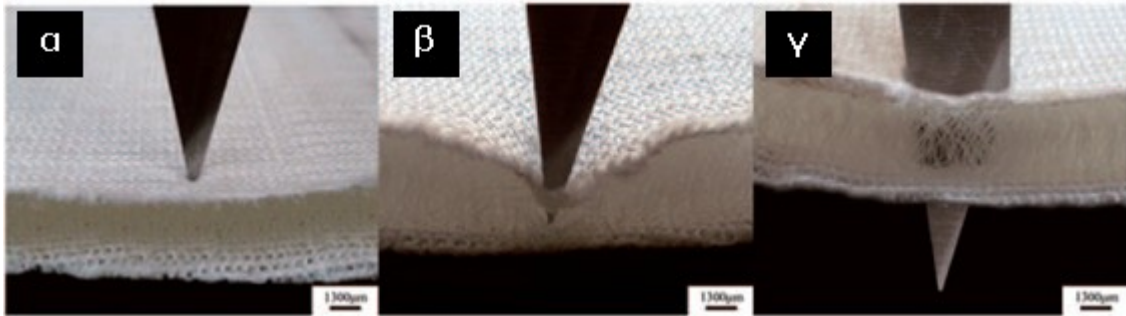
πυκνότητα 33.3 tex/120 f και ήταν πολύκλωνα (120 f, δηλαδή 120 κλώνοι). Τα νήματα πολυεστέρα ήταν μονόκλωνα με διάμετρο 0.16mm (27.77 tex). Τα νήματα πολυαιθυλενίου είχαν αντοχή θραύσεως 30 cN/dtex και επιμήκυνση 5,12%. Επίσης, έφεραν χνούδι και ανέπτυσσαν στατικό ηλεκτρισμό, με αποτέλεσμα να προκαλείται συμπλοκή κατά τη διαδικασία παραγωγής. Για να αποφευχθεί αυτή η εμπλοκή, προσδόθηκε στα νήματα ήπια στρίψη, δηλαδή 50 στρίψεις ανά μέτρο, η οποία ενίσχυσε τη συνοχή αυτών των νημάτων [23].

Η δοκιμασία στη διάτρηση διεξήχθη από την εργασία [23] βάσει του προτύπου NIJ Standard—0115.00, 2000, Stab Resistance of Personal Body Armor [24] και με τη χρήση της συσκευής HD026N<sup>+</sup> electronic fabric strength tester (Εικόνα 6). Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, η λεπίδα κινήθηκε προς τα δοκίμια με σταθερή ταχύτητα 20 mm/λεπτό. Η ταχύτητα αυτή διατηρήθηκε υπό τον έλεγχο μίας δυναμοκυψέλης, η οποία και κατέγραψε το φορτίο, το βάθος και την ενέργεια διατρήσεως [23].



**Εικόνα 6: Φωτογραφία συσκευής ελέγχου ημιστατικής διατρήσεως [23].**

Κατά τις δοκιμές, τα δείγματα υπέστησαν τριών ειδών καταπονήσεις: τάνυση και διάτμηση των νημάτων των επιφανειακών στημονοπλεκτών μονής όψεως, και θλίψη των συνδετήριων νημάτων. Κατά τη συμπεριφορά των δοκιμιών απέναντι στη διάτμηση παρατηρήθηκαν τρεις φάσεις [23].



**Εικόνα 7: Στάδια ανταποκρίσεως τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος στη διάτμηση [23].**

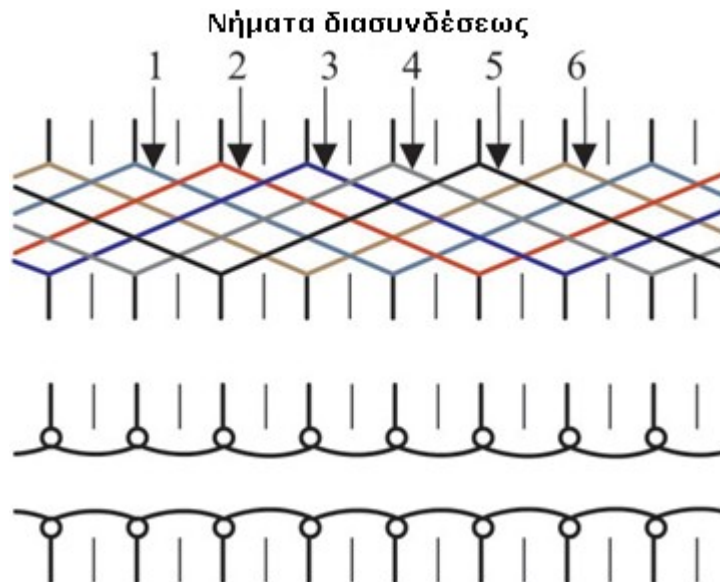
Στην πρώτη φάση (*Εικόνα 7α*) η αιχμηρή άκρη της λεπίδας διεπέρασε το άνω επιφανειακό στημονοπλεκτό μονής όψεως. Καθώς εξακολουθούσε η διαδικασία διατρήσεως, τα νήματα της άνω επιφάνειας που εφελκύνονταν και ολίσθαιναν υπό τη δράση της λεπίδας, συνωστίσθηκαν γύρω από την άκρη της λεπίδας. Σε αυτό το σημείο η αντίσταση των δοκιμιών στη διάτμηση ήταν αυξημένη. Ακόμη, η ασκούμενη τάση που παραμόρφωνε την άνω επιφάνεια, μεταδόθηκε στα συνδετήρια νήματα τα οποία με τη σειρά τους υπέστησαν κάμψη, μέσω της οποίας πραγματοποιήθηκε απορρόφηση της ενέργειας διατρήσεως. Ύστερα από συγκεκριμένο βάθος διατρήσεως η κίνηση της λεπίδας αναχαιτίσθηκε ολοκληρωτικώς υπό τη συμφόρηση των νημάτων γύρω από την αιχμή της, σημειώνοντας έτσι το πρώτο σημείο του μεγίστου φορτίου διατρήσεως. Στη δεύτερη φάση (*Εικόνα 7β*), κατά τη συνέχιση της διατρήσεως τα νήματα από τα οποία εμποδίσθηκε η κίνηση της λεπίδας υπέκυψαν σε θραύση, με αποτέλεσμα η λεπίδα να απεγκλωβισθεί και να συνεχισθεί η διαδικασία της διατρήσεως. Το φορτίο διατρήσεως σε αυτό το σημείο μειώθηκε. Η οπή στην άνω επιφάνεια, λόγω της διατρήσεως, διευρύνθηκε σταδιακώς και το φορτίο διατρήσεως σημείωσε διακυμάνσεις. Τα συνδετήρια νήματα εξακολούθησαν να κάμπτονται ώστε να απορροφούν την ενέργεια διατρήσεως. Όταν η λεπίδα ήρθε σε επαφή με το κάτω επιφανειακό στημονοπλεκτό μονής όψεως, η τάνυση των νημάτων και η παραμόρφωση των θηλιών της κάτω

επιφάνειας συνέβαλαν στην αντίσταση του δοκιμίου κατά της διατρήσεως. Στο σημείο αυτό το φορτίο διατρήσεως αυξήθηκε πάλι και προέκυψε το δεύτερο σημείο του μεγίστου φορτίου διατρήσεως, όταν η αιχμή της λεπίδας εγκλωβίσθηκε από τα περιβάλλοντα νήματα της κάτω επιφάνειας και αναχαιτίσθηκε για δεύτερη φορά (*Εικόνα 7γ*). Επιπλέον, συνεργιστική δράση είχε και η άνω επιφάνεια που περιόρισε με σφήνωση μέσω των θηλιών της την κίνηση της λεπίδας. Στην τρίτη φάση παρατηρήθηκε σύμπτυξη του δοκιμίου και τα νήματα της κάτω επιφάνειας που περιέκλειαν τη λεπίδα, υπέστησαν σταδιακώς θραύση. Συνεπώς, με τη δεύτερη απεμπλοκή της λεπίδας και την εξακολούθηση της διατρητικής κινήσεώς της, προκλήθηκε μείωση του φορτίου διατρήσεως. Τα άθραυστα νήματα της άνω και κάτω επιφάνειας συνεισέφεραν στην επιπλέον αντίσταση του δοκιμίου κατά της διατρήσεως. Κατά αυτόν τον τρόπο προέκυψαν διακυμάνσεις του φορτίου διατρήσεως μέχρι την ολοκληρωτική φθορά των δύο επιφανειών του δοκιμίου [23].

#### **4.5. Ιδιότητες απορροφήσεως ήχου**

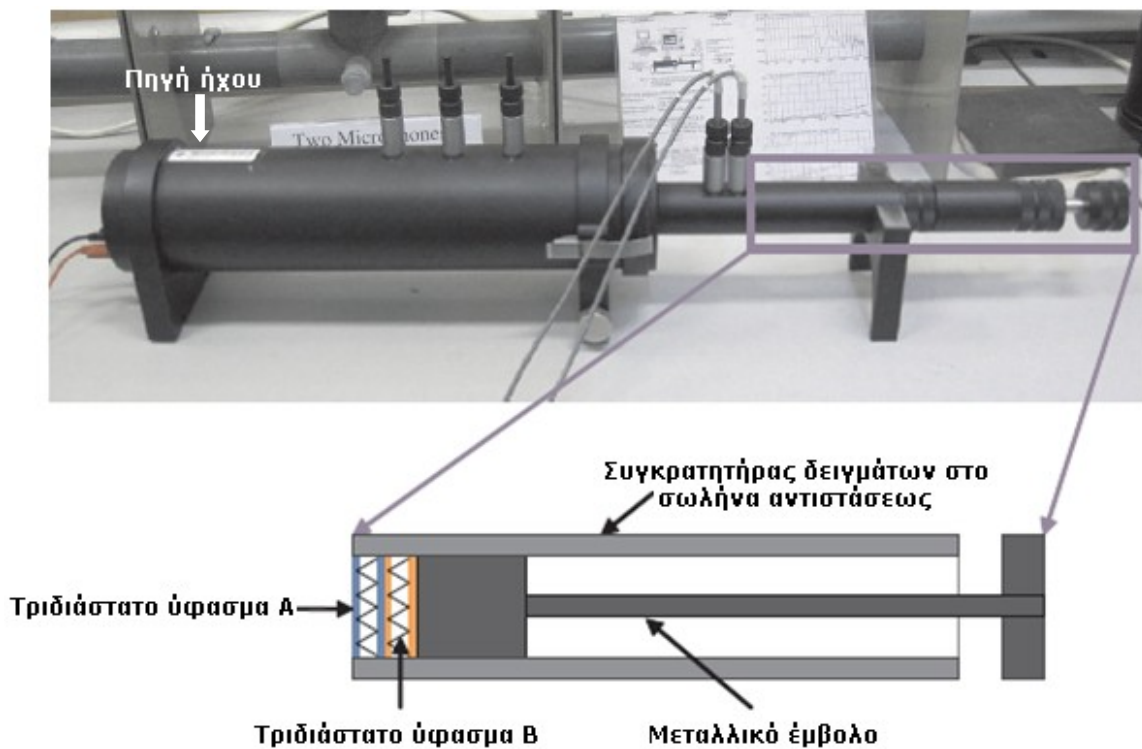
Αναφέρεται μελέτη [25] κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα και τριδιάστατα υφαδοπλεκτά υφάσματα, ώστε να διερευνηθούν οι ιδιότητές τους ως προς την απορρόφηση ήχου. Τα εξετασθέντα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα πλέχθηκαν σε στημονοπλεκτομηχανή Ράσσελ KARL MAYER RD 6 N διπλής βελονοστοιχίας με νούμερο μηχανής E24 και με έξι κτένια κλωστοφόρων. Τα νήματα πλέξεως που τροφοδοτήθηκαν στα κτένια κλωστοφόρων GB1, GB2, GB5, GB6 ήταν πολύκλωνα νήματα πολυεστέρα 48 κλώνων και λεπτότητας 150 Denier. Τα νήματα πλέξεως των κτενιών κλωστοφόρων GB3, GB4 ήταν μονόκλωνα νήματα πολυεστέρα λεπτότητας 30 Denier [25].

Τα υφαδοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα παρήχθησαν, βάσει της μελέτης [25], σε ευθύγραμμη υφαδοπλεκτομηχανή Stoll CMS 822 E7.2 με νούμερο μηχανής E14. Τα νήματα πλέξεως ήταν nylon/spandex 70D/20D για τις εκατέρωθεν πλεκτές επιφάνειες και πολυεστέρας 150Den/64F για τα ενδιάμεσα νήματα διασυνδέσεως, τα οποία πλέχθηκαν με θηλιά φασόν (*Σχήμα 32*).



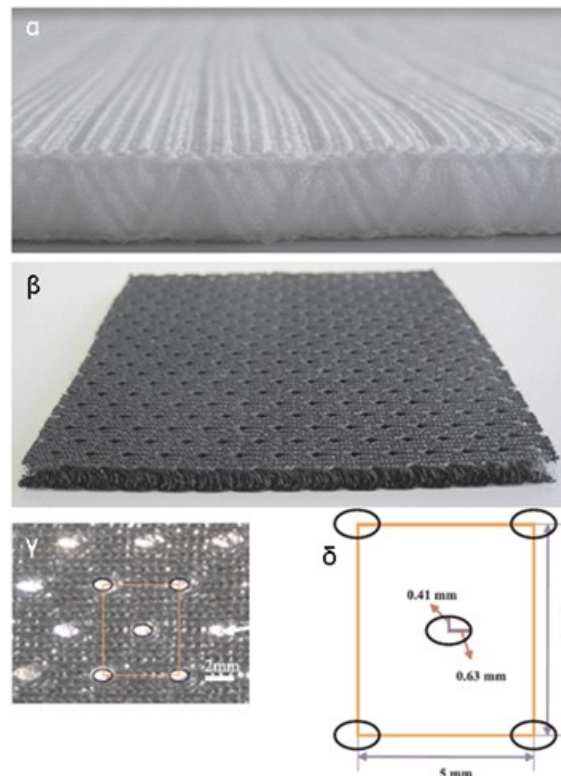
**Σχήμα 32: Αναπαράσταση διαδρομής νήματος [25].**

Η δοκιμασία των υφασμάτων στην απορρόφηση ήχου πραγματοποιήθηκε από τη μελέτη [25] βάσει του προτύπου ISO 10534-2 και με χρήση της συσκευής Brüel & Kjaer two-microphone impedance measurement tube 4206 που απεικονίζεται στην *Εικόνα 8*. Η συσκευή αυτή έχει διάμετρο 29 mm και διαθέτει τη δυνατότητα μετρήσεως της απορροφήσεως ήχων σε εύρος συχνοτήτων 0–6400 Hz [25].



**Εικόνα 8: Συσκευή μετρήσεως απορροφήσεως ήχου [25].**

Επίσης στην *Εικόνα 9* παρουσιάζονται τα υφάσματα που πλέχθηκαν με τις αντίστοιχες πλεκτομηχανές και εκ των οποίων ελήφθησαν τα δείγματα δοκιμών [25].

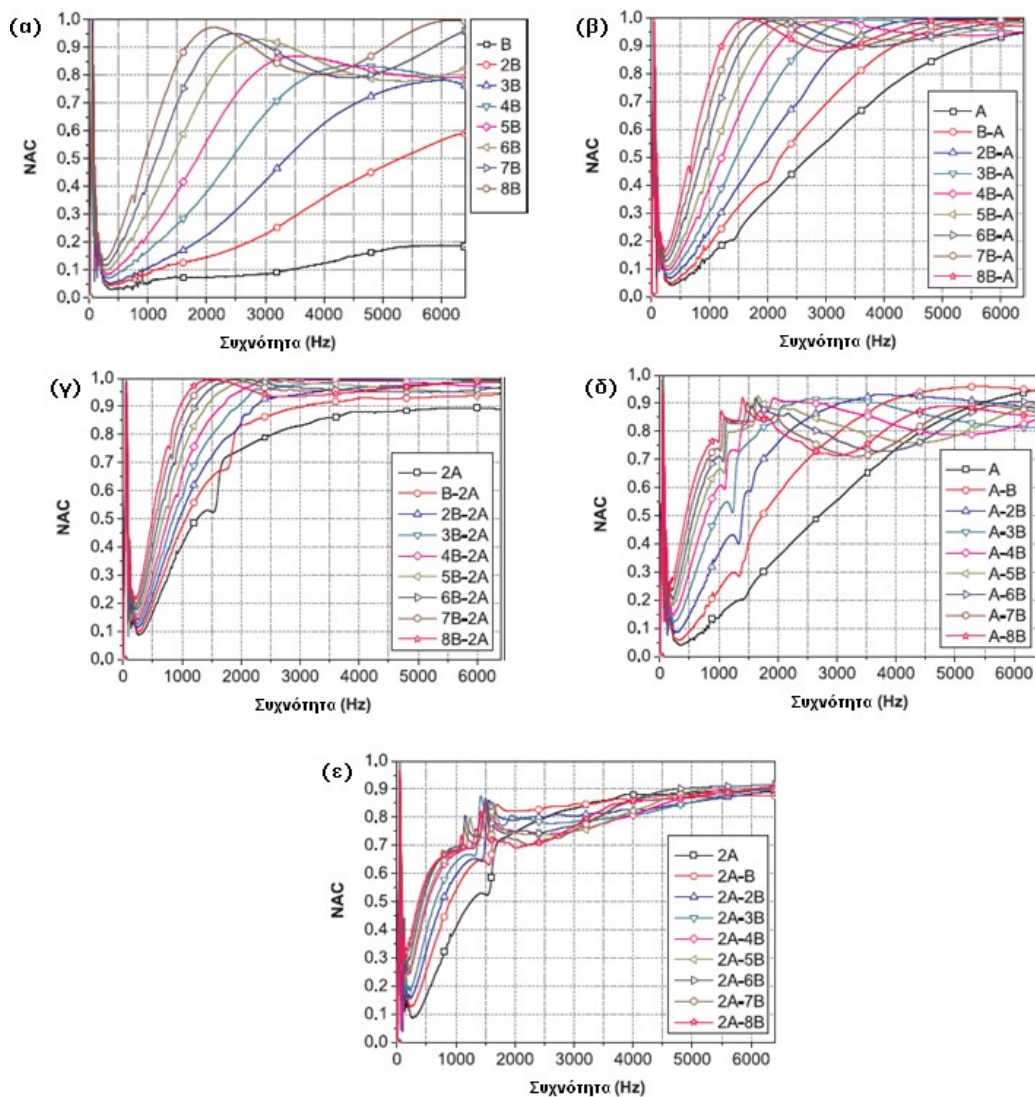


**Εικόνα 9:** α) Υφαδοπλεκτό τριδιάστατο ύφασμα. β) Στημονοπλεκτό τριδιάστατο ύφασμα, γ) επιφανειακό στημονοπλεκτό μονής όψεως και δ) σχηματική αναπαράσταση του μεγέθους και της διατάξεως των οπών στην επιφάνεια (όψη) του στημονοπλεκτού τριδιάστατου υφάσματος [25].

