

ΙΟ2: Ηλεκτρονικό Βιβλίο

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΙΑΤΡΙΚΩΝ, ΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Επεξεργάστηκε από:
Daiva Mikučionienė (KTU)
Ginta Laureckienė (KTU)

Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή αυτού του ebook δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου που αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις των συγγραφέων και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτό.



CC BY 4.0; DIGITEX Consortium Partners.

Οι αναφορές πρέπει να αναφέρουν: ; "Τίτλο Κεφαλαίου", συγγραφείς, " ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΙΑΤΡΙΚΩΝ, ΑΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗΣ", εκδ. Daiva Mikučionienė, Ginta Laureckienė, DIGITEX Erasmus+ Project (2020-1-RO01-KA226-HE-095335), 2021-2023, σελ x-γ.

Όλα τα εμπορικά σήματα και άλλα δικαιώματα σε προϊόντα τρίτων που αναφέρονται ή παρουσιάζονται σε αυτό το έγγραφο αναγνωρίζονται και ανήκουν στους αντίστοιχους κατόχους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το έργο DigITEX στοχεύει στην υποστήριξη καινοτόμων προσεγγίσεων και τεχνολογιών ψηφιακής μάθησης για την επιτάχυνση της καινοτομίας, της διδασκαλίας και της μάθησης στον τομέα του σχεδιασμού, της δοκιμής και της κατασκευής καινοτόμων προηγμένων προϊόντων για την υγεία (προστατευτικός εξοπλισμός, φορετές συσκευές παρακολούθησης) ιατρικών, προστατευτικών, αισθητηριακών και έξυπνων τριδιάστατων υφασμάτων) στο πλαίσιο της ψηφιακής οικονομίας.

Αυτό το βιβλίο παρέχει μια συνολική εικόνα των φορητών συσκευών που είναι ενσωματωμένες στην κλωστοϋφαντουργία, από την οπτική γωνία του ερευνητή και του τελικού χρήστη. Ο στόχος είναι να δοθεί η ετυμηγορία για όλες τις πτυχές που αφορούν την ενσωμάτωση και την αποτελεσματικότητα τέτοιων υφασμάτων που βασίζονται σε φορετές συσκευές για υγειονομική περίθαλψη και προστασία. Ο σχεδιασμός και η αξιοπιστία των φορητών συστημάτων παρουσιάζονται από την άποψη της αποδοχής και της χρησιμότητας από τον τελικό χρήστη. Επιπλέον, παρουσιάζεται ο ρόλος των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται για την παροχή ψηφιακών διδύμων για υγειονομική περίθαλψη και προστασία. Ο οικολογικός σχεδιασμός για φορετές τεχνολογίες παρουσιάζεται σε μια ισχυρή σχέση με τις φορετές πτυχές άνεσης και επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση των εξαρτημάτων στο πλαίσιο της αναγκαιότητας της κυκλικής οικονομίας. Τα υφάσματα που βασίζονται σε φορετές συσκευές για εξοπλισμό προστασίας και υγειονομικής περίθαλψης θα ήταν μια εξαιρετική πηγή για αρχάριους ή ανώτερους ερευνητές, σχεδιαστές και ακαδημαϊκούς που ενδιαφέρονται να αναπτύξουν φορετές τεχνολογίες ενσωματωμένες στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα.



CONTENTS

Κεφάλαιο 1. ΙΣΤΟΡΙΑ	5
Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania	
Κεφάλαιο 2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	11
Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania	
Κεφάλαιο 3. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ ΥΓΕΙΑΣ	16
Md. Reazuddin Repon, Rimvydas Milašius and Daiva Mikučioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania	
Κεφάλαιο 4. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ	23
David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Terrassa, Barcelona, Spain	
Κεφάλαιο 5. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	27
Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece	
Κεφάλαιο 6. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	33
Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece	
Κεφάλαιο 7. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ	38
Razvan Radulescu and Raluca Aileni, INCDTP, Bucharest, Romania	
Κεφάλαιο 8. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΑΣΗΣ	44
Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, “Gheorghe Asachi” Technical University, Romania	
Κεφάλαιο 9. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ	49
Aileni Raluca Maria, Stroe Cristina and Radulescu Razvan, INCDTP, Romania	
Κεφάλαιο 10. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ	55
Aileni Raluca Maria and Cristina Stroe, INCDTP, Romania	
Κεφάλαιο 11. ΟΡΙΣΜΟΙ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΣΙΑΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	61
Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica, Greece	



Κεφάλαιο 12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ	66
David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain	
Κεφάλαιο 13. ΦΩΤΟΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	71
Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica	
Κεφάλαιο 14. ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ	77
Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, "Gheorghe Asachi" Technical University, Romania	
Κεφάλαιο 15. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΛΥΣΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ	83
David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain.	
Κεφάλαιο 16. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	89
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy	
Κεφάλαιο 17. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ	96
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy	
Κεφάλαιο 18. ΠΩΣ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΕΤΕ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	103
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy	
Κεφάλαιο 19. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ 3R	107
Alexandra Bodoga, Daniela Farima and Alina Dragomir Iovan, "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Roumania	
Κεφάλαιο 20. ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	113
Athanasios Panagiotopoulos and Georgios Priniotakis, UNIWA, Greece	
Κεφάλαιο 21. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ	119
Olga Papadopoulou, Creative Thinking Development, Solonos 8 & Empedokleous, 19009, Ntrafi Rafinas, Greece	

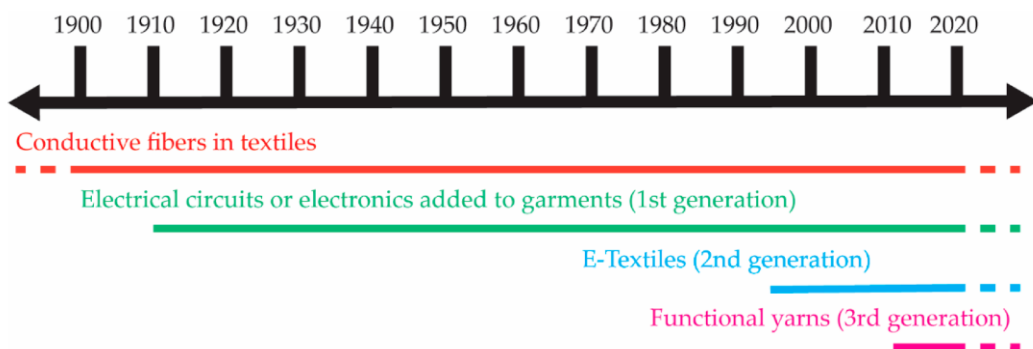
Κεφάλαιο 1. ΙΣΤΟΡΙΑ

Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania

1.1 Εισαγωγή. Η έρευνα για τα έξυπνα υφάσματα αντιπροσωπεύει ένα νέο μοντέλο για την ανάπτυξη καινοτόμων και δημιουργικών λύσεων για την ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών σε άτυπο περιβάλλον και θα οδηγήσει σε νέες επιστημονικές ανακαλύψεις. Η ικανότητα συνδυασμού τεχνολογιών κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών και ηλεκτρονικών ειδών για τη λειτουργικότητα επιφανειών μεγάλης επιφάνειας με γρήγορους ρυθμούς είναι ένα θεμελιώδες κίνητρο για την έρευνα έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Σε αυτό το κεφάλαιο, εξετάζουμε την ιστορία της ανάπτυξης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και παρουσιάζουμε τις κύριες τάσεις σε αυτόν τον τομέα. Τέλος, παρέχουμε τις προοπτικές μας για το πεδίο και μια πρόβλεψη για το μέλλον.

1.2 Ιστορία της ανάπτυξης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Αυτή η ιστορική επισκόπηση των έξυπνων υφασμάτων θα παρέχει στον αναγνώστη μια καλύτερη κατανόηση της εξέλιξης. Η καινοτομία στην κλωστοϋφαντουργία πριν από 27.000 χρόνια θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η πρώτη υλική εφεύρεση της ανθρωπότητας [1]. Το πλαίσιο πλεξίματος, που εφευρέθηκε από τον William Lee το 1589 [2], το flying shuttle, που εφευρέθηκε από τον John Kay το 1733, και το spinning jenny, που εφευρέθηκε από τον James Hargreaves περίπου το 1765 [3], ήταν όλες σημαντικές εφευρέσεις που μεταμόρφωσαν την κοινωνία και δημιούργησαν βάση για την πρώτη βιομηχανική επανάσταση. Η χρήση φωτιζόμενων κορδονιών στο μπαλέτο La Farandole το 1883 ήταν ένα από τα πρώτα παραδείγματα έξυπνων υφασμάτων [4]. Τα ηλεκτρονικά υφάσματα χωρίζονται σε τρεις γενιές ανάλογα με την ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα: τοποθέτηση ηλεκτρονικών ή κυκλωμάτων σε ένα ένδυμα (πρώτης γενιάς), λειτουργικά υφάσματα όπως αισθητήρες και διακόπτες (δεύτερης γενιάς) και λειτουργικά νήματα (τρίτης γενιάς). [5]. Η εικόνα 1.1 απεικονίζει την εξέλιξη των E-textiles ως χρονοδιάγραμμα.



Εικόνα 1.1 Εξέλιξη των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με την πάροδο του χρόνου [5]



Αν και οι ιατρικές εφαρμογές του ηλεκτρισμού σε ρούχα όπως οι κορσέδες και οι ζώνες έχουν μελετηθεί από το 1850, ο επιστημονικός κόσμος μόλις πρόσφατα άρχισε να ενδιαφέρεται για φορητές ηλεκτρικές εφαρμογές (ιδιαίτερα φορητούς υπολογιστές) [6]. Ο Edward Thorpe και ο Claude Shannon δημιούργησαν τον πρώτο φορητό υπολογιστή το 1955 [7]. Οι φορητοί υπολογιστές χαρακτηρίζονται από την έλλειψη σύνδεσης μεταξύ του ηλεκτρονικού εξοπλισμού του χρήστη και των ενδυμάτων του. Ο φορητός υπολογιστής εξελίχθηκε σε έξυπνα υφάσματα στις αρχές του 1990, με τις ηλεκτρονικές λειτουργίες να ενσωματώνονται πιο στενά στο ύφασμα. Το επίπεδο ενσωμάτωσης των «έξυπνων» εξαρτημάτων με την κλωστοϋφαντουργική δομή θα απεικονιστεί σταδιακά σε αυτήν την ενότητα.

Πρώτο βήμα. Η έξυπνη κλωστοϋφαντουργία κολλήθηκε και αφιερώθηκε στην έννοια των φορητών υπολογιστών δημιουργώντας μια πλατφόρμα υπολογιστών υφασμάτων. Ένας σημαντικός στόχος ήταν να δημιουργηθούν εύκολα επαναδιαμορφώσιμες τεχνολογίες διασύνδεσης μέσα στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Χρησιμοποιήθηκαν ίνες και νήματα και η διάσταση της λειτουργίας ήταν περιορισμένη. Η μοναδική λειτουργικότητα, όπως η ηλεκτρική ή οπτική αγωγιμότητα, παρατηρήθηκε για ενσωματωμένα υφαντικά υλικά. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή απόδοση του συστήματος, αυτές οι διασυνδέσεις συνδυάστηκαν με κανονικά τυπικά εξαρτήματα εκτός ραφίου. Η Georgia Tech Wearable Motherboard (GTWM) ήταν, για παράδειγμα, ένα πρώιμο έξυπνο ύφασμα που δημιουργήθηκε από το 1996 και μετά (Εικόνα 1.2 (α)) [8].

Δεύτερο βήμα. Σε αυτό το στάδιο, το έξυπνο ύφασμα παρήχθη συνδυάζοντας πολλές νέες τεχνολογίες κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Το κέντημα χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία έξυπνων υβριδικών υφασμάτων. Το ύφασμα ήταν συνήθως αναπόσπαστο μέρος της κλωστοϋφαντουργικής συσκευής ή κυκλώματος σε αυτά τα έξυπνα υφάσματα. Ήταν κάτι περισσότερο από απλός φορέας για κλωστοϋφαντουργικά νήματα και κυκλώματα. Ο έξυπνος σχεδιασμός υφασμάτων εξακολουθούσε να αντιμετωπίζεται από την οπτική γωνία του παραδοσιακού σχεδιασμού ηλεκτρονικών συστημάτων, αλλά το ίδιο το ύφασμα άρχισε να εκτελεί όλο και περισσότερες λειτουργίες. Οι παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (όπως η ύφανση ή το κέντημα) συνδυάστηκαν επίσης με παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής ηλεκτρονικών κυκλωμάτων όπως ο σχεδιασμός πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος [9]. Τα καπιτονέ και κεντημένα πληκτρολόγια, καθώς και η στολή πυγολαμπίδας που αναπτύχθηκε (Εικόνα 1.2 (β)) από το MIT Media Lab το 1997 και το 1998 είναι πρώιμα παραδείγματα σε αυτό το στάδιο.



Εικόνα 1.2.2 Διάφορα έξυπνα υφάσματα. (α) GTWM. Αναπαράγεται με άδεια [8]. Copyright © 2002, ACM. (β) Φόρεμα Firefly. Αναπαράγεται με άδεια [10]. Copyright© 2000, International Business Machines Corporation. (γ) Αισθητήρας πίεσης υφασμάτων με 16 αισθητήρια στοιχεία κεντημένα με αγώγιμο νήμα. Αναπαράγεται με άδεια [11]. Copyright© 2006, IEEE proceedings. (δ) Υφασμάτινο πληκτρολόγιο Eleksen για rim blackberry [12]. με άδεια Creative Commons BY-NC-SA 2.0. (ε) Textronic αισθητήρας ανθρώπου [13]. (στ) ένα τσιπ μικροελεγκτή Lilyypad Arduino ενσωματωμένο σε ύφασμα [14]. με άδεια Creative Commons BY-NC-SA 2.0



Πίνακας 1. Χρονοδιάγραμμα και πρόοδος έξυπνων υφασμάτων [16, 17]

1600	Gold threads were weaved into garments for a shining accent during the Elizabethan era.
1990s	MIT students started researching smart apparel for military use.
1996	The conductive fabric superstore launches for EMF blocking purposes.
1998	Sabine Seymour launches Moondial.
2000-2009	E-textile Lounge launches as a resource for e-textile craft.
2000	i) E-broidery design and fabrication of textile based computing. ii) Plug and wear launches, selling conductive materials for knitting and sewing.
2003	Georgia Tech Motherboard shirt appears in press.
2007	Leah Buechley develops the LilyPad, a microcontroller made specifically for textiles.
2009	Forster Rohner launches the Climate Dress using their innovative embroidered techniques.
2011	MICA Fiber department begins to explore conductive thread and electronics, creating the Midi Puppet Glove.
2012	Drexel launches their Haute Tech Lab exploring smart fabrics and additive manufacturing for textiles.
2013	Machina Launches the Midi Controller Jacket on Kickstarter.
2014	Dupont presents their stretchable, conductive ink at printed electronics and bebop sensors launches wearable tech and textile circuits.
2015	Polotech Shirt developed; Google's Project Jacquard directs tech eyes to e-textiles at Google I/O and ZSK embroidery reveals conductive thread and sequin LEDs.
2016	\$302 million DoD and M.I.T collaboration and the U.S Commerce Department's first ever smart-fabrics gathering.
2017	Harnessing the power of enzymatic oxygen activation (OXYTRAIN); Smart Clothing Gamification to promote Energy-related Behaviours among Adolescents (SmartLife).
2018	Design and integration of graphene fibre based antennas for smart textiles (GFSMART).

Τρίτο βήμα. Στις αρχές του 2000, εμφανίστηκαν οι πρώτες προσπάθειες για την ανάπτυξη πιο περίπλοκων ηλεκτρονικών σε επίπεδο ινών. Το Fibertronics είναι ένα άλλο όνομα για αυτόν τον τομέα σπουδών. Ο στόχος αυτών των μελετών ήταν η ανάπτυξη συσκευών και λογικών κυκλωμάτων «κάτω από το επίπεδο της συσκευής», δηλαδή, η επίτευξη ηλεκτρονικών λειτουργιών υψηλότερης τάξης σε επίπεδο ινών και η παραγωγή πιο εξελιγμένων έξυπνων υφασμάτων από μεμονωμένες ίνες. Αυτές οι μελέτες συνήθως επικεντρώνονται περισσότερο στην τεχνολογική ανάπτυξη και τα συστήματα κατασκευάζονται από την ίνα προς τα πάνω. Εύκαμπτες λωρίδες με βασικά κυκλώματα τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης (TFT) χρησιμοποιήθηκαν για την εισαγωγή έξυπνων υφασμάτων σε επίπεδο ινών σε υφαντά κυκλώματα μετατροπέα [15]. Αν και υπάρχει μια γενική τάση σε αυτόν τον κλάδο να ενσωματώνει σταδιακά όλο και περισσότερα συστήματα εξαρτημάτων σε υφαντικές ίνες, οι περισσότερες προσεγγίσεις συνδυάζουν αυτές τις έννοιες. Η καταλληλότερη προσέγγιση θα καθοριστεί από την τελική χρήση έξυπνων υφασμάτων σε εμπορικά προϊόντα και τα μελλοντικά έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορεί να φαίνονται ριζικά διαφορετικά από αυτά που υπάρχουν σήμερα. Η εικόνα 1.2 δείχνει διάφορα συστήματα έξυπνων υφασμάτων από το πρώτο έως το τρίτο βήμα και ο Πίνακας 1 αναφέρει το χρονοδιάγραμμα και την πρόοδο των έξυπνων υφασμάτων.

1.2 Συμπέρασμα και προοπτική

Παρά το γεγονός ότι η έρευνα για τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα συνεχίζεται για έως και 30 χρόνια, υπάρχουν λίγες εμπορικές λύσεις στην αγορά. Τα έξυπνα υφάσματα έχουν σημειώσει πρόσφατα σημαντική πρόοδο και αυτό το θέμα μελέτης απολαμβάνει ευρείας υποστήριξης τόσο από τον ερευνητικό όσο και από τον εμπορικό τομέα. Για να διασφαλιστεί ότι τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μεταφέρονται επιτυχώς από τις ερευνητικές εγκαταστάσεις στις βιομηχανικές εφαρμογές, πρέπει να αντιμετωπιστούν ορισμένες ανησυχίες. Η έλλειψη τυποποίησης, η έλλειψη νομοθεσίας για νέα προϊόντα, η έλλειψη συντονισμού και συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα αξίας και τα οικονομικά όρια μεταξύ των επιχειρήσεων για τη στήριξη των αναπτυξιακών δαπανών έχουν αναφερθεί ως εμπόδια. Πρέπει να ληφθούν υπόψη η ασφάλεια, καθώς και οι ηθικοί και κοινωνικοί παράγοντες. Για να ενεργοποιηθεί το επόμενο κύμα έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, απαιτείται περαιτέρω βασική έρευνα. Μέσα σε ένα έξυπνο περιβάλλον κλωστοϋφαντουργίας, απέχουμε ακόμα από το να αξιοποιήσουμε πλήρως τις δυνατότητες που διατίθενται από τον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας. Τα τρισδιάστατα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ειδικότερα, παρέχουν προηγουμένως αναξιποίητες δυνατότητες.

Πηγές

1. Adovasio, J.M., Soffer, O, Klíma, B. Upper palaeolithic fibre technology: Interlaced woven finds from Pavlov I, Czech Republic, c. 26,000 years ago. *Antiquity*, 1996, 70(5), 26–34. <https://doi.org/10.1017/S0003598X0008368X>.
2. Lewis, P. W. Lee's stocking frame: technical evolution and economic viability 1589-1750. *Text Hist.*, 1986, 17, 29–47. <https://doi.org/10.1179/004049686793700890>.



3. Thackeray, F.W., Findling, J.E. Events that Changed Great Britain Since 1689. Annotated. Westport, CT, USA: Greenwood Publishing Group, 2002.
4. Guler, S.D., Gannon, M., Sicchio, K.A. Brief History of Wearables. *Crafting Wearables*, Apress, Berkeley, CA, 2016, p. 3–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1808-2_1.
5. Hughes-Riley, T., Dias, T., Cork, C.A historical review of the development of electronic textiles. *Fibers*, 2018, 6. <https://doi.org/10.3390/fib6020034>.
6. Fishlock, D. Doctor volts. *Electrotherapy*, 2001, 47(2), 3–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/ir:20010304>.
7. Thorp, E.O. The invention of the first wearable computer. *2nd Int. Symp. Wearable Comput.*, 1998, 4–8. <https://doi.org/10.1109/ISWC.1998.729523>.
8. Park, S., Mackenzie, K., Jayaraman, S. The wearable motherboard: A framework for personalized mobile information processing (PMIP). *Proc - Des Autom Conf*, 2002, 170(4). <https://doi.org/10.1145/513918.513961>.
9. Eichinger, G.F., Baumann, K., Martin, T., Jones, M. Using a PCB layout tool to create embroidered circuits. *Proc - Int Symp Wearable Comput ISWC*, 2007, 105(6). <https://doi.org/10.1109/ISWC.2007.4373789>.
Post ER, Orth M, Gershenfeld N, Russo PR. E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Syst J* 2000;39:840–60.
10. Meyer, J., Lukowicz, P., Tröster, G. Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection. *Proc - Int Symp Wearable Comput ISWC*, 2006, 69–74. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2006.286346>.
11. Eleksen Developing Fabric Keyboard for RIM BlackBerry, 2006. <https://www.geekzone.co.nz/content.asp?contentid=6303>.
12. Jakubas, A., Lada-Tondyra, E., Nowak, M. Textile sensors used in smart clothing to monitor the vital functions of young children. *Prog Appl Electr Eng*, 2017, 5–8. <https://doi.org/10.1109/PAEE.2017.8008989>.
13. Lilypad Embroidery, 2008. <https://www.flickr.com/photos/bekathwia/2426457410/in/photostream/>.
14. Bonderover, E., Wagner, S. A woven inverter circuit for e-textile applications. *IEEE Electron Device Lett*, 2004, 25(5), 295 - 297. <https://doi.org/10.1109/LED.2004.826537>.
15. A History of Smart Fabric, 2016. <https://medium.com/@LoomiaCo/tale-2-a-history-of-e-textiles-and-conductive-fabrics-dbe9c4a0cb03>.
16. H2020 projects about “textiles”, 2020. <https://www.fabiodisconzi.com/open-h2020/per-topic/textiles/list/index.html>.



Κεφάλαιο 2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania

Εισαγωγή. Οι ίνες, τα νήματα και τα υφάσματα που έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για να περιέχουν τεχνολογίες που παρέχουν στον χρήστη μεγαλύτερη λειτουργικότητα είναι γνωστά ως έξυπνα υφάσματα. Σε αυτό το κεφάλαιο, εξετάζουμε τους ορισμούς και τις ταξινομήσεις των έξυπνων υφασμάτων με βάση διαφορετικές οπτικές γωνίες.

2.1 Ορισμοί έξυπνων υφασμάτων

Τα ευφυή ή έξυπνα υλικά είναι η πηγή του όρου «έξυπνα υφάσματα». Το 1989, η Ιαπωνία ήταν η πρώτη χώρα που όρισε τον όρο «Έξυπνο Υλικό». Το μεταξωτό νήμα με μνήμη σχήματος ήταν το πρώτο υφαντικό υλικό που χαρακτηρίστηκε ως «έξυπνο ύφασμα» εκ των υστέρων. Τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, γνωστά και ως έξυπνα υφάσματα, ηλεκτρονικά ή e-textiles, είναι έξυπνα υλικά που ανιχνεύουν και ανταποκρίνονται σε εξωτερικά ερεθίσματα. Τα πιο απλά λειτουργικά υφάσματα περιλαμβάνονται μερικές φορές στον ορισμό των έξυπνων υφασμάτων [1, 2].

Ο πρώτος επίσημος ορισμός βρέθηκε ως «τα έξυπνα υφάσματα αποτελούνται από υλικά ή δομές που αισθάνονται και αντιδρούν σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως αυτά από μηχανικά, θερμικά, χημικά, μαγνητικά ή άλλα». [3].

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN), ο ορισμός ενός έξυπνου συστήματος κλωστοϋφαντουργίας είναι: «Συναρμολόγηση κλωστοϋφαντουργικών και μη ενσωματωμένων σε ένα προϊόν που διατηρεί τις υφαντικές του ιδιότητες και αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του». [4].

Η CEN δίνει επιπλέον ορισμό σχετικά με τα επίπεδα ένταξης:

Επίπεδο ενσωμάτωσης 1	Το ηλεκτρονικό εξάρτημα μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς να καταστραφεί το προϊόν. Τα εξαρτήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ξεχωριστές μονάδες.
Επίπεδο ενσωμάτωσης 2	Το ηλεκτρονικό εξάρτημα είναι προσαρτημένο στο ύφασμα και είναι αδύνατο να αφαιρεθεί χωρίς να καταστραφεί το προϊόν. Τα εξαρτήματα δεν μπορούν πλέον να αντιμετωπίζονται ξεχωριστά αλλά ως σύνολο. Στην περίπτωση αυτή, το ύφασμα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως υπόστρωμα..
Επίπεδο ενσωμάτωσης 3	Ένα ή περισσότερα συστατικά είναι ο τύπος υφασμάτων (ή το φινίρισμα υφασμάτων). Συνδυάζονται με ενσωματωμένα εξαρτήματα επιπέδου 1 ή 2. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το ύφασμα είναι η σύνδεση.
Επίπεδο ενσωμάτωσης 4	Όλα τα εξαρτήματα του συστήματος έξυπνης κλωστοϋφαντουργίας είναι υφασμάτινου τύπου (ή φινίρισμα υφασμάτων). Στην περίπτωση αυτή, το ύφασμα είναι το συστατικό.

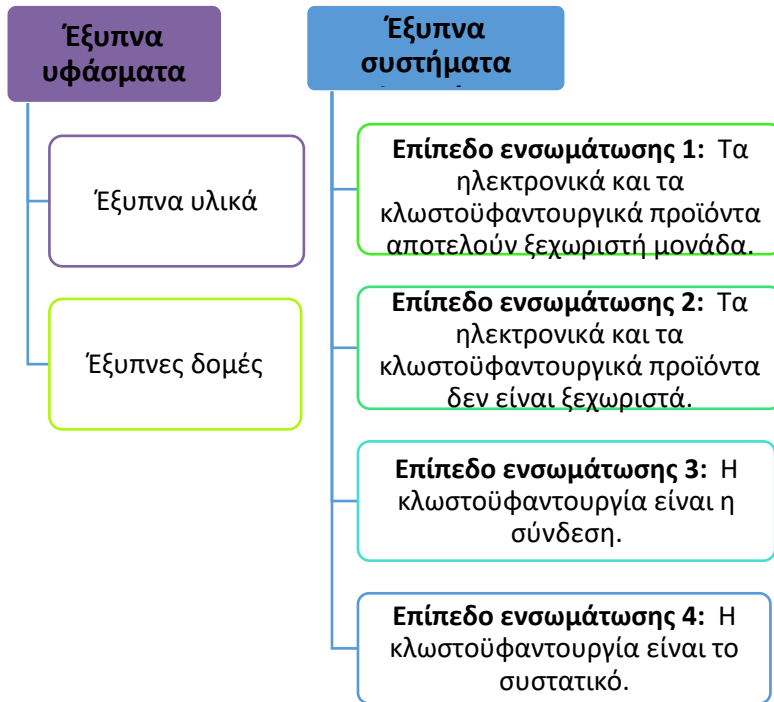
Εικόνα 2.1 Ορισμός επιπέδου ενσωμάτωσης 1-4

2.2 Ταξινομήσεις έξυπνων υφασμάτων

Δεν υπάρχουν σαφώς καθορισμένες ταξινομήσεις έξυπνων υφασμάτων. Σε αυτό το κεφάλαιο, απλά δίνονται και επεξηγούνται παραδείγματα χρησιμοποιημένων ταξινομήσεων.

Μια πρώτη ταξινόμηση είναι δυνατή από τον ορισμό των «έξυπνων υφασμάτων» που δίνεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης [4].

Αυτή η ταξινόμηση χωρίζει τα «έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα» και τα «έξυπνα συστήματα κλωστοϋφαντουργίας»:



Εικόνα 2.2 Ταξινόμηση με βάση τον ορισμό της CEN

Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις υποομάδες [3, 5–8]:

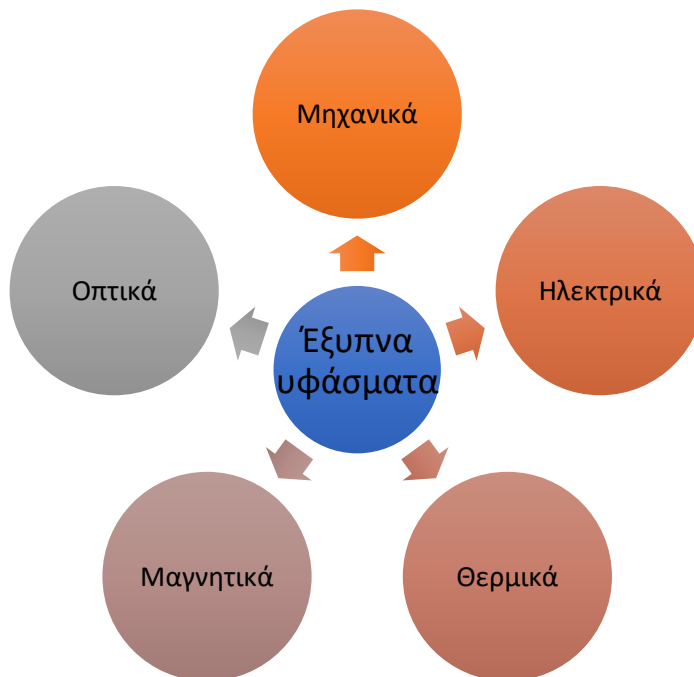
- **Παθητικά έξυπνα υφάσματα.** Τα παθητικά έξυπνα υφάσματα μπορούν να αντιληφθούν μόνο το περιβάλλον ή τον χρήστη. Αυτό ονομάζεται επίσης οι πρώτες γενιές έξυπνων υφασμάτων. Αυτά τα έξυπνα υφάσματα θεωρούνται μόνο ως αισθητήρες. Ένα καλό παράδειγμα είναι ένας ενσωματωμένος αισθητήρας θερμοκρασίας από ύφασμα. Ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των αντιμικροβιακών, κατά της οσμής, αντιστατικά, αλεξίσφαιρα είναι τα άλλα παραδείγματα.
- **Ενεργά έξυπνα υφάσματα.** Τα ενεργά έξυπνα υφάσματα είναι σε θέση να αισθάνονται ερεθίσματα από το περιβάλλον και να ενεργούν. Αυτό ονομάζεται επίσης δεύτερη γενιά έξυπνων υφασμάτων. Περιέχουν ένα αισθητήριο μέρος και λειτουργία δράσης. Αυτή η απάντηση θεωρείται προκαθορισμένη. Τα ενεργά έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι με μνήμη σχήματος, χαμαιλεονικά, αδιάβροχα και διαπερατά από ατμούς (υδρόφιλα/μη πορώδη), αποθήκευση θερμότητας, θερμορρυθμιζόμενα, απορρόφηση ατμών και ύφασμα που εκλύει θερμότητα και θερμαίνεται ηλεκτρικά suits.
- **Πολύ έξυπνα υφάσματα.** Τα πολύ έξυπνα υφάσματα είναι σε θέση να αισθάνονται, να αντιδρούν και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους στις δεδομένες συνθήκες. Αυτή η ταξινόμηση ισχύει για έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα με και χωρίς ηλεκτρονικά, ακόμη και αν η κατηγορία "πολύ έξυπνα υφάσματα" φαίνεται να προορίζεται για "e-textiles". Αυτό ονομάζεται επίσης

τρίτη γενιά έξυπνων υφασμάτων ή εξαιρετικά έξυπνων υφασμάτων. Ένα πολύ έξυπνο ή έξυπνο ύφασμα αποτελείται ουσιαστικά από μια μονάδα, η οποία λειτουργεί όπως ο εγκέφαλος, με ικανότητα γνώσης, λογικής και ενεργοποίησης. Η παραγωγή πολύ έξυπνων υφασμάτων είναι πλέον πραγματικότητα μετά από μια επιτυχημένη ενσωμάτωση των παραδοσιακών υφασμάτων και τεχνολογίας ενδυμάτων με άλλους κλάδους της επιστήμης όπως η επιστήμη των υλικών, η δομική μηχανική, η τεχνολογία αισθητήρων και ενεργοποιητών, η προηγμένη τεχνολογία επεξεργασίας, η επικοινωνία, η τεχνητή νοημοσύνη, η βιολογία κτλ.

Τα e-textiles μπορούν επίσης να υποταξινομηθούν ως:

- ❖ **NoReact:** Η οικογένεια NoReact περιέχει ηλεκτρονικά υφάσματα με μία μόνο λειτουργία, όπως αίσθηση, δράση, μετάδοση.
- ❖ **React:** Η οικογένεια React είναι πιο έξυπνη και περιέχει e-textiles με τουλάχιστον δύο λειτουργίες, όπως αίσθηση και δράση.

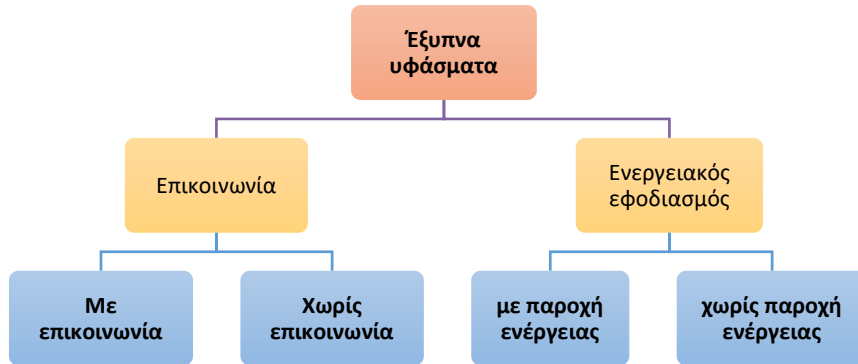
Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τον τύπο του ερεθίσματος/απόκρισης. Αλλά αυτή η ταξινόμηση είναι πολύ λιγότερο καθολική. Η εικόνα 2.3 παρουσιάζει λίστες ερεθισμάτων και αποκρίσεων έξυπνων υφασμάτων.



Εικόνα 2.3 Ταξινόμηση έξυπνων υφασμάτων με βάση διαφορετικά ερεθίσματα/απόκριση

Εδώ είναι ένα άλλο παράδειγμα μιας ταξινόμησης που είναι λίγο πιο περιοριστική. Συνιστάται στον διαχωρισμό των επικοινωνιακών και ενεργειακών δραστηριοτήτων. Η «επικοινωνία» πρέπει να ερμηνεύεται ευρέως και να περιλαμβάνει όχι μόνο την εκπομπή κυμάτων, αλλά επίσης, για παράδειγμα, τη διάχυση ενός οπτικού μηνύματος (μέσω της

οθόνης) και τη δόνηση. Η δημιουργία και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνονται στη λειτουργία «ενέργεια». Η εικόνα 2.4 δείχνει την ταξινόμηση των έξυπνων υφασμάτων με βάση την επικοινωνία και την παροχή ενέργειας.



Εικόνα 2.4 Ταξινόμηση έξυπνων υφασμάτων με βάση την επικοινωνία και την παροχή ενέργειας

2.3 Συμπέρασμα

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, η ανάπτυξη νέων ειδών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, έξυπνων και διαδραστικών υφασμάτων, συνεχίστηκε αμείωτη. Τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά υλικά και οι εφαρμογές τους πρόκειται να αναπτυχθούν δραστικά καθώς η ζήτηση για αυτά τα υφάσματα αυξάνεται με την εμφάνιση νέων ινών, νέων υφασμάτων και καινοτόμων τεχνολογιών επεξεργασίας. Η ζήτηση της αγοράς έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων αυξάνεται με τις προηγμένες λειτουργίες και τη σμίκρυνση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Επομένως, δεν υπάρχουν σαφώς καθορισμένοι ορισμοί και ταξινομήσεις των έξυπνων υφασμάτων. Σε αυτό το μάθημα, οι χρησιμοποιούμενοι ορισμοί και ταξινομήσεις έχουν απλά δοθεί και επεξηγηθεί.

Πηγές

1. Van Langenhove, L., Hertleer, C. Smart clothing: A new life. *Int J Cloth Sci Technol*, 2004, 16, 63–72. <https://doi.org/10.1108/09556220410520360>.
2. Tao, X. Handbook of smart textiles. Hung Hom, Hong Kong: Springer Singapore, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-981-4451-45-1>.
3. Tao, X. Smart Fibres, Fabrics and Clothing: Fundamentals and Applications. Woodhead Publishing Limited, 2001.
4. European committee for standardization (CEN), Technical report, PDCEN/TR 16298:2011, 2011.
5. Stoppa, M., Chiolerio, A. Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *Sensors (Switzerland)*, 2014, 14, 11957–11992. <https://doi.org/10.3390/s140711957>.
6. Zhang, X.X., Tao, X. Smart textiles: Passive smart. *Text Asia*, 2001, 32, 45–48.
7. Zhang, X.X., Tao, X. Smart textiles: Active smart. *Text Asia*, 2001, 32, 49–52.
8. Zhang, X.X., Tao, X. Smart textiles: Very smart. *Text Asia* 2001, 32, 35–37.

Κεφάλαιο 3. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ ΥΓΕΙΑΣ

Md. Reazuddin Repon, Rimvydas Milašius and Daiva Mikučionienė, Kaunas University of Technology, Lithuania

3.1 Εισαγωγή

Τα έξυπνα και διαδραστικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχουν υψηλές δυνατότητες στη βιοϊατρική έρευνα και αποτελούν ένα σχετικά νέο αντικείμενο μάθησης. Τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά υλικά είναι ένα παράδειγμα στο οποίο η ενσωμάτωση έξυπνων συσκευών μπορεί να αναγνωρίζει, να καταγράφει και να μεταδίδει βασικά δεδομένα στην αρχή-στόχο. Αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση και καταγραφή της καρδιακής δραστηριότητας, της θερμοκρασίας του σώματος, του ρυθμού αναπνοής κ.λπ., τα οποία αργότερα μπορούν να μεταφερθούν μέσω Διαδικτύου, κινητού ή οποιουδήποτε άλλου προσβάσιμου μέσου στο κέντρο έκτακτης ανάγκης/υγείας [1]. Τα ρούχα μπορούν να προβλέψουν τη μυϊκή υπερφόρτωση και τους διαλογισμούς στρες, οι οποίοι βοηθούν στην πρόληψη τραυματισμών καταπόνησης, παρακολουθούν τους παλμούς της καρδιάς των μωρών και αξιολογούν βιοχημικά σήματα υγρών που παράγονται σε καθημερινές δραστηριότητες ή όταν εμπλέκονται σε σωματική άσκηση [2]. Η ικανότητα των έξυπνων υφασμάτων να αλληλεπιδρούν με το σώμα παρέχει μια τεχνική για τον προσδιορισμό της φυσιολογίας του χρήστη και την προσαρμογή στις απαιτήσεις του χρήστη. Τα έξυπνα ρούχα μπορούν να προσφέρουν μια εξατομικευμένη λύση αυξάνοντας την επίγνωση της ατομικής κατάστασης υγείας και ενθαρρύνοντας τους ανθρώπους να αναλάβουν πιο αποτελεσματικό ρόλο στην ατομική τους φροντίδα υγείας. Τα έξυπνα ρούχα μπορούν να βοηθήσουν τους κλινικούς γιατρούς να κάνουν πιο ακριβείς διαγνώσεις διατηρώντας ένα ψηφιακό αρχείο. Σήμερα, για την κάλυψη διαφόρων σκοπών υγείας, οι φορητές ιατρικές συσκευές μπορούν να τυλιχτούν σε ύφασμα [3]. Η ιατρική μηχανική ενσωματώνει την τεχνογνωσία μηχανικών, επιστημόνων και ιατρών [4, 5].

3.2 Αντιμικροβιακά υφάσματα

Τα αντιμικροβιακά κλωστοϋφαντουργικά υλικά χρησιμοποιούνται για την ελαχιστοποίηση της επικίνδυνης μικροβιολογικής συσσώρευσης. Διάφοροι αντιμικροβιακοί παράγοντες, όπως ιόντα μετάλλων, χιτοζάνη, τανίνες, τρικλοζάνη, ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου, διγουανίδια πολυεξαμεθυλενίου, ν-χαλαμίνες και πολυπυρρόλες, χρησιμοποιούνται όχι μόνο για την καταπολέμηση των μικροβιακών προσβολών αλλά και για τη μείωση της οσμής και την παροχή μηχανικής αντοχής στα ρούχα. Η ανάπτυξη υφασμάτων που ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα με διαχείριση υγρασίας και μικροβιολογικής διαχείρισης διευκολύνει την ελεγχόμενη εφαρμογή και τη μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα αντιμικροβιακών χημικών ουσιών επικαλυμμένων σε υφάσματα. Το ύφασμα με βάση τον αισθητήρα είναι μια από τις εξελίξεις στα έξυπνα αντιμικροβιακά υφάσματα. Διάφορες αντιμικροβιακές χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία έξυπνων αντιμικροβιακών υφασμάτων.

Η χιτοζάνη έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας. Η χιτοζάνη είναι ενεργή κατά συγκεκριμένων τύπων μικροοργανισμών από μόνη της [6]. Η ιδιότητα απώθησης στο νερό της επεξεργασμένης με φθοράνθρακα ή πολυσιλοξάνης χιτοζάνης μειώνει την επιφανειακή ενέργεια επιτρέπει στους ρύπους να προσκολλώνται και επομένως βοηθά στην προστασία των ατόμων από τη μικροβιολογική ατμόσφαιρα. Το ύφασμα καλυμμένο με χιτοζάνη προστατεύει όσους δραστηριοποιούνται στον κλινικό και μη κλινικό τομέα. Στο pH του δέρματος, η ιονισμένη μορφή της χιτοζάνης αλληλεπιδρά με το μικροβιακό κυτταρικό τοίχωμα, με αποτέλεσμα αλλοιωμένη κυτταρική διαπερατότητα και τελικά μικροβιακό θάνατο [7].

Τα αντιμικροβιακά υφάσματα που λειτουργούν με μέταλλα επεκτείνονται ταχέως παγκοσμίως. Σε χαμηλές / μη τοξικές δόσεις, ο συνδυασμός μετάλλων, συμπεριλαμβανομένων των Ag, Cu, Ni, Zn, Co και Cd, βελτίωσε την αντιβακτηριακή δράση στα ανθρώπινα κερατινοκύτταρα [8]. Το λειτουργικό μη υφασμένο σύνθετο υλικό CuO3Si με τήξη έχει εξαιρετικά υψηλές αντιβακτηριακές ικανότητες κατά των βακτηρίων *S. aureus* και *E. coli*. Ωστόσο, η προσθήκη διαφόρων πολυμερών, για παράδειγμα (C3H4O2)_n, (R)-3-υδροξυ λιπαρού οξέος, σε πυριτικό χαλκό μειώνει την ικανότητα βιολογικής διάσπασης του μείγματος αλλάζοντας τις διαδικασίες τήξης/κρυστάλλωσης [9]. Τα διμεταλλικά νανοσωματίδια Ag / Cu μπορούν να ενισχύσουν την αντιβακτηριακή δράση των υφασμάτων από βαμβάκι / πολυουρεθάνη [10]. Λόγω των αποτελεσματικών αντιβακτηριακών και ανιχνευτικών ιδιοτήτων, το γραφένιο παίζει ενεργό ρόλο σε ιατρικές και ηλεκτρονικές εφαρμογές [11]. Οι αισθητήρες γραφενίου μπορούν να ανιχνεύσουν ιούς, αλλεργικά συμπτώματα, ρυθμό αναπνοής, ποσότητα γλυκόζης στο αίμα, αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικρών μορίων και πρωτεϊνών, αρτηριακή πίεση και θερμοκρασία σώματος [12]. Ένας ηλεκτροχημικός ανοσιακός αισθητήρας για την αναγνώριση του ιού της γρίπης δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας νιφάδες θερμικά ανηγμένου οξειδίου γραφενίου (rGO) που προέρχονται από shellac. Αυτοί οι αισθητήρες που βασίζονται σε θερμικά rGO έχουν μεγάλη σταθερότητα και επαναληψιμότητα, λόγω του γεγονότος ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία μιας σειράς ανοσιακών αισθητήρων.

Τα κοινά αγώγιμα πολυμερή που χρησιμοποιούνται για αντιβακτηριακή δράση είναι η πολυπυρρόλη (PPy), η πολυανιλίνη (PANI), το πολυθειοφαίνιο (PTh), το πολυακετυλένιο (IUPAC) κ.λπ., και όλα αυτά είναι συζευγμένα πολυμερή. Αειφόρα αντιμικροβιακά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν να αναπτυχθούν επικαλύπτοντάς τα με π-συζευγμένα πολυμερή. Τα θετικά φορτία των αγώγιμων πολυμερών προσκολλώνται στα αρνητικά φορτία της βακτηριακής μεμβράνης, αποτρέποντας τη βακτηριακή δραστηριότητα [13]. Η PTh παρουσιάζει ισχυρή αντιμικροβιακή δράση έναντι των βακτηρίων *B. cereus*, *E. aerogenes*, *E. aureus* και *E. coli*. Το PANI έχει ισχυρή αντιμικροβιακή δράση έναντι των παθογόνων λόγω των αμινομονάδων, της χαμηλής αλυσίδας πολυμερών, της ηλεκτροστατικής αλληλεπίδρασης. Το IUPAC παρουσιάζει αντιμικροβιακή δράση που προκαλείται από τρία συζευγμένα μέρη. Τα μικροκυψέλες καταστρέφονται κυρίως λόγω της ηλεκτροστατικής διεπαφής [14].

3.3 Υφάσματα που εκλύουν ναρκωτικά

Όταν οι παραδοσιακές μέθοδοι θεραπείας δεν είναι αποδεκτές, ένα ύφασμα γεμάτο φάρμακα μπορεί να είναι μια βιώσιμη επιλογή. Τα φάρμακα απορροφώνται στην άνω κοιλιακή χώρα ή στο εντερικό σύστημα με τρόπους αποκόλλησης, όπως κάψουλες και δισκία. Ωστόσο, ορισμένα φάρμακα μπορεί να χάσουν την αποτελεσματικότητά τους καθώς καταστρέφονται στο όξινο περιβάλλον του στομάχου ή μεταβολίζονται στο ήπαρ. Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να επικαλυφθούν με συγκεκριμένους φορείς φαρμάκων και να παραδοθούν σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα. Μπορούν να ακολουθηθούν διάφορες διαδικασίες επικάλυψης για τη σύνθεση υφασμάτων που απελευθερώνουν φάρμακα. Αυτά τα υφάσματα μπορεί να είναι αποικοδομήσιμα ή μη αποικοδομήσιμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ίνες έκλυσης φαρμάκων, υφαντά και μη υφάσματα. Τα μη υφάσματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε ιατρικές εφαρμογές λόγω της υψηλής ευελιξίας, των γρήγορων κύκλων κατασκευής και του χαμηλού κόστους κατασκευής τους. Μέσα στο μη υφαντό, τα νήματα που περιέχουν φάρμακα μπλέκονται και έχει αποδειχθεί ότι είναι εξαιρετικά κατάλληλα για συστήματα ελεγχόμενης και παρατεταμένης απελευθέρωσης φαρμάκων. Η επιθυμητή συμπεριφορά απελευθέρωσης φαρμάκου μπορεί να τροποποιηθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Η ηλεκτροϊονοποίηση είναι μια αποτελεσματική και ευέλικτη τεχνολογία για την παραγωγή ινών που εκλύουν φάρμακα, καθώς επιτρέπει την ενσωμάτωση ελκυστικών και υδατοαπωθητικών φαρμάκων, πρωτεϊνών ή εξαιρετικά λεπτών μεταλλικών σωματιδίων στη φάση μάζας των ινών. [14]. Τα φαρμακευτικά προϊόντα και οι παράγοντες που έχουν βιολογικά αποτελέσματα μπορούν να τοποθετηθούν στο εξωτερικό απορροφήσιμο περίβλημα και να απελευθερωθούν με ελεγχόμενους ρυθμούς ανάλογα με το πάχος του πολυμερούς, το μοριακό βάρος και το σχήμα.

