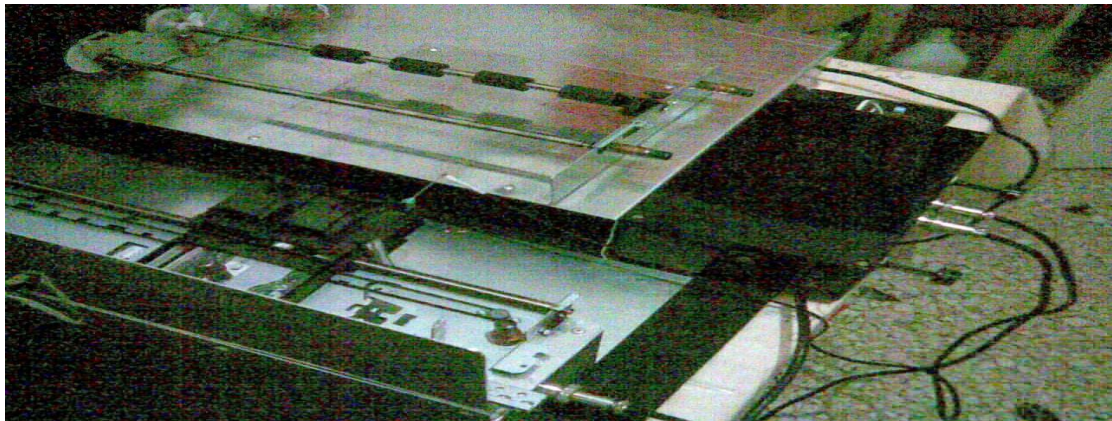
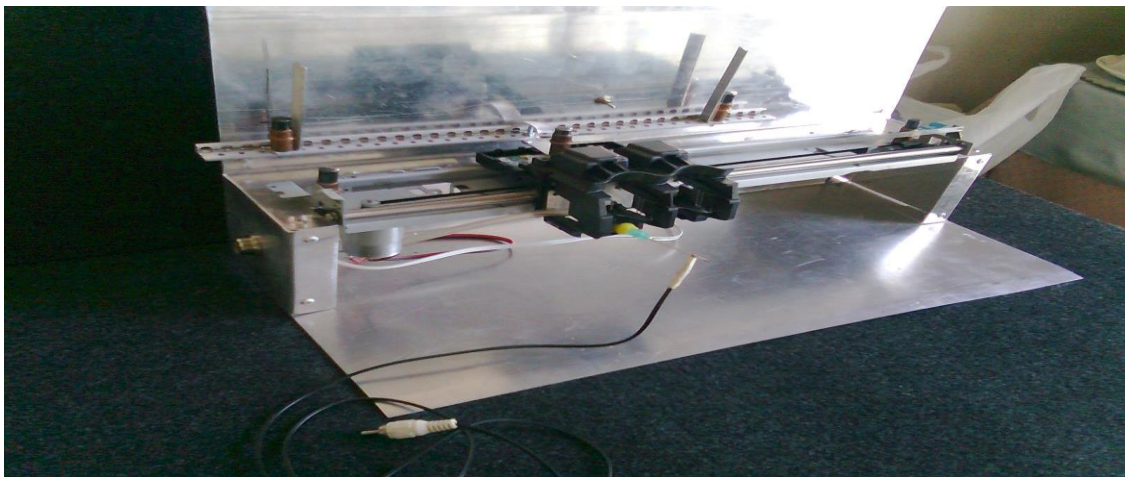




ΤΜΗΜΑ ΚΛΩΣΤΟΥΦΑΝΤΟΥΡΓΙΑΣ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΜΙΧΑΗΛ ΓΕΜΕΛΙΑΡΗΣ & ΜΑΡΙΑ ΚΥΡΚΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Κοσ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΟΣΚΑΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2013

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ, ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ.....</b>	<b>5</b>
1.1.ΑΡΧΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΕΦΕΥΡΕΤΕΣ.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ.....</b>	<b>11</b>
2.1.ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ.....	11
2.2.ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗ ΡΑΒΔΟ.....	14
2.3.ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΡΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΧΕΙΡΑΓΩΓΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ....</b>	<b>19</b>
3.1.ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	28
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....</b>	<b>34</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ.....</b>	<b>36</b>
5.1.ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΒΕΛΟΝΑ.....	38
5.2.ΜΗΤΡΑ ΔΙΠΛΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ.....	41
5.3.ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΙΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ.....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>46</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>47</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b></b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b></b>

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε κατ' αρχήν να ευχαριστήσουμε τον Αναπληρωτή Καθηγητή ΤΕΙ Πειραιά κ. Γεώργιο Τόσκα, για την μεγάλη καθοδήγηση που μας προσέφερε στην παρούσα πτυχιακή εργασία. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Αναστάσιο Τζεράχογλου για την πολύτιμη τεχνική βοήθεια στο πρακτικό μέρος της εργασίας. Ευχαριστούμε όλους τους καθηγητές του Τμήματος Κλωστοϋφαντουργίας και ιδιαίτερα τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Χαράλαμπο Μπούσια για την ηθική υποστήριξη στο έργο αυτό. Επίσης ευχαριστούμε τον Καθηγητή της Φαρμακευτικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Βασίλειο Ρούσση, για τη γόνιμη συζήτηση μαζί του, η οποία αποτέλεσε το έναυσμα για την πρότυπη κατασκευή του κινητού φορέα μήτρας εκροής.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Σχεδίαση και κατασκευή μηχανικών μερών συσκευής ηλεκτροινοποίησης» εκπονήθηκε από τον Μιχαήλ Γεμελιάρη και Μαρία Κυρκίνη, φοιτητές του ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ του τμήματος Κλωστουφαντουργίας υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Τόσκα Γεωργίου και ολοκληρώθηκε τον μήνα Αυγούστο του έτους 2013.

Το παρόν πόνημα, περιλαμβάνει (σχεδιομελέτη) θεωρητικό και πρακτικό μέρος (κατασκευή). Στο θεωρητικό μέρος εξετάστηκαν **οι αρχές της ηλεκτροινοποίησης** και παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα μηχανικά μέρη των συσκευών και η σημασία αυτών στην παρασκευή και μορφολογία νανοϊνών. Συγκεκριμένα, παρατίθενται ανασκοπήσεις περιστρεφόμενων συλλεκτών, στατικών συλλεκτών και συστημάτων παροχής διαλύματος ηλεκτροινοποίησης. Επίσης εξετάστηκαν εναλλακτικοί τρόποι ηλεκτροινοποίησης όπως η εναπόθεση σε υγρό, η ηλεκτροινοποίηση χωρίς βελόνα και τα ομοαξονικά συστήματα νανοϊνών, καθώς και βοηθητικά συστήματα όπως αυτά της χειραγώγησης ηλεκτρικού φορτίου. Στο πρακτικό μέρος κατασκευάστηκε πρότυπος κινητός φορέας μήτρας εκροής και συλλέκτης με περιστρεφόμενο τύμπανο, για την ομοιόμορφη κατανομή και την ευθυγράμμιση αντίστοιχα των νανοϊνών. Επίσης κατασκευάστηκαν βοηθητικά χειραγωγά ηλεκτρόδια τα οποία κατευθύνουν το ηλεκτρικό πεδίο και ανοίγουν νέους ερευνητικούς δρόμους, για την διαδικασία της ηλεκτροινοποίησης. Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ήταν **η ανασκόπηση και ανάδειξη της σημασίας των μηχανικών μερών στην βελτιστοποίηση των παραγόμενων νανοϊνών**. Ως στόχος τέθηκε **ο σχεδιασμός και η κατασκευή κινητού φορέα μήτρας εκροής συσκευής ηλεκτροινοποίησης**. Ο κύριος άξονας που στηρίχθηκαν οι σχεδιαστικές και κατασκευαστικές επιλογές ήταν ο οικονομικός, στην προσπάθεια να κρατηθεί το κόστος της κατασκευής όσο το δυνατόν χαμηλότερο.

**Λέξεις κλειδιά:** Νανοϊνες, Ηλεκτροινοποίηση, Συλλέκτες, Βοηθητικά ηλεκτρόδια

# ABSTRACT

In this degree dissertation entitled "**Design and construction of mechanical parts for electrospinning apparatus**", we have examined the various mechanical parts of an electrospinning apparatus. The importance of these systems was analysed towards their possibilities in modifying the nanofiber structure and morphology. In several applications there is interest in parallel alignment of nanofibers to produce structures with unique electrical, optical, and mechanical properties.

In experimental section, we proceeded in the construction of a rotating collector providing aligned nanofibers. This construction was equipped with an oscillating feeding system supporting the syringe, and permitting the uniform application of the nanofibers on the collector. Low cost materials and parts, down to 1/50 of the commercial price were used in this original manufacture.

Key words: Nanofibers, Electrospinning, Collectors, Auxiliary electrodes

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για την κατασκευή νανοϊνών με επιθυμητές φυσικές και χημικές λειτουργίες, υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων ηλεκτροϊνοποίησης. Η εισαγωγή και η χρήση ειδικά σχεδιασμένων συλλέκτων, μικροηλεκτρονικομηχανικών συστημάτων (MEMS), ειδικών ακροστόμιων (ρύγχη) έφεραν επανάσταση, σε αυτήν την τεχνική. Ηλεκτροϊνοποίηση είναι η τεχνική που συνδυάζει σε μεγάλη ταχύτητα την ηλεκτροεκνέφωση και την ινοποίηση. Μια υψηλή τάση εφαρμόζεται στο ακροσωλήνιο της σύριγγας (ρύγχος) , όπου εξέρχεται το διάλυμα ή τήγμα ενεργώντας σαν ένα από τα ηλεκτρόδια. Αυτό οδηγεί στη μορφοποίηση της σταγόνας και τελικά την εξαγωγή ενός φορτισμένου νέφους, από το ρύγχος της σύριγγας (κώνος Taylor) πλησίον του συλλέκτη (ηλεκτρόδιο πάγκου (-) ).

Αν και υπάρχουν πολλές μέθοδοι κατασκευής νανοϊνών, η ηλεκτροϊνοποίηση είναι ίσως η πιο ευέλικτη διαδικασία, με τις περισσότερες εφαρμογές. Υλικά, όπως πολυμερή, σύνθετα υλικά , κεραμικά και μεταλλικές νανοΐνες έχουν κατασκευαστεί, με τη χρήση της ηλεκτροϊνοποίησης, είτε απευθείας, είτε μέσω διαδικασιών νηματοποίησης. Ωστόσο, αυτό που κάνει την ηλεκτροϊνοποίηση διαφορετική από τις άλλες διαδικασίες κατασκευής νανοϊνών, είναι η ικανότητά της να διευθετεί και να σχηματίζει διάφορα πλέγματα ίνας. Αυτό ενισχύει και εμπλουτίζει τις επιδόσεις των προϊόντων, που προέρχονται από νανοΐνες και τους επιτρέπει την εφαρμογή ειδικών τροποποιήσεων.

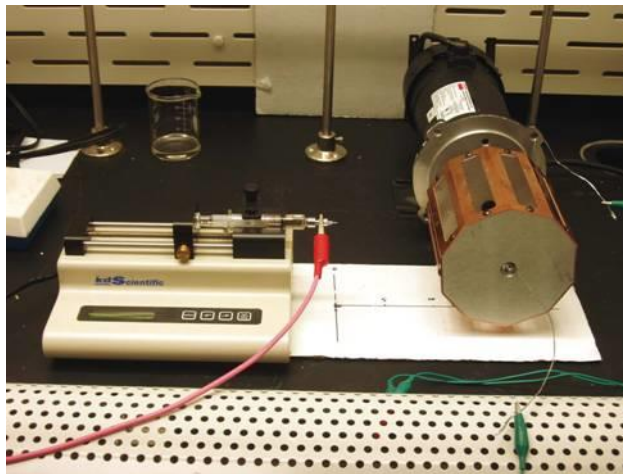
Είναι λοιπόν κύριας σημασίας για μας να καταλάβουμε τις διάφορες παραμέτρους της μεθόδου και τις διαδικασίες που θα μας επιτρέψουν να κατασκευάσουμε τα επιθυμητά πλέγματα ινών. Η συναρμογή των ινών στο πλέγμα, έχει τρισδιάστατη τυχαία (απρογραμματίστη) δομή και ελατηριωτή ή περιελισσόμενη μορφολογία. Παρόλα αυτά, περισσότερες μελέτες απαιτούνται για την κατανόηση και τον έλεγχο του πραγματικού μηχανισμού μορφοποίησης που διέπει τον σχηματισμό των διαφόρων ινώδων πλεγμάτων, με τη μέθοδο της ηλεκτροϊνοποίησης.

Από την αρχή αυτού του αιώνα, οι ερευνητές σε όλον τον κόσμο, ερεύνησαν εκ νέου μια παλιά μέθοδο (Cooley 1902, Morton 1902), που σήμερα είναι γνωστή ως ηλεκτροϊνοποίηση (electrospinning). Πιθανώς ήταν άγνωστο στους περισσότερους ερευνητές για το μεγαλύτερο μέρος του τελευταίου αιώνα, ότι η ηλεκτροϊνοποίηση είναι σε θέση να παράγει συνεχείς ίνες, με διάμετρο μικρότερη του μικρού και κοντά στην διάμετρο του νανόμετρου. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι ερευνητές άρχισαν να δίνουν τεράστιο ενδιαφέρον, γιατί συνειδητοποίησαν τις τεράστιες εφαρμογές της ηλεκτροϊνοποίησης, στη παραγωγή νανοϊνών (Doshi και Reneker 1995). Είναι γεγονός ότι οι νανοΐνες και τα νανοσύρματα, παρουσιάζουν τεράστια επιφάνεια ως προς τον όγκο τους, περίπου χίλιες φορές υψηλότερη από μιας ανθρώπινης τρίχας και διαβλεπόμενες δυνατότητες σημαντικής βελτίωσης της τρέχουσας τεχνολογίας, με εύρεση νέων εφαρμογών σε νέους τομείς.

Οι εφαρμογές για νανοΐνες περιλαμβάνουν την νανοκατάλυση, τα ικρίωματα ιστού, την προστατευτική ενδυμασία, τη διήθηση και την νανοηλεκτρονική. Είναι σίγουρο ότι υπάρχουν και άλλες μέθοδοι κατασκευής νανοϊνών όπως :

- Διαχωρισμός φάσης (Witte et al 1996)
- Σύνθεσης επιστρώματος

Όμως, καμιά άλλη μέθοδος δε μπορεί να συναγωνιστεί την μέθοδο της ηλεκτροϊνοποίησης, όσον αφορά την ευελιξία της και την ευκολία παραγωγής ινών. Οι μόνες απαιτήσεις της μεθόδου είναι η τροφοδοσία με μια υψηλή τάση μέχρι 30 kV, μια σύριγγα, με ένα επίπεδο ειδικό “άκρο ρύγχος” στη βελόνα και έναν αγώγιμο συλλέκτη (collector). Από άποψη ευελιξίας της μεθόδου, η ηλεκτροϊνοποίηση έχει την ικανότητα να κατασκευάζει συνεχείς νανοΐνες, από μια τεράστια γκάμα υλικών. Από τις μεγάλες κατηγορίες υλικών, η ηλεκτροϊνοποίηση είναι σε θέση να παράγει νανοΐνες από πολυμερή, σύνθετα υλικά, ημιαγωγούς και κεραμικά (Ramakrishna et al. Huang et al. 2003, Chronakis 2005).



**Εικόνα 1.** Συσκευή ηλεκτροϊνοποίησης πανεπιστημίου Clemson (ΗΠΑ)

Ο πρώτος εφευρέτης της ηλεκτροϊνοποίησης, ήταν απαραίτητο να κατανοήσει την επίδραση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων επί του υγρού. Η παρατήρηση της συμπεριφοράς του νερού, κάτω από την επίδραση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων, έγινε ήδη από το 1700 (Gray 1731-1732). Στα τέλη του 1800, η ηλεκτροδυναμική χρησιμοποιήθηκε για να εξηγήσει την διέγερση της διηλεκτρικής του υγρού κάτω από την επίδραση ενός ηλεκτρικού φορτίου (Larmor 1898). Αυτό πιθανότατα οδήγησε στην εφεύρεση της ηλεκτροϊνοποίησης για την παραγωγή ινών στις αρχές του 1900 από τους Cooley και Morton (1902). Νέοι ερευνητές στην μέθοδο της ηλεκτροϊνοποίησης έδωσαν σε βάθος γνώση στη διαδικασία, με βάση τα σχέδια που είχαν εφεύρει. Σε μια από τις πρώτες εφαρμογές της ηλεκτροϊνοποίησης, μια ευρεσιτεχνία του Cooley, ρύθμιζε με τη χρήση βοηθητικού ηλεκτροδίου άμεσα τον πίδακα αερίου εκνεφώσιμου υγρού από το στενό άνοιγμα του καλουπιού – μήτρας ( κώνου του Taylor) , πάνω στον περιστρεφόμενο συλλέκτη. Στην δεκαετία του 1930, ο Formhals, βρήκε πολλές καινοτόμες ρυθμίσεις (σχέδια) για να

παράγει νήματα φτιαγμένα από ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, που δεν απαιτούν τη χρήση μιας μήτρας (Formhals 1934). Στην πραγματικότητα, πολλές πρόσφατες ρυθμίσεις στην ηλεκτροϊνοποίηση μπορούν να αναχθούν σε διπλώματα ευρεσιτεχνίας περισσότερο από μισό αιώνα πριν, όπως η χρήση πολλαπλών ακροφυσιών και παράλληλων ηλεκτρόδιων κατά τις οποίες παράγονται ευθυγραμμισμένες ίνες (Formhals 1938a, 1938b, 1938c, 1939b). Για τις βιομηχανοποιημένες ίνες, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το επίπεδο παραγωγής αυτών.

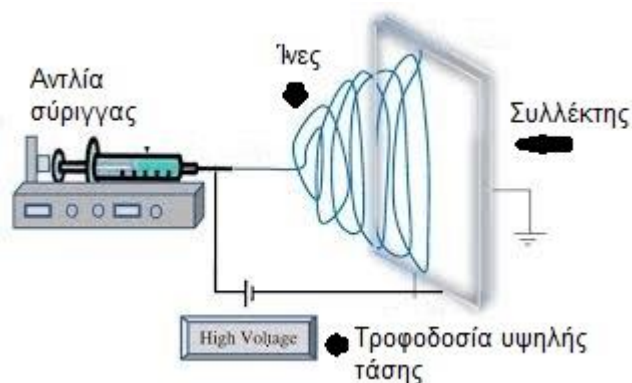
Η ηλεκτροϊνοποίηση, σε σύγκριση με τις δημοφιλείς βιομηχανικές διαδικασίες νηματοποίησης, είναι πολύ αργή. Η βιομηχανική παραγωγή μιας ξηράς ίνας και η νηματοποίησή της φτάνουν τα 200 έως και 1500m/min (Giuptha , Kothari 1997), ενώ η κατασκευή νήματος από ηλεκτροϊνοποιητή έχει μέγιστη ταχύτητα παραγωγής τα 30m/min (Khil 2005). Έτσι, πριν το 1990, υπήρξε πολύ λίγη έρευνα και δημοσιεύσεις για την ηλεκτροϊνοποίηση( Baumgarten 1971). Παρόλα αυτά, υπήρχε κάποια έρευνα σχετικά με τη συμπεριφορά των λεπτών εκνεφωτών σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (Zeleny 1917, Taylor 1964,1966,1969). Η προτιμότερη μέθοδος για παραγωγή ινών, είναι η κλωστοποίηση με τήγμα. Έγιναν λοιπόν προσπάθειες ηλεκτροϊνοποίησης χρησιμοποιώντας τήγματα πολυμερών (Larrondo and Manler 1981a, 1981b, 1981c), αλλά αυτή τη στιγμή υπάρχει λιγότερη έρευνα σε αυτό, πιθανόν λόγω της δυσκολίας της κατασκευής ινών με διάμετρο νανόμετρων (Lyons 2004, Sanders 2005).

## 1.1 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΕΦΕΥΡΕΤΕΣ

Η διαδικασία της χρήσης ηλεκτροστατικών δυνάμεων για τη μορφοποίηση πολυμερών, είναι γνωστή για πάνω από 100 έτη. Η διαδικασία, γνωστή ως ηλεκτροϊνοποίηση, χρησιμοποιεί μια πηγή υψηλού δυναμικού, για να εγχύσει με συγκεκριμένη πολικότητα ένα διάλυμα πολυμερούς ή τήγματος, το οποίο εναποτίθεται πάνω σε ένα συλλέκτη (collector) αντίθετης πολικότητας (εικόνα 2).

Η ηλεκτροστατική έλξη ανάμεσα στο αντίθετα φορτισμένο διάλυμα και στον συλλέκτη, δημιουργεί ηλεκτροστατική απώθηση μεταξύ ίδιων φορτίων του διαλύματος που εκνεφώνεται από το μπροστινό τμήμα της μήτρας. Η εκροή των ινών, από το στενό άκρο, (κώνο του Taylor), σε ένα δυνατό ηλεκτροστατικό πεδίο, υπερβαίνει την επιφανειακή τάση του υγρού διαλύματος. Η ίνα ταξιδεύει, δια της ατμόσφαιρας επιτρέποντας την εξάτμιση του διαλύτη, έτσι εναποτίθενται σε στερεή μορφή ινών (πολυμερούς) πάνω στον συλλέκτη. Οι ίνες που παράγονται με αυτή την διαδικασία, έχουν τυπική διάμετρο από μερικά μικρόμετρα και κάτω, έως δέκατα του νανόμετρου. Η ικανότητά της να παράγει βιοϋλικά σε αυτή τη κλίμακα, ανανέωσαν το ενδιαφέρον σχετικά με την ηλεκτροϊνοποίηση για εφαρμογές, σε θέματα μηχανικής ιστών και σε απελευθέρωση φαρμάκων.

Ενώ η ηλεκτροϊνοποίηση είναι σχετικά εύκολη στην αρχή της και παρέχει πολλαπλές δυνατότητες για μορφοποίηση μη υφανσίμων ινών, είναι εφικτό με ένα μεγάλο αριθμό από παραμέτρους παραγωγής, να



**Εικόνα 2.** Σχηματικό διάγραμμα απλής μεθόδου ηλεκτροϊνοποίησης



επιηρεάστουν οι ιδιότητες των παραγόμενων ινών.

Το 1934 ο Formhals τυποποίησε μια μέθοδο και χρησιμοποίησε φόρτιση για να ηλεκτροϊνοποιήσει ίνες μικρής διαμέτρου. Ο Formhals, χρησιμοποίησε έναν συλλέκτη, επιτρέποντας τη συλλογή ευθυγραμμισμένων ινών. Ο Formhals μπορούσε επιτυχώς να κλωστοποιεί κυτταρινικές ίνες χρησιμοποιώντας ένα διάλυμα ακετόνης ή αλκοόλης, σαν διαλύτη. Καθώς η εφεύρεση του Formhals έδειξε σημαντική βελτίωση από άλλες ινοποιητικές μεθόδους, υπήρχαν ακόμα κάποια μειονεκτήματα. Στην διάρκεια της ηλεκτροϊνοποίησης, λόγω της εγγύτητας του συλλέκτη με το φορτισμένο πολυμερικό διάλυμα, ο

<b>Πίνακας 1. Λίστα εφευρέσεων, δημοσιευμένων πριν το 1976</b>		
<b>Ημερομηνία</b>	<b>Εφευρέτης</b>	<b>Αριθμός πατέντας</b>
4/2/1902	J.F. Cooley	692,631
29/7/1902	W.J. Morton	705,691
22/1/1929	K.Hagiwara	1,699,615
2/10/1934	C.I.Norton	1,975,504
21/7/1936	A.Formhals	2,048,651
13/4/1937	A.Formhals	2,077,373
22/2/1938	A.Formhals	2,109,333
10/5/1938	A.Formhals	2,116,942
19/7/1938	A.Formhals	2,123,992
16/5/1939	A.Formhals	2,158,416
6/6/1939	A.Formhals	2,158,962
1/8/1939	E.K.Gladding	2,168,027
16/1/1940	A.Formhals	2,187,306
14/12/1943	F.W.Manning	2,336,745
29/6/1943	A.Formhals	2,323,025
30/5/1944	A.Formhals	2,349,950
18/10/1966	H.L.Simons	3,280,229

διαλύτης δεν μπορούσε να εξατμιστεί ,πριν η άκρη της ίνας να φτάσει στον συλλέκτη, με αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης μορφής αυτής. Μια άλλη συνέπεια της μη ολοκληρωμένης εξάτμισης του διαλύτη, είναι ότι οι ίνες έχουν την τάση να κολλάνε στον συλλέκτη, με αποτέλεσμα οι ίνες να είναι συνδεδεμένες με συγκεκριμένο τρόπο μεταξύ τους, δημιουργώντας προβλήματα στο μηχάνημα. Επίσης, ο Formhals εφηύρε μια δεύτερη μέθοδο, στην οποία περιγράφει τη χρήση πολλών σωληνών για την ταυτόχρονη ινοποίηση πολλών ινών από το ίδιο διάλυμα πολυμερούς. Το 1940, ο Formhals εφηύρε μια μέθοδο, όπου το διάλυμα ήταν σε μια κινούμενη βάση για δημιουργία σύνθετων ινών ενός νήματος.

