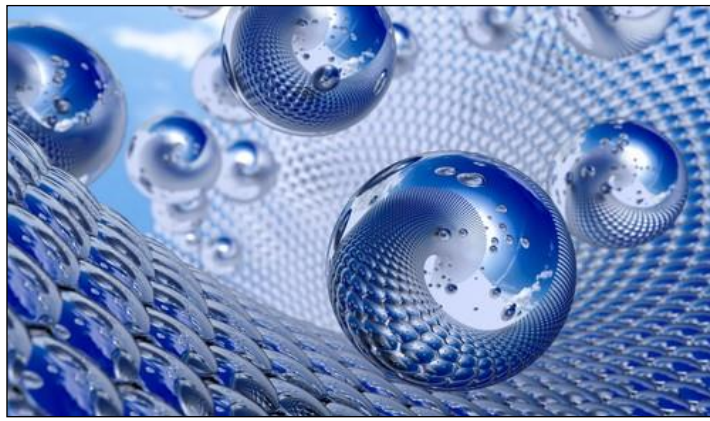




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής



**«Σχεδίαση έξυπνων υφασμάτων για χρήση σε
ενδύματα ατομικής προστασίας»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΩΤΗΡΙΟΥ ΜΑΡΑΜΠΟΤΟΥ

ΑΜ: 70147298

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ
ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ ΣΦΥΡΟΕΡΑ**

ΜΑΡΤΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

**Department of
Industrial Design & Production Engineering**

DIPLOMA THESIS

Design of smart textiles for protection garments

**By
MARABOTOS SOTHRIOS**

REGISTER NUMBER:70147298

**SUPERVISORS: PRINIOTAKIS GEORGIOS
SFYROERA EMMANOUELA**

MARCH 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης & Παραγωγής

Διπλωματική Εργασία

«Σχεδίαση έξυπνων υφασμάτων για χρήση σε ενδύματα ατομικής προστασίας»

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:

| | | |
|-------------------------|------------------------|--|
| ΠΡΙΝΙΩΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ | ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ | |
| ΣΦΥΡΟΕΡΑ ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ | ΛΕΚΤΟΡΑΣ | |
| ΓΕΩΡΓΙΑ ΧΕΙΡΧΑΝΤΕΡΗ | ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΣΩΤΗΡΗΣ ΜΑΡΑΜΠΟΤΟΣ του ΜΑΡΚΟΥ, με αριθμό μητρώου 47298 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | 4 |
| 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| 1.1 Ιστορική Αναδρομή..... | 9 |
| 1.2 Νέα υλικά | 12 |
| 2. ΕΞΥΠΝΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ..... | 14 |
| 2.1 Ιδιότητες Έξυπνων Υφασμάτων..... | 20 |
| 2.2 Υδροφοβικότητα και ελαιοφοβικότητα υφασμάτων | 21 |
| 2.3 Αυτοκαθαριζόμενα υφάσματα | 23 |
| 2.4 Αντιβακτηριακά Υφασματα | 24 |
| 2.5 Υφάσματα ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία..... | 30 |
| 2.6 Αντιστατικές ιδιότητες στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα..... | 31 |
| 2.7 Ηλεκτρικά αγώγιμα υφάσματα..... | 32 |
| 2.8 Αποθήκευση ενέργειας από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα..... | 33 |
| 2.9 Φωτονική ενέργεια..... | 39 |
| 2.10 Αισθητήρες στα υφάσματα | 42 |
| 3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ | 47 |
| 3.1 Έξυπνα υφάσματα και πρακτικές εφαρμογές..... | 50 |
| 3.2 Εφαρμογή της έξυπνης ένδυσης στον αθλητισμό | 51 |
| 3.3 Έξυπνη ένδυση στην υγειονομική περίθαλψη..... | 54 |
| 3.4 Έξυπνη ένδυση στην μόδα και την καθημερινότητα | 58 |
| 3.5 Έξυπνα ενδύματα στο πυροσβεστικό σώμα και μέτρα ατομικής προστασίας.. | 60 |
| 3.6 Προηγμένα υφάσματα και εφαρμογή των ΜΑΠ στα σώματα ασφαλείας του στρατού και της αστυνομίας..... | 64 |
| 3.7 Προηγμένος εξοπλισμός στο στρατό..... | 65 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 73 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 74 |
| LINKS ΕΙΚΟΝΩΝ | 75 |