Ένα στεντ πολυδιοξανόνης με πλεκτό υφάδι έχει αναπτυχθεί για φαρμακευτική αγωγή με 5-φθοροουρακίλη για τον καρκίνο του παχέος εντέρου ή του ορθού [15]. Επίπεδα πλεκτά κυτταρινικά υφάσματα, επικαλυμμένα με χιτοζάνη, αλγινικό νάτριο και αλγινικό ασβέστιο, βρέθηκαν να είναι κατάλληλα ως επίδεσμος, ο οποίος είναι κατάλληλος για την επούλωση πληγών [16]. Για να αυξηθούν τα αντιβακτηριακά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά επούλωσης πληγών, προστέθηκαν φάρμακα χλωραμφενικόλης και υδροχλωρικής τετρακυκλίνης στα επικαλυμμένα πολυμερή. Όταν το φάρμακο στην επιφάνεια του υφάσματος φθείρεται, η επικάλυψη πολυμερούς στην επιφάνεια δημιουργεί ένα νέο φράγμα ενάντια στα μικρόβια, σύμφωνα με τη μελέτη.

Τα υφαντά συστήματα χρησιμοποιούνται σε ορισμένες ιατρικές εφαρμογές για τη συναρμολόγηση υφασμάτων που είναι ενθυλακωμένα με φάρμακα ή λειτουργικές ουσίες. Οι αντιμικροβιακές επικαλύψεις τραυμάτων μπορούν να κατασκευαστούν με βιοδραστική υφασμένη βαμβακερή γάζα. Για παράδειγμα, η ιατρική γάζα ήταν στολισμένη με εξαιρετικά λεπτά σωματίδια Ag (ασήμι) και φαρμακευτική με κόμμι ακακίας [17]. Τα νανοσωματίδια καφεΐνης τοποθετήθηκαν σε μικρο-τροπικά υφαντά υφάσματα από βαμβάκι και βισκόζη για διαδερμικά αντιοξειδωτικά έμπλαστρα. Όταν φοριέται κοντά στο δέρμα, η συσκευή μπορεί να παρέχει καφεΐνη για ορισμένες

περιόδους χωρίς ο ασθενής να χρειάζεται να κάνει τίποτα άλλο [18].

3.4 Υφάσματα παρακολούθησης της υγείας

Οι φορητές συσκευές μπορούν πλέον να ενσωματωθούν στα ρούχα για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης φυσιολογικών δεικτών. Η ηλεκτρομυογραφία (EMG) είναι μια τεχνολογία που βοηθά τους κλινικούς γιατρούς να μετρούν την ηλεκτρική μυϊκή δραστηριότητα για να παρακολουθούν τις καταστάσεις των νεύρων και των μυών. Τρία ηλεκτρόδια που τοποθετούνται απευθείας στο δέρμα είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα για την καταγραφή της μυϊκής δραστηριότητας. Τα ηλεκτρόδια από ύφασμα ενσωματωμένα με **σορτς** χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία αυτής της διαμόρφωσης τριών ηλεκτροδίων των τριών ηλεκτροδίων [19]. Η δυνατότητα καταγραφής ηλεκτρομυογραφημάτων χωρίς επαφή διερευνήθηκε στο χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ έργο ConText. Για την εκτέλεση των μετρήσεων, δύο κεντημένα ηλεκτρόδια EMG ενσωματώθηκαν μέσα σε ένα πουκάμισο και ένα γιλέκο χρησιμοποιώντας επίσης ένα αγώγιμο νήμα για την αποστολή σημάτων από τον αισθητήρα ανέπαφων στη συσκευή εγγραφής δεδομένων [20].

Το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ) είναι μια εκτίμηση της επιφάνειας του δέρματος της ηλεκτρικής δραστηριότητας του καρδιακού μυός. Τα ιόντα ρέουν μέσω του καρδιακού μυός με κάθε χτύπο, σχηματίζοντας βαθμίδες φορτίου. Διαφορετικοί φορείς ΗΚΓ προκύπτουν από διαφορετικές μετρήσεις του ηλεκτρικού δυναμικού στην επιφάνεια του σώματος σε διαφορετικές θέσεις. Διάφορες τεχνολογίες κλωστοϋφαντουργίας έχουν διερευνηθεί τα τελευταία χρόνια προκειμένου να δημιουργηθούν και να αναπτυχθούν ηλεκτρόδια κλωστοϋφαντουργίας που μπορούν να ενσωματωθούν στα ρούχα και να παρέχουν ένα ΗΚΓ. Η τεχνολογία κεντήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ηλεκτροδίων και δέρματος, καθώς το κεντημένο τμήμα ανασκάνεται από την επιφάνεια του υφάσματος, επιτρέποντας καλύτερη επαφή [21]. Τα υφασμάτινα φύλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή ενός ΗΚΓ που έχει υποστεί επεξεργασία με πιεζοηλεκτρικό πολυμερές [22].

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) είναι ένα εργαλείο για την παρακολούθηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών του εγκεφάλου. Χρησιμοποιώντας μαλακά αγώγιμα υφάσματα, μια συσκευή με βάση το ύφασμα EEG μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του νεογέννητου εγκεφάλου [23]. Επειδή το νεογέννητο δέρμα είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στον πόνο, οι ερευνητές επινόησαν μοναδικά ηλεκτρόδια που επιτρέπουν τη μακροχρόνια παρακολούθηση. Οι αλλαγές τάσης μεταξύ των σημείων του τριχωτού της κεφαλής που δημιουργούνται από τις δομές του εγκεφάλου καταγράφονται από ηλεκτρόδια ΗΕΓ που είναι συνήθως μικροσκοπικές μεταλλικές πλάκες που συνδέονται με το τριχωτό της κεφαλής. Τα ηλεκτρόδια συνήθως στερεώνονται σε ένα καπάκι από ελαστικό ύφασμα, όπως προτείνεται από το διεθνές πρότυπο [24].

Τα έξυπνα υφάσματα έχουν τη δυνατότητα να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην πρόληψη και τη θεραπεία του διαβήτη. Τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα μπορούν να ανιχνευθούν

με τη χρήση αισθητήρων Fiber Bragg Grating [25]. Σε μια άλλη μελέτη, διαπιστώθηκε ότι οι έξυπνες κάλτσες, που χρησιμοποιούνται από διαβητικούς ασθενείς για την παρακολούθηση βασικών παραμέτρων υγείας, επιβεβαίωσαν ότι οι κάλτσες τους με ένα σύστημα ανίχνευσης θερμοκρασίας και πίεσης του ποδιού είχαν ουσιαστική σχέση [22].

Ο μέσος ρυθμός αναπνοής είναι μεταξύ 12 και 25. Είναι μια ζώνη που μετρά τον κύκλο της αναπνοής και ανιχνεύει κρίσεις άπνοιας/υπόπνοιας [26]. Ο όγκος του στήθους και ο ρυθμός αναπνοής μπορούν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας έναν εύκαμπτο αισθητήρα που είναι προσαρτημένος στο πουκάμισο [27]. Επιπλέον, αναπτύχθηκαν έξυπνα πουκάμισα με αισθητήρες υφασμάτων για τη μέτρηση του χρόνου και των φάσεων αναπνοής, του ρυθμού εισπνοής και του μεγέθους του θώρακα [28]. Αρκετοί άλλοι ερευνητές έχουν κατασκευάσει επίσης συσκευές με βάση τα υφάσματα για την ανίχνευση του ρυθμού αναπνοής, καθιστώντας αυτό το είδος παρακολούθησης της υγείας πιο διαδεδομένο στον κόσμο των έξυπνων υφασμάτων.

Ένα από τα πιο βασικά κριτήρια για την κλινική αξιολόγηση και την επίβλεψη της υγείας είναι η θερμοκρασία του σώματος. Σύνθετα υλικά που περιλαμβάνουν αγωγίμα εργαλεία και πολυμερή που ανταποκρίνονται στη θερμοκρασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή αισθητήρων θερμοκρασίας.

3.5 Συμπεράσματα

Οι περισσότερες ιατρικές διαταραχές αντιμετωπίζονται σε φάσεις που περιλαμβάνουν αναστολή, οξεία φροντίδα, αποκατάσταση και συνεχή υποστήριξη. Τα έξυπνα υφάσματα έχουν ευθύνη σε καθένα από αυτά τα στάδια της φαρμακευτικής αγωγής και της πρόληψης της νόσου. Οι αισθητήρες υφάσματος μπορούν εύκολα να εισαχθούν στα ρούχα και να συνδεθούν χρησιμοποιώντας αγωγίμα νήματα μέσω διαδικασιών κεντήματος, πλεξίματος ή ύφανσης. Σε περίπτωση ασθένειας, τα έξυπνα ρούχα μπορούν να βοηθήσουν την ιατρική κοινότητα, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της υγείας των ασθενών τους και επιτρέποντας την απομακρυσμένη παρακολούθηση για την ελαχιστοποίηση των κλινικών κλήσεων. Ένα έξυπνο ένδυμα στην αποκατάσταση μπορεί να βοηθήσει τον ασθενή να αναλάβει ενεργό ρόλο στη θεραπεία του και να αποτρέψει μελλοντικές υποτροπές. Τα έξυπνα υφάσματα ενδέχεται να έχουν θεραπευτικές λειτουργίες στο μέλλον, παρέχοντας έναν μεταβλητό και προσαρμόσιμο τρόπο θεραπείας. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές δυσκολίες που πρέπει να επιλυθούν προτού τα φορετά υιοθετηθούν ευρέως. Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των τυπικών ρούχων, η τεχνολογία που φοριέται θα πρέπει να είναι μαλακή, ευέλικτη και να πλένεται. Το πλούσιμο είναι μια κρίσιμη πτυχή στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος.

Πηγές

1. Lymberis, A., Olsson, S. Intelligent Biomedical Clothing for Personal Health and Disease Management: State of the Art and Future Vision. *Telemedicine Journal and e-health*, 2003, 9(4), 379-386.
2. Milenković, A., Otto, C., Jovanov, E. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation. *Computer Communications*. 2006, 29(13-14), 2521-2533.



3. Esfahani, M.I.M. Smart textiles in healthcare: a summary of history, types, applications, challenges, and future trends. *Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*, Matthew Deans, 2021.
4. Fagette, P. Tracking the Historical Development of Biomedical Engineering: The 1960s and 1970s. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 1997, 16(5), 164-173.
5. Jatoi, A.S., et al. Current applications of smart nanotextiles and future trends. *Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*. Woodhead Publishing Ltd., 2021.
6. Nalankilli, G. Crosslinking of Chitosan with Cotton using Polycarboxylic Acids. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2014, 3(4), 1769–1774.
7. Alonso, D., et al. Cross-linking chitosan into UV-irradiated cellulose fibers for the preparation of antimicrobial-finished textiles. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 77(3), 536-543.
8. Garza-Cervantes, J.A., et al. Synergistic antimicrobial effects of silver/transition-metal combinatorial treatments. *Scientific reports*, 2017, 7(1), 1-16.
9. Sójka-Ledakowicz, J., et al. Antimicrobial functionalization of textile materials with copper silicate. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2016, 24(5), 151-156.
10. Paszkiewicz, M., et al. The antibacterial and antifungal textile properties functionalized by bimetallic nanoparticles of Ag/Cu with different structures. *Journal of Nanomaterials*, 2016, 1-13.
11. Ye, S., et al. Antiviral Activity of Graphene Oxide: How Sharp Edged Structure and Charge Matter. *ACS applied materials & interfaces*, 2015, 7(38), 21571-21579.
12. Seshadri, D.T., Bhat, N.V. Synthesis and properties of cotton fabrics modified with polypyrrole. *Journal of Fiber Science and Technology*, 2005, 61(4), 103-108.
13. Chundawat, N.S., Chauhan, N.P.S. Conducting polymers with antimicrobial activity. *Biocidal Polymers*. De Gruyter, 2019.
14. Pornsopone, V., et al. Electrospun methacrylate-based copolymer/indomethacin fibers and their release characteristics of indomethacin. *Journal of Polymer Research*, 2007, 14(1), 53-59.
15. Li, G., et al. A 5-fluorouracil-loaded polydioxanone weft-knitted stent for the treatment of colorectal cancer. *Biomaterials*, 2013, 34(37), 9451-9461.
16. Hanmugasundaram, O.L., Mahendra, Gowda, R.V. Development and characterization of cotton, organic cotton flat knit fabrics coated with chitosan, sodium alginate, calcium alginate polymers, and antibiotic drugs for wound healing. *Journal of Industrial Textiles*, 2012, 42(2), 156-175.
17. El-Naggar, M.E., et al. Bioactive Wound Dressing Gauze Loaded with Silver Nanoparticles Mediated by Acacia Gum. *Journal of Cluster Science*, 2020, 31(6), 1349-1362.
18. Massella, D., et al. Preparation of bio-functional textiles by surface functionalization of cellulose fabrics with caffeine loaded nanoparticles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
19. Finni, T., et al. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiological Measurement*, 2007, 28(11), 1405-1419.
20. Linz, T., Gourmelon, L., Langereis, G. Contactless EMG sensors embroidered onto textile. *IFMBE Proceedings*, 2007.
21. Marozas, V., et al. A comparison of conductive textile-based and silver/silver chloride gel electrodes in exercise electrocardiogram recordings. *Journal of electrocardiology*, 2011, 44(2), 189-194.
22. Najafi, B., et al. An Optical-Fiber-Based Smart Textile (Smart Socks) to Manage Biomechanical Risk Factors Associated with Diabetic Foot Amputation. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 2017, 11(4), 668-677.
23. Adnane, M., et al. Detecting specific health-related events using an integrated sensor system for vital sign monitoring. *Sensors*, 2009, 9(9), 6897-6912.



24. Löfhede, J., Seoane ,F., Thordstein M. Textile electrodes for EEG recording - a pilot study. *Sensors*, 2012, 12(12), 16907-16919.
25. Kurasawa, S., et al. Development of smart textiles for self-monitoring blood glucose by using optical fiber sensor. *Journal of Fiber Science and Technology*, 2020, 76(3), 104-112.
26. Wang, H., et al. The regulatory role of the SIRT1 / FoxO1 pathway in the prevention of insulin resistance in skeletal muscle by aerobic exercise in mice. *Research Square*, 2022, 1–17.
27. Mokhlespour, Esfahani, M.I., et al. A wearable respiratory plethysmography using flexible sensor. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 2013, 11(4), 364-380.
28. Massaroni, C., et al. Smart textile for respiratory monitoring and thoraco-abdominal motion pattern evaluation. *Journal of Biophotonics*, 2018, 11(5), 1-12.

Κεφάλαιο 4. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ

David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Terrassa, Barcelona, Spain

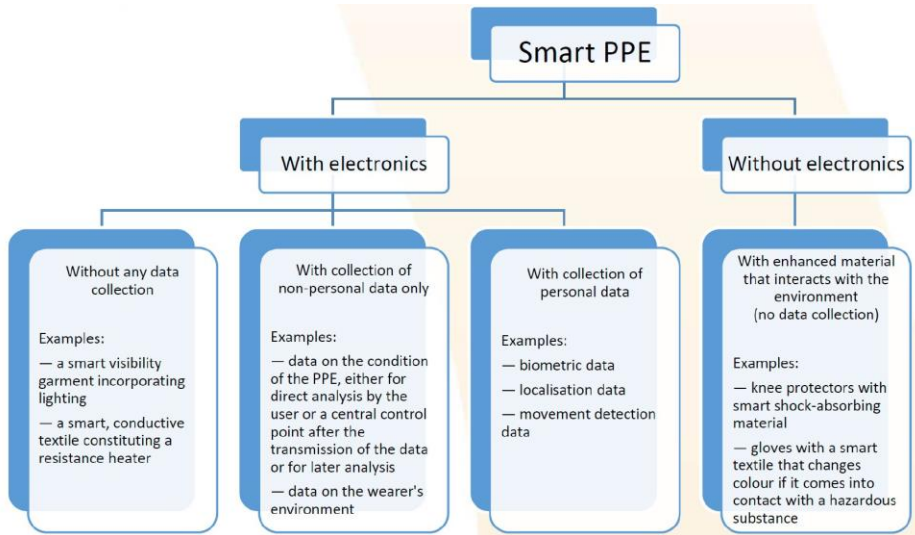
4.1 Εισαγωγή

Οι χώροι εργασίας δεν είναι πάντα ασφαλείς. Στην πραγματικότητα, ορισμένες από τις υπάρχουσες θέσεις εργασίας στις μέρες μας έχουν αρκετά επικίνδυνα καθήκοντα που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι εργαζόμενοι. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ασφάλεια έγινε προτεραιότητα στη βιομηχανία με εγκάρσιο τρόπο, ιδιαίτερα σε ορισμένους τομείς όπως η επιφανειακή και υπόγεια εξόρυξη, τα εργοτάξια, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, τα εργοστάσια κ.λπ. [1].

Για αυτό, είναι σημαντικό να αποτραπούν οι εργαζόμενοι από πιθανούς κινδύνους που μπορεί να καταλήξουν να προκαλέσουν διάφορους τύπους τραυματισμών, όπως θερμικούς, βιολογικούς, ηλεκτρικούς, μηχανικούς ή χημικούς, που μπορούν να δράσουν ταυτόχρονα [2] σε διαφορετικά μέρη του ανθρώπινου σώματος (μάτι και πρόσωπο, κεφάλι, πόδι και πόδι, χέρι και χέρι, σώμα και ακοή [3]). Ο ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός (ΑΠΕ) βοηθά στην πρόληψη αυτών των τραυματισμών προστατεύοντας τον χρήστη.

Συνοψίζοντας, τα ΑΠΕ μπορεί και πρέπει να βελτιωθούν, προκειμένου οι στόχοι του να επιτευχθούν με πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο με την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση τεχνολογιών αισθητήρων στα ρούχα των εργαζομένων. Αυτή η αναβάθμιση θα παρέχει παρακολούθηση της υγείας των εργαζομένων, την έκθεση σε επιβλαβή στοιχεία, την εγγύτητά τους σε επικίνδυνες ζώνες, μεταξύ άλλων [4].

Τα έξυπνα ΑΠΕ μπορούν να οργανωθούν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με την τεχνολογία που εφαρμόζεται σε αυτά. Από τη μια πλευρά, η παρουσία ηλεκτρονικών ή όχι και, από την άλλη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά συλλογής δεδομένων τους (δες Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1 Ταξινόμηση έξυπνων ΑΠΕ, σύμφωνα με τη σύνθεση και τις δυνατότητες συλλογής δεδομένων

Μερικά παραδείγματα ΑΠΕ με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά ή έξυπνα υλικά [5] είναι τα ακόλουθα: Πρώτον, έξυπνα προστατευτικά γονάτων. Μπορούν να είναι μαλακά και εύκαμπτα και να διευκολύνουν τις κανονικές κινήσεις όπως το περπάτημα και, ταυτόχρονα, να εγγυώνται τις ιδιότητες του έξυπνου υλικού για απορρόφηση κραδασμών τη στιγμή ενός ενδεχόμενου κραδασμού.

Έπειτα, τα έξυπνα, αγωγίμα υφάσματα που αποτελούν έναν θερμαντήρα αντίστασης. Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να ενσωματώσουν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Με την παροχή σταθερής ηλεκτρικής τροφοδοσίας και την ενσωμάτωση αισθητήρων, αυτά τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν να παράγουν και να διατηρούν σταθερή θερμοκρασία γύρω από τη θερμάστρα.

Επιπλέον, τα έξυπνα ρούχα φωτισμού μπορούν να εκπέμπουν φως μέσω της ενσωμάτωσης οπτικών ινών στο υλικό του ενδύματος. Οι οπτικές ίνες που είναι ενσωματωμένες σε υφάσματα και συνδέονται με μια ελεγχόμενη πηγή φωτός μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος έξυπνων ενδυμάτων. Μπορούν ακόμη και να καθορίσουν το είδος του φωτισμού με την ενσωμάτωση ενός αισθητήρα.

Επίσης, τα έξυπνα γάντια ικανά να εντοπίζουν επικίνδυνες ουσίες είναι επίσης ένα καινοτόμο προϊόν για ΑΠΕ που έχουν σχεδιαστεί χάρη στην πρόοδο των έξυπνων υφασμάτων. Μετατρέπονται σε διαφορετικό χρώμα ανάλογα με την επαφή με πιθανές επικίνδυνες ουσίες.

Και τέλος, κάποιο έξυπνο ΑΠΕ μπορεί επίσης να συλλέξει δεδομένα σχετικά με τη δική του χρήση. Εάν είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες, μπορεί να συλλέξει διάφορους τύπους δεδομένων σχετικά με τη διάρκεια ή τις ποσότητες χρήσης... και να το κοινοποιήσει σε μια κεντρική βάση δεδομένων.

Όπως αναφέρθηκε, αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα του ευρέος φάσματος δυνατοτήτων που μπορούν να προσφέρουν τα έξυπνα υφάσματα.

4.2 Εφαρμογές ΑΠΕ

Οι εφαρμογές των ευφυών υφασμάτων στα ΑΠΕ είναι πολλαπλές και ποικίλες. Και κάθε φορά που αυξάνεται η έρευνα σε αυτόν τον τομέα, οι δυνατότητές τους διευρύνονται [6].

Σήμερα, μπορούμε να βρούμε τρεις κατηγορίες, τρεις δρόμους ανάπτυξης προϊόντων. Αφορούν, βασικά, τις πρακτικές ανάγκες των χρηστών, τα παγκόσμια συστήματα και τις αντιδράσεις σε εξωτερικά ερεθίσματα και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για παράδειγμα, βρέθηκαν ορισμένοι συγκεκριμένοι τρόποι για να εμβαθύνουν στην ανάπτυξη ΑΠΕ μέσω έξυπνων υφασμάτων [7] και των διαφόρων πεδίων διερεύνησής τους (φυσιολογική κατάσταση, αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας, πομποί ισχύος και δεδομένων και δείκτες τέλους ζωής, έξυπνα υλικά...) θα μπορούσαν να είναι οι ακόλουθες: μεμβράνες με απόκριση διαπερατότητας, συμπεριλαμβανομένων των υδρατμών, μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας πολυμερή μνήμης σχήματος, ηλεκτρολυτικά πολυμερών, υπεραπορροφητικά πολυμερή, βούρτσες εμβολιασμένων πολυμερών και πολυμερικά ιοντικά υγρά. Αυτές οι μεμβράνες φραγμού μπορούν ακόμη και να αυτοαπολυμανθούν με Ν-χαλαμίνες, ομάδες τεταρτοταγούς αμμωνίου, βιοτεχνικά ένζυμα, μέταλλα και οξείδια μετάλλων, νανοϋλικά και ενώσεις ενεργοποιούμενες από το φως. Η θερμική άνεση μπορεί επίσης να βελτιωθεί με υλικά αλλαγής φάσης που μπορούν να παρέχουν πρόσθετη θερμότητα ή δροσιά ανάλογα με τις ανάγκες. Επίσης, παχυντικά υγρά που στερεοποιούνται και γίνονται αμορτισέρ όταν κρούονται με υψηλή ταχύτητα.

4.3 Περαιτέρω ορίζοντες για ΑΠΕ

Δεν είναι όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι ορατοί ή αντιληπτοί στις ανθρώπινες αισθήσεις. Η προστασία από αέρια, σκόνη, ήχο και/ή καπνό είναι απαραίτητη. Η συνδεσιμότητα είναι ένα βασικό πεδίο που παρέχει ένα ευρύ φάσμα νέων βοηθητικών προγραμμάτων για ΑΠΕ που λαμβάνονται μέσω συγκεκριμένων υλικών όπως τα έξυπνα υφάσματα. Μόλις συνδεθούν με το Διαδίκτυο των πραγμάτων, τα smartphone και οποιαδήποτε έξυπνη συσκευή, μπορούν να παρέχουν εφαρμογές όπως οι παρακάτω, προκειμένου να αυξηθεί η προστασία του ατόμου που φορά το ΜΑΠ σε διάφορες συνθήκες [1]. Για παράδειγμα:

Τα συνδεδεμένα ΑΠΕ μπορούν να ανιχνεύσουν αόρατους κινδύνους, όπως υψηλές θερμοκρασίες. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας μπορεί να παρακολουθεί το εξωτερικό περιβάλλον και να ειδοποιεί εγκαίρως τον χρήστη για επικίνδυνα περιβάλλοντα και να ειδοποιεί τους επόπτες εάν οι εργαζόμενοι βρίσκονται σε μη ασφαλείς συνθήκες.

Επίσης, ο γεωεντοπισμός, ενσωματωμένος σε ένα συνδεδεμένο ΜΑΠ, μπορεί να παρακολουθεί και να προσδιορίζει σε πραγματικό χρόνο την τοποθεσία του χρήστη και να του δίνει



πληροφορίες σχετικά με το ποιο είναι το ασφαλέστερο δρομολόγιο, πού να συνεχίσει ή αν είναι ασφαλέστερο να επιστρέψει από την περιοχή. Στη συνέχεια, η δυνατότητα δημιουργίας και μεταφοράς αναλύσεων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, θα επιτρέψει την άμεση ειδοποίηση του χρήστη όταν εισέρχεται ή βρίσκεται σε επαφή με ένα επικίνδυνο περιβάλλον ή κάποια άλλη εξωτερική πτυχή που έχει τη δυνατότητα να βλάψει την ακεραιότητα του χρήστη.

Σχετιζόμενο επίσης με τα συστήματα επικοινωνίας, το ΑΠΕ μπορεί να διευκολύνει γρήγορα και αποτελεσματικά ολοκληρωμένα κανάλια επικοινωνίας κάτω από δυνατές ή χαμηλής οπτικής συνθήκες συνθήκες.

Και τέλος, αλλά όχι λιγότερο σημαντικό, η παρακολούθηση των σταθερών της υγείας των χρηστών, όπως οι καρδιακοί παλμοί τους, γίνεται βασική για την εξασφάλιση της ασφάλειας του ατόμου που φορά το ΑΠΕ.

4.4 Συμπεράσματα

Η προβολή των προηγμένων υλικών και των έξυπνων υφασμάτων ως δυναμοποιητών για ΑΠΕ είναι ξεκάθαρη, μακρά και αξίζει να διατηρηθεί. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές βρίσκονται επί του παρόντος υπό πιλοτική δοκιμή, πρέπει να βελτιωθούν ή απλώς γίνονται πρωτότυπα. Αλλά μερικά από τα ήδη εφαρμοσμένα δείχνουν απλώς εντυπωσιακές επιδόσεις και υψηλές δυνατότητες.

Ωστόσο, ορισμένοι κίνδυνοι και νομοθεσία πρέπει να ξεπεραστούν και να τεθούν πρότυπα για αυτά τα νέα προϊόντα.

Πηγές

1. Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D., Serafimovski, D., System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry, In: The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 2019, 34, 1, 37-44.
2. Dolez, P.I., Vu-Khanh, T. Recent Developments and Needs in Materials Used for Personal Protective Equipment and Their Testing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2009, 15(4), 347-362, DOI: 10.1080/10803548.2009.11076815
3. Berry, C., McNeely, A., Beauregard, K., Haritos, S. A guide to personal protective equipment. Raleigh, NC, USA: N.C. Department of Labor, 2008. Retrieved December 16, 2008, from: <http://www.nclabor.com/osh/etta/indguide/ig25.pdf>
4. Cao, H., Smart technology for personal protective equipment and clothing, Chapter of Smart textiles for protection, Woodhead Publishing Limited, 2013, 229-241
5. CEN/TR 16298:2011 'Smart textiles – Definitions, categorisation, applications and tandardization needs', 2011.
6. Dolez, P.I., Mlynarek, J., Smart materials for personal protective equipment, Chapter of Smart Textiles and their Applications, Editor Chapman R., Woodhead Publishing, 2016
7. Gómez, D. *R&D Alfredo Grassi SPA*, 2022. <https://www.grassi.it/en/research-and-development>

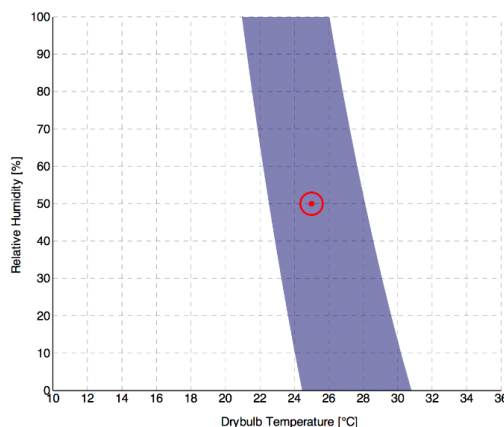
Κεφάλαιο 5. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece

5.1 Εισαγωγή

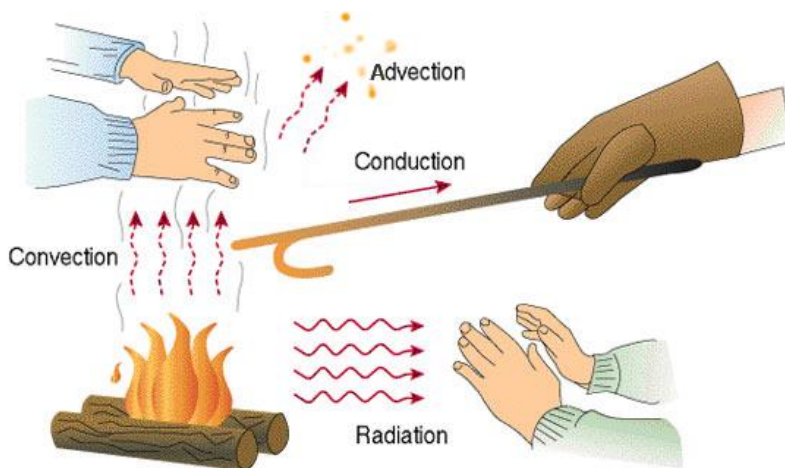
Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα για θερμική προστασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν έναντι έκθεσης σε ακραίες υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες, για τον μετριασμό των κινδύνων για την υγεία με μακροχρόνια έκθεση σε θερμοκρασίες εκτός των ανθρώπινων θερμοφυσιολογικών ορίων θερμοκρασίας ή για την αποφυγή δυσφορίας, συνήθως υπό έντονη σωματική δραστηριότητα. Οι κύριοι μηχανισμοί για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θερμικής προστασίας είναι η θερμομόνωση και η ρύθμιση της μεταφοράς θερμότητας. Τα προηγμένα και έξυπνα υλικά μπορεί να ενσωματώνουν αισθητήρες θερμοκρασίας καθώς και τρισδιάστατες δομές και ιδιότητες που αλλάζουν τα υφάσματα που ανταποκρίνονται σε διαφορετικές συνθήκες. Τα ρούχα που προστατεύουν από ακραίες θερμοκρασίες βασίζονται κυρίως σε μονωτικές ιδιότητες, με στόχο τη διατήρηση της θερμότητας του σώματος, που παράγεται από τη μεταβολική δραστηριότητα, από τη διαφυγή στο περιβάλλον ή την αποφυγή της περιβαλλοντικής θερμότητας να φτάσει στο σώμα.

Το ανθρώπινο σώμα παράγει θερμότητα μέσω της μεταβολικής δραστηριότητας και χρειάζεται να διατηρεί μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία $36,6 \pm 5$ °C. Ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος, οι άνθρωποι πρέπει να συγκρατούν ή να αποβάλλουν τη θερμότητα του σώματος. Η ζώνη άνεσης για τον άνθρωπο βρίσκεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 22 °C και 27 °C και σχετική υγρασία (RH) μεταξύ 40% και 60% [1]. Η εξέλιξη έχει στερήσει από το ανθρώπινο σώμα το προστατευτικό τρίχωμα, το οποίο λειτουργεί ως ρυθμιστής μεταφοράς θερμότητας για τα περισσότερα θηλαστικά. Αυτή η λειτουργία αντικαθίσταται λίγο πολύ με τη χρήση ενδυμάτων για την παγίδευση της θερμότητας του σώματος και την εφίδρωση για την εκκένωση της περίσσειας θερμότητας.



Εικόνα 5.1 Ζώνη άνεσης του ανθρώπινου σώματος. Centre for the Built Environment, University of California Berkeley, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να συμβεί κυρίως μέσω τριών μηχανισμών: θερμικής αγωγιμότητας, θερμικής μεταφοράς και θερμικής ακτινοβολίας. Η θερμική αγωγιμότητα συμβαίνει μεταξύ στερεών σωμάτων ή παγιδευμένων ρευστών που παραμένουν ακίνητα. Ο ρυθμός θερμότητας που μπορεί να μεταφερθεί με αγωγιμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση των υλικών. Τα μέταλλα έχουν πολύ υψηλή θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για υφάσματα έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Ο παγιδευμένος αέρας παρουσιάζει πολύ χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Έτσι τα περισσότερα μονωτικά υλικά χρησιμοποιούν αέρα παγιδευμένο σε φυσαλίδες ή μεταξύ ινών ως τον κύριο μηχανισμό για την απαγόρευση της μεταφοράς θερμότητας. Το νερό παρουσιάζει υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Έτσι, ένα βρεγμένο πανί δεν προστατεύει από χαμηλές θερμοκρασίες. Η θερμική μεταφορά συμβαίνει όταν η θερμότητα μεταφέρεται από τη ροή ενός ρευστού. Η μεταφορά θερμότητας με συμβατικό τρόπο μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική, όπως μπορεί να γνωρίζετε κανείς από την εμπειρία όταν χτυπιέται από ένα κρύο αεράκι ή όταν εισέρχεται σε ένα κτίριο που χρησιμοποιεί κεντρική θέρμανση. Η θερμική ακτινοβολία εμφανίζεται όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του σώματος που ακτινοβολεί και του περιβάλλοντος είναι υψηλή. Η θερμότητα από τον ήλιο φτάνει στη γη με ακτινοβολία, ο ίδιος είναι ο μηχανισμός για τη θερμότητα που αισθανόμαστε όταν αντιμετωπίζουμε μια φωτιά ή ένα καυτό μέταλλο. Ένας διαφορετικός τρόπος για να συμβεί η μεταφορά θερμότητας είναι η μετάβαση φάσης και ο βασικός ρόλος στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος παίζει η εξάτμιση του νερού. Όταν το νερό, είτε γλυκό νερό είτε ιδρώτας, εξατμίζεται, τα μόρια περνούν από υγρή σε αέρια κατάσταση και αυτό μειώνει τη θερμοκρασία του νερού που παραμένει σε επαφή με το σώμα, λειτουργώντας έτσι ως μηχανισμός ψύξης.



Εικόνα 5.2 Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας. Kmecfiunit, cmglee, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons



Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της θερμότητας που παράγεται από το μεταβολισμό και της θερμότητας που ανταλλάσσεται με το περιβάλλον. Η θερμότητα στις περισσότερες περιπτώσεις δεν μεταφέρεται με έναν μόνο μηχανισμό αλλά με συνδυασμό μηχανισμών που λειτουργούν σε σειρά ή παράλληλα. Ο σχεδιασμός κλωστοϋφαντουργικών ειδών και κουφωμάτων για θερμική προστασία απαιτεί κατανόηση τόσο των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας όσο και του μηχανισμού ρύθμισης της θερμότητας του ανθρώπινου σώματος, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες, σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες για τις οποίες θα χρησιμοποιηθούν τα φορετά είδη..

Εκτός από τη ρύθμιση της ροής θερμότητας, τα προηγμένα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν επίσης να ενσωματώνουν στοιχεία παραγωγής ή ψύξης θερμότητας που αλληλεπιδρούν ενεργά με την ισορροπία μεταφοράς θερμότητας προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία για το ανθρώπινο σώμα. Αυτές οι τεχνολογίες θα συζητηθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Μια άλλη σημαντική κατηγορία θερμοπροστατευτικών κλωστοϋφαντουργικών υλικών είναι τα μη φορετά, όπως μονωτικά πάνελ και ταπετσαρίες.

5.2 Προηγμένα υφάσματα για θερμομόνωση και ρύθμιση θερμότητας σώματος

Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα για θερμομόνωση στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα σε ένα κρύο περιβάλλον ή στη μείωση της μεταφοράς θερμότητας από ένα ζεστό περιβάλλον προς το σώμα, ενώ επιτρέπουν τη μεταφορά θερμότητας από το σώμα στο περιβάλλον.

Στην πρώτη περίπτωση, οι κύριοι μηχανισμοί προστασίας από το κρύο συνίστανται στη χρήση υλικών χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας (συνήθως με χρήση αέρα εγκλωβισμένου μεταξύ των ινών), εμποδίζοντας το νερό να βρέξει το ύφασμα και απαγορεύοντας τις ροές αέρα να φτάσουν στα εσωτερικά στρώματα, όπου αυτά θα μπορούσαν να προκαλέσουν εξάτμιση νερού από κοντά στο σώμα ή να αντικαταστήσουν την παγιδευμένη θερμότητα. Στην τελευταία περίπτωση, για προστασία από τη θερμότητα, επιθυμούνται και μονωτικές ιδιότητες, αλλά -ειδικά σε περίπτωση ρύθμισης της θερμότητας του σώματος- επιδιώκεται η γρήγορη εξάτμιση του νερού κοντά στο σώμα..

Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση υλικών και τεχνικών κατασκευής, τόσο στην παραγωγή νημάτων όσο και στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, για τη δημιουργία νέων προϊόντων. Η πρόσφατη βιβλιογραφία είναι πλούσια σε επιστημονικές δημοσιεύσεις που προτείνουν λύσεις χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις. Ο N. Khadse et al. [2] εκμεταλλεύεται τη διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής μεταξύ δύο υλικών, Hytrel® και Crastin®, για να παραγάγετε μια ίνα δύο συστατικών που καμπυλώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες παγιδεύοντας αέρα. Η ίνα παρήχθη με συν-εξώθηση/κλώση με τήξη και αρχικά αξιολογήθηκε για την παραγωγή μη υφασμένων επενδύσεων. Ο Y. Chen et al. ανέπτυξε μια φορητή μεμβράνη, βασισμένη σε ανακυκλωμένο πολυμερές PET, για τη ρύθμιση της μεταφοράς ιδρώτα και την ενίσχυση της θερμομόνωσης. Για το σκοπό αυτό



χρησιμοποίησαν διήθηση κενού και διασκορπισμό μαγνητρόν για να δημιουργήσουν μια μεμβράνη πολλαπλών στρωμάτων που ενσωματώνει νανοσωλήνες άνθρακα/νανοσύρματα οξειδίου του μαγγανίου (CNTs-MnO₂ nanowires) για τη ρύθμιση της μεταφοράς ιδρώτα και νανοσωματίδια αργύρου (Ag) για αυξημένες αντιβακτηριακές ιδιότητες. Ο Y. Xu et al. [4], εμπνεύστηκε από τα μαλλιά και τα φτερά των πολικών ζώων, χρησιμοποίησε υγρή κλώση σε μίγμα αιθανόλης/νερού/αμμωνίας για την ανάπτυξη βιομιμητικής ίνας με εσωτερικό κρυμμένο νανοπορώδες (HNPF) χρησιμοποιώντας αλγινικό οξύ/τεταρτοταγή χιτοζάνη ως πρόδρομες ουσίες. Με αυτόν τον τρόπο πέτυχαν να παράγουν μια ίνα με πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και βιομιμητικές ιδιότητες συλλογής ηλιακής ενέργειας για υφαντά υφάσματα για αντοχή στο κρύο. Ο L. Wang et al. [5], εμπνευσμένος από την ίδια τρίχα ζώων, παρήγαγε κοίλες πορώδεις σύνθετες ίνες θερμοπλαστικής πολυουρεθάνης (TPU)/πολυακρυλονιτριλίου (PAN) με υγρή περιδίνηση σε νερό.

5.3 Προηγμένα υφάσματα για πυροπροστασία

Η πυροπροστασία είναι μια ξεχωριστή περίπτωση στον εξοπλισμό θερμικής προστασίας λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της φωτιάς που μπορεί να αποδώσει πολύ μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας, να παράγει πολύ υψηλές θερμοκρασίες και να προκαλέσει γρήγορες οξειδωτικές αντιδράσεις, όταν ένα αντικείμενο «πυρπολείται». Έτσι, τα πυροπροστατευτικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θα πρέπει να διατηρούν ορισμένες ιδιότητες όπως, εξαιρετική θερμομόνωση, ανθεκτικότητα σε θερμικό σοκ και γρήγορη μεταφορά θερμότητας, σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, (π.χ. εύφλεκτα υγρά) ή όταν η θερμοκρασία αυξάνεται από ροές θερμών ρευστών ή ως αποτέλεσμα θερμικής ακτινοβολίας. Επίσης, τα πυροπροστατευτικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα δεν πρέπει να συντηρούν τη φωτιά και σε περίπτωση που αναφλεγούν, η φωτιά θα πρέπει να σβήνει από μόνη της.

Παραδοσιακά τα πυροπροστατευτικά υφάσματα κατασκευάζονταν από υφαντές ίνες αμιάντου και όταν έγινε κατανοητή η καρκινογόνος φύση του αμιάντου αντικαταστάθηκαν από άλλες ανόργανες ίνες όπως το υαλοβάμβακα και ο πετροβάμβακας, οι οποίες είναι επίσης τοξικές.

Ο J. Sullivan et al. [5] χρησιμοποιεί την ανισοτροπία της θερμικής αγωγιμότητας των νανοσωλήνων άνθρακα για να μοντελοποιήσει ένα ύφασμα που θα ήταν ανθεκτικό στη φλόγα και εξαιρετικά μονωτικό έναντι της θερμότητας που προέρχεται από κάθετη κατεύθυνση, αλλά ταυτόχρονα, αλλά σωστή ευθυγράμμιση των νανοσωλήνων άνθρακα, κατευθύνοντας τη θερμότητα που προέρχεται από τη φωτιά μακριά από το σώμα και προς το περιβάλλον, μειώνοντας τη θερμοκρασία του προστατευτικού υφάσματος. Ο G.M. Gonzalez et al. [6] δημιούργησε ημιδομημένα μη υφασμένα φύλλα παρα-αραμιδικών ινών, τα οποία παρουσιάζουν ιδιότητες μηχανικής και θερμικής προστασίας, λόγω της χρήσης συνεχών εξαιρετικά λεπτών ινών παρα-αραμιδίου που επιτυγχάνουν χαμηλή συμπαγή συμπαγή παρόμοια με ένα αερογέλη. Αυτό το νέο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προστατευτικό εξοπλισμό έναντι εκρηκτικών περιβαλλόντων. Η ανάγκη συνδυασμού ιδιοτήτων θερμικής προστασίας και ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης σε ένα ύφασμα, οδηγούν τον M. Li et al. [7] στην παραγωγή αγωγικών σύνθετων νανοϊνών αραμιδίου

για τη δημιουργία εξαιρετικά ελαφρών, εύκαμπτων αλλά στιβαρών υφασμάτων αερογέλης. Αυτό επιτεύχθηκε με την προσθήκη ναοσωλήνων άνθρακα και την ανάμιξη με μηχανική ανάδευση και υπερήχους του μίγματος προδρόμου για υγρή περιδίηση και ξήρανση με κατάψυξη. Έτσι παρήχθη ένα μικροπορώδες νήμα αποτελούμενο από αερογέλη ναοϊνών.

Τα αισθητήρια υφάσματα συχνά παρουσιάζουν κακή ελαστικότητα, περιορίζοντας τις πιθανές εφαρμογές τους. Ο S. Zou et al. [8] δημιούργησε ένα ανθεκτικό στη φλόγα τεντώσιμο ιεραρχικό νήμα για παρακολούθηση θερμοκρασίας και εφαρμογές αισθητήρα καταπόνησης. Το νήμα αποτελείται από τρία μέρη: έναν εύκαμπτο πυρήνα spandex που καλύπτεται από δύο στρώματα ινών αραμιδίου. Το εσωτερικό στρώμα είναι ένα αγωγίμο στρώμα από σύνθετες ίνες αραμιδίου/ναοσωλήνων άνθρακα και το εξωτερικό στρώμα είναι απλό αραμίδιο. Και τα δύο στρώματα ινών αραμιδίου παράγονται τυλίγοντας την ίνα γύρω από τον πυρήνα χρησιμοποιώντας κυλίνδρους τριβής. Η κάθετη κατεύθυνση των στρωμάτων ινών αραμιδίου, σε σχέση με τον πυρήνα spandex, επιτρέπει στο νήμα να είναι ελαστικό, ενώ ο αέρας που παγιδεύεται μεταξύ των ινών μειώνει τη μεταφορά θερμότητας και παρέχει μόνωση.

Μια διαφορετική προσέγγιση ακολούθησε ο L. Wang et al. [9] ο οποίος δημιούργησε ένα έξυπνο σύστημα υφασμάτων υφαινοντας ένα νήμα μνήμης σχήματος σε παρα-αραμιδικό ύφασμα. Το νήμα μνήμης σχήματος (κράμα νικελίου/τιτανίου) μπορεί να «εκπαιδευτεί» ώστε να μετατρέπεται από γραμμική σε ημιτονοειδή (κυματιστή) μορφή σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Το ύφασμα με μνήμη σχήματος μπορεί να εισαχθεί σε ένα σύστημα έξυπνου υφάσματος 2D πολλαπλών στρώσεων. Όταν επιτευχθεί η θερμοκρασία μετασχηματισμού σχήματος, το νήμα θα λυγίσει και θα καμπυλωθεί, δημιουργώντας μια τρισδιάστατη δομή με μεγάλες περιοχές αέρα και θα λειτουργήσει αποτελεσματικά ως φράγμα μεταφοράς θερμότητας.

5.4 Συμπεράσματα

Η τεχνολογία αιχμής χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό νέων ινών, νημάτων και υφασμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θερμική προστασία και άνεση. Ο οικολογικός σχεδιασμός, η χρήση ανακυκλωμένων και ανακυκλώσιμων υλικών, καθώς και η υποκατάσταση τοξικών και καρκινογόνων υλικών είναι ένα άλλο βασικό ζήτημα στην έρευνα και παραγωγή καινοτόμων προϊόντων. Παραδείγματα από πρόσφατη βιβλιογραφία που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο παρέχουν μια εικόνα των τάσεων στη χρήση υλικών, τις τεχνολογίες παραγωγής και το σχεδιασμό. Τόσο ο 2D όσο και ο τρισδιάστατος σχεδιασμός μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία προηγμένων φορετών προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα που παρέχουν προστασία και άνεση.

Πηγές

1. ASHRAE Standard 55-2004. "Thermal environmental conditions for human occupancy". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2004.
2. Khadse, N., et al. Temperature Responsive PBT Bicomponent Fibers for Dynamic Thermal Insulation.



Polymers (MDPI), 2022, 14, 2757.