Όπως αναλύεται στη μελέτη [25], από τη δομή των υφασμάτων εξαρτάται η ανταπόκρισή τους στην απορρόφηση ήχου. Τα υφαδοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα, λόγω της δομής τους, συμπεριφέρονται ως πορώδεις απορροφητές ήχου. Τα στημονοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα, εκ των δομικών χαρακτηριστικών τους και της μορφολογίας της επιφάνειάς τους, η οποία φέρει οπές ελλειπτικού σχήματος με μέγεθος υποπολλαπλάσιο του χιλιοστόμετρου, συμπεριφέρονται ως απορροφητές μικροδιάτρητου υποστρώματος (MPP-microperforated panel) [25].

Με τις μετρήσεις που ελήφθησαν κατά τη μελέτη [25], προέκυψαν γραφικές παραστάσεις συντελεστή απορροφήσεως θορύβου (NAC-Noise Absorption Coefficient) – συχνότητων. Στα επόμενα διαγράμματα (*Σχήμα 33*) της μελέτης [25] παρουσιάζονται οι σχετικές γραφικές παραστάσεις για το στημονοπλεκτό τριδιάστατο ύφασμα (B), καθώς και για συνδυασμό του με το υφαδοπλεκτό τριδιάστατο ύφασμα (A).





**Σχήμα 33:** α) Συντελεστής απορροφήσεως θορύβου μεταβλητού πλήθους τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων (B), πίσω από τα οποία τοποθετήθηκαν β) ένα και γ) δύο υφαδοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα (A) και αντίθετη διάταξη αντιστοιχώς για δ) ένα και ε) δύο υφάσματα A μπροστά από τα υφάσματα B [25].

Κατά τη συμπερασματική ανάλυση της μελέτης [25] διαπιστώνεται πως ο συντελεστής απορροφήσεως θορύβου επηρεάζεται από το είδος (στημονοπλεκτό ή υφαδοπλεκτό) και το πλήθος έκαστου είδους τριδιάστατου υφάσματος, καθώς και από τη διάταξη που καθορίζει τη σειρά τοποθέτησεως των δύο διαφορετικών υφασμάτων. Όταν τα στημονοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα τοποθετούνται πριν από τα αντίστοιχα υφαδοπλεκτά, τότε λειτουργούν ως ηχοαπορροφητικά υποστρώματα μέσω συντονισμού, ενισχύοντας την απορρόφηση σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Αντιστρόφως όταν τοποθετούνται πίσω από τα υφαδοπλεκτά, τότε ενισχύεται η απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων, ενώ μειώνεται η απορρόφηση των υψηλών

συχνοτήτων. Επιπροσθέτως με την αύξηση του πλήθους των στημονοπλεκτών τριδιάστατων υφασμάτων βελτιώνεται ο συντελεστής απορρόφησης θορύβου, με το συντονισμό τους να μετατοπίζεται προς τις χαμηλές συχνότητες. Προς τις υψηλές συχνότητες παρατηρείται αυξημένος συντελεστής απορρόφησης θορύβου. Μέσω συγκρίσεως των γραφικών παραστάσεων, με διαφορετική σειρά τοποθέτησεως των δύο ειδών υφασμάτων, αναδεικνύεται πως με τη διάταξη των στημονοπλεκτών μπροστά από τα υφαδοπλεκτά τριδιάστατα υφάσματα επιτυγχάνεται υψηλότερη απορρόφηση ήχου στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες και ελαφρώς μειωμένη απορρόφηση ήχου στις χαμηλές συχνότητες [25].

#### 4.6. Ιδιότητες στον εφελκυσμό, τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο Poisson

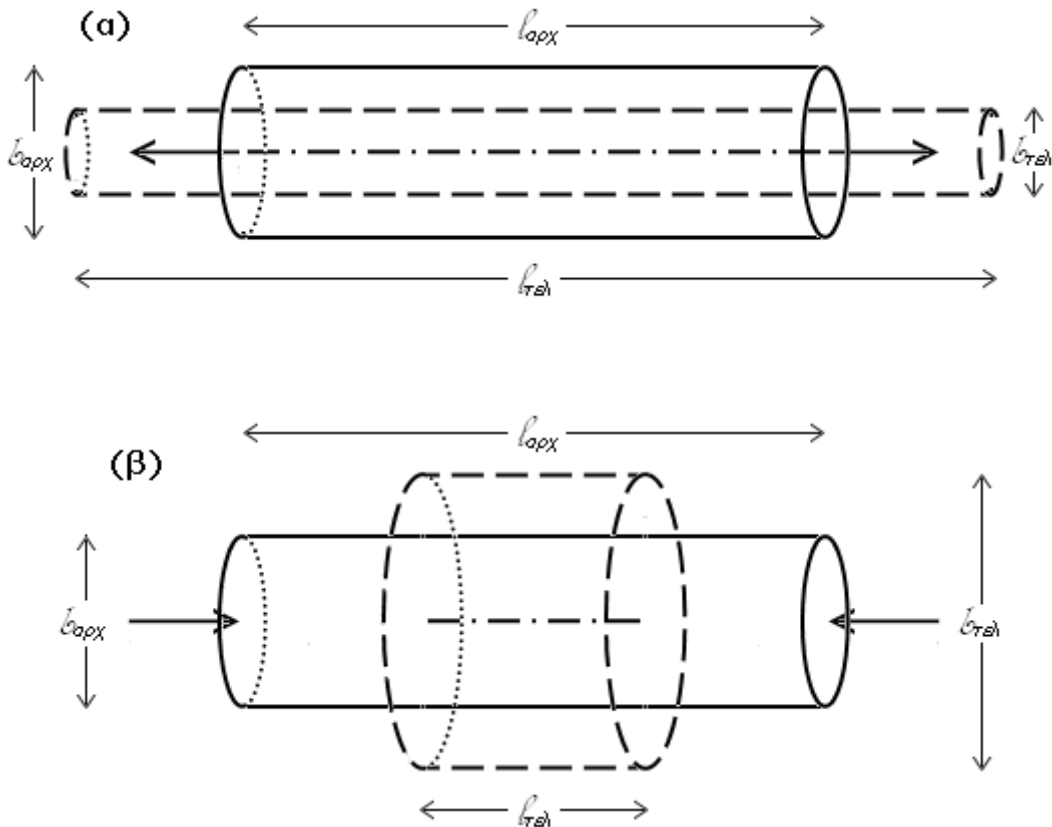
Τα στημονοπλεκτά τριδιάστατα υποστρώματα που φέρουν ιδιότητες αρνητικού λόγου Poisson, συναντώνται στις παραπομπές [26,27] με την ορολογία «auxetic warp-knitted spacer fabrics». Ως λόγος Poisson, όπως περιγράφεται στην παραπομπή [12], ορίζεται το πηλίκο της ανηγμένης εγκάρσιας παραμορφώσεως ενός σώματος προς την ανηγμένη διαμήκη παραμόρφωσή του.

$$\mu = - \frac{\varepsilon_{\text{εγκ}}}{\varepsilon_{\text{διαμ}}} = - \frac{\frac{l_{\text{τελ}} - l_{\text{αρχ}}}{l_{\text{αρχ}}}}{\frac{l_{\text{τελ}} - l_{\text{αρχ}}}{l_{\text{αρχ}}}} \quad (11) [12]$$

όπου  $\mu$  είναι ο λόγος Poisson,  $\varepsilon_{\text{εγκ}}$  είναι η ανηγμένη εγκάρσια παραμόρφωση,  $\varepsilon_{\text{διαμ}}$  είναι η ανηγμένη διαμήκης παραμόρφωση,  $l_{\text{αρχ}}$  και  $b_{\text{αρχ}}$  είναι το αρχικό μήκος και αρχικό πλάτος αντιστοίχως του σώματος πριν την καταπόνηση υπό επιβολή φορτίου, και  $l_{\text{τελ}}$ ,  $b_{\text{τελ}}$  είναι το τελικό μήκος και τελικό πλάτος αντιστοίχως του σώματος κατά την καταπόνηση επιβολής φορτίου [12].

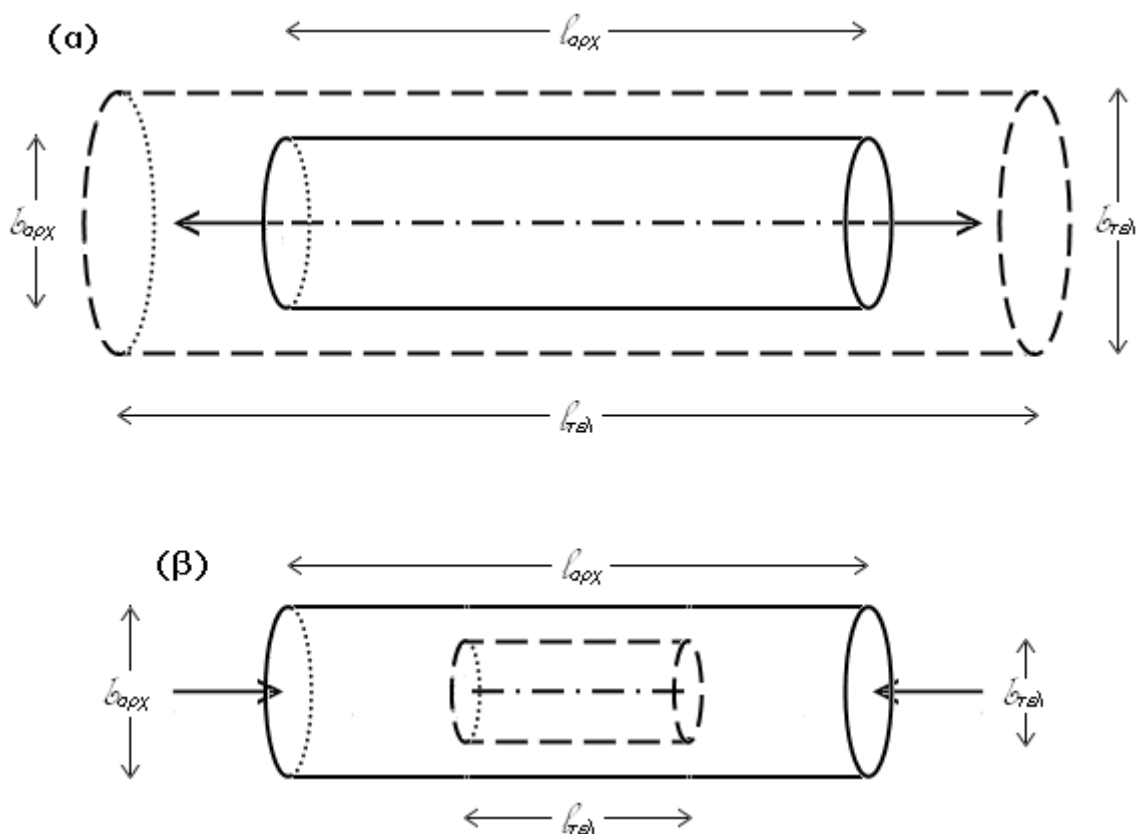
Στη συνέχεια παρουσιάζεται σχηματική αναπαράσταση (Σχήμα 34) σώματος πριν και ύστερα από την καταπόνησή του για θετικό λόγο Poisson. Ο θετικός λόγος Poisson σημαίνει πως όταν αυξάνεται (ή μειώνεται) το μήκος ενός σώματος κατά τη μία

διάσταση, μειώνεται (ή αυξάνεται) το πλάτος και το ύψος του κατά τις άλλες δύο διαστάσεις. Συνεπώς, εφόσον η διαμήκης και η εγκάρσια παραμόρφωση είναι ετερόσημες μεταξύ τους, το κλάσμα είναι αρνητικό μέγεθος και μαζί με το αρνητικό πρόσημο γίνεται θετικό.



**Σχήμα 34:** Παραμόρφωση σώματος α) κατά τον εφελκυσμό και β) κατά τη θλίψη για θετικό λόγο Poisson.

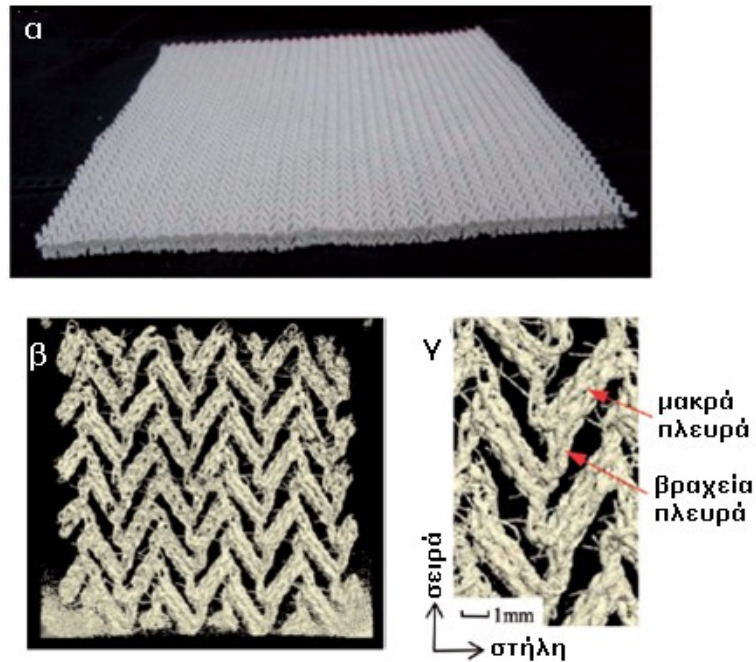
Αντιθέτως (Σχήμα 35), όταν αυξάνεται (ή μειώνεται) το μήκος κατά τη μία διάσταση και επίσης αυξάνεται (ή μειώνεται) το πλάτος και το ύψος κατά τις άλλες δύο διαστάσεις, τότε η διαμήκης και η εγκάρσια παραμόρφωση είναι ομόσημες, δηλαδή το κλάσμα είναι θετικό μέγεθος. Όμως μαζί με το αρνητικό πρόσημο, τελικά ο λόγος Poisson καθίσταται αρνητικό μέγεθος.



**Σχήμα 35:** Παραμόρφωση σώματος α) κατά τον εφελκυσμό και β) κατά τη θλίψη για αρνητικό λόγο Poisson.

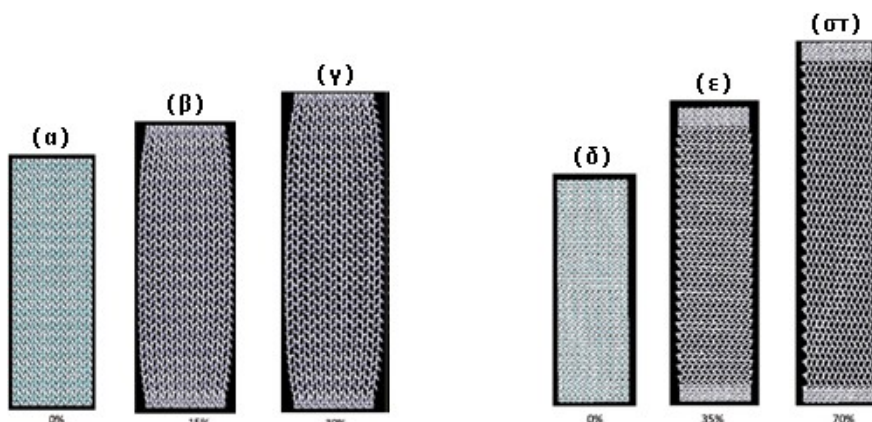
Συνεπώς, όταν ένα σώμα χαρακτηρίζεται από αρνητικό λόγο Poisson (Σχήμα 35), κατά τον εφελκυσμό του προς μια διεύθυνση επεκτείνεται προς την άλλη διεύθυνση. Απεναντίας, κατά τη θλίψη του προς τη μία διεύθυνση συσσωρεύεται προς την άλλη διεύθυνση.

Έχουν πραγματοποιηθεί κατασκευή [26,27] και εξομοίωση [26] τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο Poisson. Η παραγωγή των εν λόγω υφασμάτων υλοποιήθηκε μέσω στημονοπλεκτομηχανής που διαθέτει έξι κτένια κλωστοφόρων. Τα τροφοδοτούμενα νήματα πλέξεως για τα πλευρικά επιφανειακά στημονοπλεκτά μονής όψεως είναι νήματα πολυεστέρα 400D/96F, ενώ για τα συνδετήρια νήματα είναι μονόκλινα νήματα πολυεστέρα με διάμετρο 0,12 mm. Τα παραγόμενα τριδιάστατα στημονοπλεκτά (Εικόνα 10) έχουν πάχος 7,9 mm [26].