Η εργασία του Formhals συντέλεσε, στην ανάπτυξη και καλύτερη κατανόηση της μεθόδου της ηλεκτροϊνοποίησης. Το 1969, ο Taylor δημοσίευσε το έργο του, εξετάζοντας τη συμπεριφορά μιας σταγόνας πολυμερούς, στη διάρκεια εφαρμογής ηλεκτρικού πεδίου. Πολύ σημαντική του ανακάλυψη, ήταν το γεγονός ότι ο σωλήνας της ίνας εκπέμπεται στην κορυφή του κώνου (ανακάλυψη του κώνου του Taylor με τη μέθοδο της σταγόνας). Αυτό έχει ως αιτία το ότι η ηλεκτροϊνοποίηση χρησιμοποιείται για να δημιουργούνται ίνες με διαμέτρους σημαντικά μικρότερες από τις διαμέτρους κανονικών ινών που αποβάλλονται. Ο Taylor σημείωσε ότι μια γωνία των 49,3 βαθμών με στόχο τον άξονα του κώνου στην κορυφή του, είναι απαραίτητη για την σωστή ινοποίηση. Εξέτασε σε περίπτωση ισορροπίας της επιφάνειας της έντασης με τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις , μια ποικιλία απο υγρά διαλύματα διαφορετικού ιξώδους.

Μετά την εργασία του Taylor, η μέθοδος ηλεκτροϊνοποίησης απέκτησε μεγάλο ενδιαφέρον στην επιστήμη. Το 1971, ο Baumgarten άρχισε να ερευνά την επίδραση πολλών διαλυμάτων και μεθοδικών παραμέτρων στις ιδιότητες κατασκευής των ηλεκτροϊνοποιημένων ινών. Σε αυτές τις μελέτες, ο Baumgarten χρησιμοποιούσε ένα διάλυμα πολυακρυλονιτριλίου/διμεθυλοφορμαμίδιου (PAN/DMF), το οποίο εκνεφώνονταν από ένα μεταλλικό τριχοειδές. Χρησιμοποιώντας μια κάμερα υψηλών προδιαγραφών, μπορούσε να παρατηρήσει ότι μια ίνα εγκλωβίζεται από μια σταγόνα ηλεκτρικά φορτισμένη. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, επίσης ανακάλυψε ότι η διάμετρος μιας ίνας εξαρτάται από το ιξώδες του διαλύματος και έτσι ο μεγάλος αριθμός ιξώδους, δημιουργεί μεγαλύτερη διάμετρο ινών. Επιπλέον, ο Baumgarten βρήκε ότι η διάμετρος μιας ίνας δεν μειώνεται μονοτονικά, όσο αυξάνεται το ηλεκτρικό πεδίο. Το διάλυμα και οι παράμετροι μεθόδου για την ηλεκτροϊνοποίηση, μπορούν να δημιουργούν διαμέτρους ινών που κυμαίνονται από 500nm μέχρι 1100nm.

Μετά τις εργασίες του Baumgarten, ακολούθησαν οι Larrondo και Mandley, που μπορούσαν άνετα να ηλεκτροϊνοποιήσουν ίνες από λιωμένο πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο. Βρήκαν ότι οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες από λιωμένο υλικό (τήγμα) έχουν σχετικά μεγαλύτερη διάμετρο από τις κλωστοποιημένες ίνες, από διάλυμα. Επίσης, ανακάλυψαν ότι η διάμετρος της ίνας είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη θερμοκρασία τήξης της. Περίπου σε αυτή τη χρονική περίοδο, υπήρχαν πολλοί ερευνητές για τις εφαρμογές της ηλεκτροϊνοποίησης σε πεδία, όπως η εμβιομηχανική. Το 1978, ο Annis και ο Bornat δημοσίευσαν την εξέταση του πολυουρεθανίου. Το 1985, ο Fisher και ο Annis, εξέτασαν την μέθοδο *in vivo* για την αρτηριακή πρόσθεση (πλεγμάτων) με τη μέθοδο της ηλεκτροϊνοποίησης. Παρόλες τις προσπάθειες, θα χρειαστεί περίπου μια δεκαετία πριν εξαπλωθεί το ενδιαφέρον για την ηλεκτροϊνοποίηση σαν μέθοδο ινοποίησης για εφαρμογές στην εμβιομηχανική και στην αποδέσμευση φαρμάκων, σύμφωνα με τους S. Ramakrisna et al. και W. E. Teo et al.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ

#### 2.1 ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Η ικανότητα δημιουργίας καθορισμένων δομών (διατάξεων), έχει πολλές επιπτώσεις στις ιδιότητες μιας ίνας. Για παράδειγμα, κύτταρα που καλλιεργούνται σε ικριώματα ευθυγραμμισμένων νανοϊνών, έχει δειχθεί ότι πολλαπλασιάζονται κατά προτίμηση προσανατολισμού των ινών (Χυ, 2004). Αρκετοί ερευνητές έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να ληφθούν ευθυγραμμισμένες ίνες, χρησιμοποιώντας ένα περιστρεφόμενο συλλέκτη (Matthews 2002, Kameoka 2003, Subramanian 2005) (**Σχήμα 3 (Α)**). Ο Matthew, έδειξε την επίδραση της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου, σε σχέση με το βαθμό ευθυγράμμισης μιας ίνας κολλαγόνου, σε συσκευή ηλεκτροϊνοποίησης. Με ταχύτητα μικρότερη από 500 στροφές/λεπτό, συλλέγονταν ένα απρογραμμάτιστο και τυχαίο πλέγμα ινών κολλαγόνου. Ωστόσο, όταν η ταχύτητα περιστροφής αυξήθηκε στις 4.500rpm, οι ίνες κολλαγόνου έδειξαν σημαντική ευθυγράμμιση κατά μήκος του άξονα περιστροφής. Μηχανικές δοκιμές του ευθυγραμμισμένου ικριώματος έδειξαν ότι η μέγιστη τάση κατά μήκος του κύριου άξονα ευθυγράμμισης των ινών ήταν  $1,5 \pm 0,2$  MPa και το μέτρο ελαστικότητας ήταν  $52,3 \pm 5,2$  MPa, ενώ η μέγιστη τάση σε όλη την κύρια ευθυγράμμιση των ινών ήταν  $0,7 \pm 0,1$  MPa και το μέτρο ελαστικότητας ήταν  $26,1 \pm 4,0$  MPa (Mathews 2002). Ο Kim (2004) εξέτασε την επίδραση της γραμμικής ταχύτητας του περιστρεφόμενου άξονα σε σχέση με :

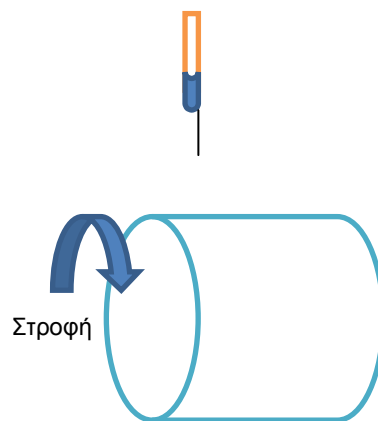
- Την κρυσταλλικότητα
- Τις μηχανικές ιδιότητες
- Την ευθυγράμμιση του ηλεκτροϊνοποιημένου PET (πολύ- τερεφθανικού αιθυλενίου).

### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος
- Μπορούν να κατασκευαστούν πολλές ευθυγραμμισμένες ίνες

### Μειονεκτήματα

- Υψηλές συγκεντρώσεις ευθυγραμμισμένων ινών είναι δύσκολο να κατασκευαστούν
- Εάν η ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη, μπορεί να πραγματοποιηθεί σπάσιμο ίνας



**Σχήμα 3(A). Περιστρεφόμενο Τύμπανο**

Χρησιμοποιώντας ακτίνες X με ευρεία γωνία περίθλασης, οι ηλεκτροϊοντοποιημένες από PET ίνες, βρέθηκαν να είναι πιο άμορφες, με την αύξηση της περιστροφής του άξονα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην ταχεία στερεοποίηση κατά την συλλογή των ινών. Κατά το μοντέλο του Young, το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο εφελκυσμού του πλέγματος και η ευθυγράμμιση κατά μήκος της ίνας από PET, αυξάνεται με μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου. Οι ίδιες ιδιότητες, τείνουν να μειώνονται πάνω από μια γραμμική ταχύτητα 30m/min, ενώ πολλές ίνες, με γραμμική ταχύτητα 45 μέτρα/λεπτό, διασπείρονται στον αέρα αντί να εναποτιθεθούν ευθέως επί της ατράκτου, δηλαδή στρεφόμενου άξονα (Kim 2004).

Σε μια τέτοια υψηλή ταχύτητα περιστροφής, η ταχύτητα της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής μπορεί να είναι βραδύτερη από τη γραμμική ταχύτητα του περιστρεφόμενου άξονα. Επίσης, η μέση ταχύτητα της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής κυμάνθηκε σε 2 μέτρα ανά δευτερόλεπτο, (Kowalewski 2005, Sundaray 2004) και σε 186 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (Smit 2005).

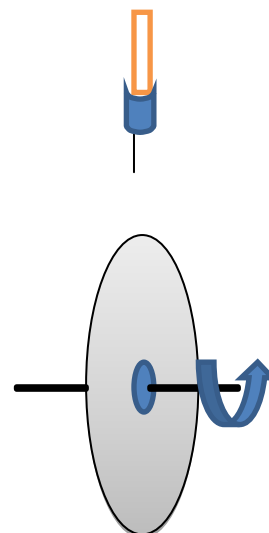
Μια ξεχωριστή μελέτη (Zussman 2003), χρησιμοποιώντας έναν περιστρεφόμενο δισκοειδή συλλέκτη (**Σχήμα 3 (B)**), έδειξε ότι σε αρκετά υψηλή ταχύτητα περιστροφής, παρατηρήθηκε **η μείωση της διαμέτρου** των ηλεκτροϊοντοποιημένων ινών. Αυτό μπορεί να εξηγήσει τις μειωμένες μηχανικές ιδιότητες του πλέγματος του PET, όταν αυτό συλλέγεται σε υψηλή ταχύτητα. **Συνεπώς, η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου και ο προσανατολισμός των ινών έχουν άμεση επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού.** Η παρουσία από προσανατολισμένων ινών, που συλλέγονται στην περιστρεφόμενη άτρακτο, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα από παραμένον φορτίο επί των επικαθισμένων ινών, το οποίο παρεμβαίνει στην ευθυγράμμιση των εισερχόμενων ινών. Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη ευθυγράμμιση ινών, χρειάζεται η μείωση της χασοτικής πορείας της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής και να μειωθεί το παραμένον φορτίο στην περιστρεφόμενη άτρακτο.

### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος
- Υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας υψηλά ευθυγραμμισμένων ινών
- Μπορούν να κατασκευαστούν οργανωμένες ίνες, συνδέοντας ένα στρεφόμενο πίνακα στο άκρο του δίσκου

### Μειονεκτήματα

- Είναι αδύνατον να συγκρατηθούν υψηλά ευθυγραμμισμένες ίνες στην ίδια ταχύτητα στροφής, όταν οι εναποτιθέμενες ίνες έχουν μεγαλύτερο πάχος
- Μικρή περιοχή ευθυγραμμισμένης ίνας



**Σχήμα 3 (B). Συλλέκτης "δίσκος"**

Το πολυαιθυλενοξειδίο (PEO), που συλλεγόταν σε ένα περιστρεφόμενο άξονα, έδειξε μεγαλύτερο βαθμό ευθυγράμμισης, χρησιμοποιώντας ένα εναλλασσόμενο δυναμικό, παρά ένα συνεχές ρεύμα. Χρησιμοποιώντας ένα δυναμικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για να φορτιστεί το διάλυμα, μπορεί να έχει διπλή λειτουργία. Η εκροή της ηλεκτροϊοντοποίησης από ένα δυναμικό εναλλασσόμενου ρεύματος, αποτελείται από μικρά τμήματα της εναλλασσόμενης τάσης και αυτό μπορεί να μειώσει σημαντικά την χαοτική πορεία της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής. Αυτό επιτρέπει στις ίνες να περιελιχθούν πάνω στον περιστρεφόμενο άξονα με μεγαλύτερη ευκολία και ευθυγράμμιση. Δεδομένης της παρουσίας αμφότερων των θετικών και αρνητικών φορτίων, στην επιφάνεια του περιστρεφόμενου άξονα, θα υπάρξει ένα αποτέλεσμα εξουδετέρωσης πάνω στη περιοχή του πλέγματος, ελαχιστοποιώντας έτσι την επιβάρυνση συσσώρευσης φορτίου, επί των επικαθημένων ινών ( Kessick 2004).

## 2.2 ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗ ΡΑΒΔΟ

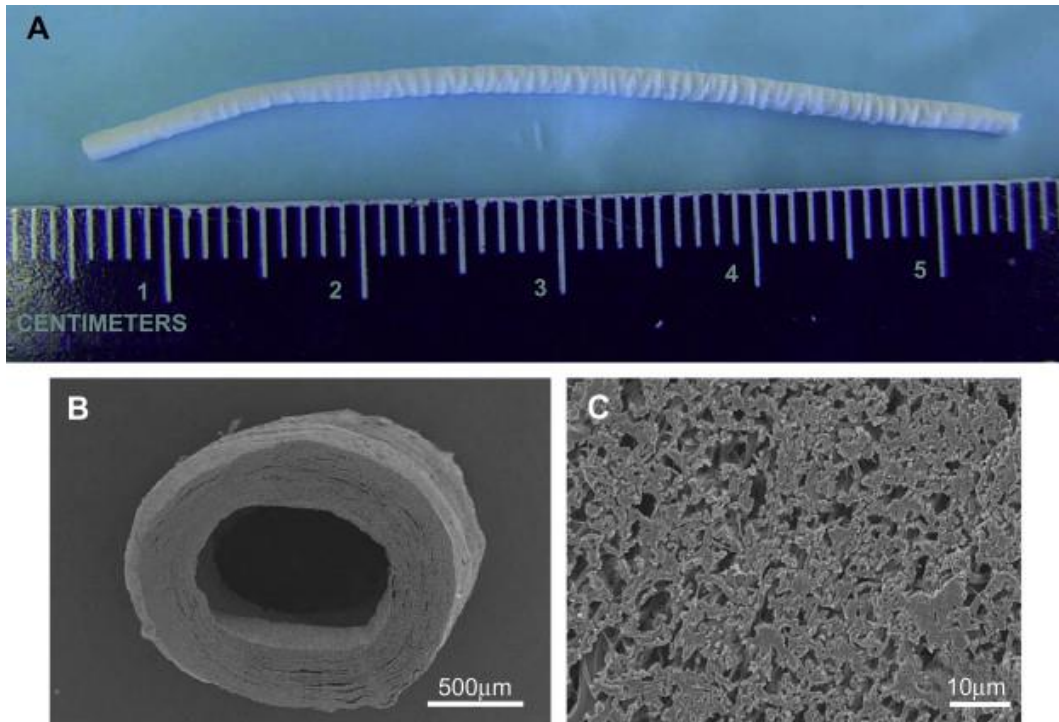
Μέχρι σήμερα, η χρήση ενός συλλέκτη περιστρεφόμενης ράβδου έχει αποδειχθεί ότι είναι σε θέση να σχηματίσει ευθυγραμμισμένο δισδιάστατο πλέγμα ινών. Μέσω της χρήσης για συλλέκτη μιας μικρής ράβδου διαμέτρου (<5mm), κατασκευάζεται σε τρισδιάστατη δομή πλέγματος ινών, υπό τη μορφή αρτηρίας (μικρής διαμέτρου) (εικόνα 3).

Έχει αποδειχθεί ότι οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, παρέχουν ένα άριστο περιβάλλον, για την ανάπτυξη των κυττάρων. Ωστόσο, πολλές εφαρμογές στη μηχανική ιστών, απαιτούν ειδική συναρμολόγηση. Για παράδειγμα, για την κατασκευή των αγγειακών μοσχευμάτων, ο Stitzel επινόησε ένα συνθετικό αγωγό μήκους 12 cm και πάχους ενός χιλιοστού, ηλεκτροϊνοποιώντας ένα διάλυμα πολυμερούς, που περιέχει ένα μίγμα από κολλαγόνο τύπου I, ελαστίνη και συμπολυμερές (τύπου D,L λακτικού οξειδίου γλυκολιδίου) σε ένα κυκλικό άξονα διαμέτρου 4,75 mm.

Δοκιμές έδειξαν ότι η ηλεκτροϊνοποιημένη ίνα στην αρτηρία, είχε μια αλλαγή διαμέτρου 12-14% εντός του φυσιολογικού ορίου πίεσης, η οποία βρίσκεται κοντά στα κατάλληλα μεγέθη με μια αλλαγή διαμέτρου 9%. Η ταχύτητα περιστροφής, σκόπιμα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα στις 500rpm, έτσι ο προσανατολισμός της ίνας ήταν τυχαίος. Διαμήκεις και περιφερειακές μηχανικές δοκιμές δεν έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο κατευθύνσεων (Stitzel 2006).

Ο Matsuda, κατασκεύασε με απόθεση σε αγωγό ηλεκτροϊνοποιημένης πολυουρεθάνης (SPU), σε μια ράβδο διαμέτρου 3mm που περιστρέφονταν με δυο διαφορετικές ταχύτητες(150 και 3400 στροφές ανά λεπτό). Το πάχος του πλέγματος, που σχηματίζεται στην αρτηρία διατηρήθηκε στα 250 μικρά. Όταν η αρτηρία κατασκευάστηκε με εναπόθεση επί της ράβδου με μια χαμηλή ταχύτητα περιστροφής 150στροφές/λεπτό, η αντοχή σε εφελκυσμό κατά τη διαμήκη διεύθυνση ήταν μεγαλύτερη από ότι στην περιφερειακή κατεύθυνση, τα οποία αποτελέσματα διαφέρουν από τα λαμβανόμενα αποτελέσματα του Stitzel. Ωστόσο, σε μια υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής των 3.400 στροφών, οι δυο δοκιμές εφελκυσμού, στο διαμήκη άξονα και στον περιφερειακό άξονα, δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές. Επιπλέον, δεν προτάθηκαν λόγοι για τις διαφορές στις μηχανικές ιδιότητες των αρτηριών που κατασκευάστηκαν, από τις διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής.

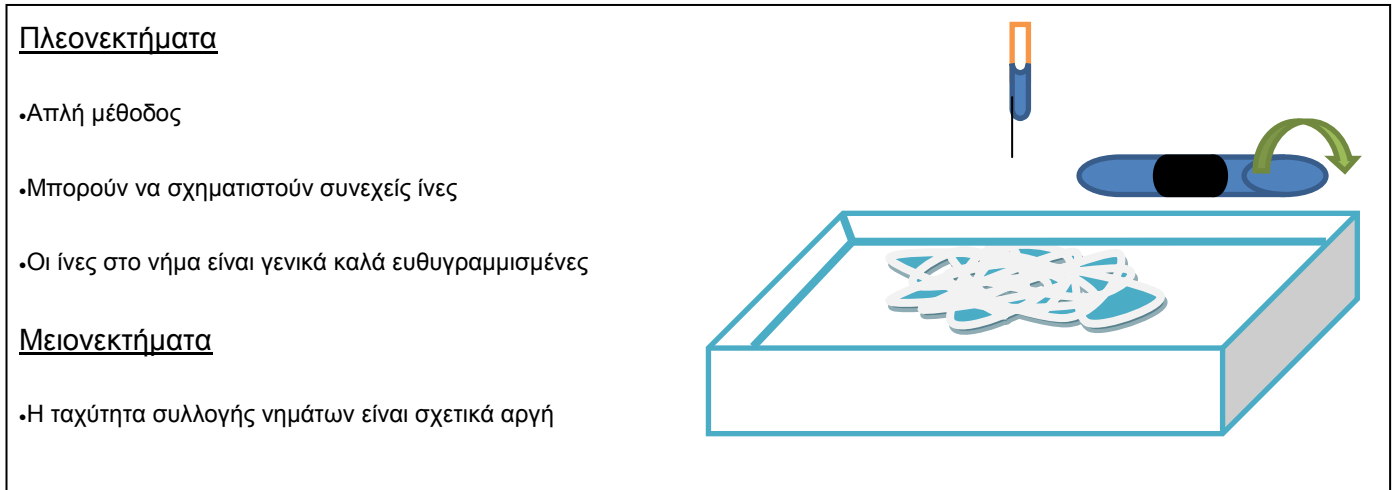
Σε ταχύτητα περιστροφής των 3.400στροφών/λεπτό, οι ίνες στην εσωτερική περιφέρεια της αρτηρίας έδειξαν διακριτή ευθυγράμμιση κατά μήκος του περιφερειακού άξονα, ενώ οι ίνες εναποτέθηκαν τυχαία στην εξωτερική περιφέρεια. Όταν η ταχύτητα περιστροφής ήταν 150 στροφές/λεπτό, οι ίνες εναποτέθηκαν με τυχαίο προσανατολισμό (Matsuda 2005). Υπάρχουν πλεονεκτήματα με την ηλεκτροϊνοποίηση με σωλήνα μικρής διαμέτρου,(π.χ. για την κατασκευή ενός αγγειακού μοσχεύματος), όπως ευκολία σύνθεσης διαφορετικών υλικών για το σχηματισμό ενός σύνθετου υλικού σε στρώσεις (Vaz 2005, Kídouki 2005). Με αυτό τον τρόπο, υλικά όπως το κολλαγόνο, ενθαρρύνουν τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Αλλά κατά την μηχανική προσάρτησή τους, ως εσωτερικό στρώμα το κολλαγόνο είναι ασθενές , ενώ τα τεχνητά πολυμερή είναι μηχανικά ισχυρότερα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξωτερικό στρώμα.



**Εικόνα 3.** Φωτογραφία τεχνητής αρτηρίας μικρής διαμέτρου και μορφολογία της (πηγή: science direct, W. E. Teo et al., S. Ramakrisna et al., Electrospun nanofibers as a platform for multifunctional, hierarchically organized nanocomposite ).

## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΓΡΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εναπόθεση των ηλεκτροϊνοποιημένων ινών, πραγματοποιείται επί ενός στερεού συλλέκτη. Ωστόσο, υγρά όπως το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή ηλεκτροϊνοποιημένων ινών (Srinivasan, Reneker 1995). Αν και πιο συχνά χρησιμοποιείται ένα λουτρό συμπύκνωσης, οι Smit και Khile έδειξαν μια εύκολη μέθοδο συλλογής νήματος, που αποτελείται από ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, από την πρώτη τους εναπόθεση σε ένα υγρό μέσο (Smit, Khile 2005), όπως φαίνεται στον **σχήμα 3(C)**.