3. Chen, Y., et al. Laminated PET-based membranes with sweat transportation and dual thermal insulation properties. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 450, 138177.
4. Xu, Y., et al. Gradient assembly of alginic acid/quaternary chitosan into biomimetic hidden nanoporous textiles for thermal management. *Carbohydrate Polymers*, 2023, 300, 120236.
5. Wang, L., et al. Large-scalable polar bear hair-like cellular hollow fibers with excellent thermal insulation and ductility. *J Appl Polym Sci.*, 2022, 139, e53018
6. Gonzalez, G. M., et al. Para-Aramid Fiber Sheets for Simultaneous Mechanical and Thermal Protection in Extreme Environments. *Matter*, 2020, 3, 742–758.
7. Li, M., et al. Ultralight aerogel textiles based on aramid nanofibers composites with excellent thermal insulation and electromagnetic shielding properties. *Composites Communications*, 2022, 35, 101346.
8. Zou, S., et al. Facile and scalable fabrication of stretchable flame-resistant yarn for temperature monitoring and strain sensing. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 450, 13846.
9. Wang, L., et al. Developing smart fabric systems with shape memory layer for improved thermal protection and thermal comfort. *Materials & Design*, 2022, 221, 110922.



Κεφάλαιο 6. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

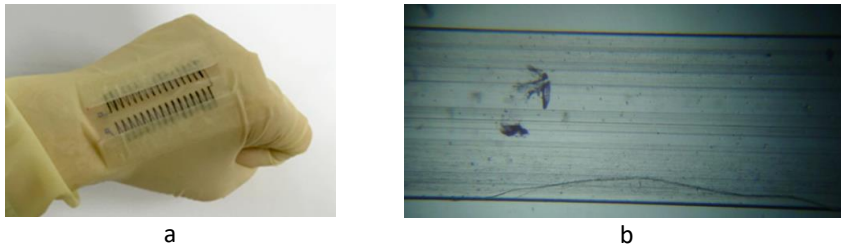
Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece

6.1 Εισαγωγή

Τα έξυπνα υφάσματα χρησιμοποιούν συχνά μικρές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούνται για τη λειτουργία των ενεργών αισθητήρων ή των ενεργοποιητών. Η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να προέρχεται από μπαταρίες που είναι συνδεδεμένες με το φορετό, αλλά η ενέργεια μπορεί επίσης να συλλέγεται από το περιβάλλον και να αποθηκευτεί σε εύκαμπτες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες και υπερπυκνωτές) ενσωματωμένες σε υφάσματα. Έτσι, υπάρχουν δύο βασικά θέματα στη διαχείριση της φορητής ενέργειας: η συλλογή ενέργειας και η αποθήκευση ενέργειας.

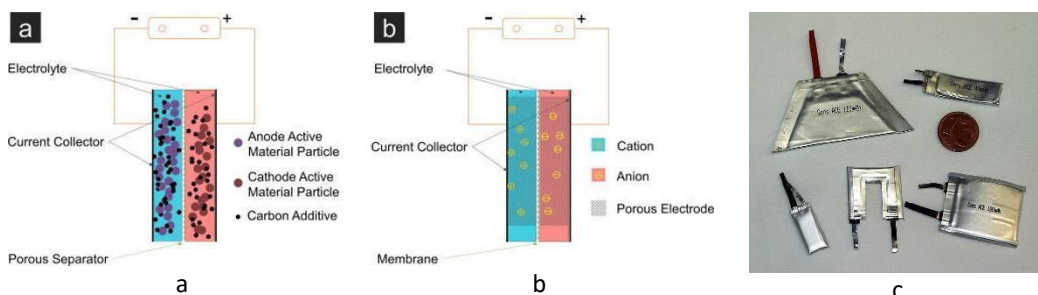
Μικρές ποσότητες ενέργειας μπορεί να προέρχονται από το περιβάλλον και να είναι διαθέσιμες για αποθήκευση και χρήση. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται συχνά συγκομιδή ενέργειας. Οι πηγές ενέργειας του περιβάλλοντος για φορετά μπορεί να είναι η ηλιακή ακτινοβολία, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, η κινητική ενέργεια μέσω της κίνησης ενός ατόμου που φοράει το έξυπνο ύφασμα ή η δυναμική ενέργεια που παράγεται από την πίεση καθώς και πολλές άλλες. Συνήθως όλες αυτές οι πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανική κλίμακα είναι δυνατή μόνο με τη χρήση λίγων επεκτάσιμων τεχνολογιών, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας μπορεί να εκμεταλλευτεί πολλά περισσότερα φαινόμενα και τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας. Μερικές πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συλλογή ενέργειας μικρής κλίμακας και οι σχετικές τεχνολογίες παρατίθενται παρακάτω:

- Ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από εύκαμπτα φωτοβολταϊκά (PV). Η ηλιακή ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή θερμικής ενέργειας.
- Δυναμική ενέργεια που συλλέγεται από πιεζοηλεκτρικές ίνες και πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες (PEG) που εκμεταλλεύονται την κάμψη και το τέντωμα του υφάσματος, την πίεση που ασκείται κατά τη χρήση ή τους κραδασμούς.
- Οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες (TEG) παράγουν ηλεκτρισμό εκμεταλλευόμενοι τις διαβαθμίσεις θερμοκρασίας που μπορεί να προέρχονται από τη θερμότητα του σώματος, πηγές ακτινοβολίας κ.λπ..
- Η κινητική ενέργεια μπορεί να συλλέγεται από μαγνήτες για την επαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή από τριβοηλεκτρικούς νανογεννήτριες (TENG).
- Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορεί επίσης να αλληλεπιδράσουν με ειδικές κεραίες και να προκαλέσουν ηλεκτρισμό.



Εικόνα 6.1 a – PEDOT: Θερμοηλεκτρική γεννήτρια PSS ενσωματωμένη σε γάντι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμότητα του ανθρώπινου σώματος. Eun Jin Bae et al., CC BY 4.0, via Wikimedia Commons; b – PVDF Piezoelectric ribbon yarn (2.5x). Ptosky, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

Μόλις συγκομιστεί και μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, η ενέργεια θα πρέπει είτε να χρησιμοποιείται από συσκευές όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές είτε να αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Για τους σκοπούς των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και φορητών ειδών, αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ηλεκτρικές συσκευές αποθήκευσης όπως μπαταρίες και υπερπυκνωτές. Οι μπαταρίες και ορισμένοι τύποι υπερπυκνωτών φορτίζονται μετατρέποντας την ηλεκτρική σε χημική ενέργεια, η οποία γίνεται και πάλι διαθέσιμη ως ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις είναι χημικοί μετασχηματισμοί που περιλαμβάνουν την ανταλλαγή ιόντων μεταξύ δύο υλικών, της ανόδου και της καθόδου, μέσω ενός αγώγιμου μέσου που ονομάζεται ηλεκτρολύτης. Όταν οι δύο πόλοι, η άνοδος και η κάθοδος συνδέονται μέσω ενός αγώγιμου υλικού ηλεκτρονίων (π.χ. μεταλλικό σύρμα, ίνες νανοσωλήνων άνθρακα, αγώγιμο νήμα) τότε, ως αποτέλεσμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης, το αγώγιμο υλικό λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Όταν το κύκλωμα αγώγιμου ηλεκτρονίου κόβεται, η ηλεκτροχημική αντίδραση σταματά και η ενέργεια παραμένει αποθηκευμένη. Άλλοι τύποι υπερπυκνωτών αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτροστατικής δυναμικής ενέργειας ή εκμεταλλεύονται τόσο τους ηλεκτροστατικούς όσο και τους ηλεκτροχημικούς μηχανισμούς. Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση των τεχνολογιών μπαταριών και υπερπυκνωτών μπορεί να βρεθεί στο [1].



Εικόνα 6.2 a-b – Σχηματική απεικόνιση (α) μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου και (β) ενός υπερπυκνωτή. Zhaoxiang Qi, Gary M. Koenig Jr [1], CC-BY 4.0; c – Αρκετές Gens ACE LiPo-Batterypacks σε διαφορετικά μεγέθη, σχέδια και χωρητικότητα, που θεωρούνται ότι τροφοδοτούν φορητές συσκευές υπολογιστών, που κατασκευάζονται από την GREPOW Battery Co., Ltd. Thomas Springer, CCO, via Wikimedia Commons

Σε ορισμένες περιπτώσεις, η ενέργεια δεν αποθηκεύεται ή χρησιμοποιείται με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά με τη μορφή χημικής και θερμικής ενέργειας. Οι εξώθερμες ή ενδόθερμες χημικές αντιδράσεις χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή ψύξη, αντίστοιχα, χωρίς να περιλαμβάνουν ηλεκτροχημικές αντιδράσεις όπως στις συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι επόμενες δύο συνεδρίες στοχεύουν να παρουσιάσουν μια υποδειγματική περίπτωση από την πρόσφατη βιβλιογραφία σχετικά με την πρόοδο του υλικού για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα συλλογής ενέργειας και την αποθήκευση ενέργειας σε φορητές συσκευές.

6.2 Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα συγκομιδής ενέργειας

Έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές τεχνολογίες για την προσθήκη φωτοβολταϊκών σε φορητά. Η απλούστερη λύση είναι να προσθέσετε αποσπώμενα κοινά φωτοβολταϊκά πάνελ (και μπαταρίες) σε υφάσματα και να χρησιμοποιήσετε την ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας ή για την παραγωγή φωτός. Ενώ τέτοιες εφαρμογές μπορούν να αποτελέσουν λύση όταν χρειάζονται μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα καθώς προσθέτουν βάρος στο ύφασμα, είναι άκαμπτες και άβολες, μπορούν εύκολα να καταστραφούν και δεν μπορούν να πλυθούν όπως τα κανονικά ρούχα. Η πρόσφατη έρευνα επικεντρώνεται στα εύκαμπτα φωτοβολταϊκά που είτε προσκολλώνται στα υφάσματα είτε ακόμη και στην ανάπτυξη ινών με ιδιότητες φωτοβολταϊκών. Παρουσιάζονται τρία διαφορετικά παραδείγματα από πρόσφατη βιβλιογραφία. Οι T.M Bandara, J.M. Hansadi and F. Bella [2] δημοσίευσε πρόσφατα ένα άρθρο ανασκόπησης σχετικά με τα ευαίσθητοποιημένα σε χρωστικές ύφασμα ηλιακά κύτταρα (DSSCs) για φορητά ηλεκτρονικά. Τα DSSC συνήθως περιλαμβάνουν μια διαφανή άνοδο κατασκευασμένη από γυαλί οξειδίου του κασσιτέρου ινδίου/φθορίου (ITO/FTO), πορώδες μέσο που περιέχει τη βαφή μεταφοράς φορτίου και μια αγώγιμη κάθοδο για τη συλλογή ηλεκτρονίων [3] που μπορεί να περιλαμβάνει νανοσωλήνες άνθρακα. Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα DSSC είναι ελαφριά, εύκαμπτα, άνετα και επεκτάσιμα για βιομηχανική παραγωγή. Τα κλωστοϋφαντουργικά DSSC μπορούν να κατασκευαστούν είτε ως νήματα είτε να αναπτυχθούν σε υφάσματα. Ο E.N. Güler et al. κάνουν χρήση διαφορετικού τύπου εύκαμπτων Φ/Β, οργανικών φωτοβολταϊκών (OPV) [4]. Το OPV παρέχει μια εξαιρετικά ευέλικτη και πολύ αποτελεσματική (ως αναλογία παραγόμενης ισχύος ανά μάζα) λύση συλλογής ενέργειας για κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, έχοντας ως μειονέκτημα ότι τείνουν να οξειδώνονται υπό την περιβαλλοντική έκθεση (ηλιακή ακτινοβολία UV, έκθεση στον ιδρώτα είναι δύο κοινά οξειδωτικά περιβάλλοντα). Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στην εναπόθεση των διαφορετικών στρωμάτων που περιλαμβάνουν το σύστημα OPV απευθείας σε μια μεμβράνη φραγμού, αποφεύγοντας την ενθυλάκωση σάντουιτς που χρησιμοποιείται κυρίως για την προστασία του OPV από την οξείδωση. Οι I. Borazan, A.C. Bedeloglu and A. Demir, προτείνουν μια λύση που βασίζεται σε ένα ύφασμα πλέγματος από ανοξειδωτο χάλυβα [5], χρησιμοποιώντας τεχνικές που είναι κοινές στη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας, όπως η επίστρωση με εμβάπτιση. Αυτό το προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για wearables αλλά και ως ύφασμα σε κατασκευές με πολύπλοκη γεωμετρία.

Καινοτόμες λύσεις που χρησιμοποιούν τεχνολογίες PEG, TEG και TENG για τη συλλογή ενέργειας προτείνονται επίσης από έρευνα αιχμής. Ο L. Veeramuthu et al. [6] ανέπτυξε μια νανοπιεζοηλεκτρική γεννήτρια με ενισχυμένη αγωγή ινα (ERCF) που είναι φθηνή και μη τοξική. Η συλλογή ενέργειας καθίσταται δυνατή χάρη στην επίτευξη υψηλής τάξης ευθυγράμμισης για τις νανοϊνες κατά την παραγωγή, η οποία επιτρέπει τη συλλογή ηλεκτρονίων από την άνοδο και την κάθοδο της γεννήτριας. Ο U. Zubair [7] προτείνει την τροφοδοσία ενεργών αισθητήρων συλλέγοντας ενέργεια από μια πιεζοηλεκτρική νανοςύνθετη επιστρωση που αποτελείται από νανοσωματίδια οξειδίου ψευδαργύρου διασκορπισμένα σε συνδετικό πολυβινυλιδενοφθοριδίου (PVDF) που εφαρμόζεται σε υφάσματα. Ο R. Bagherzadeh et al. [8] συνοψίζει τις προόδους στις νανογεννήτριες PENG και TENG για χρήση σε έξυπνα και αισθητηριακά φορετά.

6.3 Αποθήκευση ενέργειας στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα

Τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν χρησιμοποιηθεί από τους K. Jain et al. [9] για την τροποποίηση ινών κυτταρίνης χρησιμοποιώντας μελάνι πολυ(3,4-αιθυλενο διοξυθειοφαίνιο) πολυ(στυρολοσουλφονικό) (PEDOT:PPS). Οι συγγραφείς απέδειξαν ότι αυτές οι εύκολες στην κατασκευή τρισδιάστατες εκτυπώσεις επιδεικνύουν ιδιότητες υπερπυκνωτών. Ο Y. Liang et al. [10] ανέπτυξε εύκαμπτους υπερπυκνωτές με την ενσωμάτωση ενός πλαισίου ζεολιθικού ιμιδαζολικού σε πολυμερή νήματα τροποποιημένα από νανοσωλήνες άνθρακα που αναπτύχθηκαν με χημική εναπόθεση ατμών (CVD) και πλεκτά. Η λιθογραφία χρησιμοποιήθηκε από τους Y. Rao et al. [11] για τη δημιουργία μικρο-υπερπυκνωτών με βάση το γραφένιο με γραφή με λέιζερ σε ύφασμα Kenlar. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ανάπτυξη πολύπλοκων ηλεκτρονικών συσκευών σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας για φορητές μικροηλεκτρονικές συνοψίζεται σε ένα πρόσφατο άρθρο ανασκόπησης από τους X. Xiao et al. [12]. Αυτή η ανασκόπηση υπογραμμίζει επίσης τους υπερσύγχρονους, υπάρχοντες περιορισμούς στην τεχνολογία και τις μελλοντικές τάσεις. Οι A. H. Khadem et al. [13] επικεντρώνονται στην αναθεώρησή τους στις εφαρμογές του γραφενίου για την ανάπτυξη κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων για εφαρμογές υπερπυκνωτών, καθώς η τεχνολογία 2D άνθρακα μπορεί να ενισχύσει την απόδοση των εύκαμπτων συσκευών αποθήκευσης ενέργειας.

Ένας διαφορετικός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας είναι η αξιοποίηση της άμεσης μετατροπής της χημικής ενέργειας σε θερμική ενέργεια (και αντίστροφα) μέσω εξώθερμων και ενδόθερμων χημικών αντιδράσεων ή φαινομένων αλλαγής φάσης. Τα στρώματα ψύξης είναι μια ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή που εκμεταλλεύεται τις ενδόθερμες αντιδράσεις που σχετίζονται με το νερό που απελευθερώνεται από τα ενυδατωμένα άλατα, που συμβαίνουν σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Η χρήση υλικού αλλαγής φάσης σε νήματα ή υφάσματα για εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης στην κλωστοϋφαντουργία συζητείται ως ξεχωριστό πεδίο εφαρμογής στο K.A.R. Ο Ismail et al. άρθρο κριτικής [14]



6.4 Συμπεράσματα

Οι πρόοδοι στην τεχνολογία υλικών που σχετίζονται με διάφορους μηχανισμούς συλλογής ενέργειας και αποθήκευσης ενέργειας, επιτρέπουν την ανάπτυξη έξυπνων και αισθητηριακών υφασμάτων που ενσωματώνουν συσκευές που καταναλώνουν ενέργεια. Η σύνδεση πηγών ισχύος σε φορητές συσκευές μέσω αποσπώμενου εξοπλισμού που προσκολλάται απλώς σε ένα κατά τα άλλα συμβατικό ύφασμα οδηγεί γρήγορα στην ανάπτυξη ευέλικτων, ανθεκτικών και αποτελεσματικών συσκευών συλλογής και αποθήκευσης ενέργειας που είναι εγγενώς ενσωματωμένες μέσα ή πάνω στα υφάσματα ή ακόμη και στα νήματα που μπορεί να είναι πλεκτό ή υφαντό.

Πηγές

1. Zhaoxiang, Q., Gary, M., Koenig, J. Review Article: Flow battery systems with solid electroactive materials. *Journal of Vacuum Science & Technology*, 2017, B 35, 040801.
2. Bandara, T.M., Hansadi, J.M., Bella, F. A review of textile dye-sensitized solar cells for wearable electronics. *Ionics*, 2022, 28, p.p. 2563-2583.
3. Sharma, S., et al. Dye sensitized solar cells: From genesis to recent drifts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 70, p. p. 529-537.
4. Güler, E.N., et al. Fully solution-processed, light-weight, and ultraflexible organic solar cells. *Flexible and Printed Electronics*, 2022, 7, 025003.
5. Borazan, I., Bedeloglu, A.C., Demir, A. A photovoltaic textile design with a stainless steel mesh fabric. *Journal of Industrial Textiles*, 2022, 51(10), p.p. 1527-1538.
6. Veeramuthu, L., et al. Muscle fibers inspired electrospun nanostructures reinforced conductive fibers for smart wearable optoelectronics and energy generators. *Nano Energy*, 2022, 107592.
7. Zubair, U., et al. Multifunctional knit fabrics for self-powered sensing through nanocomposites coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 2023, 293, 126951.
8. Bagherzadeh R., et al. Wearable and flexible electrodes in nanogenerators for energy harvesting, tactile sensors, and electronic textiles: novel materials, recent advances, and future perspectives. *Materials Today Sustainability*, 2022, 20, 100233.
9. Jain, K., et al. 3D printable composites of modified cellulose fibers and conductive polymers and their use in wearable electronics. *Applied Materials Today*, 2023, 30, 101703.
10. Liang, Y., et al. Deposition of ZIF-67 and polypyrrole on current collector knitted from carbon nanotube-wrapped polymer yarns as a high-performance electrode for flexible supercapacitors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 631, p.p. 77-85.
11. Rao, Y., et al. Laser-scribed phosphorus-doped graphene derived from Kevlar textile for enhanced wearable micro-supercapacitor. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 630, p.p. 586-594.
12. Xiao, X., et al. Advances in solid-state fiber batteries for wearable bioelectronics. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2022, 26, 101042.
13. Khadem, A.H., et al. Fabrication, properties, and performance of graphene-based textile fabrics for supercapacitor applications: A review. *Journal of energy storage*, 2022, 56, 105988.
14. Ismail, K.A.R., et al. New potential applications of phase change materials: A review. *Journal of energy storage*, 2022, 53, 105202.

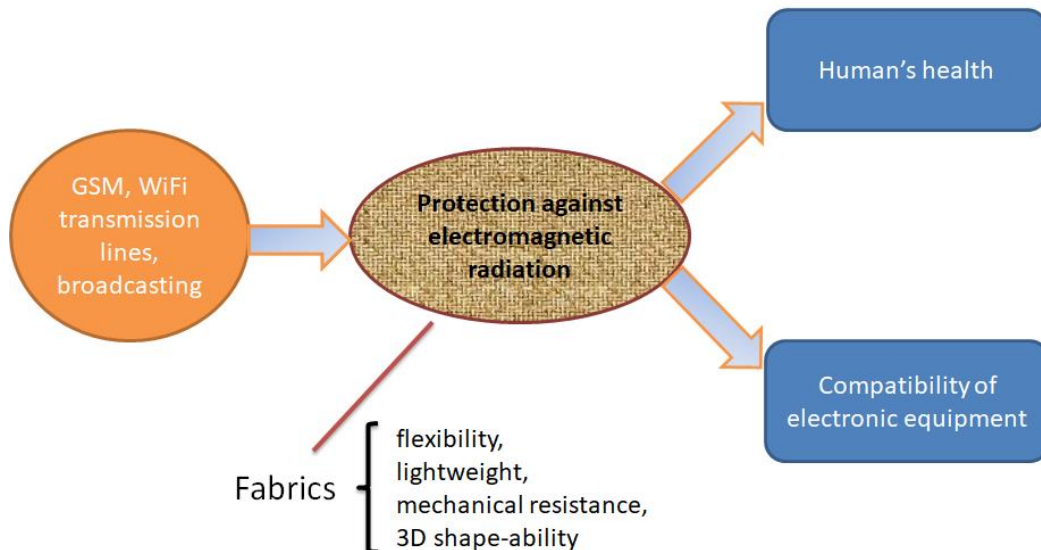
Κεφάλαιο 7. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ

Razvan Radulescu and Raluca Aileni, INCDTP, Bucharest, Romania

7.1 Εισαγωγή

Αυτή η ενότητα προορίζεται να περιγράψει την κατασκευή και χρήση υφασμάτων για ηλεκτρομαγνητική θωράκιση (EM). Μια πρώτη σημαντική ιδιότητα αυτών των υφασμάτων είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα [1]. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες σχετίζονται με τη θωράκιση του ηλεκτρομαγνητικού συστήματος και άλλες ιδιότητες, όπως: αναπνοή, αντιμικροβιακός χαρακτήρας, μηχανική αντοχή, ικανότητα πλύσης [2-6].

Ως κύρια εφαρμογή, τα υφάσματα με ηλεκτροαγωγιμότητα μπορούν να θωρακίσουν την ακτινοβολία EM σύμφωνα με την αρχή του κλωβού Faraday, προκαλώντας διανορεύματα με αντίθετη κατεύθυνση από το προσπίπτον πεδίο EM και επομένως με ένα φαινόμενο εξασθένησης [7]. Η προστασία από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι σημαντική στις μέρες μας, λόγω των διαφόρων πηγών ρύπανσης HM: GSM, WiFi, γραμμές μετάδοσης ρεύματος, εκπομπή κ.λπ.. Μια τέτοια ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους, σύμφωνα με αρκετές μελέτες [8-9] και επίσης παρεμβολές με άλλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, που θα πρέπει να αποφεύγονται σύμφωνα με τις αρχές προστασίας της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας [7]. Τα υφάσματα έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις κλασικές μεταλλικές ασπίδες, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.1.

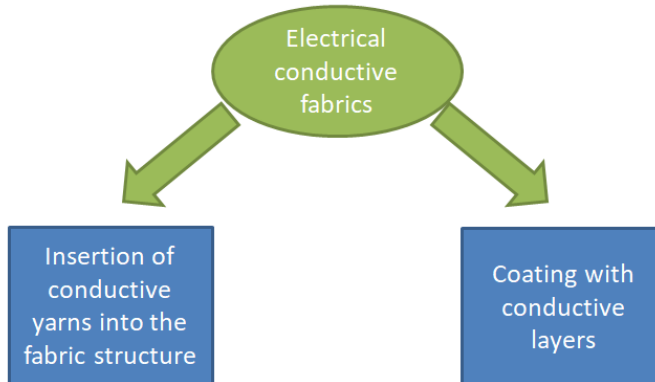


Εικόνα 7.1 Εφαρμογή υφασμάτων για θωράκιση EMI - σκεπτικό

Οι κύριες εγγενείς ιδιότητες των κλωστοϋφαντουργικών υφασμάτων διατηρούνται στη διαδικασία παροχής ηλεκτρικών αγώγιμων ιδιοτήτων: ευελιξία, ελαφρύ, μηχανική αντίσταση και ικανότητα 3D σχήματος [10].

7.2 Κατασκευή ηλεκτρικών αγώγιμων υφασμάτων για θωράκιση EMI

Δύο κύριες τεχνολογίες μπορούν να διακριθούν στην κατασκευή ηλεκτροαγώγιμων υφασμάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.2.



Εικόνα 7.2 Κύριες τεχνολογίες για την παροχή αγώγιμων ιδιοτήτων στα υφάσματα

Οι δύο κύριες μέθοδοι περιλαμβάνουν:

- Εισαγωγή ηλεκτρικά αγώγιμων νημάτων στη δομή του υφάσματος (υφαντό, πλεκτό, μη υφασμένο ύφασμα) – Οι εικόνες 7.3 και 7.4 παρουσιάζουν τον αργαλειό ύφανσης και τη δοκό στημονιού για την προετοιμασία υφαντών με μεταλλικά νήματα;



Εικόνα 7.3 SOMET αργαλειός ύφανσης για την εισαγωγή μεταλλικών νημάτων SC Majutex SRL



Εικόνα 7.4 Δοκός στημονιού για την εισαγωγή μεταλλικών νημάτων στη δομή στημονιού



- Επικάλυψη με ηλεκτρικά αγώγιμα στρώματα (PECVD, magnetron, ψεκασμός κ.λπ.)
 - Οι εικόνες 7.5 και 7.6 παρουσιάζουν εξοπλισμό πλάσματος για την επίστρωση των υφασμάτων με λεπτές μεταλλικές στρώσεις.



Εικόνα 7.5 Εξοπλισμός πλάσματος χαμηλής πίεσης INCDTP

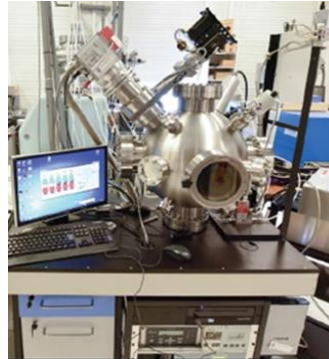


Figure 7.6 Εξοπλισμός πλάσματος sputtering Magnetron της INFLPR

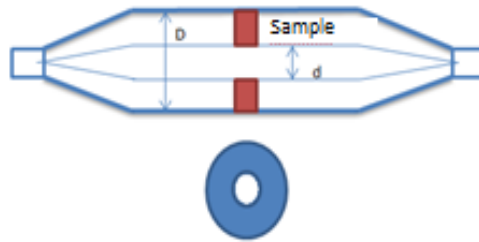
Αρχικά, πρέπει να παράγουμε τα υφάσματα θωράκισης EM, στη συνέχεια πρέπει να μετρήσουμε την κύρια λειτουργικότητά τους σύμφωνα με την εφαρμογή: την αποτελεσματικότητα θωράκισης.

7.3 Μέθοδοι μέτρησης της αποτελεσματικότητας θωράκισης HM των υφασμάτων ωσπίδων

Η αποτελεσματικότητα της ηλεκτρομαγνητικής θωράκισης (EMSE) ορίζεται από την αναλογία μεταξύ της ισχύος του προσπίπτοντος σήματος και του μεταδιδόμενου σήματος και εκφράζεται σε ντεσιμπέλ [dB]. Το EMSE ορίζεται ως:

$$EMSE = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{ισχύς σήματος πρόσπτωσης}}{\text{ισχύς του μεταδιδόμενου σήματος}} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

Μία από τις πιο βολικές μεθόδους για τη μέτρηση του EMSE είναι μέσω του Εγκάρσιου-Ηλεκτρο-Μαγνητικού στοιχείου ή του κυττάρου TEM. Η αρχή της δοκιμής είναι η μέτρηση του ηλεκτρικού σήματος με και χωρίς δείγμα και ο υπολογισμός του λόγου σύμφωνα με τη σχέση (1). Η κυψέλη TEM έχει σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-E507 την ακόλουθη κατασκευή – Εικόνα 7.7 [11]. Μια γεννήτρια ισχύος δημιουργεί το ηλεκτρικό σήμα και ένας ενισχυτής ενισχύει το σήμα που εισάγεται σε μία σύνδεση της κυψέλης TEM. Το δείγμα κλωστοϋφαντουργίας έχει μια προστατευτική επίδραση στο σήμα, η οποία μετράται από έναν αναλυτή δικτύου ή παλμογράφο στην άλλη σύνδεση της κυψέλης TEM. Το δείγμα υφασμάτων για δοκιμή έχει σχήμα ροδέλας, ώστε να ταιριάζει στην εσωτερική και εξωτερική διάμετρο της κυψέλης TEM ($d = 30 \text{ mm}$; $D = 100 \text{ mm}$).



Εικόνα 7.7 Κυψέλη TEM σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-ES07

Δύο τύποι δειγμάτων υφασμάτων παρουσιάζονται στην εκπαιδευτική μας ενότητα. Το πρώτο δείγμα είναι ένα υφαντό ύφασμα με ένθετα ασημένια νήματα σε στημόνι και υφάδι σε βαμβακερό υπόστρωμα. Η απόσταση μεταξύ των νημάτων από ασήμι είναι 5 mm και το ύφασμα έχει ειδική μάζα 118 g/m² (Εικόνα 7.8). Το ίδιο ύφασμα επικαλύφθηκε σε πλάσμα μαγνητρόν με ένα στρώμα χαλκού 1200 nm και στις δύο πλευρές (Εικόνα 7.9). Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, και τα δύο δείγματα προετοιμάστηκαν σε σχήμα ροδέλας για μέτρηση μέσω κυψέλης TEM.

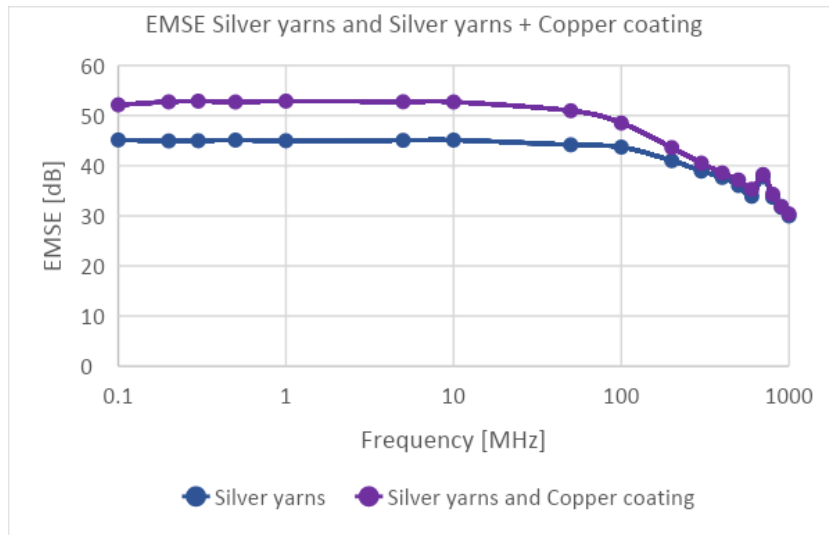


Εικόνα 7.8 Δείγμα F1 για κυψέλη TEM: υφαντό ύφασμα με ένθετα αγωγίμα νήματα από ασήμι



Εικόνα 7.9 Δείγμα F2 για κυψέλη TEM: υφαντό ύφασμα με ένθετα αγωγίμα νήματα από ασήμι και επίστρωση πλάσματος με χαλκό.

Το EMSE μετρήθηκε σε dB σύμφωνα με το (1) στην περιοχή συχνοτήτων 0,1-1000 MHz. Η εικόνα 7.10 παρουσιάζει τις τιμές EMSE σε λογαριθμική κλίμακα για τη συχνότητα σε MHz. Το EMSE έχει τιμές 44-45 dB για το ύφασμα με ασημένια νήματα και 50-53 dB για το ύφασμα με ασημένια νήματα και επίστρωση χαλκού, για το εύρος συχνοτήτων 0,1-100 MHz. Μια ελαφρά μείωση των τιμών EMSE μετρήθηκε για το εύρος συχνοτήτων 100-1000 MHz, λόγω του ηλεκτρικού παχύ υλικού, όπου το πάχος του δείγματος >> βάθος δέρματος και η εμφάνιση υψηλότερων τρόπων μετάδοσης στην ομοαξονική κυψέλη TEM. Αυτές οι υψηλότερες λειτουργίες μετάδοσης υπερκαλύπτουν την κύρια λειτουργία μετάδοσης και μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα της μέτρησης [12].



Εικόνα 7.10 Αποτελέσματα EMSE και των δύο δειγμάτων υφάσματος

7.4 Συμπεράσματα

Τα κλωστοϋφαντουργικά υφάσματα έφτασαν τα τελευταία 20 χρόνια πρόσθετες εφαρμογές σε προϊόντα ένδυσης, που ονομάζονται τεχνικά υφάσματα. Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι η θωράκιση της ακτινοβολίας ΗΜ, σύμφωνα με τις αρχές της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας (EMC). Η κύρια ιδιότητα των υφασμάτων θωράκισης είναι η ηλεκτροαγωγιμότητα, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία δινορευμάτων με εφέ θωράκισης σύμφωνα με την αρχή του κλωβού Faraday. Οι σύγχρονες τεχνολογίες κλώσης και επίστρωσης έχουν επιτρέψει την κατασκευή μεταλλικών νημάτων και την επίστρωση με μεταλλικές στρώσεις. Αυτές οι νέες τεχνολογίες είχαν ως αποτέλεσμα την κατασκευή υφασμάτων με ένθετα μεταλλικά νήματα στη δομή (υφασμένα, πλεκτά και μη υφασμένα υφάσματα) ή στην επίστρωση των υφασμάτων με μεταλλικά στρώματα (PECVD, magnetron, ψεκασμός). Μετά την κατασκευή των ηλεκτροαγωγίμων υφασμάτων, μια επόμενη σκέψη σχετίζεται με τη μέτρηση της κύριας λειτουργικότητάς τους, την αποτελεσματικότητα θωράκισης ΗΜ (EMSE). Μία από τις απλούστερες μεθόδους δοκιμής είναι μέσω της εγκάρσιας ηλεκτρικής-μαγνητικής κυψέλης (TEM) σύμφωνα με το πρότυπο ASTM ES-07. Τα αποτελέσματα EMSE δείχνουν αύξηση 5-8 dB για το ύφασμα με επικάλυψη πλάσματος στο εύρος συχνοτήτων 0,1-1000 MHz.

Πηγές

1. Ziaja, J., Jaroszewski, M. EMI shielding using composite materials with plasma layers. In Electromagnetic Waves. InTechOpen: London, UK, 2011.
2. Mengwei, D., et al. A green approach to preparing hydrophobic, electrically conductive textiles based on waterborne polyurethane for electromagnetic interference shielding with low reflectivity. *Chemical Engineering Journal*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127749>



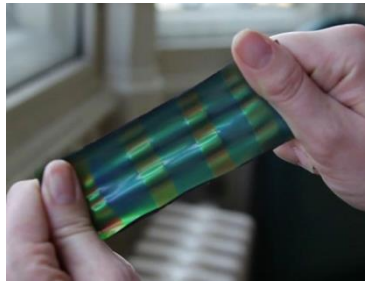
3. Qiongzhen, L., et al. Flexible, breathable, and highly environmental-stable Ni/PPy/PET conductive fabrics for efficient electromagnetic interference shielding and wearable textile antennas. *Composites Part B*, 2021, 215, 108752.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108752>
4. Zhang, X., Qingwen, Li, et al. Developing thermal regulating and electromagnetic shielding textiles using ultra-thin carbon nanotube films. *Composites Communications* 21, 2020, 100409.
<https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100409>
5. Pakdel, E., Xungai, W., et al. Advances in photocatalytic self-cleaning, superhydrophobic and electromagnetic interference shielding textile treatments. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2020, 277, 102116. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102116>
6. Cortez, J., et al. Sintering of nanoscale silver coated textiles, a new approach to attain conductive fabrics for electromagnetic shielding. *Materials Chemistry and Physics*, 2014, 147, 815e822.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.06.025>
7. Schwab, A., Kuerner, W. Electromagnetic compatibility. AGIR publishing house, 2013.
8. Community research: Health and electromagnetic fields, EU-funded research into the impact of electromagnetic fields and mobile telephones on health, 2005
9. World Health Organization (WHO): Radiation: Electromagnetic fields - Questions and Answers. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-electromagnetic-fields> , 2015, Accessed 19.04.2022
10. The Handbook of the Textile Engineer, AGIR publishing house, 2005
11. Standard ASTM ES-07, https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/astm-es-7-1983-154532_saig_astm_astm_371798/ , Accessed 19.04.2022
12. Bădic, M., Marinescu, M-J. The Failure of Coaxial TEM Cells ASTM Standards Methods in H.F. Range. *IEEE Xplore*, 2002, DOI: 10.1109/ISEMC.2002.1032442

Κεφάλαιο 8. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΑΣΗΣ

Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, "Gheorghe Asachi" Technical University, Romania

8.1 Εισαγωγή

Όταν μια υφαντική δομή είναι ικανή να ανιχνεύει ερεθίσματα, να αντιδρά και να προσαρμόζεται σε αυτά, τότε αυτό γίνεται ένα προηγμένο ύφασμα. Τα προηγμένα υλικά μπορούν να τροποποιήσουν ή να προσαρμόσουν τις ιδιότητές τους ως απόκριση σε εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. ηλεκτροαγωγιμότητα υλικά, υλικά ικανά να αλλάξουν χρώμα (Εικόνα 8.1) [1], υλικά που μπορούν να αποθηκεύσουν το σχήμα, υλικά που μπορούν να επιστρέψουν στο προηγούμενο σχήμα υπό την επίδραση θερμικών παραγόντων, υλικά κατασκευασμένα από υφάσματα με επιβραδυντικές ή υδρόφοβες επεξεργασίες).

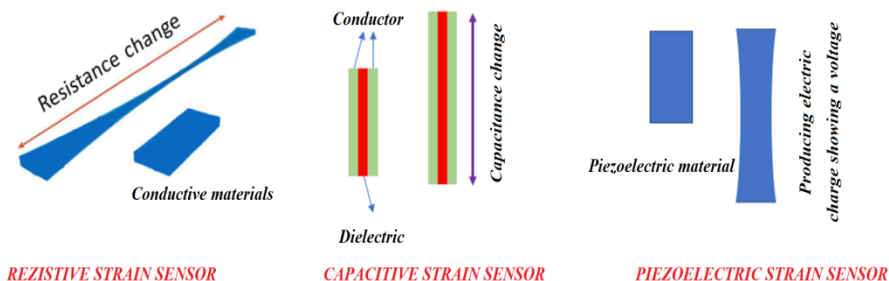


Εικόνα 8.1 Έξυπνα υλικά που αλλάζουν χρώμα [1]

Μια νέα γενιά συσκευών που συνδυάζουν την ικανότητα ανίχνευσης καταπόνησης με μια δυνατότητα φορητότητας και οι οποίες έχουν υψηλή ικανότητα ελαστικότητας [2], είναι αισθητήρες παραμόρφωσης υφάσματος.

8.2 Ταξινόμηση αισθητήρων

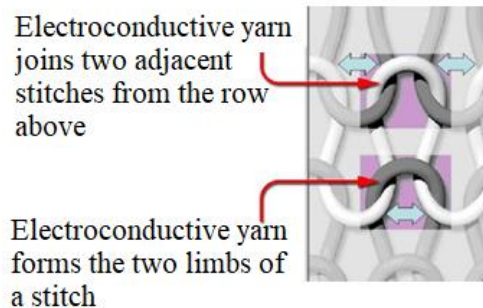
Στην εικόνα 8.2 [2] παρουσιάζονται πολλοί τύποι αισθητήρων παραμόρφωσης με βάση το ύφασμα.



Εικόνα 8.2 Ταξινόμηση αισθητήρων παραμόρφωσης

Από την εικόνα 8.2 φαίνεται ότι υπάρχουν τρεις κατηγορίες αισθητήρων:

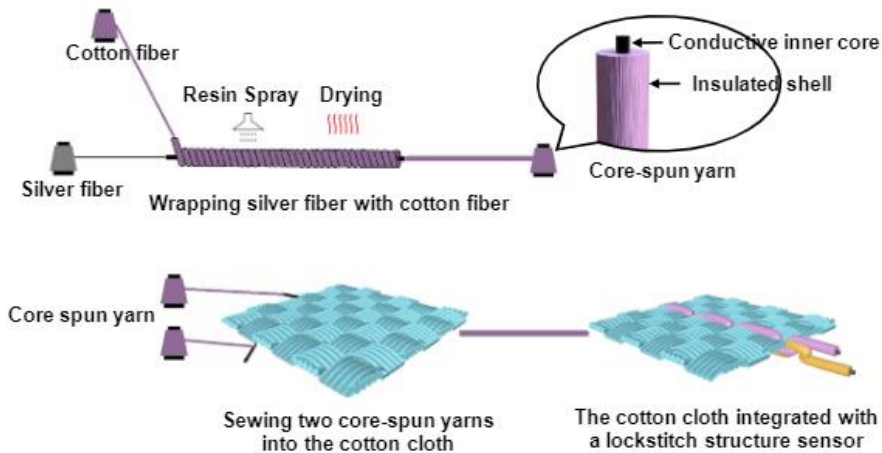
- **Αισθητήρες παραμόρφωσης ωμικής αντίστασης** (αποτελούνται από ενεργά υλικά και ένα εύκαμπτο υπόστρωμα [6]) το οποίο μετά την εφαρμοζόμενη παραμόρφωση έχει ως αποτέλεσμα αλλαγή ηλεκτρικής αντίστασης στον αισθητήρα [3, 4, 5]. Η ηλεκτρική αντίσταση του αισθητήρα ανακάθως τα αγώγιμα υλικά αποκαθιστούν τις αρχικές καταστάσεις ή δομές, όταν απελευθερωθεί η τάση. Οι αισθητήρες αντίστασης με βάση το ύφασμα έχουν εύκολη διαδικασία κατασκευής και προσβάσιμα σήματα ανάγνωσης [3]. Οι αισθητήρες αντίστασης με βάση τα υφάσματα χαρακτηρίζονται μέσω ενός στρώματος ηλεκτροδίου από υφάσματα από ενεργά υλικά που λειτουργεί ως αντίσταση όταν εφαρμόζεται τάση και η αντίσταση μεταβάλλεται ανάλογα με το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης (Εικόνα 8.3) [15].



Εικόνα 8.3 Δομή του αισθητήρα αντίστασης

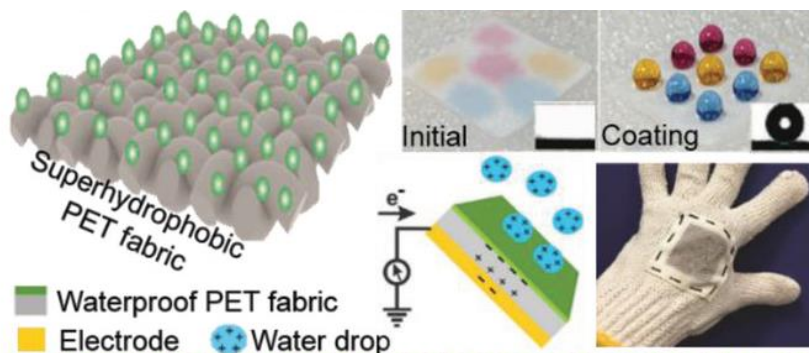
Στην εικόνα 8.3 παρατηρεί τα βέλη που επισημαίνουν τις περιοχές όπου γίνεται ηλεκτρική επαφή καθώς η δομή της βάσης χαλαρώνει μετά την έκταση.

- **Χωρητικοί αισθητήρες** (Εικόνα 8.4) αποτελούνται από δύο αντίθετα ηλεκτρόδια από ενεργά υλικά και τα οποία χωρίζονται από ένα διηλεκτρικό στρώμα μονωτικών υλικών μεταξύ τους [7,8,9,10,14].



Εικόνα 8.4 Χωρητικός αισθητήρας

- **Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας καταπόνησης** είναι ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό που μετατρέπει την παραμόρφωση σε ηλεκτρική ενέργεια [11, 12]. Σε αυτούς τους αισθητήρες, όταν εφαρμόζεται ένα εξωτερικό ερέθισμα (πίεση, δυνάμεις εφελκυσμού, δυνάμεις συμπίεσης και στρέψης) δημιουργείται διαφορά τάσης (Εικόνα 8.5).



Εικόνα 8.5 Πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας καταπόνησης

Αγώγιμα υφαντικά υλικά χρησιμοποιούνται για την απόκτηση έξυπνων υφασμάτων (αισθητήρες, θερμαντικά υφάσματα, ρούχα ηλεκτροστατικής εκκένωσης, επικοινωνία).

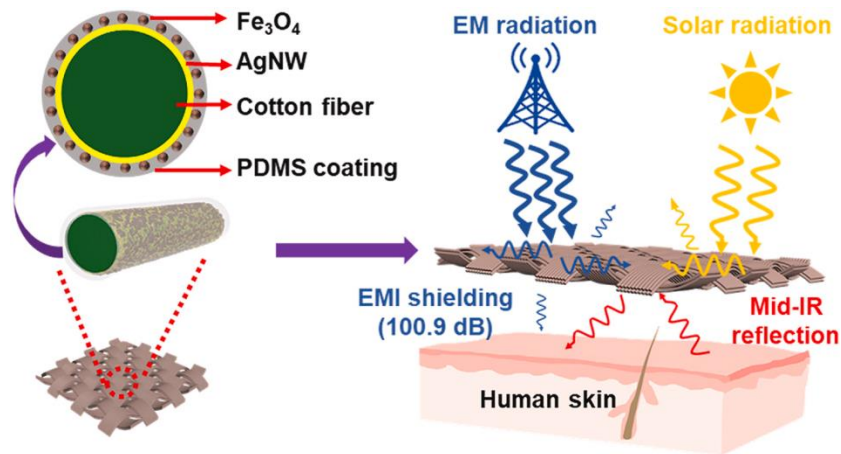
Τα αγώγιμα υφάσματα μπορούν να ληφθούν με τρεις μεθόδους:

1. Χρήση εγγενώς αγώγιμων πολυμερών.
2. Προσθήκη άνθρακα ή μετάλλων σε διάφορες μορφές όπως σύρματα, ίνες ή σωματίδια.
3. Επικάλυψη με αγώγιμες ουσίες [13].

8.3 Ταξινόμηση αγώγιμων υφασμάτων

a. Αντιστατικά υφάσματα που μπορεί να συσσωρεύσουν ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνεια των αντικειμένων.

b. Ηλεκτρομαγνητικά προστατευτικά υφάσματα (EMs) που μπορούν να περιορίσουν τη διάχυση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων σε ένα χώρο (υφαντά, πλεκτά και μη υφασμένα) (Εικόνα 8.6) [16].



Εικόνα 8.6 Ηλεκτρομαγνητικά υφάσματα θωράκισης

Τα νήματα από την εικόνα 8.6 είναι ηλεκτρικά αγώγιμα για ηλεκτρομαγνητική επίδραση.

c. E-textiles, ηλεκτρικά αγώγιμες ίνες και νήματα, έχουν χαρακτηριστικά όπως η λογική ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ευελιξία, η ηλεκτροστατική εκκένωση και η προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Το κύριο συστατικό για φορετά έξυπνα υφάσματα είναι αγώγιμες υφαντικές ίνες που χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες, θωράκιση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, ηλεκτροστατική εκκένωση και μεταφορά δεδομένων στα ρούχα [13].

d. Λειτουργικές επιστρώσεις μπορεί να είναι διεπαφές υλικού ή επιφάνειες και αποτελούν δυνατότητα τροποποίησης υφασμάτων με αγώγιμες ιδιότητες [16].