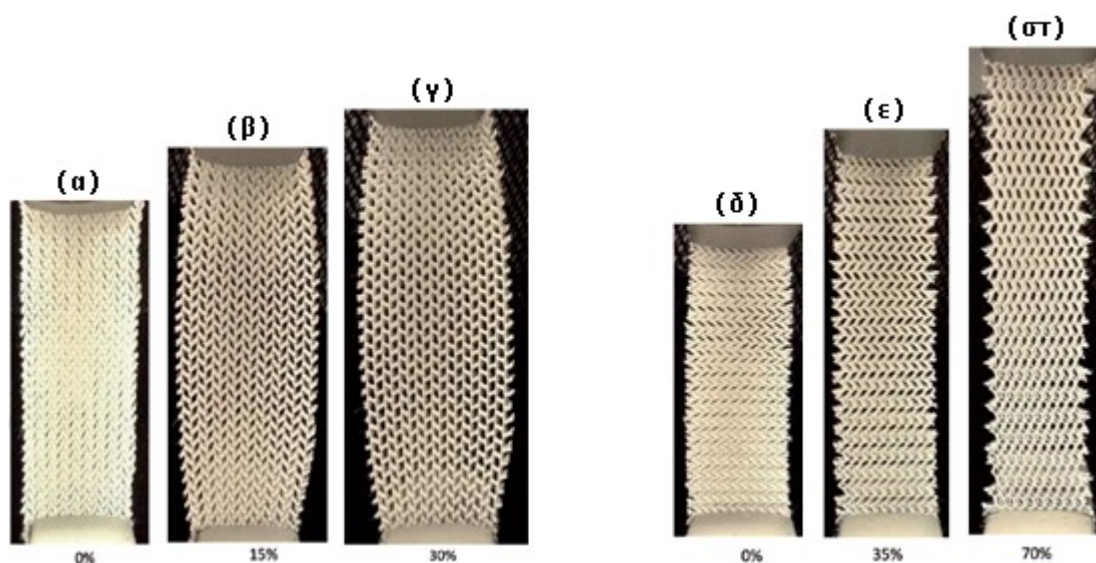
**Εικόνα 10:** α) Στημονολεκτό ύφασμα με αρνητικό λόγο Poisson. Εικόνες σαρώσεως για β) όψη και γ) δομή του επιφανειακού στημονολεκτού μονής όψεως [26].

Οι ανωτέρω εικόνες σαρώσεως ελήφθησαν, όπως αναφέρει η εργασία [26], μέσω συσκευής τομογραφίας ακτινών Χ με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Κατά τον τρόπο αυτόν αναδεικνύεται η δομή του επιφανειακού στημονολεκτού μονής όψεως, η οποία αποτελείται από δύο ειδών, βάσει του μήκους τους, πλευρές: τη βραχεία πλευρά και τη μακρά πλευρά. Η γεωμετρία που τις χαρακτηρίζει είναι πως σχηματίζουν μεταξύ τους οξεία γωνία προς τα άνω. Επίσης πραγματοποιώντας εξομοίωση των δοκιμών υπό εφελκυσμό, κατέστη δυνατή η πρόβλεψη της ανταποκρίσεώς τους στο ασκούμενο εφελκυστικό φορτίο. Η εν λόγω εξομοίωση παρουσιάζεται στην *Εικόνα 11* [26].



**Εικόνα 11:** Εξομοίωση μέσω μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων για διαφορετικά ποσοστά παραμορφώσεώς τους υπό εφελκυσμό (α, β, γ) κατά τη διεύθυνση των σειρών και (δ, ε, στ) κατά τη διεύθυνση των στηλών [26].

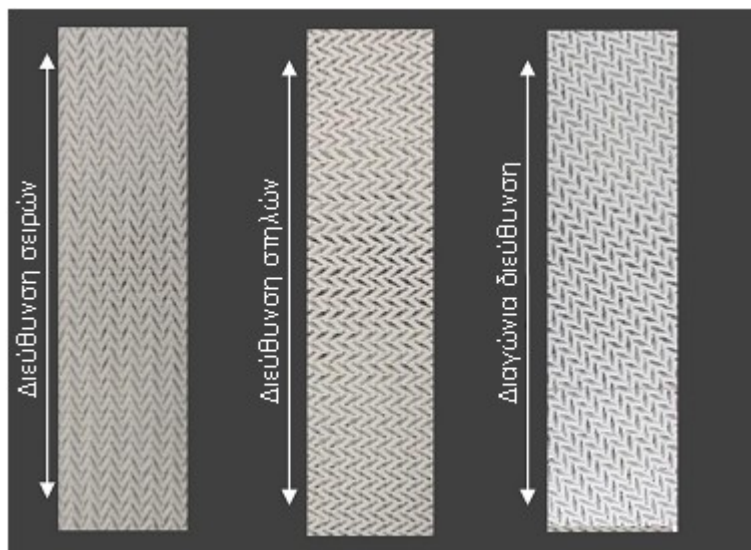
Εκτός από την εξομοίωση, πραγματοποιήθηκε εξέταση των δοκιμίων με αρνητικό λόγο Poisson με χρήση της συσκευής Instron 5566, όπως περιγράφεται στην εργασία [26]. Οι ρυθμίσεις της συσκευής ήταν τέτοιες ώστε το μήκος μετρήσεως να είναι 150mm και η ταχύτητα με την οποία διεξήχθη ο εφελκυσμός να είναι 30 mm/λεπτό. Τα εξεταζόμενα δοκίμια είχαν διαστάσεις 200 mm×50 mm και το εφελκυστικό φορτίο τους ασκήθηκε σε δύο διευθύνσεις: στη διεύθυνση των σειρών τους και στη διεύθυνση των στηλών τους. Στη συνέχεια (*Εικόνα 12*) παρατίθενται εικόνες που αναδεικνύουν την παραμόρφωση που υφίστανται τα δοκίμια με αρνητικό λόγο Poisson υπό τη διενέργεια του εφελκυσμού [26].



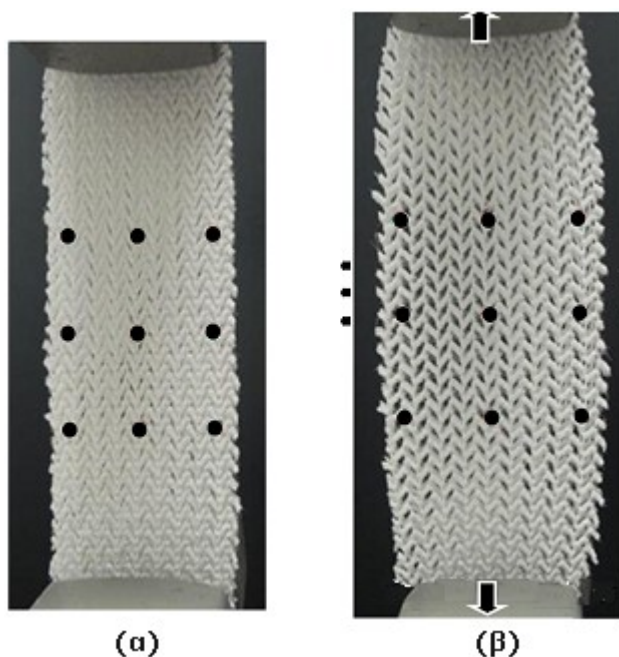
**Εικόνα 12:** Διαφορετικά ποσοστά παραμορφώσεως υπό εφελκυσμό των δοκιμίων με αρνητικό λόγο Poisson κατά τη διεύθυνση (α, β, γ) των σειρών και (δ, ε, στ) των στηλών [26].

Επίσης διεξήχθη δοκιμασία εφελκυσμού, που αναφέρεται στην εργασία [27], παρόμοια με την προηγούμενη της εργασίας [26]. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε συσκευή Instron 5566 για την εκτέλεση του εφελκυσμού, με ταχύτητα ασκήσεως εφελκυστικού φορτίου 50mm/λεπτό και με εξεταζόμενο μήκος δοκιμίου 150mm. Οι διαστάσεις των δοκιμίων ήταν 200 mm×50 mm. Τα δοκίμια ελήφθησαν με τέτοιο τρόπο ώστε κατά την τοποθέτησή τους στη συσκευή εφελκυσμού, να ασκηθεί φορτίο σε τρεις διαφορετικές διευθύνσεις ως προς το επίπεδο του στημονοπλεκτού υφάσματος μόνης όψεως (*Εικόνα 13*). Ακόμη σηματοδεύθηκαν κάποια σημεία επάνω στο ύφασμα αυτό, με σκοπό τη μέτρηση της διαφοροποίησεως των αποστάσεων των σημείων αυτών, κατά τη

μετάβαση από την αρχική κατάσταση ηρεμίας πριν την άσκηση εφελκυσμού, στην κατάσταση τάνυσεως υπό εφελκυστικό φορτίο (Εικόνα 14) [27].

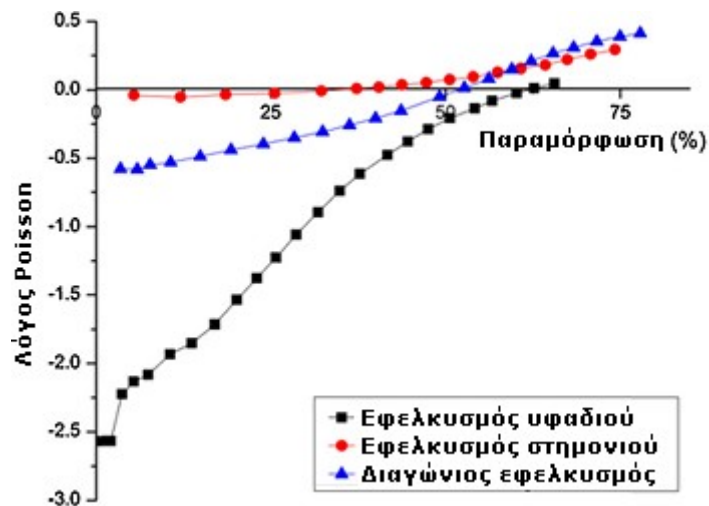


**Εικόνα 13:** Τρεις διαφορετικές διευθύνσεις κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκε λήψη των δοκιμίων [27].



**Εικόνα 14:** Εξεταζόμενο δοκίμιο με αρνητικό λόγο Poisson α) πριν τον εφελκυσμό και β) κατά τον εφελκυσμό [27].

Από τη διεξαγωγή της δοκιμασίας των δειγμάτων στον εφελκυσμό κατά τρεις διευθύνσεις, παρατηρούνται διαφορές στο βαθμό με τον οποίο εκφράζεται αυτή η ιδιαίτερη συμπεριφορά επεκτάσεως καθέτως της διεύθυνσεως εφελκυσμού κατά την τάνυση των δειγμάτων αυτών, λόγω του αρνητικού λόγου Poisson που τα χαρακτηρίζει [27].



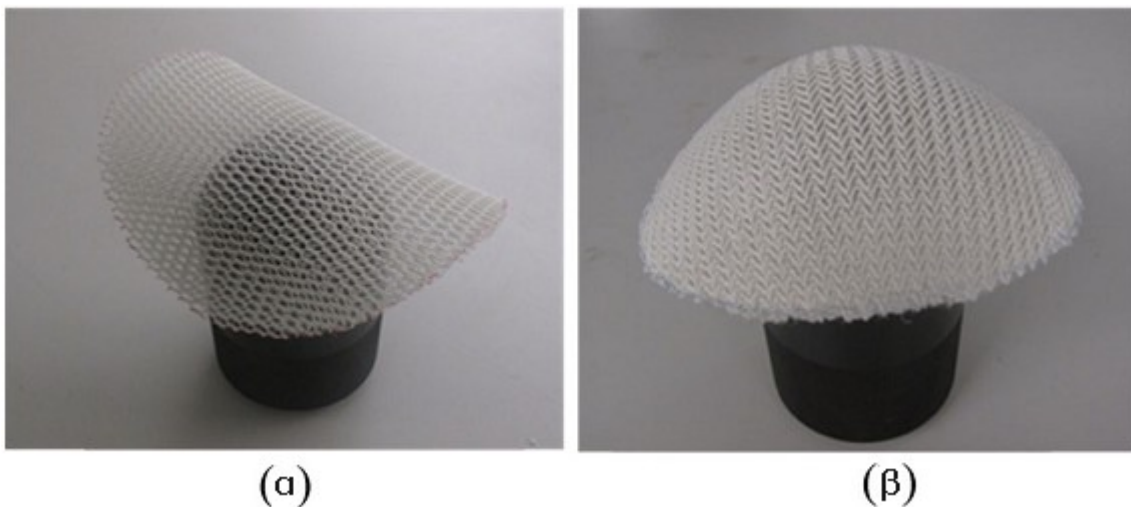
**Σχήμα 36: Διαφοροποίηση του λόγου Poisson βάσει της παραμορφώσεως υπό εφελκυσμό κατά τις τρεις διευθύνσεις [27].**

Από το Σχήμα 36 αναδεικνύεται η διαφορά του αρνητικού λόγου Poisson αναλόγως με τη διεύθυνση ασκήσεως του εφελκυσμού. Για την ακρίβεια, οι υψηλότερες τιμές του αρνητικού λόγου Poisson αντιστοιχούν στην άσκηση εφελκυσμού κατά τη διεύθυνση των σειρών του επιφανειακού στημονοπλεκτού μονής όψεως. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες τιμές αρνητικού λόγου Poisson αντιστοιχούν σε εφελκυσμό κατά τη διεύθυνση των στηλών του δοκιμίου. Ενδιάμεσες τιμές σημειώνονται όταν ο εφελκυσμός ασκείται κατά τη διαγώνια διεύθυνση σχετικώς με τις δύο προηγούμενες διευθύνσεις. Το φαινόμενο αυτό της διαφοροποίησης του αρνητικού λόγου Poisson αναλόγως με τη διεύθυνση ασκήσεως εφελκυστικού φορτίου, αναλύεται περιγράφοντας την ανταπόκριση των βραχέων και μακρών πλευρών που απαρτίζουν τα δοκίμια, όταν αυτά υπόκεινται σε εφελκυσμό. Όταν τα δοκίμια εφελκύνονται κατά τη διεύθυνση των σειρών τους, το εφελκυστικό φορτίο κατανέμεται κυρίως στις βραχείες πλευρές, με αποτέλεσμα οι μακρές πλευρές να περιστρέφονται προς την κάθετη διεύθυνση αυτής του εφελκυσμού. Έτσι, εξηγείται η έντονη κάθετη επέκταση των δοκιμίων, όταν ο εφελκυσμός ασκείται κατά τη διεύθυνση των σειρών τους. Επιπλέον, όταν τα δοκίμια εφελκύνονται κατά τη διεύθυνση των στηλών τους, κυρίως οι μακρές πλευρές επιφορτίζονται και στρέφονται προς τη διεύθυνση εφελκυσμού, με αποτέλεσμα οι βραχείες πλευρές να περιστρέφονται προς τη διεύθυνση καθέτως αυτής του εφελκυσμού. Κατά τον τρόπο αυτόν εξηγείται η έντονη παραμόρφωση των δοκιμίων



κατά τη διεύθυνση εφελκυσμού και η λιγότερο έντονη κάθετη επέκτασή τους, όταν τανύονται κατά τη διεύθυνση των στηλών τους [27].

Αξιοσημείωτη είναι ακόμη η ικανότητα σχηματικής προσαρμογής των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο Poisson. Τα υφάσματα αυτά διακρίνονται από τη δυνατότητα πλήρους καλύψεως ενός σώματος, καθώς εφαρμόζουν στο σχήμα του. Στην *Εικόνα 15* αναπαρίσταται η περιγραφείσα ικανότητα προσαρμογής των υφασμάτων αυτών στο σχήμα ενός σφαιρικού σώματος, εφόσον διατηρείται επαφή ανάμεσα στο ύφασμα και το σώμα. Συνεπώς το ύφασμα καλύπτει το σώμα, ακολουθώντας το σχήμα του σώματος και εφαρμόζοντας επάνω σε αυτό. Επιπροσθέτως, αναδεικνύεται η διαφορά ενός τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος με αρνητικό λόγο Poisson από ένα αντίστοιχο συμβατικό ύφασμα, ως προς το πέσιμο και την κάμψη τους και κατά συνέπεια ως προς τη δυνατότητα σχηματικής προσαρμογής τους [27].



**Εικόνα 15:** Ικανότητα σχηματικής προσαρμογής ενός α) συμβατικού και β) με αρνητικό λόγο Poisson τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος [27].

Στην *Εικόνα 15* η επιφάνεια σφαιρικού σχήματος έχει 100 mm διάμετρο [27] και διαπιστώνεται πως το συμβατικό τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα καλύπτει το σφαιρικό σώμα με αντικριστό τρόπο διαμορφώνοντας δύο εκατέρωθεν πλευρές που πέφτουν κατά την κάμψη, ενώ το αντίστοιχο αρνητικού λόγου Poisson το καλύπτει καθ' όλη την περιφέρειά του πέφτοντας κυκλικώς [27].