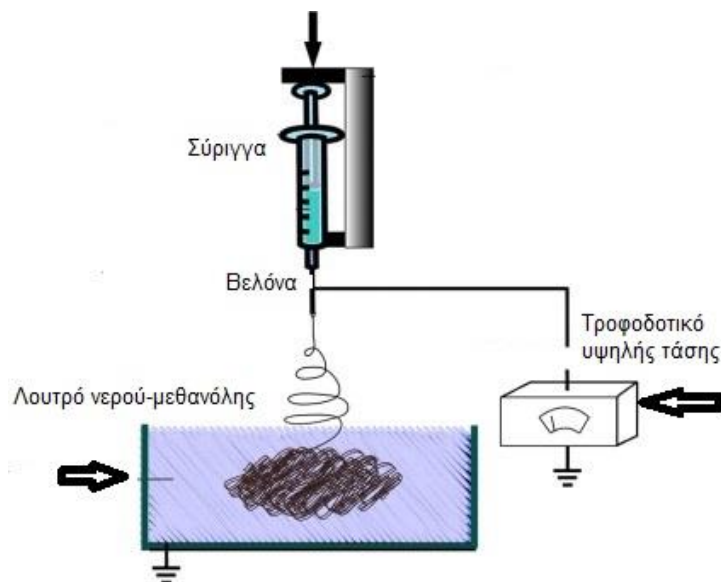


**Σχήμα 3 (C). Συλλογή νημάτων χρησιμοποιώντας υγρό**

Οι νανοϊνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τομείς, όπως η προστατευτική ενδυμασία, υφάσματα υψηλής απόδοσης, μηχανική ιστών και σύνθετων υλικών. Στα τέλη του 1930, ο Formhals κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ποικιλία διατάξεων ηλεκτροϊνοποίησης για την κατασκευή συνεχών νημάτων (1938a,b,c). Ωστόσο, δεν υπάρχουν περαιτέρω μελέτες για να δείξουν ότι οι παντεταρισμένες διατάξεις είναι σε θέση να κατασκευάσουν αποδεκτά συνεχή νήματα. Στη μέθοδο που προτείνεται από το Smit, η ηλεκτροϊνοποίηση διεξάγεται σε υδατόλουτρο. Με λίγα λόγια, ένα πλέγμα που αποτελείται από ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, αρχικά αποτίθενται επί της επιφάνειας λουτρού ύδατος και στη συνέχεια συλλέγονται σε ένα περιστρεφόμενο άξονα. Οπτική ανάλυση του νήματος έδειξε ότι οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες είχαν ευθυγραμμιστεί κατά τη διεύθυνση του μήκους του νήματος. Βέβαια, οι νανοϊνες δεν πρέπει να είναι διαλυτές μέσα σε μη διαλύτη, για αυτό χρειάζεται προσοχή στην επιλογή διαλύτη λουτρού συλλογής νανοϊνών. Η μορφολογία των νανοϊνών μέσα στο λουτρό, είναι σαν το εμβαπτισμένο βαμβάκι. Επίσης η μορφολογία των νανοϊνών επηρεάζεται από το ποσοστό % πορώδους και τη διάμετρό του. Έπειτα, ο διαλύτης αφαιρείται με τη μέθοδο ξηπλύματος νερού και ξήρανσης μέσω κατάψυξης (freeze-drying). Στην μέθοδο αυτή, ο διαλύτης ή το νερό, αφαιρείται με εξάχνωση, ενώ μειώνεται η πίεση. Η διαδικασία αυτή διαρκεί 3 μέρες, μέσω λυοφιλοποίησης\*.



Παρά το γεγονός ότι οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες εναποτίθενται τυχαία στην επιφάνεια του υγρού, η ίνα του πλέγματος θα επιμηκυνθεί και οι ίνες θα ευθυγραμμιστούν, όπως το πλέγμα που συντάσσεται πάνω στην επιφάνεια του νερού (εικόνα 4). Όμως, η επιφανειακή τάση προκαλεί τη θραύση του πλέγματος των ινών, όταν αυτό ανυψώνεται από την επιφάνεια του νερού, προς το περιστρεφόμενο συλλέκτη. Καθώς το προκύπτον νήμα τυλίγεται επί της ατράκτου σε ένα ρυθμό 3 m/min, οι περισσότερες ίνες εναποτίθενται στην επιφάνεια του νερού για να τροφοδοτήσουν τη διαδικασία της νηματοποίησης. Ίνες φτιαγμένες από ηλεκτροϊνοποίηση, π.χ. πολύ(οξικό βινύλιο), πολυβινυλιδενιο φθορίδιο και νανοΐνες πολυακρυλονιτριλίου κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο (Smit 2005). Ο Khill, χρησιμοποίησε μια παρόμοια κατασκευή για συνθετικά νήματα, αλλά σε ρυθμό 30m/min. Παρά το γεγονός ότι η ομάδα χρησιμοποίησε τόσο το νερό και ένα μίγμα νερού - μεθανόλης για τη συλλογή των ινών, δεν παρουσιάζουν κανένα στοιχείο ή σχόλιο διαφοράς στη συλλογή νήματος με νερό ή με διάλυμα νερού- μεθανόλης. Παρόλα αυτά, η χρήση του νερού με την υψηλή επιφανειακή τάση προτιμάται από άλλο υγρό με χαμηλότερη επιφανειακή τάση. Εάν οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, αποτεθούν πάνω σε υγρό με χαμηλότερη επιφανειακή τάση, μπορεί να βυθιστούν. Αυτό δημιουργεί μια μεγαλύτερη δύναμη αντίστασης στις ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες, όπως έχουν οδηγηθεί από την πλευρά του συλλέκτη και τυλίγονται ως νήμα. Γενικά, τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, σε σύγκριση με την κλασσική μέθοδο ηλεκτροϊνοποίησης είναι ότι α) Το πορώδες, μπορεί να μεγαλώσει, μέσω της μεθόδου υγρής ηλεκτροϊνοποίησης και β) Το τρισδιάστατο πλέγμα, ως τελικό προϊόν της μεθόδου, μπορεί να εμφυτευθεί σε κάποιο οργανισμό, (εφαρμογές στην εμβιομηχανική), λόγω του μεγάλου πορώδους που έχει. Περισσότερες μελέτες πρέπει να πραγματοποιηθούν για να προσδιοριστεί η επίδραση των ιδιοτήτων του υγρού λουτρού επί του νήματος.



Εικόνα 4

**\*Λυοφιλοποίηση** : Είναι η μέθοδος εκείνη που εξασφαλίζει τη φυσική και χημική σταθερότητα ενός φαρμακευτικού προϊόντος, κυρίως των φαρμακευτικών διασπορών και διαλυμάτων. Είναι η πιο ήπια μέθοδος ,όπου η ξήρανση επιτυγχάνεται με εξάχνωση του νερού. Το προϊόν ψύχεται σε θερμοκρασία – 20 έως –60° C, έτσι το νερό από την υγρή περνά στην στερεή κατάσταση, και στη συνέχεια ο πάγος εξαχνώνεται σε ειδική συσκευή που λειτουργεί υπό κενό, έρχεται δηλαδή στην αέρια φάση(υδρατμοί), χωρίς να περάσει από την υγρή. Το υπόλειμμα είναι σπογγώδες και ευδιάλυτο στο νερό. Η μέθοδος είναι οικονομικά ακριβή, απαιτεί πολύπλοκο εξοπλισμό και δεν χρησιμοποιείται σε διαδικασίες ρουτίνας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΧΕΙΡΑΓΩΓΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Η ηλεκτροστατική δύναμη που διαμορφώνει το διάλυμα, σε ένα λεπτό σκέλος, εφαρμόζεται σε αυτό, με τη χρήση ενός τροφοδοτικού υψηλής τάσης. Δεδομένου ότι τα ηλεκτροστατικά φορτία κατανέμονται κατά μήκος της ηλεκτροστατικής εκροής, ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της εκροής. Ήδη ο Cooler (1992) και άλλοι ερευνητές χειραγωγούσαν το ηλεκτρικό πεδίο, για τον έλεγχο της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής. Ακόμη και με μια μικρή παραλλαγή στο προφίλ του ηλεκτρικού πεδίου, η επίδρασή του στην απόθεση των ιόνων, ήταν φανερή. Όταν το γειωμένο καλώδιο, τοποθετήθηκε κάτω από ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα ( γυάλινη πλάκα), προκάλεσε τις ίνες να αποτεθούν στην μη αγώγιμη πλάκα. Ελαφρά μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου, θα επηρεάσει επίσης την διαδικασία ηλεκτροϊοντοποίησης και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά τη χρήση πολλαπλών ακροφυσίων (εκροών), (Theron 2005). Παρά το γεγονός ότι μια γειωμένη δομή, είναι σε θέση να ασκήσει κάποιο έλεγχο, πάνω στη θέση απόθεσης των ηλεκτροϊοντοποιημένων ιόνων, είναι συνηθισμένη η χρήση ενός ή περισσότερων ηλεκτροδίων με φορτία είτε με την ίδια πολικότητα ή με διαφορετική, για μεγαλύτερη επίδραση στην εκροή. (Τεο, Ramakrisna 2005).

Για την χειραγωγή του εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, ώστε να ασκήσει κάποιο έλεγχο στην ηλεκτροϊοντοποιημένη εκροή, πρέπει να εξεταστεί :

- Το σχήμα του
- Η θέση του
- Η πολικότητα της φόρτισής του

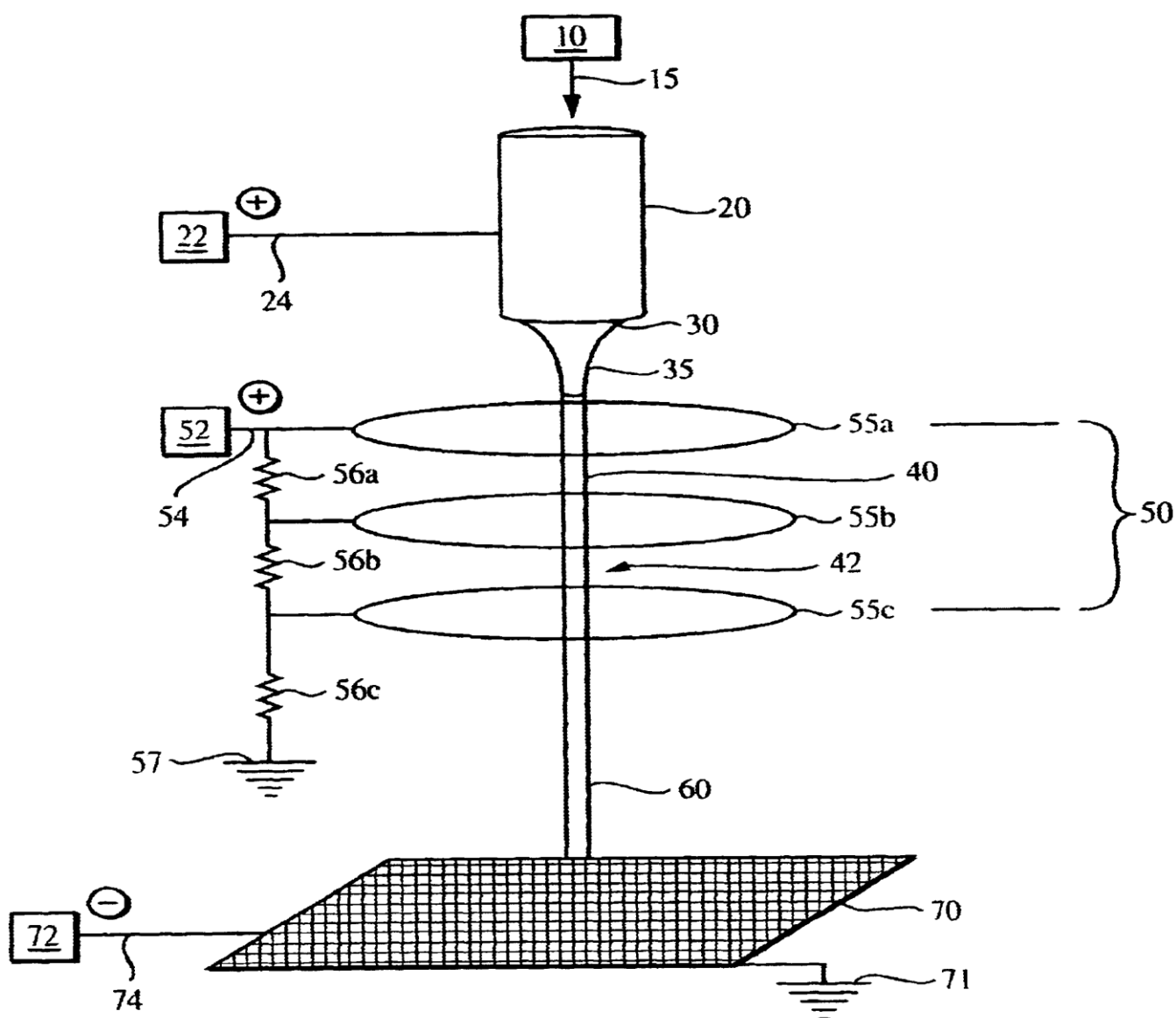
Όπως φαίνεται στο **σχήμα 2**, τα θετικά φορτισμένα δαχτυλίδια(+), που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα μεταξύ της εκροής της μήτρας (ακροσωλήνιο της σύριγγας) και του συλλέκτη(-) δημιουργούν ένα <<ηλεκτρικό τείχος>>, που αποθαρρύνει την φορτισμένη ηλεκτροϊοντοποιημένη εκροή να διασπαρθεί. Για να δημιουργηθεί μια ελκτική δύναμη, υπάρχει μια αρνητική φόρτιση στον συλλέκτη( **εικόνα 5(A)**). Οι ηλεκτρικές γραμμές του πεδίου, όπως φαίνεται στην **εικόνα 5(B)** συγκλίνουν σε ένα άξονα, πάνω από την πλάκα και ο έλεγχος της ηλεκτροϊοντοποιημένης εκροής, φαίνεται να έχει σημαντικά μειωμένη εναπόθεση σε περιοχή με διάμετρο 1 cm , σε σύγκριση με την ηλεκτροϊοντοποίηση, χωρίς τα φορτισμένα δαχτυλίδια, στο ακροσωλήνιο εκροής, καταλαμβάνει ένα χώρο εναπόθεσης διαμέτρου 7 εκατοστών (Deitzel 2001). Παρά το γεγονός ότι η περιοχή εναπόθεσης, (διαμέτρου 1 εκατοστού) δεν είναι αρκετά καλή για την ακριβή διαμόρφωση, η μέθοδος αυτή εξακολουθεί να προσφέρει πλεονεκτήματα όπως :

- Ελεγχόμενη περιοχή εναπόθεσης ιόνων
- Έλεγχος εκροής των ηλεκτροϊοντοποιημένων ιόνων (εξάλειψη του χαοτικού φαινομένου εκροής)

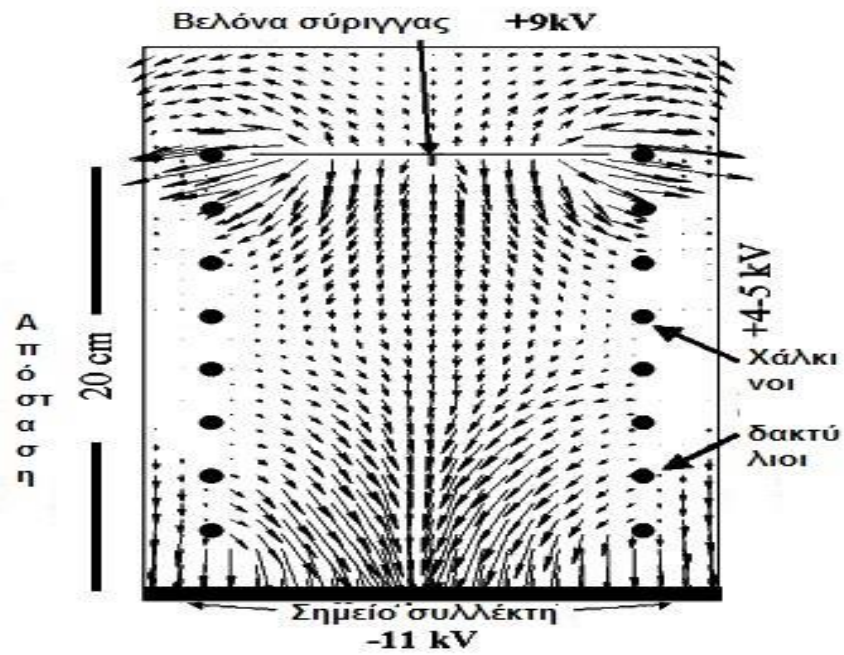
Ο Stankus (2004) χρησιμοποιεί, ένα μόνο θετικά φορτισμένο κυλινδρικό πλέγμα, κοντά στην άκρη της θετικής μήτρας για τον έλεγχο της περιοχής εναπόθεσης και ένα αρνητικά φορτισμένο συλλέκτη. Ο

Buttafoco (2006) χρησιμοποίησε επίσης έναν δακτύλιο στην εκροή, για να μειώσει και να ορίσει το χώρο εναπόθεσης, έτσι ώστε οι περισσότερες ίνες, να κατευθύνονται σε ένα περιστρεφόμενο σωλήνα διαμέτρου 3,1 mm . Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ του προφίλ του άκρου της μήτρας και του συλλέκτη επιδρά στην ηλεκτροϊνοποιημένη εκροή, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ευθύγραμμες ή πρότυπες ίνες (με διάφορα σχήδια).

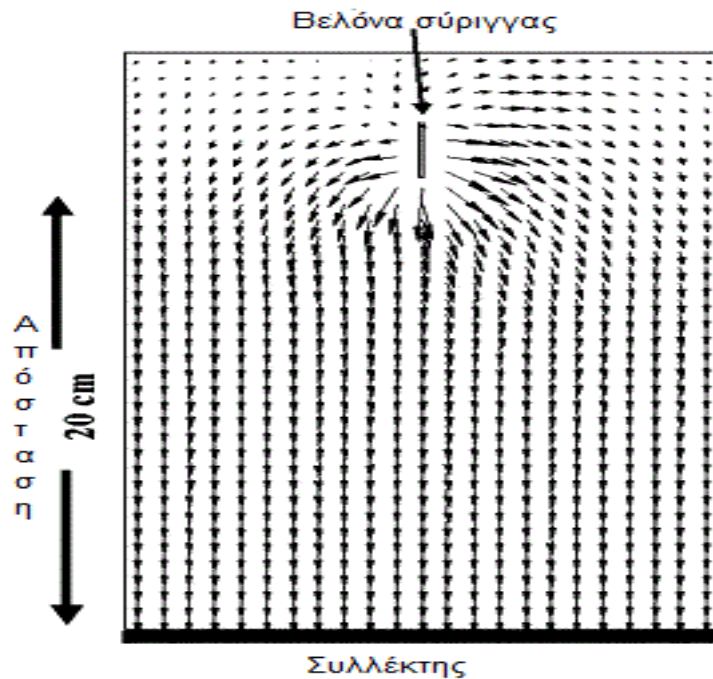
Ήδη από το 1938, ο Formhals, τυποποίησε χαρακτηριστικά την ηλεκτροϊνοποίηση, όπου τοποθετούνται παράλληλα ράβδοι με κενά μεταξύ τους, ως συλλέκτες για τη συλλογή ευθυγραμμισμένων ινών. Αργότερα, ο Li, απέδειξε ότι σε δυο ηλεκτρόδια που τοποθετούνται παράλληλα, ήταν σε θέση να συλλέγουν



**Εικόνα5(A)** : Μέθοδος ηλεκτροϊνοποίησης, χρησιμοποιώντας δακτύλιους σαν βοηθητικά ηλεκτρόδια  
(πηγή : <http://www.freepatentsonline.com/6641773.html>)



**Εικόνα5(B)** : Προφίλ ηλεκτρικού πεδίου, ανάμεσα στη βελόνα της σύριγγας και στον συλλέκτη (παρουσίαση του Deitzel et al. 2001b Polymer 42 8163, © 2001 με άδεια από τον Elsevier).



**Εικόνα 5 (C)** : Προφίλ ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση 20 cm βελόνας σύριγγας- συλλέκτη (πηγή : Li et al. 2003, © AmericanChemicalSociety)

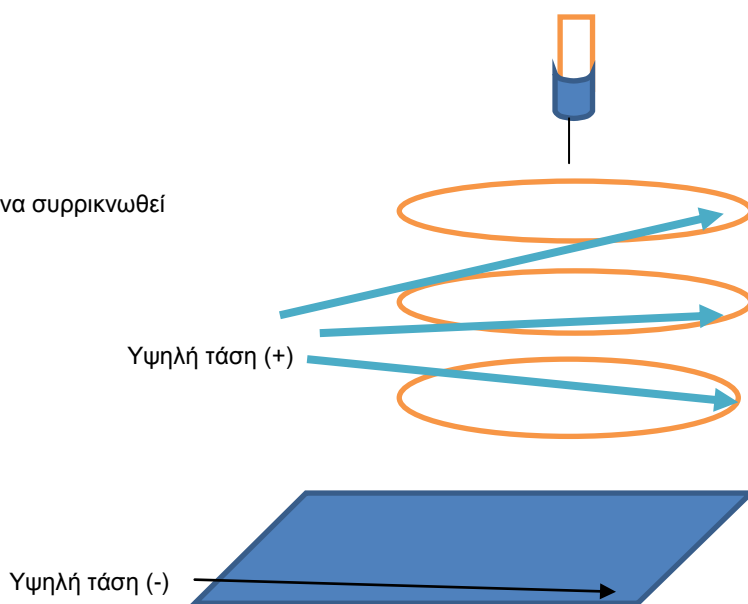
**Σχήμα 2. Σχηματικό διάγραμμα μεθόδου ηλεκτροϊνοποίησης για έλεγχο εναπόθεσης ινών**

Πλεονεκτήματα

- Η περιοχή όπου οι ίνες είναι εναποτιθέμενες, μπορεί να συρρικνωθεί

Μειονεκτήματα

- Απαιτητική μέθοδος
- Οι "δακτύλιοι" πρέπει να δώσουν θετικό φορτίο



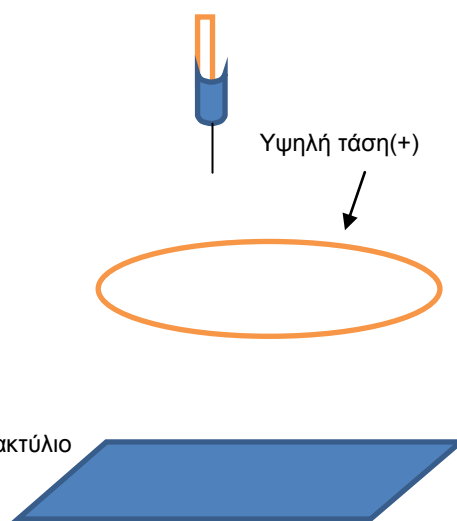
**A. Ελεγχόμενη εναπόθεση χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια σε σχήμα "δακτύλιου"**

Πλεονεκτήματα

- Σχετικά απλή μέθοδος
- Η εναπόθεση των ινών πρέπει να ελεγχθεί πάνω σε μια περιοχή

Μειονεκτήματα

- Στο δακτύλιο πρέπει να δοθεί ένα θετικό φορτίο
- Η περιοχή της εναπόθεσης των ινών είναι αρκετά μεγάλη, όμως δίνονται όρια στο δακτύλιο

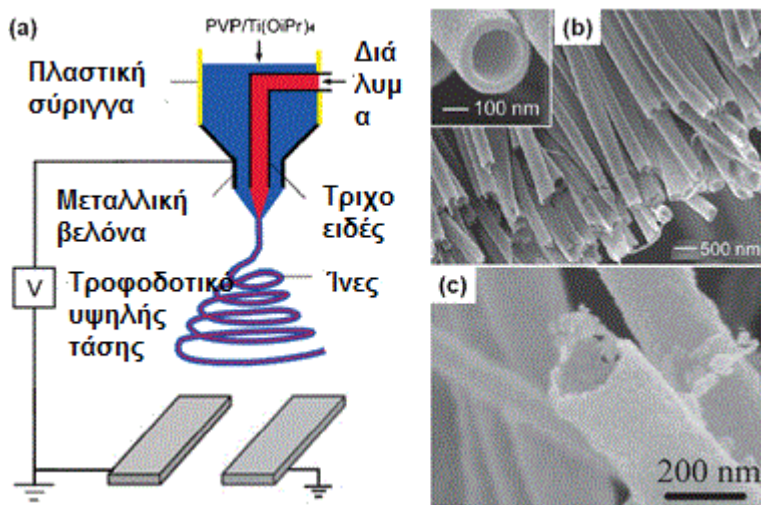


**B. Ελεγχόμενη εναπόθεση χρησιμοποιώντας ένα "δακτύλιο"**

ευθυγραμμισμένες ίνες στο κενό ανάμεσά τους(εικόνα 5.D). Η διάταξη και το σχέδιο που σχηματίζεται από τις ίνες, ήταν διαφορετικό σε όλο το πλέγμα των ινών και εξαρτάται από την θέση τους στο κενό (μεταξύ δύο ηλεκτροδίων). Αυτό μειώνει σημαντικά, την χρησιμότητα του πλέγματος ηλεκτροϊνοποίησης. Ένα άλλο μειονέκτημα της χρήσης παράλληλου βοηθητικού ηλεκτροδίου ως συλλέκτη, είναι ότι η

ευθυγράμμιση των ινών θα γίνει τόσο πιο τυχαία, όσο περισσότερες ίνες εναποτίθενται (Katta 2004). Αυτό πιθανώς, οφείλεται στη συσσώρευση υπολειμματικών φορτίων, επί των εναποτιθέμενων ινών, που διαμορφώνουν το επιθυμητό προφίλ του ηλεκτρικού πεδίου. Το μήκος των ευθυγραμμισμένων ινών με ηλεκτροϊνοποίηση, διαμέσου ενός διακενου, περιορίζεται από το κενό, το οποίο είναι συνήθως μικρότερο από 100 χιλιοστών. Σε μεγαλύτερη απόσταση, η ηλεκτροϊνοποιημένη εκροή δεν μπορεί να αποτεθεί διαμέσου του διάκενου και οι ηλεκτροϊνοποιημένες ίνες πιθανώς να σπάσουν κάτω από το δικό του βάρος, ειδικά αν η ίνα είναι μικρότερης διαμέτρου (Li 2003).