8.4 Συμπεράσματα

Οι αισθητήρες παραμόρφωσης είναι ωμικοί, χωρητικοί και πιεζοηλεκτρικοί. Οι αισθητήρες παραμόρφωσης παράγουν ηλεκτρικά σήματα όταν εφαρμόζονται ερεθίσματα (καταπόνηση, πίεση, δυνάμεις εφελκυσμού, δυνάμεις συμπίεσης και στρέψης).



Πηγές

1. <https://materialdistrict.com/article/colour-changing-smart-material/>, 2012.
2. Jilong, W., Chunhong, L. and Kun, Z. Textile-Based Strain Sensor for Human Motion Detection. *Energy & Environmental Materials*, Wiley
3. Amjadi, M., Kyung, K.U., Park, I., Sitti, M. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 1678.
4. Jian, M., Wang, C., Wang, Q., Wang, H., Xia, K., Yin, Z., Zhang, M., Liang, X., Zhang, Y. *Sci. China Mater.*, 2017, 60, 1026.
5. Yamada, T., Hayamizu, Y., Yamamoto, Y., Yomogida, Y., Izadi-Najafabadi, A., Futaba, D.N., Hata, K. *Nat. Nanotechnol.*, 2011, 6, 296.
6. Huang, C.T., Shen, C.L., Tang, C.F., Chang, S.H. *Sens. Actuators a Phys.*, 2008, 141, 396.
7. Lipomi, D.J., Vosgueritchian, M., Tee, B.C.K., Hellstrom, S.L., Lee, J.A., Fox, C.H., Bao, Z. *Nat. Nanotechnol.*, 2011, 6, 788.
8. Cai, L., Song, L., Luan, P., Zhang, Q., Zhang, N., Gao, Q., Zhao, D., Zhang, X., Tu, M., Yang, F., Zhou, W., Fan, Q., Luo, J., Zhou, W., Ajayan, P.M., Xie, S. *Sci. Rep.*, 2013, 3, 3048.
9. Yao, S., Zhu, Y. *Nanoscale*, 2014, 6, 2345.
10. Cai, L., Song, L., Luan, P.S., Zhang, Q., Zhang N., Gao, Q.Q., Zhao, D., Zhang, X., Tu, M., Yang, F., Zhou, W.B., Fan, Q.X., Luo, J., Zhou, W.Y., Ajayan, P.M., Xie, S.S. *Sci. Rep.*, 2013, 43, 3048.
11. Sun, Q., Seung, W., Kim, B.J., Seo, S., Kim, S.-W., Cho, J.H. *Adv. Mater.*, 2015, 27, 3411.
12. Zhou, Y., Gu, Fei, P., Mai, W., Gao, Y., Yang, R., Bao, G., Wang, Z.L. *Nano Lett.* 2008, 8, 3035.
13. <https://www.textileblog.com/conductive-textiles-types-properties-and-applications/>
14. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssensors.0c00210>
15. https://www.google.com/search?q=Resistive+strain+sensors+in+textile+images&tbm=isch&ved=2ahUKEwjw_PGBx8n4AhWfwwHHQ4kBAAQ2-cCegQIABAA&og
16. Zong, J.Y., Zhou, X.J., Hu, Y.F., Yang, T.B., Xiang, Y.D., Hao, L., Lei, J., Li, Z.M. A wearable multifunctional fabric with excellent electromagnetic interference shielding and passive radiation heating performance. *Composites Part B: Engineering*, 2021, 225 (15).


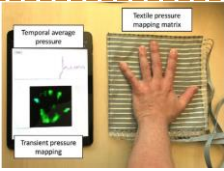
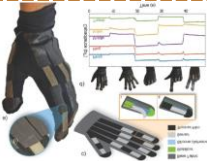

Κεφάλαιο 9. ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΙΕΣΗΣ

Aileni Raluca Maria, Stroe Cristina and Radulescu Razvan, INCDTP, Romania

Σύνοψη. Η ανάπτυξη αισθητήρα πίεσης κλωστοϋφαντουργίας αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές που προσπαθούν να δημιουργήσουν επιστημονικές προόδους στη βιοϊατρική παρακολούθηση (κίνηση, παλμούς, πύλη και αναπνοή) ή στη ρομποτική (τεχνητά ηλεκτρονικά δέρματα για ρομπότ). Το ευέλικτο κέντημα κλωστοϋφαντουργικών υλικών, οι τεχνολογίες με πολυμερή, τα προηγμένα μικρο/νανοδομημένα σύνθετα υλικά και η ψηφιοποίηση (λογισμικό και μικροηλεκτρονική) δημιουργούν καινοτόμα φορετά προϊόντα. Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τις κύριες πτυχές των υλικών που χρησιμοποιούνται και των τεχνολογιών για την ανάπτυξη αισθητήρων αντίστασης και χωρητικότητας.

9.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της πίεσης και τη μετατροπή της σε ηλεκτρικό σήμα όπου η τιμή του σήματος εξαρτάται από το επίπεδο και τη διακύμανση της πίεσης που εφαρμόζεται. Ένας αισθητήρας πίεσης αποτελείται από στοιχεία ευαίσθητα στην πίεση (πιεζοαντιστατικά, χωρητικά και ηλεκτρικά ανθεκτικά) για την αξιολόγηση της πίεσης που εφαρμόζεται και ορισμένα στοιχεία για τη μετατροπή αυτής της πληροφορίας σε ηλεκτρικό σήμα. Η πίεση αντιπροσωπεύει τη δύναμη που ασκείται από ένα υγρό ή αέριο σε μια επιφάνεια (ευαίσθητα στοιχεία). Οι αισθητήρες πίεσης ανιχνεύουν κίνηση, πύλη, παλμό, ρυθμό αναπνοής ή ηλεκτρονικό δέρμα (Εικόνα 9.1). Τα πιο χρησιμοποιούμενα ευαίσθητα στοιχεία είναι πιεζοαντιστατικά ή χωρητικά υλικά.

			
<p>a. Αισθητήρες πίεσης υφασμάτων που μπορούν να πλυθούν ενσωματωμένοι σε κάλτσες για χαρτογράφηση βάρδισης [1]</p>	<p>b. Χαρτογράφηση πίεσης με το χέρι με χρήση αισθητήρα πίεσης υφασμάτων [2]</p>	<p>c. Αισθητήρες πίεσης με βάση γάντια για έλεγχο με διαφορετικές χειρονομίες [2]</p>	<p>d. Έξυπνη σόλα για χαρτογράφηση πίεσης ποδιού [3]</p>

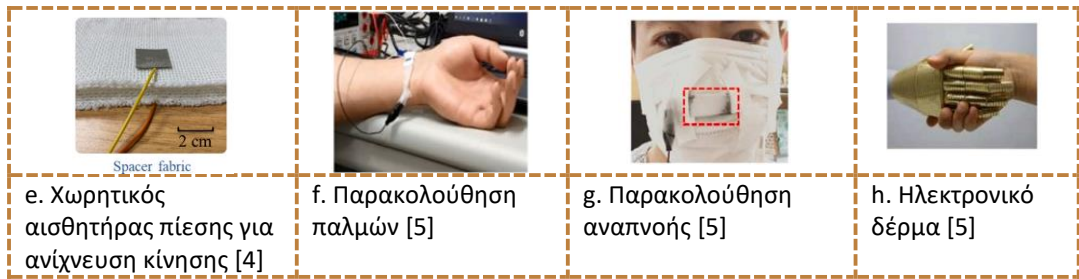


Figure 9.1 Pressure sensors applications

9.2 Υλικά που χρησιμοποιούνται για αισθητήρες πίεσης

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αισθητήρων πίεσης αποτελείται από μη αγώγιμα πολυμερή (NCP), χημικά (CNTs, γραφένιο, SWCNTs, MWCNTs), αγώγιμα πολυμερή (CP=NCP+CNTs), εγγενώς αγώγιμα πολυμερή (PEDOT: PSS, PANI).

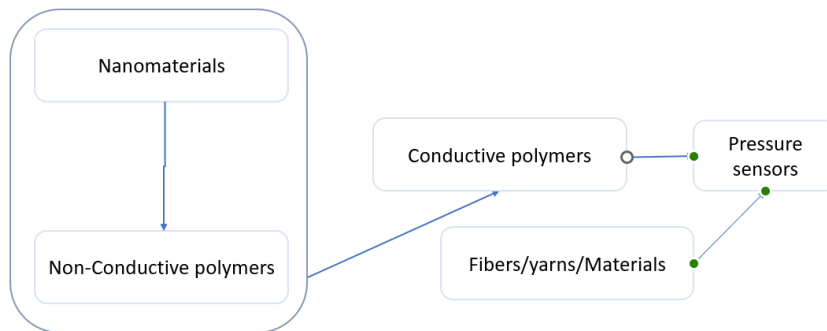


Figure 9.2 Materials for pressure sensors

- **Αγώγιμα πολυμερή**

Πολυ(3,4-αιθυλενο διοξυθειοφαίνιο)-πολυ(στυρολοσουλφονικό) PEDOT: Το PSS είναι ένα αγώγιμο πολυμερές που μπορεί να εναποτεθεί σε υφαντικά υποστρώματα για να σχηματίσει σύνθετα υλικά με ηλεκτροχημικές ιδιότητες για εφαρμογές όπως τα έντυπα ηλεκτρονικά. Η πολυανιλίνη (PANI) είναι ένα εγγενώς αγώγιμο πολυμερές και ημιαγωγός με αισθητήρες και εφαρμογές κατασκευής πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος.

- **Μη αγώγιμα πολυμερή -Ελαστομερή**

Το διφθοριούχο πολυβινυλιδένιο (PVDF) είναι ένα θερμοπλαστικό φθοριοπολυμερές που χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη εκτύπωση και την κατασκευή αισθητήρων (συστοιχίες αισθητήρων αφής), μπαταρίες και υπερπυκνωτές. Συνήθως, η πολυμερής σιλικόνη χρησιμοποιείται για ηλεκτρική μόνωση με ενσωμάτωση στην πολυμερή μήτρα των νανοσωλήνων γραφενίου ή CNT (νανοσωλήνες άνθρακα) για να γίνει αγώγιμη σιλικόνη ιδανική για χρήση σε αισθητήρες πίεσης.

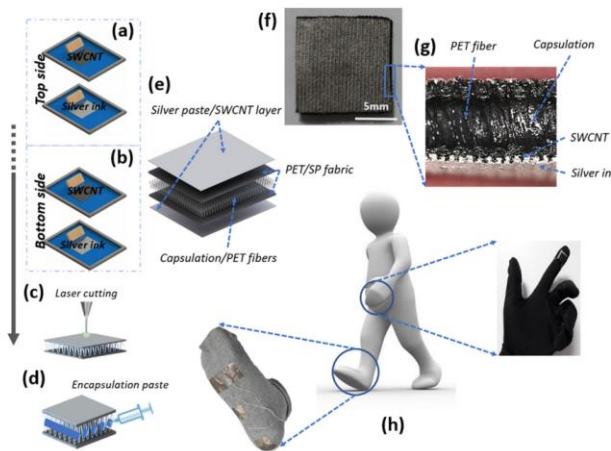
- **Νανοϋλικά**

Οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNTs) παρουσιάζουν εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες για πιεζοαντιστικούς αισθητήρες πίεσης. Γενικά, οι πιεζοαντιστικοί αισθητήρες πίεσης κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας μια ποικιλία στοιχείων όπως σύρματα χρυσού, νανσύρματα ZnO, νανσύρματα αργύρου, γραφένιο, νανσωματίδια χρυσού/αργύρου και νανοσωλήνες άνθρακα ενσωματωμένους σε σιλικόνες.

9.3 Ταξινόμηση και κατασκευή αισθητήρων πίεσης

A. Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης

Οι χωρητικοί αισθητήρες πίεσης (Εικόνα 9.3, 9.4) είναι κατασκευασμένοι από αγώγιμα υλικά ως πλάκες που χωρίζονται από διηλεκτρικά (συνθετικοί αφροί, διαχωριστικά υφάσματα ή μαλακά μη αγώγιμα πολυμερή). Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες όπως ύφανση, ράψιμο, τρισδιάστατο πλέξιμο (Εικόνα 9.3), κέντημα με αγώγιμα νήματα/νήματα, ακολουθούμενη από τρισδιάστατη εκτύπωση (Εικόνα 9.4), η οποία εναποτίθεται με ψεκασμό ή μεταξοτυπία με αγώγιμα μελάνια/ πάστα με βάση αγώγιμα πολυμερή.

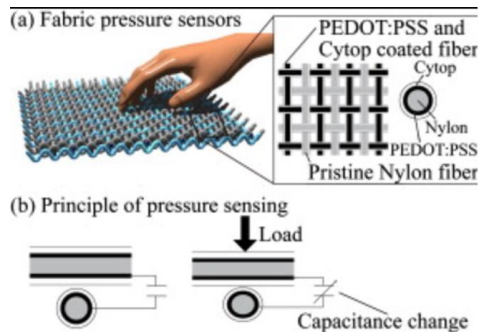


Εικόνα 9.3 Διαδικασία κατασκευής χωρητικού αισθητήρα πίεσης που αποτελείται από διαχωριστικό ύφασμα και εκτύπωση SWCNT/ασημιού [6]

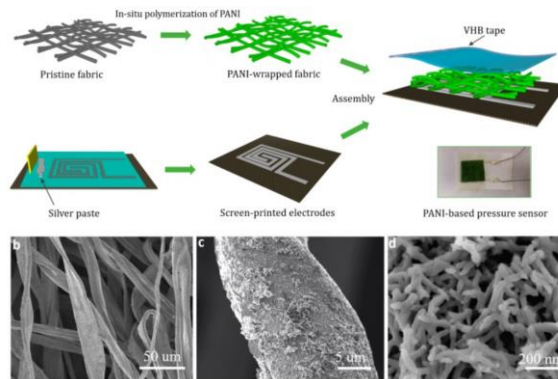


Εικόνα 9.4 Κατασκευή ευέλικτων χωρητικών αισθητήρων [6] αισθητήρες πίεσης βασισμένοι σε CB/CNT/PDMS [7]

Χρησιμοποιώντας αγώγιμα πολυμερή (π.χ. PEDOT: PSS (Εικόνα 9.5), PANI (Εικόνα 9.6)) μπορούν να αναπτυχθούν ως αισθητήρες αφής για εφαρμογές όπως πληκτρολόγια, αισθητήρες πίεσης ενσωματωμένοι σε κρεβάτια, καναπέδες ή ιατρικούς πάτους [8] ή ανίχνευση κίνησης, 3D αισθητήρες αφής για ανίχνευση κίνησης ρομποτικής [8]. Ο αισθητήρας πίεσης κατασκευάζεται με την ύφανση των νημάτων που είναι επικαλυμμένα με το αγώγιμο πολυμερές PEDOT: PSS και υπερφθορο διηλεκτρικό πολυμερικό φιλμ (Cytop) [8].



Εικόνα 9.5 Συστοιχία αισθητήρων πίεσης υφάσματος [8]



Εικόνα 9.6 Κατασκευή εύκαμπτων χωρητικών αισθητήρων με βάση τις νανοϊνες PANI και τα ηλεκτρόδια αργύρου [9]

B. Αισθητήρες πίεσης αντίστασης

Οι αισθητήρες πίεσης αντίστασης μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας υλικά ηλεκτρικής αντίστασης/αγώγιμα όπως νήματα/νημάτια πλεκτά, κολλημένα, υφαντά ή κεντημένα σε διάφορες κατασκευές με διαφορετικές τεχνικές κατασκευής (ύφανση, κέντημα, πλέξιμο, ράψιμο). Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στην αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης όταν το ύφασμα (υφαντό, πλεκτό) τεντώνεται ή συμπιέζεται. Οι αισθητήρες μπορούν να δημιουργήσουν μεταβολή τάσης με τέντωμα (Εικόνα 9.7 α) ή συμπίεση (Εικόνα 9.7 β).



Εικόνα 9.7 Αισθητήρες πίεσης αντίστασης: α – πλεκτά πιεζοαντιστικά νήματα με βάση αισθητήρα πίεσης [10]. β – κεντημένος αισθητήρας πίεσης αντίστασης [11]

9.4 Συμπεράσματα

Οι αισθητήρες πίεσης που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της πίεσης αποτελούνται από ευαίσθητα στοιχεία αγώγιμων πολυμερών, ελαστομερών και νανοϋλικών. Οι αισθητήρες πίεσης ταξινομούνται ως χωρητικοί και ωμικοί. Οι χωρητικοί αισθητήρες μπορούν να κατασκευαστούν με χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης, ραπτικής, τρισδιάστατης εκτύπωσης, επίστρωσης (ψεκασμού μαγνητρονίου, μεταξοτυπίας) και ύφανσης. Οι αισθητήρες αντίστασης μπορούν να κατασκευαστούν με τεχνολογίες κλωστοϋφαντουργίας (ύφανση, πλέξιμο και κέντημα) και να τροποποιήσουν την ηλεκτρική τους αντίσταση όταν τεντώνονται ή συμπιέζονται. Μπορούν να κατασκευαστούν με ύφανση, πλέξιμο και κέντημα.

Πηγές

1. Textile pressure sensors can be washed online available, 2015, 10. www.electronicweekly.com/news/research-news/textile-pressure-sensors-can-be-washed-
2. Pyka, W., Jedrzejowski, M., Chudy, M., Krafczyk, W., Tokarczyk, O., Dziezok, M., Bzymek, A., Bysko, S., Blachowicz, T. and Ehrmann, A. On the use of textile materials in robotics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2020, 15, 1558925020910725
3. Analyze Foot Function with Pressure Mapping, online available: www.tekscan.com/products-solutions/pressure-offloading-foot-function
4. Zhao, B., Dong, Z. and Cong, H. A wearable and fully-textile capacitive sensor based on flat-knitted spacing fabric for human motions detection. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022, 340, 113558.
5. Kumar, A. Recent progress in the fabrication and applications of flexible capacitive and resistive pressure sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022, 113770.
6. Vu, C.C. and Kim, J. Highly elastic capacitive pressure sensor based on smart textiles for full-range human motion monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2020, 314, 112029.
7. Shi, Y., Lü, X., Zhao, J., Wang, W., Meng, X., Wang, P. and Li, F. Flexible Capacitive Pressure Sensor Based on Microstructured Composite Dielectric Layer for Broad Linear Range Pressure Sensing Applications. *Micromachines*, 2022, 13(2), 223.
8. Takamatsu, S., Kobayashi, T., Shibayama, N., Miyake, K. and Itoh, T. Fabric pressure sensor array fabricated with die-coating and weaving techniques. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2012, 184, 57-63.
9. Liu, K., Zhou, Z., Yan, X., Meng, X., Tang, H., Qu, K., Gao, Y., Li, Y., Yu, J. and Li, L. Polyaniline nanofiber wrapped fabric for high-performance flexible pressure sensors. *Polymers*, 2019, 11(7), 1120.
10. Pointner, A., Preindl, T., Mlakar, S., Aigner, R. and Haller, M. Knitted resi: A highly flexible, force-sensitive knitted textile based on resistive yarns. In *ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies*, 2020, 1-2.
11. Aigner, R., Pointner, A., Preindl, T., Parzer, P. and Haller, M. Embroidered resistive pressure sensors: A novel approach for textile interfaces. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2020, 1-13.

Κεφάλαιο 10. ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ

Aileni Raluca Maria and Cristina Stroe, INCDTP, Romania

Σύνοψη. Ο σχεδιασμός του ενεργοποιητή υφασμάτων (textuator) αποτελεί πρόκληση για τους ερευνητές που προσπαθούν να βελτιώσουν τη λύση ενσωματώνοντας ελαφριά, ευέλικτα και άνετα υλικά για φορητούς ενεργοποιητές (γάντι VR, τεχνητοί μύες, εξωσκελετές, συσκευές ηλεκτροδιέγερσης, είδη μόδας) ή ρομποτική (τεχνητά ηλεκτρονικά δέρματα για ρομπότ). Η ανάπτυξη μαλακών/ευέλικτων ενεργοποιητών περιλαμβάνει τη χρήση κλασικών τεχνολογιών (πλέξιμο, ράψιμο, ύφανση, κέντημα) και προηγμένων τεχνολογιών (πλάσμα, εκτόξευση, τρισδιάστατη εκτύπωση). Επιπλέον, με την ενσωμάτωση ηλεκτρενεργών ή ηλεκτροαγωγίμων πολυμερών, μικρο/νανοδομές και ψηφιοποίηση (λογισμικό, ηλεκτρονικά εξαρτήματα) μπορούν να κατασκευαστούν ως καινοτόμοι ενεργοποιητές που βασίζονται σε φορητά προϊόντα. Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει τις κύριες πτυχές που αφορούν τον τύπο του ενεργοποιητή, τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις τεχνολογίες για την ευέλικτη ανάπτυξη ενεργοποιητή.

10.1 Εισαγωγή

Οι πραγματικές έρευνες στον τομέα των εύκαμπτων/μαλακών ενεργοποιητών δείχνουν αυξημένο ενδιαφέρον για την επίλυση των τρεχουσών προκλήσεων με την ενσωμάτωση εύκαμπτων υλικών που έχουν ρόλους ενεργοποίησης σε φορητά συστήματα.

Οι ενεργοποιητές δρουν μηχανικά, χημικά, μαγνητικά, ηλεκτρικά και θερμικά κατά τη δράση ενός ερεθίσματος (π.χ., θερμικό, ηλεκτρικό, μηχανικό, οπτικό ή μαγνητικό). Προκειμένου να αναπτυχθούν ενεργοποιητές, χρησιμοποιούνται πολλά έξυπνα υλικά όπως πιεζοηλεκτρικά, ηλεκτροσυστολή, μαγνητοσυστολή, ρεολογικά, μνήμη σχήματος (θερμικά ευαίσθητα), ευαίσθητα στο pH και ηλεκτροχρωμικά υλικά [1].

Οι ενεργοποιητές μετατρέπουν τα ερεθίσματα εισόδου (ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμικά, οπτική ή χημική ενέργεια, μαγνητικό πεδίο) σε δράση. Ανάλογα με τη μετατροπή ενέργειας από ερεθίσματα εισόδου σε δράση εξόδου, αρκετοί ενεργοποιητές παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Κυρίως, οι ενεργοποιητές ενσωματώνουν πιεζοηλεκτρικά [2, 3], ηλεκτροσυστολή [4], ηλεκτροχρωμικά [5], μαγνητοσυστολικά [6, 7], σχήματος-μνήμης [8] υλικά με θερμική αγωγιμότητα, χαμηλή επιφανειακή αντίσταση, ευαίσθητα στο pH, ρεολογικά και μαγνητικά ιδιότητες. Οι ενεργοποιητές αντιδρούν στα εισερχόμενα ερεθίσματα (ηλεκτρική, μηχανική, οπτική, χημική ή θερμική ενέργεια) και παράγουν μια δράση ή μια μετατροπή ενός τύπου ενέργειας σε άλλο (Πίνακας 1.1). Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι οι τεχνητοί μύες (Εικόνα 10.1) εκτελούνται με βάση ηλεκτρενεργά πολυμερή [9, 10]. Για την ανάπτυξη κλωστοϋφαντουργικών ενεργοποιητών χρησιμοποιούνται κλασικές τεχνολογίες (πλέξιμο, ύφανση, ράψιμο) σε συνδυασμό με προηγμένες τεχνολογίες όπως το πλάσμα ραδιοσυχνότητας, η εκτόξευση, η τρισδιάστατη εκτύπωση και ο φούρνος μικροκυμάτων.

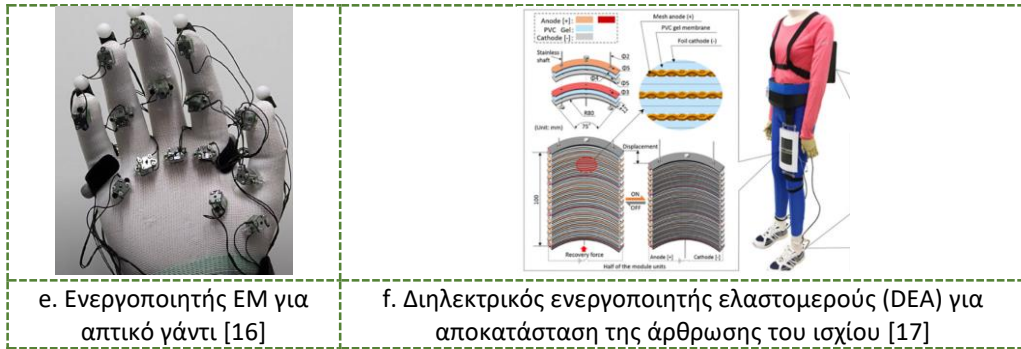


Εικόνα 10.1 Ηλεκτροενεργά πολυμερή τεχνητών μυών [11]

10.2 Τύποι ενεργοποιητών και κατασκευή

Οι ενεργοποιητές μπορεί να είναι μαλακοί ή σκληροί, ανάλογα με την ευκαμψία του υλικού. Οι μαλακοί ενεργοποιητές είναι εύκαμπτα, εκτατά υλικά με μεταβλητές και αναστρέψιμες ιδιότητες. Μαλακοί ενεργοποιητές (Εικόνα 10.2) χρησιμοποιούνται για φορητές συσκευές, φύλλα μυών από ρευστό ύφασμα (FFMS -Εικόνα 10.2 α), τεχνητούς μύες (πνευματικούς τεχνητούς μύες (PAMs) που κατασκευάζονται με τεχνολογίες πλέξης ή πλεξίματος – Εικόνα 10.2 β), πλεκτές εξω-κάλτσες για αποκατάσταση (Εικόνα 10.2 γ) , γάντι για αποκατάσταση (Εικόνα 10.2 δ), απτικό γάντι για VR (Εικόνα 10.2 ε), διηλεκτρικός ενεργοποιητής ελαστομερούς (DEA -Εικόνα 10.2 στ) και μαλακές λαβές. Από την άλλη πλευρά, οι σκληροί ενεργοποιητές από άκαμπτα υλικά με αμετάβλητες ιδιότητες είναι ακατάλληλοι για φορητές συσκευές επειδή είναι άβολοι.



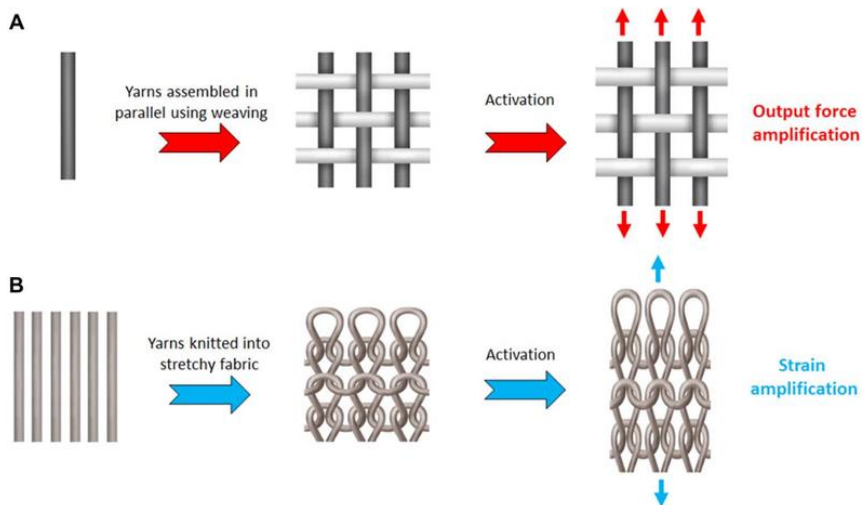


ε. Ενεργοποιητής EM για απτικό γάντι [16]

φ. Διηλεκτρικός ενεργοποιητής ελαστομερούς (DEA) για αποκατάσταση της άρθρωσης του ισχίου [17]

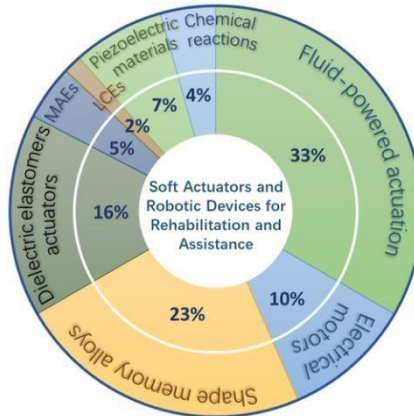
Εικόνα 10.2 Εφαρμογές textuators (μαλακοί ενεργοποιητές).

Η εικόνα 10.3 παρουσιάζει την αρχή της δράσης για τα textuators που κατασκευάζονται με ύφανση ή πλέξιμο.



Εικόνα 10.3 Textuators: A – η ύφανση των νημάτων ενίσχυσε τη δύναμη παράλληλα. B – το στέλεχος ενισχύθηκε με πλέξιμο νημάτων σε δομή πλεξίματος υφασμιού [18]

Η εικόνα 10.4 παρουσιάζει αρκετά προηγμένα υλικά που χρησιμοποιούνται για μαλακούς ενεργοποιητές.



Εικόνα 10.4 Μαλακοί ενεργοποιητές βασισμένοι σε διηλεκτρικά ελαστομερή, SMA, MAE, LCE και πιεζοηλεκτρικά υλικά [19]

10.3 Συμπεράσματα

Οι ενεργοποιητές μετατρέπουν τα εισερχόμενα ερεθίσματα σε δράση (μηχανική, χημική, μαγνητική, ηλεκτρική και θερμική), που χρησιμοποιούνται κυρίως στη ρομποτική (προσθετικός βραχίονας, εξωσκελετός) και την αποκατάσταση τεχνητών μυών. Οι μαλακοί ενεργοποιητές μπορούν να κατασκευαστούν με βάση τις κλωστοϋφαντουργικές τεχνολογίες (ύφανση, πλέξιμο, πλέξιμο).

Πίνακας 10.1 Τύπος ενεργοποιητών

Actuator Type	Input Stimul	Output Response	Action	Material Type	Example
Θερμικός	Θερμική ενέργεια	Μηχανική ενέργεια [19] (κινητική/κίνηση)	Θερμομηχανική (συστολή/διαστολή)	Θερμική ενέργεια	Smart Thermally Actuating Textiles
Thermoelectric	Θερμική ενέργεια	Ηλεκτρική	Θερμοηλεκτρική	Θερμοηλεκτρική	Turning heat into electricity
Ηλεκτρομαγνητική	Ηλεκτρική ενέργεια	Μηχανική	Ηλεκτρομηχανική	Ηλεκτρομαγνητικ ή	Electromagnetic Actuators for Rendering Haptics in VR
Πιεζοηλεκτρική	Μηχανική ενέργεια	Ηλεκτρική	Πιεζοηλεκτρική	Πιεζοηλεκτρική	Piezoelectric fiber for motion-sensitive textiles
Οπτοηλεκτρονική	Οπτική ενέργεια	Ηλεκτρική	Οπτοηλεκτρονική	Φωτοηλεκτρική	Photovoltaic power from textiles
Ηλεκτροφωτονική	Ηλεκτρική ενέργεια	Οπτική	Ηλεκτροφωτονική	Ηλεκτροφωτονικ ή	LED into Textile for Smart Clothes
Φωτοθερμική	Ενέργεια φωτός	Θερμική	Φωτοθερμική	Φωτοθερμική	photothermal phase change textile
Μαγνητορεολογική	Μαγνητικό πεδίο	Μαγνητοελαστικό αποτέλεσμα (παραμόρφωση)	Μηχανικός (Ελαστική παραμόρφωση)	Μαγνητοελαστικ ή	Magnetoelastic fibers
Ηλεκτροχημική	Ηλεκτρική ενέργεια	Χημική	Ηλεκτροχημική	Ηλεκτροχημική	Twisted yarn actuator
Φωτοχημική	Ενέργεια φωτός	Χημική	Φωτοχημική	Φωτοχημική	Fiber-type FETs

Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή αυτού του ebook δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου που αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις των συγγραφέων και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτό.



Πηγές

1. Aileni, R.M., Project 3D Electrotex.
2. Sorayani, B., Sadeghi, M.S., Latifi, A.H. and Bagherzadeh, R. Design and fabrication of a piezoelectric out-put evaluation system for sensitivity measurements of fibrous sensors and actuators. *Journal of Industrial Textiles*, 2021, 50(10), 1643-1659.
3. Dagdeviren, C., Joe, P., Tuzman, O.L., Park, K.I., Lee, K.J., Shi, Y., Huang, Y. and Rogers, J.A. Recent progress in flexible and stretchable piezoelectric devices for mechanical energy harvesting, sensing and actuation. *Extreme mechanics letters*, 2016, 9, 269-281.
4. Cottinet, P.J., Guyomar, D., Guiffard, B., Lebrun, L. and Putson, C. Electrostrictive polymer composite for energy harvesters and actuators, 2011.
5. Moretti, C., Tao, X., Koehl, L. and Koncar, V. Electrochromic textile displays for personal communication. In *Smart textiles and their applications*. Woodhead Publishing, 2016.
6. Zhao, X., Zhou, Y., Xu, J., Chen, G., Fang, Y., Tat, T., Xiao, X., Song, Y., Li, S. and Chen, J. Soft fibers with magnetoelasticity for wearable electronics. *Nature communications*, 2021, 12(1), 1-11.
7. Spizzo, F., Greco, G., Del Bianco, L., et al. Magnetostrictive and Electroconductive Stress-Sensitive Functional Spider Silk. *Advanced Functional Materials*, 2022, 2207382.
8. Chan Vili, Y.Y. Investigating smart textiles based on shape memory materials. *Textile Research Journal*, 2007, 77(5), 290-300.
9. Bar-Cohen, Y. Electroactive polymers as artificial muscles: a review. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2002, 39(6), 822-827.
10. Carpi, F. and De Rossi, D. Electroactive polymer-based devices for e-textiles in biomedicine. *IEEE Transactions on Information Technology in biomedicine*, 2005, 9(3), 295-318.
11. Jager, E.W., Martinez, J.G., Zhong, Y. and Persson, N.K. Soft actuator materials for textile muscles and wearable bioelectronics. In *Wearable Bioelectronics*, 2020, 201-218.
12. Zhu, M., Do, T.N., Hawkes, E. and Visell, Y. Fluidic fabric muscle sheets for wearable and soft robotics. *Soft robotics*, 2020, 7(2), 179-197.
13. Pneumatic artificial muscles for orthosis, online available: atlasofthefuture.org/project/pneumatic-artificial-muscles-for-orthosis
14. Low, F.Z., Yeow, R.C., Yap, H.K. and Lim, J.H. Study on the use of soft ankle-foot exoskeleton for alternative mechanical prophylaxis of deep vein thrombosis. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, 2015, 589-593.
15. Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, et al. Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Robotics and Autonomous Systems*, 2015, 73, 135-143.
16. Vechev, V., Zarate, J., Lindlbauer, D., Hinchet, R., Shea, H. and Hilliges, O. March. Tactiles: Dual-mode low-power electromagnetic actuators for rendering continuous contact and spatial haptic patterns in VR. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2019, 312-320.
17. Li, Y. and Hashimoto, M. PVC gel soft actuator-based wearable assist wear for hip joint support during walking. *Smart Materials and Structures*, 2017, 26(12), 125003.
18. Maziz, A., Concas, A., Khaldi, A., Stålhand, J., Persson, N.K. and Jager, E.W. Knitting and weaving artificial muscles. *Science advances*, 2017, 3(1), e1600327.
19. Pan, M., Yuan, C., Liang, X., Dong, T., Liu, T., Zhang, J., Zou, J., Yang, H. and Bowen, C. Soft Actuators and Robotic Devices for Rehabilitation and Assistance. *Advanced Intelligent Systems*, 2022, 4(4), 2100140.
20. Yang, Y., Wu, Y., Li, C., Yang, X. and Chen, W. Flexible actuators for soft robotics. *Advanced Intelligent Systems*, 2020, 2(1), 1900077.



Κεφάλαιο 11. ΟΡΙΣΜΟΙ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΙΣΘΗΣΙΑΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica, Greece

11.1 Εισαγωγή

Οι αισθητήρες αποτελούν ουσιαστικό μέρος των σημερινών καινοτομιών. Αποτελούν τον πυρήνα της λεγόμενης 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης και της επόμενης γενιάς του Διαδικτύου ή του Διαδικτύου των Πραγμάτων όπως είναι κοινώς γνωστό. Όταν αναφερόμαστε σε έναν αισθητήρα, θα μπορούσαμε να τον περιγράψουμε ως μια συσκευή, μια μονάδα, μια μηχανή ή ακόμα και ένα υποσύστημα, που μπορεί να ανιχνεύσει ή να μετρήσει μία ή περισσότερες παραμέτρους του περιβάλλοντος περιβάλλοντος. Οι αισθητήρες μετρούν αυτές τις παραμέτρους, (εισόδους) και παρέχουν (μεταδίδουν) τα αποτελέσματα (τιμές) με τρόπο ανάλογα με τη δομή της συσκευής μέτρησης στην οποία αποτελούν μέρος.

Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών, που κυμαίνονται από ιατρικές έως περιβαλλοντικές επιστήμες. Οι πρόσφατες εξελίξεις στον σχεδιασμό των αισθητήρων έχουν διαφοροποιήσει τις εφαρμογές τους και τα υλικά όπου μπορούν να ενσωματωθούν. Γίνονται μικρότερα, φθηνότερα και πιο αποτελεσματικά. Είναι επίσης ικανά να λειτουργούν σε δύσκολα περιβάλλοντα και διαρκούν περισσότερο. Υλικά σε μικροκλίμακα και νανοκλίμακα έχουν προνοήσει για αυτές τις βελτιώσεις, καθώς και ψηφιακές τεχνολογίες. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αισθητήρων είναι επίσης κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Έχουν χρησιμοποιηθεί νέες μέθοδοι όπως η εκτύπωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Οι αισθητήρες μεταφέρονται σε καθημερινές δραστηριότητες, συχνά χωρίς να γίνονται ρητά αντιληπτοί από τον χρήστη. Για παράδειγμα, τα smartphones έχουν πολλούς διαφορετικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εργασίες και εφαρμογές όπως πυξίδα, επιταχυνσιόμετρο, αισθητήρες εγγύτητας, αισθητήρες προσανατολισμού και συσκευές φωτός, για να αναφέρουμε μερικές. Οι αισθητήρες στην ιατρική επιστήμη είναι ζωτικής σημασίας για την ανίχνευση, την παρακολούθηση, τη θεραπεία και τη θεραπεία ασθενειών. Δεν είναι υπερβολή ότι ο σημερινός πολιτισμός είναι βυθισμένος σε τεχνολογίες που σχετίζονται με αισθητήρες.

Οι φορητές συσκευές εξαρτώνται από αισθητήρες για να αναφέρουν μετρήσεις όπως η απόσταση που διανύθηκε, το εύρος καρδιακών παλμών και ο κορεσμός οξυγόνου στο αίμα, μεταξύ άλλων. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος μπορεί επίσης να μετρηθεί μέσω μικροσκοπικών αισθητήρων για τη σχετική εφαρμογή.

11.2 Φορητοί αισθητήρες για παρακολούθηση της υγείας

Οι φορητοί αισθητήρες μπορούν να κατασκευαστούν με πολλές διαφορετικές μεθόδους μεταγωγής που περιλαμβάνουν αντίσταση, χωρητικότητα, πιεζοηλεκτρικό και



τριβηλεκτρικό. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις αναφέρουν σήματα χρησιμοποιώντας ηλεκτρόνια.

Οι φορητοί αισθητήρες θα μπορούσαν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση τα μετρούμενα βιολογικά σήματα, δηλαδή σε ηλεκτροφυσιολογικούς, φυσικούς και χημικούς αισθητήρες [1]

11.3 Ηλεκτροφυσιολογικοί αισθητήρες

Στους ηλεκτροφυσιολογικούς αισθητήρες είναι σημαντικό να σχεδιάζονται λεπτά, ομοιόμορφα και βιοσυμβατά επιδερμικά ηλεκτρόδια για τη μείωση της αντίστασης επαφής δέρματος-ηλεκτροδίου. Η συνεχής εγγύτητα της επαφής είναι το κλειδί για τη μείωση της σύνθετης αντίστασης επαφής δέρματος-ηλεκτροδίου. Ηλεκτροφυσιολογικοί αισθητήρες ανιχνεύουν τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων σε εξειδικευμένους ιστούς όπως η καρδιά (ηλεκτροκαρδιογράφος (ΗΚΓ)), ο εγκέφαλος (ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ)) και ο μυς (ΗΜΓ).

Αυτά οδηγούν σε μια ποικιλία τελικών προϊόντων που περιλαμβάνουν επιδερμικό ΗΕΓ, κολλώδες ΗΚΓ, επιδερμικό ΗΚΓ, ΗΕΓ γραφενίου και ΗΜΓ με βάση το μετάξι. [2]

Φυσικοί Αισθητήρες

Οι φυσικοί αισθητήρες ανιχνεύουν τα φυσικά σήματα του ανθρώπινου σώματος. Υπάρχουν πολλά φυσικά σήματα που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία, όπως η αρτηριακή πίεση, η θερμοκρασία του σώματος και το τέντωμα των μυών ή του δέρματος. Στο σχεδιασμό αισθητήρων πίεσης προσαρμοσμένων στο δέρμα έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά όπως νανοσύρματα αργύρου, νανοσύρματα χρυσού, νανοσωλήνες άνθρακα, γραφένιο, αγώγιμα πολυμερή, ιοντικά υγρά και υγρά μέταλλα.

Οι βασικές παράμετροι που εξετάζονται για αυτές είναι η ευαισθησία, η υστέρηση και η ανθεκτικότητα.

Οι φυσικοί αισθητήρες μετρούν την πίεση, τη θερμοκρασία, το φως, την καταπόνηση και τον ήχο. Εφαρμογές τέτοιων αισθητήρων μπορούν να βρεθούν σε αισθητήρες θερμοκρασίας τατουάζ, ανίχνευση χειρονομιών, βαθμό κάμψης, κίνηση των άκρων και προπόνηση μυών.

Χημικοί Αισθητήρες

Σε χημικούς αισθητήρες, υλικά όπως ιόντα καλίου και νατρίου, ιόντα χλωρίου, γαλακτικό οξύ και γλυκόζη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τους. Μερικοί από αυτούς τους αισθητήρες είναι ανιχνευτές γλυκόζης αίματος, μικρορευστοί ανιχνευτές ιδρώτα, αισθητήρες ενυδάτωσης και αισθητήρες πολλαπλών ιόντων υφασμάτων που χρησιμοποιούνται στη διάγνωση της κυστικής ίνωσης.

Ιδιότητες αισθητήρα



Κύριοι στόχοι για έναν χρήσιμο αισθητήρα είναι η παροχή ακριβών αποτελεσμάτων, ανθεκτικότητα, χαμηλό κόστος και να είναι αβλαβής για τους ανθρώπους και το περιβάλλον.

Για την παροχή των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών είναι απαραίτητες μια σειρά επιθυμητών ιδιοτήτων, και συγκεκριμένα η ελαστικότητα, η σπονδυλωτότητα, η επεκτασιμότητα, οι ιδιότητες αυτοθεραπείας και η διαφάνεια, μεταξύ άλλων. Για να επιτευχθούν όλα αυτά, είναι σημαντική η χρήση νανοδομημένων υλικών, ιοντικών αγωγών που βασίζονται σε γέλη, τυπωμένων ηλεκτρονικών ειδών, ελαστικών ηλεκτροδίων και η χρήση βιοαπορροφήσιμων ηλεκτρονικών.

Επιπλέον, η βιοαπορροφήσιμη, η βιοσυμβατότητα, η κατανάλωση ενέργειας και η διαπερατότητα θα μπορούσαν να επιτευχθούν μέσω της ανίχνευσης της περιβαλλοντικής έκθεσης, της ανίχνευσης παραγόντων υγείας και της ανάπτυξης αυτοτροφοδοτούμενων συστημάτων.

Επιπλέον, η αγωγιμότητα, η ευαισθησία, το εύρος ανίχνευσης, η αξιοπιστία, η επιλεκτικότητα και η υδατοαπωθητικότητα είναι ζωτικής σημασίας για αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες τάσης και πίεσης, ηλεκτροφυσιολογικούς αισθητήρες, οπτικούς και ηλεκτροχημικούς αισθητήρες. [3]

Ελαστικότητα

Ένας αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθεί σε μια φορητή συσκευή ή θα συνδεθεί στο ανθρώπινο σώμα πρέπει να είναι τετρωμένος. Οι τρόποι για την επίτευξη ελαστικότητας περιλαμβάνουν τη μείωση της κλίμακας των διαστάσεων των υλικών που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρόδια [4], τη χρήση ελαστικών πολυμερών, υδρογέλης και ιοντικών υγρών [5].

Παράγοντας μορφής

Όσον αφορά τον παράγοντα μορφής, ο στόχος είναι να δημιουργηθούν ευέλικτοι, φορητοί, λεπτοί, στεγνοί αισθητήρες που να είναι διαφανείς, ελαφροί και άνετοι [6].

Διαφάνεια

Για τη χρήση του αισθητήρα στο ανθρώπινο σώμα απαιτείται διαφάνεια. Οι διαφανείς πολυμερείς μεμβράνες και ο περιορισμός του πλάτους των μεταλλικών γραμμών ηλεκτροδίων είναι μερικοί από τους τρόπους για να το πετύχετε. Άλλα περιλαμβάνουν τη χρήση διαφανών ελαστικών μεμβρανών από νανοσωλήνες άνθρακα, νανοσύρματα πυριτίου και μεταλλικά νανοσύρματα [7, 8].

Βιοσυμβατότητα

Η χαμηλή τοξικότητα είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροχρόνια χρήση αισθητήρων στο ανθρώπινο δέρμα. Για αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ενθυλάκωση ή σύνθεση με βιοσυμβατά υλικά. Ένας άλλος τρόπος είναι η χρήση ξηρών κόλλων χωρίς γέλη [9, 10].



11.4 Υλικά που χρησιμοποιούνται σε Αισθητήρες

Κάθε τύπος αισθητήρα περιλαμβάνει συγκεκριμένα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί, εξεταστεί ή βρίσκονται υπό έρευνα και εξέταση για τη δυνατότητα χρήσης. Το είδος των υλικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πιθανή εφαρμογή.

Για αισθητήρες θερμοκρασίας Cr και Au σε επιθέματα σιλικόνης έχουν αναφερθεί [11].

Για ηλεκτροφυσιολογικούς αισθητήρες χρησιμοποιούνται Au-Ag NWs, CNTs και AgNWs [12, 13].

Οι αισθητήρες πίεσης και καταπόνησης αποτελούνται από νανοϊνες AgNW/πολυαμιδίου, μικροσωματίδια σε σχήμα αχινού ZnO και ελαστικά και προσαρμοσμένα δίκτυα μήτρας σε υποστρώματα PVA ή PDMS [14, 15]

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν PEDOT: PSS σε υπόστρωμα SEBS και κορτιζόλη με βάση τον OECT.

Έξυπνα υλικά για αισθητήρες

Λόγω του ξεσπάσματος της πανδημίας COVID-19, οι εξελίξεις σε έξυπνα υλικά που χρησιμοποιούνται για αισθητήρες επιταχύνθηκαν και παρουσίασαν σημαντική ανάπτυξη.

Τα έξυπνα υλικά διασταυρώνονται σε πολλούς κλάδους που εκτείνονται από την επιστήμη των υλικών, τη χημεία, τη φυσική, τη μηχανική και τη νανοτεχνολογία [16].