Από τις προαναφερόμενες έρευνες [26,27] διαπιστώνεται πως υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με αρνητικό λόγο

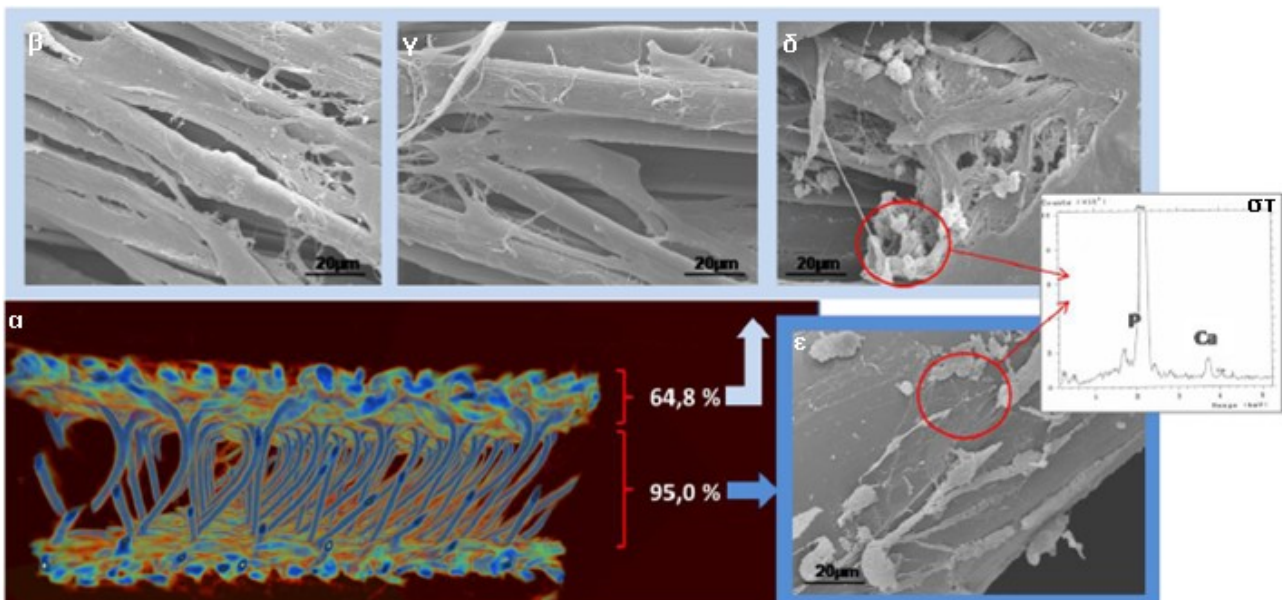
Poisson. Έτσι επιτυγχάνονται ασυνήθιστες ιδιότητες, καθώς η συμπεριφορά των υφασμάτων αυτών υπό εφελκυσμό είναι να επεκτείνονται τόσο κατά τη διεύθυνση του εφελκυστικού φορτίου, όσο και κατά την κάθετη σε αυτήν του εφελκυσμού διεύθυνση. Η δομή υφασμάτων τέτοιων ιδιοτήτων διακρίνεται από βραχείες και μακρές πλευρές που συνδέονται σχηματίζοντας οξεία γωνία. Η πιο έντονη κάθετη επέκταση των δοκιμίων παρατηρείται όταν αυτά τανύονται κατά τη διεύθυνση των σειρών τους, λόγω του κάθετου προσανατολισμού των μακρών πλευρών. Επιπροσθέτως, η πιο έντονη παραμόρφωση υπό εφελκυσμό παρατηρείται όταν τα δοκίμια τανύονται κατά τη διεύθυνση των στηλών τους, λόγω του προσανατολισμού των μακρών πλευρών παραλλήλως με τη διεύθυνση εφελκυστικού φορτίου [26,27]. Από το Σχήμα 36 διαπιστώνεται πως καθώς αυξάνεται η παραμόρφωση των δοκιμίων, ελαττώνεται ο αρνητικός λόγος Poisson [27]. Επίσης, τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με αρνητικό λόγο Poisson έχουν την ιδιότητα να καλύπτουν πλήρως τη μισή επιφάνεια ενός σώματος σφαιρικού σχήματος (Εικόνα 15β), διότι κατά την κάμψη τους παραμορφώνονται ομοιοτρόπως προς όλες τις διευθύνσεις του επιπέδου του επιφανειακού στημονοπλεκτού μονής όψεως [27].

## 5. ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΤΗΜΟΝΟΠΛΕΚΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

### 5.1. Εφαρμογές στην ιατρική

#### 5.1.1. Τριδιάστατα στημονοπλεκτά ικρίσματα μηχανικής ιστών

Έχει αναφερθεί στην εργασία [28] χρήση τριδιάστατου στημονοπλεκτού σε εφαρμογή μηχανικής ιστών. Παρήχθησαν τριδιάστατα πορώδη κλωστούφαντουργικά προϊόντα μέσω της τεχνολογίας πλεκτικής στημονιού, από νήματα φιμπροΐνης μεταξιού για τα πλευρικά υφάσματα μονής όψεως, και από νήματα τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου (PET) για τα συνδετήρια νήματα. Τα προϊόντα αυτά αποτελούν στιλπνά ικρίσματα που χρησιμοποιούνται για την προσκόλληση ανθρώπινων λιπωδών βλαστοκυττάρων και τη δόμηση ιστών με στόχο την ανάπλαση οστών [28].



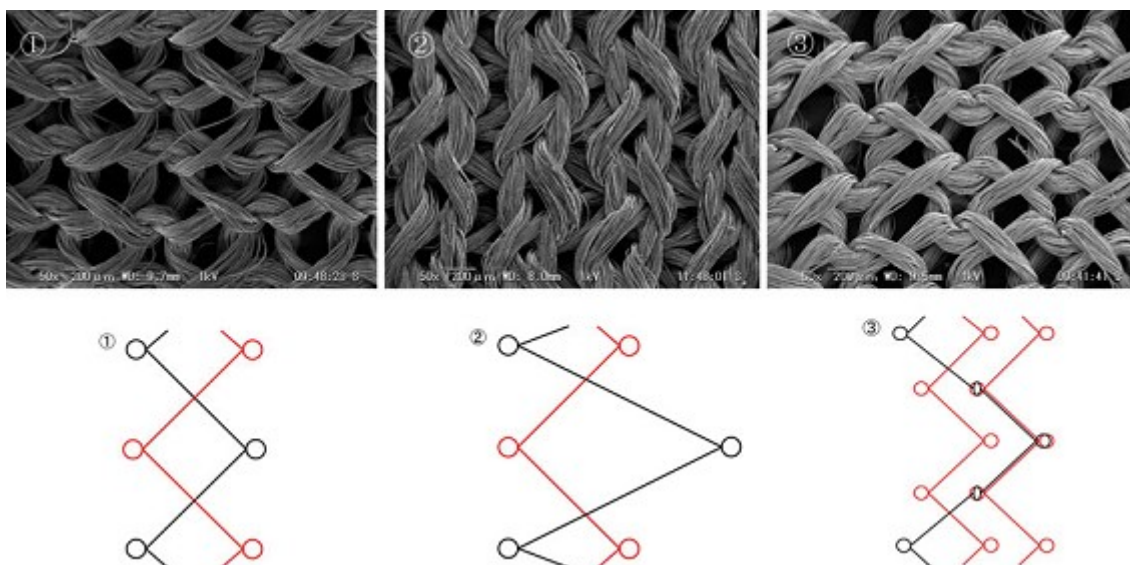
**Εικόνα 16:** Τριδιάστατες κατασκευές από φιμπροΐνη μεταξιού. α) Τριδιάστατη αναπαράσταση μέσω τομογραφίας με μικροϋπολογιστή, β)-ε) μικρογραφήματα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σαρώσεως (SEM) παρουσιάζοντας τη συμπεριφορά ανθρώπινων λιπωδών βλαστοκυττάρων κατά την καλλιέργεια 28 ημερών, στ) τυπικό φάσμα φασματοσκοπίας ενεργειακής διαχύσεως ακτίνων Χ (EDS) παρουσιάζοντας τα χημικά στοιχεία που ανιχνεύθηκαν στην επιφάνεια των ινών μετά από καλλιέργεια 28 ημερών [28].

Όπως περιγράφεται και στην *Εικόνα 16* σύμφωνα με την εργασία [28], βλαστοκύτταρα από ανθρώπινο λιπώδη ιστό χρησιμοποιήθηκαν για ανάπλαση οστών, λόγω της οστεογενούς διαφοροποίησης, εύκολης απομονώσεως και ταχείας εργαστηριακής εξαπλώσεώς τους. Το μικρογράφημα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σαρώσεως (Scanning Electron Microscope – SEM) (*Εικόνα 16β*) παρουσιάζει την

προσκόλληση των βλαστοκυττάρων στο ικρίωμα φιμπροΐνης μεταξιού σε αρχικό στάδιο. Τα βλαστοκύτταρα έχουν ινοβλαστική μορφολογία και την τάση να εξαπλωθούν στην επιφάνεια του ικριώματος. Σε 14 ημέρες καλλιέργειας (*Εικόνα 16γ*), εμφανίζεται αποικισμός κυττάρων σε μεγαλύτερη έκταση. Μετά από 28 ημέρες καλλιέργειας (*Εικόνα 16δ*), στο τριδιάστατο στημονοπλεκτό ικρίωμα εναποτίθεται μήτρα ανόργανων στοιχείων· όπως και στην εγκάρσια τομή του ικριώματος (*Εικόνα 16ε*) παρατηρείται πως τα βλαστοκύτταρα έχουν διεισδύσει μέσα στη δομή του ικριώματος και έχουν αποικίσει τα συνδετήρια νήματα, προκαλώντας μεταλλοποίηση της εξωκυττάριας μήτρας. Η παρουσία των μεταλλικών στοιχείων (*Εικόνες 16δ,ε*) επιβεβαιώνεται από την ανίχνευση ασβεστίου και φωσφόρου (*Εικόνα 16στ*) κατά τη φασματοσκοπία ενεργειακής διαχύσεως ακτινών Χ (EDS: Energy-dispersive X-ray spectroscopy), στην οποία παρατηρούνται κορυφές των αντίστοιχων στοιχείων [28].

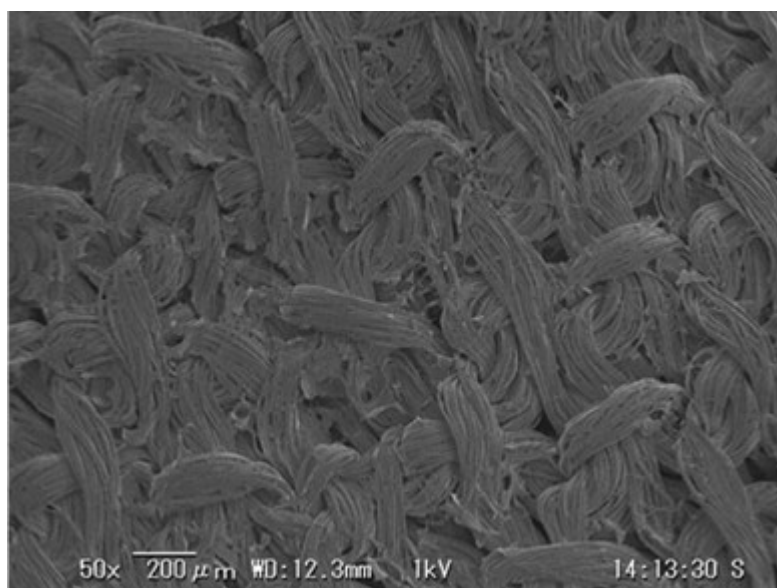
### **5.1.2. Σωληνωτά στημονοπλεκτά από φυσικές ίνες, ως βάση αγγειακών μοσχευμάτων**

Βάσει διεξαχθείσας έρευνας [29] παρήχθησαν μοσχεύματα αγγείων με βάση σωληνωτά στημονοπλεκτά υφάσματα. Τα μοσχεύματα αυτά είχαν διαστάσεις μήκους 10 mm και διαμέτρου 1,5 mm. Τα υφάσματα κατασκευάσθηκαν σε δίπλακη πλεκτομηχανή Ράσσελ από ίνες φιμπροΐνης μεταξιού, και στη συνέχεια υπέστησαν επικάλυψη με υδατικό διάλυμα φιμπροΐνης μεταξιού, εμπεριέχοντας ως μέσο σχηματισμού διασταυρούμενων (ή πλευρικών) χημικών δεσμών αναμεταξύ των πολυμερικών του μοριακών αλυσίδων, πόλυ(διγλυκιδυλαιθέρα της αιθυλενογλυκόλης) (poly(ethylene glycol diglycidyl ether) – PGDE). Οι ίνες πλέξεως ελήφθησαν ύστερα από κατεργασία ινών μεταξιού. Για την απομάκρυνση της σερικίνης από τις ίνες φιμπροΐνης μεταξιού τα σωληνωτά στημονοπλεκτά υπεβλήθησαν σε αποκολλάρισμα με διάλυμα ανθρακικού νατρίου (0.1% w/v) και σάπωνος Μασσαλίας (0.2% w/v) για χρονικό διάστημα 120 min σε θερμοκρασία 95°C. Η διαδικασία αποκολλαρίσματος αυτή πραγματοποιήθηκε τρεις φορές. Κατασκευάσθηκαν τρία είδη σωληνωτών στημονοπλεκτών με διαφορετική ελαστικότητα, ευλυγισία και ακολούθως συμπεριφορά μετά τη μεταμόσχευση, σύμφωνα με τις ρυθμιζόμενες παραμέτρους πλέξεως (*Εικόνα 17*) [29].



**Εικόνα 17:** Εικόνες SEM και σχηματικές απεικονίσεις των τριών τύπων σωληνωτών στημονολεκτών μοσχευμάτων [29].

Μετέπειτα, όπως αναφέρεται στην εργασία [29], εφαρμόστηκε επικάλυψη (Εικόνα 18) των σωληνωτών στημονολεκτών με υδατικό διάλυμα φιμπροΐνης και του μέσου διαμορφώσεως διασταυρούμενου χημικού δεσμού PGDE. Τα επικαλυμμένα πλέον σωληνωτά στημονολεκτά υπέστησαν ψύξη στους  $-80^{\circ}\text{C}$ . Για να απομακρυνθεί η περίσσεια της ουσίας PGDE που δεν αντέδρασε με τα παραγόμενα υποστρώματα, αυτά εμβαπτίσθηκαν για διάρκεια τεσσάρων ημερών σε αποσταγμένο ύδωρ και στεγνώθηκαν. Κατά τον τρόπο αυτόν, η στρώση της επικάλυψης απέκτησε σπογγώδη υφή. Τέλος τα μοσχεύματα αποστειρώθηκαν με διάρκεια 20 λεπτών σε αυτόκλειστο σε θερμοκρασία  $120^{\circ}\text{C}$  και ενυδατώθηκαν για 60 λεπτά με αλατούχο διάλυμα 0.9% [29].

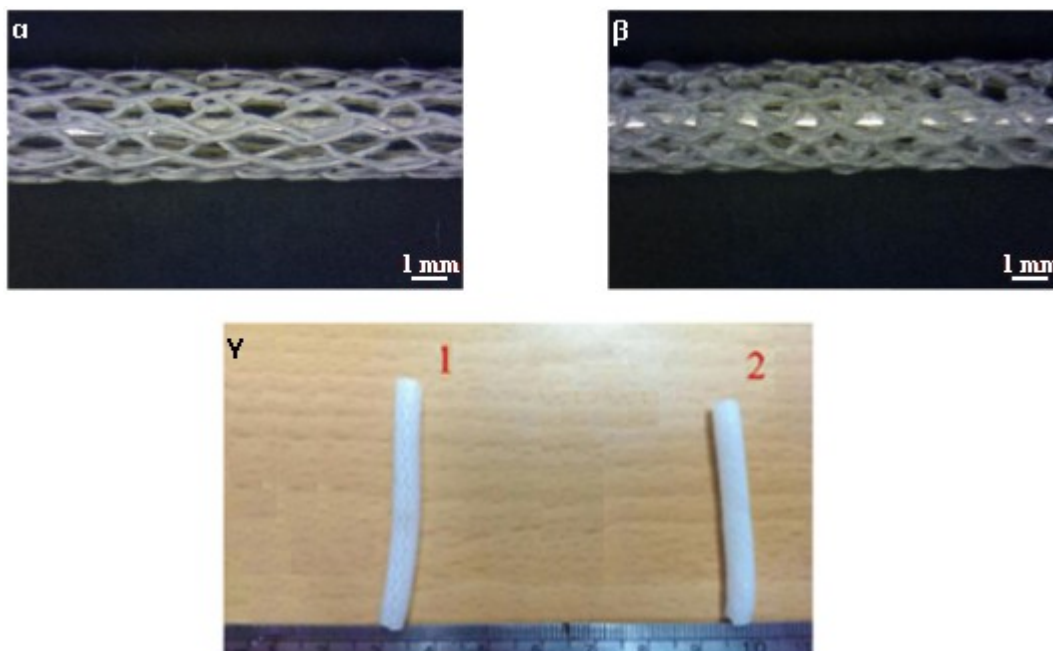


**Εικόνα 18:** Εικόνα SEM μοσχεύματος με επικάλυψη διαλύματος φιμπροΐνης και PGDE [29].

Σημειώνεται στην εργασία [29] πως το κυριότερο χαρακτηριστικό αυτών των μοσχευμάτων είναι η δυνατότητα ανασχηματισμού ιστών, η οποία δε συναντάται σε προηγούμενες κατασκευές μοσχευμάτων από συνθετικές ίνες. Επίσης, επισημαίνεται από την ίδια εργασία πως απεφεύχθησαν αστοχίες προγενέστερων αντιστοιχών προϊόντων ινών φιμπροΐνης όπως μειωμένη αντοχή, ξέφτισμα των άκρων των μοσχευμάτων, διαρροή ποσότητας αίματος από τα μοσχεύματα και εμφάνιση θρομβώσεως βραχυπροθέσμως και υπερπλασίας μακροπροθέσμως. Επιπροσθέτως, τα μοσχεύματα από ίνες φιμπροΐνης μεταξιού είναι βιοδιασπώμενα και βατά στον προς μεταμόσχευση οργανισμό σε ικανοποιητικό βαθμό [29].