Υπήρχαν διπλώματα ευρεσιτεχνίας στη δεκαετία του 1930' με 1940', με παράλληλα ηλεκτρόδια (Σχήμα 3 (D)), ισχυρίζοντας ότι αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχηματιστούν νήματα συνεχών ινών κι αυτό φαινόταν εξαιρετικά αδύνατο, με βάση την τότε γνώση. Παρόλα αυτά, υπήρξαν αρκετές πρόοδοι και καινοτομίες στη συναρμολόγηση ηλεκτροϊνοποιημένων ινών, με υποστήριξη του ηλεκτρικού πεδίου που επηρεάζει την ηλεκτροϊνοποιημένη εκροή με την τοποθέτηση ενός προφίλ παράλληλου ζεύγους ηλεκτροδίων. Οι Teo και Ramakrishna, έκαναν χρήση της συμπεριφοράς εναπόθεσης της ηλεκτροϊνοποιημένης εκροής, πάνω από ένα κενό για να δημιουργήσουν μια εξαιρετικά ευθυγραμμισμένη δέσμη ινών. Το στήσιμό της διάταξης τους αποτελούνταν από τη τοποθέτηση δύο ελασμάτων, σε συμφωνία του ενός με το άλλο, με ένα κενό μεταξύ τους (Σχήμα 3 (E)).



Εικόνα 5(D). (πηγή : Sun et al. , Yu et al.,

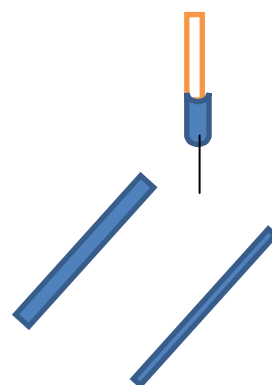
Recent advances in large-scale assembly of semiconducting inorganic nanowires and nanofibers for electronics, sensors and photovoltaics)

### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος
- Εύκολα παράγονται υψηλά ευθυγραμμισμένες ίνες
- Οι ευθυγραμμισμένες ίνες εύκολα μεταφέρονται σε άλλο υπόστρωμα

### Μειονεκτήματα

- Δεν είναι πιθανή μια παχύτερη διάμετρος τοιχώματος ευθυγραμμισμένων ινών
- Υπάρχει ένα όριο στο μήκος των ευθυγραμμισμένων ινών



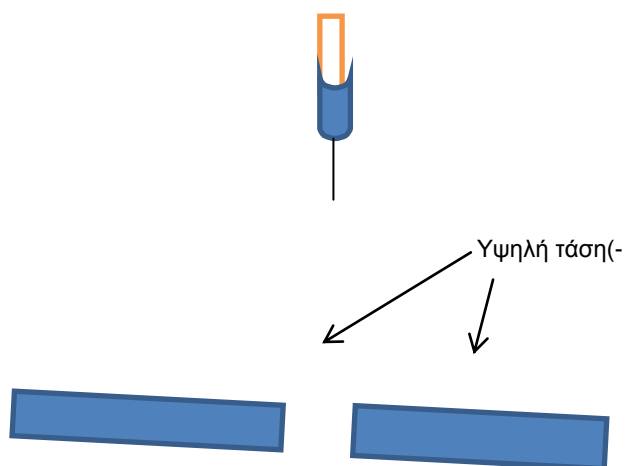
**Σχήμα 3(D). Παράλληλα ηλεκτρόδια**

### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος
- Το νήμα μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα από τον συλλέκτη )
- Το νήμα από τον συλλέκτη είναι καλά ευθυγραμμισμένο

### Μειονεκτήματα

- Το κατασκευασμένο νήμα είναι σε περιορισμένο μήκος
- Οι εναποτιθέμενες ίνες χρειάζεται να μπουν στο νερό πρώτα πριν σχηματιστεί το νήμα



**Σχήμα 3 (E). Λεπίδα τοποθετημένη σε γραμμή**



Ένα αρνητικό φορτίο, εφαρμόστηκε στα ελάσματα, έτσι ώστε να υπάρχει μια μεγαλύτερη ελκτική δύναμη για τη θετικά ηλεκτροϊονοποιημένη εκροή. Με αυτόν τον τρόπο, οι ηλεκτροϊονοποιημένες ίνες, θα αποτεθούν σταθερά, από τη μια άκρη του ενός ελάσματος προς το άλλο. Ωστόσο, εάν εφαρμοστεί στα ελάσματα αρνητική τάση, δεν αποτίθενται ηλεκτροϊονοποιημένες ίνες επί των ελασμάτων. Ένας πιθανός λόγος, θα μπορούσε να είναι ο ιονισμός του αέρα, λόγω της υψηλής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα των ελασμάτων. Τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα μπορούν να έλκονται από την θετικά φορτισμένη ηλεκτροϊονο- ποιημένη εκροή, η οποία θα οδηγήσει σε ένα καθαρά αρνητικό φορτίο την εκροή και στη συνέχεια απωθούνται (οι ίνες) από τα αρνητικά φορτισμένα ελάσματα.

Ως εκ τούτου, το αρνητικό φορτίο που εφαρμόζεται στη λεπίδα, πρέπει να είναι χαμηλό, έτσι ώστε η εκροή να διατηρήσει το θετικό φορτίο, έτσι ώστε να έλκεται από τα ελάσματα. Λόγω των απωθητικών δυνάμεων, που προκαλούνται από υπολλειματικά φορτία, όλες οι ίνες είχαν εξαπλωθεί πέρα από το κενό. Οι Teo και Ramakrisna απέδειξαν ότι με εμβάπτιση των ινών σε νερό (ενώ οι ίνες εξακολουθούν να συνδέονται με τα ελάσματα) , ήταν σε θέση να κάνει χρήση της επιφανειακής τάσης του νερού, για τη συμπίεση των ινών μαζί, για να σχηματίσουν μια σφιχτή και ευθυγραμμισμένη δέσμη ινών. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ρυθμίσεων είναι ότι τα δυο άκρα που συνδέουν τη δέσμη ινών προς τα ηλεκτρόδια, έχουν ακρίβεια και επαναληψιμότητα.

Ο έλεγχος και η τοποθέτηση της δέσμης των ινών μπορούν στη συνέχεια να επιτευχθούν (Teo, Ramakrisna 2005). Μια πιθανή εφαρμογή για την παραγωγή εξαιρετικά ευθυγραμμισμένης δέσμης ινών, όπου απαιτούνται αισθητήρες αερίου, τοποθετούνται εγκάρσιως σε επαφή με τα ηλεκτρόδια (Kessick και Terper 2006). Η ευθυγράμμιση και ο προσανατολισμός των ινών, μπορεί να διευκολύνει τη μεταφορά ηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος των ηλεκτροδίων. Ο Dalton, χρησιμοποίησε δύο δακτύλιους, που τοποθετούνταν παράλληλα, για να συλλέξει ιδιαίτερα ευθυγραμμισμένες ίνες, που αποτέθηκαν στις περιμέτρους των δακτυλίων, πέρα από το διάκενο(**Σχήμα 3 (F)**). Με την περιστροφή ενός από τους δακτύλιους, αφού οι ίνες εναποτεθούν, είναι σε θέση να νηματοποιηθούν (με στρίψεις). Τέτοια συνεστραμμένα νήματα, αναμένεται να εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή από τα νήματα που αποτελούνται, από μόνο ευθυγραμμισμένες ίνες (Dalton 2005). Αυτά είναι κατάλληλα για πολλές ιατρικές εφαρμογές (π.χ. ράμματα). Ωστόσο, το περιορισμένο μήκος του νήματος, μειώνει την ευελιξία του.

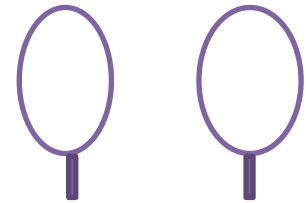
### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος
- Μπορεί να κατασκευαστεί νήμα με στρίψη



### Μειονεκτήματα

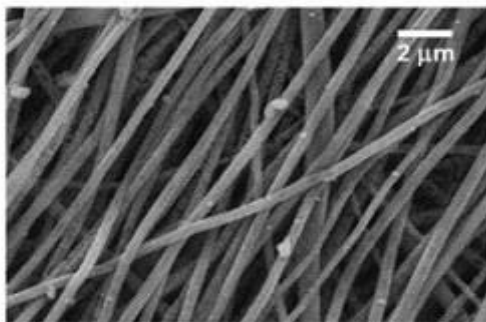
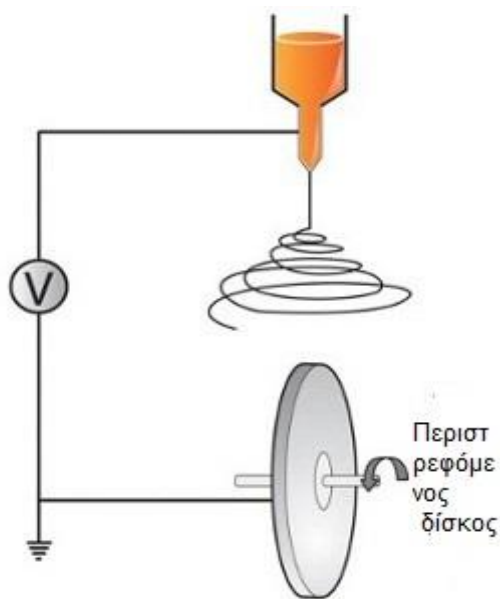
- Το σχηματισμένο νήμα έχει περιορισμένο μήκος
- Ένας από τους δακτυλίους χρειάζεται στροφή για να πραγματοποιηθεί στρίψη στις ίνες, που είναι εναποτιθέμενες σε νήμα



**Σχήμα 3 (F). Συλλέκτης σε σχήμα δακτύλιου, τοποθετημένο παράλληλα**

### 3.1 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΕΙΡΑΓΩΓΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Δεδομένου ότι τόσο η χειραγώγηση του ηλεκτρικού πεδίου και η χρήση ενός δυναμικού συλλέκτη, είναι οι πιο κοινές μέθοδοι για να πάρει κανείς, προσχεδιασμένα πλέγματα ινών. Οι δυο μέθοδοι συναρμολόγησης, συνδυάζονται για την επίτευξη μεγαλύτερου μήκους ινών. Χρησιμοποιείται ένας περιστρεφόμενος συλλέκτης δίσκου για να πραγματοποιηθεί η περιστροφική κίνηση και η σύγκλιση των ηλεκτρικών γραμμών πεδίου στην περιφέρεια του χείλους προσβολής του δίσκου, με αποτέλεσμα να συλλεχθούν ιδιαίτερα ευθυγραμμισμένες ίνες(εικόνα 5(E)). Για μια τυπική διαδικασία ηλεκτροϊνοποίησης, η εκροή υφίσταται αστάθεια κάμψης, η οποία εξαπλώνεται σε μια ευρύτερη περιοχή, με αποτέλεσμα μια μεγάλη περιοχή εναπόθεσης, σε ένα στατικό συλλέκτη.



**Εικόνα 5(E).** Μέθοδος ηλεκτροϊνοποίησης με συλλέκτη μορφής δίσκου, με τελικές νανοϊνες μήκους 2μm (πηγή : Xie, Macewan et al. 2009, Biomimetic Architectures for Tissue Engineering).

Ωστόσο, όταν χρησιμοποιείται το χείλος του δίσκου, η ηλεκτροϊνοποιημένη εκροή συγκλίνει προς το χείλος του δίσκου, η οποία στη συνέχεια ευθυγραμμίζεται κατά μήκος της ακμής, καθώς περιστρέφεται (Theron 2001). Γυάλινα υποστρώματα ή οποιαδήποτε μη αγώγιμα υποστρώματα μπορούν να

συνδέονται κατά μήκος των ακμών του δίσκου, για να παρασκευαστούν εξαιρετικά ευθυγραμμισμένες ίνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μηχανική ιστών. Έτσι στην κλωστική μηχανή μπορεί να υπάρχει μια γωνία μεταξύ του άκρου εκβολής, της μήτρας και της ακμής (χείλους) του ηλεκτροδίου. Η ηλεκτροϊονοποιημένη εκροή, βρέθηκε να κατευθύνεται με την ίδια γωνία, με εκείνη με τις διαγώνιες γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου από την άκρη της μήτρας προς το χείλος (ακμή). Η τοποθέτηση μιας περιστρεφόμενης ράβδου στον συλλέκτη και η πορεία της ηλεκτροϊονοποιημένης εκροής διαγωνίως με τις ευθυγραμμισμένες ίνες σε διαφορετικούς προσανατολισμούς, μπορούν να κατασκευαστούν και για ιατρικές εφαρμογές (μοσχεύματα ή επίστρωση πάνω σε μεταλλικά πλέγματα). Με το τεράστιο ενδιαφέρον για την ηλεκτροϊονοποίηση και την επιθυμία για τον έλεγχο της διαδικασίας και την κατασκευή διαφόρων πλεγμάτων, με διάφορες ρυθμίσεις, ο έλεγχος και των δύο, δηλαδή η χειραγώγηση του ηλεκτρικού πεδίου και η περιστροφή του συλλέκτη, έχουν αποδειχθεί επιτυχείς στην κατασκευή διάφορων ινώδων πλεγμάτων.

Οι ηλεκτροϊονοποιημένες ίνες, μπορούν να ληφθούν και με την προσάρτηση περιστρεφόμενου τραπέζιου. Χρησιμοποιώντας μια παρόμοια διάταξη, σαν το συλλέκτη δίσκου, ο Bhattarai (2005), τύλιξε ένα σύρμα χαλκού ως ένα ηλεκτρόδιο σε ένα μονωμένο κύλινδρο, για να συλλέξει μια εξαιρετικά ευθυγραμμισμένη δέσμη ινών, με την περιστροφή του κυλίνδρου σε μια βέλτιστη ταχύτητα των 2000 στροφών/λεπτό(Σχήμα 3 (G)).

<p><u>Πλεονεκτήματα</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>•Απλή μέθοδος</li><li>•Υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας υψηλά ευθυγραμμισμένων ινών</li><li>•Στο σύρμα, η περιοχή των ευθυγραμμισμένων ινών είναι ρυθμιζόμενη, με ποικιλία πάχους συρμάτων</li></ul> <p><u>Μειονεκτήματα</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>•Οι ευθυγραμμισμένες ίνες συγκεντρώνονται στο σύρμα, παρά σε όλο το τύμπανο</li></ul>	
--	--

**Σχήμα 3 (G). Συλλέκτης “τύμπανο” με σύρμα**

Το μέγεθος της δέσμης ινών, είναι ελέγξιμο, μεταβάλλοντας τη διάμετρο του σύρματος. Αντί της χρησιμοποίησης στατικών παράλληλων ηλεκτροδίων, ο Katta χρησιμοποίησε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο σύρματος συλλέκτη, για τη συλλογή ευθυγραμμισμένων ινών(Σχήμα 3 (H)). Με μόνο μια ταχύτητα περιστροφής από μια στροφή/λεπτό, η ευθυγράμμιση των ινών είναι περισσότερο πιθανό να οφείλεται στην παράλληλη διάταξη του σύρματος, παρά στην περιστροφή του τύμπανου, ωστόσο μετά

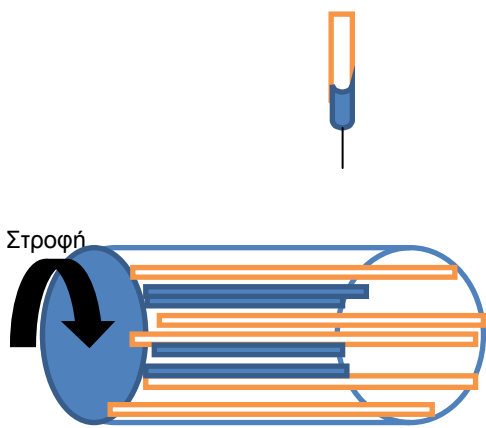
από 15 λεπτά ηλεκτροϊνοποίησης, η ευθυγράμμιση της ίνας ήταν μειωμένη, πιθανώς λόγω της υπολειματικής φόρτισης, στις συλλεγόμενες ίνες (Katta 2004).

**Πλεονεκτήματα**

- Απλή μέθοδος
- Πιθανότητα υψηλά ευθυγραμμισμένων ινών

**Μειονεκτήματα**

- Δεν είναι πιθανή μια παχύτερη διάμετρος τοιχώματος ευθυγραμμισμένων ινών
- Οι ίνες μπορεί να μην ευθυγραμμίζονται μέσω της συναρμολόγησης



**Σχήμα 3 (H). Στρεφόμενος συλλέκτης “τύμπανο” με σύρμα**

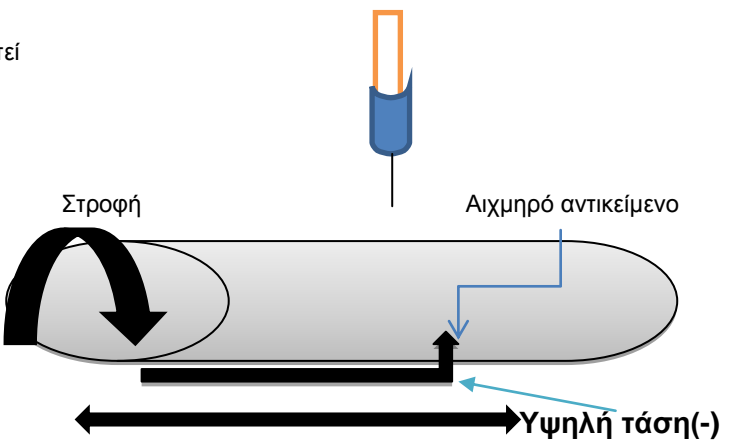
Ο Τεο έδειξε την επίδραση ενός χείλους προβολής (βοηθητικού ηλεκτροδίου) για την απόθεση των ηλεκτροϊνοποιημένων ινών, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο ρυθμίσεων (**Σχήμα3 (J)**). Όταν το χείλος κόψης με τα βοηθητικά ηλεκτρόδια είναι παράλληλα, περνούν τα βοηθητικά ηλεκτρόδια κάτω από την περιστρεφόμενη ράβδο(σε αντίθεση με τις παράλληλες λωρίδες), ενώ οι ίνες που συλλέγονται στη ράβδο, ευθυγραμμίζονται περισσότερο (Τεο 2005). Η επίδραση στην εναπόθεση ηλεκτροϊνοποιημένων ινών, υπό την παρουσία του χείλους προβολής (λεπίδας), ερευνήθηκε από τον Theron χρησιμοποιώντας ένα συλλέκτη δίσκου. Ο Sundaray χρησιμοποίησε ένα αιχμηρό καρφί ως ηλεκτρόδιο, αντί να κατευθύνει απευθείας την εκροή προς τον συλλέκτη(**Σχήμα 3 (I)**). Το αιχμηρό καρφί τοποθετείται σε ένα περιστρεφόμενο συλλέκτη, που έχει ως αποτέλεσμα την εστίαση του σημείου εναπόθεσης των εκροούμενων ινών. Με την εισαγωγή μιας πλευρικής κίνησης του περιστρεφόμενου κυλίνδρου (συλλέκτη), σχηματίστηκαν ίνες με διαφορετική μορφή από τη συνηθισμένη (Sundaray 2004).

**Πλεονεκτήματα**

- Μεγάλη περιοχή οργανομένων ινών μπορεί να κατασκευαστεί

**Μειονεκτήματα**

- Απαιτητική μέθοδος
- Περιοχή με μεγαλύτερο πάχος συγκέντρωσης οργανομένων ινών ίσως δεν είναι πιθανή



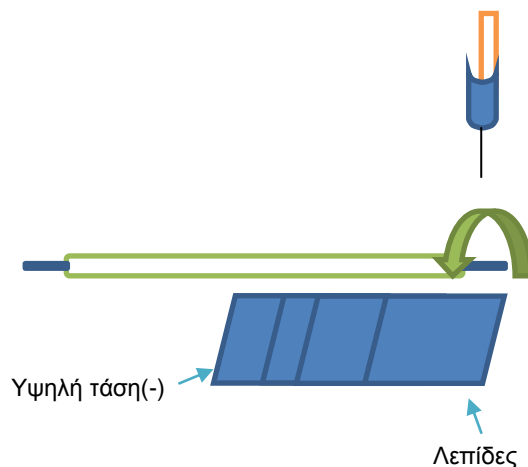
**Σχήμα 3 (I). Τύμπανο στρεφόμενο με εσωτερικό αιχμηρό αντικείμενο**

### Πλεονεκτήματα

- Υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας υψηλά ευθυγραμμισμένων ινών
- Οι ευθυγραμμισμένες ίνες καλύπτουν όλο τον σωλήνα
- Παχύτερη τρύπα εναποτιθέμενης ευθυγραμμισμένης ίνας είναι πιθανή

### Μειονεκτήματα

- Η μέθοδος απαιτεί ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο για να επηρεάζει το σύστημα
- Είναι η μέθοδος πιθανή μόνο για σωλήνα μικρής διαμέτρου



**Σχήμα 3 (J). Συλλέκτης περιστρεφόμενου σωλήνα με μυτερά άκρα ηλεκτροδίων**

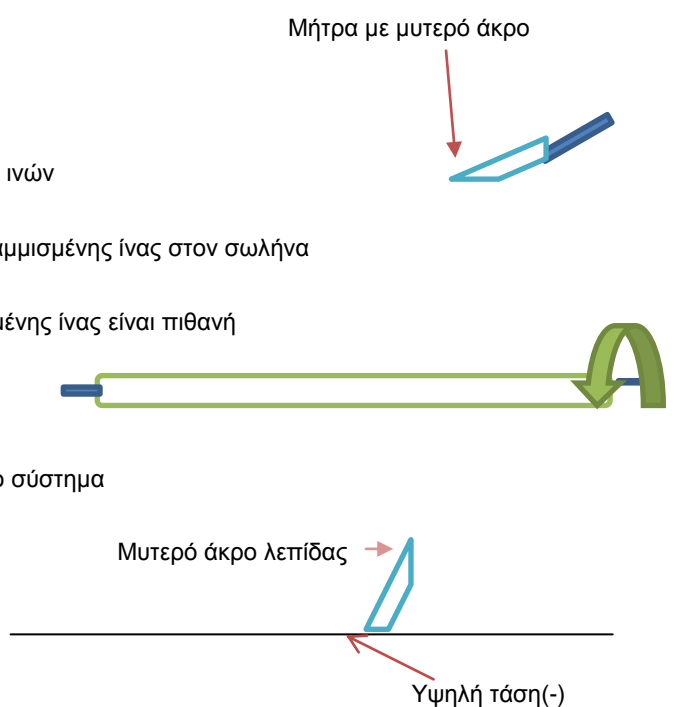
Η αυξημένη εναπόθεση των ινών, συχνά οδηγεί σε συσσώρευση φορτίων και στο μέλλον θα φανεί αν αυτή η μέθοδος είναι σε θέση να δώσει πάχος και σχέδια στο πλέγμα των ινών. Ο Τεο χρησιμοποίησε ένα ηλεκτρόδιο στο χείλος εκροής, για να κατευθύνει την εναπόθεση των ινών (Σχήμα 3 (K)). Στο διάλυμα του πολυμερούς, είχε δοθεί η θετική φόρτιση, ενώ στο ηλεκτρόδιο δόθηκε αρνητική φόρτιση, έτσι ώστε να ασκείται μια ελκτική δύναμη στις ηλεκτροϊοντοποιημένες ίνες.