Τα πιο κοινά υλικά αυτού του τύπου είναι νανοϋλικά, γραφένιο, νανοσωματίδια άνθρακα, ανόργανα υλικά, οργανικά νανοσωματίδια, αγωγίμα και μονωτικά πολυμερή και υβριδικά υλικά.

11.5 Συμπέρασμα

Οι αισθητήρες αλληλοεπιδρούν με τον άνθρωπο με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν καλύτεροι αισθητήρες με επαυξημένες δυνατότητες για την επιτυχή ενσωμάτωσή τους σε περισσότερες πτυχές της κοινωνικής μας ζωής. Αισθητήρες παρακολούθησης της υγείας και της άθλησης, αισθητήρες για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων, του καιρού, της θάλασσας, των ζώων είναι μόνο μερικά από τα σημαντικά πεδία που εξαρτώνται από αυτές τις εξελίξεις.

Η έρευνα για τα υλικά που έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε πιο περίπλοκους και προηγμένους αισθητήρες βρίσκεται σε εξέλιξη και συμβαίνει σε όλο τον κόσμο σε ερευνητικά εργαστήρια και πανεπιστήμια.



Πηγές

1. Ling, Y., Tiance, A., Lim Wei, Y., Zhu, B., Gong, S., Wenlong, Ch. Disruptive, Soft, Wearable Sensors. *Advanced Materials*, 2019. doi:10.1002/adma.201904664
2. Ha, M., Lim, S., Ko, H. Wearable and flexible sensors for user-interactive health-monitoring devices. *Journal of Materials Chemistry B*, 2018. doi:10.1039/C8TB01063C
3. Lim, H.R., Kim, H.S., Qazi, R., Kwon, Y.T., Jeong, J.W., Yeo, W.H. Advanced Soft Materials, Sensor Integrations, and Applications of Wearable Flexible Hybrid Electronics in Healthcare, Energy, and Environment. *Advanced Materials*, 2019. doi:10.1002/adma.201901924
4. Koo, J.H., Kim, D.C., Shim, H.J., Kim, T.H., Kim, D.H. Flexible and Stretchable Smart Display: Materials, Fabrication, Device Design, and System Integration. *Advanced Functional Materials*, 2018. doi:10.1002/adfm.201801834
5. Trung, T.Q., Lee, N.-E. *Advanced Materials*, 2017, 29, 1603167.
6. Wen, Z., Yang, Y., Sun, N., Li, G., Liu, Y., Chen, C., Shi, J., Xie, L., Jiang, H., Bao, D., Zhuo, Q., Sun, X., *Advanced Functional Materials*, 2018, 28. <https://doi.org/10.1002/adfm.201803684>
7. Lipomi, D.J., Vosgueritchian, M., Tee, B.C., Hellstrom, S.L., Lee, J.A., Fox, CH., Bao, Z. Skin-like pressure, and strain sensors based on transparent elastic films of carbon nanotubes. *Nat Nanotechnology*, 2011, 6(12), 788-792. Doi: 10.1038/nano.2011.184. PMID: 22020121.
8. Miyamoto, A., Lee, S., Cooray, N.F., Lee, S., Mori, M., Matsuhisa, N., Jin, H., Yoda, L., Yokota, T., Itoh, A., Sekino, M., Kawasaki, H., Ebihara, T., Amagai, M., Someya, T. Inflammation-free, gas-permeable, lightweight, stretchable on-skin electronics with nano meshes. *Nat Nanotechnology*, 2017, 12(9), 907-913. doi: 10.1038/nnano.2017.125. Epub 2017 Jul 17. PMID: 28737748.
9. Wang, C.Y., Xia, K.L., Wang, H.M., Liang, X.P., Yin, Z., Zhang, Y. *Advanced Materials*, 2019, 31, <https://doi.org/10.1002/adma.201801072>
10. Wang, C., Li, X., Hu, H., Zhang, L., Huang, Z., Lin, M., Zhang, Z., Yin, Z., Huang, B., Gong, H., Bhaskaran, S., Gu, Y., Makihata, M., Guo, Y., Lei, Y., Chen, Y., Wang, C., Li, Y., Zhang, T., Chen, Z., Pisano, A.P., Zhang, L., Zhou, Q., Xu, S. Monitoring of the central blood pressure waveform via a conformal ultrasonic device. *Nat Biomed Eng.*, 2018, 2(9), 687-695. doi: 10.1038/s41551-018-0287-x. Epub 2018 Sep 11. PMID: 30906648; PMCID: PMC6428206.
11. Krishnan, S.R., Su, C.-J., Xie, Z., Patel, M., Madhvapathy, S.R., Xu, Y., Freudman, J., Ng, B., Heo, S.Y., Wang, H., Ray, T.R., Leshock, J., Stankiewicz, I., Feng, X., Huang, Y., Gutruf, P., Rogers, J.A. *Small*, 2018, 14. <https://doi.org/10.1002/smll.201803192>
12. Son, D., et al. An integrated self-healable electronic skin system fabricated via dynamic reconstruction of a nanostructured conducting network. *Nature nanotechnology*, 2018, 13(11), 1057-1065.
13. Choi, S., Han, S.I., Jung, D., et al. Highly conductive, stretchable, and biocompatible Ag–Au core–sheath nanowire composite for wearable and implantable bioelectronics. *Nature Nanotech*, 2018, 13, 1048–1056. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0226-8>
14. Fan, Y.J., Li, X., et al. *ACS Nano*, 2018, 12, 9326.
15. Yin, B., Liu, X., et al. *Nat. Commun*, 2018, 9, 5161
16. Özgecan, E., Esmā, D., Kutay, S., Eylul, G.Y., Fatih, I. Smart materials-integrated sensor technologies for COVID-19 diagnosis. *Emergent Materials*, 2021. doi:10.1007/s42247-020-00150-w



Κεφάλαιο 12. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΕΣΗΣ

David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain

12.1 Εισαγωγή

Η αισθητηριακή άνεση παίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση του υφάσματος. Αυτή η έννοια χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την αίσθηση του υφάσματος σχετικά με την επαφή του με το ανθρώπινο δέρμα σε σχέση με την απαλότητα, τη μεταξένια ή άλλες ποιοτικές ιδιότητες που προσθέτουν δυνατότητα χρήσης στο ύφασμα. Μπορεί επίσης να ονομαστεί αίσθηση χεριού ή υφάσματος λόγω των άμεσων υπαινιγμών για τον βαθμό ευαισθησίας και άνεσης του σώματος όταν έρχεται σε επαφή με την ίνα [1]. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ανάλογα με τις προτιμήσεις του ατόμου που φορά το εν λόγω ύφασμα, οι μεταβλητές που θα καθόριζαν την ποιότητά του και την άνεσή του θα ποικίλλουν, καθώς αυτού του είδους η αξιολόγηση είναι εντελώς υποκειμενική [2].

Η μηχανική επαφή του υφάσματος με το δέρμα είναι αυτή που προκαλεί την παρουσία ή την έλλειψη αίσθησης άνεσης. Μπορεί να είναι προσκολλημένο σε ένα βρεγμένο από τον ιδρώτα δέρμα, γρατσουνισμένο ή πολύ άκαμπτο, κάτι που συνήθως γίνεται αισθητό ως μια δυσάρεστη αίσθηση ή μπορεί να είναι απαλό και απαλό, αισθήσεις που αποδίδονται στην άνεση και την ευχαρίστηση. Επιπλέον, ορισμένα υφάσματα μπορούν ακόμη και να προκαλέσουν ερεθισμούς όταν έρχονται σε επαφή με το δέρμα μέσω μηχανικής επαφής. Αυτό θα χαρακτηριζόταν ως άβολα υφάσματα. [3] Τα έξυπνα υφάσματα είναι πολύ πιθανό να παράγουν αυτού του είδους το αποτέλεσμα λόγω των αγώγιμων νημάτων που μπορεί να έχουν στη δομή τους.

Η τριβή και η τραχύτητα του υφάσματος και η απόδοσή τους στο ανθρώπινο δέρμα είναι επίσης βασικοί παράγοντες για την αξιολόγηση της άνεσης του υφάσματος. Αυτή η επαφή και/ή η τριβή, μαζί με την τραχύτητα ή την απαλότητα του υφάσματος, είναι που δημιουργούν την αίσθηση που αξιολογείται στη συνέχεια. Γενικά, η ομαλότητα συνδέεται με το εμπόρευμα και δίνεται καλή αξιολόγηση [4].

12.2 Βασικοί παράγοντες αξιολόγησης άνεσης

Πιο συγκεκριμένες αισθήσεις υφάσματος μπορούν να ληφθούν υπόψη στην αξιολόγηση της άνεσης μιας ίνας, υφάσματος ή υφάσματος, είναι οι ακόλουθες [5]:

Πρώτον, μπορούμε να μιλήσουμε για τις πιο γενετικές απτικές αισθήσεις: τιμπήματα, γαργαλητό, τραχύ, λεία, απόκρημνη, γρατζουνιά, φαγούρα, επιλεκτική, κολλώδης.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η δύναμη τριβής παίζει σημαντικό ρόλο στη φυσική αξιολόγηση μιας ίνας ή ενός υφάσματος: μια ακανόνιστη ή τραχιά επιφάνεια από την ίνα θα δημιουργεί πάντα περισσότερη τριβή από μια λεία. [6]. Έτσι, η δύναμη που απαιτείται για να μετακινηθεί το ύφασμα κατά μήκος του δέρματος κατά την επαφή υφάσματος-δέρματος αντιτίθεται από τη δύναμη τριβής που δημιουργείται από αυτή την επαφή. Όταν



η ασκούμενη δύναμη υπερβαίνει τη δύναμη τριβής, εμφανίζεται κίνηση του υφάσματος ενάντια στο δέρμα. Τα χαρακτηριστικά τριβής των επιφανειών ολίσθησης περιγράφονται συχνά από τον συντελεστή τριβής που ορίζεται ως ο λόγος της δύναμης έλξης (παράλληλη σε μία επιφάνεια) προς την κανονική δύναμη που πιέζει στην επιφάνεια επαφής [7, 8].

Δεύτερον, οι αισθήσεις που μπορεί να δημιουργήσει η παρουσία ή η απουσία υγρασίας στην ίνα, όπως εάν είναι μαλακή, υγρή, υγρή, κολλώδης, αποπνικτική, μη απορροφητική, κολλώδης.

Ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι η παρουσία υγρασίας αυξάνει την τριβή μεταξύ του υφάσματος και του δέρματος, επομένως η ανθρώπινη αίσθηση στο ύφασμα υπό αυτές τις συνθήκες είναι πιο τραχιά από ό,τι σε ξηρό περιβάλλον. Με άλλα λόγια, όσο μεγαλύτερη είναι η παρουσία υγρασίας τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίληψη της τριβής και της μη άνεσης. Έτσι, η αντίδραση στην υγρασία γίνεται ένα σημαντικό κλειδί για την αξιολόγηση της αισθητηριακής άνεσης [9].

Ο αριθμός των νημάτων σε ένα νήμα αλλάζει επίσης την αίσθηση όταν αγγίζετε ένα ύφασμα: όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των νημάτων, τόσο πιο μαλακό θα είναι το ύφασμα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο τα μικρονήματα χρησιμοποιούνται σε ορισμένες συγκεκριμένες εφαρμογές που πρέπει να δημιουργήσουν μια ευχάριστη αίσθηση στην επαφή με το δέρμα. Όταν μιλάμε για έξυπνα υφάσματα, τα αγωγίμα νήματα έχουν διαφορετικές ιδιότητες από τα νήματα του υφάσματος και η έννοια του μικρονήματος δεν χρησιμοποιείται. Επίσης η ακαμψία των αγωγίμων νημάτων μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην ομαλότητα του υφάσματος.

Μερικές από αυτές τις ιδιότητες είναι εύκολο να τροποποιηθούν σε συνθετικά υφάσματα και όχι σε φυσικές ίνες (ειδικά τις φυτικές).

Στη συνέχεια, η εφαρμογή ή η προσαρμογή στο σώμα και η αίσθηση του, σαν άνετη, χαλαρή, ελαφριά, βαριά, μαλακή, άκαμπτη.

Και, τέλος, είναι επίσης μια σημαντική μεταβλητή: οι θερμικές αισθήσεις: κρύο, δροσερό, ζεστό, καυτό.

12.3 Καινοτομία και άνεση

Ένας τομέας που απαιτεί υψηλή απόδοση των υφασμάτων και μια τέτοια ακριβή αίσθηση άνεσης είναι απαραίτητος είναι η αγορά αθλητικών ρούχων. Σε αυτόν τον τομέα εφαρμογής, οι αθλητές δεν χρειάζεται μόνο να αισθάνονται άνετα σε κανονικές συνθήκες, αλλά για συγκεκριμένες δραστηριότητες σημαίνει ότι επαναλαμβάνόμενες κινήσεις για μεγάλες περιόδους που δοκιμάζουν την τριβή του υφάσματος με το δέρμα, πώς αντιδρά το ύφασμα στην υγρασία και τον ιδρώτα, αντοχή και προστασία σε αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες (περιβάλλοντα υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας),... Έτσι, πράγματι, αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο αθλητικός κόσμος αποτελεί παράδειγμα για την αξιολόγηση της άνεσης στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Επιπλέον, ο συνδυασμός καινοτομίας, αθλητισμού και άνεσης βρίσκεται επί του παρόντος στο επίκεντρο [10]. Υπό

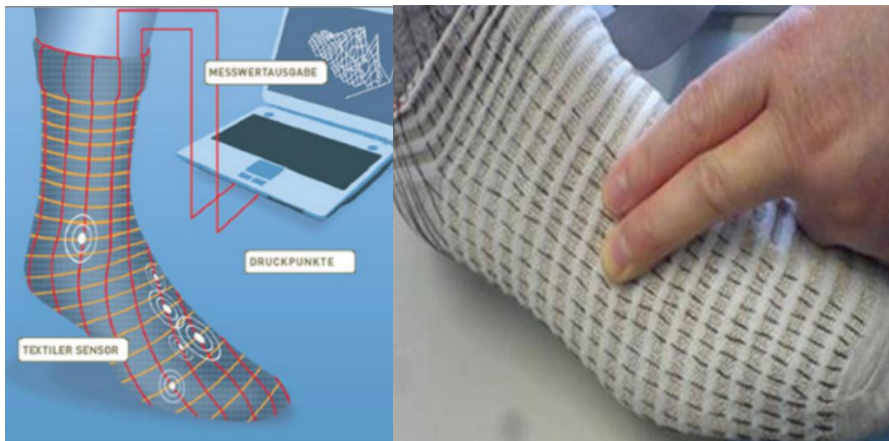


αυτή την έννοια, μια ενδιαφέρουσα συλλογή παραδειγμάτων παρουσιάζεται παρακάτω [10]:



Εικόνα 12.1 Έξυπνα προϊόντα Sensoria (αμάνικο μπλουζάκι, αθλητικό σουτιέν, κάλτσες και παπούτσια για τρέξιμο)

Το εμπορικό σήμα Sensoria έχει αναπτύξει πολλές σειρές έξυπνων προϊόντων που σχετίζονται με αθλητικά ρούχα. Η σειρά περιλαμβάνει ρούχα από γυμναστήρια και κάλτσες μέχρι μπλουζάκια. Η ιδιαιτερότητα αυτών των καινοτόμων προϊόντων είναι σε θέση να παρακολουθούν την αναλογία καρδιακών παλμών, την ταχύτητα, τις θερμίδες και την απόσταση, μεταξύ άλλων.



Εικόνα 12.2 SmartSock από την Alphafit για τη μέτρηση της εφαρμογής

Το SmartSock είναι ένα προϊόν με ενδιαφέρουσες ιδιότητες και λειτουργίες. Δίνει τη δυνατότητα να αξιολογήσετε πόσο εφαρμόζει το πόδι μέσα στο παπούτσι.



Εικόνα 12.3 Μοον HR μπάντα και σκουφάκι κολύμβησης

Το MOV HR είναι μια ταινία εφίδρωσης που μπορεί να παρακολουθεί ανθρώπινες σταθερές όπως ο καρδιακός ρυθμός ή να παρέχει πιο εξατομικευμένες εισόδους, καθώς μπορεί να συνδεθεί και να συγχρονιστεί με ακουστικά. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάτω από σκουφάκι κολύμβησης.



Εικόνα 12.4 Επένδυση τζάκετ Venture Heat Deluxe

Το Venture Heat Deluxe Heated Jacket Liner παρέχει στο άτομο που το φοράει μια αίσθηση θέρμανσης που θα απαλύνει το κρύο έξω από το κρύο. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για αναβάτες μοτοσυκλετών.

Όλα αυτά τα αντικείμενα χρειάζονται υψηλό επίπεδο άνεσης για να αποδίδουν σωστά και να μην ενοχλούν τη δραστηριότητα του αθλητή.

12.4 Συμπεράσματα

Σε αυτό το σημείο της ανάλυσης, ορισμένες επιβεβαιώσεις είναι σαφείς. Από τη μία πλευρά, η άνεση σε υφάσματα και ρούχα μπορεί να αξιολογηθεί από πολλές οπτικές γωνίες. Και από την άλλη πλευρά, μπορούμε να συμπεράνουμε τις πιο θεωρημένες μεταβλητές, τόσο το καλύτερο, καθώς η άνεση είναι, σε καθοριστικό ποσοστό, μια



υποκειμενική ποιότητα. Ωστόσο, για το ευρύ κοινό, οι απτικές αισθήσεις που σχετίζονται με την απαλότητα και άλλες συνθήκες, που συνδέονται με την υγρασία, θεωρούνται πιθανώς οι πιο σημαντικές μεταβλητές που καθορίζουν την παρουσία ή την απουσία άνεσης.

Και, τέλος, σχετικά με τη συγκεκριμένη εφαρμογή αυτής της άνεσης στη νέα γενιά κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, είναι αξιοσημείωτο ακόμη και η καινοτομία προικίζει τα νέα προϊόντα με νέες και πολλαπλές εφαρμογές και βελτιώσεις, η αίσθηση χρήσης δεν είναι ποτέ μια πτυχή που πρέπει να ξεχαστεί.

Πηγές

1. Meinander, H., Luible, C., Magnenat-Thalmann, N. Influence of Physical Parameters on Fabric Hand. *Proceedings of the HAPTEX'05 Workshop on Haptic and Tactile Perception of Deformable Objects, Hanover, 2005*, 12.
2. Pan, N., Yen, K.C., Zhao, S.T., Yang, S.R. A New Approach to the Objective Evaluation of Fabric Handle from Mechanical Properties, Part I; Objective Measure for Total Handle. *Textile Research Journal*, 1988, 58, 438-444.
3. Bartels, V.T. Physiological comfort of bio functional textile s in Current problems in Dermatology. G. burg, Editor: Karger, Switzerland, 2006, 51-66.
4. LaMotte, R.H. Psychophysical and Neurophysiological Studies of Tactile Sensibility, in Clothing comfort. N.R.S. Hollies and R.F. Goldman, Editors: Michigan, 1977, 83-105.
5. Sundaresan, S., and Dasaradan, B.S. Comfort Properties of Apparels. *The Indian Textile Journal*, 2007, 32, 2-10.
6. Bhupender, E.M., and Gupta, S. Friction in Fibrous Materials. *Textile Research Journal*, 1991, 61(9), 547-554.
7. Gwosdow, A.R., and Steven, J.C. Skin friction and fabric sensations in neutral and warm environments. *Textile Research Journal*, 1986, 56(9), 574-580.
8. Nawaza, N., Troynikovb, N., Watsonc, C. Evaluation of Surface Characteristics of Fabrics Suitable for Skin Layer of Firefighters' Protective Clothing. *International conference on Physics Science and Technology*, 2011.
9. Li., Y., ed. The Science of clothing comfort. *The Textile Institute, Textile Progress, Oxford, UK*, 2001, 103
10. Kazani, I., Lutz, V., Malik, S., Mazari, A., Nierstrasz, V., Rodrigues, L., Tedesco, S. CONTEXT-COST, *Smart textiles for sportswear and wearables (WG5)*, 2021.



Κεφάλαιο 13. ΦΩΤΟΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica

13.1 Εισαγωγή

Η φωτονική είναι ένα πεδίο μελέτης που περιλαμβάνει τη χρήση ακτινοβολίας στο φάσμα συχνοτήτων του φωτός χρησιμοποιώντας το θεμελιώδες στοιχείο του φωτός, που είναι το φωτόνιο. Υπάρχει σχέση μεταξύ ηλεκτρονικών εφαρμογών και φωτονικών εφαρμογών: οι ηλεκτρονικές εφαρμογές χρησιμοποιούν ηλεκτρόνια και οι φωτονικές εφαρμογές χρησιμοποιούν το φωτόνιο με παρόμοιο τρόπο. Η φωτονική έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα ηλεκτρονικά, και αυτός είναι ο λόγος για τη χρήση τους.

Μια ποικιλία φωτονικών στοιχείων είναι ήδη διαθέσιμα και χρησιμοποιούνται σε κοινές εφαρμογές, όπως λέιζερ, οπτικές ίνες, κάμερες και οθόνες σε κινητά τηλέφωνα, οπτικά τσιμπιδάκια, φωτισμός σε οχήματα και κτίρια, οθόνες υπολογιστών και τηλεοράσεις και πολλά άλλα.

Με τον όρο «φωτονικά υλικά» αναφερόμαστε σε υλικά που εκπέμπουν, ανιχνεύουν, χειρίζονται ή ελέγχουν το φως. Οι φωτονικές συσκευές εκπέμπουν, μεταφέρουν και ανιχνεύουν φως και κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας εξαρτήματα όπως διόδους λέιζερ, δίοδοι εκπομπής φωτός, ηλιακά και φωτοβολταϊκά κύτταρα, οθόνες και οπτικούς ενισχυτές.

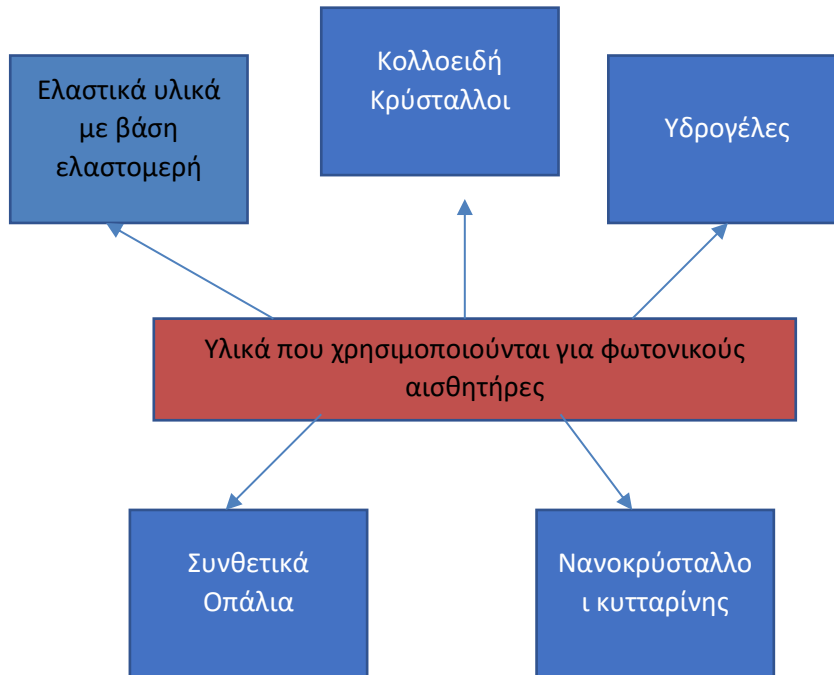
13. 2 Χρήση φωτονικών υλικών σε αισθητήρες

Μια κοινή οικογένεια υλικών που χρησιμοποιούνται ως αισθητήρια στοιχεία είναι οι αυτοσυναρμολογούμενοι κolloειδείς κρύσταλλοι. Είναι κρύσταλλοι σε μικροκλίμακα ή και νανο-κλίμακα που τοποθετούνται σε ένα υπόστρωμα, σε πολύ λεπτή διασπορά. Συνήθως παράγονται από διάλυμα. Η δομή και η φύση των συστατικών υλικών καθορίζουν το διάκενο της φωτονικής ζώνης και το δομικό χρώμα αυτών και για το λόγο αυτό είναι χρήσιμα ως αισθητήρια στοιχεία σε διάφορες εφαρμογές. [1].

Οι φωτονικοί αισθητήρες έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τους συμβατικούς ηλεκτρονικούς αισθητήρες. Αυτά είναι η υψηλή ευαισθησία, η χαμηλή υστέρηση, η ανοσία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές [2]

Υλικά

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες και η χρήση φωτονικών αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Οι κύριες κατηγορίες αυτών των υλικών παρουσιάζονται στην Εικόνα 13.1.



Εικόνα 13.1 Υλικά που χρησιμοποιούνται σε φωτονικές εφαρμογές

Ελαστικά υλικά με βάση ελαστομερή

Ένα κοινό συστατικό των έξυπνων υφασμάτων είναι τα λειτουργικά εκτάτα υλικά και τις περισσότερες φορές τα εκτάσιμα αγώγιμα στοιχεία. Το υπόστρωμα είναι συνήθως ένα ελαστομερές που λειτουργεί είτε ως μήτρα για αγώγιμα υλικά πλήρωσης και δίκτυα, είτε ως υποστηρικτικό υλικό για αγώγιμα φιλμ, τροχιές και λειτουργικές συσκευές [3]. Το επιθυμητό χαρακτηριστικό των ελαστομερών είναι η εύκαμπτη φύση τους, που σημαίνει ότι αντέχουν τις δυνάμεις καταπόνησης και μπορούν να διατηρήσουν το αρχικό τους σχήμα και να σχηματίσουν επαναλαμβανόμενα μετά την εφαρμογή της τάσης, για χιλιάδες κύκλους τεντώματος/απελευθέρωσης. Οι εκτάσιμοι αισθητήρες παρέχουν λειτουργίες όπως η οπτική διαφάνεια, που διευκολύνει τις οπτικές εφαρμογές στην οπτοηλεκτρονική, φωτοανιχνευτές, συσκευές εκπομπής φωτός, ηλιακά κύτταρα [4, 5].

Το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ελαστομερές υλικό σε σχετικές εφαρμογές. Είναι ένα ορυκτό-οργανικό πολυμερές που περιέχει σιλικόνη και είναι ένα ώριμο προϊόν του εμπορίου, καθώς βρίσκεται ήδη στην αγορά εδώ και πολύ καιρό. [6].

Επιπλέον, ελαστομερή υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ηλεκτρικών αγωγών. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι ηλεκτρικοί αγωγοί κατασκευάζονται από (χύμα) μεταλλικά φιλμ, μεταλλικά νανοσύρματα, νανοϋλικά με βάση τον άνθρακα, εγγενώς αγώγιμα πολυμερή, υγρά μέταλλα και ιοντικά υγρά.



Έχουν κατασκευαστεί εφαρμογές που βασίζονται σε υλικά που βασίζονται σε ελαστομερή αισθητήρες, όπως μετρητές καταπόνησης [7], αισθητήρες πίεσης [8], αισθητήρες θερμοκρασίας [9], αισθητήρες αερίων [10] και αισθητήρες UV [11].

Κολλοειδή Κρύσταλλοι

Οι κολλοειδείς κρύσταλλοι είναι μια δομή σειράς αλληλουχίας που αποτελείται από μονοδιεσπαρμένα, ανόργανα ή οργανικά νανοσωματίδια [12, 13]. Όλα τα ενδιαφέροντα οπτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τους φωτονικούς κρυστάλλους οφείλονται στην ύπαρξη ζωνών ενέργειας [14].

Οι φωτονικοί κρύσταλλοι ταξινομούνται ανάλογα με τις διαστάσεις τους: μονοδιάστατοι (1D), δισδιάστατοι (2D) και τρισδιάστατοι (3D) [15]. Οι κολλοειδείς κρύσταλλοι ταξινομούνται στην κατηγορία των τρισδιάστατων φωτονικών κρυστάλλων.

Οι κολλοειδείς κρύσταλλοι έχουν αναφερθεί ότι ενσωματώνονται σε αισθητήρες χρόνου-θερμοκρασίας [16].

Ένα φωτονικό φύλλο κολλοειδούς κρυστάλλου έχει παραχθεί, με την εφαρμογή μονοδιεσπαρμένου πολυστυρενίου (PS), σε υπόστρωμα πολυδιμεθυλοσιλοξανίου (PDMS). Σύμφωνα με την καταπόνηση που εφαρμόζεται στο ελαστομερές υπόστρωμα και την παραμόρφωσή του, το χρώμα του φύλλου αλλάζει [17].

Υδρογέλες

Οι υδρογέλες είναι υλικά δύο φάσεων, που αποτελούνται από ένα υγρό (που συνήθως είναι νερό) και μια πορώδη και υδατοδιαπερατή στερεά πολυμερή δομή. Οποιαδήποτε αλλαγή στη χημική τους σύνθεση (π.χ. αλλαγή στη συγκέντρωση του νερού), προκαλεί αλλαγή στις μηχανικές τους ιδιότητες (π.χ. ελαστικότητα, αντοχή σε διάτμηση κ.λπ.). Παρόμοιο αποτέλεσμα συμβαίνει εάν αλλάξουν τη δομή της πολυμερικής μήτρας τους. Με αυτόν τον τρόπο, προσαρμόζοντας τις χημικές τους ιδιότητες και τη φυσική τους δομή, γίνονται ευαίσθητα σε εξωτερικά ερεθίσματα και βιοσυμβατότητα, μπορούν να διαμορφωθούν σε διάφορες δομές και να ενσωματωθούν σε μικροσυστήματα [18].

Η σύνθεση των Υδρογελών γίνεται σε υδατικά διαλύματα με εφαρμογή ακτινοβολίας UV [19], θερμο-εκκινούμενος ριζικός πολυμερισμός [20], αντίδραση προσθήκης [21], αυτοσυναρμολόγηση μοτίβων αναγνώρισης όπως τυλιγμένα πηνία [22], πεπτίδια [23], γέφυρες υδρογόνου [24] ή DNA [25].

Οι υδρογέλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αισθητήρες αλλά μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως αισθητήρες οι ίδιοι. Μια άλλη εφαρμογή των υδρογελών είναι η δυνατότητα χρήσης ως βιοαισθητήρες.



Συνθετικά Οπάλια

Τα συνθετικά οπάλια είναι τεχνητά οπάλια, δηλαδή ένυδρο οξείδιο του πυρίτιου SiO_2 . Έχουν την ίδια χημική σύνθεση, εσωτερική δομή, φυσικές ιδιότητες και εμφάνιση με τα φυσικά οπάλια. Ονομάζονται επίσης εργαστηριακά οπάλια, οπάλια που καλλιεργούνται στο εργαστήριο ή καλλιεργημένα οπάλια για να υποδείξουν την ανθρωπογενή προέλευσή τους. Τα οπάλια είναι κρύσταλλοι που μπορούν να καθοδηγήσουν ή να παγιδεύσουν τη διάδοση του φωτός, παρέχοντας εντοπισμό του φωτός, κάτι που είναι πολύ επιθυμητό σε φωτονικές εφαρμογές.

Για παράδειγμα, μια αναφορά για συνθετικά οπάλια που αποτελούνται από σφαίρες ίσης διαμέτρου $\alpha\text{-SiO}_2$ στενά συσκευασμένες σε τρισδιάστατα κεντρικά κυβικά πλέγματα με περιόδους περίπου 200 nm, ανέφερε ότι διαθέτουν φωτονικές ζώνες διακοπής σε όλο το ορατό φάσμα (400-600 nm) [26].

Νανοκρύσταλλοι κυτταρίνης

Η κυτταρίνη σε νανομορφή (νανοσωματίδια- (NPs) είναι ένα άλλο πολλά υποσχόμενο νέο υλικό σε φωτονικές εφαρμογές. Οι ιδιότητες των NP της κυτταρίνης είναι αρκετά διαφορετικές από τις ιδιότητες της κυτταρίνης σε χύδην μορφή. Έχουν ανακαλυφθεί προηγμένες δυνατότητες ανίχνευσης για σύνθετα λεπτά φιλμ από νανοκρυστάλλους κυτταρίνης [27].

Οι εφαρμογές των νανοκρυστάλλων κυτταρίνης επεκτείνονται σε μια ποικιλία τύπων αισθητήρων όπως αισθητήρες πίεσης, αισθητήρες τάσης, αισθητήρες εγγύτητας, αισθητήρες αερίων και ατμών, βιοαισθητήρες, οπτικούς αισθητήρες, αισθητήρες PH, αισθητήρες φθορισμού και ηλεκτροχημικούς αισθητήρες [27].

Η σύνθεση των νανοκρυστάλλων κυτταρίνης γίνεται συνήθως με τη μέθοδο της υδρόλυσης θεικού οξέος, μια καλά καθορισμένη και καθιερωμένη μέθοδο. Χρησιμοποιούνται ήδη σε ορισμένα ιατρικά προϊόντα, έχουν σίγουρα δυνατότητες για φορετούς αισθητήρες [28].

13.5 Συμπεράσματα

Οι εφαρμογές φωτονικής έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ηλεκτρονικές εφαρμογές, κυρίως υψηλή ευαισθησία, χαμηλή υστέρηση και απουσία ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Οι εφαρμογές με οπτικές ίνες σε έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχουν εφαρμοστεί εδώ και αρκετό καιρό, αλλά περιορίζονται στο αισθητικό μέρος του υφάσματος και δεν παρέχουν καμία λειτουργία. Η χρήση φωτονικών συσκευών ως αισθητήρων φωτός ή χημικών στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, βασίζεται σε μικρο- ή νανο-κolloειδείς κρυστάλλους που εναποτίθενται στο υπόστρωμα του υφάσματος. Αυτοί οι κρύσταλλοι βασίζονται σε ορυκτά όπως το πυρίτιο π.χ. μονο-διασπαρμένη πολυστερίνη σε υπόστρωμα πολυδιμεθυλοσιλοξανίου ή μικροκρυστάλλους $\alpha\text{-SiO}_2$. Ένα πολλά υποσχόμενο φωτονικό υλικό, με σημαντικές δυνατότητες για φορητούς αισθητήρες είναι οι νανοκρύσταλλοι κυτταρίνης.



Πηγές

1. Zheng, H., Ravaine, S. Bottom-Up Assembly and Applications of Photonic Materials. *Crystals*, 2016, 6(5). doi:10.3390/cryst6050054
2. Peng, W., Wu, H., Flexible and Stretchable Photonic Sensors Based on Modulation of Light Transmission. *Advanced Optical Materials*, 2019, 7. <https://doi.org/10.1002/adom.201900329>
3. Yu, X., Mahajan, B., Shou, W., Pan, H. Materials, Mechanics, and Patterning Techniques for Elastomer-Based Stretchable Conductors. *Micromachines*, 2016, 8(1). doi:10.3390/mi8010007
4. Yao, S., Zhu, Y. Nanomaterial-enabled stretchable conductors: Strategies, materials and devices. *Adv. Mater.*, 2015, 27, 1480–1511
5. McCoul, D., Hu, W., Gao, M., Mehta, V., Pei, Q. Recent advances in stretchable and transparent electronic materials. *Adv. Electron. Mater.*, 2016, 2, 1500407
6. Vohra, A.; Filiatrault, H.L.; Amyotte, S.D.; Carmichael, R.S.; Suhan, N.D.; Siegers, C.; Ferrari, L.; Davidson, G.J.E.; Carmichael, T.B. Reinventing butyl rubber for stretchable electronics. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 5222–5229
7. Amjadi, M.; Kyung, K.-U.; Park, I.; Sitti, M. Stretchable, skin-mountable, and wearable strain sensors and their potential applications: A review. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 1678–1698
8. Gong, S.; Schwalb, W.; Wang, Y.; Chen, Y.; Tang, Y.; Si, J.; Shirinzadeh, B.; Cheng, W. A wearable and highly sensitive pressure sensor with ultrathin gold nanowires. *Nat. Commun.*, 2014, 5, 3132
9. Yu, C.; Wang, Z.; Yu, H.; Jiang, H. A stretchable temperature sensor based on elastically buckled thin film devices on elastomeric substrates. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 95, 141912
10. Yun, J.; Lim, Y.; Jang, G.N.; Kim, D.; Lee, S.-J.; Park, H.; Hong, S.Y.; Lee, G.; Zi, G.; Ha, J.S. Stretchable patterned graphene gas sensor driven by integrated micro-supercapacitor array. *Nano Energy*, 2016, 19, 401–414
11. Yoon, J.; Hong, S.Y.; Lim, Y.; Lee, S.-J.; Zi, G.; Ha, J.S. Design and fabrication of novel stretchable device arrays on a deformable polymer substrate with embedded liquid-metal interconnections. *Adv. Mater.*, 2014, 26, 6580–6586
12. Asher, S.A., Alexeev, V.L., Goponenko, A.V., Sharma, A.C., Lednev, I.K., Wilcox, C.D., Finegold, J. *Am. Chem. Soc.*, 2003, 125, 3322
13. Pratibha, R., Park, W., Smalyukh, I.I. *J. Appl. Phys.*, 2010, 107
14. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. John Wiley & Sons, New York, 1976
15. Furumi, S.; Fudouzi, H.; Sawada, T. Self-organized colloidal crystals for photonics and laser applications. 2010, 4(2), 205–220. doi:10.1002/lpor.200910005
16. Schöttle, M., Tran, T.; Feller, T.; Retsch, M. Time–Temperature Integrating Optical Sensors Based on Gradient Colloidal Crystals. *Advanced Materials*, 2021. doi:10.1002/adma.202101948
17. Fudouzi, H., Sawada, T. *Langmuir*, 2006, 22, 1365
18. Buenger, D.; Topuz, F.; Groll, J. Hydrogels in sensing applications. 2012, 37(12). doi:10.1016/j.progpolymsci.2012.09.001
19. Nguyen, K.T, West, J.L. Photopolymerizable hydrogels for tissue engineering applications. *Biomaterials*, 2002, 23, 4307–14.
20. Biswal, D., Hilt, J.Z. Microscale analysis of patterning reactions via FTIR imaging: application to intelligent hydrogel systems. *Polymer*, 2006, 47, 7355–60.
21. Dalton, P.D., Hostert, C., Albrecht, K., Moeller, M., Groll, J. Structure and properties of urea-crosslinked star poly (ethylene oxide)-ran- (propylene oxide) hydrogels. *Macromolecular Bioscience*, 2008, 8, 923–31.



22. Vandermeulen, G.W.M., Tziatzios, C., Duncan, R., Klok, H.A. PEG-based hybrid block copolymers containing alpha-helical coiled coil peptide sequences: control of self-assembly and preliminary biological evaluation. *Macromolecules*, 2005, 38, 761–9.
23. Galler, K.M., Aulisa, L., Regan, K.R., D'Souza, R.N., Hartgerink, J.D. Self-assembling multidomain peptide hydrogels: designed susceptibility to enzymatic cleavage allows enhanced cell migration and spreading. *Journal of the American Chemical Society*, 2010, 132, 3217–23
24. Dankers, P.Y.W., Harmsen, M.C., Brouwer, L.A., Van Luyn, M.J.A., Meijer, E.W. A modular and supramolecular approach to bioactive scaffolds for tissue engineering. *Nature Materials*, 2005, 4, 568–74.
25. Topuz, F., Okay, O. Rheological behavior of responsive DNAhydrogels. *Macromolecules*, 2008, 41, 8847–54
26. Vlasov, Yu.A.; Astratov, V.N.; Karimov, O. ; Kaplyanskii, A. A.; Bogomolov, V. ; Prokofiev, A.V. Existence of a photonic pseudogap for visible light in synthetic opals. *Physical Review B*, 1997, 55(20), R13357–R13360. doi:10.1103/PhysRevB.55.R13357
27. Ansari, J.R. Nanocellulose Based Composites for Electronics. *Nanocellulose-based materials/composites for sensors*, 2021, 185–214. doi:10.1016/B978-0-12-822350-5.00008-4
28. Kelcilene, B.R.T; Rafaela, C.S.; Fernanda, L.M.; Pavinatto, A.; Murilo H.M.F. ; Correa, D.S. A Review on the Role and Performance of Cellulose Nanomaterials in Sensors. *ACS Sensors*, 2021. doi:10.1021/acssensors.1c00473

Κεφάλαιο 14. ΦΘΟΡΕΣ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ

Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, “Gheorghe Asachi” Technical University, Romania

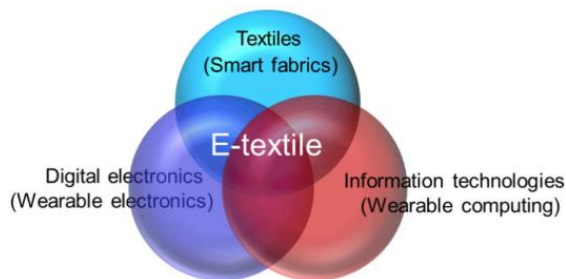
14.1 Εισαγωγή

Ένα ενεργό έξυπνο ύφασμα που περιέχει ηλεκτρονικά στοιχεία στη σύνθεσή του ονομάζεται E-textile (smart textile). Τα ηλεκτρονικά υφάσματα είναι στην πραγματικότητα φορητοί υπολογιστές, ή ηλεκτρονικές συσκευές, που εισάγονται στα σχέδια ρούχων. Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεχνολογίες εσωτερικού σχεδιασμού. Αυτό προϋποθέτει ότι τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα εισάγονται σε υφάσματα ή ίνες [1]. Επίσης, το e-textile μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ενδύματα με βάση τις μικροϊνες/νανοϊνες, τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένα ηλεκτρονικά και τα οποία απογειώνουν τις μορφές του σώματος [3, 4].

Τα e-textile χαρακτηρίζονται από: ελαστικότητα, ευελιξία και άνεση [2]. Ανάλογα με τον τομέα χρήσης, τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι επίσης γνωστά ως έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, έξυπνα υφάσματα, τεχνο-υφάσματα, φορητοί υπολογιστές, φορετά ηλεκτρονικά [5, 6].

Ο πολυεπιστημονικός χαρακτήρας των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, υποθέτει:

- υφάσματα (έξυπνα υφάσματα);
- ψηφιακά ηλεκτρονικά (φορετούμενα ηλεκτρονικά);
- τεχνολογία πληροφοριών (wearable computing) (Εικόνα 14.1) [5].



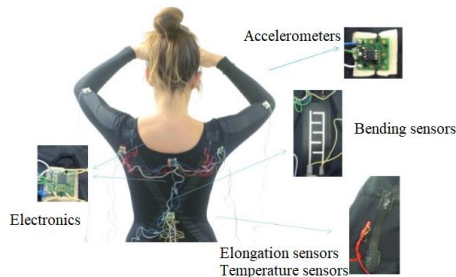
Εικόνα 14.1 Πολυεπιστημονικός χαρακτήρας των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

14.2 Ταξινόμηση ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Τα E-textiles μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 κατηγορίες [7]:

1. Παθητικά ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα που βασίζονται σε αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν το περιβάλλον.

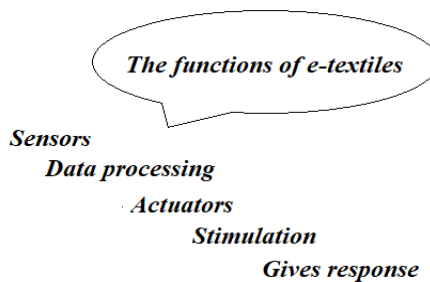
2. Ενεργό έξυπνο ύφασμα που αντιδρά σε ερεθίσματα από το περιβάλλον, με βάση μια λειτουργία ενεργοποιητή και μια συσκευή ανίχνευσης. Ένα παράδειγμα ενεργού έξυπνου υφάσματος είναι στην Εικόνα 14.2 [8].



Εικόνα 14.2 Ενεργό έξυπνο ύφασμα

3. Πολύ έξυπνα υφάσματα, που αντιλαμβάνονται τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος, αντιδρούν και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους. Οι λειτουργίες των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.
4. Πολύ έξυπνα υφάσματα: ικανά να αισθάνονται, να αντιδρούν και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους στις δεδομένες συνθήκες

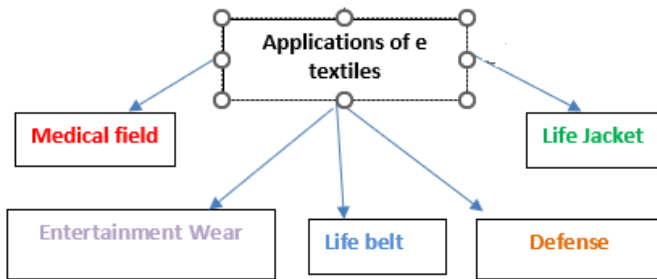
Οι λειτουργίες των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων παρουσιάζονται στην Εικόνα 14.3.



Εικόνα 14.3 Οι λειτουργίες των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Οι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για τη λήψη παραμέτρων από το περιβάλλον. Η ενεργή επεξεργασία είναι για επεξεργασία δεδομένων και για αποκρίσεις από την προκύπτουσα λειτουργία του αισθητήρα (ενεργοποιητές). Η διέγερση εντοπίζεται από το περιβάλλον.

Εφαρμογή ηλεκτρονικών υφασμάτων είναι για διαφορετικά πεδία δραστηριότητας και παρουσιάζονται στην Εικόνα 14.4 [7].



Εικόνα 14.4 Εφαρμογές ηλεκτρονικών υφασμάτων

Υλικά για ηλεκτρονικά υφάσματα

Υπάρχουν πολλοί τύποι υλικών (ίνες ή σε οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη μορφή, όπως κυκλώματα συγκόλλησης ή ως τυπωμένο στρώμα) ανάλογα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα:

- μέταλλα;
- εγγενώς αγώγιμα πολυμερή;
- σύνθετα υλικά αγώγιμων σωματιδίων/πολυμερούς (μικρο ή νανο). [7].
- περιβάλλον, ενσωμάτωση μιας λειτουργίας ενεργοποιητή και ενός περιβάλλοντος συσκευής ανίχνευσης, ενσωμάτωση μιας λειτουργίας ενεργοποιητή και μιας συσκευής ανίχνευσης.

Βλάβες ηλεκτρονικών υφασμάτων

Είναι πολύ σημαντικό τα ηλεκτρονικά υφάσματα να μπορούν να πλυθούν, αλλά αυτό είναι μεγάλο πρόβλημα.

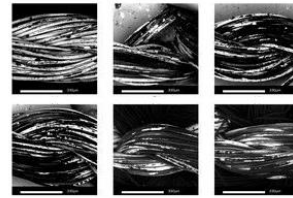
Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία πλύσης (παράγοντες Sinners) είναι:

- Η ώρα;
- η θερμοκρασία;
- η μηχανική δράση;
- τους παράγοντες χημείας/βιολογίας [8, 9].

Τα πιο συνηθισμένα ζητήματα που σχετίζονται με το πλύσιμο ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι:

- Βλάβες σε αγώγιμες επιστρώσεις και τυπωμένες αγώγιμες δομές (Εικόνα 14.5) [10];
- Βλάβες σε στρώματα επιμετάλλωσης (Εικόνα 14.6) [15];
- Βλάβες σε καλώδια, αγώγιμες γραμμές και συνδέσεις (Εικόνα 14.7) [16];
- Ζημιές σε προστατευτικά στρώματα (Εικόνα 14.8) [16];

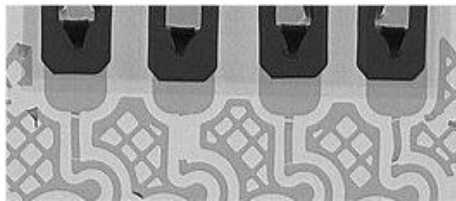
- Αλλαγές κλωστοϋφαντουργίας.