### **5.1.3. Σωληνωτά στημονοπλεκτά από συνθετικές ίνες, ως βάση αγγειακών μοσχευμάτων**

Επιπλέον, έχουν υλοποιηθεί εφαρμογές παρασκευής αγγειακών μοσχευμάτων από ίνες PET (πολυαιθύλενο τερεφθαλικού εστέρα ή αλλιώς πολυεστέρα) και ίνες spandex. Κατά την εφαρμογή [30] κατασκευάσθηκαν νήματα περιτυλίξεως είτε από ίνες PET ή από συνδυασμό ινών PET και spandex, όπου οι ίνες spandex απετέλεσαν τον πυρήνα των νημάτων και οι ίνες PET το περίβλημά τους. Έπειτα τα νήματα αυτά μεταποιήθηκαν σε τριδιάστατα σωληνωτά στημονοπλεκτά που χρησίμευσαν ως βάση για την εναπόθεση υδρογέλης PVA (πολυβινυλικής αλκοόλης) προς την τελική διαμόρφωση αγγειακών μοσχευμάτων. Η προετοιμασία της υδρογέλης PVA υλοποιήθηκε αφού πρώτα παρασκευάσθηκε διάλυμα PVA 11%, διαλύοντας σκόνη PVA σε απιονισμένο ύδωρ υπό ανάδευση, για διάρκεια έξι ωρών, σε θερμοκρασία 100 °C. Ο σχηματισμός και η ενσωμάτωση της υδρογέλης PVA με τα σωληνωτά στημονοπλεκτά επετεύχθη μέσω της διαδικασίας ψύξεως - αποψύξεως, η οποία επέφερε σχηματισμό διασταυρούμενων χημικών δεσμών μεταξύ των μοριακών αλυσίδων στο πολυμερές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εικόνες μικροσκοπίου (*Εικόνες 19α,β*) που αναδεικνύουν τη δομή των σωληνωτών στημονοπλεκτών, και φωτογραφία (*Εικόνα 19γ*) των τελικών αγγειακών μοσχευμάτων, μετά την ενσωμάτωση της υδρογέλης PVA στη βάση των μοσχευμάτων, δηλαδή στα στημονοπλεκτά [30].



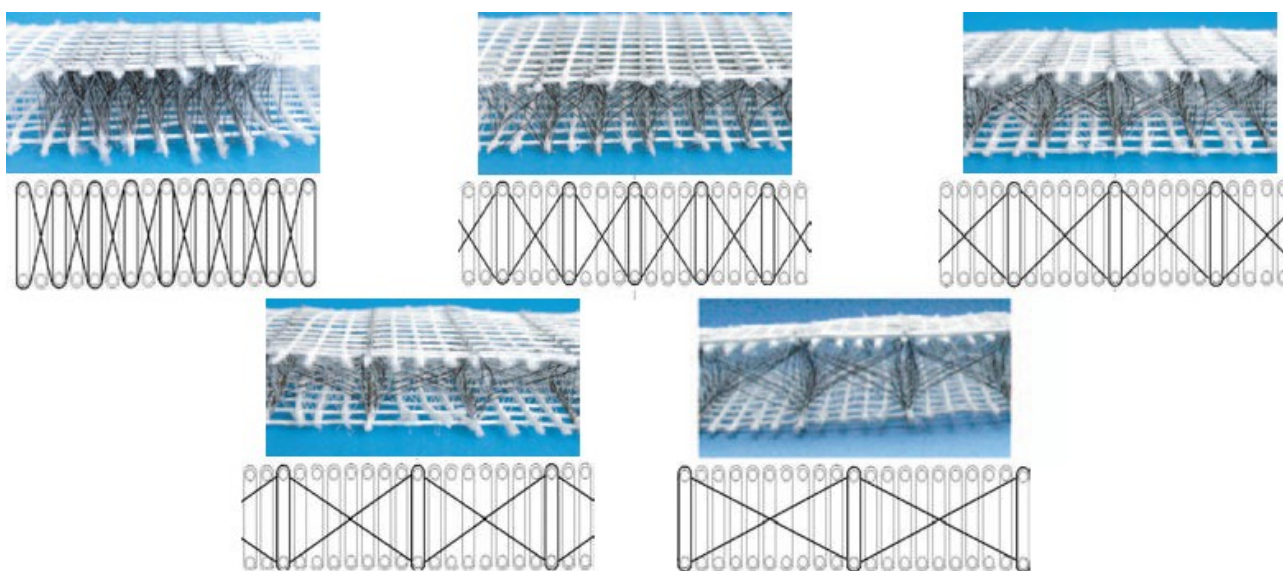
**Εικόνα 19:** Εικόνες μικροσκοπίου σωληνωτών στημονοπλεκτών από ίνες α) πολυεστέρα και β) πολυεστέρα – spandex. γ) Φωτογραφία τελικών αγγειακών μοσχευμάτων (1) από ίνες πολυεστέρα και (2) από ίνες πολυεστέρα – spandex [30].

## 5.2. Εφαρμογές στην οικοδόμηση

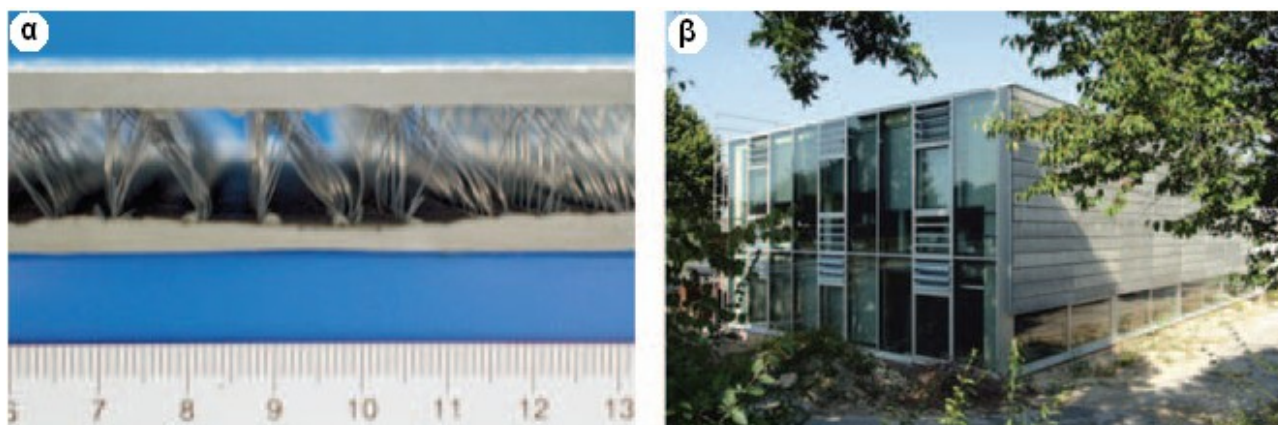
Στην εργασία [16] επισημαίνεται ότι τριδιάστατα στημονοπλεκτά υποστρώματα έχουν χρησιμοποιηθεί ως βάση για την κατασκευή σύνθετων υλικών που αποτελούνται από τα εν λόγω κλωστοϋφαντουργικά υποστρώματα και σκυρόδεμα. Με την ενσωμάτωση των τριδιάστατων στημονοπλεκτών σε σκυρόδεμα επιτυγχάνεται ενίσχυση του σκυροδέματος καθώς συνδυάζονται οι μηχανικές ιδιότητές του με αυτές των στημονοπλεκτών που διακρίνονται για την αντίστασή τους στη θλίψη. Είναι δυνατόν να ρυθμισθεί κατά προτίμηση η επιθυμητή αντίσταση στη θλίψη, για διάφορες τελικές χρήσεις, αναλόγως με τη δομή των τριδιάστατων στημονοπλεκτών [16].

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή [16] κατασκευάστηκε κλωστοϋφαντουργικό τριδιάστατο στημονοπλεκτό υπόστρωμα από ίνες υάλου ανθεκτικές σε αλκαλικό περιβάλλον. Στις δύο στημονοπλεκτές επιφάνειες του υποστρώματος πραγματοποιήθηκε εισχώρηση προνήματος από ίνες υάλου κατά τις στήλες (μήκος) και κατά τις σειρές (πλάτος) του στημονοπλεκτού. Η παρεμβολή στήμονος και υφαδιού συνεισέφεραν στην ενίσχυση του κλωστοϋφαντουργικού υποστρώματος. Η κλίση των συνδετήριων νημάτων (δηλαδή η μετατόπιση των κάτω τυλιγμάτων ανά διάφορους

αριθμούς βελονών) επηρέασε την ανταπόκριση του υποστρώματος στη θλίψη. Όσο αυξάνεται η κλίση των συνδετήριων νημάτων, τόσο μειώνεται η αντίστασή τους στη θλίψη (Εικόνα 20). Κατά τον τρόπο αυτόν, μπορούν να παραχθούν τριδιάστατα στημονοπλεκτά με την προτιμητέα συμπεριφορά κατά τη θλίψη. Μετέπειτα, πραγματοποιήθηκε έγχυση σκυροδέματος προς στερέωσή του στο φερόμενο ως βάση υπόστρωμα, ώστε να σχηματισθεί το τελικό σύνθετο υλικό τριδιάστατου στημονοπλεκτού - σκυροδέματος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως σκυρόδεμα ενισχυμένο με κλωστοϋφαντουργικό προϊόν και του οποίου η αγγλική ορολογία είναι «Textile Reinforced Concrete (TRC)» (Εικόνα 21α) [16].



**Εικόνα 20:** Συνδετήρια νήματα σε διαφορετική διάταξη και κλίση, τριδιάστατων στημονοπλεκτών υποστρωμάτων χρησιμοποιούμενων σε εφαρμογές οικοδομήσεως [16].



**Εικόνα 21:** α) Τριδιάστατο στημονοπλεκτό υπόστρωμα με ενσωματωμένο λεπτόκοκκο σκυρόδεμα στις επιφάνειές του. β) Στοιχεία προσόψεως, από σκυρόδεμα ενισχυμένο με κλωστοϋφαντουργικό υλικό, του πανεπιστημίου RWTH Aachen [16].

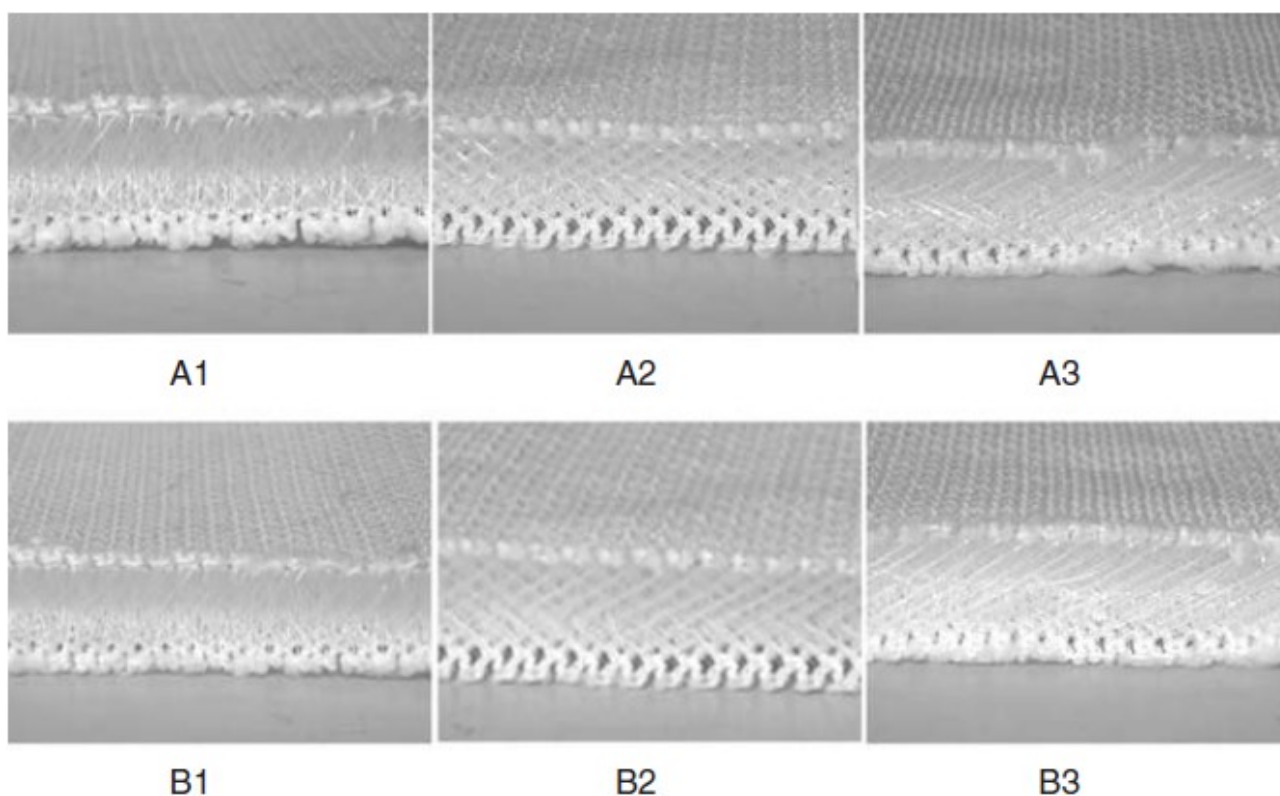


### 5.3. Εφαρμογές σε έπιπλα και στρώματα ως αναπαυτικά υλικά πλήρωσης

Όπως αναφέρεται στην εργασία [31], έχει υλοποιηθεί παραγωγή τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με προστατευτικές ιδιότητες για χρήση σε στρώματα, καθίσματα και έπιπλα. Τα υφάσματα αυτά αποτελούνται από υλικά που έχουν χαρακτηριστικά ευλυγισίας και απαλής υφής. Επιπλέον, παρουσιάζουν ιδιότητες: μειωμένης θερμικής αντιστάσεως, αεροδιαπερατότητας και κατανομής της ασκούμενης πίεσεως κατά τη διάρκεια τοποθέτησεως ενός σώματος επάνω στα υφάσματα αυτά. Μέσω της κατασκευής κλωστούφαντουργικών υποστρωμάτων με τέτοιες ιδιότητες, επιτυγχάνεται αντικατάσταση υλικών που συνήθως χρησιμοποιούνται σε παρόμοιες περιστάσεις όπως ο αφρός πολυουρεθάνης, ο οποίος παρουσιάζει [32,33] δυσκολία στην ανακύκλωσή του και στη διαδικασία πλυσίματός του, και έλλειψη προσδόσεως αισθήσεως ανέσεως. Ο αφρός πολυουρεθάνης, σε αντίθεση με τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα, παρουσιάζει χαμηλή αεροδιαπερατότητα και υψηλή θερμική αντίσταση, συνδυασμός παραμέτρων που προκαλούν δυσφορία στον χρήστη μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα, λόγω αυξήσεως της θερμοκρασίας [31].

Τα μειονεκτήματα αυτά δύνανται να ξεπεραστούν από τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα, τα οποία λόγω της δομής τους και με κατάλληλα νήματα και δομικές παραμέτρους, προσδίδουν αίσθηση ανέσεως συνδυάζοντας ικανοποιητική συμπεριφορά απέναντι στη θλίψη. Πιο συγκεκριμένα, όπως σημειώνεται στην εργασία [31], κατασκευάσθηκαν τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα προς χρήση σε καθίσματα και στρώματα, με αντίσταση στη θλίψη, μέσω πλεκτομηχανής Ράσσελ RD 6 DPLM/30 διπλής βελονοστοιχίας, με νούμερο E16, έξι κτένια κλωστοφόρων και απόσταση μεταξύ των δύο πλακών 20mm. Τα νήματα από τα οποία απαρτίσθηκαν τα παραχθέντα στημονοπλεκτά ήταν νήματα πολυεστέρα, πολύκλωνα για τις δύο όψεις, και μονόκλωνα για τα συνδετήρια νήματα, έκαστου τριδιάστατου προϊόντος. Κατά τον τρόπο αυτόν παρήχθησαν έξι δείγματα (*Εικόνα 22*). Τα τρία διέθεταν συνδετήρια νήματα με διάμετρο 0,18 mm και κλίση που προέκυψε από μετατόπιση διαφορετικού αριθμού βελονών. Τα άλλα τρία δείγματα διέθεταν συνδετήρια νήματα με διάμετρο 0,22 mm και κλίση προκύπτουσα από τις διαφορετικές μετατοπίσεις βελονών στα τρία

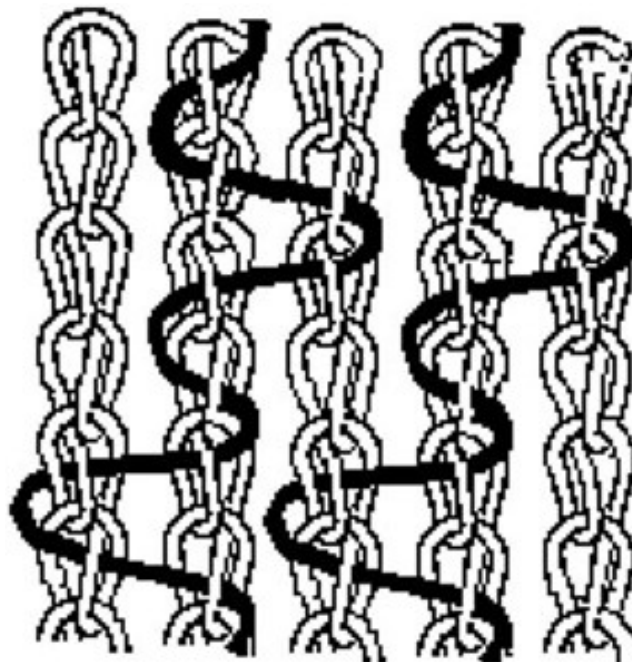
δείγματα της πρώτης ομάδας. Οι δύο όψεις του κάθε δείγματος ήταν δομής στημονοπλεκτού με εναπόθεση νήματος και θηλιά αλυσίδας (Σχήμα 37). Αυτή η δομή των επιφανειακών στημονοπλεκτών συνήθως επιλέγεται σε εφαρμογές επίπλων, καθισμάτων και στρωμάτων, διότι επιτυγχάνεται ταυτοχρόνως καλή αεροδιαπερατότητα και σταθερότητα δομής του τριδιάστατου στημονοπλεκτού. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά (προδιαγραφές) των δειγμάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 3 [31].



Εικόνα 22: Παραχθέντα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα [31].

Πίνακας 3: Προδιαγραφές τριδιάστατων στημονοπλεκτών δειγμάτων [31].