### Πλεονεκτήματα

- Υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας υψηλά ευθυγραμμισμένων ινών
- Η μέθοδος αυτή μπορεί να ελέγχει την κατεύθυνση της ευθυγραμμισμένης ίνας στον σωλήνα
- Παχύτερη διάμετρος τοιχώματος εναποτιθέμενης ευθυγραμμισμένης ίνας είναι πιθανή

### Μειονεκτήματα

- Η μέθοδος απαιτεί ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο για να επηρεάζει το σύστημα
- Είναι η μέθοδος πιθανή μόνο για σωλήνα μικρής διαμέτρου



**Σχήμα 3 (K). Ελεγχόμενη ηλεκτροϊοντοποίηση εκροής χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια με μυτερά άκρα**

Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, τοποθετήθηκε σε μια απόσταση, από την εκροή και υπήρχε μια γωνία μεταξύ του άκρου εκροής και της ακμής του ηλεκτροδίου. Μεταξύ μήτρας και ηλεκτροδίου, η μήτρα φάνηκε να είναι σε ίδια γωνία, με εκείνη των διαγώνιων γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο, με την τοποθέτηση ενός περιστρεφόμενου σωλήνα για συλλέκτη, συλλέχθηκαν σε αυτόν ευθυγραμμισμένες ίνες (Teo 2005). Με αυτό το σύνθετο υλικό, που αποτελείται από ευθυγραμμισμένες ίνες σε διαφορετικούς προσανατολισμούς, υπάρχουν πάρα πολλές ιατρικές εφαρμογές, όπως σε αγγειακά μοσχεύματα ή επίστρωση πάνω σε μεταλλικά πλέγματα (stents\*). Η χρήση και των δυο περιστρεφόμενων συσκευών και η χειραγώγηση του ηλεκτρικού πεδίου, έχει αποδειχθεί επιτυχής στην κατασκευή διαφόρων ινώδων πλεγμάτων.

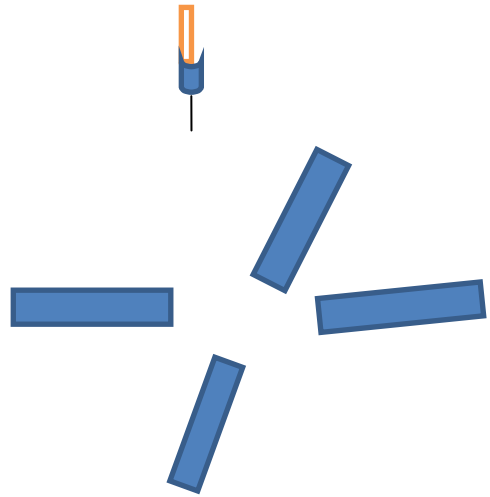
\***stents** : Είναι μεταλλικά πλέγματα, τα οποία τοποθετούνται προκειμένου να διατηρηθεί ανοιχτό ένα αγγείο στην περίπτωση της αθηροσκλήρωσης. Τα τελευταίας γενιάς stent τα οποία εκλύουν φάρμακο προκειμένου να μη δημιουργηθεί επαναστένωση στο αγγείο, μπορεί μετά από ένα χρόνο να προκαλέσουν θρόμβωση. Η θρόμβωση οφείλεται στα πολυμερή από τα οποία είναι φτιαγμένα τα stent και τα οποία δημιουργούν δεξαμενές για να αποθηκεύεται το φάρμακο. Με τη νανοτεχνολογία μπορούμε να κατασκευάσουμε, νανοεπικαλύψεις που να έχουν μέγεθος 100 νανόμετρων, που δεν θα θρομβώνουν και θα επικαλύψουν την επιφάνεια του stent.

### Πλεονεκτήματα

- Απλή μέθοδος

### Μειονεκτήματα

- Τα σχέδια των ινών δεν είναι σταθερά μέσω της περιοχής της συγκέντρωσης, η οποία εξαντλείται
- Η συγκέντρωση μεγαλύτερου πάχους ίνας δεν είναι πιθανή



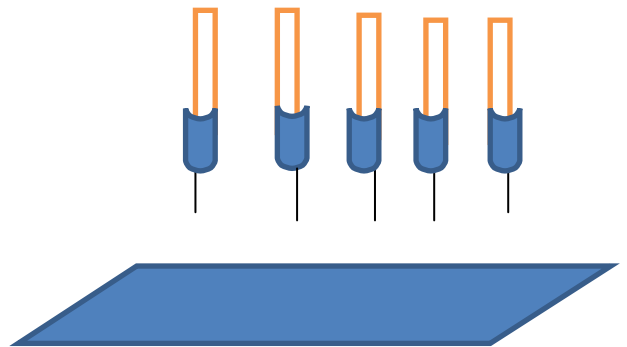
**Σχήμα 3 (L). Συγκέντρωση ηλεκτροδίων**

### Πλεονεκτήματα

- Σχετικά απλή μέθοδος
- Μπορούν να "συνδεθούν" μαζί πολλές ίνες από διαφορετικά υλικά

### Μειονεκτήματα

- Διακοπή ανάμεσα στις εκροές της ηλεκτροϊοντοποίησης



**Σχήμα 3 (M). Πολλαπλές μήτρες**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

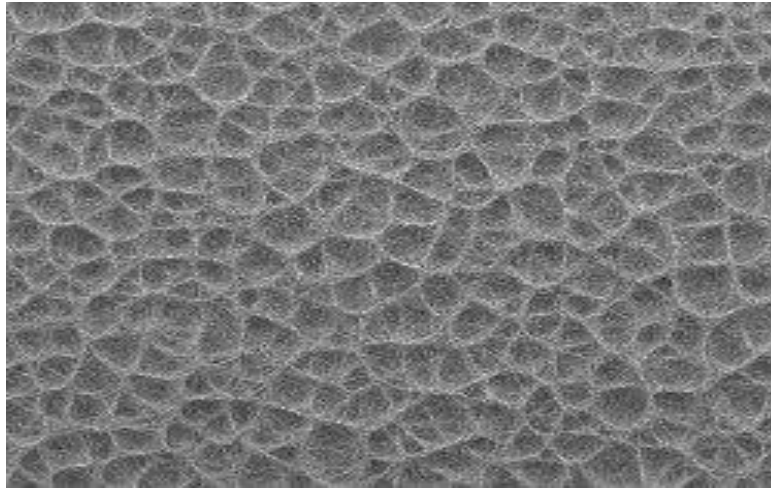
Η χρήση μιας περιστρεφόμενης συσκευής συλλέκτη δεν είναι ο μόνος τρόπος για να ληφθούν πλέγματα ινών. Είναι επίσης δυνατή η χρήση ενός στατικού συλλέκτη, για να ληφθούν δύο διαστάσεων ή ακόμα και τρισδιάστατες δομές. Μορφοποιήσεις δομών τύπου “κυρήθρας” (Deitzel 2006) και τύπου “λακκάκι” (Ramakrishna 2005), έχουν κατασκευαστεί, όπως φαίνεται στην **εικόνα 6 (Α)**. Αυτό αποδίδεται στη συσσώρευση ηλεκτροστατικών φορτίων επί του εναποτιθέμενου συλλέκτη, η οποία εμποδίζει τις ηλεκτροϊοντοποιημένες ίνες να αποτίθενται απευθείας στο συλλέκτη. Αυτές οι ίνες, θα μπορούσαν να δομηθούν σαν σχέδιο “κυρήθρα” (honeycomb) ή σχέδιο “λακκάκι” (dimpled), καθώς συσσωρεύονται και στεγνώνουν ακριβώς πάνω στον συλλέκτη και πριν εναποτεθούν σε αυτόν.

Παρόλο που η ηλεκτροϊοντοποίηση δεν ήταν γνωστή για το σχηματισμό τρισδιάστατων δομών, οι ηλεκτροϊοντοποιημένες ίνες πολυσουλφόνης σχηματίζουν μια τρισδιάστατη δομή (**εικόνα 6(B)**). Οι συνθήκες που απαιτούνται για να σχηματιστούν τέτοιες τρισδιάστατες δομές, εξακολουθούν να είναι ασαφείς και περισσότερες μελέτες πρέπει να διενεργηθούν για τον προσδιορισμό τους. Ωστόσο, καθώς οι ίνες μορφοποιούνται, αυτή η δομή είναι πολύ χαλαρή και μπορεί εύκολα να διαραγεί. Έτσι, δεν είναι κατάλληλη σε εφαρμογές, όπου η μηχανική αντοχή είναι απαραίτητη για την διατήρηση της ακεραιότητας του τρισδιάστατου σχήματος, με αιτία την “αφράτη” υφή του προκύπτοντος πλέγματος ινών. Δεδομένου ότι οι ηλεκτροϊοντοποιημένες ίνες, δεν κρατιούνται σφιχτά από άλλες ίνες όταν αποτίθενται, αυτό μπορεί να επιτρέψει στις ίνες να υποχωρήσουν, όταν η ίνα χάσει το φορτίο της ή όταν χάσει την αρχική της κατάσταση, λόγω των απωθητικών δυνάμεων, που προκαλούνται από παραμενόντα φορτία, πάνω σε ήδη αποθετιμένες ίνες. Περαιτέρω πειράματα θα πρέπει να εκτελεστούν, για να καθοριστούν οι συνθήκες για παρόμοια συναρμολόγηση ίνας.

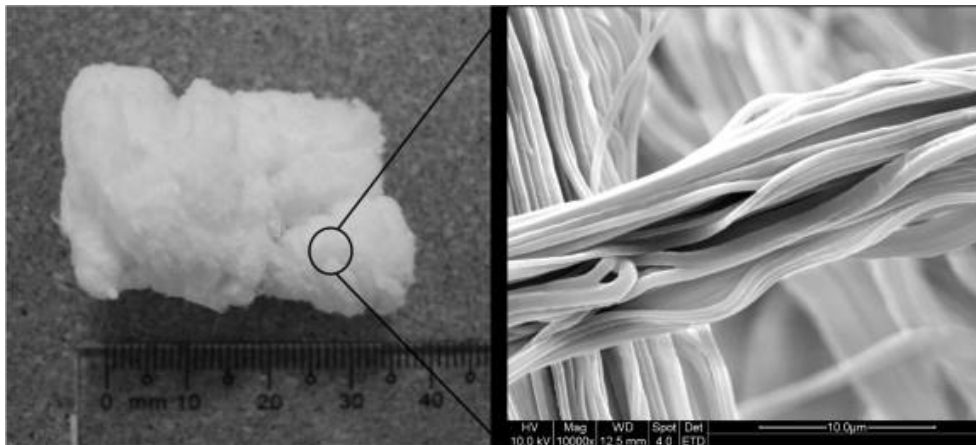
Το πλέγμα ινών, μπορεί να έχει τη δυνατότητα για χρήση σαν ένα νανοελατήριο, εφόσον μπορεί να κατασκευαστεί με συνέπεια, σε νανοκλίμακα. Ένα διαμορφωμένο δυσδιάστατο πλέγμα, σχηματίζεται μέσω ενός συλλέκτη, είτε σε μοτίβα σε περίεργη μορφή με οδοντώσεις, είτε σε ένα πλέγμα με πόρους. Στο μεταξύ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το προκύπτον πλέγμα ινών, που σχηματίζεται, λαμβάνοντας τη μορφή του σχεδίου του συλλέκτη. Ο Ramakrishna, χρησιμοποίησε ένα συλλέκτη, που έγινε από οδοντώσεις, χωρίς πόρους. Οι ηλεκτροϊοντοποιημένες ίνες, έχουν τυχαία εναποτεθεί, αν και εξακολουθούν να λαμβάνουν το πρότυπο σχήμα του συλλέκτη (Ramakrishna 2005). Ο Gibson και ο Schreuder, χρησιμοποίησαν ένα συλλέκτη που έγινε από ένα αγώγιμο πλέγμα με πόρους. Αυτοί βρήκαν ότι οι ίνες, εναποτίθενται επί των αγώγιμων γραμμών του πλέγματος, ενώ ευθυγραμμίστηκαν οι ίνες στους πόρους του πλέγματος, το οποίο ήταν μη αγώγιμο και ήταν τυχαία προσανατολισμένες. Πλέγματα με διαφορετικές αποστάσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή ηλεκτροϊοντοποιημένων ινών. Με τη χρήση πορόμετρου, το δείγμα των ηλεκτροϊοντοποιημένων ινών, δεν έδειξε εμφανή διαφορά στο μέσο μέγεθος

των πόρων και στην αντίσταση αέρα από εκείνη , ενός μη υφασμένου πλέγματος που συλλέγεται σε ένα λείο (χωρίς αντίσταση) υπόστρωμα.

Η δοκιμή διάρρηξης στο μοτίβο πλέγματος, έδειξε ότι τα πλαίσια πλέγματος τείνουν να παρεμποδίζουν την περαιτέρω ρήξη της μεμβράνης. Επειδή οι ίνες τείνουν να αποτεθούν κατά προτίμηση σε αγωγίμη περιοχή, οι περιοχές με ταχύτερη εναπόθεση ινών αποτρέπουν συνεπώς τη ρήξη (Gibson, Schreuder 2004).



**Εικόνα 6(A)** Πλέγμα ηλεκτροϊνοποιημένων νανοϊνών με “λακκάκι”



**Εικόνα 6(B)** Ηλεκτροϊνοποιημένες νανοϊνες τρισδιάστατης μορφής (πηγή : S. Ramakrishna et al., W. E.Teo et al., Electrospun nanofibers as a platform for multifunctional, hierarchically organized nanocomposite).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ

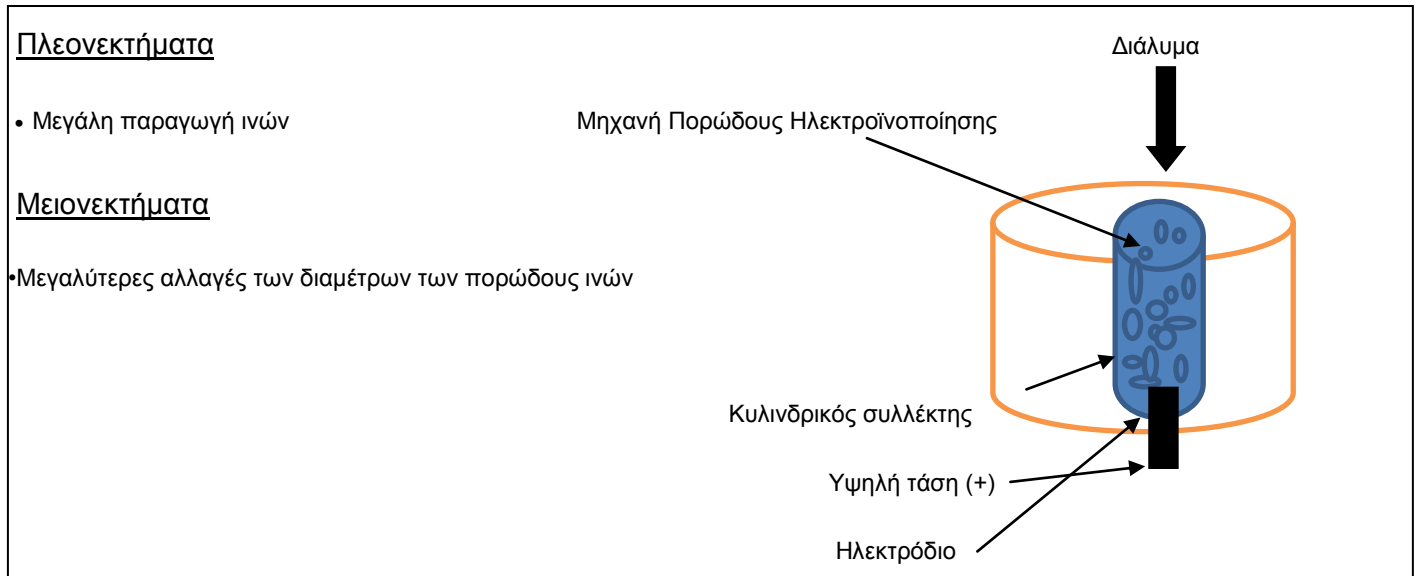
Μέχρι στιγμής, ποικίλες μέθοδοι επίτευξης ινωδών πλεγμάτων έχουν περιγραφεί. Ωστόσο, η τροποποίηση των ρυθμίσεων της ηλεκτροϊνοποίησης, δεν περιορίζεται μόνο σε όσους επιχειρούν να επιτύχουν διαφορετική συναρμολόγηση. Με διάφορες δομές, επιδίωξαν να αντιμετωπίσουν περιορισμούς, στις τυπικές ρυθμίσεις και διαδικασίες ηλεκτροϊνοποίησης, ενώ άλλοι αναφέρεται ότι βελτιώνουν τη διαδικασία ινοποίησης και απόδοσης του προκύπτοντος ινώδους πλέγματος. Το **σχήμα 4**, περιγράφει διάφορες ηλεκτροϊνοποιητικές μεθόδους δομών αποδέσμευσης διαλυμάτων, για βελτιωμένη χρήση των νανοϊνών.

Ένας γνωστός περιορισμός της διαδικασίας ηλεκτροϊνοποίησης είναι το επίπεδο της παραγωγής ινών, η οποία είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη, των σημερινών συμβατικών μεθόδων κλώσης. Μια απλή μέθοδος, για την αύξηση της παραγωγικότητας της ηλεκτροϊνοποίησης, είναι η αύξηση του αριθμού διατάξεων κατασκευής ινών, που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία (Ding 2004, Kidoaki 2005, Theron 2005, Madhugiri 2003).

Αυτή η σχεδίαση, έχει το επιπλέον πλεονέκτημα της κλώσης ενός σύνθετου πλέγματος που αποτελείται από ίνες, από διαφορετικά υλικά. Άλλα υλικά, όπως νανοσωματίδια χιτίνης (Min 2004), ακόμη και κύτταρα (Stankus 2006), έχουν ψεκαστεί επάνω στο πλέγμα, κατά τη διάρκεια της ηλεκτροϊνοποίησης, για να σχηματίσουν ένα σύνθετο υλικό. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η παρουσία των διατάξεων εκρών (ακροφύσια), έχει ανεπιθύμητη επίδραση, επί των ηλεκτροϊνοποιημένων εκρών προς τον συλλέκτη (Theron 2005). Η κατανομή της διαμέτρου των ινών, μπορεί να είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα την αυξομείωση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ ακροφυσίων- συλλέκτη.

Ο Dosunmu επέδειξε μια καινοτόμο μέθοδο, χρησιμοποιώντας έναν πορώδες σωλήνα, για να αυξήσει σημαντικά το ποσοστό ηλεκτροϊνοποίησης. Το διάλυμα πολυμερούς, πρώτα εγχύεται εντός του πορώδους κυλινδρικού σωλήνα, όπου ένα ηλεκτρόδιο εισήχθη σε αυτό (**σχήμα 4(A)**). Με την εφαρμογή πίεσης αέρα, το διάλυμα αναγκάζεται να περάσει **μέσω** πολλών πόρων του σωλήνα. Ένα ηλεκτρόδιο χρησιμοποιήθηκε για να φορτίσει το διάλυμα έτσι ώστε, καθώς το διάλυμα προσέγγισε την εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα, ξεκίνησε η ηλεκτροϊνοποίηση πολυάριθμων εκρών και οι ίνες εναποτίθενται στην εσωτερική επιφάνεια του κυλινδρικού συλλέκτη που περικλείει το πορώδες κυλινδρικό σωλήνα (Dosunmu 2006).

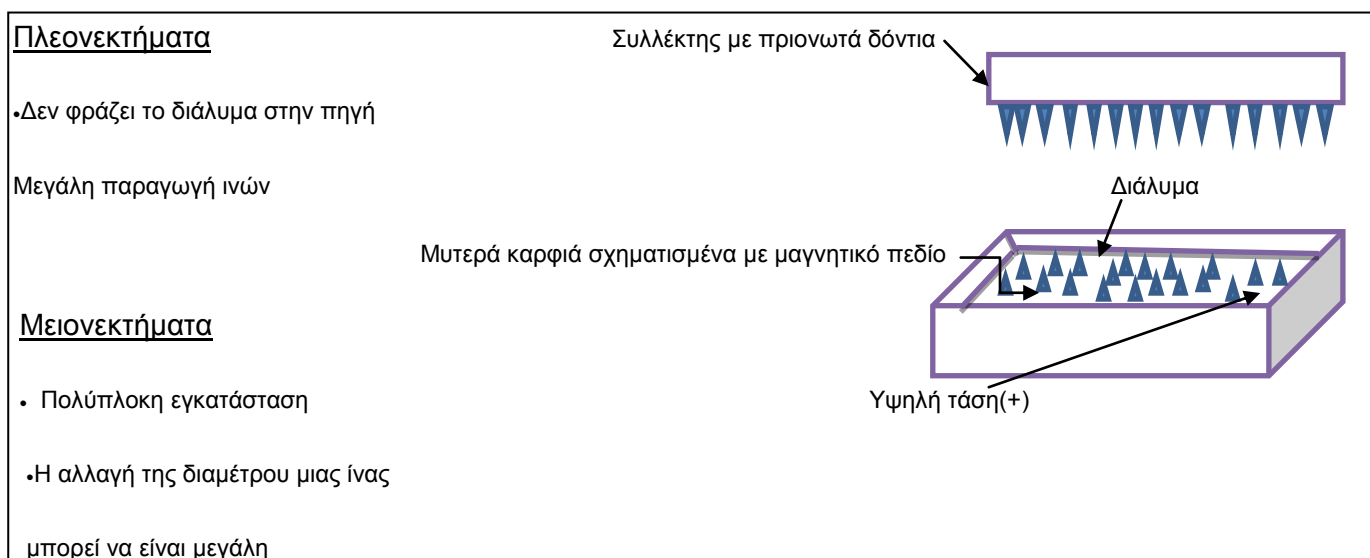
**Σχήμα 4.** Σχηματικά διαγράμματα μεθόδων ηλεκτροϊνοποίησης, χρησιμοποιώντας διάφορες δομές αποδέσμευσης διαλυμάτων



**Σχήμα 4 (Α).** Πηγή πορώδους ηλεκτροϊνοποίησης

## 5.1 ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΒΕΛΟΝΑ

Για να εξαλειφθεί το πρόβλημα με την απόφραξη των πόρων, κατά τη διάρκεια της ηλεκτροϊνοποίησης με πολλαπλά ακροφύσια εκρών, ο Yarin και ο Zussman επινόησαν μια διαδικασία που χρησιμοποιεί αιχμές (μυτερά καρφιά) για να διευκολύνει την κλώση και όχι την εξώθηση του διαλύματος μέσω μιας βελόνας. Μαγνητικά υγρά παρασκευάστηκαν, χρησιμοποιώντας μαγνητική σκόνη σε λάδι σιλικόνης. Κάτω από την επίδραση ενός μαγνητικού πεδίου, πολλές αιχμές σχηματίστηκαν στην ελεύθερη επιφάνεια του μαγνητικού **πεδίου (Σχήμα 4 (B))**. Ένα διάλυμα πολυμερούς προστέθηκε προσεκτικά, έτσι ώστε να σχηματίζει ένα στρώμα, στην επιφάνεια του μαγνητικού ρευστού (υγρού). Ένα ηλεκτρόδιο βυθίστηκε στο διάλυμα πολυμερούς και του εφαρμόστηκε μια υψηλή τάση. Όταν ένας γειωμένος μεταλλικός πριονωτός δίσκος χρησιμοποιήθηκε ως αντίθετο ηλεκτρόδιο, χιλιάδες πίδακες εκτινάχθηκαν από την επιφάνεια του μαγνητικού υγρού και οι ίνες εναποτίθενται επί του μεταλλικού δίσκου (Yarin, Zussman 2004), χρησιμοποιώντας ένα αιχμηρό άκρο, αντί μιας βελόνας.