Increased loss of metalization dependent on wash cycle: 5;10;20;40;50

Εικόνα 14.5 Βλάβες σε αγώγιμες επιστρώσεις μέσω πλυσίματος

Εικόνα 14.6 Η ποσότητα του μετάλλου εξαρτάται από τον αριθμό των κύκλων



Εικόνα 14.7 Ρωγμές σε χάλκινες ράγες κατά τη μετάβαση σε τακάκια επαφής

Εικόνα 14.8 Προσδιορισμός προστατευτικού στρώματος κατά μήκος αγώγιμων τροχιών

Μετά από αρκετούς κύκλους πλύσης, η περιεκτικότητα σε άργυρο αυξάνεται, αλλά η μεγαλύτερη απώλεια αργύρου είναι κατά τη διάρκεια των πρώτων κύκλων πλύσης [11] (Εικόνα 14.6) [15]. Η απώλεια της επιμετάλλωσης εξαρτάται από την τριβή μεταξύ των υφασμάτων που δοκιμάστηκαν [12, 13]. Επίσης, οι κυκλικές αλλαγές θερμοκρασίας κατά το πλύσιμο καθορίζουν μια αναντιστοιχία του συντελεστή θερμικής διαστολής στα εμπλεκόμενα υλικά, η οποία οδηγεί σε ζημιές [14]. Θραύσεις στο μέταλλο (κατά τη μετάβαση από την αγώγιμη περιοχή στα τακάκια επαφής) μπορούν να παρατηρηθούν κατά το πλύσιμο των λωρίδων εύκαμπτης πλακέτας κυκλώματος υφασμένων σε υφάσματα (Εικόνα 14.7) [16].

Οι ζημιές στα προστατευτικά στρώματα εξαρτώνται από τη σκληρότητα του προγράμματος πλύσης (οι δυνάμεις τριβής που ασκούνται στα δείγματα θα οδηγήσουν σε λέπτυνση και τελικά θραύσματα του στρώματος PU) (Εικόνα 14.8) [17].

Μια άλλη ζημιά κατά το πλύσιμο είναι:

- αλλαγές και φθορές στο υφαντικό υπόστρωμα;
- ρυτίδωση σε δείγματα δοκιμής [18];
- συσσώρευση [17];
- εμπλοκή ινών [19];
- την απώλεια της προεπεξεργασίας του υφάσματος μετά το πλύσιμο [20];



- διάβρωση σε ορισμένα από τα πλυμένα αγώγιμα νήματα;
- ένα σκουρόχρωμο της επιφάνειας, που δείχνει την οξείδωση της επικάλυψης αργύρου [21].

14.3 Συμπεράσματα

Το πλύσιμο μπορεί να οδηγήσει σε πολλά προβλήματα στα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Αυτές οι αστοχίες μπορεί να συμβούν σε συγκεκριμένα σημεία του σχεδιασμού ή παντού, ανάλογα με τον τύπο και τη σύνθεση του e-textile. Αδύναμα σημεία είναι οι επαφές μεταξύ διαφορετικών υλικών και εξαρτημάτων καθώς και οι περιοχές μετάβασης μέσα στο ίδιο υλικό. Σε αγώγιμα νήματα ή υφάσματα χωρίς κάποια μορφή προστασίας, μπορεί να προκληθούν ζημιές σε όλη τη δομή. Προς το παρόν πρέπει να διεξαχθούν οι τύποι ζημιών στην έρευνα ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων σε μεμονωμένες πτυχές της δυνατότητας πλύσης ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων.

Πηγές

1. <https://www.techopedia.com/definition/29467/electronic-textile-e-textile>
2. Wang, Y.; Yu, W.; Wang, F. Structural design and physical characteristics of modified ring-spun yarns intended for e-textiles: A comparative study. *Text. Res. J.*, 2017, 004051751774115.
3. Coyle, S.; Diamond, D. Smart Nanotextiles: Materials and Their Application. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*; Elsevier: New York, NY, USA, 2010; pp. 1–5. ISBN 978-0-08-043152-9.
4. Zeng, W.; Shu, L.; Li, Q.; Chen, S.; Wang, F.; Tao, X.-M. Fiber-Based Wearable Electronics: A Review of Materials, Fabrication, Devices, and Applications. *Adv. Mater.*, 2014, 26, 5310–5336.
5. Ghahremani Honarvar, M.; Latifi, M. Overview of wearable electronics and smart textiles. *J. Text. Inst.*, 2017, 108, 631–652.
6. Meoli, D. *Interactive Electronic Textiles: Technologies, Applications, Opportunities, and Market Potential*. North Carolina State University: Raleigh, NC, USA, 2002.
7. Sornamugi, V. E-Textile and its Applications. *IJSK*, 9(3), ISSN 2321 3361 2019
8. Wagner, G. *Waschmittel*. 5th ed., Wiley VCH: Weinheim, Germany, 2017.
9. Ellmer, K. *Wäsche-Cluster in Konsumentenhaushalten*. Ph.D. Thesis, Technische Universität Berlin, Germany, 2016.
10. <https://encyclopedia.pub/entry/10041>
11. Dhanawansha, K.B.; Senadeera, R.; Gunathilake, S.S.; Dassanayake, B.S. Silver nanowire-containing wearable thermogenic smart textiles with washing stability. *Adv. Nano Res.*, 2020, 9, 123–131.
12. Foerster, P. *Untersuchungen zu Eigenschaften von Nanosilberschichten auf Polyamidfasern*. Studienarbeit, Technische Universität Berlin, Germany, 2010.
13. Lee, J.C.; Lo, C.; Chen, C.C.; Liu, W. Laundering Reliability of Electrically Conductive Fabrics for E-Textile Applications. *Proceedings of the 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, Las Vegas, NV, USA, 2019; 1826–1832.



14. Rotzler, S.; Kallmayer, C.; Dils, C.; von Krshiwoblozki, M.; Bauer, U.; Schneider-Ramelow, M. Improving the washability of smart textiles: Influence of different washing conditions on textile integrated conductor tracks. *J. Text. Inst.*, 2020, 111, 1766–1777.
15. Hardy, D.A.; Rahemtulla, Z.; Satharasinghe, A.; Shahidi, A.; Oliveira, C.; Anastasopoulos, I.; Nashed, M.N.; Kgatuke, M.; Komolafe, A.; Torah, R.; et al. Wash Testing of Electronic Yarn. *Materials*, 2020, 13, 1228.
16. Shahariar, H.; Kim, I.; Bhakta, R.; Jur, J.S. Direct-write Printing Process of Conductive Paste on Fiber Bulks for Wearable Textile Heaters. *Smart Mater. Struct.*, 2020.
17. Rotzler, S. Einfluss der Sinnerschen Faktoren Sowie der Textilten Substrate auf die Waschbarkeit Textilintegrierter Leiterbahnen. Master's Thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, Germany, 2018.
18. Ojuroye, O.; Torah, R.; Beeby, S. Modified PDMS packaging of sensory e-textile circuit microsystems for improved robustness with washing. *Microsyst. Technol.*, 2019.
19. Quandt, B.M.; Braun, F.; Ferrario, D.; Rossi, R.M.; Scheel-Sailer, A.; Wolf, M.; Bona, G.L.; Hufenus, R.; Scherer, L.J.; Boesel, L.F. Body-monitoring with photonic textiles: A reflective heartbeat sensor based on polymer optical fibres. *Interface*, 2017, 14, 20170060.
20. Martinez-Estrada, M.; Moradi, B.; Fernández-Garcia, R.; Gil, I. Impact of Manufacturing Variability and Washing on Embroidery Textile Sensors. *Sensors*, 2018, 18, 3824
21. Gaubert, V.; Gidik, H.; Bodart, N.; Koncar, V. Investigating the Impact of Washing Cycles on Silver-Plated Textile Electrodes: A Complete Study. *Sensors*, 2020, 20, 173.



Κεφάλαιο 15. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΛΥΣΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ, ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain.

15.1 Εισαγωγή

Το πλύσιμο ηλεκτρονικών υφασμάτων (e-textiles) ή υφασμάτων με αγώγιμη ικανότητα είναι μία από τις προκλήσεις ή τα αδύναμα σημεία αυτού του τύπου καινοτόμου προϊόντος.

Ο κύριος λόγος για τον οποίο τα ηλεκτρονικά υφάσματα είναι ευάλωτα στο πλύσιμο είναι λόγω της ευαισθησίας τους στο νερό. Η επαφή με αυτό το στοιχείο τα εκθέτει σε απώλεια των ιδιοτήτων τους.

Σήμερα, υπάρχουν αρκετές διαδικασίες που αξιολογούν και επικυρώνουν ότι ένα ηλεκτρονικό ύφασμα έχει επαρκή ποιότητα για να συνεχίσει να εκπληρώνει τις λειτουργίες του μετά από έναν ορισμένο αριθμό πλυσίματος.

Το γεγονός ότι υπάρχουν διαφορετικά πρότυπα για τις διαδικασίες πλύσης ηλεκτρονικών υφασμάτων και ότι κανένα από αυτά δεν συμφωνείται από την επιστημονική κοινότητα αποτελεί δυσκολία για τον κλάδο της κλωστοϋφαντουργίας και για αυτόν τον τύπο προϊόντος. Αυτή η έλλειψη συναίνεσης σημαίνει ότι δεν υπάρχει ομοιογενής κανονισμός που να αναγνωρίζεται από όλους και, επομένως, σημαίνει ότι το ίδιο προϊόν μπορεί να είναι κατάλληλο και λειτουργικό μετά από ορισμένο αριθμό πλυσίματος σύμφωνα με μια διαδικασία, αλλά μη ικανοποιητικό σύμφωνα με άλλο τύπο διαδικασίας ή πρότυπο που απαιτεί να πληρούνται άλλα κριτήρια [1].

Η ενοποίηση ή καθολικότητα των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται για την πιστοποίηση ότι ένα ηλεκτρονικό ύφασμα είναι κατάλληλο, όχι μόνο την πρώτη στιγμή μετά την κατασκευή του αλλά και για την καθημερινή ζωή του χρήστη (και αυτό συνεπάγεται ορισμένο αριθμό καθημερινών πλυσίματος) [1].

15.2 Φθορά των ηλεκτρονικών υφασμάτων κατά τη διαδικασία πλύσης

Κατά το πλύσιμο ενός e-textile, το ύφασμα μπορεί να υποστεί διάφορες βλάβες που σχετίζονται με τη γήρανση του τεμαχίου, καθώς και αλλαγές στο σχήμα ή το χρώμα του (πέρα από την απώλεια ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν ήδη) [1].

Λόγω της πρόκλησης μίας ή περισσότερων από τις ήδη αναφερθείσες ζημιές, ένα ηλεκτρονικό κλωστοϋφαντουργικό προϊόν ενδέχεται να υποστεί τις ακόλουθες δευτερεύουσες επιπτώσεις:

- Αλλαγές στις ηλεκτρικές του ιδιότητες, όπως απώλεια αγωγιμότητας.
- Αλλαγές στη λειτουργικότητά του, όπως ένα ή περισσότερα από τα εξαρτήματά του (όπως τα LED) παύουν να λειτουργούν.

- Αλλαγές στα χαρακτηριστικά του, όπως, για παράδειγμα, αλλαγές στους αισθητήρες.
- Αλλαγές στην εμφάνισή του, όπως σκουρόχρωμα της επιφάνειας, ρυτίδες ή συρρίκνωση.

Η εμφάνιση αυτών των αλλαγών, ή όχι, μετά από ορισμένο αριθμό πλυσίματος χρησιμοποιείται ως δείκτης για την αξιολόγηση της κερδοφορίας των ηλεκτρονικών υφασμάτων.

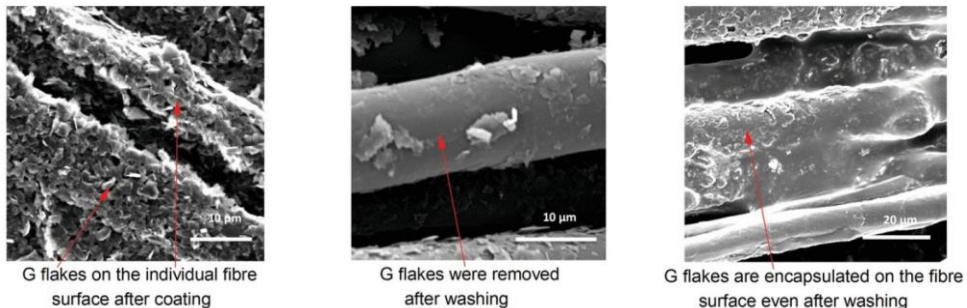
15.3 Χαρακτηριστικά ευπάθειας ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Το πλύσιμο ηλεκτρονικών υφασμάτων μπορεί να προκαλέσει σφάλματα και αστοχίες και τα προηγούμενα χαρακτηριστικά τους θα καθορίσουν ποιες ευπάθειες ή αντιστάσεις θα έχουν σε μία ή περισσότερες διαδικασίες πλύσης.

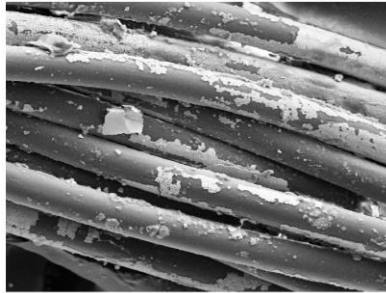
Βασικό στοιχείο είναι ο τύπος και η σύνθεση του προϊόντος, δηλαδή το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο και η σχέση του υφάσματος και της κλωστής με τα συστατικά που αποτελούν το ένδυμα. Για παράδειγμα, ένα ηλεκτρονικό ύφασμα που είναι ενσωματωμένο με αγώγιμα στοιχεία μεταξύ της συσκευής και της συσκευής (άμεσα εκτεθειμένο στο νερό) θα είναι πολύ ευαίσθητο στην υποβάθμιση. Ή, ένας αγωγός που έχει αυτή τη λειτουργία, αλλά δεν είναι προστατευμένος, θα εκτεθεί επίσης σε ταχεία υποβάθμιση.

Ταυτόχρονα, αξίζει να πούμε ότι τα ηλεκτρονικά υφάσματα που ενσωματώνουν εξαρτήματα που είναι προστατευμένα, ενθυλακωμένα με κάποιο τρόπο, είναι πολύ πιο ανθεκτικά στο πλύσιμο και αποφεύγουν την υποβάθμιση πολύ πιο συχνά από τα αγώγιμα μέρη.

Επιπλέον, αυτά τα εξαρτήματα είναι αρκετά ανθεκτικά ώστε να αποφεύγεται η αποκόλληση από το κομμάτι εν όλω ή εν μέρει. Παραδείγματα φθοράς ηλεκτρονικών υφασμάτων:



Εικόνα 15.1 Παράδειγμα ζημιών σε αγώγιμες υφαντικές επιστρώσεις μετά το πλύσιμο [2]



Εικόνα 15.2 Εξαντλημένο στρώμα αργύρου σε νάιλον νήματα [3]

15.4 Τρέχουσα κατάσταση τυποποίησης

Όπως αναφέρθηκε, πρότυπα για την αξιολόγηση πλυσίματος και πολλά και δεν υπάρχει κανένας γενικός κανόνας ή ένδειξη για παγκόσμια τυποποίηση [4].

Ακόμα, αρκετά πρότυπα και μέθοδοι έχουν δοκιμαστεί και αποτελούν το σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση πολλών ηλεκτρονικών υφασμάτων. Τα κύρια στοιχεία που θεωρούν ότι υποδεικνύουν τον τρόπο πλύσης του προϊόντος και έτσι, διατηρώντας τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα [4]: ο τύπος της συσκευής πλύσης, η διάρκεια του προγράμματος, η ποσότητα του φορτίου πλύσης, η θερμοκρασία πλύσης, ο τύπος του απορρυπαντικού ή τη μέθοδο ξήρανσης [4].

Ο αριθμός των υφιστάμενων προτύπων που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τα υβριδικά ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μέχρι σήμερα είναι πολύ μικρός. Από τα υπάρχοντα, τα περισσότερα καλύπτουν είτε ορολογία και/ή ορισμούς όπως το ISO/PRF TR 23383 και το ASTM D 8248:2020. Άλλοι δίνουν μεθόδους δοκιμής για τη μέτρηση της αντίστασης των προϊόντων με βάση τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα: AATCC 76 για υφάσματα, AATCC 84 για νήματα και CSN EN 16812 για αγώγιμες ράγες σε υφάσματα.

Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρότυπο από παρακείμενα πεδία κατά τον έλεγχο της δυνατότητας πλύσης ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι το ISO 6330 Textiles—οικιακές διαδικασίες πλυσίματος και στεγνώματος για δοκιμές υφασμάτων. Το πεδίο εφαρμογής του προτύπου περιλαμβάνει όχι μόνο τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, αλλά και τα "άλλα υφαντουργικά είδη" - όρος που μπορεί να εφαρμοστεί σε υβριδικά smart ή ηλεκτρονικά υφάσματα - επιτρέποντας την επέκταση του προτύπου για τις δοκιμές τους. Δεν περιλαμβάνονται στο πρότυπο οδηγίες ή συστάσεις σχετικά με τον αριθμό των κύκλων πλύσης που πρέπει να πραγματοποιηθούν ούτε κριτήρια σχετικά με



τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αξιολογηθεί η αξιοπιστία του πλυσίματος μετά τη δοκιμή.

Εικόνα 15.3 Δοκιμή πλύσης σύμφωνα με το ISO 6330 [4]

Source	Version	Tested product	Parameter ^b	Washing device ^c	Cycles	Load ^d	Temperature [°C]	Program/ duration [min] ^e	Detergent	Drying
Ankılı et al. ¹²	2012	ECG electrodes	R, c	Datacolor Ahiba	50		40	30		
Baribina et al. ¹³	2012	Conductive yarn	R		10	Protective bag	30	3M/23		Air
Blecha et al. ¹⁴	2012	Fire-fighter suit	f	HH front	30		60			
Erdem et al. ¹⁵	2000	Knee pad	R		10		40	4M/25		Air
Foerster ¹⁶	2000	Conductive yarn	R	Wascator	20		40	4M/25	ECE-2	
Gerhold ¹⁷	2000	Textile circuit board, LED module	R	Wascator	16	Protective bag + 2 kg towels	40	4M/25	66 g ECE 105	Air
Hardy et al. ¹⁸	2012	Conductive yarn	f	Wascator?	25	Total 2 kg, +CO T-shirts	40	4N/31	20 g Persil	Air, dryer
Huang et al. ¹⁹	2012	Conductive paste and yarn	R	Datacolor Ahiba	10		30	30		Air
Kayacan et al. ²⁰	2012	Conductive yarn	R	HH	5		40		With	
Kazani et al. ²¹	2000	Conductive paste	R		20		40	4M/25		
Kazani et al. ²²	2000	Printed antenna	c	Reference	20		30	3G/16	20 g ECE	Air, 50°C
Kim and Lee ²³	2000	Conductive ink	R, c	HH top	20		20	(11B)/15	5 g/l	
Kivanc and Bahadır ²⁴	2012	Conductive yarn	R	HH front	5	Total 3 kg	40	49	20 g reference	Air
Komolafe ²⁵	2000	Stretch sensor	R	HH front	5		40	58		Air, 100°C
Komolafe et al. ²⁵	2000	Functional filament	f	HH front	5	7 garments	40	58	DAZ	
Liang et al. ²⁶	2000	Stretch sensor	c	HH front	3		40			Air
Linz ²⁷	2000	Conductive yarn	R	Wascator	20	Total 2 kg CO	40	4M/24	ECE A	Air
Malm et al. ²⁸	2012	Conductive paste	R	Wascator	5	+ 1 kg	40	4G/18		Air, air 50°C
Martínez-Estrada et al. ²⁹	2012	Moisture sensor	c	HH front	2	+ 1 kg	40		10 g ECE 105	
Matsoula et al. ³⁰	2012	Textile electrodes	R	Datacolor Ahiba	50		40	30		Air
Ojuroye et al. ³¹	2012	Flexible sensors	f	HH front	20	+ 2 kg CO towels	30	15, 37, 42	37 mL, 37 ml softener	Air
Parlova et al. ³³	2000	Conductive yarn	R, c	HH front	5	Total 2 kg, CO and PES	30	31	20 g	
Rotzler et al. ¹	2000	Conductive tracks	R	Wascator	10		20, 40, 60	28, 38, 48	30 g ECE 2	Air
Satharasinghe et al. ³⁴	2012	Solar cell	f	HH	25					Air
Schwarz ³⁵	2000	Conductive yarn	R	Wascator	25	Total 2 kg, CO	40	4M/25		
Tadesse et al. ³⁶	2012	Conductive coating	R	HH front	10		(30)	3N		
Tadesse et al. ³⁷	2012	Conductive coating	R	HH front	10	Protective bag, total 2 kg, PES	30	3N/23	20 ml	Air
Tao et al. ³⁸	2012	Conductive yarn, LED, flex PCB	R	Datacolor Ahiba	50		30	30		Air
uz Zaman et al. ³⁹	2000	Conductive yarn	R	HH front	10		40	35	20 g	
uz Zaman et al. ⁴⁰	2000	ECG electrodes	R	HH front	50	Total 2 kg	40	35	20 g Xtra Total	
Vervust et al. ⁴¹	2000	Stretchable circuit board	R, delamination	HH front	50	Protective bag	40	4N/30	ECE A	Air, dryer

^aBlank spaces indicate non-disclosed information. ^bR: change in resistance; c: change in characteristic; f: change in or loss of function. ^cHH: household washing machine (not further specified), HH front: horizontal axis front-loading household washing machine, HH top: vertical axis top-loading household washing machine. ^dCO: cotton; PES: polyester. ^eThe washing program only refers to ISO 6330 washing programs. The program labels from the 2000 version of the standard were transferred to their 2012 version counterparts to make for easier comparison.

Source	Standard	Tested product	Parameter ^b	Washing device ^c	Cycles	Load	Temperature [°C]	Duration [min]	Detergent	Drying
Frank and Bauch ⁴³	DIN EN 20105-C01-5 DIN 54015	Conductive coating	R				40, 50, 60, 95	20, 30, 45 4 h	5 g/l	
Jin et al. ⁵²	AATCC 135	Conductive tracks	R	HH top	10–50		40			
Lee et al. ⁵¹	AATCC M6	Conductive fabric	R	HH top	10	Total 1.8 kg	27	21	66 g reference	Dryer
Li and Tao ⁵³	AATCC 135	Conductive yarn	R	HH top	30	Total 1.8 kg, protective bag	40		66 g Castle	Dryer
Liu et al. ⁴⁶	AATCC 61	Incontinence monitoring pants	R		20					
Sala de Medeiros et al. ⁵⁴	AATCC 135	Tribo-electric nanogenerator	R, c	HH top	50	+ 2 kg garments	22	8	Without	Air
Quandt et al. ⁴⁴	EN ISO 105-C06	Heartbeat sensor	c	Color tester	10		40	45	4 g/l + bleach	Air
Shahariar et al. ⁴⁷	AATCC 61	Conductive ink	R	150 ml water + steel balls	5	Only test samples	49	45	0.24 g	
Shahariar et al. ⁴⁸	AATCC 61 2a	Conductive paste	R		5					
Trindade et al. ⁴⁵	ISO 105	ECG sensor	R, c		30		40	45	1 g/l	Air
Xu et al. ⁴⁹	AATCC 61 1b	Textile antenna	R, c	150 ml water + rubber balls	1			20	1 ml + softener	Air
Yokus et al. ⁵⁰	AATCC 61 2a	Conductive paste	R	Water + 50 steel balls	20		49		Powder	
Zhao et al. ⁵⁵	AATCC 135	Tribo-electric nanogenerator	R, c	HH top	20	+ 1.8 kg, protective bag	20	40		Air

^aBlank spaces indicate non-disclosed information. ^bR: change in resistance; c: change in characteristic; f: change in or loss of function. ^cHH: household washing machine (not further specified), HH front: horizontal axis front-loading household washing machine, HH top: vertical axis top-loading household washing machine.

Εικόνα 15.4 Δοκιμή πλύσης σύμφωνα με άλλα πρότυπα [4]

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται μερικά από τα πρότυπα που σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ταξινομημένα ανάλογα με την τρέχουσα κατάστασή τους. Από ευρωπαϊκή άποψη, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν χρησιμοποιούνται πρότυπα ISO για ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα επί του παρόντος.

Identification	Title	Year
Existing standards		
DS/CEN/TR 16298	Textiles and textile products—smart (intelligent) textiles—definitions, categorization, applications and standardization needs	2012
ASTM D 8248	Standard terminology for smart textiles	2020
AATCC 76	Test method for electrical surface resistivity of fabrics	2018
AATCC 84	Test method for electrical resistance of yarns	2018
CSN EN 16812	Textiles and textile products—electrically conductive textiles—determination of the linear electrical resistance of conductive tracks	2016
IPC-8921	Requirements for woven and knitted electronic textiles (e-textiles) integrated with conductive fibers, conductive yarns and/or wires	2019
Upcoming standards		
IEC 63203 204-1	Wearable electronic devices and technologies: electronic textile—washable durability test method for leisure and sportswear e-textile system	2022
IPC 8981	Quality and reliability of e-textiles wearables	2022
IPC 8952	Design standard for printed electronics on coated or treated textiles and e-textiles	?
IPC 8941	Guideline on connections for e-textiles	?
Standards from other fields used in e-textile wash testing		
ISO 6330	Textiles—domestic washing and drying procedures for textile testing	2012
ISO 105-C01	Textiles—tests for color fastness—Part C01: color fastness to washing	1989
ISO 15797	Textiles—industrial washing and finishing procedures for testing of workwear	2017
DIN 54015	Testing for colorfastness of textiles—determination of color fastness of dyes and prints to washing in presence of peroxide	2017
AATCC 6	Colorfastness to acids and alkalis	2016
AATCC 61	Colorfastness to laundering: accelerated	2013
AATCC 135	Dimensional changes of fabrics after home laundering	2018

Εικόνα 15.5 Κατάσταση τυποποίησης ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

15.5 Συμπεράσματα

Η δυνατότητα πλύσης είναι ένα από τα βασικά ερωτήματα για τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Εξίσου με αυτό που μπορούν να προσφέρουν όταν η αγωγιμότητα και οι συσκευές προστίθενται στο προϊόν.

Ένα απλό πλύσιμο μπορεί να καταστρέψει ολόκληρη την τεχνολογία για την οποία έχει εγκριθεί το προϊόν, επομένως, ο τρόπος παρασκευής του υφάσματος και ο τρόπος πλύσης του θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του καθαρισμού του (αυτό σημαίνει ότι δεν θα απώλειες ιδιότητες).

Για αυτό, μια κοινή τυποποίηση είναι το κλειδί. Οι γενικοί κανόνες θα διευκόλυναν την ανάπτυξη αυτού του είδους προϊόντων, καθώς θα αναπτύσσονταν σύμφωνα με ορισμένα πρότυπα από την αρχή και όλοι οι παραγωγοί θα έπαιζαν με τους ίδιους κανόνες.

Ο κύριος περιορισμός που έχει βρεθεί μέχρι τώρα, αφορά τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Ακόμη και οι έρευνες που έγιναν μέχρι στιγμής καθοδηγούν σημαντικό μέρος των παραγωγών ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και μπορούμε να πούμε



ότι περίπου το 60% ακολουθεί τα υπάρχοντα πρότυπα, τα ιδρύματα που έχουν αρμοδιότητες να ρυθμίζουν αυτά τα πρότυπα δεν τα έχουν θέσει.

Πηγές

1. Rotzler, S., Schneider-Ramelow, M. Washability of E-Textiles: Failure Modes and Influences on Washing Reliability. *MDPI. Textiles*, 2021, 1, 37–54. <https://doi.org/10.3390/textiles1010004>
2. Afroj, S.; Tan, S.; Abdelkader, A.M.; Novoselov, K.S.; Karim, N. Highly Conductive, Scalable, and MachineWashable Graphene-Based E-Textiles for Multifunctional Wearable Electronic Applications. *Adv. Funct. Mater.*, 2020, 2000293.
3. Rotzler, S. Einfluss der Sinnerschen Faktoren Sowie der Textilten Substrate auf die Waschbarkeit Textilintegrierter Leiterbahnen. Master's Thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, Germany, 2018.
4. Rotzler, S., von Krshiwoblozki, Schneider-Ramelow, M. Washability of e-textiles: current testing practices and the need for standardization. *Textile Research Journal*, 2021, 0(0), 1–17.

Κεφάλαιο 16. ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

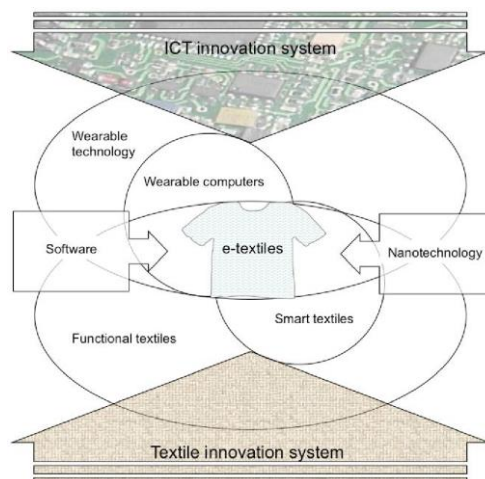
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy

16.1 Ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και ανακύκλωση

Η συνεχιζόμενη διαδικασία καινοτομίας στον τομέα των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα μπορούσε να έλθει σε σύγκρουση με τους σκοπούς των πολιτικών που αφορούν το περιβάλλον και τα απόβλητα. Μπορεί να αναμένεται, λαμβάνοντας υπόψη τα σύγχρονα παραδείγματα ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, ότι τα υπάρχοντα συστήματα για την ανάληψη και ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων ή παλαιών υφασμάτων δεν έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία πρώτων υλών αυτού του είδους.

16.2 Πρόσφατες τάσεις στη διαδικασία καινοτομίας

Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν να θεωρηθούν ως ο πρόδρομος των έξυπνων τεχνολογιών που θα διαποτίσουν τις ζωές μας στο μέλλον. Αυτά τα προϊόντα περιγράφονται ως «μοντέρνα τεχνολογία» με κύρια χαρακτηριστικά τη μοναδικότητα και την προηγμένη λειτουργικότητα σε συνδυασμό με την αίσθηση της μόδας και της αισθητικής. [1] Ο φορετός υπολογιστής αποδεικνύει ένα εκτεταμένο όραμα υπολογιστικών συσκευών που είναι ενσωματωμένες στα ρούχα με δυσδιάκριτο τρόπο. Ερευνητές και επιχειρήσεις από τον ηλεκτρονικό και τον κλωστοϋφαντουργικό τομέα επιδιώκουν την ανάπτυξη ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Η παρακάτω εικόνα (16.1) αντιπροσωπεύει τη συγκλίνουσα τεχνολογική καινοτομία καθώς υλικά και συσκευές από διαφορετικούς τομείς της τεχνολογίας αναμειγνύονται στο ίδιο προϊόν.



Εικόνα 16.1 Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα στο σύστημα καινοτομίας στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας και των ηλεκτρονικών [2]



Η οργάνωση νέων ιδεών σχεδιασμού απαιτείται από τη σύγκλιση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και ηλεκτρονικών, ειδικά για τη σύνθεση υλικών και τη διαμόρφωση των εξαρτημάτων. Τα κύρια χαρακτηριστικά των ενσωματωμένων ηλεκτρονικών ειδών κλωστοϋφαντουργίας θα πρέπει να είναι η ευελιξία, η ελαστικότητα και η αναδίπλωση. Τα ηλεκτρονικά υφάσματα πρέπει να γίνονται άνετα, μοντέρνα και να πλένονται διατηρώντας παράλληλα την έξυπνη λειτουργικότητά τους σε πολλούς κύκλους χρήσης για καλύτερη εμπειρία χρήστη. Επομένως, η επιτυχής υλοποίηση των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων απαιτεί νέα πρότυπα σχεδίασης και διαμόρφωσης, καθώς και νέα υλικά και τεχνολογίες. Μια διεπιστημονική κοινότητα σχεδιαστών, τεχνιτών και καλλιτεχνών μόδας διακλαδίζει την ανάπτυξη ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων καθώς κατασκευάζουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα κλωστοϋφαντουργίας και κάνουν τις έννοιές τους ανοιχτά προσβάσιμες μέσω ιστολογίων, ιστότοπων και εργασιών [3].

16.3 Επιπτώσεις στο τέλος του κύκλου ζωής των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Ένα από τα φαινόμενα που κάνει τα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας να μετατρέπονται σε απόβλητα είναι γνωστό ως προοδευτική απαξίωση: αντικαθίστανται από νεότερα μοντέλα μετά από σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής. Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα υπόκεινται σε αυτό το είδος απαξίωσης, καθώς συνδυάζουν βραχύβια ηλεκτρονικά είδη με τις φευγαλέες τάσεις της μόδας που διέπουν την αγορά ενδυμάτων. Τα ευρήματα μιας μελέτης αξιολόγησης τεχνολογίας υποδηλώνουν ότι τα παλιά ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θα εμφανιστούν ως μια νέα κατηγορία απορριμμάτων αμέσως μετά την εισαγωγή τους στις μαζικές καταναλωτικές αγορές [4]. Αυτά τα προϊόντα θα μπορούσαν επίσης να οδηγήσουν σε αυξανόμενη κατανάλωση μπαταριών, οι οποίες πρέπει να απορρίπτονται όταν εξαντληθούν. Σε αυτό, μοιάζουν με το σύγχρονο πρόβλημα των ηλεκτρονικών αποβλήτων. Αλλά τα απορριπτόμενα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θέτουν επίσης νέα ζητήματα που προκύπτουν από τις μοναδικές ιδιότητές τους: η διασπορά ηλεκτρονικών υλικών σε μεγάλες ποσότητες κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων θα δυσκολέψει την ανάκτηση πολύτιμων υλικών από μια πρώτη ύλη χαμηλής ποιότητας [5]. Επιπλέον, δυνητικά επικίνδυνες ουσίες είναι επίσης διασκορπισμένες και επομένως είναι δύσκολο να διαχωριστούν για ασφαλή διάθεση. Από τη σημερινή προοπτική η περιβαλλοντικά φιλική διαχείριση των αποβλήτων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων δεν είναι εγγυημένη για τους ακόλουθους λόγους:

(1) Μπορούν να αναμένονται μεγάλες μαζικές ροές απορριμμάτων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων εάν τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα γνωρίσουν σημαντική ανακάλυψη στις μαζικές αγορές [6].

(2) Οι εκπομπές επικίνδυνων ουσιών θα μπορούσαν να είναι συνέπεια ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που έχουν τεθεί σε υγειονομική ταφή ή αποτέφρωσης,



αλλά και κινδύνους για την υγεία στην εργασία όταν τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα υποβάλλονται σε διαδικασίες ανακύκλωσης.

(3) Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που είναι ενσωματωμένα σε ύφασμα περιέχουν μικρές ποσότητες σπάνιων υλικών που είναι διάσπαρτα σε μεγάλες επιφάνειες υφασμάτων και είναι δύσκολο να ανακτηθούν. Φαίνεται ελάχιστα εφικτή η επεξεργασία τέτοιων αναμειγμένων πρώτων υλών μέσω υφιστάμενων εγκαταστάσεων ανακύκλωσης. Η ανάκτηση ελάχιστων ποσοτήτων πολύτιμων υλικών από μια μεγάλη μαζική ροή υφαντικών υλικών χύδην είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολη. Χωρίς ανακύκλωση, υπάρχει ο κίνδυνος η μαζική εφαρμογή ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων να επιταχύνει την εξάντληση των σπάνιων πόρων, όπως τα μέταλλα τεχνολογίας και οι πόροι για την παραγωγή ινών.

16.4 Οικολογικός σχεδιασμός ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων: οι προκλήσεις

Ο στόχος των προγραμματιστών ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι να ενσωματώσουν απρόσκοπτα τα ηλεκτρονικά είδη στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, ωστόσο έως ότου αυτός ο στόχος δεν επιτευχθεί πλήρως, οι ακριβείς ιδιότητες του e-textile είναι ακόμη άγνωστες.

Εξαιτίας αυτού, είναι δύσκολο να προβλεφθούν πιθανά ζητήματα στο τέλος του κύκλου ζωής τους και να αναπτυχθούν προτάσεις σχεδιασμού για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Για παράδειγμα, η σύσταση της Design for Recycling για χρήση κουμπωτά συνδετήρων (αντί για βίδες) για πλαστικά καλύμματα ηλεκτρικών συσκευών είναι άχρηστη εάν είναι ραμμένα ή κεντημένα σε υφάσματα [7]. Εάν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα πρόκειται να κολληθούν σε ύφασμα, θα είναι επίσης δύσκολο να τα σχεδιάσετε για απλή αποσυναρμολόγηση με τον συμβατικό τρόπο. Η αρχή DfR, η οποία περιορίζει τη χρήση πλαστικών εξαρτημάτων με επιφανειακή επιμετάλλωση, έρχεται σε αντίθεση με τη χρήση νημάτων με μεταλλική επιστρωση για ηλεκτρονικά υφάσματα. Αυτό σημαίνει ότι οι καινοτόμες σχεδιαστικές ιδέες πρέπει να δημιουργηθούν σε συνδυασμό με τη διαδικασία καινοτομίας των e-textiles.

Οι Πίνακες 16.1–16.2 δείχνουν αρχές οικολογικού σχεδιασμού που σχετίζονται με την πρόληψη των αποβλήτων και τις επεξεργασίες στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Εγκρίθηκαν από το πρότυπο ECMA 341 [8] και το Συμβούλιο Green Electronics [9].



Πίνακας 16.1 Προκλήσεις και ευκαιρίες για οικολογικό σχεδιασμό που αναφέρονται στην αποδοτικότητα των υλικών

Eco-design principle	Evaluation	Discussion
Reduce the diversity of materials in the product	!	The amalgamation of electronic and textile components increases the variety of materials found in a product.
	+	The use of conjugated polymers (conductive or semi-conductive plastics) can reduce the amount of metallic components. Innovations in organic electronics can stimulate the design of e-textiles free of metals and silicon.
Reduce the weight of the product	+	Trend towards flexible thin-layer electronic components can pave the way for to weight savings and increased resource efficiency,
	+	Lightweight textile materials can replace solids (plastic, metals) as casing or backing material in devices,
	!	Increasing number of devices used per person can outweigh savings.
Using renewable materials	+	Natural fibres (e.g. cotton, hemp, kenaf, bamboo) can replace plastics as casing or backing material. This helps in reducing the consumption of fossil resources and lowers the carbon footprint of products.
Using recycled materials	+	Textile materials can, by virtue of their flexibility, be easier refurbished or remanufactured into new products than those rigid materials typically found in electronics.

* Opportunity (+); Challenge (!)



Πίνακας 16.2 Προκλήσεις και ευκαιρίες για οικολογικό σχεδιασμό που αναφέρονται στην απαξίωση των προϊόντων

Eco-design principle	Evaluation	Discussion
Timeless design	!	The apparel market is subject to rapidly changing design trends and renders textile products unfashionable at seasonal intervals.
	+	Smart textile materials may offer possibilities to adjust design features to new fashion trends (colours, shape, thickness) without replacing the product.
Easy to upgrade and repair	!	Fault detection and maintenance are difficult due to seamless integration of electronic components. Repair may damage reusable garments.
	!	Difficult to update wearable computing devices with regard to firmware, data formats, networking protocols, data safety requirements. Software obsolescence obstructs the availability of servicing information needed to preserve smart functions for a long use phase.
	+	Higher fault tolerance due to networked and redundant architecture of textile embedded electronics.
Understandable design for the user	!	The design trends of unobtrusiveness and seamless integration of e-textile components obstruct the user's comprehension of the product
Use of standardized parts (power supplies, batteries, connectors)	!	Standardisation of e-textiles components is lagging behind technological innovation and rapidly changing fashion trends.
	!	Standardisation is a complex task due to the vast heterogeneity of the converging technology and its parent industrial sectors (textile, electronics).
Allowing for the reuse and replacement of common parts or modules of the product	!	Difficulties to replace electronic components being tightly integrated in textiles. In particular, this concerns textile-embedded batteries.
	!	The trend towards low-cost components reduces economic incentives for reuse. User habits in regard to apparel products may discourage reuse.
Reuse/refurbishment of old products	!	The export of old e-textiles to foreign second-hand clothing markets (as part of charity or commercial trade of old garments) could conflict with legislation (The Basel Convention) because of waste electronics contained in them.

* Opportunity (+); Challenge (!)



16.5 Τεχνικές οικολογικού σχεδιασμού για ανθεκτικότητα και ανακύκλωση ηλεκτρονικών υφασμάτων

Οι έννοιες του αειφόρου σχεδιασμού για τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θα πρέπει να επικεντρωθούν στην πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να αναζητήσουν δυνατότητες παράτασης της ωφέλιμης ζωής των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με το σχεδιασμό προϊόντων για επισκευή, ανακαίνιση και επαναχρησιμοποίηση. Ο τομέας της ραπτικής έχει φέρει παραδείγματα ανακύκλωσης παλαιών ενδυμάτων [10]. Αυτές οι εμπειρίες μπορούν να εμπνεύσουν τη σχεδίαση ρούχων υψηλής τεχνολογίας ως μελλοντικά vintage ρούχα και όχι απόβλητα. Εάν αλλάξει η μόδα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν έξυπνα υλικά και τεχνολογίες για να κάνουν τα προϊόντα να μπορούν να διαμορφωθούν εκ νέου, καθώς προσαρμόζουν την εμφάνισή τους. Αυτό θα βοηθούσε στην καθυστέρηση της απαξίωσης και θα αποτρέψει τη σπατάλη. Ο σχεδιασμός για την ανακύκλωση ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων υποδηλώνει ότι τα ελαττωματικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορούν να αντικατασταθούν χωρίς να καταστραφεί το ύφασμα. Η περιβαλλοντικά συνειδητή εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών και υλικών μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία καινοτομίας σε τομείς όπως τα πολυμερή ηλεκτρονικά.

Υπάρχουν ευκαιρίες για μείωση της κατανάλωσης πρωτογενών πόρων με χρήση ανακυκλωμένων ινών και να αποφεύγεται η χρήση επικίνδυνων ουσιών. Τα κλωστοϋφαντουργικά υλικά μπορούν να αντικαταστήσουν προβληματικά εξαρτήματα σε ηλεκτρονικά προϊόντα. Η χρήση μικροσκοπικών συσκευών ΤΠΕ μπορεί να ανοίξει τον δρόμο για τη μείωση της κατανάλωσης πόρων εάν μικρές συσκευές αντικαταστήσουν τις λειτουργίες μεγαλύτερων. Επιπλέον, υπάρχουν ευκαιρίες για τη μείωση της κατανάλωσης σπάνιων μετάλλων εάν τα ηλεκτρονικά πολυμερή αντικαταστήσουν τα ηλεκτρονικά με βάση το πυρίτιο.

Κατά τη φάση χρήσης, είναι σημαντικό να περιορίσετε τη χρήση μπαταρίας και ηλεκτρικής ενέργειας στο ελάχιστο. Στη στέγαση και τη συσκευασία ηλεκτρονικών ειδών, για παράδειγμα, τα φιλικά προς το περιβάλλον κλωστοϋφαντουργικά υλικά θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν τα συμβατικά υλικά. Τα κουμπιά, οι ταινίες Velcro ή οι ραμμένες θήκες είναι παραδείγματα κοινών εξαρτημάτων υφασμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση ηλεκτρονικών ειδών σε υφάσματα με μεθόδους φιλικές προς το DfR (με στόχο την ελαχιστοποίηση του χρόνου αποσυναρμολόγησης). Τα έξυπνα υλικά και οι αρχές σχεδίασης εμπνευσμένες από τη βιομάζα μπορούν να επιτύχουν πολλές επιθυμητές εργασίες χωρίς τη χρήση ηλεκτρονικών εξαρτημάτων [11]. Οι αρχές του βιομιμητικού σχεδιασμού των έξυπνων υφασμάτων, όπως το αυτοθεραπευόμενο ύφασμα και η ανθεκτικότητα στις ρυτίδες ή στο σκίσιμο, συζητούνται από τους Singh et al..

Η αυτοθεραπευόμενη νανοτεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη προϊόντων που μπορούν να επισκευαστούν μόνα τους και είναι λιγότερο πιθανό να καταστραφούν. Τα εναλλάξιμα υλικά ανοίγουν νέες σχεδιαστικές επιλογές για ανακυκλώσιμα αντικείμενα, καθώς επιτρέπουν μεθόδους αυτοαποσυναρμολόγησης [12]. Καταστρεπτά νήματα ή κόλλες που



διασπώνται όταν εκτεθούν σε θερμότητα, μικροκύματα ή μαγνητικά πεδία θα μπορούσαν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας πολυμερή που ανταποκρίνονται στα ερεθίσματα [13]. Τέτοιες τεχνολογίες μπορεί να είναι σε θέση να αποδομήσουν οικονομικά σημαντικές ποσότητες απορριμμάτων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων μετά την κατανάλωση, εάν τοποθετηθούν σε αυτοματοποιημένες μονάδες ανακύκλωσης.

16.6 Συμπεράσματα

Εξακολουθούν να υπάρχουν συγκεκριμένες προκλήσεις που εμποδίζουν τη μαζική εξάπλωση των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Ανάμεσά τους η ανάγκη για ένα νέο μοντέλο σχεδίασης και διαμόρφωσης ικανό να εξασφαλίζει άνεση και δυνατότητα πλύσης διατηρώντας παράλληλα τις έξυπνες λειτουργίες σε πολλούς κύκλους χρήσης. Νέες τεχνολογίες και καινοτόμες τεχνικές για την ανάκτηση του υλικού μετά την απόρριψη των προϊόντων, τον αποτελεσματικό διαχωρισμό των εξαρτημάτων και την εξοικονόμηση μεγάλων ποσοτήτων υλικού και την αποφυγή της διασποράς δυνητικά επικίνδυνων ουσιών. Για να γίνει αυτό, οφείλουν να ακολουθηθούν συγκεκριμένες αρχές οικολογικού σχεδιασμού που επικεντρώνονται στην πρόληψη των απορριμμάτων, στο σχεδιασμό προϊόντων για επισκευή, ανακαίνιση και επαναχρησιμοποίηση.

Πηγές

1. Seymour, S. Fashionable technology: the intersection of design. Fashion, Science and Technology, Springer, 2008.
2. Challenges for eco-design of emerging technologies: The case of electronic textiles. Material and Design, Elsevier Ltd., 2013, 51/60
3. Satomi, M., Perner-Wilson, H. Future Master craftsmanship: Where we want electronic textile crafts to go. In: international symposium on electronic Art – ISEA, 2011.
4. Köhler, A.R. End-of-life implications of electronic textiles. Assessment of a converging technology. Lund: Lund University, 2008.
5. Reuter, M.A. Limits of design for recycling and “sustainability”: a review. *Waste Biomass Valor*, 2011, 2, 183–208.
6. Köhler, A.R., Hilty, L.M., Bakker, C. Prospective impacts of electronic textiles on recycling and disposal. *J Ind Ecol*, 2011, 15, 496–511.
7. Masanet, E., Horvath, A. Assessing the benefits of design for recycling for plastics in electronics: a case study of computer enclosures. *Mater Des*, 2007, 28, 1801–11
8. ECMA International. Standard ECMA-341: Environmental design considerations for ICT & CE Products, 2008.
9. Rifer, W., Brody-Heine, P., Peters, A., Linnell, J. Closing the Loop – electronics design to enhance reuse/recycling value. Final Report. Green Electronics Council, 2009.
10. Gardiner, B. Upcycling evolves from recycling. The New York Times. Energy & Environment, 2010
11. Singh, A.V., Rahman, A., Kumar, N.V.G.S, Aditi, A.S., et al. Bio-inspired approaches to design smart fabrics. *Mater Des*, 2012, 36, 829–39.
12. Motornov, M., Roiter, Y., Tokarev, I., Minko, S. Stimuli-responsive nanoparticles, nanogels and capsules for integrated multifunctional intelligent systems. *Progr Polym Sci.*, 2010, 35, 174–211.
13. Bakker, C.A., Wever, R., Teoh, C., Clercq, S.D. Designing cradle-to-cradle products: a reality check. *Int J Sustain Eng*, 2010, 3, 2–8.