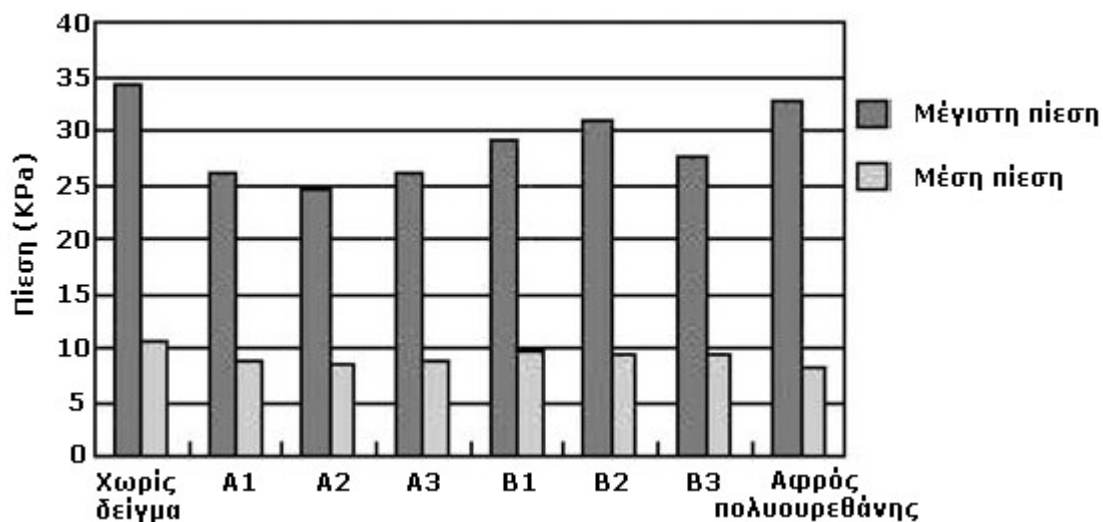
Δείγματα	Διάμετρος συνδετήριων νημάτων (mm)	Κάτω τύλιγμα (αριθμός μετατοπισθεισών βελονών)	Γωνία κλίσης συνδετήριων νημάτων (°)	Πάχος (mm)	Βάρος (g/m <sup>2</sup> )
A1	0,18	12	52,4	17,93	1375
A2	0,18	8	39,86	17,75	1285
A3	0,18	5	26,57	16,94	1100
B1	0,22	12	52,51	17,86	1700
B2	0,22	8	39,99	17,67	1582
B3	0,22	5	26,63	16,89	1300
Αφρός πολυουρεθάνης	-	-	-	20	458



**Σχήμα 37:** Όψη επιμέρους στημονοπλεκτής επιφάνειας τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος, δομής θηλιάς αλυσίδας με εναπόθεση νήματος [31].

Κατά το περιεχόμενο της εργασίας [31], τα δείγματα υπεβλήθησαν σε δοκιμασίες κατανομής πίεσως, θερμικής αντιστάσεως και αεροδιαπερατότητας με σχετική υγρασία 65% και θερμοκρασία 23 °C. Η κατανομή της πίεσως που ασκείται επάνω στα δείγματα, κατά την τοποθέτηση ενός σώματος επάνω σε αυτά, μετρήθηκε μέσω της συσκευής συστήματος μετρήσεως πίεσως ClinSeat™, η οποία αποτελείται από μία επιφάνεια αισθητήρων και ένα σύστημα αποκτήσεως και αναλύσεως δεδομένων. Η επιφάνεια αισθητήρων είχε διαστάσεις 442×488 mm<sup>2</sup>, με τέσσερις αισθητήρες ανά cm<sup>2</sup>. Σώμα 50 kg τοποθετήθηκε με σταθερό τρόπο επάνω σε ξύλινο κάθισμα με την επιφάνεια αισθητήρων, αρχικώς χωρίς δείγμα και στη συνέχεια με τοποθέτηση ενός δείγματος για κάθε δοκιμή. Έτσι ελήφθησαν και κατεγράφησαν οι μετρήσεις από το αντίστοιχο σύστημα της συσκευής [31].

Όσον αφορά την κατανομή πίεσως, τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται από το άρθρο [31] στο Σχήμα 38.



**Σχήμα 38: Μέγιστη και μέση πίεση των δοκιμασθέντων δειγμάτων [31].**

Όπως προκύπτει από τις τιμές των μεγίστων και μέσων πιέσεων, η υψηλότερη μέγιστη και μέση πίεση παρατηρείται στην περίπτωση χωρίς δείγμα. Επίσης, οι μέσες πιέσεις των παραχθέντων τριδιάστατων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι υψηλότερες, ενώ οι μέγιστες πιέσεις τους είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του δείγματος αφρού πολυουρεθάνης. Αυτό σημαίνει ότι το εύρος τιμών των πιέσεων των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων είναι μικρότερο από το αντίστοιχο του αφρού πολυουρεθάνης. Συνεπώς, τα υφάσματα αυτά παρουσιάζουν πιο ομοιόμορφη κατανομή πίεσεως στην επιφάνεια που ασκείται η πίεση αυτή, συγκριτικώς με το δείγμα αφρού πολυουρεθάνης [31].

Όσον αφορά τη θερμική αντίσταση των δειγμάτων, η δοκιμασία της εργασίας [31] διεξήχθη σε θερμοκρασία 23 °C και σχετική υγρασία 65%, με χρήση συσκευής Alambda. Η δοκιμασία της αεροδιαπερατότητας εξετελέσθη από την εργασία [31] βασιζόμενη στα πρότυπα ISO 9237:1995 μέσω συσκευής TEXTEST FX 3300 Air Permeability Tester III.

**Πίνακας 4: Αεροδιαπερατότητα και θερμική αντίσταση των δοκιμών [31].**

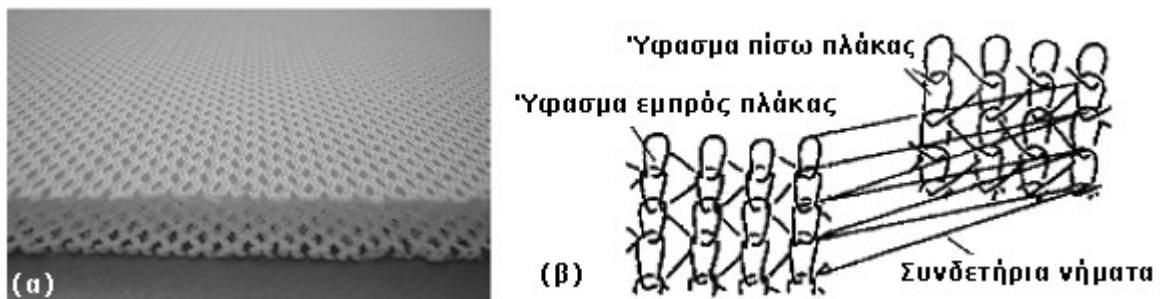
Δείγματα	A1	A2	A3	B1	B2	B3	Αφρός πολυουρεθάνης
Αεροδιαπερατότητα (l/s/m <sup>2</sup> )	3588	3597	3604	3498	3523	3537	924
Θερμική αντίσταση (m <sup>2</sup> ×K/W)	138	133	126	145	139	131	221

Όπως παρατηρείται στον *Πίνακα 4*, το δείγμα αφρού πολυουρεθάνης διαθέτει πολύ υψηλότερη θερμική αντίσταση, λόγω της οποίας διατηρεί τη θερμότητα στο εσωτερικό του υλικού του. Αντιθέτως, τα κλωστοϋφαντουργικά δείγματα, με τις χαμηλές τιμές θερμικής αντιστάσεως, άγουν τη θερμότητα σε πιο ικανοποιητικό βαθμό και επιτρέπουν τη μετάδοσή της από το σώμα του χρήστη, μέσω αυτών, στον περιβάλλοντα χώρο. Ως προς την αεροδιαπερατότητα, τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά έχουν πολύ καλές ιδιότητες· κάτι αναμενόμενο διότι είναι αποτέλεσμα της ανοιχτής δομής των δύο εκατέρωθεν όψεών τους. Παρά το γεγονός ότι το πάχος του δείγματος αφρού πολυουρεθάνης είναι λίγο μεγαλύτερο, η αεροδιαπερατότητά του είναι εμφανώς χαμηλότερη (περίπου 25%) αυτής των τριδιάστατων στημονοπλεκτών [31].

Συμπεραίνεται από την έρευνα [31], ότι τα συγκεκριμένα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα αποτρέπουν τη συγκέντρωση πιέσεως σε σημεία της επιφάνειας όπου ασκείται η πίεση αυτή· συνεπώς χαρακτηρίζονται από πιο ομοιόμορφη κατανομή πιέσεως, με αποτέλεσμα καλύτερες ιδιότητες εξομάλυνσεως της ασκούμενης πιέσεως συγκριτικώς με το δείγμα αφρού πολυουρεθάνης. Η εξομάλυνση της ασκούμενης πιέσεως αποτελεί σημαντική προδιαγραφή για τα στρώματα των νοσοκομειακών κλινών και για τα αμαξίδια μεταφοράς των ατόμων με κινητικές δυσκολίες, καθώς τα άτομα αυτά και οι ασθενείς παραμένουν στην ίδια θέση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, αντιμετωπίζοντας πόνους λόγω ακινησίας, από παρατεταμένη και συνεχή άσκηση πιέσεως [31, 34]. Επίσης οι ιδιότητες αεροδιαπερατότητας και θερμικής αντιστάσεως των κλωστοϋφαντουργικών υποστρωμάτων αλληλεπιδρούν καταλλήλως για την πρόσδοση αισθήσεως ανέσεως. Επιπροσθέτως, η ανακύκλωση των τριδιάστατων στημονοπλεκτών μπορεί να υλοποιηθεί με πιο εύκολο τρόπο από ό,τι υλοποιείται για τον αφρό πολυουρεθάνης. Εν κατακλείδι, από τις ανωτέρω συγκρίσεις μπορεί να διαπιστωθεί πως τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα μπορούν να αντικαταστήσουν υλικά αφρού πολυουρεθάνης σε εφαρμογές καθιστικών επίπλων και στρωμάτων, όπου είναι σημαντικές οι απαιτήσεις για άνεση και ανακύκλωση [31].

#### 5.4. Εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία ως υποστηρικτικά υποστρώματα πληρώσεως καθισμάτων

Παρόμοια εργασία [35] πραγματοποίησαν οι X. Ye, R. Fangueiro, H. Hu και M. de Araújo σε πιο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών· τα καθίσματα αυτοκινήτων. Λόγω των αυστηρών προδιαγραφών αναφορικάς προς το περιβάλλον, η αυτοκινητοβιομηχανία προσανατολίζεται σε νέα υποστηρικτικά υλικά πληρώσεως των καθισμάτων. Τα υλικά αυτά δύνανται να αντικαταστήσουν συμβατικώς χρησιμοποιούμενα υλικά όπως ο αφρός πολυουρεθάνης, ο οποίος χαρακτηρίζεται από δυσκολία στην ανακύκλωση και έλλειψη ανέσεως κατά τη χρήση, αυξανόμενης της δυσφορίας υπό την πάροδο του χρόνου χρήσεως λόγω ανόδου της θερμοκρασίας. Τα νέα αυτά υλικά είναι τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα (Εικόνα 23), τα οποία εκτός από την αποφυγή των προαναφερθέντων μειονεκτημάτων του αφρού πολυουρεθάνης, πρέπει να διαθέτουν καλές μηχανικές ιδιότητες ως προς τη θλίψη τους. Επίσης, στην εργασία [35] μελετάται και η δυνατότητα επαναφοράς των εξεταζόμενων υποστρωμάτων στην αρχική τους διάσταση πάχους.

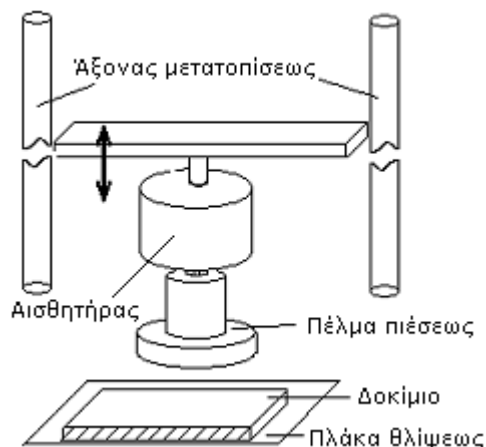


**Εικόνα 23: (α) Φωτογραφία και (β) σχηματική αναπαράσταση παραχθέντος τριδιάστατου στημονοπλεκτού δείγματος [35].**

Την πλέξη των δειγμάτων υλοποίησε η εργασία [35] σε στημονοπλεκτομηχανή με διπλή βελονοστοιχία και έξι κτένια κλωστοφόρων. Όπως αναδεικνύεται στην Εικόνα 23α, τα παραχθέντα δοκίμια στην εμπρός και πίσω όψη έχουν πλέξη δομής μικρού δικτυωτού πλέγματος. Τα νήματα που χρησιμοποιήθηκαν από τα κτένια κλωστοφόρων GB1, GB2, GB5 και GB6 για την πλέξη των δύο υφασμάτων, που αποτελούν τις δύο όψεις των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υποστρωμάτων, είναι πολύκλινα, λεπτότητας 400 dtex και πολυεστερικής συνθέσεως. Τα νήματα που χρησιμοποιήθηκαν

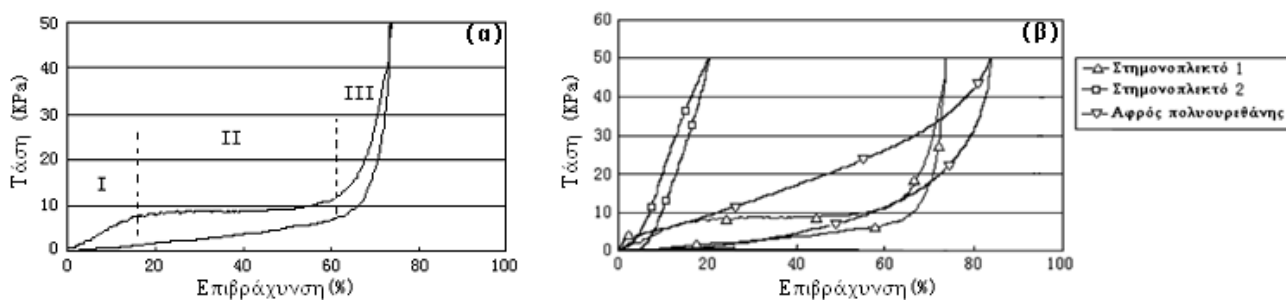
στα κτένια κλωστοφόρων GB3 και GB4 ως συνδετήρια, είναι μονόκλινα, λεπτότητας 350 dtex και πολυεστερικής συνθέσεως [35].

Ο έλεγχος των δοκιμών στη θλίψη πραγματοποιήθηκε από την εργασία [35] σε συσκευή θλίψεως (Σχήμα 39), η οποία λειτουργεί βάσει των προτύπων FZ/T01051.2-1998.



**Σχήμα 39: Συσκευή θλίψεως [35].**

Όπως περιγράφεται στη μελέτη [35], η συσκευή αυτή διαθέτει επιφάνεια ασκήσεως θλιπτικού φορτίου, με εμβαδόν 10 cm<sup>2</sup>. Η ταχύτητα με την οποία η επιφάνεια ασκεί πίεση στο δείγμα είναι 10 mm/λεπτό. Επίσης, διατίθενται δύο αισθητήρες: ένας για τη μέτρηση και καταγραφή του ασκούμενου φορτίου, και άλλος ένας για τη μέτρηση και καταγραφή του πάχους του δοκιμίου. Με τον τρόπο αυτόν, προέκυψαν στην εργασία [35] γραφικές παραστάσεις θλίψεως των δοκιμασθέντων υποστρωμάτων, όπως αυτή του Σχήματος 40 που παρουσιάζει τη συμπεριφορά ενός θλιβομένου τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος.