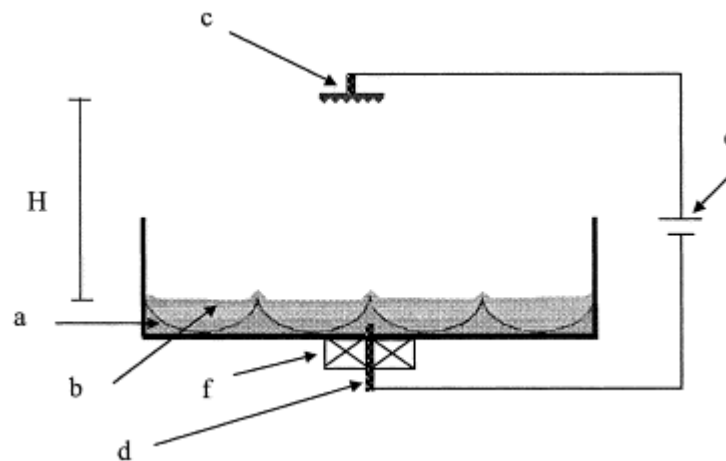
Σχήμα4 (B). Πηγή ηλεκτροϊνοποίησης με πολλές αιχμές

Ο Sun ανέφερε μια σημαντική ανακάλυψη, στη διαδικασία της ηλεκτροϊνοποίησης(Σχήμα 4(C)). Έτσι, η ηλεκτροϊνοποίηση είναι σε θέση να φτιάξει ωραία πρότυπα σχέδια (πλαίσια), εναποθέτοντας τις ίνες, σε σταθερή περιοχή. Η απόσταση ανάμεσα στο άκρο της μήτρας (ακίδα) και του συλλέκτη (πριονωτός δίσκος) σε αυτή τη ρύθμιση, ήταν μικρότερη από 3 χιλιοστά. Για να επιτραπεί η στερεοποίηση των ινών

και η έκταση της εκροής σε διάμετρο επιπέδου νανόμετρου, η πηγή (μήτρα) του διαλύματος, πρέπει να είναι αρκετά μικρή. Μια κάλυψη της άκρης, χρησιμοποιήθηκε, με βολφραίμιο διαμέτρου 25 μικρών και το διάλυμα του πολυμερούς μεταφέρθηκε με εμβάπτιση και έλξη αυτού. Η απόσταση (1 mm) από τη μήτρα εκροής στο άκρο του συλλέκτη και τάση 1 kV ήταν επαρκής για την εκκίνηση της διαδικασίας της ηλεκτροϊονοποίησης. Χρησιμοποιώντας ένα κινητό συλλέκτη, με μια ταχύτητα 20 εκατοστά/λεπτό, δομήθηκαν ευθυγραμμισμένες νανοϊνες, με ανάλυση 25 μικρών (Sun 2006). Η μέθοδος αυτή δεν έχει μειονεκτήματα. Μπορούν να κατασκευαστούν νανοϊνες με τον εξής τρόπο :

- Χρησιμοποιεί μικρή ποσότητα πολυμερούς κάθε φορά.
- Επαναπαράγει ίδιες στο μήκος νανοϊνες.
- Υψηλός ρυθμός παραγωγής .

Η μέθοδος αυτή, έχει πολλές εφαρμογές, σε αισθητήρες ή σε μονοδιάστατα τρανζίστορ πολυμερούς, όπου οι ίνες μπορούν να αποτίθενται πάνω στα συγκεκριμένα ηλεκτρόδια (Liu 2004-2005, Gonzalez και Pinto 2005).



**Εικόνα 7**

Σχηματικό διάγραμμα μεθόδου ηλεκτροϊονοποίησης με αιχμές (a) μαγνητικό υγρό (b) διάλυμα πολυμερούς (c) ηλεκτρόδιο σε απόσταση  $H$  από την επιφάνεια του πολυμερούς, (d) ηλεκτρόδιο βυθισμένο μέσα σε

μαγνητικό ρευστό, (e) πηγή υψηλής τάσης και (f) δυνατός, μόνιμος μαγνήτης ή ηλεκτρομαγνήτης.

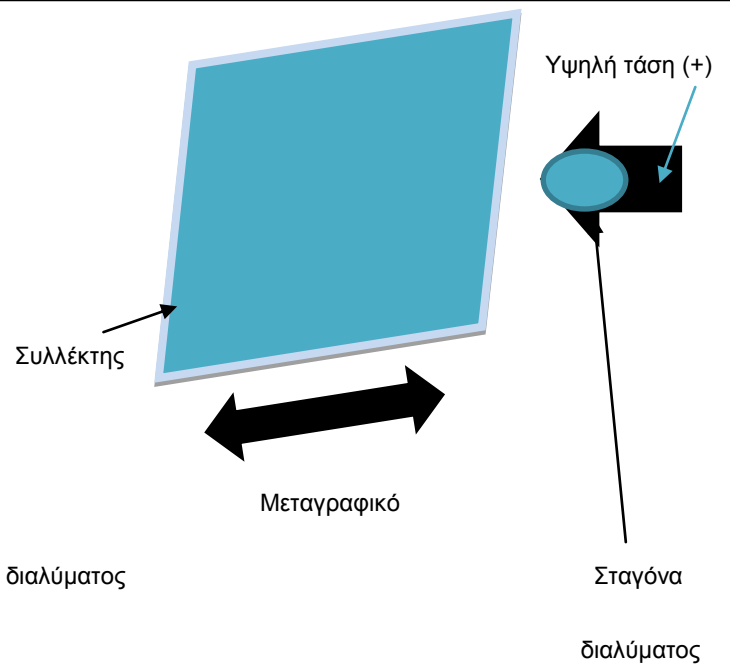
(πηγή:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386104002034>)

### Πλεονεκτήματα

- Δεν βουλώνει η πηγή με το διάλυμα
- Το διάλυμα μπορεί να κλωθεί σε κοντινή απόσταση με τον συλλέκτη
- Εάν ο συλλέκτης κινείται με μεγάλη ταχύτητα, είναι πιθανή η κατάθεση σχεδίων από ίνες.

### Μειονεκτήματα

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια στιγμή μικρή ποσότητα διαλύματος



**Σχήμα 4 (C). Πηγή ηλεκτροϊονοποίησης με ακίδα**

## 5.2 ΜΗΤΡΑ ΔΙΠΛΟΥ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ

Με την τροποποίηση του σχεδιασμού της μήτρας, μπορούν να εισαχθούν διαφορετικές ιδιότητες στις νανοϊνες. Η ομοαξονική σχεδίαση μήτρας, έχει χρησιμοποιηθεί στην ηλεκτροϊνοποίηση από διάφορους ερευνητές για διάφορους σκοπούς. Πολλά διαφορετικά διαλύματα μπορούν να ηλεκτροϊνοποιηθούν, υπάρχουν όμως και μερικά διαλύματα πολυμερών που δεν μπορούν, εξαιτίας της υψηλής επιφανειακής τάσης τους ή της χαμηλής αγωγιμότητας του διαλύτη (Jarusuwannaroom 2005, Suparhol 2005). Στην περίπτωση αυτή, το διάλυμα του πολυμερούς μπορεί να εξωθηθεί, μέσω του εσωτερικού τριχοειδούς, ενώ το νηματοποιήσιμο διάλυμα εξωθείται μέσα από το εξωτερικό τριχοειδές, κατά τη διάρκεια της ηλεκτροϊνοποίησης. Κατά τη διάρκειά της, το διάλυμα του εξωτερικού τριχοειδούς, θα φέρει το εσωτερικό διάλυμα στον πυρήνα του. Έτσι, όταν το εξωτερικό πολυμερές αφαιρείται, η επιθυμητή εσωτερική νανοϊνα παραμένει σταθερή (Wang 2006).

Χρησιμοποιώντας μια παρόμοια ιδέα, το εσωτερικό διάλυμα μπορεί να αφαιρεθεί, αντί του εξωτερικού πολυμερούς, μετά την ηλεκτροϊνοποίηση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή κοίλων νανοϊνών. Αυτό υιοθετήθηκε από τον Wang για την κατασκευή κοίλων νανοαγωγών πυριτίου (Wang 2006), ενώ οι Li και ο Xia κατασκεύασαν κοίλες νανοϊνες τιτανίου. Για να προσδοθούν διαφορετικές ιδιότητες στις προκύπτοντες νανοϊνες, μια νανοϊνα αποτελείται από διαφορετικούς τύπους πολυμερών.

Για μια νανοϊνα τύπου “πυρήνα- κέλυφος”(core-shell), η ηλεκτροϊνοποίηση διεξάγεται, χρησιμοποιώντας την ίδια σχεδίαση καλουπιού συνθετικών ινών, όπως περιγράφεται παραπάνω. Αυτή έχει τη δυνατότητα χρήσης σε εφαρμογές, όπως σε συστήματα παροχής φαρμάκου, όπου το φάρμακο εισάγεται στο διάλυμα και με τη σειρά του εισάγεται μέσα στον πυρήνα νανοϊνας (Sun 2003, Zhang 2004), όπως αυτό φαίνεται στο **σχήμα 4(D)**. Η χρήση της μεθόδου ηλεκτροϊνοποίησης χωρίς βελόνα γίνεται για να εξαλειφθεί η χρήση της βελόνας κατά τη διάρκεια της ηλεκτροϊνοποίησης. Επίσης, υπάρχει μια άλλη μέθοδος, περισσότερο αναπτυγμένη. Ο Larsen χρησιμοποίησε ένα ομοαξονικό χιτώνιο αερίου, για να μειώσει την απόφραξη του άκρου της μήτρας, καθώς το πτητικό διάλυμα, ηλεκτροϊνοποιείται. Κάνοντας χρήση του ομοαξονικού σωλήνα σχεδιασμού, το διάλυμα εγχέεται στο εσωτερικό τριχοειδές, ενώ ο εξωτερικός τριχοειδές σωλήνας χρησιμοποιείται για να φυσήσει στον μανδύα κορεσμένο αέριο με το αντίστοιχο διαλύτη του διαλύματος και να πραγματοποιηθεί η νηματοποίηση. Αυτό το στήσιμο της διάταξης, έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα του ελέγχου της μορφολογίας σε πιο ευθυγραμμισμένες ίνες, χωρίς την ανάγκη μεταβολής της εφαρμοζόμενης τάσης (Larsen 2004).

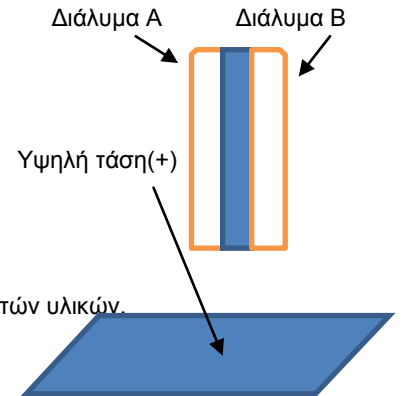


### Πλεονεκτήματα

- Ίνες κατασκευασμένες από δύο διαφορετικά υλικά μπορούν να ηλεκτροϊοντοποιηθούν
- Οι κοίλες ίνες μπορούν να κατασκευαστούν, αφαιρώντας το κεντρικό υλικό
- Υλικά που δεν μπορούν να ηλεκτροϊοντοποιηθούν, μπορούν να είναι μέρη μιας νανοϊνας, χρησιμοποιώντας ένα εξωτερικό υλικό που έχει τη δυνατότητα να ηλεκτροϊοντοποιηθεί

### Μειονεκτήματα

- Τα ηλεκτροϊοντοποιημένα υλικά, πρέπει να επιλεγθούν με προσοχή για την επεξεργασία μεικτών υλικών.



**Σχήμα 4 (D). Ομοαξονική μήτρα**

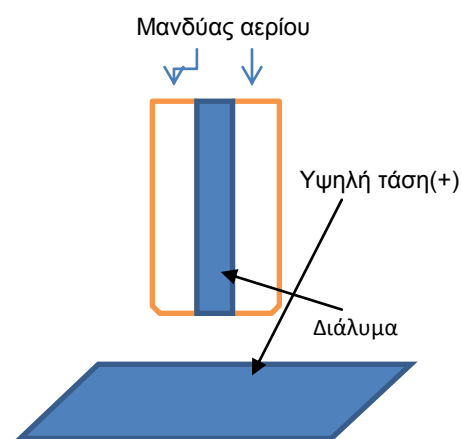
Σε μια άλλη ομάδα, με επικεφαλής τους Benjamin και Hsiao, χρησιμοποίησαν την μέθοδο εμφύσησης αέρα, για την κατασκευή νανοϊνών, υαλουρονικού οξέος. Με την αύξηση του ποσοστού εμφύσησης αέρα, η διάμετρος των νανοϊνών μπορεί να μειωθεί μέχρι μια βέλτιστη τιμή, όπου η περαιτέρω αύξηση του ρυθμού εμφύσησης, θα αυξήσει τη διάμετρο της ίνας αντ' αυτού. Με την αύξηση της τιμής της εμφύσησης, ο αυξανόμενος ρυθμός εξάτμισης του διαλύτη και η επακόλουθη αύξηση της συγκέντρωσης (η συγκέντρωση κυμαίνεται μεταξύ 2,5 έως 2,7% κατά βάρος), σημαίνει ότι η εκροή του πολυμερούς μπορεί να μειωθεί περισσότερο. Εάν η συγκέντρωση αυξηθεί, πολύ γρήγορα δεν είναι δυνατή η μείωση της εκροής της μήτρας του πολυμερούς, με αποτέλεσμα την αύξηση της διαμέτρου της ίνας. Με τη βοήθεια της εμφύσησης αέρα, για να γίνει πιο λεπτόρευστο το διάλυμα HA (υαλουρονικού οξέος), μια χαμηλότερη τάση είναι υποχρεωμένη να κινήσει τη διαδικασία νηματοποίησης ( Wang 2004, Umet 2004). Με άλλα λόγια, ο βαθμός τροφοδότησης διαλύματος HA μπορεί να αυξηθεί σε 40  $\mu\text{L}/\text{min}$ , ενώ η μήτρα και το εφαρμοσμένο πεδίο μπορεί να μειωθεί σε 2,5kV/cm. Οι ερευνητές περιγράφουν τέσσερα πλεονεκτήματα σε αυτή τη μέθοδο:

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ο μανδύας αερίου βοηθά στον σχηματισμό ομαλών ινών

### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η ταχύτητα του εισαγόμενου αερίου πρέπει να ελέγχεται επιμελώς



### **Σχήμα 4 (Ε). Ηλεκτροϊνοποίηση με μανδύα αερίου**

1. Ο συνδυασμός δύναμης εμφύσησης και εφαρμοσμένου ηλεκτρικού πεδίου, έχει την δυνατότητα να ξεπερνά το υψηλό ιξώδες, όπως και την υψηλή επιφανειακή τάση στο διάλυμα πολυμερούς.
2. Η χρήση υπερυψωμένης θερμοκρασίας του αέρα, μπορεί να μειώσει το ιξώδες του διαλύματος HA στη μήτρα, διευκολύνοντας τον σχηματισμό εκροής HA διαλύματος στη μήτρα.
3. Ο αέρας μπορεί να επιταχύνει την διαδικασία εξάτμισης του διαλύτη, ενώ ο σχηματισμός μιας ίνας πριν τη συνεχή εκροή του διαλύματος, μπορεί να εμπλουτιστεί στον επιφανειακό συλλέκτη, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
4. Η διάμετρος μιας ίνας, όπου είναι ένας από τους παράγοντες ελέγχου φυσικών υλικών από μεμβράνες νανοϊνών, μπορεί να έχει μεγάλη αντοχή, ελέγχοντας την θερμοκρασία του αέρα και τον βαθμό παροχής αέρα.

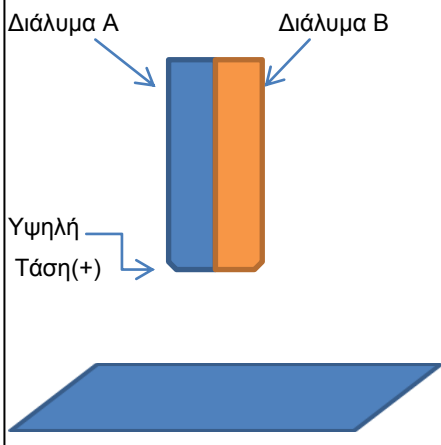
Χρησιμοποιώντας μια παρόμοια ιδέα, με το σχεδιασμό ομοαξονικής μήτρας, η μηχανή ηλεκτροϊνοποίησης μπορεί να κατασκευάσει νήματα με δυο τριχοειδείς μήτρες δίπλα-δίπλα (**Σχήμα 4(F)**). Ίνες δυο συστατικών, μπορούν να παραχθούν με τη χρήση αυτής της διάταξης ηλεκτροϊνοποίησης (Lin 2005, Screuder-Gibson 2004, Gupta και Wikes 2003). Μια πιθανή εφαρμογή, για ίνα δυο συστατικών είναι ότι ένα από τα διαλύματα είναι σε θέση να απορροφήσει τις χημικές ουσίες, ενώ το άλλο διάλυμα να είναι ηλεκτρικά αγώγιμο. Η απορρόφηση των χημικών από τη μια πλευρά, προκαλεί στην ίνα λύγισμα (κάμψη). Αυτή η κάμψη, μπορεί, στη συνέχεια, να χρησιμοποιηθεί για τη διακοπή ηλεκτρικού κυκλώματος (Lin 2005).

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

• Ίνες κατασκευασμένες από δύο διαφορετικά υλικά μπορούν να ηλεκτροϊννοποιηθούν

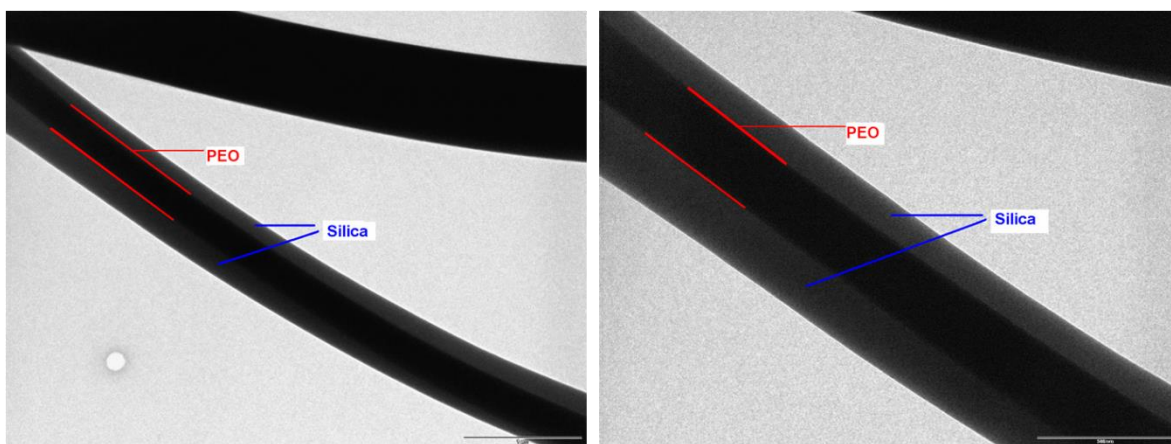
## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

• Τα υλικά για ηλεκτροϊννοποίηση, πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, για την επεξεργασία μεικτών υλικών



Σχήμα 4 (F). Μήτρα δύο συστατικών

**Αυτοοργανωνόμενες νανοϊνες πυρήνα-κελύφους** παρασκευάστηκαν πρόσφατα από τον κο Τόσκα (Toskas et al. 2011, 2013). Για την παρασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιότητες διαφορετικών διαλυτών, π.χ. τάση ατμών, για την αντίστοιχη διάλυση συγκεκριμένων βιοπολυμερών (**εικόνα 7β**).



**Εικόνα 7β.** Νανοϊνες διοξειδίου του πυριτίου/πολυαιθυλενοξειδίου. (Toskas et al. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2011, 3 (9), 3673–3681).

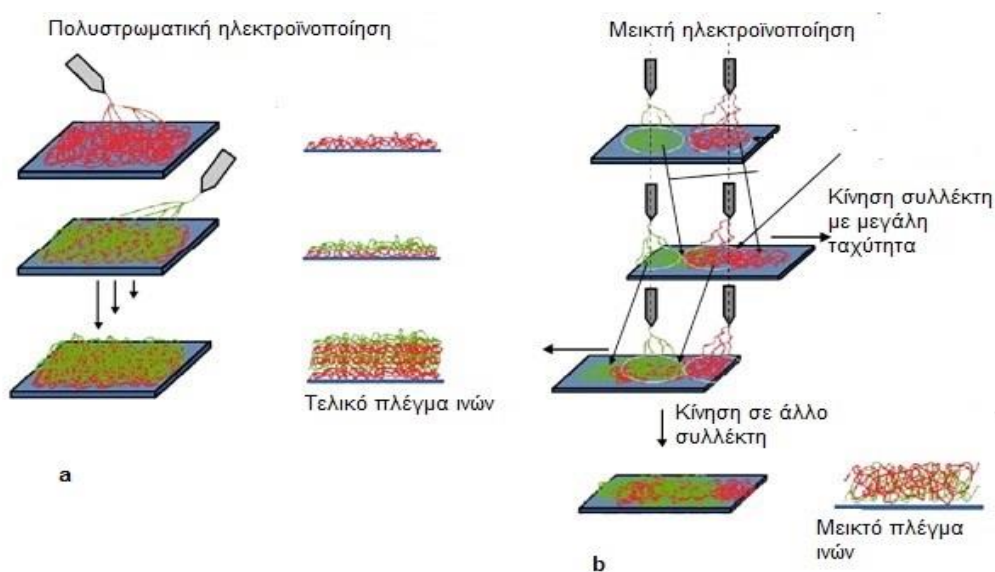
## 5.3 ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΙΚΤΗ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗ

Πρόσφατα, ο Kidoaki ανακάλυψε δύο τεχνικές ηλεκτροϊνοποίησης ( για να κατασκευάσει σύνθετα ικρώματα, περιλαμβάνοντας διαφορετικά είδη πολυμερών), που είναι :

1. Η πολυστρωματική και
2. Η μεικτή

Στην **εικόνα 8**, φαίνονται οι δύο αυτές μέθοδοι αναλυτικά. Στην πολυστρωματική ηλεκτροϊνοποίηση, κάθε πολυμερές ηλεκτροϊνοποιείται για τον σχηματισμό της τελικής ίνας και συλλέγονται διαδοχικά στο ίδιο σημείο του συλλέκτη. Όπως παρουσιάζεται στην **εικόνα 8 (a)**, μέσω αυτής της διαδικασίας, παράγεται ένα πολυστρωματικό μη υφάνσιμο πλέγμα νανοϊνών, όπου μια ιεραρχικά διατεταγμένη δομή τακτοποιεί διαφορετικά πλέγματα πολυμερών, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετέπειτα για κάποιο σκοπό.

Στην μεικτή ηλεκτροϊνοποίηση, δύο διαφορετικά διαλύματα από πολυμερή, ηλεκτροϊνοποιούνται ταυτόχρονα από διαφορετικές σύριγγες, σε διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας. Οι κλωστοποιημένες ίνες πολυμερούς, έχουν αναμιχθεί στο ίδιο σημείο του συλλέκτη, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό μεικτών πλεγμάτων ίνας(**εικόνα 8(b)**)



**Εικόνα 8.** Πολυστρωματική και μεικτή ηλεκτροϊνοποίηση (πηγή [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X07001858](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X07001858))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα τελευταία χρόνια, υπήρξε πρόοδος στην έρευνα και ειδικότερα στις τροποποιήσεις και ανάπτυξη διαφόρων διατάξεων, στη διαδικασία της ηλεκτροϊνοποίησης. Παρόλα αυτά, εξακολουθούν να υπάρχουν αρκετοί τομείς στους οποίους, η περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας θα είναι ευπρόσδεκτη. Καταρχάς, εάν και υπάρχουν αρκετές ρυθμιστικές διατάξεις, που αποσκοπούν στην επίτευξη ευθυγραμμισμένων ινών, εξακολουθεί να μην υπάρχει ένα σύντομο αποτέλεσμα, ώστε να σχηματίζονται εξαιρετικά ευθυγραμμισμένες νανοϊνες, σε μια μεγάλη περιοχή, ικανού πάχους (στρώσης). Σε γενικές γραμμές, ένας συλλέκτης τύπου "τυμπάνου", δεν είναι σε θέση να πετύχει σε μεγάλο βαθμό ευθυγραμμισμένες ίνες, ακόμη κι αν είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει ο μηχανικός το ινώδες πλέγμα, σε μεγαλύτερο πεδίο. Έχειδειχθεί ότι, οι ευθυγραμμισμένες νανοϊνες, επιφέρουν επιμήκυνση στην κατεύθυνση της ευθυγράμμισής τους. Η ικανότητα για την κατασκευή εξαιρετικά ευθυγραμμισμένων ινών, σε μεγάλη έκταση, θα επιτρέψει περισσότερη έρευνα για την κυτταρική χρήση, σε σχέση με τη γονιδιακή παρατήρηση και την αλληλεπίδραση των κυττάρων. Τυπικά, τα ηλεκτροϊνοποιημένα πλέγματα, βρίσκονται σε μορφές δυο διαστάσεων και στην περίπτωση της ίνας σε μια μονοδιάστατη μορφή.