Κεφάλαιο 17. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΑΝΟΡΓΑΝΙΚΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΛΙΚΑ

Veronica Guagliumi, Ciape, Italy

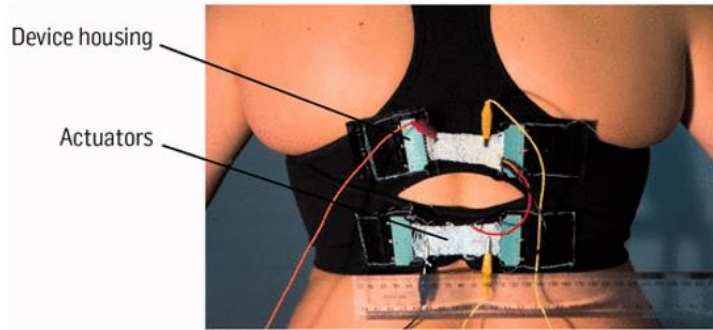
17.1 Έξυπνα Υλικά Κλωστοϋφαντουργίας

Η λεγόμενη έξυπνη και διαδραστική κλωστοϋφαντουργία έχει αναπτυχθεί σημαντικά τα τελευταία τριάντα χρόνια. Με την εισαγωγή νέων ινών, νέων υφασμάτων και τεχνικών επεξεργασίας αιχμής, η ζήτηση για έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά υλικά και οι εφαρμογές τους αναμένεται να αυξηθεί. Επιπλέον, τα ηλεκτρονικά υφάσματα που πλένονται, εύκαμπτα, ελαφριά και ισχυρά είναι σε μεγάλη ζήτηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά του αρχικού υλικού, τη μετεπεξεργασία και τις μεθόδους ενσωμάτωσης.

Ένα e-textile μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές επιφάνειας για την εφαρμογή ενός αγώγιμου συστατικού στην επιφάνεια ενός υφασμάτινου υποστρώματος ή δημιουργώντας ένα υφασμάτινο υπόστρωμα από μέταλλα και φυσικά αγώγιμα πολυμερή και χρησιμοποιώντας τα για τη δημιουργία ινών, νημάτων και υφασμάτων. Επιπλέον, είναι δυνατό να συμπεριληφθούν αγώγιμες ίνες ή νήματα σε παραδοσιακά υφαντικά υποστρώματα τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τη δημιουργία του υφάσματος με κέντημα. Το πλήρες εξάρτημα έξυπνων υφασμάτων μπορεί να εκτυπωθεί σε 3D, στρώμα προς στρώμα, και η ιδέα του 4D θα μπορούσε να είναι ζωτικής σημασίας για την ανύψωση του κύρους των έξυπνων υφασμάτων σε ένα νέο επίπεδο [1].

17.2 Ταξινόμηση έξυπνων υφασμάτων

Τα έξυπνα υφάσματα είναι υλικά και δομές που αισθάνονται και αντιδρούν σε περιβαλλοντικές συνθήκες ή ερεθίσματα και μπορούν να αντιδράσουν μόνοι τους. Οι εκφράσεις "έξυπνα" και "έξυπνα" κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ή "φορετούμενα ηλεκτρονικά" υφάσματα χρησιμοποιούνται σαν συνώνυμα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ο ορισμός καθορίζεται μόνο από το πλαίσιο, στην πραγματικότητα τα έξυπνα ή έξυπνα υφαντικά υλικά είναι λειτουργικά υλικά που αλληλεπιδρούν ενεργά με το περιβάλλον τους. Από την άλλη πλευρά, τα έξυπνα ή έξυπνα συστήματα κλωστοϋφαντουργίας είναι συστήματα που παρουσιάζουν μια προβλεπόμενη και εκμεταλλεύσιμη απόκριση ως αντίδραση είτε σε αλλαγές στο περιβάλλον είτε σε μια εξωτερική είσοδο. Η εικόνα 17.1 δείχνει μια απεικόνιση ενός βιονικού σουτιέν που δημιουργήθηκε από τους Steele et al. που χρησιμοποιεί τεχνολογία τεχνητών μυών και αισθητήρες ηλεκτρο-υλικών για να ανιχνεύσει μια αύξηση στην κίνηση του μαστού και στη συνέχεια να ανταποκριθεί παρέχοντας περισσότερη υποστήριξη για ενεργό ζωή.



Εικόνα 17.1 Βιονικό σουτιέν

Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις υποομάδες:

- Παθητικά
- Ενεργητικά
- Πολύ έξυπνα ή έξυπνα έξυπνα υφάσματα.

Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες:

Για τη δημιουργία τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονικά εξαρτήματα, αγώγιμα πολυμερή, υλικά αλλαγής φάσης σε κάψουλα, υλικά μνήμης σχήματος και άλλοι ηλεκτρονικοί αισθητήρες και εργαλεία επικοινωνίας. Σύμφωνα με την έρευνα του Dadi το 2010, αυτά τα υλικά ανταποκρίνονται στα γύρω ερεθίσματα σύμφωνα με τον τρόπο κατασκευής τους [3]. Η πρώτη γενιά φορετών μητρικών έχει ήδη δημιουργηθεί. Αυτές οι μητρικές πλακέτες περιέχουν αισθητήρες ενσωματωμένους σε ρούχα που μπορούν να ανιχνεύσουν τραυματισμούς και πληροφορίες υγείας σχετικά με τον χρήστη και να μεταφέρουν αυτές τις πληροφορίες εξ αποστάσεως σε ένα νοσοκομείο.

17.3 Εξαρτήματα Smart Textile Systems

Έξυπνα υφάσματα με δυνατότητες αίσθησης και ενεργοποίησης για την επιθυμητή χρήση έχουν παραχθεί ως ύφασμα μίας χρήσης. Ωστόσο, ολόκληρο το έξυπνο σύστημα κλωστοϋφαντουργίας θα μπορούσε να έχει δομικά στοιχεία συγκεκριμένης λειτουργίας, όπως αισθητήρα, ενεργοποιητή, διασύνδεση, μονάδα ελέγχου, συσκευή επικοινωνίας και τροφοδοτικό. Στην Εικόνα 17.2 μπορούμε να δούμε μια σχηματική αναπαράσταση ενός έξυπνου συστήματος κλωστοϋφαντουργίας.



Εικόνα 17.2. Λειτουργία έξυπνων υφασμάτων [4]

Αισθητήρες: Ένας αισθητήρας είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που ανιχνεύει μια φυσική ιδιότητα και την καταγράφει ή ανταποκρίνεται σε αυτήν. Τυπικοί τύποι αισθητήρων ενσωματωμένοι σε ύφασμα περιλαμβάνουν υφασμάτινα ηλεκτρόδια για καταπόνηση, υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, φως, ανίχνευση μορίων, ηλεκτροκαρδιογραφία, ηλεκτρομυογραφία και ηλεκτροεγκεφαλογραφία.

Ενεργοποιητής: Οι ενεργοποιητές εκτελούν ενέργειες συμπεριλαμβανομένης της κίνησης αντικειμένων, της απελευθέρωσης υλικών και της δημιουργίας ήχων ενεργώντας σε ένα εφέ που παρέχεται από τον αισθητήρα, ενδεχομένως αφού πρώτα στείλουν αυτό το εφέ μέσω ενός επεξεργαστή πληροφοριών. Συνηθισμένα παραδείγματα υφασμάτινων ενεργοποιητών που εισάγονται είναι, οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός, υλικά αλλαγής φάσης, υφάσματα που ρυθμίζουν τη θερμοκρασία και υφάσματα που παράγουν ήχου [5].

Επεξεργασία δεδομένων: Απαιτείται ένας επεξεργαστής κατάλληλος για την προβλεπόμενη χρήση στα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα προκειμένου να επεξεργαστεί τις παραμέτρους που αποκτούν οι αισθητήρες και να παρέχει την απαραίτητη έξοδο. Μόνο όταν το ύφασμα επεξεργάζεται ενεργά πληροφορίες απαιτείται το στοιχείο επεξεργασίας πληροφοριών.

Συσκευή Επικοινωνίας: Αυτή είναι μια μονάδα ενσωματωμένη για τη μετάδοση και λήψη ηλεκτρονικών δεδομένων ή/και πληροφοριών από και προς άλλο σύστημα, αντίστοιχα.

Αποθήκευση: Η μονάδα τροφοδοσίας είναι ένα εξάρτημα που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του συστήματος. Λόγω της συμπαγούς ευκολίας τους, οι μπαταρίες πολυμερών λιθίου (LiPo) χρησιμοποιούνται συχνά για έξυπνα υφάσματα. Ωστόσο, οι πυκνωτές και τα συστήματα συλλογής ενέργειας που αναπτύχθηκαν πρόσφατα με βάση τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ενδέχεται να είναι σε θέση να πάρουν τη θέση τους σε ορισμένες εφαρμογές [6].



17.4 Αγωγή Υλικά

Τα ηλεκτρικά αγώγιμα υφάσματα χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές έξυπνων υφαντικών υλικών, αλλά τα συμβατικά υφαντικά υλικά είναι συνήθως μονωτικά, επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για εφαρμογές έξυπνων υφασμάτων που απαιτούν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Ωστόσο, είναι δυνατό να ληφθούν ηλεκτρικά αγώγιμα υφάσματα με την ενσωμάτωση μεταλλικών συρμάτων, αγώγιμων πολυμερών ή άλλων αγώγιμων ενώσεων στη δομή του υφάσματος. Για να προσδώσουν αγωγιμότητα, μη υφασμάτινα σύρματα μεταλλικών νημάτων κατασκευασμένα από ασήμι, ανοξείδωτο χάλυβα, νικέλιο, αλουμίνιο και χαλκό μπορούν να εισαχθούν στη δομή του υφάσματος. Τα μέταλλα παρέχουν υψηλή αγωγιμότητα, η οποία είναι πολύ σημαντική για ορισμένες έξυπνες εφαρμογές κλωστοϋφαντουργίας, αλλά αυξάνει το βάρος του υλικού και επηρεάζει την ευελιξία τους. Επιπλέον, ορισμένα μέταλλα είναι επιρρεπή στη διάβρωση. Τα αγώγιμα υφάσματα με βάση το μέταλλο μπορούν επίσης να παραχθούν με επίστρωση μεταλλικού μελανιού στην επιφάνεια των υφαντικών υλικών, αλλά αυτά έχουν περιορισμούς στη σταθερότητα πλύσης. Η αναζήτηση εναλλακτικών αγώγιμων ενώσεων είναι θεμελιώδους σημασίας για να γνωρίζουμε πώς να παράγουμε αξιόπιστα αγώγιμα υφάσματα με καλύτερη ευελιξία. Τα αγώγιμα υλικά για κλωστοϋφαντουργικά υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως:

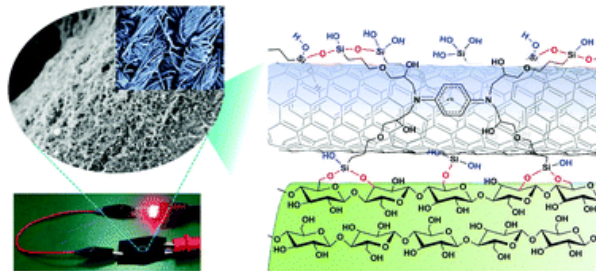
1. Αγωγή μελάνια.
2. Αγωγή πολυμερή με βάση τον άνθρακα.
3. Εγγενώς αγώγιμα πολυμερή.
4. Αγωγή πολυμερή σύνθετα υλικά.

17.5 Αγωγή μελάνια

Η ανάπτυξη λειτουργικών εκτυπώσιμων μελανιών με διάφορα μεγέθη και αρχιτεκτονικές νανοκλίμακας θεωρείται βασικός παράγοντας για την επιτυχία της εκτύπωσης inkjet για έντυπα ηλεκτρονικά. Τα αγώγιμα μελάνια μπορεί να έχουν την εμφάνιση πλακών, νανοσυρμάτων, νανοσωλήνων ή άλλων τριδιάστατων νανοδομημένων υλικών. Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές για το εκτυπώσιμο μελάνι, συμπεριλαμβανομένων αγώγιμων, ημιαγώγιμων και διηλεκτρικών μελανιών. Τα αγώγιμα μεταλλικά νανο- και μικρο-σωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αγώγιμων μελανιών. Οργανικά πολυμερή, ανόργανοι ημιαγωγοί και οξειδία μετάλλων μπορούν όλα να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ημιαγώγιμων μελανιών. Οργανικά πολυμερή σε διαλύτες, οργανικά πολυμερή θερμοσκληρυνόμενα ή οργανικά πολυμερή συσκευασμένα με κεραμικά είναι τα διηλεκτρικά μελάνια. Μέταλλα, οξειδία μετάλλων, αγώγιμα πολυμερή, οργανομεταλλικά μελάνια, γραφένιο, νανοσωλήνες άνθρακα και μείγματα διαφόρων μελανιών μπορούν όλα να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χρήσιμων αγώγιμων μελανιών [7].

17.6 Αγωγή υλικά με βάση τον άνθρακα

Η ανάπτυξη ηλεκτρικά αγώγιμων υφασμάτων έχει μελετηθεί χρησιμοποιώντας υλικά με βάση τον άνθρακα όπως γραφένιο, νανοσωλήνες άνθρακα (CNT), αιθάλη, οξείδιο γραφενίου και ανηγμένα οξείδια γραφενίου. Αυτά τα υλικά άνθρακα είναι ιδανικά για τη δημιουργία αγώγιμων υφασμάτων λόγω των χαρακτηριστικών τους, ευελιξία, αντοχή στη διάβρωση και προσιτή τιμή. Ένα αγώγιμο πολυεστερικό ύφασμα από γραφένιο δημιουργήθηκε και χρησιμοποιήθηκε για εφαρμογές παρακολούθησης βιοδυναμικού [8]. Ανάλογα με το περιεχόμενο φορτίου, αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αγώγιμων υφασμάτων με ποικίλες περιοχές αγωγιμότητας. Οι Zhu et al. χρησιμοποιήθηκε επίστρωση εμβάπτισης και επίστρωση ψεκασμού για τη δημιουργία αγώγιμων υφασμάτων που πλένονται στο πλυντήριο από νανοσωλήνες άνθρακα μονού τοιχώματος [9]. Τα δημιουργημένα ηλεκτρικά αγώγιμα υφάσματα έχουν υψηλή αγωγιμότητα έως και $7,4 \cdot 10^2$ S/m.



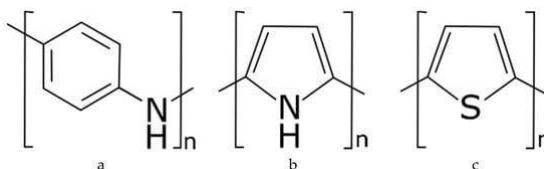
Εικόνα 17.3 Σύνθεση νανοϋλικών με βάση τον άνθρακα [10]

17.7 Εγγενώς αγώγιμα πολυμερή

Επί του παρόντος, η δημιουργία ηλεκτροαγώγιμων υφασμάτων κάνει εκτεταμένη χρήση εγγενώς αγώγιμων πολυμερών. Τα πολυμερή με συζευγμένη μοριακή δομή - η οποία περιλαμβάνει εναλλακτικούς απλούς και διπλούς δεσμούς μεταξύ ατόμων άνθρακα - είναι γνωστά ως αγώγιμα πολυμερή. Αποτελούν την τέλεια επιλογή για ηλεκτρόδια με βάση το ύφασμα επειδή μπορούν να συνδυάσουν τις ηλεκτρικές ιδιότητες των μετάλλων ή των ημιαγωγών με τα πλεονεκτήματα των συνηθισμένων πολυμερών. Τα πιο αποτελεσματικά αγώγιμα πολυμερή για την κατασκευή αγώγιμων υφασμάτων είναι η πολυπυρρόλη (PPy), η πολυανιλίνη (PANI) και το παράγωγο πολυθειοφαίνιο (3,4-αιθυλενοδιοξυθειοφαίνιο): πολυ (σουλφονικό στυρένιο) (PEDOT:PSS) [11]. Οργανικοί διαλύτες γνωστοί ως προσμείξεις μπορούν να προστεθούν στα πολυμερή για να αυξήσουν την αγωγιμότητά τους, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας πολικούς οργανικούς διαλύτες όπως αιθυλενογλυκόλη, διμεθυλοσουλφοξείδιο και γλυκερόλη, η αγωγιμότητα του PEDOT:PSS μπορεί να αυξηθεί κατά ένα έως τρία [12]. Δεδομένου ότι μια ποικιλία ηλεκτρικών ιδιοτήτων μπορεί να επιτευχθεί με πειραματισμό με το πρόσθετο πολυμερούς και την ποσότητα της πρόσμιξης, αυτά τα αγώγιμα πολυμερή μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό όλων των δομικών στοιχείων του συστήματος έξυπνης



κλωστοϋφαντουργίας. Η χημική σύνθεση πολλών αγώγιμων πολυμερών φαίνεται στην Εικόνα 17.4.



Εικόνα 17.4. Τα πιο επιτυχημένα αγώγιμα πολυμερή: α – πολυανιλίνη β – πολυπυρρόλη γ – πολυθειοφαίνιο [1]

17.8 Αγώγιμα σύνθετα πολυμερή

Η υψηλότερη αγωγιμότητα βρίσκεται σε αγώγιμα υφάσματα με βάση το μέταλλο, αν και συχνά είναι πολύ άκαμπτα. Τα υπάρχοντα αγώγιμα πολυμερή παρουσιάζουν ενθαρρυντική αγωγιμότητα, αλλά εξακολουθούν να απαιτούν βελτιώσεις στις μηχανικές τους ιδιότητες. Ως αποτέλεσμα, τα αγώγιμα πολυμερή σύνθετα υλικά έχουν καλύτερη μηχανική σταθερότητα και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σύνθετα υλικά κατασκευασμένα από ανθρακούχα, μεταλλικά και αγώγιμα πολυμερή πληρωτικά, είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό, είναι γνωστά ως ηλεκτρικά αγώγιμα πολυμερή σύνθετα. Μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας ένα μόνο πολυμερές ή ένα πολυφασικό μείγμα, ανάλογα με τις ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες που απαιτούνται. Η χρήση αγώγιμων σύνθετων πολυμερών σε ακαδημαϊκά και επαγγελματικά περιβάλλοντα αυξάνεται συνεχώς. Προκειμένου να δημιουργηθούν αγώγιμα υφάσματα, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί πολυάριθμα αγώγιμα πολυμερή σύνθετα υλικά.

17.9 Συμπεράσματα

Τα έξυπνα υφάσματα είναι υλικά που μπορούν να αισθανθούν και να αντιδράσουν σε περιβαλλοντικές συνθήκες ή ερεθίσματα. Οι τεχνολογικές εξελίξεις που επιτρέπουν τη συνεχή βελτίωση της απόδοσης αυτών των υλικών, οδηγούν τη ζήτηση της αγοράς για αυτά τα προϊόντα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια σημαντική ιδιότητα για πολλές εφαρμογές έξυπνων υφαντικών υλικών. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν για την απόκτηση ηλεκτρικά αγώγιμων υφασμάτων, το καταλληλότερο εξαρτάται από τις λειτουργίες που επιθυμούμε να αποκτήσουμε και τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται.

Πηγές

1. Malengier, B., Fante, K.A., Nigusse, A.B., Van Langenhove, L. Integration of Conductive Materials with Textile Structures, an Overview Granch Berhe Tseghai, *MDP – Sensors*, 2020.
2. Steele, J.R., Gho, S.A., Campbell, T.E., Richards, C.J., Beirne, S., Spinks, G.M., Wallace, G.G. The Bionic Bra: Using electromaterials to sense and modify breast support to enhance active living. *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.*, 2018, 5, 205566831877590.
3. Dadi, H.H. Literature over View of Smart Textiles. Boras University: Boras, Sweden, 2010.



4. Çelikel, D.C. Intech Open Advanced Functional Materials - Smart E-Textile. Materials chapter, 2019
5. Tao, X. Handbook of Smart Textiles, 1st ed. Springer Science+Business Media: Singapore, 2014.
6. Giuri, A., Colella, S., Listorti, A., Rizzo, A., Mele, C., Esposito, C. GO/glucose/PEDOT:PSS ternary nanocomposites for flexible supercapacitors. *Compos. Part B*, 2018, 148, 149–155.
7. Thangakameswaran, N., Santhoskumar, A.U. Cotton Fabric Dipped in Carbon Nano Tube Ink for Smart Textile Applications. *Int. J. Polym. Mater. Polym. Biomater.*, 2014, 63, 557–562.
8. Gamage, S.J.P., Yang, K., Braveenth, R., Raagulan, K., Kim, H.S., Kim, J.S., Yang, C.-M., Jung, M.J.; Chai, K.Y. MWCNT Coated Free-Standing Carbon Fiber Fabric for Enhanced Performance in EMI Shielding with a Higher Absolute EMI SE. *Materials*, 2017, 10, 1350.
9. Zhu, S., Wang, M., Qiang, Z., Song, J., Wang, Y., Fan, Y., You, Z., Liao, Y., Zhu, M., Ye, C. Multi-functional and Highly Conductive Textiles with Ultra-high Durability through 'Green' Fabrication Process. *Chem. Eng. J.*, 2020, 406, 127140.
10. Highly conductive and ultra-durable electronic textiles via covalent immobilization of carbon nanomaterials on cotton fabric. *Journal of Materials Chemistry C*, 2019.
11. Maity, S., Chatterjee, A. Polypyrrole Based Electro-Conductive Cotton Yarn. *J. Text. Sci. Eng.*, 2014, 4, 171.
12. Achilli, A., Pani, D., Bonfiglio, A. Characterization of Screen-Printed Textile Electrodes Based on Conductive Polymer for ECG Acquisition. In Proceedings of the 2017 Computing in Cardiology Conference, Rennes, France, 24–27 September 2017.



Κεφάλαιο 18. ΠΩΣ ΝΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΕΤΕ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Veronica Guagliumi, Ciare, Italy

18.1 Οι Προκλήσεις

Τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αναγνωρίζονται ως η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ροή αποβλήτων στα αστικά στερεά απόβλητα (MSW). Σε όλο τον κόσμο, η αυξανόμενη κατανάλωση και παραγωγή ρούχων προκάλεσε την ανάπτυξη μιας παραγωγής κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων που οδήγησε σε πολλές προκλήσεις σε πολλές χώρες. Ένα από αυτά είναι η συλλογή απορριμμάτων μέσω οικονομικά βιώσιμης υποδομής διαλογής που είναι δύσκολο να βρεθεί. Μια άλλη σημαντική πρόκληση αντιπροσωπεύεται από παραλλαγές στα μείγματα ινών που καθιστούν τη διαλογή των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων απαιτητική και περίπλοκη. Ωστόσο, η αυτοματοποίηση για τη διαλογή και οι καινοτομίες στην ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι τομείς αυξανόμενων ενδιαφερόντων [1]. Η πιο προτιμώμενη επιλογή είναι η επαναχρησιμοποίηση υφασμάτων, αλλά υποφέρει από συρρίκνωση της αγοράς λόγω της απαγόρευσης των εισαγόμενων μεταχειρισμένων ενδυμάτων σε ορισμένες χώρες. Η παραγωγή νέων ρούχων μέσω επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων θα πρέπει να βασίζεται σε οικονομικά κίνητρα ώστε να είναι εφικτή για την περιοχή ανησυχίας. Προκειμένου να μειωθεί ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος, πρέπει να χρησιμοποιηθούν καινοτόμα βιώσιμα αναμειγμένα υλικά από ανακυκλωμένες ίνες. Επιπλέον, είναι θεμελιώδες να εργαστούμε για τον χαρακτηρισμό της δομής και των ιδιοτήτων των κυτταρινικών ινών που αναγεννώνται από απόβλητα με βάση το βαμβάκι. Μια πρόσθετη βασική δράση θα μπορούσε να είναι η διερεύνηση τεχνολογιών ανακύκλωσης για τη βιώσιμη διαχείριση άλλων κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων, όπως οι τεχνητές κυτταρινικές ίνες (MMCF) και άλλες ίνες όπως το πολυαμίδιο. Πίσω από τον πολυεστέρα και το βαμβάκι, τα MMCF είναι μια κατηγορία ινών που κατασκευάζονται κυρίως από ξύλο και άλλα υλικά που περιέχουν κυτταρίνη. Είναι η τρίτη πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ίνα παγκοσμίως. Αντιπροσωπεύουν ένα ισοδύναμο περίπου 7,1 MT φυτικών ινών ετησίως, ή περίπου το 6,4% του συνόλου των παραγόμενων ινών [2]. Η βιωσιμότητα ενθαρρύνεται επιπλέον από τη δημιουργία μη παραδοσιακών ινών και μια διαδικασία δέσμευσης χωρίς χημικά. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές φυτικές ίνες, οι φυσικές ίνες μπορούν να προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω των μικρότερων περιβαλλοντικών επιπτώσεών τους. Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης που μπορούν να δημιουργήσουν νέες ίνες που είναι συγκρίσιμες με τις παρθένες ίνες είναι μεταξύ των καινοτομιών που προάγουν την κυκλική οικονομία και τα συστήματα ανακύκλωσης κλειστού βρόχου. Ο τομέας της μόδας κερδίζει σημαντικά από τη μετάβαση από την υπάρχουσα γραμμική οικονομία σε μια κυκλική οικονομία, ενώ ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού που προκαλεί μεγαλύτερη ζήτηση για ρούχα [3].



18.2 Πλεονεκτήματα ανακύκλωσης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αναμένεται να χρησιμοποιούνται εκτενώς και μπορούν να παράγουν σημαντικές ροές αποβλήτων. Θα είναι δύσκολο να συλλεχθούν και να ανακυκλωθούν παλιά ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα χωρίς συστήματα συλλογής και ανακύκλωσης αιχμής. Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ενδέχεται επίσης να επηρεάσουν ανησυχίες για την ανθρώπινη υγεία και την κοινωνική δικαιοσύνη που γενικά σχετίζονται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα. Μπορούμε να έχουμε απεριόριστα οφέλη ανακυκλώνοντας έξυπνα υφάσματα με τον σωστό τρόπο. Μερικά γεγονότα είναι:

- Τα προϊόντα από συνθετικές ίνες δεν αποσυντίθενται και οι φυσικές ίνες μπορεί να απελευθερώσουν αέρια θερμοκηπίου, επομένως απαιτείται λιγότερος χώρος υγειονομικής ταφής.
- Αποφεύγεται η χρήση παρθένων ινών.
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και νερού.
- Αποφυγή ρύπανσης.
- Μειωμένη ζήτηση για βαφές.
- Μειωμένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου [4].

18.3 Δυνατότητες ανακύκλωσης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων



Εικόνα 18.1 Ανακύκλωση έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Η μοίρα των παλαιών ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων εξαρτάται από τα συστήματα διαχείρισης απορριμμάτων που έχουν δημιουργηθεί στον τόπο διάθεσής τους. Ωστόσο, τα συστήματα ανακύκλωσης που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος δεν είναι κατάλληλα για τη συλλογή και επεξεργασία υφασμάτων με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Σύμφωνα με ειδικούς στην ανακύκλωση, είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα λόγω διαφόρων τεχνικών προβλημάτων. Για παράδειγμα, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα θα μπορούσαν να μπλοκάρουν τεμαχιστές και θραυστήρες όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται σήμερα στην ανακύκλωση απορριμμάτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (WEEE) [5].



Ο διαχωρισμός χνουδωτών, ελαφρών υλικών, όπως μεταλλοποιημένα πλαστικά φύλλα και κλωστές από ύφασμα θεωρήθηκε ότι ξεπερνούσε τις δυνατότητες των αυτοματοποιημένων διαχωριστών. Γνωρίζουμε από την υπάρχουσα τεχνολογία ανακύκλωσης ΑΗΗΕ ότι ο μηχανικός τεμαχισμός προκαλεί σημαντικές απώλειες πολύτιμων μετάλλων. Αυτά τα υλικά μεταδίδονται σε σημαντικές ποσότητες σε κλάσματα εξόδου, όπου δεν μπορούν να ανακτηθούν. Επιπλέον, τα πολύτιμα μέταλλα (όπως το ασήμι) θα μεταφερθούν στο κλάσμα της σκόνης κατά την καταστροφή των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Οι ειδικοί προέβλεψαν ότι η χειροκίνητη διαλογή και επεξεργασία απορριμμάτων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων ήταν εφικτή, αν και αποτελεί πρόκληση. Επειδή τα πλούσια μέταλλα δεν συγκεντρώνονται στα απόβλητα ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων όπως είναι στα παραδοσιακά ηλεκτρικά απόβλητα, το κόστος επεξεργασίας προβλέφθηκε ότι δεν είναι προσιτό.

Η λύση για την ανακύκλωση έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων πρέπει ακόμη να αναπτυχθεί. Αυτά είναι τα αποτελέσματα που προέρχονται από κάποιες έρευνες: [6-9]

- Η τεχνολογία θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την παραγωγή αντικειμένων με μεγαλύτερο κύκλο ζωής.
- Οι προγραμματιστές τεχνολογίας και οι σχεδιαστές προϊόντων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων δεν θα πρέπει απλώς να αναθέτουν στη βιομηχανία ανακύκλωσης την ευθύνη για τη φάση του τέλους ζωής των εφευρέσεών τους.
- Μετατροπή των προκλήσεων σε ευκαιρίες με την κατασκευή τεχνολογικών τεχνουργημάτων προκειμένου να έχουν μακροπρόθεσμα οφέλη βιωσιμότητας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.
- Τα οφέλη αειφορίας πρέπει να αναζητηθούν και να τεθούν σε εφαρμογή.
- Οι βιομηχανικοί σχεδιαστές μπορούν να διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο δημιουργώντας βιτρίνες βιώσιμων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων για να εμπνεύσουν τους καταναλωτές και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να εστιάσουν την προσοχή τους σε βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις.
- Ο οικολογικός σχεδιασμός του νέου προϊόντος πρέπει να επιβάλλεται από κάθε ερευνητικό ίδρυμα.
- Η πρόληψη των αποβλήτων θα πρέπει να αποτελεί ρητό στόχο των στρατηγικών καινοτομίας.
- Η περισσότερη χρήση έξυπνων υφασμάτων για απλούς και χονδροειδείς αισθητήρες, όπως αισθητήρες αντίστασης ή χωρητικούς αισθητήρες, μπορεί να βοηθήσει στην απόκτηση ακρίβειας μέσω της χρήσης πολλαπλών αισθητήρων και της παρέκτασης δεδομένων.
- Αυξημένη χρήση υφασμάτων επιφανειών που υπάρχουν σήμερα για να μειωθεί η απαίτηση για μικροσκοπικούς αισθητήρες και ηλεκτρονικά εξαρτήματα.
- Βεβαιωθείτε ότι πολλαπλές διαδρομές δεδομένων και παράλληλες γραμμές διασφαλίζουν αξιοπιστία και ασφαλή κύκλωμα αστοχίας.
- Εξετάστε την ελάχιστη χρήση υλικών, όπως μονο-υλικών.



- Η χρήση ορυκτών καυσίμων μπορεί να δημιουργήσει νέες δυνατότητες για ένα βιώσιμο μέλλον.
- Αποσυναρμολόγηση κυκλωμάτων ελέγχου από το έξυπνο ύφασμα για μακροζωία και μεγαλύτερη χρήση.
- Βελτίωση της ανθεκτικότητας των προϊόντων εστιάζοντας στην ποιότητα, τη δυνατότητα χρήσης, τη φθορά, την επισκευασιμότητα και την απαξίωση.

18.4 Συμπεράσματα

Προκειμένου να ενισχυθεί η βιωσιμότητα της αγοράς κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και να κλείσει ο κυκλικός βρόχος, θα πρέπει να αυξηθεί η ανακύκλωση. Η χρήση μικτών και τεχνητών υλικών που έχουν χημική βάση εμποδίζει τις δυνατότητες ανακύκλωσης. Η ανακύκλωση των απορριφθέντων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι ακόμη πιο περίπλοκη. Τα ισχύοντα προγράμματα ανακύκλωσης είναι ακατάλληλα και πρέπει να αναπτυχθεί ακόμη μια αποτελεσματική λύση. Για τους λόγους αυτούς, η εισαγωγή νέων τεχνολογιών θα πρέπει να υποστηρίζεται με οικονομικά κίνητρα, ενώ θα πρέπει να ενθαρρύνεται ο οικολογικός σχεδιασμός, η χρήση μονοϋλικών, φυσικών ινών και διαδικασίες δέσμευσης χωρίς χημικά.

Πηγές

1. Bukhari, M.A., Carrasco-Gallego, R., Ponce-Cueto, E. Developing a national programme for textiles and clothing recovery. *Waste Manag. Res.*, 2018, 36, 321–331.
2. Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials, Market Report, 2020.
3. GFA & BCG (Global Fashion Agenda and the Boston Consulting Group). Pulse of the Fashion Industry, 2021
4. Biswas, P. Smart Recycling of Smart Textiles – an Un-explored area in Textile Waste Management, Textile Focus. *Textile Engineer.*, 2021.
5. Shradhanjali, B. & Goutam, B. Sustainability in Smart Textile. National Institute of Fashion Technology, Bhubaneswar, India. – Textile Value Chain, Dec 04, 2020.
6. Çelikel, D.C. Smart E-Textile Materials. Intechopen, October 30th, 2020.
7. Leblanc, R. The Basics of Textile Recycling- Growth of Textile Recycling Promises to Divert More Material from Landfills. The Balance Small Business, December 30, 2020.
8. <https://www.environmentalleader.com/2011/11/study-smart-fabrics-pose-e-waste-threat/>
9. <https://www.360researchreports.com/global-electronic-textiles-sales-market-16615686>



Κεφάλαιο 19. ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ 3R

Alexandra Bodoga, Daniela Farima and Alina Dragomir Iovan, "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Roumania

19.1 Εισαγωγή

Η εξοικονόμηση πόρων σχετικών με τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μέσω της έννοιας 3R αναφέρεται στις αρχές της μείωσης (reduce), της επανάχρησης (reuse) και της ανακύκλωσης (recycle). Τα έξυπνα υφάσματα είναι υφάσματα ή υλικά που διαθέτουν ενσωματωμένη τεχνολογία, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές ή χαρακτηριστικά συνδεσιμότητας.

Η ιδέα της εξοικονόμηση πόρων σχετικών με τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα περιστρέφεται γύρω από την υπεύθυνη και βιώσιμη διαχείριση των πόρων που σχετίζονται με την παραγωγή, τη χρήση και τη διάθεση έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Περιλαμβάνει διάφορες στρατηγικές και πρακτικές που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και της μακροζωίας αυτών των τεχνολογικά προηγμένων υλικών.

Υιοθετώντας αυτές τις αρχές και εφαρμόζοντας βιώσιμες πρακτικές, η ιδέα της εξοικονόμηση πόρων σχετικών με τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των απορριμμάτων, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την προώθηση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας και βιωσιμότητας των έξυπνων τεχνολογιών κλωστοϋφαντουργίας.

Η ζωή μας περιβάλλεται από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και επειδή βρισκόμαστε στην εποχή της τεχνολογίας, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα υφάσματα έχουν επίσης έξυπνες λειτουργίες. Σήμερα υπάρχουν πολλά έξυπνα και καινοτόμα υφάσματα, έξυπνα υφάσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία της μόδας.

Τα έξυπνα υφάσματα ονομάζονται επίσης ηλεκτρονικά υφάσματα ή ηλεκτρονικά υφάσματα και είναι κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα με ηλεκτρονικά εξαρτήματα για την εκτέλεση ορισμένων λειτουργιών. Η ενσωμάτωση ψηφιακών εξαρτημάτων δεν πρέπει να τροποποιεί τις λειτουργίες του ρουχισμού όπως άνεση, απαλότητα, αντίσταση, ανθεκτικότητα.

Η αγορά των έξυπνων υφασμάτων αναπτύσσεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και η παγκόσμια αγορά έξυπνων υφασμάτων θα αυξηθεί από 943 εκατομμύρια δολάρια το 2015 σε 5369 εκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2022 [1].

Η βιβλιογραφία παρέχει διάφορους τύπους έξυπνων υφασμάτων και η κοινή ταξινόμηση βασίζεται στις λειτουργίες αισθητικής και απόδοσης των ρούχων. Τα έξυπνα αισθητικά υφάσματα χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία της μόδας και μπορούν να αλλάξουν χρώμα,



να ανάψουν. Αυτά τα υφάσματα χρησιμοποιούν θερμοχρωμικά, διαλυτοχρωμικά, φωτοχρωμικά και ηλεκτροχρωμικά υλικά. Οι λειτουργίες απόδοσης αναφέρονται στην ικανότητα του υλικού να προστατεύει από τις ακτινοβολίες, να παρακολουθεί τις λειτουργίες του σώματος όπως ο καρδιακός ρυθμός, να ελέγχει τη θερμοκρασία του σώματος.

Τα έξυπνα υφάσματα θα μπορούσαν να μετατρέψουν τα ερεθίσματα σε αποκρίσεις που αλληλεπιδρούν και με τις 5 αισθήσεις: απτική, οπτική, ακουστική, οσφρητική, απτική. Εκτός από τη βιομηχανία ένδυσης και ένδυσης, τα έξυπνα υφάσματα έχουν και άλλες εφαρμογές όπως η ιατρική, τα αυτοκίνητα, ο στρατός, η αεροπορία, η ρομποτική.

Τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα δεν είναι απαραίτητα πιο βιώσιμα από τα συνηθισμένα και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχουν ορισμένες αμφιβολίες σχετικά με τη βιωσιμότητα των έξυπνων υφασμάτων [2]. Και οι δύο βιομηχανίες, η κλωστοϋφαντουργία και η μικροηλεκτρονική, έχουν κάποια προβλήματα όσον αφορά τη βιωσιμότητα.

Ο όρος «αιφορία» έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλής τα τελευταία χρόνια σε όλους τους κλάδους και στη γλώσσα των καταναλωτών. Η αιφορία έχει διαφορετικούς ορισμούς, αλλά ο πιο συνηθισμένος είναι "Η ποιότητα μιας ανθρωπιστικής δραστηριότητας που πρέπει να πραγματοποιηθεί χωρίς εξάντληση των διαθέσιμων πόρων και χωρίς καταστροφή του περιβάλλοντος, άρα χωρίς να διακυβεύονται οι δυνατότητες κάλυψης των αναγκών των μελλοντικών γενεών" [3]. Η βιωσιμότητα μπορεί να περιγραφεί ως το σημείο τομής των «τριών πυλώνων» που αποτελούν τις λύσεις σε περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα.

19.2 Η έννοια των 3R

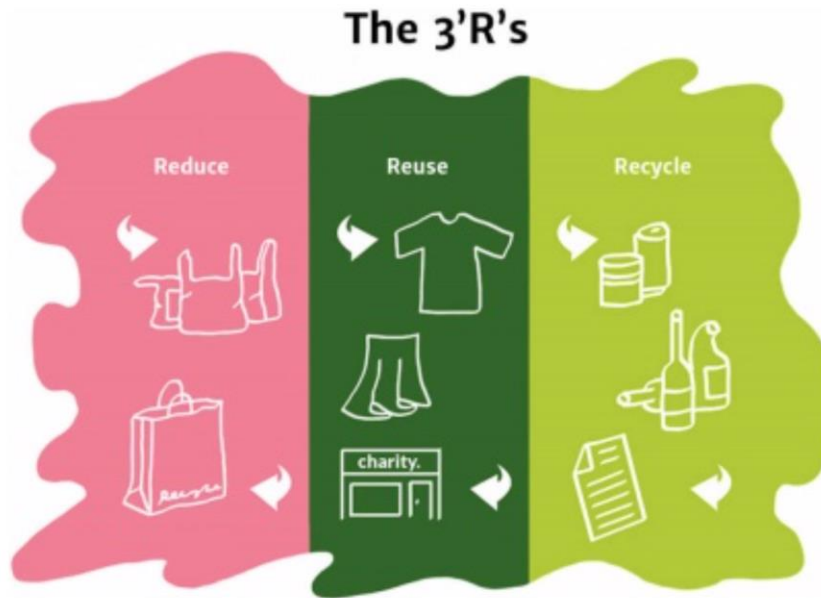
Από περιβαλλοντική άποψη, η κλωστοϋφαντουργία δεν ήταν πολύ φιλική, αλλά χάρη στις προηγμένες και καινοτόμες τεχνολογίες, αυτό έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια. Η τεχνολογική πρόοδος, η βελτίωση των διαδικασιών, η φροντίδα για το περιβάλλον, όλα στοχεύουν να οδηγήσουν τη βιομηχανία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Από οικονομική άποψη, η βιώσιμη ανάπτυξη της ευρωπαϊκής βιομηχανίας μπορεί να επιτευχθεί μέσω της ανταγωνιστικότητας - όντας ένα βήμα μπροστά από τον ανταγωνισμό. Λόγω των αθέμιτων περιορισμών στις εξαγωγές, οι ανταγωνιστές από άλλες τρίτες χώρες μπορούν να αγοράσουν προϊόντα σε χαμηλές τιμές, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διατήρηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος στην παγκόσμια αγορά.

Από κοινωνική άποψη, πρέπει να ακολουθούνται ορισμένες πτυχές: η διασφάλιση της ευημερίας των ζώων, η βελτίωση της εικόνας του κλάδου και η προσέλκυση επενδύσεων, η υποστήριξη της εκπαίδευσης και της εξειδικευμένης κατάρτισης, καθώς και η μη εκμετάλλευση του εργατικού δυναμικού.



Για μεγάλο χρονικό διάστημα, η βιωσιμότητα και η κυκλική οικονομία προσεγγίστηκαν μέσα από το πρίσμα της έννοιας 3 "Rs": **Reduce - Μείωση, Reuse - Επαναχρησιμοποίηση, Recycle - Ανακύκλωση.**



Εικόνα 19.1. σχέδιο 3"Rs", πηγή: <https://www.solarschools.net/knowledge-bank/sustainability/reduce-reuse-recycle>

Μείωση

Αναφέρεται στον περιορισμό του αριθμού αγορών προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα των απορριμμάτων που παράγονται. Αυτό είναι το πιο αποτελεσματικό στοιχείο της ιεραρχίας των αποβλήτων.

Επαναχρησιμοποίηση

Το δεύτερο "R" σημαίνει ότι τα προϊόντα πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερο πριν από την αντικατάστασή τους. Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα συνήθως αντικαθίστανται γιατί δεν είναι πια της μόδας ακόμα κι αν είναι ακόμα λειτουργικά και δεν έχουν καταστραφεί.

Ανακύκλωση

Το τρίτο "R" αναφέρεται στο να δοθεί ένας νέος σκοπός στο προϊόν ή σε ορισμένα μέρη του.



Ο στόχος των 3 "Rs" είναι η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των απορριμμάτων που παράγονται, η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερο και η ανακύκλωση τυχόν υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έναν νέο σκοπό.

Οι McDonough και Braungart πρότειναν μια νέα προσέγγιση στο "R": Re-thinking or Re-design. Αυτό το νέο "R" βασίζεται στη συμπεριφορά αναδιοργάνωσης της κοινωνίας, επικεντρωμένη στον οικολογικό σχεδιασμό και τις διαδικασίες σχεδιασμού που συνδέονται στενά με τη βιώσιμη ανάπτυξη και την εμφάνιση ενός νέου τύπου καταναλωτή, δηλαδή του συνειδητοποιημένου καταναλωτή. [1, 4].

Η πιο πρόσφατη ιδέα είναι το "6R" που αποτελεί τη βάση για βιώσιμη παραγωγή (reduce - μείωση, reuse - επαναχρησιμοποίηση, refuse - απόρριψη, reimagine - επανασχεδιασμός, repair - επισκευή, recycle - ανακύκλωση) καθώς επιτρέπει τη μετατροπή από έναν ενιαίο παραδοσιακό ανοιχτό κύκλο ζωής σε έναν κλειστό [5].



Εικόνα 19.2. Τα 6 "R", πηγή: <https://reimagineco.ca/blogs/news/the-6-rs>

Reimagine or Rethink - Ξαναφантаστείτε ή ξανασκεφτείτε

Αναφέρεται στον τρόπο ζωής του καταναλωτή και στις αγοραστικές του συνήθειες. Πριν αγοράσουν κάτι, θα πρέπει να αναρωτηθούν αν πραγματικά χρειάζονται αυτό το προϊόν και να ξανασκεφτούν τις καθημερινές τους επιλογές.



Reuse - Επαναχρησιμοποίηση

Αντί να αγοράσετε ένα νέο προϊόν, ανακαλύψτε ξανά και βρείτε μια εναλλακτική χρήση για το υπάρχον.

Reduce - Μείωση

Στόχος είναι να μειωθεί η ποσότητα των απορριμμάτων που δημιουργούνται αγοράζοντας μόνο τα σημαντικά προϊόντα και να περιοριστούν οι αγορές.

Repair - Επισκευή

Πριν πετάξετε ένα προϊόν θα πρέπει να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του φτιάχνοντας το.

Refuse - Απόρριψη

Αναφέρεται στο γεγονός ότι αρνείστε να πληρώσετε επιπλέον για κάτι που θα κατέληγε να δημιουργήσει περισσότερα απόβλητα, όπως μια μεγάλη συσκευασία γεμάτη με χαρτί.

Recycle - Ανακύκλωση

Οι πρώτες ύλες από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορούν να ανακτηθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν για την απόκτηση άλλου προϊόντος, που σημαίνει τη διατήρηση των φυσικών πόρων και τη συμβολή στη βιώσιμη ανάπτυξη.

Κάθε ένα από αυτά τα "Rs" περιγράφει μια ενέργεια που μπορεί να γίνει για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων.

Η ικανότητα ανακύκλωσης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται και το επίπεδο ολοκλήρωσης μεταξύ των κλωστοϋφαντουργικών και των τεχνολογικών στοιχείων [5]. Μια άλλη πτυχή είναι ο τρόπος τοποθέτησης των ηλεκτρονικών συσκευών: ραμμένες, κουμπωμένες, Velcro, φερμουάρ. Η μη αφαίρεση ηλεκτρονικών συσκευών τη στιγμή της ανακύκλωσης καθιστά τη διαδικασία πιο δύσκολη. Ακόμα κι αν αφαιρεθεί το ηλεκτρονικό υλικό, είναι δύσκολο να ανακυκλωθεί. Η καλύτερη μέθοδος διάθεσης των κλωστοϋφαντουργικών απορριμμάτων είναι η ανακύκλωση, αλλά όσον αφορά τα έξυπνα υφάσματα η διαδικασία είναι πολύ περίπλοκη, δύσκολη, δαπανηρή και μερικές φορές αδύνατη.