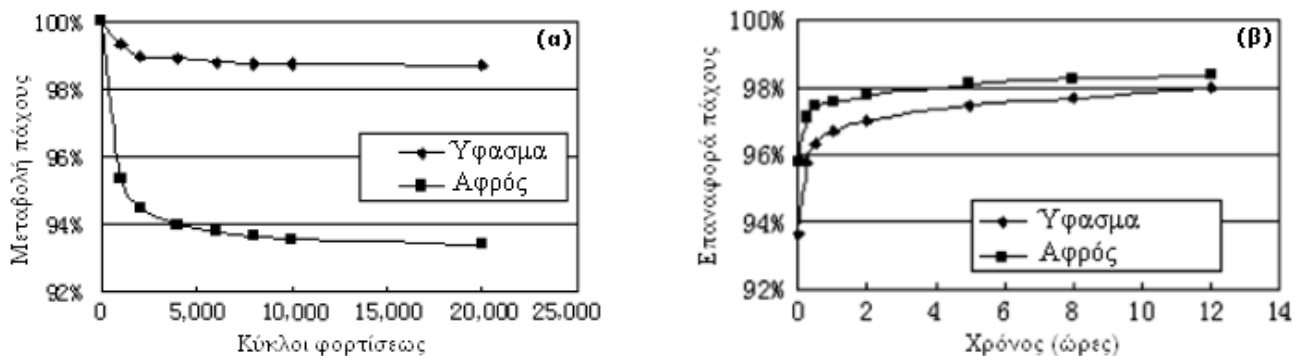
**Σχήμα 40: Γραφική παράσταση θλιπτικής φορτίσεως - αποφορτίσεως (α) ελεγχθέντος τριδιάστατου στημονοπλεκτού και (β) διαφορετικών υποστρωμάτων [35].**

Στο Σχήμα 40α αναγράφονται τρεις περιοχές της γραφικής παραστάσεως που

αντιστοιχούν σε τρία στάδια της θλίψεως του δοκιμίου. Στην πρώτη περιοχή συντελείται ελαστική παραμόρφωση, συνεπώς η αντίσταση του δείγματος στη θλίψη είναι ικανοποιητική. Στη δεύτερη περιοχή η επιβράχυνση έχει εισέλθει στο στάδιο της πλαστικής παραμορφώσεως, και το υπό δοκιμή υπόστρωμα επιβραχύνεται με πιο εύκολο τρόπο, χωρίς ιδιαίτερη αύξηση της τάσεως. Στην τρίτη περιοχή το δοκίμιο υπόκειται σε υψηλές θλιπτικές τάσεις, γι' αυτό τα συνδετήρια νήματά του πτυχώνονται χωρίς δυνατότητα επαρκούς απορροφήσεως του θλιπτικού φορτίου, και επομένως με αύξηση της θλιπτικής τάσεως. Οι καλύτερες ιδιότητες των τριδιάστατων στημονοπλεκτών κατά της θλίψεως επιτυγχάνονται στην πρώτη περιοχή της ελαστικής επιβραχύνσεως, όπου τα υποστρώματα φέρουν καλή αντίσταση στη θλίψη, με δυνατότητα επαναφοράς τους στις αρχικές διαστάσεις πάχους. Τα σημεία διαχωρισμού των τριών περιοχών της γραφικής παραστάσεως καθορίζονται από τη δομή και ακαμψία των συνδετήριων νημάτων και το πάχος των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων. Στο *Σχήμα 40β* παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις για τη θλίψη δύο τριδιάστατων στημονοπλεκτών δειγμάτων και ενός δείγματος αφρού πολυουρεθάνης. Από τη σύγκριση των γραφικών παραστάσεων παρατηρείται πως το δεύτερο τριδιάστατο στημονοπλεκτό υπόστρωμα όντας πιο άκαμπτο σε σχέση με αυτό του αφρού πολυουρεθάνης, συμπεριφέρεται ελαστικώς (πρώτη περιοχή γραφικής παραστάσεως) μέχρι και την τάση των 50 KPa. Επίσης το δεύτερο τριδιάστατο στημονοπλεκτό είναι πιο δύσκαμπτο από το πρώτο λόγω των συνδετήριων νημάτων τους που φέρουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Συνεπάγεται λοιπόν, πως αναλόγως με την τελική χρήση μπορούν να επιλεχθούν συνδετήρια νήματα με κατάλληλες ιδιότητες, ώστε να παραχθούν τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με επιθυμητή ανταπόκριση κατά τη θλίψη· δηλαδή πιο εύκαμπτα ή πιο δύσκαμπτα [35].

Η δοκιμασία της μεταβολής πάχους των δειγμάτων υπό δυναμική και στατική φόρτιση πραγματοποιήθηκε στην εργασία [35] μέσω συσκευής με επιφάνεια ασκήσεως φορτίου 50 KPa, εμβαδού  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , εκτελώντας 30 κύκλους ανά λεπτό. Ελήφθησαν ένα τριδιάστατο στημονοπλεκτό δείγμα και ένα δείγμα αφρού πολυουρεθάνης με πάχος 43,70 και 28,80 mm και βάρος υποστρώματος 2,867 και 576 g/m<sup>2</sup> αντιστοίχως. Τα δείγματα αυτά υπεβλήθησαν σε δυναμική και στατική θλιπτική φόρτιση [35].

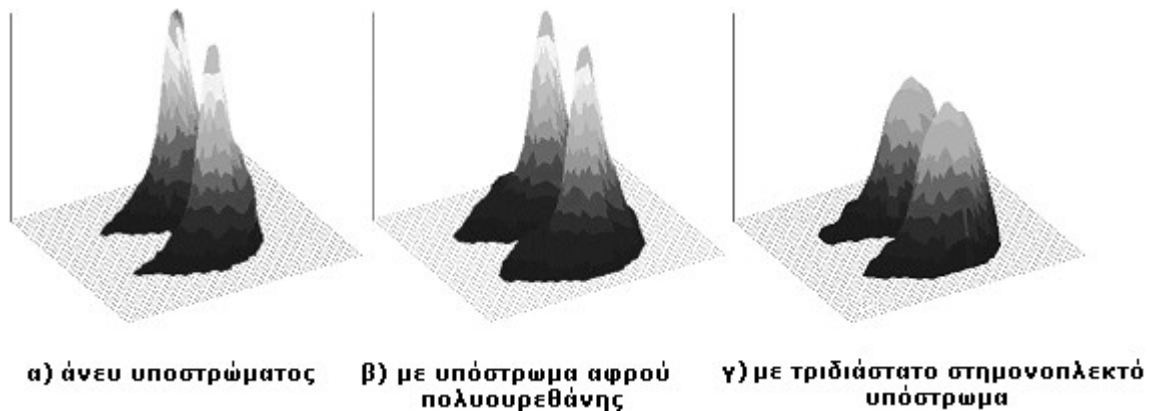




**Σχήμα 41: α) Μεταβολή πάχους των δύο δειγμάτων κατά τη δυναμική φόρτισή τους. β) Επαναφορά πάχους των δύο δειγμάτων κατά τη στατική φόρτισή τους [35].**

Κατά τη δυναμική φόρτιση των δειγμάτων (Σχήμα 41α) παρατηρείται, βάσει της εργασίας [35], αρχικώς μείωση και εν συνεχεία σταθεροποίηση του πάχους τους, με τη διαφορά πως η μείωση του πάχους του αφρού πολυουρεθάνης είναι πιο έντονη. Στους 20.000 κύκλους φορτίσεως το πάχος αφρού πολυουρεθάνης έχει ελαττωθεί κατά 6,6%. Το πάχος του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υπέστη μείωση κατά 1,3% στους ίδιους κύκλους φορτίσεως. Η μεταβολή του πάχους των τριδιάστατων στημονοπλεκτών επηρεάζεται από τις ιδιότητες και τη δομή των συνδετήριων νημάτων τους. Όσον αφορά τη στατική φόρτιση των δειγμάτων δοκιμής (Σχήμα 41β), ασκήθηκε θλιπτικό φορτίο 25 kPa το οποίο απομακρύνθηκε από τα δοκίμια στα χρονικά διαστήματα των 15, 30 λεπτών, 1, 2, 5, 8 και 12 ωρών, στα οποία και κατεγράφη η επαναφορά του πάχους των δοκιμίων. Η επαναφορά πάχους για το τριδιάστατο στημονοπλεκτό είναι ελαφρώς χαμηλότερη (97,98%) από αυτή του αφρού πολυουρεθάνης (98,36%). Η ιδιότητα της επαναφοράς πάχους απέναντι στη θλίψη των τριδιάστατων στημονοπλεκτών δύναται να ρυθμισθεί, πλέκοντας τέτοια υφάσματα, με συνδετήρια νήματα επιθυμητών προδιαγραφών [35].

Τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα με βάρος 1,285 g/m<sup>2</sup> και πάχος 17,75 mm, και αφρός πολυουρεθάνης με βάρος 323 g/m<sup>2</sup> και πάχος 16,16 mm ηλέγχθησαν υπό την εργασία [35] ως προς την εξομάλυνση της ασκηθείσας σε αυτά πιέσεως. Από τις ληφθείσες μετρήσεις προέκυψαν αναπαραστάσεις (Σχήμα 42) της κατανομής της πιέσεως κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας [35].



**Σχήμα 42:** Κατανομή της ασκηθείσας στο κάθισμα πίεσεως για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις [35].

Από τη σύγκριση των τριδιάστατων αναπαραστάσεων του Σχήματος 42 παρατηρείται πως η υψηλότερη πίεση υφίσταται για την περίπτωση χωρίς προστατευτικό υπόστρωμα, όπως είναι αναμενόμενο. Με την προσθήκη του αφρού πολυουρεθάνης παρατηρείται αμυδρή μείωση της πίεσεως, ενώ με την προσθήκη του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υποστρώματος παρατηρείται εμφανής ελάττωση της ασκηθείσας πίεσεως, δηλαδή καλύτερη κατανομή της πίεσεως [35].

**Πίνακας 5:** Θερμικές ιδιότητες τριδιάστατου στημονοπλεκτού δοκιμίου και δοκιμίου αφρού πολυουρεθάνης [35].

Δείγμα	Πάχος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m °K)	Θερμική αντίσταση (m <sup>2</sup> °K/W)
Τριδιάστατο στημονοπλεκτό υπόστρωμα	17,75	108,00	141,50
Υπόστρωμα αφρού πολυουρεθάνης	16,16	90,30	221,30

Από τις τιμές των προηγούμενων μετρήσεων (Πίνακας 5), ληφθεισών από την εργασία [35], δύναται να εκτιμηθεί η ανταπόκριση των δοκιμίων στη θερμότητα. Σχετικώς με τη θερμική αντίσταση, ο αφρός πολυουρεθάνης διαθέτει υψηλότερη τιμή από αυτήν του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος. Αντιθέτως, όσον αφορά τη θερμική αγωγιμότητα, η τιμή για το κλωστοϋφαντουργικό υπόστρωμα είναι υψηλότερη από αυτήν του αφρού πολυουρεθάνης. Ο συνδυασμός των δύο αυτών ιδιοτήτων καθιστά το τριδιάστατο στημονοπλεκτό υπόστρωμα πιο ικανό να μεταφέρει τη

θερμότητα μακριά από το σώμα του χρήστη, εφόσον άγει τη θερμότητα αυτή σε μεγαλύτερο βαθμό [35].

Αναφορικός με την απόδοση ανέσεως, δοκίμια με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά υπεβλήθησαν, από την εργασία [35], σε έλεγχο αεροδιαπερατότητας. Κατά τη δοκιμασία αυτή ελήφθησαν μετρήσεις σχετικές με την εξεταζόμενη ιδιότητα, οι οποίες αναγράφονται ακολούθως στον *Πίνακα 6*.

**Πίνακας 6: Αεροδιαπερατότητα δειγμάτων δοκιμής [35].**

<b>Δείγματα δοκιμής</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>
<b>Αεροδιαπερατότητα (l/s/m<sup>2</sup>)</b>	<b>4.204</b>	<b>4.197</b>	<b>4.188</b>	<b>3.307,20</b>	<b>3.306,80</b>	<b>923,80</b>	<b>54,80</b>
<b>Πάχος (mm)</b>	<b>17,93</b>	<b>17,75</b>	<b>17,54</b>	<b>28,02</b>	<b>43,70</b>	<b>16,16</b>	<b>14,05</b>

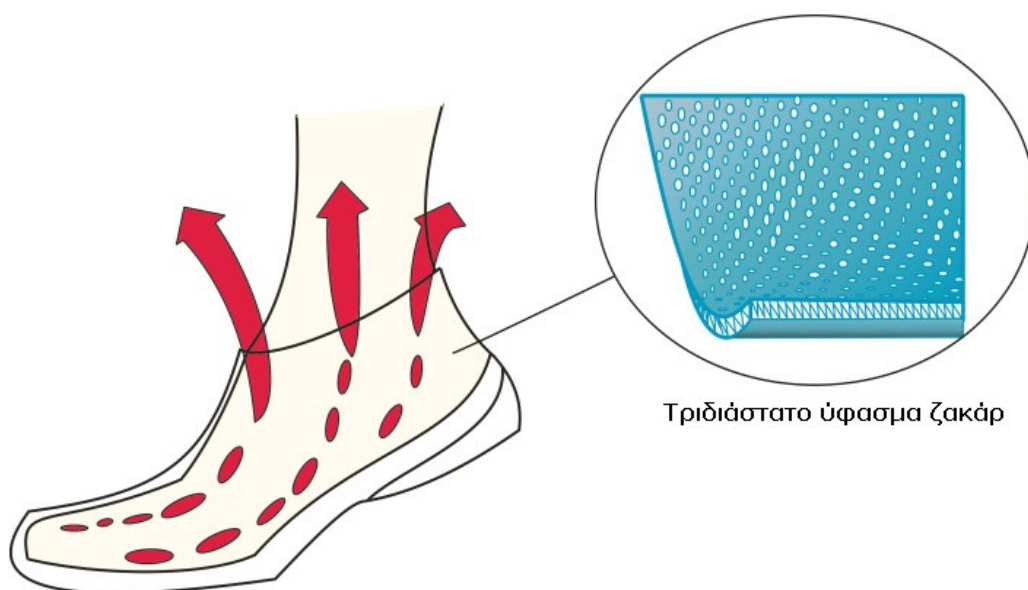
Τα δείγματα δοκιμής A1, A2 και A3 διαφέρουν μεταξύ τους στον αριθμό βελονών κατά τον οποίο μετατοπίστηκαν τα κτένια κλωστοφόρων των συνδετήριων νημάτων· δηλαδή τα δείγματα αυτά έχουν το ένα σε σχέση με το άλλο, διαφορετική γωνία συνδετήριων νημάτων και επιφανειακού στημονοπλεκτού μονής όψεως. Τα στημονοπλεκτά τριδιάστατα δείγματα B1 και B2 έχουν ίδια γωνία (κλίση) συνδετήριων νημάτων, η οποία είναι 52°. Όπως προκύπτει από τις τιμές αεροδιαπερατότητας του *Πίνακα 6*, για παρόμοιες διαστάσεις πάχους – μάλιστα πιο μικρές για τα δοκίμια αφρού πολυουρεθάνης – τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υποστρώματα διαθέτουν πολύ υψηλότερη διαπερατότητα αέρος. Το πάχος των κλωστοϋφαντουργικών υλικών και η κλίση των συνδετήριων νημάτων τους δεν επηρεάζουν σημαντικά την ιδιότητα αυτή. Ωστόσο η αεροδιαπερατότητα επηρεάζεται από τη δομή των εκατέρωθεν στημονοπλεκτών υφασμάτων μονής όψεως [35].

## **5.5. Εφαρμογές στην υπόδηση**

### **5.5.1. Παραγωγή επενδύσεως (άνω καλύμματος) αθλητικού υποδήματος**

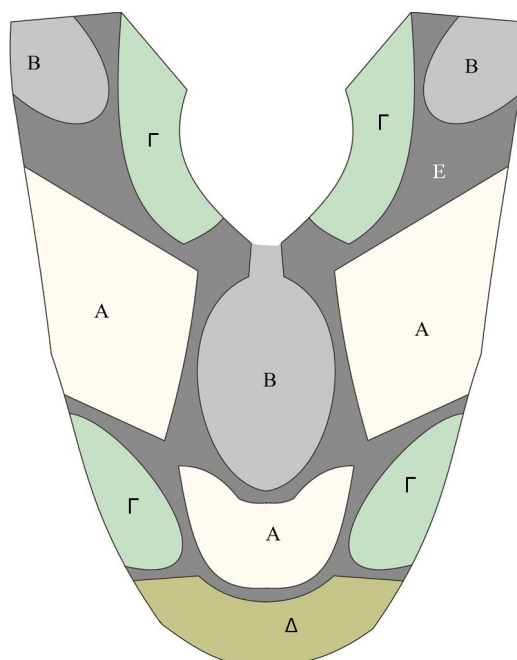
Στο επιστημονικό άρθρο [7] περιγράφεται η μέθοδος κατασκευής άνω καλύμματος αθλητικού υποδήματος μέσω τεχνικών ζακάρ, δια πιεζοηλεκτρικώς κινουμένων κτενιών κλωστοφόρων ζακάρ. Πλεονέκτημα της εν λόγω τεχνικής αποτελεί η πλέξη τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων με περιοχές διαφορετικής πλέξεως, η

μετάβαση των οποίων συντελείται χωρίς ραφή. Το τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα ζακάρ, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως επένδυση αθλητικού υποδήματος, παρήχθη σε πλεκτομηχανή Ράσσελ με διπλή βελονοστοιχία και νούμερο E24, της οποίας ο τύπος είναι RDPJ7/1EL. Επίσης η αναφερθείσα πλεκτομηχανή είναι εξοπλισμένη και με κτένια κλωστοφόρων ζακάρ. Τα αθλητικά υποδήματα, λόγω των χαρακτηριστικών της προοριζόμενης χρήσεώς τους και κινήσεως των χρηστών τους, χρήζουν διαφορετικών λειτουργικών περιοχών. Κατά τη χρήση των αθλητικών υποδημάτων προκαλείται θερμότητα και εφίδρωση των καλυπτόμενων μελών των χρηστών. Συνεπώς, προκειμένου να επιτευχθεί διάχυση της θερμότητας και ακολούθως αποβολή και μείωση της εφιδρώσεως, ανακύπτει η απαίτηση για ρύθμιση κλιματικών συνθηκών, μέσω απαραίτητης διαπερατότητας αέρος, και αναδύσεως θερμότητας και υγρασίας σε επιθυμητές κατευθύνσεις (Σχήμα 43) [7].



**Σχήμα 43: Διάχυση θερμότητας σε αθλητικά υποδήματα [7].**

Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για ρύθμιση κλιματικών συνθηκών, και να προσδοθούν ιδιότητες διαπερατότητας αέρος και διαχύσεως θερμότητας και υγρασίας, παράγεται επένδυση αθλητικού υποδήματος με λειτουργικές περιοχές που διαχωρίζονται όπως αναδεικνύεται στο Σχήμα 44 [7].