Το μόνο ηλεκτροϊνοποιημένο πλέγμα με τρισδιάστατη δομή νανοϊνών είναι οι ίνες με διάλυμα πολυσουλφόνης με σημαντικό πλάτος, μήκος και ύψος. Άλλες εφαρμογές, με δυνατότητα κατασκευής τρισδιάστατων δομών, όπως αντικατάσταση οστών με ικρίωμα, είναι περισσότερο ώριμες για την παρασκευή τους. Ο Smit και ο Khil κατέδειξαν την κατασκευή συνεχών ινών, φτιαγμένο καθαρά από νανοϊνες. Ωστόσο, η ταχύτητα περιστροφής των 30 m/min, εξακολουθεί να είναι πολύ βραδύτερη στη διαδικασία βιομηχανικής κλώσης ινών, η οποία τρέχει 200-1500 m/min, για τη ξηρά νηματοποίηση (Gupta και Kothari 1997).

Τα νήματα, από ηλεκτροϊνοποίηση ινών, έχουν πολλές εφαρμογές ιδιαίτερα όταν κατασκευάζονται για Κ/Υ προϊόντα. Ωστόσο, τα ηλεκτροϊνοποιημένα νήματα, για να εφαρμοστούν στην βιομηχανία υφασμάτων, θα πρέπει να βελτιωθεί σημαντικά, η ταχύτητα νηματοποίησής τους. Ο Sun (2006) έκανε μια σημαντική ανακάλυψη, για τη διαδικασία ηλεκτροϊνοποίησης, δημιουργώντας ελεγχόμενη σχηματοποίηση, χρησιμοποιώντας ηλεκτροϊνοποιημένες νανοϊνες, αλλά ο μικρός όγκος του διαλύματος που μπορεί να ινοποιηθεί κάθε φορά, μείωσε σημαντικά την πρακτικότητα της διαδικασίας. Ένα πλεονέκτημα της ηλεκτροϊνοποίησης είναι η ικανότητά της να κλωθεί (περιστραφεί) σε μεγάλες συνεχείς ίνες, με μεγάλη ταχύτητα. Ωστόσο, δεν είναι ακόμα δυνατό να σχηματιστούν γρήγορα μεγάλης διάταξης δομές. Με βάση την οργάνωση ευθύγραμμων νανοϊνών, δημιουργούνται μέχρι σήμερα πλέγματα ινών, με περιορισμένο έλεγχο της απόστασης μεταξύ κάθε ίνας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΪΝΟΠΟΙΗΣΗΣ



Στόχος μας, με την παρούσα εργασία, η κατασκευή πολυθεματικής, κινητής μήτρας εκροής και συλλέκτη (περιστρεφόμενου τυμπάνου), για παραγωγή πρότυπων ευθύγραμμων ομοιόμορφων νανοινών.

Κύριοι σχεδιαστικοί άξονες του έργου μας:

- Ευχρηστία και προσαρμοστικότητα στις πειραματικές ανάγκες του αναλυτή.
- Υψηλά επίπεδα ασφαλείας και προστασίας στον χρήστη.
- Χρήση τεχνολογίας χαμηλού κόστους (αναλογική).
- Προσβασιμότητα και έλεγχος της συσκευής από όλες τις διευθύνσεις.
- Μέγιστος έλεγχος του ηλεκτρικού πεδίου ( χρήση αλουμινένιων δακτυλίων).
- Παραπάνω από μία θέση στον φορέα, για ανεξάρτητες σύριγγες.
- Επιτρέπει τη χρήση ομοαξονικής βελόνας.
- Πάνω από 20 KV,γεννήτρια υψηλής τάσης.

Η συσκευή ξεκίνησε να υλοποιείται αναλυτικά μετά από εμβριθή σχεδιασμό, όχι μόνο για την ιδανικότερη τεχνικά λύση, αλλά και για αυτήν που θα είχε μειωμένο κόστος, σύμφωνα με την σημερινή χαλαιπή εποχή που ζει το μεγαλύτερο ποσοστό της ελληνικής κοινωνίας.

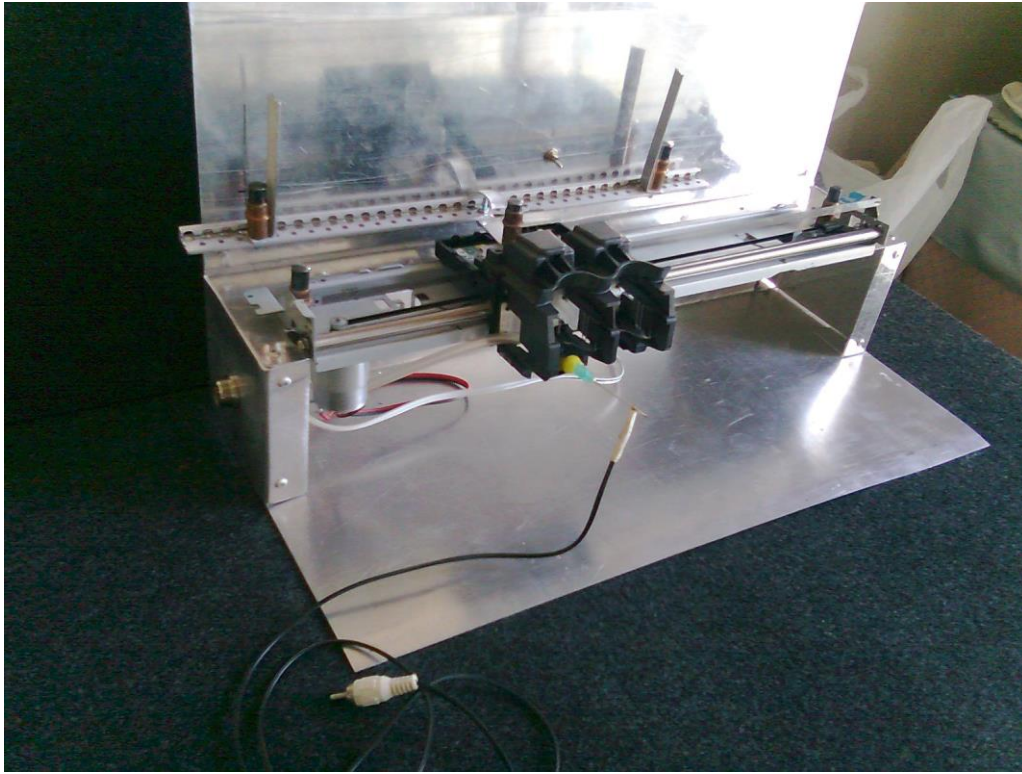
Η συσκευή είναι διαιρούμενη, για λόγους ευχρηστίας και μεταφοράς και οι βάσεις όπου εδράζεται ο μικροηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός είναι από σκληρυμένο αλουμίνιο T3 2024. Αυτή συνδυάζει μειωμένο βάρος, υψηλή αντοχή, αγωγιμότητα για τα σημεία που χρειαζόμαστε γειώσεις ή απομάκρυνση



φορτίων από τις εναποτιθέμενες ίνες (συλλέκτης) ή δημιουργία ηλεκτροδίου σε δίπολο (ηλεκτρικό πεδίο), για την χειραγώγηση των εκροών της μήτρας.

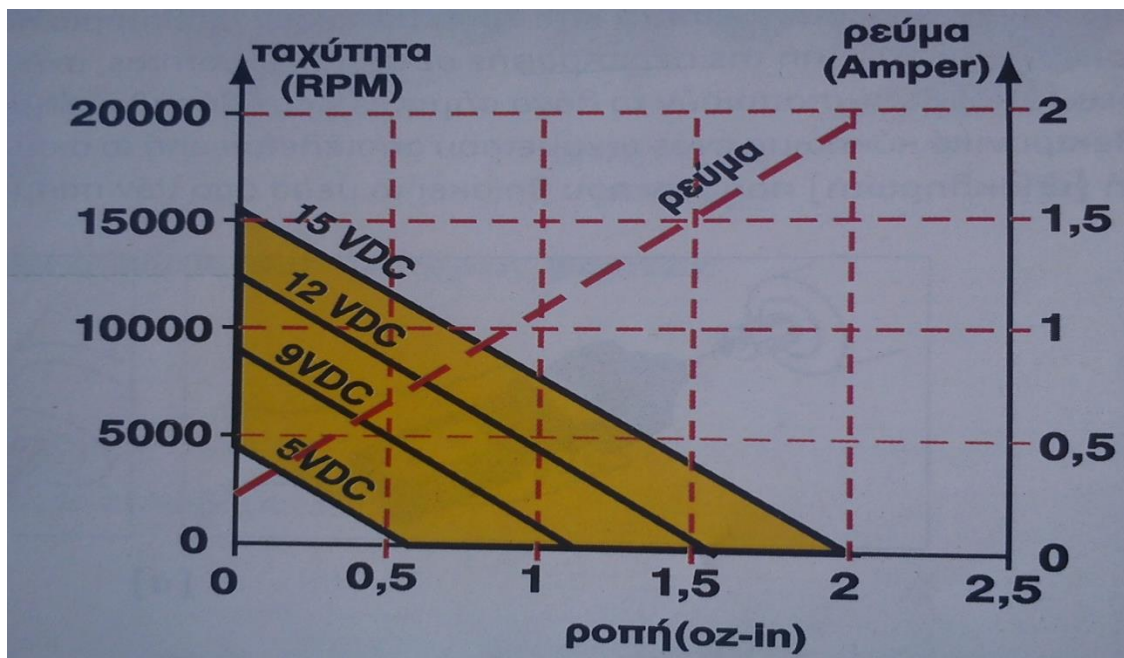
Τά μέρη που αποτελείται είναι:

- 1) Η πλάκα πού φέρει τον αμφίδρομο κινούμενο φορέα με την μήτρα εκροής (σύριγγα).



**Εικόνα 9.** Η πλάκα και ο φορέας της μήτρας εκροής

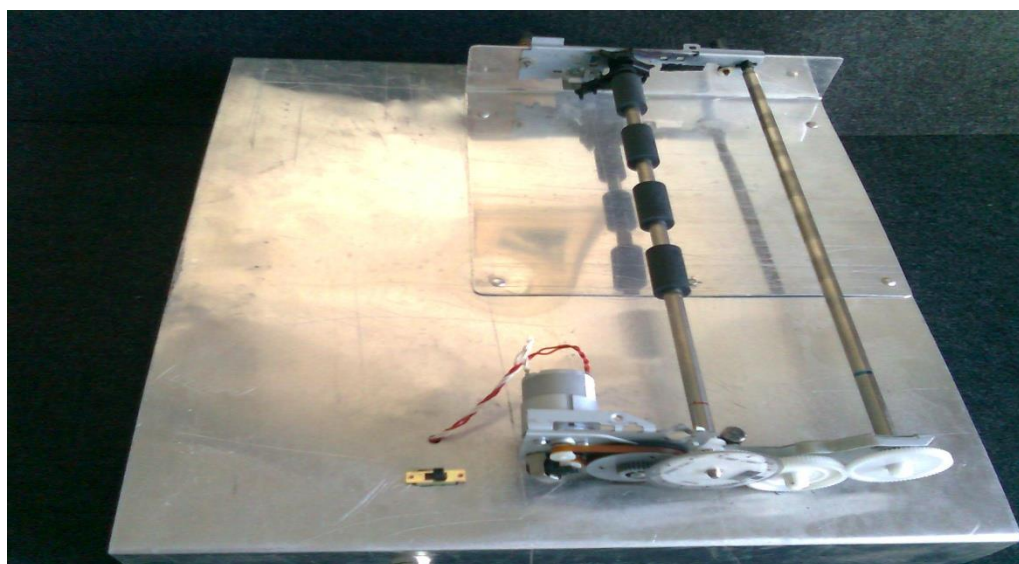
Ο φορέας παρακολουθεί το οριζόντιο επίπεδο του συλλέκτη και μπορεί να κινείται κατά μήκος αυτής (με διάφορες ταχύτητες, ανάλογα των πειραματικών αναγκών). Η ωφέλιμη διαδρομή της πλάκας είναι 14 εκατοστά, όσο και το πλάτος του τυμπάνου, του συλλέκτη. Μόλις ο φορέας τερματίσει τη διαδρομή του, προς τη μία πλευρά, μανδαλώνεται ένας διακόπτης (elevator switch) που αλλάζει την πολικότητα, στον 12 volt dc κινητήρα και ο φορέας κινείται προς την άλλη πλευρά (έλεγχος θέσης). Η ταχύτητα του φορέα, ρυθμίζεται από ένα ποτενσιόμετρο, πού οδηγεί ένα κύκλωμα ελέγχου των στροφών του ηλεκτροκινητήρα (12 Volt D.C.). Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο θέσης, ταχύτητας και ισχύος σε συστήματα (χαμηλής και μέσης ισχύος). Η χρήση τους είναι ευρεία σε συσκευές αυτοματισμού γραφείου, καθώς και σε αναλυτικές εργαστηριακές διατάξεις.



**Σχήμα 5.**Τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες ροπής-ταχύτητας-ρεύματος **dc** κινητήρα σταθερού μαγνήτη

Ο φορέας μπορεί να φιλοξενήσει διαφόρων τύπων μήτρες (σύριγγες), όπως μονού τριχοειδούς, διπλού ομόκεντρου τριχοειδούς τοιχώματος και γενικά τα περισσότερα είδη που αναλύουμε στην παρούσα εργασία. Η ωφέλιμη διαδρομή της κίνησης του φορέα, μπορεί να αυξομειωθεί για να εξυπηρετηθεί η χρήση του ίδιου του φορέα με συλλέκτη διαφορετικού πλάτους.

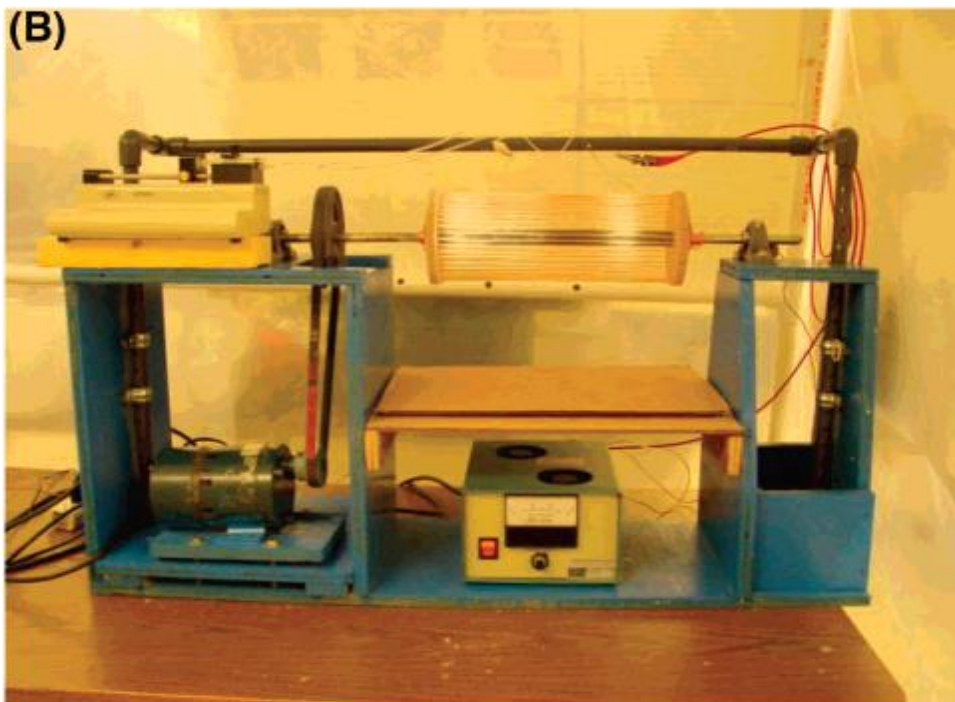
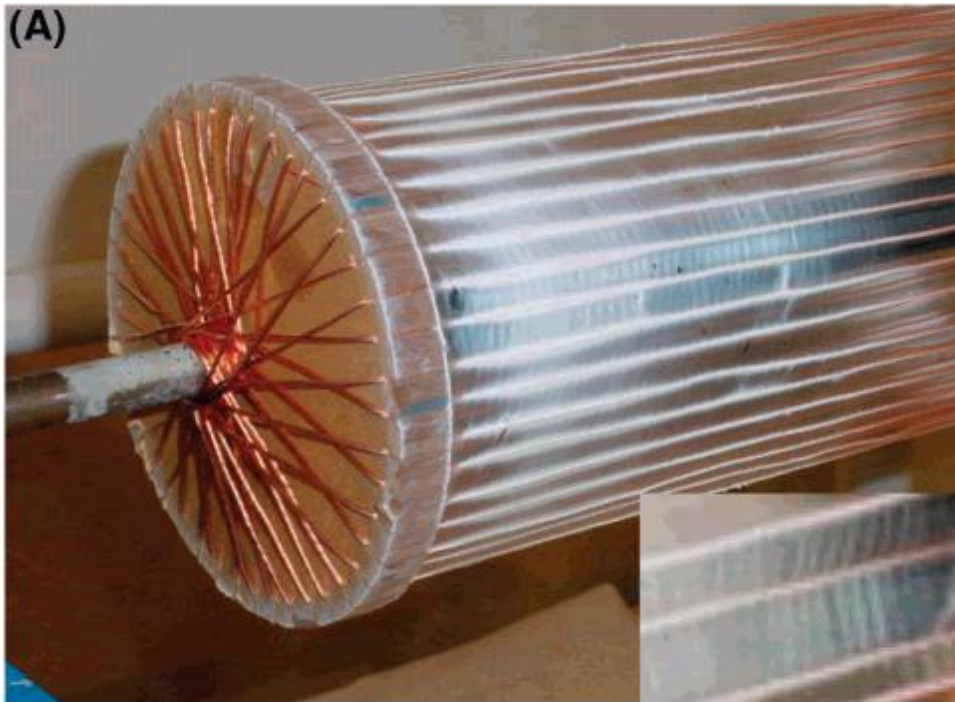
**2) Ο αγώγιμος συλλέκτης (collector).**



Ο συλλέκτης αποτελείται από ένα μεταλλικό τύμπανο, διαμέτρου 7 χιλιοστών, το οποίο περιστρέφεται μέσω ενός μειωτήρα γραναζιών ,που κινούνται από ένα ηλεκτροκινητήρα 12 Volt D.C. Οι στροφές του συλλέκτη είναι ρυθμιζόμενες, με ένα κύκλωμα ελέγχου ίδιο με αυτό που ρυθμίζει τη ταχύτητα κίνησης στον φορέα της σύριγγας. Επάνω στην πλάκα του συλλέκτη, υπάρχει διακόπτης που εναλλάσσει την φορά περιστροφής του τυμπάνου συλλογής των νανοινών. Το τύμπανο γειώνεται στον



μεταλλικό φορέα του, για να εργάζεται ο αρνητικός (-) πόλος του ηλεκτρικού πεδίου και να εκφορτίζονται οι εναποτιθέμενες ίνες από εναπομείνοντα φορτία.

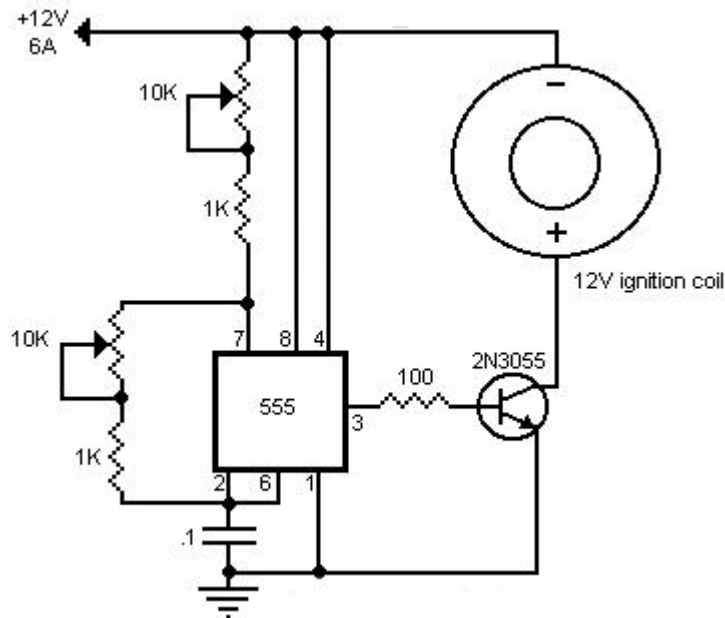


Στην **εικόνα 10 (A)** παρουσιάζεται **τύπος συλλέκτη περιστρεφόμενου τυμπάνου** ( δίσκος από Plexiglas διαμέτρου 12,7 εκατοστών με καλώδια χαλκού )

Στην **εικόνα 10 (B)** παρουσιάζεται ολόκληρη η συσκευή **ηλεκτροϊνοποίησης** του Αμερικανικού Πανεπιστημίου AKRON-OHIO

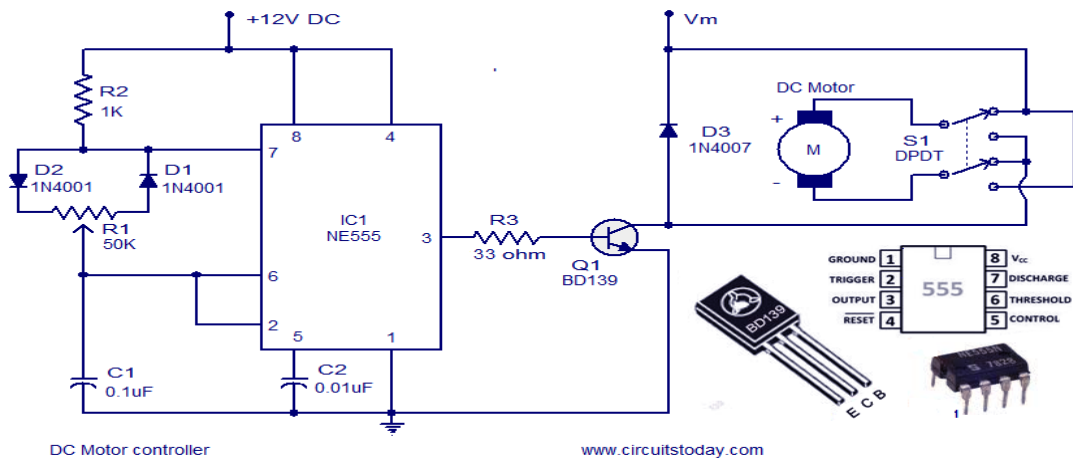
### 3) Το τροφοδοτικό υψηλής τάσης (5-30KV).

Θέλοντας να μειωθεί το κόστος κατασκευής της αναλυτικής συσκευής, δεν αγοράσαμε ένα έτοιμο τροφοδοτικό, αλλά κατασκευάστηκε ένας οδηγός κυκλώματος (KETHERING). Το κύκλωμα αυτό χρησιμοποιείται για την παροχή ανάφλεξης (σπινθήρα) στους βενζινοκινητήρες. Η πιο οικονομική λύση είναι να τροφοδοτηθούν μια 12V μπαταρία αυτοκινήτου, ένας πολλαπλασιαστής, που είναι σε σειρά με έναν πυκνωτή 25  $\mu\text{F}$  και από το δευτερεύον πηνίο του πολλαπλασιαστή, το ρύγχος της σύριγγας. Εναλλακτικά, τροφοδοτούμε το παρακάτω κύκλωμα, με χρήση μετασχηματιστή που έχει τάση εξόδου 12 Volt και 6 Ampere.