19.4 Συμπεράσματα

Με την ενσωμάτωση αυτών των αρχών στο σχεδιασμό, την παραγωγή, τη χρήση και την απόρριψη έξυπνων υφασμάτων, η ιδέα 3R προωθεί τη διατήρηση των πόρων, τη μείωση των απορριμμάτων και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Βοηθά στη μεγιστοποίηση της αξίας που προκύπτει από αυτά τα υλικά και στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον.

Τα έξυπνα υφάσματα συχνά ενσωματώνουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα που απαιτούν ενέργεια για να λειτουργήσουν. Με τη διατήρηση των πόρων και την εφαρμογή



ενεργειακά αποδοτικών σχεδίων, μπορούμε να μειώσουμε την κατανάλωση ενέργειας και την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και καταπολεμώντας την κλιματική αλλαγή.

Η εξοικονόμηση πόρων προάγει τη βιώσιμη καινοτομία στον τομέα των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Ενθαρρύνει την ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον υλικών, αποτελεσματικών διαδικασιών παραγωγής και τεχνολογιών ανακύκλωσης. Εστιάζοντας στη εξοικονόμηση πόρων, ο κλάδος μπορεί να οδηγήσει σε προόδους που ευθυγραμμίζονται με την περιβαλλοντική διαχείριση και την κοινωνική ευθύνη. Η έμφαση στη εξοικονόμηση πόρων στα έξυπνα υφάσματα ευθυγραμμίζεται με τις αρχές μιας κυκλικής οικονομίας.

Με τη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση υλικών, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα κλειστού βρόχου όπου οι πόροι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται και πολύτιμα υλικά διαρκώς κυκλοφορούν πίσω στον κύκλο παραγωγής. Συνολικά, η εξοικονόμηση πόρων στα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη μείωση των απορριμμάτων, την προώθηση της βιωσιμότητας και την προώθηση της οικονομικής και τεχνολογικής πρόοδου με υπεύθυνο και αποτελεσματικό τρόπο.

Πηγές

1. Çelike, D.C. Smart E-Textile Materials, 2013. DOI: 10.5772/intechopen.92439
2. Ossevoort, S. Improving the sustainability of smart textiles: Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers, 2013. DOI: 10.1533/9780857093530.3.399
3. Brundtland Commission. *Our Common Future*. Oxford, Oxford University Press, 1987.
4. McDonough, W. and Braungart, M. *Cradle-to-Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York, North Point Press, 2002
5. Jayal, A.D., Badurdeen, F., Dillon, O.W. Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process, and system levels. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2010, 2(3), 144-152. DOI: 10.1016/j.cirpj.2010.03.006



Κεφάλαιο 20. ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Athanasios Panagiotopoulos and Georgios Priniotakis, UNIWA, Greece

20.1 Εισαγωγή

Τα έξυπνα υφάσματα μπορούν να οριστούν ως υφάσματα ικανά να αισθάνονται και να αντιδρούν σε περιβαλλοντικές συνθήκες και εξωτερικά ερεθίσματα (π.χ. μηχανικά, θερμικά και χημικά ερεθίσματα) χάρη σε έναν αριθμό αισθητήρων που ενσωματώνονται στα υφάσματα.

Βιωσιμότητα σημαίνει ικανοποίηση των σημερινών μας αναγκών χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Εκτός από τους φυσικούς πόρους, η βιώσιμη ανάπτυξη χρειάζεται και κοινωνικούς και οικονομικούς πόρους. Η αειφορία δεν είναι μόνο περιβαλλοντισμός. Στους περισσότερους ορισμούς της βιωσιμότητας, βρίσκουμε ανησυχίες για την κοινωνική ισότητα και την οικονομική ανάπτυξη.

Ο συνδυασμός των όρων των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και της βιωσιμότητας, οδηγεί στην ανάγκη ενός νέου ορισμού: αυτόν των βιώσιμων έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Σε μια ευρεία και γενική πτυχή, η οποία θα μπορούσε να οριστεί ως έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα που ικανοποιούν την απαίτηση για βιωσιμότητα σε κάθε πτυχή των λειτουργιών και των εφαρμογών τους και σε όλο τον κύκλο ζωής τους, από την εξόρυξη πρώτων υλών έως το τέλος της ζωής τους, συμπεριλαμβανομένων των πιο σημαντικών φάσεων κατασκευή και χρήση. Αυτό που είναι υψίστης σημασίας για την επίτευξη των απαιτήσεων των βιώσιμων έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, είναι ότι σχεδιάζονται και αναπτύσσονται ως τέτοια..

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τις πιο σημαντικές πτυχές της ανάπτυξης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων που μπορούν να θεωρηθούν βιώσιμες. Η αναζήτηση της βιωσιμότητας είναι μια αιώνια επαναλαμβανόμενη διαδικασία συνεχούς ανάπτυξης, επομένως οι πτυχές που παρουσιάζονται παρακάτω θα πρέπει να θεωρούνται όχι οι μόνες, αλλά οι πιο σημαντικές και ένα καλό σημείο εκκίνησης για όποιον επιθυμεί να αναπτύξει βιώσιμο έξυπνο.

21.2 Κατανάλωση ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας είναι μια από τις πιο σημαντικές πτυχές που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα, ειδικά η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας όταν αυτή η ενέργεια βασίζεται σε μη ανανεώσιμες πηγές όπως τα ορυκτά καύσιμα. Όσον αφορά τα έξυπνα υφάσματα, ένα χαρακτηριστικό που είναι εξαιρετικά χρήσιμο για την αποφυγή χρήσης ενέργειας είναι η ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Για αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογικές λύσεις, όπως φωτοκαταλύτες, μικροκύματα, νανοσωλήνες άνθρακα, κολλοειδές οξείδιο μετάλλου, νανοσωματίδια αργύρου και χαλαμίνη χλωρίου [1]. Η υλοποίηση των ιδιοτήτων αυτοκαθαρισμού σε υφαντικές επιφάνειες με τη χρήση



νανοτεχνολογίας, παρέχει τεράστιες δυνατότητες για την ανάπτυξη νέων υλικών ή νέων προϊόντων και εφαρμογές για γνωστά υλικά [2]

Επιπλέον, η αυτοθεραπεία μπορεί να παρατείνει τον κύκλο ζωής ενός υφάσματος κατά αρκετά χρόνια. Εάν μπορούμε να επιτύχουμε αυτοθεραπεία, αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να παρατείνουμε την αντικατάσταση ενός υφάσματος και αυτό οδηγεί σε λιγότερη ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ενός νέου.

Τα αυτοθεραπευόμενα υφάσματα, τα οποία είναι γνωστά ως έξυπνα υφάσματα με αυτόματη λειτουργία αυτοεπισκευής, θεωρούνται πολλά υποσχόμενα απαραίτητα για τη συνεχή επέκταση της κλωστοϋφαντουργίας. Τα αυτοθεραπευόμενα υφάσματα έχουν αναπτυχθεί συμβατικά με τη χρήση χημικών φινιρισμάτων επικάλυψης σε μορφές μικροκάψουλες, υδρογέλες ή άλλες πολυμερικές μήτρες [3].

Επιπλέον, η ικανότητα αυτοθερμορύθμισης των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι μια πραγματική επανάσταση για την κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί κανείς να φανταστεί ρούχα που έχουν την ικανότητα να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία του σώματος του ατόμου που τα φοράει, έτσι ώστε να υπάρχει λιγότερη ή ίσως καθόλου ανάγκη για συσκευές θέρμανσης ή ψύξης που καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας. Οι στρατηγικές για αυτήν την προσέγγιση περιλαμβάνουν ψύξη/θέρμανση υφασμάτων, ψύξη/θέρμανση υφαντών υφασμάτων, έγχρωμα υφάσματα, δυναμικά υφάσματα, ύφασμα με βάση PCM-ίνες, υβριδικά φιλμ/υφάσματα με βάση μεταλλικές νανοϊνες, υλικά με βάση το γραφένιο και άνθρακα, τη θερμοηλεκτρική συσκευή (TED) [4]



Εικόνα 21.1 Η βιωσιμότητα οδηγεί σε ένα πράσινο μέλλον



21.3 Υλικά

Η βιωσιμότητα των έξυπνων υφασμάτων πρέπει επίσης να αναφέρεται στο είδος των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του προϊόντος. Υλικά που είναι πολύ ακριβά ή απαιτούν μεγάλους πόρους θα πρέπει να αποφεύγονται για την εύνοια άλλων υλικών και ιδανικά για ανακυκλωμένα υλικά που θεωρούνται βιώσιμα, π.χ..

Είναι ακόμη δυνατό να σκεφτούμε μια λύση ηλεκτρονικών υλικών και εξαρτημάτων, τα οποία έχουν φτάσει στο τέλος της ζωής τους και θα μπορούσαν να ενσωματωθούν σε έξυπνα υφάσματα. Ένα παράδειγμα είναι οι μικροεπεξεργαστές που θεωρούνται απαρχαιωμένοι για εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας (υπολογιστικές), αλλά μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε εφαρμογές χαμηλής ζήτησης σε έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, το εγώ που ελέγχει περιορισμένο αριθμό ή συσκευές εισόδου/εξόδου όπως αισθητήρες. Με αυτόν τον τρόπο, σημαντικές ποσότητες επικίνδυνων ηλεκτρονικών αποβλήτων ανακυκλώνονται και παραμένουν σε λειτουργία αντί να αποτελούν πηγή μόλυνσης [5]. Το ίδιο μπορεί να ισχύει για μικρές οθόνες από κινητά τηλέφωνα ή εξοπλισμό ραδιοεπικοινωνίας.

Η δυνατότητα των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν από το έξυπνο ύφασμα, τοποθετώντας το ηλεκτρονικό υλικό στο ύφασμα με εύκολο αφαιρούμενο τρόπο, μπορεί να προσφέρει αναβάθμιση υλικού και μεγαλύτερο κύκλο ζωής και κατά συνέπεια μείωση των ηλεκτρονικών απορριμμάτων.

21.4 Παραγωγή Ενέργειας

Αναφερθήκαμε ήδη στην κατανάλωση ενέργειας με την έννοια της μείωσης της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία του έξυπνου υφάσματος. Ένα βήμα μπροστά είναι η παραγωγή ενέργειας από την ίδια την κλωστοϋφαντουργία.

Αυτό θα μπορούσε να συμβεί με τη συλλογή εμβιομηχανικής ενέργειας από τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, καθώς το ανθρώπινο σώμα είναι μια πλούσια πηγή εμβιομηχανικής ενέργειας. Μια αρκετά ώριμη τεχνολογική λύση για τη συλλογή εμβιομηχανικής ενέργειας είναι το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο που θα μπορούσε να ενσωματωθεί με τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σώμα. Σε σύγκριση με τη διακοπτόμενη βιομηχανική ενέργεια που απαιτεί κινήσεις του σώματος, μια άλλη πηγή ενέργειας είναι η θερμότητα του σώματος, που υπάρχει συνεχώς στο ανθρώπινο σώμα ακόμη και σε σταθερές στάσεις, η οποία προέρχεται από μεταβολικά υποπροϊόντα και έχει γίνει διαθέσιμη πηγή ενέργειας για συνεχή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις περασμένες δεκαετίες. Πέρα από την προαναφερθείσα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εμβιομηχανικές κινήσεις και θερμότητα σώματος, η βιοχημική ενέργεια είναι ένας τύπος σωματικής πηγής ενέργειας που είναι γενικά διαθέσιμος αλλά συνήθως αγνοείται, ο οποίος παρουσιάζεται με μορφές όπως σωματικά υγρά, όπως ιδρώτα, δάκρυα, αίμα και σάλιο. [6].

Photovoltaics Textiles



Οι δύο κύριοι τομείς για τα φωτοβολταϊκά (PV) κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι πρώτα η τροφοδοσία αισθητήρων και άλλων ηλεκτρονικών ενσωματωμένων σε ένα φορητό ύφασμα και στη συνέχεια η μεγάλης κλίμακας χρήση ηλιακής ενέργειας από τέντες, σκίαστρα, καλύμματα και παρόμοιες εγκαταστάσεις. Προς το παρόν δεν υπάρχουν αμιγώς κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα ηλιακής ενέργειας, αλλά πολλές εκδόσεις εργαστηριακής κλίμακας που συναγωνίζονται για ανάπτυξη σε εμπορικές εφαρμογές.

Η πρώτη πρόκληση για την κατασκευή οποιουδήποτε φωτοβολταϊκού στοιχείου, είναι η παροχή μιας ηλεκτρικά αγώγιμης βάσης που να μην έχει προστατευτικό φράγμα στη ροή των φορτίων από το στοιχείο. Για κυψέλες που παρέχουν σημαντικά ρεύματα χρησιμοποιούνται μόνο μέταλλα, ενώ οι κυψέλες λεπτής μεμβράνης χαμηλότερης απόδοσης μπορεί να χρησιμοποιούν λιγότερο αγώγιμα διαφανή οξειδία (π.χ. οξείδιο κασσιτέρου ινδίου-ΙΤΟ ή οξείδιο ψευδαργύρου αργιλίου-AZO). Τα αγώγιμα πολυμερή δεν είναι επαρκώς αγώγιμα από μόνα τους [7]

20.5 Χρήση φυσικών ινών

Τα σύνθετα υλικά με βάση τις φυσικές ίνες βρίσκονται υπό εντατική μελέτη λόγω της φιλικής προς το περιβάλλον φύσης και των μοναδικών ιδιοτήτων τους. Τα πλεονεκτήματά του είναι η συνεχής παροχή, ο εύκολος και ασφαλής χειρισμός και η βιοδιασπώμενη φύση τους. Αν και οι φυσικές ίνες έχουν αξιοθαύμαστα φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, ποικίλλει ανάλογα με την φυτική πηγή, το είδος, τη γεωγραφία μεταξύ άλλων [8].

Οι κατηγορίες των φυσικών ινών είναι:

- Φυτικές ίνες που περιλαμβάνουν μπαστούνι, φύλλα, βλαστούς, καρπούς, σπόρους και άλλες όπως το ξύλο.
- Ζωικές ίνες που περιλαμβάνουν τρίχες όπως μαλλί, ανγκόρα, μοχέρ, κασμίρι και αλπακά, καθώς και μετάξι.
- Ορυκτές ίνες όπως ο αμίαντος [9] θα μπορούσαν επίσης να είναι χρήσιμες, αλλά υπάρχουν προβλήματα με την ανθρώπινη υγεία και αυτό είναι ένας ανασταλτικός παράγοντας.

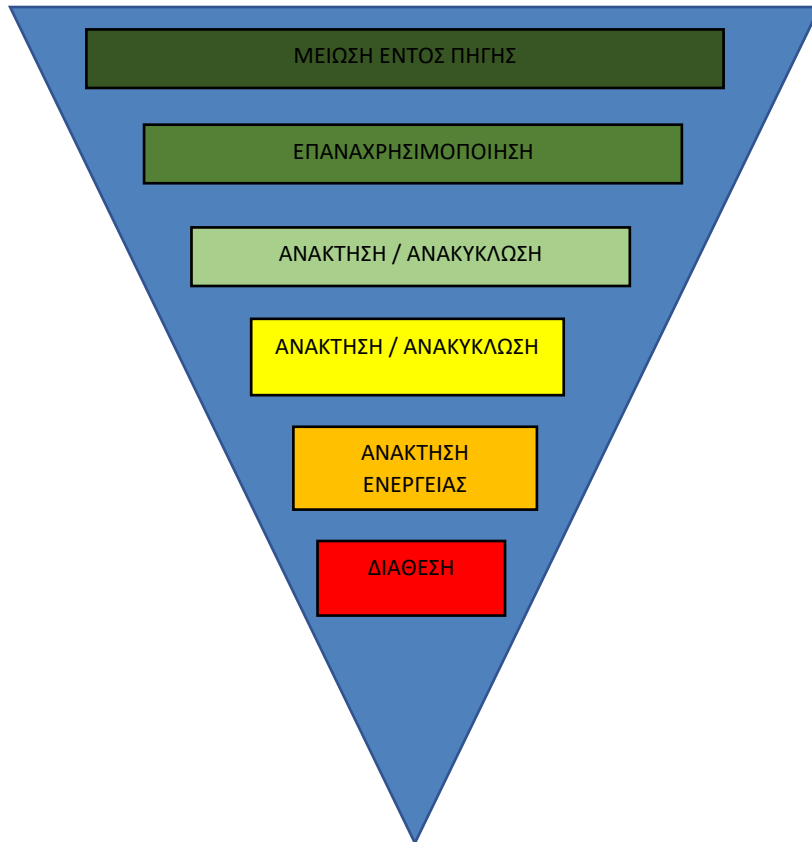
Η πιο πολλά υποσχόμενη και νέα κατηγορία είναι οι ίνες που λαμβάνονται από φρούτα και σπόρους. Τόνοι φρούτων χάνονται κάθε χρόνο. Εάν καταστεί δυνατή η παραγωγή ινών από αυτό, αυτό θα οδηγήσει σε εξαιρετικά περιβαλλοντικά και οικονομικά αποτελέσματα.

20.6 Συμπεράσματα

Αν και τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα δεν έχουν ακόμη μια ώριμη αγορά, πρέπει να ικανοποιήσουν τη ζήτηση για βιωσιμότητα, όπως κάνει κάθε άλλο προϊόν. Για να είναι βιώσιμα, τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται και να αναπτύσσονται ως τέτοια. Οι σχετικές τροποποιήσεις και προσαρμογές θα εφαρμοστούν σε κάθε μεμονωμένο μέρος του προϊόντος (νήματα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα), αλλά θα πρέπει επίσης να ισχύουν για ολόκληρο τον κύκλο ζωής. Αυτό



σημαίνει ότι πτυχές όπως η κατανάλωση ενέργειας κατά τη φάση χρήσης θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν ή/και να αντισταθμιστούν, για παράδειγμα με την παραγωγή ενέργειας από το ίδιο το έξυπνο ύφασμα.



Εικόνα 21.2 Ιεραρχία μείωσης απορριμμάτων

Πηγές

1. Saad, S.R., Mahmed, N., Abdullah, M.M.A.B., Sandu, A.V. Self-Cleaning Technology in Fabric: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, 133. doi:10.1088/1757-899x/133/1/012028
2. Self Cleaning Textile <https://www.technicaltextile.net/articles/self-cleaning-textile-an-overview-2646>
3. Cheung, T.W., Li, L. Sustainable development of smart textiles: a review of self-functioning abilities which makes textiles alive. *J Textile Eng. Fashion Technol*, 2018, 4(2), 151-156. DOI: 10.15406/jteft.2018.04.00133



4. Hu, R.; Liu, Y.; Shin, S.; Huang, S.; Ren, X.; Shu, W.; Cheng, J.; Tao, G.; Xu, W.; Chen, R.; Luo, X. Emerging Materials and Strategies for Personal Thermal Management. *Advanced Energy Materials*, 2020. doi:10.1002/aenm.201903921
5. Veske, P.; Ilän, E. Review of the end-of-life solutions in electronics-based smart textiles. *Journal of Textile Institute*, 2020, 1–14. doi:10.1080/00405000.2020.1825176
6. Chen, G.; Li, Y.; Bick, M.; Chen, J. Smart Textiles for Electricity Generation. *Chemical Reviews*, 2020. doi:10.1021/acs.chemrev.9b00821
7. Wilson, J.I.B, and Mather, R.R. Photovoltaic solar textiles. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2019, 32, 1-4.
8. Asim, M.; Abdan, K.; Jawaid, M.; Nasir, M.; Dashtizadeh, Zahra; Ishak, M.R.; Hoque, M. E. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–16. doi:10.1155/2015/950567
9. Daria, M.; Lejcuá, K.; Misiewicz, J. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 268. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122129



Κεφάλαιο 21. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΞΥΠΝΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Olga Papadopoulou, Creative Thinking Development, Solonos 8 & Empedokleous, 19009, Ntrafi Rafinas, Greece

21.1 Εισαγωγή

Η κλωστοϋφαντουργία είναι ένας πλήρως ανεπτυγμένος και τεχνολογικά προηγμένος βιομηχανικός τομέας, με σημαντικό αποτύπωμα CO₂ και συμβολή στη ρύπανση των υδάτων, κυρίως εξαιτίας των διαδικασιών βαφής [1,2]. Ένα ευρύ φάσμα χημικών παραγόντων εμπλέκεται στις διαδικασίες βιομηχανικής κατασκευής κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων για τον εμποτισμό και απεμποτισμό των νημάτων με προστατευτικές επικαλύψεις, τη λεύκανση, τη βαφή, το φινίρισμα και το μαλάκωμα των υφασμάτων [3]. Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη τα επιβραδυντικά φλόγας και οι επιφανειακές επεξεργασίες με ειδικά σχεδιασμένα νανοϋλικά [1]. Η τοξικότητα των περισσότερων από αυτές τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες παραγωγής παραδοσιακών υφασμάτων είναι καλά τεκμηριωμένη και τα όρια έκθεσης έχουν καθοριστεί από συστηματικές μελέτες τις τελευταίες δεκαετίες [1, 3].

Εκτός από τους συμβατικούς τύπους υφασμάτων και τους σχετικούς κινδύνους, η κλιμακούμενη χρήση νανοϋλικών, χημικών μπαταριών, βαρέων μετάλλων ενσωματωμένων σε ύφασμα σε έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχει εγείρει πρόσθετες ανησυχίες σχετικά με τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία που σχετίζονται με τη χρήση, τη συντήρησή τους, καθώς την επεξεργασία τους μετά το πέρας της λειτουργικής ζωής τους. Ορισμένες πρόσφατες μελέτες υπογραμμίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των νανοϋλικών και περιγράφουν τις απαραίτητες διαδικασίες διαχείρισής τους [4-6]. Οι πτυχές της τοξικότητας που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έχουν τεράστιο αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια, το περιβάλλον και την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων διαδικασιών διαχείρισης απορριμμάτων και ανακύκλωσης [2, 6]. Υπάρχει μια βαθιά σύγκρουση μεταξύ των απεριόριστων λειτουργικών χρήσεων και της συνολικής βιωσιμότητας των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων [2,6,7].

Οι ακόλουθοι παράγραφοι παρέχουν μια επισκόπηση των θεμελιωδών γνώσεων σχετικά με την πιθανή τοξικότητα των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με στόχο την ενημέρωση των κέντρων καινοτομίας και των ερευνητών αυτού του τομέα, των



επενδυτών, των μικρομεσαίων επιχειρήσεων (ΜΜΕ) και βιομηχανικών κατασκευαστών, των τελικών χρηστών και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής.

21.2 Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία που σχετίζονται με έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα

Σύμφωνα με τους Rovira et al. [1] οι κατηγορίες χημικών ουσιών με αποδεδειγμένη τοξικότητα, που χρησιμοποιούνται ευρέως στην κλωστοϋφαντουργία, περιλαμβάνουν:

α) Αρωματικές αμίνες, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή αζωχρωμάτων. Πολλές από αυτές τις ενώσεις χαρακτηρίζονται ως αλλεργιογόνα και κυρίως ως καρκινογόνες και γονιδοτοξικές ενώσεις.

(β) Τοξικά μέταλλα όπως Co, Pb, Cr, Cu, Ni, Cd, Hg, AS, Zn (συστατικά οργανομεταλλικών συμπλοκών ή ανόργανων χρωστικών σε βαφές), τοξικούς καταλύτες όπως Sb_2O_3 , νανοσωματίδια μετάλλων και οξειδίων που προστίθενται στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, προκειμένου να αποκτήσουν προσαρμοσμένες ιδιότητες.

(γ) Φθαλικές ενώσεις, που απαντώνται συχνά με τη μορφή εκτυπώσεων πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), οι οποίες κατηγοριοποιούνται ως πιθανοί ενδοκρινικοί διαταράκτες.

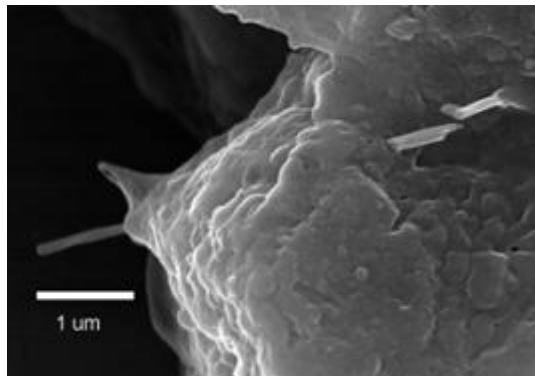
δ) Ρητίνες με βάση τη φορμαλδεΐδη, που χρησιμοποιούνται στο φινίρισμα υφασμάτων, οι οποίες είναι ερεθιστικές για το δέρμα και πιθανόν καρκινογόνες ουσίες, σε περιπτώσεις υψηλών επιπέδων απελευθερούμενης φορμαλδεΐδης.

(ε) Πρόσθετα πολύ-βρωμιωμένων διφαινυλαιθέρων (PBDE) και εξα-βρωμοκυκλοδεκανίου (HBCD), που χρησιμοποιούνται ως επιβραδυντές φλόγας. Αυτές οι χημικές ουσίες, αν και δεν έχουν μελετηθεί εκτενώς όσον αφορά τους συγκεκριμένους μηχανισμούς δηλητηρίασης, συσσωρεύονται στους ανθρώπινους ιστούς και έχουν επίσης ανιχνευθεί ως οικιακοί ρύποι και βασικοί ρυπαντές του οικοσυστήματος.

Τα κατασκευασμένα νανοϋλικά εισέρχονται στο ανθρώπινο σώμα, κυρίως μέσω εισπνοής, της απορρόφησης από το δέρμα και της κατάποσης, με τις δύο πρώτες να είναι οι πιο συχνές οδοί [3, 4].

Στην περίπτωση των λειτουργικών υφασμάτων και των φορετών ειδών, οι πιο συνηθισμένοι τύποι νανοσωματιδίων, νανοϊνών και νανοεπικαλύψεων που χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων - όπως ηλεκτρική

αγωγιμότητα, ιδιότητες αυτοκαθαρισμού και αντιβακτηριακή δράση, ενισχυμένη μηχανική αντοχή και αντοχή στην τριβή, προστασία από υπεριώδη (UV) ακτινοβολία, επιβράδυνση φλόγας, υδατοαπωθητικότητα και πολλές άλλες - είναι μεταλλικά σωματίδια (Ag, Cu, Au), διάφορα σωματίδια με βάση τον άνθρακα (νανοσωλήνες άνθρακα, αιθάλη), νανο-άργυλοι και ανόργανα οξείδια (TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO), οξείδιο γραφενίου [2-4, 9, 8, 9]. Ορισμένες τυπικές ενσωματωμένες νανο-συσκευές και εύκαμπτες ίνες που χρησιμοποιούνται ως μπαταρίες είναι τα γαλβανικά κελιά Al- NaOCl και ίνες (LiFePO_4 / $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{10}$ / στερεό πολυαιθυλενοξείδιο / PVDF), αντίστοιχα. Τα στρώματα πολυμερών και συμπολυμερών, οι πολυμερικές ίνες φωτονικού διάκενου, οι μεταλλικές επικαλύψεις που εναποτίθενται με εκτίναξη/εξαγωγή ατόμων και τα αγώγιμα νήματα πολλαπλών συστατικών με λειτουργία υπερπυκνωτή είναι επίσης τυπικά συστατικά νανοκλίμακας στα έξυπνα υφάσματα [2]. Όλα τα προαναφερθέντα χημικά αντιδραστήρια και υλικά σχετίζονται με διάφορους κινδύνους τοξικότητας. Το Σχήμα 21.1 απεικονίζει τη διείδυση νανοσωλήνων άνθρακα σε μία πνευμονική κυψελίδα.



Εικόνα 21.1 Εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης που απεικονίζει νανοσωλήνες άνθρακα (CNTs) να διαπερνούν μία πνευμονική κυψελίδα (Πηγή: Robert R. Mercer, Ann F. Hubbs, James F. Scabilloni, Liying Wang, Lori A. Battelli, Diane Schwegler-Berry, Vincent Castranova και Dale W Porter / NIOSH, CCO Public Domain).

Οι κίνδυνοι για την υγεία και την ασφάλεια συνδέονται με όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων - την παραγωγή πρώτων υλών, την ενσωμάτωση νανοϋλικών και ηλεκτρονικών ειδών σε υφάσματα κατά την κατασκευή, τη φάση χρήσης και την επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους. Τον υψηλότερο κίνδυνο έκθεση αντιμετωπίζουν οι εργαζόμενοι της κλωστοϋφαντουργίας κατά τη φάση παραγωγής [3, 4]. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι για την ενσωμάτωση έξυπνων υφαντικών εξαρτημάτων είναι: (i) η ύφανση, το πλέξιμο, η πλαστικοποίηση ή συρραφή αγώγιμων νημάτων σε υφάσματα, (ii) η ύφανση και το

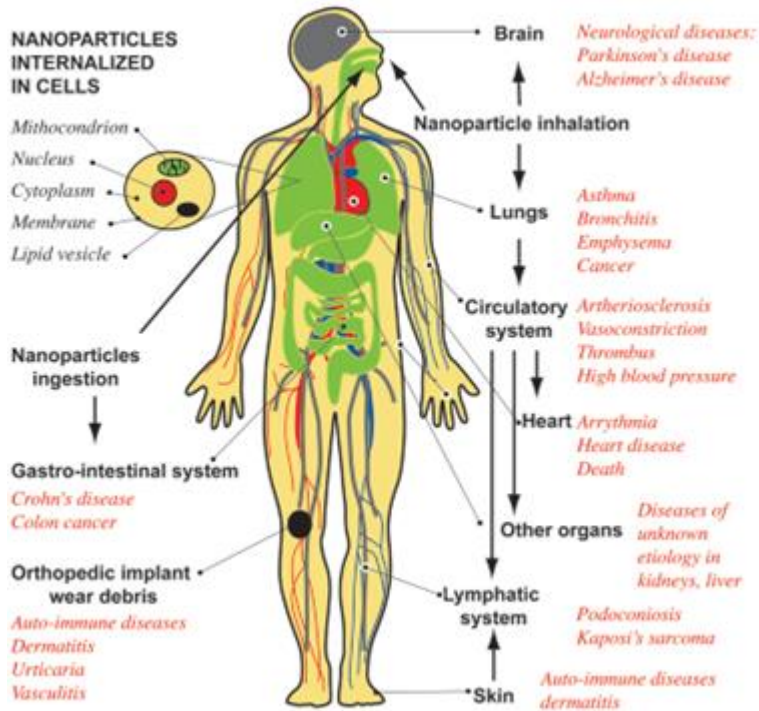


πλέξιμο για την παραγωγή διδιάστατων και τριδιάστατων υφασμάτων, (iii) η ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στο υφασμάτινο υπόστρωμα μέσω της δημιουργίας ηλεκτρικών επαφών [10].

Η απελευθέρωση δυνητικά τοξικών συστατικών από τα τελικά έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα μπορεί να προκληθεί από τριβή, εφίδρωση, διακυμάνσεις θερμοκρασίας, επιδράσεις ακτινοβολίας, διαδικασίες πλύσης κατά τη χρήση [9]. Η διαδερμική απορρόφηση θεωρείται ως η πρωταρχική ανησυχία για την υγεία των τελικών χρηστών έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, ωστόσο αυτές οι επιπτώσεις δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς [4]. Πολλές μελέτες αναφέρουν πιθανούς μηχανισμούς προσρόφησης και συσώρευσης νανοσωματιδίων, νανο-συναθρόσεων και νανο-συσσωματωμάτων στα ανθρώπινα όργανα [4]. Σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 100 nm, διεισδύουν στις κυτταρικές μεμβράνες και δημιουργούν διάφορες διαταραχές, όπως οξειδωτικό στρες, φλεγμονή, απόπτωση, μιτοχονδριακή και λυσοσωμική δυσλειτουργία και γονιδιοτοξικότητα [15]. Οι συγκεκριμένοι κίνδυνοι εξαρτώνται από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των σωματιδίων (μέγεθος, χημική σύσταση, επιφανειακή ενέργεια, φορτίο κ.λπ.) [4, 6] και οι δύο κύριες συνέπειες είναι οι τοξικές επιδράσεις και οι βλάβες στο γενετικό υλικό (DNA) που ευθύνονται για νευρολογικές παθήσεις και καρκίνο [4]. Ο Periyasamy στην εκτενή του βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις συνέπειες της απελευθέρωσης μικροϊνών από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, περιλαμβάνει -μεταξύ άλλων- μελέτες που έχουν ανιχνεύσει μικροΐνες σε δείγματα ανθρώπινου πλακούντα [3]. Ο ίδιος συγγραφέας απαριθμεί όλα τα βαρέα μέταλλα που προστίθενται στα πολυμερή υφάσματα, τη λειτουργικότητά τους και τους σχετικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, που κυμαίνονται από αλλεργίες έως διάφορους τύπους καρκίνου και ανεπάρκειες οργάνων. Στο Σχήμα 21.2 συνοψίζονται τα πιο κοινά προβλήματα υγείας και οι ασθένειες που προκαλούνται από την έντονη ή παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού σε νανοϋλικά .

DISEASES ASSOCIATED TO NANOPARTICLE EXPOSURE

C. Buzea, I. Pacheco, & K. Robbie, Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, Biointerphases 2 (2007) MR17-MR21



Εικόνα 21.2 Ασθένειες και καταστάσεις υγείας που σχετίζονται με την έκθεση και τη συσσώρευση νανοσωματιδίων στο ανθρώπινο σώμα (Πηγή: Cristina Buzea; CC0 Public Domain).

Οι Almeida et al. αναφέρουν τα πρότυπα κατά EN ISO που έχουν εξελιχθεί ή προσαρμοστεί για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της επαφής του δέρματος με τυπικά νανοϋλικά που περιέχονται στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους δοκιμών έχουν σχεδιαστεί ως δοκιμές εμβάπτισης σε διαλύματα τεχνητής εφίδρωσης [9]. Ωστόσο, τα ενσωματωμένα ηλεκτρονικά στα έξυπνα υφάσματα απαιτούν μία διαφορετική προσέγγιση.

21.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις τοξικών συστατικών έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων

Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και οι επιπτώσεις οικοτοξικότητας από την εκπομπή τοξικών παραγόντων κατά τις διαδικασίες πλύσης, καθώς και μετά από την απόρριψη των έξυπνων υφασμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής τους, αποτελούν ένα ξεχωριστό πεδίο που απαιτεί



παρακολούθηση και έλεγχο, έτσι ώστε η μελλοντική μαζική παραγωγή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων πολλαπλών συστατικών, ενδυμάτων και φορετών συσκευών να μην οδηγούν σε εκτεταμένη ρύπανση, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μικροπλαστικών [5, 7].

Τα δεδομένα που ίσως δημοσιεύονται πιο συχνά, αφορούν αποτελέσματα από δοκιμές πλήσης κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με αποσμητικές ή/και αντιμικροβιακές ιδιότητες. Από αρκετές μελέτες [2,4], έχει αναφερθεί εκτεταμένη έκπλυση νανοσωματιδίων αργύρου - ένας κίνδυνος που πιθανώς υποτιμήθηκε κατά τον σχεδιασμό αυτών των προϊόντων. Μέχρι σήμερα, υπάρχει μόνο μία διαθέσιμη πρότυπη διαδικασία πλήσης κατά ISO 6330 και δεν υπάρχουν ειδικές οδηγίες για σωστή ανακύκλωση ή διεθνείς κανονισμοί που θα ελαχιστοποιούσαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [10]. Οι κατάλληλες πρακτικές ανακύκλωσης είναι ένα επιπλέον ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Η αποτελεσματικότητα της ανακύκλωσης των παραδοσιακών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων (που προσεγγίζει το 100%), δεν ισχύει για τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα [6, 8]. Οι Dolez et al. σε εργασία επισκόπησης [11], αναφέρουν ορισμένες βελτιώσεις στην ανακυκλωσιμότητα συγκεκριμένων κατηγοριών ινών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξοπλισμού ατομικής προστασίας, όπως οι εξαιρετικά εκτατές ελαστομερείς ίνες, οι ίνες με βάση την κυτταρίνη και οι εμπορικές συνθετικές ίνες. Ορισμένα θετικά αποτελέσματα σχετικά με τη μερική ανακυκλωσιμότητα των μεταλλικών εξαρτημάτων (μετά από μεταλλουργική ανάκτηση ή μηχανικό διαχωρισμό από πολυμερή υλικά) έχουν επίσης αναφερθεί στην περίπτωση αγώγιμων ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων [6]. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί μια γενική τάση και δεν υπάρχουν διαθέσιμες συστηματικές πρακτικές, μέσω των οποίων θα ήταν δυνατή η αποσύνθεση/απόσπαση και ο διαχωρισμός των υφασμάτων των υποστρωμάτων από νανοσωματίδια, ηλεκτρονικά ή άλλα εξαρτήματα.

Όπως επισημαίνεται από τον Köhler [7], τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα με ηλεκτρονικά είδη και αισθητήρες στο τέλος του κύκλου ζωής τους θα πρέπει να συλλέγονται και να αντιμετωπίζονται ως ηλεκτρονικές συσκευές. Μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει ειδική νομοθεσία και κανονισμοί για τον οικολογικό σχεδιασμό και τη διαχείριση απορριμμάτων φορετών συσκευών [5]. Η συστηματική επιμόλυνση - με νανοσωματίδια και άλλους τοξικούς παράγοντες και χημικές ουσίες- των συστημάτων ανακύκλωσης στερεών αποβλήτων, των χωματερών και των χώρων αποτέφρωσης, της επεξεργασίας των λυμάτων θα οδηγούσε αναπόφευκτα στη ρύπανση του οικοσυστήματος μέσω του νερού, του εδάφους και του αέρα [3, 7].



21.4 Μέθοδοι αξιολόγησης τοξικότητας και οικοτοξικότητας - Απαιτούμενοι κανονισμοί και πολιτικές

Οι μελέτες που επικεντρώνονται στην τοξικότητα των νανοϋλικών για τον άνθρωπο είναι μάλλον περιορισμένες και βασίζονται κυρίως στην προεκβολή μοντέλων έκθεσης ζώων στους ανθρώπους. Για να επιτευχθεί αυτό, οι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει διάφορα είδη ζώων και μικροοργανισμών για πειράματα *in vivo*, προκειμένου να αξιολογήσουν την επίδραση διαφόρων τύπων νανοσωματιδίων. Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμα συστηματικά πρωτόκολλα που να συσχετίζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες αυτών των υλικών και τους μηχανισμούς δηλητηρίασης και, ως εκ τούτου, τα πειραματικά αποτελέσματα είναι συχνά ασαφή [4]. Σύμφωνα με το άρθρο επισκόπησης των Saleem et al. [4], η πιο πρόσφατη ερευνητική τάση στις τοξικολογικές μελέτες είναι κυρίως η χρήση τεχνικών *in vitro*, χρησιμοποιώντας επιθηλιακές κυτταρικές σειρές ή -εναλλακτικά- τρισδιάστατες αποικίες. Η αξιολόγηση αυτού του τύπου πειραμάτων θα μπορούσε να παρέχει πληροφορίες σχετικά με πιθανή βλάβη του DNA (καταστροφή ή οξείδωση), μεταλλάξεις σε γονίδια και καταστροφή χρωμοσωμάτων [4]. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου δοκιμής εξαρτάται από τις μοναδικές ιδιότητες των νανοϋλικών και τους τοξικοκινητικούς παράγοντες του εξεταζόμενου βιολογικού συστήματος [12].

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις προσεγγίζονται κυρίως με μεθοδολογίες εκτίμησης ρίσκου (εκτιμήσεις κύκλου ζωής των προϊόντων που έχουν σχεδιαστεί για να προβλέψουν το τοξικό φορτίο που προκύπτει από τις διαδικασίες πλύσης ή την απόρριψη απορριμμάτων), σε συνδυασμό με μελέτες περιπτώσεων οικοτοξικότητας στο τέλος του κύκλου ζωής [3-7]. Αυτή η τελευταία κατηγορία περιλαμβάνει αναλύσεις της συσσώρευσης τοξικών ρύπων σε υδρόβιες πηγές, ιζήματα, φυτά, βακτήρια του εδάφους και άλλους ζωντανούς οργανισμούς [4]. Για παράδειγμα, μικροΐνες που απελευθερώνονται από λειτουργικά υφάσματα έχουν ανιχνευθεί σε δείγματα λαχανικών, φρούτων και ψαριών από διάφορες μελέτες [3].

Η αξιολόγηση της τοξικότητας και της οικοτοξικότητας των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που συνδέονται με τις δυνατότητες πλύσης και ανακύκλωσης είναι προκλήσεις που συνδέονται άμεσα με τη συνολική βιωσιμότητα αυτών των καινοτόμων προϊόντων [2, 4, 7, 10]. Στοχευμένες έρευνες που διεξήχθησαν το 2011 από δύο ειδικούς, οι οποίοι πήραν συνεντεύξεις από ερευνητές και διευθυντές πολλών ευρωπαϊκών ερευνητικών ιδρυμάτων και



μικρομεσαίων επιχειρήσεων (ΜΜΕ) που ασχολούνται με τεχνολογίες έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, αποκάλυψαν άγνοια σχετικά με τις παρενέργειες που προκύπτουν από τη διάθεση απορριμμάτων στο τέλος του κύκλου ζωής, την έλλειψη κατάλληλων αξιολογήσεων του κύκλου ζωής των προϊόντων και την περιορισμένη υιοθέτηση στρατηγικών πρόληψης των αποβλήτων σύμφωνα με τις πολιτικές της ΕΕ [7].

Οι Schischke et al [5] σε μια μελέτη που δημοσιεύθηκε το 2020, αναφέρουν πολύ σπάνιες βιβλιογραφικές πηγές με δεδομένα αναλύσεων κύκλου ζωής για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και έξυπνα υφάσματα. Παρόλο που αναμένεται να έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος την τελευταία δεκαετία, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο σχεδιασμός συγκεκριμένων προτύπων και διεθνών κανονισμών για την ασφάλεια και η περιβαλλοντική μηχανική βρίσκεται πολύ πίσω συγκριτικά με την τεχνολογική πρόοδο στα πεδία της εφαρμοσμένης έρευνας και καινοτομίας, του σχεδιασμού και της κατασκευής προϊόντων και της κατασκευής και παραγωγής βιομηχανικής κλίμακας [5, 7, 10].

Η δημοσιευμένη σειρά προτύπων ISO για τη νανοτεχνολογία [13] και αυτά που βρίσκονται υπό ανάπτυξη [14] αποτελούν θετικά βήματα προς την περιεκτική ορολογία, τον χαρακτηρισμό υλικών, την ανάλυση κινδύνου, τις δοκιμές τοξικότητας και πολλούς άλλους τομείς. Ορισμένες κατευθυντήριες γραμμές για μελλοντική τυποποίηση έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων έχουν συμπεριληφθεί στο ISO/TR 23383:2020(en) [15].

Οι ειδικοί στον τομέα υπογραμμίζουν την ευθύνη των επενδυτών και των παραγωγών να συμμορφώνονται με τους υφιστάμενους κανονισμούς για την υγεία και την ασφάλεια και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς, να αναλαμβάνουν αναλύσεις αξιολόγησης ρίσκου σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και να παρέχουν σαφείς πληροφορίες στους καταναλωτές σχετικά με την ασφαλή χρήση και κατάλληλη διάθεση των απορριπτόμενων προϊόντων [2, 5]. Οι Glisovic et al. [6] αναφέρουν γενικές μεθοδολογίες για αναλύσεις κύκλου ζωής κατασκευασμένων νανοϋλικών που έχουν εφαρμογή στη βιομηχανία έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και φορητών συσκευών.

Μια διεπιστημονική προσέγγιση με τη συνέργεια ειδικών από διάφορους τομείς - μηχανική, χημεία, επιστήμη υλικών και κλωστοϋφαντουργίας, σχεδιασμός ενδυμάτων, ιατρική, τοξικολογία, ασφάλεια, περιβαλλοντικές επιστήμες - θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση, όχι μόνο για το σχεδιασμό έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων αλλά και για την καθιέρωση διεθνών συστημάτων ελέγχου υγείας και ασφάλειας και



περιβάλλοντος, κανονισμών και πολιτικών, καθώς και συστημάτων βιώσιμης διαχείρισης αποβλήτων στο τέλος του κύκλου λειτουργικής ζωής των προϊόντων [6, 9, 11].

Περίληψη

Οι πιο κοινές τοξικές χημικές ουσίες που συναντώνται σε έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και φορετά είδη, καθώς και σε παραδοσιακά υποστρώματα υφασμάτων παρουσιάζονται παράλληλα με κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και ασθένειες που αναφέρονται σε διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής των προϊόντων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η οικοτοξικότητα που σχετίζεται με το τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων συζητούνται εν συντομία. Το κεφάλαιο δίνει μια γενική επισκόπηση των μεθοδολογιών αξιολόγησης της τοξικότητας και των υφιστάμενων κανονισμών και πολιτικών, επισημαίνοντας τις αδύναμες πτυχές σχετικά με τη βιωσιμότητα των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο εγγύς μέλλον.

Βιβλιογραφικές αναφορές

1. J. Rovira, J. L. Domingo (2019), Human health risks due to exposure to inorganic and organic chemicals from textiles: A review, *Environmental Research*, 168, pp.62-69, doi:10.1016/j.envres.2018.09.027
2. M. A. Shah, B. M. Pirzada, G. Price, A. L. Shibiru, A. Qurashi (2022), Applications of nanotechnology in smart textile industry: A critical review, *Journal of Advanced Research*, 38, pp. 55-75, doi: 10.1016/j.jare.2022.01.008
3. P. Periyasamy (2023), Microfiber emissions from functionalized textiles: Potential threat for human health and environmental risks, *Toxics*, 11, 406, doi: 10.3390/toxics11050406.
4. H. Saleem, S. J. Zaidi (2020), Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact, *Materials*, 13, 5134, doi:10.3390/ma13225134
5. K. Schischke, N. F. Nilsen, M. Schneider-Ramelow (2023), *MRS Communications*, 10(1), pp.69-82, doi: 10.1557/mrc.2019.157.
6. S. Glisovic, D. Pesic, E. Stojiljovic, T. Golubovic, D. Krstic, M. Prascevic, Z. Jankovic (2017), Emerging technologies and safety concerns: a condensed review of environmental life cycle risks in the nano-world, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, pp.2301-2320, doi:10.1007/s13762-017-1367-2
7. A. R. Köhler, C. Som (2014), Risk preventive innovation strategies for emerging technologies the case of nano-textiles and smart textiles, *Technovation*, 34, pp. 420-430,
8. B.S. Hassan, G. M.N. Islam, A. N. M. A. Haque (2019), Applications of Nanotechnology in Textiles: A review, *Advance Research in Textile Engineering*, 4(2), 1038, ISSN: 2572-9373
9. L. Almeida, D. Ramos (2017), Health and safety concerns of textiles with nanomaterials, 17th World Textile Conference AUTEX 2017- Textiles - Shaping the Future, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 254, 102002, doi:10.1088/1757-899X/254/10/102002.



10. H. L. O. Junior, R. M. Neves, F. M. Monticelli, L. Dall Agnol (2022), Smart fabric textiles: Recent advances and challenges, *Textiles*, 2, pp.582-605, doi:10.3390/textiles2040034.
11. P. I. Dolez, S. Marsha, R. H. McQueen (2022), Fibers and Textiles for personal protective equipment: Review of recent progress and perspectives on future developments, *Textiles*, 2, pp.349-381, doi:10.3390/textiles2020020.
12. https://www.oecd.org/env/ehs/testing/Draft_GD_nano_and_genotox_rev2.pdf
13. <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0>
14. <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/p/0/u/1/w/0/d/0>
15. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:23383:ed-1:v1:en>