**Σχήμα 44: Διαχωρισμένες λειτουργικές περιοχές [7].**

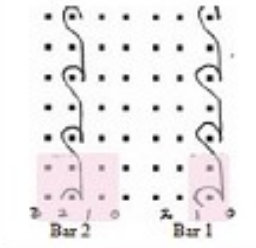
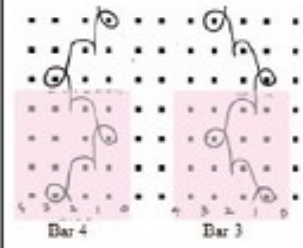
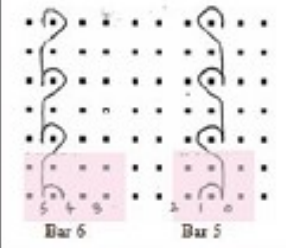
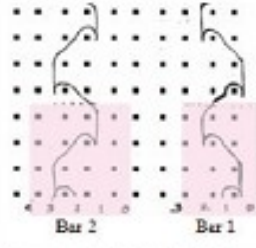
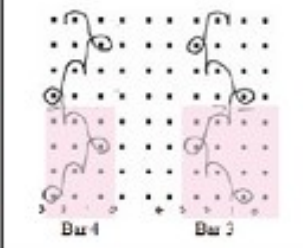
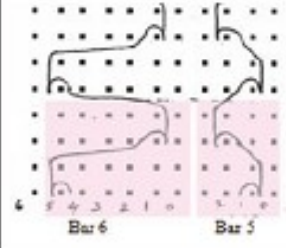
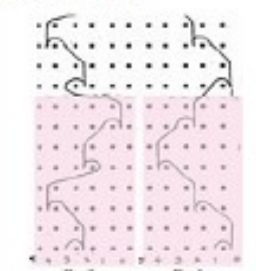
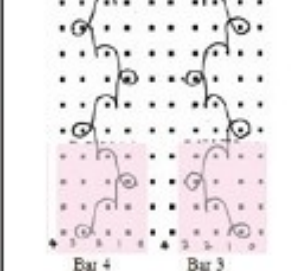
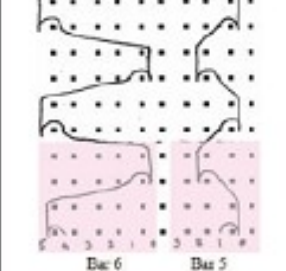
Στο Σχήμα 44 η περιοχή «Α» διαθέτει [7] δομή πλεκτού με μεγάλες οπές για επαρκή αεροδιαπερατότητα, ενώ οι περιοχές «Β» και «Γ» διαθέτουν δομή πλεκτού με μικρότερες οπές. Όσον αφορά τις περιοχές «Δ» και «Ε» διακρίνονται από πυκνές θηλιές και, επομένως, στιλπνή δομή προκειμένου να φέρουν ικανοποιητική αντοχή. Οι διαχωρισμένες λειτουργικές περιοχές χαρακτηρίζονται από διαφορετικές δομές πλέξεως, οι οποίες επιτυγχάνονται δια τεχνικών ζακάρ κατά την πλέξη τους. Η μετάβαση από τη μία λειτουργική περιοχή στην άλλη, και η ένωσή τους, πραγματοποιούνται απουσία ραφών [7], σε ένα στάδιο παραγωγής, σχηματίζοντας ένα τριδιάστατο στημονοπλεκτό ύφασμα μεταβαλλόμενης -ανά περιοχές- πλεκτής δομής, με αποτέλεσμα τη μείωση των σταδίων και, επακολούθως, του χρόνου παραγωγής.

### **5.5.2. Εσωτερική σόλα υποδημάτων**

Τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα δύνανται να χρησιμοποιηθούν ως εσωτερικές σόλες υποδημάτων. Από σχετικό άρθρο [36] που μελετά τη συμπεριφορά τέτοιων υφασμάτων ως προς τη χρήση τους σε υποδήματα, αναλύονται οι ιδιότητές τους στη διαπερατότητα αέρος και υδρατμού και στις θερμικές τους ιδιότητες όπως η θερμική αγωγιμότητα και η θερμική αντίσταση. Παρήχθησαν βάσει του άρθρου [36] έξι

τριδιάστατα στημονοπλεκτά υποστρώματα σε δίπλακη πλεκτομηχανή Ράσσελ (Karl Mayer RD 6) με έξι κτένια κλωστοφόρων βάσεως και νούμερο μηχανής E22. Τα παραχθέντα δείγματα κατηγοριοποιήθηκαν σε δύο ομάδες τριάδας, εκ των οποίων η μία περιελάμβανε τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα με κοινή δομή οπών εξαγωνικού σχήματος και πάχη 2, 3,1 και 4 mm, ενώ η δεύτερη στημονοπλεκτά υφάσματα διπλής όψεως με δομή "Locknit", δομή οπών ρομβοειδούς, και δομή οπών εξαγωνικού σχήματος για τη μία όψη, και δομή θηλιάς αλυσίδας για την άλλη όψη, και κοινό πάχος 3 mm. Τα νήματα πλέξεως όλων των δειγμάτων ήταν χημικής συστάσεως πολυεστέρα, πολύκλωνα για τις δύο όψεις και μονόκλωνα για τα συνδετήρια νήματα. Το σχέδιο πλέξεώς τους με τις αντίστοιχες κινήσεις των κτενιών κλωστοφόρων παρατίθεται στον Πίνακα 7 [36].

**Πίνακας 7: Κινήσεις κτενιών κλωστοφόρων των παραχθέντων πολυεστερικών τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων [36].**

Δομή	Άνω όψη	Συνδετήρια νήματα	Κάτω όψη
Locknit	Bar1: 1-0 0-0 Bar2: 2-1 1-1 	Bar3: 1-0-1-2/2-3-2-1 Bar4: 2-3-2-1/1-0-1-2 	Bar5: 1-0 0-0 Bar6: 4-5-5-5 
Οπές ρομβοειδούς σχήματος	Bar1: 1-0 0-0/1-2 2-2 Bar2: 2-3 3-3/2-1 1-1 	Bar3: 1-0-1-2/2-3-2-1 Bar4: 2-3-2-1/1-0-1-2 	Bar1: 1-0 0-0/ 1-2 2-2 Bar2: 4-5-5-5/1-0-0-0 
Οπές εξαγωνικού σχήματος	Bar1: 1-0-0-0/1-2-2-2/3-4-4-4/3-2-2-2/ Bar2: 3-2-2-2/3-4-4-4/1-2-2-2/1-0-0-0 	Bar3: 1-0-1-2/2-3-2-1 Bar4: 2-3-2-1/1-0-1-2 	Bar5: 1-0-0-0/1-2-2-2 Bar6: 4-5-5-5/1-0-0-0 

Τα παραχθέντα κλωστοϋφαντουργικά υποστρώματα υπεβλήθησαν σε δοκιμές ώστε να εξετασθούν ως προς τη συμπεριφορά τους στη διαπερατότητα αέρος, υδρατμού, τη θερμική αγωγιμότητα και τη θερμική αντίσταση. Η ανταπόκρισή τους στους προαναφερόμενους ελέγχους εξαρτάται από τις δομικές παραμέτρους όπως το πάχος, η πορώδης δομή και η δομή των στημονοπλεκτών όψεων των δειγμάτων [36].

Οι μετρήσεις για το πάχος των δειγμάτων ελήφθησαν βάσει του προτύπου ASTM D 1777 – 96 με επιβολή φορτίου  $100 \text{ g/cm}^2$  μέσω πέλματος πίεσεως. Ο έλεγχος της αεροδιαπερατότητας διεξήχθη βάσει των προτύπων Bureau of Indian Standards (BIS) IS 11056:1984. Για τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα ASTM - D570, για την εκτίμηση της θερμικής αντιστάσεως ακολουθήθηκαν οι οδηγίες των προτύπων ISO Standard 11092, ενώ η εξέταση της διαπερατότητας υδρατμών πραγματοποιήθηκε σε συμφωνία με τους προβλεπόμενους όρους των προτύπων BS 7209 [36].

Σύμφωνα με το άρθρο [36], η πορώδης δομή των δειγμάτων επηρεάζει τις ιδιότητές τους ως προς τη διαπερατότητα αέρος, υδρατμών, τη θερμική αγωγιμότητα και αντίσταση. Το πόσο πορώδης είναι η δομή καθορίζεται από το μήκος των βρόχων, την πυκνότητα των θηλιών και το πάχος του τριδιάστατου στημονοπλεκτού υφάσματος [37]. Τα δείγματα, έχοντας κοινό τίτλο νήματος πλέξεως, διαθέτουν πορώδη δομή η οποία διαμορφώνεται βάσει της δομής και του πάχους τους. Από την πρώτη ομάδα δειγμάτων με κοινή δομή και διαφορετικά πάχη, το δείγμα πάχους 2 mm επέδειξε πορώδη δομή σε χαμηλότερο βαθμό συγκριτικώς με το δείγμα πάχους 3,1 mm, διότι ο χώρος που οριοθετείται από τις δύο όψεις του είναι μικρότερος. Το δείγμα με πάχος 4 mm παρουσίασε επίσης ελαττωμένη πορώδη δομή σχετικώς με το δείγμα πάχους 3,1 mm διότι ο χώρος ενδιάμεσως των δύο όψεων, ενώ είναι μεγαλύτερος, καταλαμβάνεται από τα συνδετήρια νήματα σε μεγαλύτερο βαθμό, αυξάνοντας την πυκνότητα του δείγματος και μειώνοντας, συνεπώς, την πορώδη δομή. Από τη δεύτερη ομάδα των τριών δειγμάτων με κοινό πάχος αλλά διαφορετική δομή όψεων, το δείγμα με την πιο κρουστή δομή – δηλαδή τη δομή “Locknit” – παρουσίασε πορώδη δομή σε μικρότερο βαθμό, ενώ το δείγμα με την πιο χαλαρή δομή οπών εξαγωνικού σχήματος παρουσίασε την πιο πορώδη δομή. Όσο πιο πορώδης είναι η δομή, τόσο υψηλότερη

είναι η διαπερατότητα αέρος και υδρατμών των δειγμάτων [36].

Όσον αφορά τις θερμικές ιδιότητες, αυξανόμενου του πάχους των δειγμάτων εγκλωβίζεται μεγαλύτερη ποσότητα αέρος στον ενδιάμεσο χώρο των συνδετήριων νημάτων, με αποτέλεσμα τα δείγματα αυτά να φέρουν χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα και υψηλότερη θερμική αντίσταση. Επίσης, όσο πιο κρουστή είναι η δομή των δειγμάτων (δομή "Locknit"), τόσο πιο υψηλή θερμική αγωγιμότητα φέρουν. Αντιθέτως, όσο πιο χαλαρή είναι η δομή των όψεων (δομή με οπές εξαγωνικού σχήματος), τόσο υψηλότερη είναι η θερμική αντίσταση [36].

Εν κατακλείδι, το δείγμα με τις βέλτιστες ιδιότητες διαπερατότητας αέρος και υδρατμών επιδρώσεως, και θερμικής αγωγιμότητας ήταν το δείγμα του οποίου οι δομικές παράμετροι συνδυάζουν πάχος 3,1 mm και δομή όψεων με εξαγωνικές οπές [36].



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής μελετήθηκαν τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά τους, την παραγωγή τους, τις ιδιότητες και τις χρήσεις τους. Τα δομικά χαρακτηριστικά τους καθορίζουν τις ιδιότητές τους, στις οποίες οφείλονται οι χρήσεις τους. Με διαφορετικές μεθόδους παραγωγής προκύπτουν και διαφορετικά δομικά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά, λοιπόν, τα δομικά χαρακτηριστικά, τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα απαρτίζονται από δύο στημονοπλεκτά υφάσματα μονής όψεως (διδιάστατα) που αποτελούν τις δύο όψεις τους – οι οποίες δύνανται να φέρουν διαφορετική δομή αναμεταξύ τους – , και από τα συνδετήρια νήματα που συγκρατούν τις δύο όψεις και προσδίδουν την τρίτη διάσταση στα υφάσματα. Τα συνδετήρια νήματα αντιστοιχούν στα κάτω τυλίγματα θηλιών των δύο στημονοπλεκτών όψεων. Ως προς την παραγωγή των τριδιάστατων στημονοπλεκτών υφασμάτων, χρησιμοποιούνται δίπλακες πλεκτομηχανές στημονιού Ράσσελ. Μεταβάλλοντας τις παραμέτρους πλέξεως, μέσω ρυθμιστικών επιλογών της πλεκτομηχανής, δύνανται να πλεχθούν απλά, μεταβαλλόμενου πάχους, σωληνωτά, τριών εναλλασσόμενων περιοχών, και με όψεις ζακάρ τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα. Οι ιδιότητες που περιγράφονται στο παρόν πόνημα είναι οι ιδιότητες που φέρουν τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα στη θλίψη, στην πρόσκρουση, στην αεροδιαπερατότητα και μεταφορά υγρασίας, στη διάτρηση, στην απορρόφηση ήχου, και στον εφελκυσμό (τριδιάστατα στημονοπλεκτά δοκίμια με αρνητικό λόγο Poisson), βάσει των παραπεμφθεισών εργασιών για την εκάστοτε προαναφερόμενη ιδιότητα. Οι χρήσεις των παραχθέντων στημονοπλεκτών που περιγράφονται στις αντίστοιχες παραπεμφθείσες εργασίες, αφορούν εφαρμογές στην ιατρική, στην οικοδόμηση, σε υλικά πληρώσεως επίπλων, σε υλικά πληρώσεως στην αυτοκινητοβιομηχανία, και στην υπόδηση. Τα τριδιάστατα στημονοπλεκτά υφάσματα εξυπηρετούν διάφορες χρήσεις, καθώς ρυθμίζοντας τις δομικές τους παραμέτρους φέρουν χαρακτηριστικά και ιδιότητες κατάλληλες για την εκάστοτε επιθυμητή τελική χρήση.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Ευθύμιος Λ. Γράβας, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΕΚΤΙΚΗΣ, Αθήνα 2008.
- [2] Dr. S. Raz, The Karl Mayer Guide to Technical Textiles, Obertshausen 1999.
- [3] P. R. Rankilor και Dr. S. Raz, THE KARL MAYER GUIDE TO GEOTEXTILES, Obertshausen 1989.
- [4] Xiaofang Guo, Hairu Long, Yao Sun και Li Zhao, Textile Research Journal, 83(14), 1467–1476 (2013).
- [5] Bruer SM και Smith G, J Textil Apparel Technol Manage, 4: 23–25, 2005.
- [6] Zhang L-Z, Jiang G-M, Miao X-H και Cong H-L, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 20, 3(92), 56-60, 2012.
- [7] Li X, Jiang G και Ma P, AUTEX Research Journal 2015.
- [8] Miao X και Ge M, Fibres& Textiles in Eastern Europe, 16: 90-92, 2008.
- [9] Renkens W και Kyosev Y, Textile Research Journal, 81(4), 437–443 (2010).
- [10] Helbig F, Vettermann F και Reuchsel D, European Patent EP 0 748 889 B1, 11.06.1996.
- [11] Mista K, U.S. Patent 5.390.512, Feb. 21, 1995.
- [12] Π. Α. Βουθούνης, τεχνική μηχανική ANTOXH ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1993.
- [13] Mokhtari F, Shamshirsaz M, Latifi M και Maroufi M, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 6, Issue 4 – 2011.
- [14] Liu Y. P. και Hu H., Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 9, Issue 2 – 2014.
- [15] Vassiliadis S., Kallivretaki A., Psilla N., Provatidis Ch., Mecit D. και Roye A, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 17, No. 5 (76) pp. 56-61, 2009.
- [16] Roye A. και Gries Th., JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES, Vol. 37, No. 2, pp. 163-173 — October 2007.

- [17] Mecit D. και Roye A., 33<sup>rd</sup> Aachen Textile Conference, Poster P52, 2006.
- [18] Mecit D., Master Thesis, ITA RWTH Aachen, 2005.
- [19] Yanping Liu, Hong Hu, Hairu Long και Li Zhao, Textile Research Journal, 82(8) 773–788, 2012.
- [20] R. Bagherzadeh, M. Gorji, M. Latifi, P. Payvandy και L. X. Kong, Fibers and Polymers, Vol.13, No.4, 529-534, 2012.
- [21] M. M. B. Hasan, A. Calvimontes, A. Synytska και V. Dutschk, Text. Res. J., 78, 11 (2008).
- [22] J. Hu, Y. Li, K.Yeung, A. S. W. Wong και W. Xu, Text. Res. J., 75, 1 (2005).
- [23] Miao Xuhong, Kong Xiangyong και Jiang Gaoming, Journal of Industrial Textiles 43(2) 281–301, 2012.
- [24] NIJ Standard—0115.00, Stab Resistance of Personal Body Armor[S], 2000.
- [25] Y. Liu και H. Hu, Textile Research Journal Vol 80(18): 1949–1957, 2010.
- [26] Wang Z και Hu H, Textile Research Journal, Vol. 85(4) 404–415, 2015.
- [27] Z. Wang και H. Hu, Phys. Status Solidi B 251, No. 2, 281–288 (2014).
- [28] Ribeiro V P, Ribeiro A S, Silva C J, Durães N F, Bonifácio G, Correlo V M, Marques A P, Sousa R A, Oliveira A L και Reis R L, International Conference on Medical Textiles and Healthcare Products (MedTex13), Raleigh, NC, USA, May 13-15, 2013.
- [29] Takahito Yagi, Michiko Sato, Yasumoto Nakazawa, Kimie Tanaka, Masataka Sata, Kenji Itoh, Yoshihide Takagi και Tetsuo Asakura, J Artif Organs 14:89–99 (2011).
- [30] Jin-Jia Hu, Po-Ching Lu, Ching-Wen Lou, Mong-Chuan Lee και Jia-Horng Lin, Materials Letters 171 42–45 (2016).
- [31] Ye X., Hu H. και Feng X., JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES, Vol. 37, No. 3—January, 213-223, 2008.
- [32] Heide M., Kettenwirk-Praxis, 26(1): 17–20 (2001).

- [33] Prof. Dr. Umbach K.H., *Kettenwirk-Praxis*, 26(1): 34–40 (2001).
- [34] Heide M., Schurer M., et al., *Kettenwirk-Praxis*, 27(1): 25–27 (2002).
- [35] X. Ye, R. Figueiro, H. Hu και M. de Araújo, *TJTI* Vol. 98 No. 4 pp. 337–343, 2007.
- [36] T Palani Rajan, Louis D Souza, G Ramakrishnan και G Mohamed Zakriya, *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 45(6) 1239–1251, 2016.
- [37] Guo X, Long H και Zhao L, *Textile Research Journal* 83(9) 904–916, 2013.