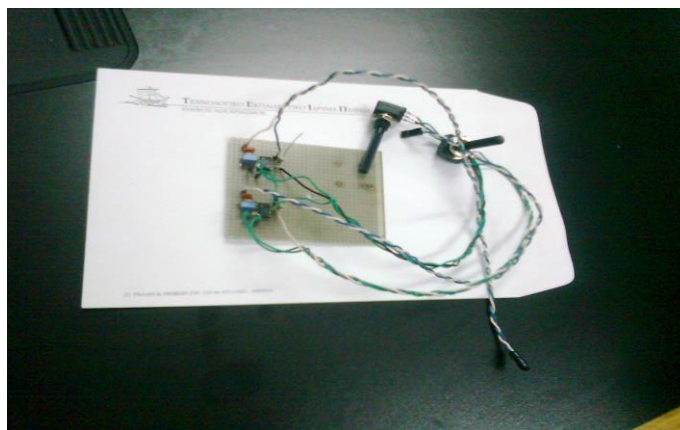
Σχήμα 6. Κύκλωμα υψηλής τάσης

4) Το κύκλωμα ελέγχου ταχύτητας (Φορέα σύριγγας και τυμπάνου Συλλέκτη).

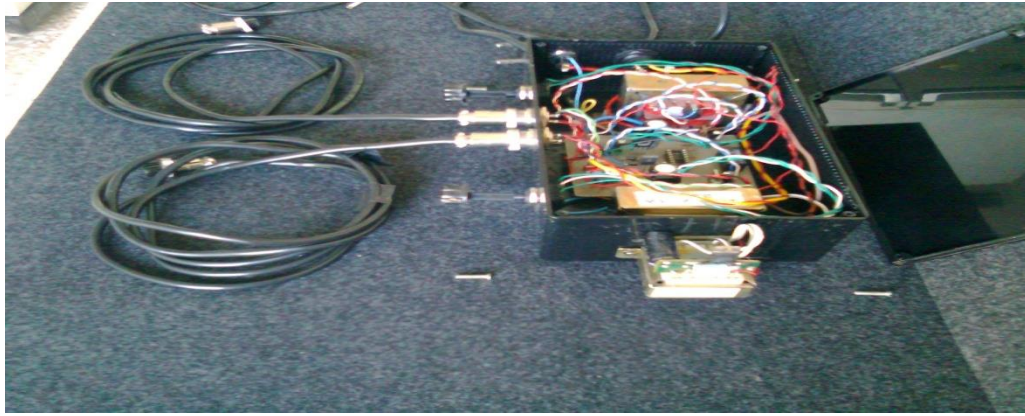


Σχήμα 7. Κύκλωμα ελέγχου dc κινητήρα

Το παραπάνω κύκλωμα ελέγχου ταχύτητας, επαναλαμβάνεται δύο φορές. Μία φορά, για τον φορέα της σύριγγας και μία, για το τύμπανο του συλλέκτη. Περιέχει ένα τρανζίστορ BD 139 για σταθεροποίηση της τάσης, ένα ολοκληρωμένο IC1-NE555 που έχει χρήση ως παλμογεννήτρια και διόδους-πυκνωτές-αντιστάσεις, αντιστοίχων μεγεθών, που κλείνουν το ισοδύναμο κύκλωμα της προγενέστερης εικόνας.



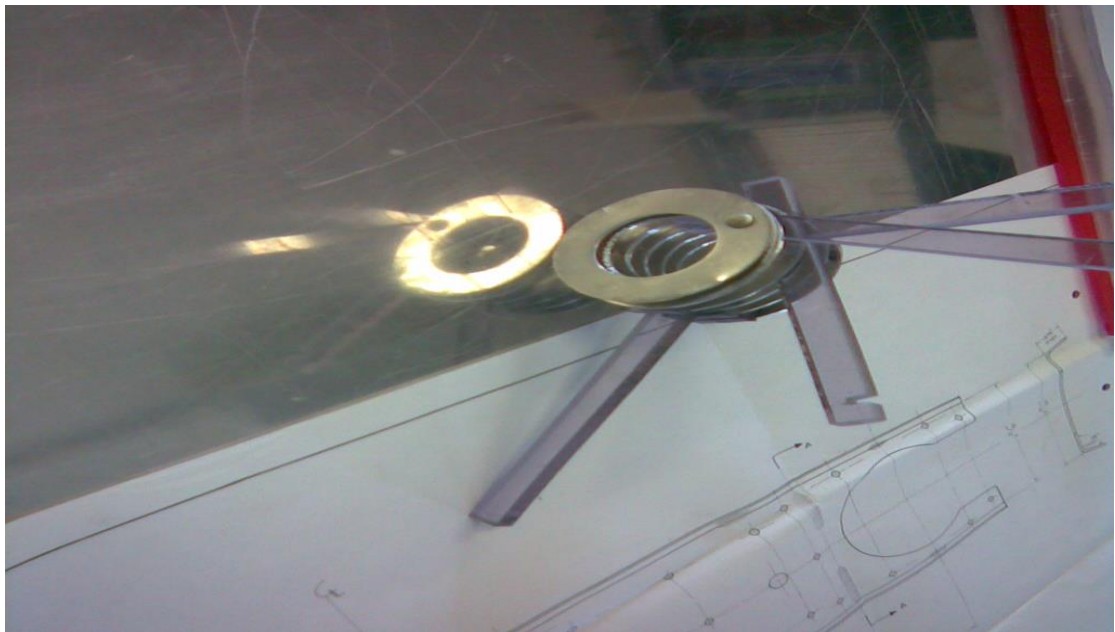
Εικόνα 11. Η πλακέτα (motherboard), που ξεκίνησε την κατασκευή του αναλογικού κυκλώματος ελέγχου της συσκευής.



**Εικόνα 12.** Το αριστερά ποτενσιόμετρο ελέγχει το κύκλωμα ταχύτητας του φορέα της σύριγγας, ενώ το δεξί ποτενσιόμετρο ελέγχει το κύκλωμα ταχύτητας του τυμπάνου του συλλέκτη.

Ο έλεγχος της θέσης του φορέα της σύριγγας, γίνεται με ένα κύκλωμα MASTER SLAVE J-K flip-flop και έναν ηλεκτρονόμο (LM 7805), που τροφοδοτείται από έναν μετασχηματιστή 5 Volt.

Η απόσταση, μεταξύ μήτρας-συλλέκτη είναι μεταβλητή και εύκολα ρυθμιζόμενη με αποστάτες και η χειραγώγηση του ηλεκτρικού πεδίου γίνεται με ηλεκτρόδια, όπως οι παρακάτω δακτύλιοι (ιδιοκατασκευή). Αυτοί βοηθούν στην προσπάθεια να ελέγξουμε την απόθεση των ηλεκτροϊοντοποιημένων ιών με τη χρήση ενός πολλαπλού πεδίου που προβλέπει, ένα επιπλέον πεδίο παρόμοιας πολικότητας, για την εκνεφώμενη δέσμη πολυμερούς.



**Εικόνα 13.** Χειραγωγό πηνίο, ηλεκτρικού πεδίου από αλουμινένιους δακτύλιους

Τοποθετώντας ένα πρόσθετο ηλεκτρόδιο δακτυλίου μπροστά στο τριχοειδές, μπορούμε να μειώσουμε την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου στο άκρο και να αποφευχθούν ηλεκτρικές εκκενώσεις. Έχει διευκρινιστεί ότι με τη χρήση της εγκατάστασης δύο ηλεκτροδίων, ένα πιο σταθερό πεδίο μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ του ηλεκτροδίου της μήτρας και του ηλεκτροδίου του συλλέκτη, αποφεύγοντας έτσι την επίδραση της αλλαγής σχήματος της δέσμης των εκροών, πάνω από το ηλεκτρικό πεδίο.

**ΠΕΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ:** Μεγάλο αναλυτικό ενδιαφέρον, θα έχει η μελέτη της ηλεκτροϊοντοποιημένης ίνας, σε ηλεκτρικό πεδίο (12V./1A.) με χειραγωγό πηνίο δακτυλίων αλουμινίου (ιδιοκατασκευή).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

**Στην ανά χείρας εργασία**, περιγράφονται διάφορες έννοιες και μέθοδοι, οι οποίες διευθετούν τα πλέγματα νανοϊνών. Η χρήση μιας περιστρεφόμενης συσκευής και βοηθητικών ηλεκτροδίων, που ελέγχει την ηλεκτροϊνοποιημένη εκροή (πίδακα) και την εναπόθεση των ινών, έχει μελετηθεί τα τελευταία 25 έτη. Η πρόοδος και η έρευνα σε πολλές ρυθμίσεις της μεθόδου της ηλεκτροϊνοποίησης, πέτυχε να δώσει διαφορετικά ινώδη πλέγματα, έχοντας σαν αποτέλεσμα πολλά καινοτόμα σχέδια και καλύτερη κατανόηση των σημερινών ορίων της διαδικασίας. Με την ανάπτυξη των ρυθμίσεων της ηλεκτροϊνοποίησης και την ικανότητα κατασκευής ποικίλων ινώδων πλεγμάτων, μπορούν να αναπτυχθούν περισσότερες ελκυστικές εφαρμογές για τις νανοϊνες και τη βελτίωση της τρέχουσας τεχνολογίας τους. Νέες τεχνικές, όπως η μέθοδος υγρής εναπόθεσης και η εναπόθεση, σε ένα περιστρεφόμενο συλλέκτη, μπορεί να είναι οι τρόποι επίτευξης, περισσότερο διατεταγμένων πλεγμάτων ινών, με ένα υψηλότερο ρυθμό παραγωγής και νέες μελλοντικές δυνατότητες.

Τελευταία, η ανάγκη για ίνες υλικών με αναπτυγμένες λειτουργίες και διαφορετικές δομές, μας οδήγησαν στην εξέλιξη πολλών νέων και τροποποιημένων μεθόδων ηλεκτροϊνοποίησης, συμπεριλαμβανομένων ειδικών συστημάτων ακροφυσίων (μητρών), συλλεκτών και αλληλεπιδρώντων ηλεκτροδίων. Αυτή η εξέλιξη, παρείχε την ικανότητα παραγωγής μονοαξονικών και διαξονικών προσανατολισμένων ινών. Επιπλέον ο ιστός των νανοϊνών μπορεί να σχεδιασθεί με τη βοήθεια συστημάτων CAD (Computer Aided Design). Άλλοι σημαντικοί παράγοντες, όπως η αλληλεπίδραση των εφαρμοζόμενων συνθηκών της διαδικασίας και οι ιξωδομετρικές ιδιότητες του υλικού διαμορφώνουν το μέγεθος και την επιλεξιμότητα των νανοϊνών.

Αποτέλεσμα της σχεδιομελέτης, των εννοιών και των ποικίλων μεθόδων της διαδικασίας της ηλεκτροϊνοποίησης που περιγράφηκαν ενδελεχώς, είναι η κατασκευή του πρότυπου κινητού φορέα μήτρας εκροής, του συλλέκτη με το περιστρεφόμενο τύμπανο καθώς και των βοηθητικών χειραγωγών ηλεκτροδίων. Κύρια πλεονεκτήματα και παρατηρήσεις μας, που απορρέουν από την παρούσα κατασκευή είναι:

- Το πολύ χαμηλό κόστος της, στο ένα πεντηκοστό της τιμής αντίστοιχων αναλυτικών συσκευών, που κυκλοφορούν στο εμπόριο.
- Αποκτήσαμε πολύτιμη τεχνογνωσία σε επιστήμες αιχμής, που θα μας επιτρέψει μελλοντικά να την βελτιώνουμε καινοτόμα.
- η συσκευή καλύπτει ευρύ φάσμα αναλυτικών αναγκών, λόγω της πολυθεματικότητας της και εύκολα τροποποιείται χάριν της δομής της.
- Τέλος, η ευχρηστία και η ασφάλεια για τον χρήστη, είναι σε άριστα επίπεδα.

Μεγάλα περιθώρια βελτίωσης της διάταξης θα είχαμε, εάν χρησιμοποιούσαμε για τα κυκλώματα ελέγχου, ψηφιακή τεχνολογία. Δηλαδή, ελεγκτές, μικροεπεξεργαστές, υπολογιστικά συστήματα. Η ακρίβεια και οι δυνατότητες της συσκευής θα εκτοξεύονταν, συμπαρασύροντας όμως και το κόστος κατασκευής της.

Για επόμενες μελέτες σε ένα δεύτερο στάδιο έρευνας, μεγάλο ενδιαφέρον θα παρουσίαζαν οι παρακάτω προτάσεις, που δεν αφορούν άμεσα, αλλά επηρεάζουν έμμεσα την παραγωγή ευθύγραμμων και μοιόμορφα κατανεμημένων ινών στο συλλέκτη ( ηλεκτροϊνοποιητική διαδικασία), όπως:

- Έρευνα όσον αφορά την παράλληλη λειτουργία του κινητού φορέα, με δύο ή περισσότερες μήτρες εκροής.
- Ανάπτυξη και βελτίωση των βοηθητικών χειραγωγών ηλεκτροδίων και έλεγχος της ακριβούς λειτουργίας αυτών στην παρασκευή και τη μορφολογία νανοϊνών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σημειώσεις Γ. Τόσκα, Νανοτεχνολογικές εφαρμογές βιοπολυμερών (Παρασκευή νανοϊνών με τη μέθοδο υγρής ηλεκτροϊνοποίησης), σελ. 2-5
2. Λυοφιλοποίηση φαρμακευτικών προϊόντων, Κωνσταντίνος Ν. Δεμετζός Ph.D., σελ.49
3. D. Liang, B.S. Hsiao and B. Chu(2007), *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59, 1392-1412
4. S.Park, K. Park, H. Yoon, J. Son, T.Min and G. Kim (2007), *Polym. Int.*,56, 1361-1366
5. Baumgarten 1971 Electrostatic spinning of acrylic microfibers *J. Colloid Interface Sci.* 36 71
6. Bhattarai N, Edmondson D, Veiseh O, Matsen F A and Zhang M 2005 Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility *Biomaterials* 26 6176
7. Buchko C J, Chen L C, Shen Y and Martin D C 1999 Processing and microstructural characterization of porous biocompatible protein polymer thin films *Polymer* 40 7397
8. Chakarvarti S K and Vetter J 1998 Template synthesis-membrane based technology for generation of nano-/micro materials: a review *Radiat. Meas.* 29 149
9. Chronakis I S 2005 Novel nanocomposites and nanoceramics based on polymer nanofibers using electrospinning process—a review *J. Mater. Process. Technol.* 167 283  
iodegradable fibers *Biomacromolecules* 6 2017
10. Cooley J F 1902 Apparatus for electrically dispersing fluids US Patent Specification 692631  
ispersing fluids US Patent Specification 692631
11. DaltonPD, Klee DandMollerM2005, Electrospinning with dual rings *Polym. Commun.* 46 611
12. DaltonPD, Klinkhammer K,SalberJ,Klee Dand Moller M 2006 Direct in vitro electrospinning with polymer melts *Biomacromolecules* 7 686
13. DeitzelJM,KleinmeyerJ,HarrisDandTanNCB2001a, The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibres and textiles *Polymer* 42 261
14. DeitzelJM,KleinmeyerJD,HirvonenJKandTanNCB2001b Controlled deposition of electrospun poly(ethyleneoxide) fibers *Polymer* 42 8163
15. Dosunmu O.O, Chase GG, Kataphinan Wand. Reneker DH2006 Electrospinning of polymer nanofibres from multiplejets on a porous tubular surface *Nanotechnology* 17 1123

16. Formhals A1934, Process and apparatus for preparing artificial threads US Patent Specification 1975504
17. Formhals A1938a ,Artificial fiber construction US Patent Specification 2109333
18. Formhals A1938b ,Method and apparatus for the productionof fibers US Patent Specification 2116942
19. Formhals A1938c ,Method and apparatus for theproduction of fibers US Patent Specification 2123992
20. Formhals A1939a ,Method and apparatus for the production of artificial fibers US Patent Specification 2158416
21. Formhals A 1939b Method and apparatus for spinning US Patent Specification 2160962
22. Gibson P and Schreuder-Gibson H2004, Patterned electrospay fiber structures INJ 13 34
23. Gonzalez Rand , Pinto NJ 2005,Electrospun poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) fiber field effect transistor Synth. Met. 151 275
24. HuangZM,ZhangYZ,Kotaki Mand,RamakrishnaS2003A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites Compos. Sci. Technol. 63 2223
25. Jarusuwannapoom T, Hongrojjanawiwat W, Jitjaicham S, WannatongL,NithitanakulM,PattamapromC, KoombhongseP,RangkupanRandSupapholP2005Effectof Solvent sonelectro-spinnability of polystyrene solutions and morphological appearance of resulting electrospun polystyrene fibers Eur. Polym. J. 41 409
26. Kameoka J, Orth R, Yang Y, Czaplewski D, Mathers R, Coates G W and Craighead H G 2003 A scanning tip electrospinning source for deposition of oriented nanofibres Nanotechnology 14 1124
27. Katta P, Alessandro M, Ramsier R D and Chase G G 2004 Continuous electrospinning of aligned polymer nanofibers onto a wire drum collectorNano Lett. 4 2215
28. KessickRandTepperG2006, Electrospun polymer composite fiber arrays for the detection and identification of volatile organic compounds Sensors Actuators B at press
29. Khil MS,Bhattarai SR,KimHY,Kim S,Zand Lee KH,2005, Novel fabricated matrix via electrospinning for tissue engineering J. Biomed. Mater. Res. B 72 117



30. Kidoaki S, Kwon K, Matsuda T 2005, Mesoscopic spatial designs of nano-and microfiber meshes for tissue-engineering matrix and scaffold based on newly devised multilayering and mix electrospinning techniques *Biomaterials* 26 37
31. Kim K W, Lee K H, Khil M S, Ho Y S and Kim H Y 2004, The effect of molecular weight and the linear velocity of drum surface on the properties of electrospun poly(ethylene terephthalate) nonwovens *Fiber Polym.* 5 122
32. Larsen G, Spretz R and Velarde-Ortiz R 2004 Use of coaxial gas jackets to stabilize Taylor cones of volatile solutions and to induce particle-to-fiber transitions *Adv. Mater.* 16 166
33. Larsen G, Velarde-Ortiz R, Minchow K, Barrero A and Loscertales I G 2003 A method for making inorganic and hybrid (organic/inorganic) fibers and vesicles with diameters in the submicrometer and micrometer range via sol-gel chemistry and electrically forced liquid jets *J. Am. Chem. Soc.* 125 1154
34. Li D, Wang Y and Xia Y 2004 Electrospinning nanofibers as uniaxially aligned arrays and layer-by-layer stacked films *Adv. Mater.* 16 361
35. Li W J, Laurencin C T, Caterson E J, Tuan R S and Ko F K 2002 Electrospun nanofibrous structure: a novel scaffold for tissue engineering *J. Biomed. Mater. Res.* 60 613
36. Lin T, Wang H and Wang X 2005 Self-crimping bicomponent nanofibers electrospun from polyacrylonitrile and elastomeric polyurethane *Adv. Mater.* 17 2699
37. Matthews J A, Wnek G E, Simpson D G and Bowlin G L 2002 Electrospinning of collagen nanofibers *Biomacromolecules* 3 232
38. Morton W J 1902 Method of dispersing fluids US Patent Specification 705691
39. Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W E, Lim T C and Ma Z 2005 *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers* (Singapore: World Scientific)
40. Schreuder-Gibson H, Gibson P, Tsai P, Gupta P and Wilkes G 2004 Cooperative charging effects of fibers from electrospinning of electrically dissimilar polymers *INJ* 13 39
41. Smit E, Buttner U and Sanderson R D 2005 Continuous yarns from electrospun fibers *Polym. Commun.* 46 2419

42. Son W K, Cho D and Park W H 2006, Direct electrospinning of ultrafine titania fibre sin the absence of polymer additives and formation of pure anatase titania fibres at low temperature Nanotechnology 17 439
43. Subramanian A, Vu D, Larsen G F and Lin H Y 2005 Preparation and evaluation of the electrospun chitosan/PEO fibers for potential applications in cartilage tissue engineering J. Biomater. Sci. Polym. Edn 16 861
44. Sun D, Chang C, Li S and Lin L 2006 Near-field electrospinning Nano Lett. 6 839
45. Sun Z, Zussman E, Yarin A L, Wendorff J H and Greiner A 2003 Compound core-shell polymer nanofibers by co-electrospinning Adv. Mater. 15 1929
46. Sundaray B, Subramanian V, Natarajan T S, Xiang R Z, Chang C C and Fann W S 2004 Electrospinning of continuous aligned polymer fibers Appl. Phys. Lett. 84 1222
47. TaylorG1964D, isintegration of waterdrop sin an electric field Proc. R. Soc. A 280 383
48. Taylor G 1966, Studies in electrohydrodynamics:I.The circulation produced in a drop by electrical field Proc. R. Soc. A 291 145
49. Taylor G 1969 Electrically driven jets Proc. R. Soc. A 313 453
50. Teo WE and Ramakrishna S2005, Electrospun fibre bundle made of aligned nanofibres over two fixed points Nanotechnology 16 1878
51. TeoWE,Kotaki M,Mo X Mand ,Ramakrishna S2005 Porous tubular structures with controlled fibre orientation using a modified electrospinning method Nanotechnology 16 918
52. Theron A, Zussman E and Yarin A L 2001 Electrostatic field-assisted alignment of electrospun nanofibres Nanotechnology 12 384
53. Theron S A, Zussman E and Yarin A L 2004 Experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solutions Polymer 45 2017
54. Theron S A, Yarin A L, Zussman E and Kroll E 2005 Multiplejets in electrospinning: experiment and modeling Polymer 46 2889
55. G. Toskas, R.-D. Hund, E. Laourine, B. Mahltig and Ch. Cherif. "Effect of carrying polymer on organic-inorganic silica composite nanofibers" 11<sup>th</sup> World Textile Conference AUTEX2011, Mulhouse, France, June 8-10 (2011)

56. G. Toskas, Ch. Cherif, R.-D. Hund, E. Laourine, A. Fahmi, B. Mahltig. Inorganic/Organic (SiO<sub>2</sub>)/PEO Hybrid Electrospun Nanofibers Produced from a Modified Sol- and their Surface Modification Possibilities. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2011, 3 (9), 3673–3681
57. G. Toskas, Ch. Cherif, R.-D. Hund, E. Laourine, A. Fahmi, B. Mahltig, C. Heinemann, Th. Hanke “Chitosan (PEO)/Silica Hybrid Nanofibers as a Potential Biomaterial for Bone Regeneration”. *Carbohydrate Polymers* 2013, 94, 713–722
58. Wang M, Jing N, Su C, Band, Kameoka J 2006 a, Electrospinning of silica nanochannels for single molecule detection *Appl. Phys. Lett.* 88 033106
59. Wang M, Yu J H, Kaplan D Land Rutledge GC2006b , Production of submicron diameter silk fibers under benign processing conditions by two-fluid electrospinning *Macromolecules* 39 1102
60. Wang X, Uml C, Fang D, Okamoto A, Hsiao B S and, Chu B ,2005a Formation of water-resistant hyaluronic acid nanofibers by blowing-assisted electro-spinnig and non-toxic post treatments *Polymer* 46 4853
61. Wang Y and, Santiago-Aviles JJ2004, Synthesis of lead zirconate titanate nanofibres and the Fourier-transform infrared characterization of their metallo-organic decomposition process *Nanotechnology* 15 32
62. Wang Y K, Yong T and Ramakrishna S 2005b, Nanofibres and their influence on cells for tissue regeneration *Aust. J. C*
63. Xu CY, Inai R, Kotaki M and Ramakrishna ,S2004, Aligned biodegradable nanofibrous structure: a potential scaffold for blood vessel engineering *Biomaterials* 25 877
64. Yarin A L, Koombhongse S and Reneker DH2001, Bending instability in electrospinning of nanofibers *J. Appl. Phys.* 89 3018hem. 58 704
65. Yarin AL and Zussman, E2004U , needleless electrospinning of multiple nanofibers *Polymer* 45 2977
66. Zhang Y, Huang Z M, Xu X, Lim C T and Ramakrishna S 2004 Preparation of core-shell structured PCL-r-Gelatin Bi-component nanofibers by coaxial electrospinning *Chem. Mater.* 16 3406
67. Zussman E, Rittel D and Yarin A L 2003, Failure modes of electrospun nanofibers *Appl. Phys. Lett.* 82 3958

68. <http://www.clemson.edu/ces/lemt/Electrospinning.htm>
69. <http://www.freepatentsonline.com/6641773.html>
70. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961209000209>