Περίληψη

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και των προηγμένων εφαρμογών της κλωστοϋφαντουργίας στις μέρες μας, είναι αναγκαίο να κατανοηθούν τα βασικά σημεία της προϊστορίας που έφερε στην τωρινή μας περίοδο αυτές τις εξελίξεις. Καθώς η επιστημονική κοινότητα εξακολούθησε να διερευνά και να ενεργεί συνεχώς στο κόσμο της νανοτεχνολογίας ολοένα και αναπτυσσόταν η έξυπνη ένδυση. Με το επίκεντρο να βρίσκεται στις ιδιότητες των διάφορων προηγμένων ινών, υπέστη δυνατή η δημιουργία των ευφυή υφασμάτων. Σε συνάρτηση των αναγκών της καθημερινότητας του ανθρώπου και με την απαίτηση για την αντιμετώπιση διάφορων προκλήσεων, στην παρούσα εργασία σημειώνονται αρκετές καθοριστικές λύσεις. Καθώς υπογραμμίζονται αναλυτικά οι διαφορές ιδιότητες των έξυπνων ινών γίνεται αναφορά στις δυνατότητες ανάπτυξης καινοτόμων προϊόντων ένδυσης. Στην συνέχεια μελετάται η δυνατότητα ανάπτυξης έξυπνων υφασμάτων σε κύριους τομείς όπως η ιατρική ,η μόδα ,τα σώματα ασφαλείας με επίκεντρο την στρατιωτική προστασία ,τον αθλητισμό και την εργασία. Επίσης ιδιαίτερη σημασία έχει η συνεχής βελτίωση της έξυπνης ένδυσης και η μελλοντική ανασκόπηση για περαιτέρω έξυπνες εφαρμογές των ινών ,καθώς η ανάγκη για προσαρμογή στις περιβαλλοντικές προκλήσεις αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η λεπτομερή κατανόηση των βασικών ιδεών της σύγχρονης κλωστοϋφαντουργίας αλλά και η αναγνώριση των σημαντικών εξελίξεων που αφορούν τις προηγμένες εφαρμογές των έξυπνων υφασμάτων. Καθώς η ανάγκη για νέα προϊόντα ένδυσης από έξυπνα υλικά έχει κορυφωθεί ,ιδιαίτερη σημασία έχει η εμπέδωση των διάφορων προβλημάτων που παρουσιάζονται στις μέρες μας , στοχεύοντας στις μελλοντικά υποσχόμενες τεχνολογίες για την αντιμετώπισή τους. Ωστόσο προέχει η ασφάλεια του ανθρώπου κατά την καθημερινότητα του αλλά και η ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων προς το περιβάλλον από έξυπνα υλικά.

Λέξεις κλειδιά: προηγμένες ίνες , ιδιότητες ινών, έξυπνα υφάσματα, έξυπνα ενδύματα ατομικής προστασίας

Abstract

With the rapid development of technology and advanced applications of textiles nowadays, it is necessary to understand the key points of the prehistory that brought these developments to our present period. As the scientific community has continued to continuously explore and act in the world of nanotechnology, smart clothing has increasingly developed. With the focus being on the properties of various advanced fibers, the creation of intelligent fabrics became possible. In line with the needs of the daily life of human beings and with the requirement to address various challenges, several defining solutions are noted in this paper. As the various properties of smart fibers are highlighted in detail, the potential for the development of innovative apparel products is discussed. Then the possibility of developing smart fabrics in main areas such as medical, fashion, security bodies with a focus on military protection, sports and work is studied. Also, of particular importance is the continuous improvement of smart clothing and the future review for further smart fiber applications, as the need to adapt to environmental challenges is an important element

The purpose of this paper is to provide a detailed understanding of the basic concepts of modern textiles and to identify the important developments concerning the advanced applications of smart textiles. As the need for new apparel products made from smart materials has peaked, it is of particular importance to consolidate the various problems that are being faced nowadays , targeting the promising future technologies to address them. However, the safety of human beings in their daily lives and the development of sustainable solutions towards the environment from smart materials are of paramount importance.

Keywords: advanced fibers, fiber properties, smart fabrics, smart personal protective clothing

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπων καθηγητές Πρινιωτάκη Γεώργιο και Σφυρόερα Εμμανουέλα για την καθοδήγηση τους στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Στην σύζυγο μου Γεωργία για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή που επέδειξε ώστε να μπορέσω να ολοκληρώσω τη φοίτηση μου. Και τέλος , ένα μεγάλο ευχαριστώ στην ανιψιά μου Ιωάννα για την πολύτιμη βοήθεια της καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Είναι ευρέως γνωστό εδώ και χιλιάδες χρόνια από τους αρχαιότερους πολιτισμούς του κόσμου ότι , οι ίνες και τα υφάσματα αποτελούσαν τον πρώτο ρόλο για την επιβίωση του ανθρώπου στην γη .Αυτά τα υλικά είναι από τα σημαντικότερα φυσικά αγαθά που συνέβαλαν στην ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού . Οι άνθρωποι βασίζονταν σε αυτές τις πρώτες ύλες με σκοπό να παρέχουν άνεση, προστασία και ζεστασιά τους χειμερινούς μήνες, διαμορφώνοντας τα σε ρούχα ή ακόμη και σε καταφύγια. Οι αρχαίοι πολιτισμοί αξιοποίησαν τα υλικά που μας έδωσε η φύση ως μέσο έκφρασης της πολιτιστικής τους ταυτότητας ,για την προσαρμογή τους σε διάφορα περιβάλλοντα με αποτέλεσμα την εξέλιξη της ανθρωπότητας. Έτσι , οι ίνες και τα υφάσματα δημιουργήθηκαν πιθανώς από φυσικούς πόρους όπου οι άνθρωποι παρατήρησαν αναζητώντας κατάλυμα και ζεστασιά. Τα φυτά και οι γούνες από τα δέρματα ζώων, ήταν από τις πρώτες φυσικές ύλες που εντόπισαν κατά την περιήγησή τους στον άγνωστο για αυτούς κόσμο. Οι θεμελιώδεις αυτές προϊστορικές κατηγορίες ινών που συνέδραμαν στην θεμελίωση της γνωστής σε μας κλωστοϋφαντουργίας καλούνται φυτικές και ζωικές ίνες. Το βαμβάκι και το μαλλί είναι τα κύρια φυσικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν από τους προγόνους μας για την κατασκευή ρούχων, κουβερτών και άλλων χρήσιμων υφασμάτων.



Εικόνα 1: Οι "homo sapiens" πριν από 300.000 χρόνια. (Cro-Magnon artists painting in Font-de-Gaume, 1920)



Εικόνα 2 : Μαλλί.

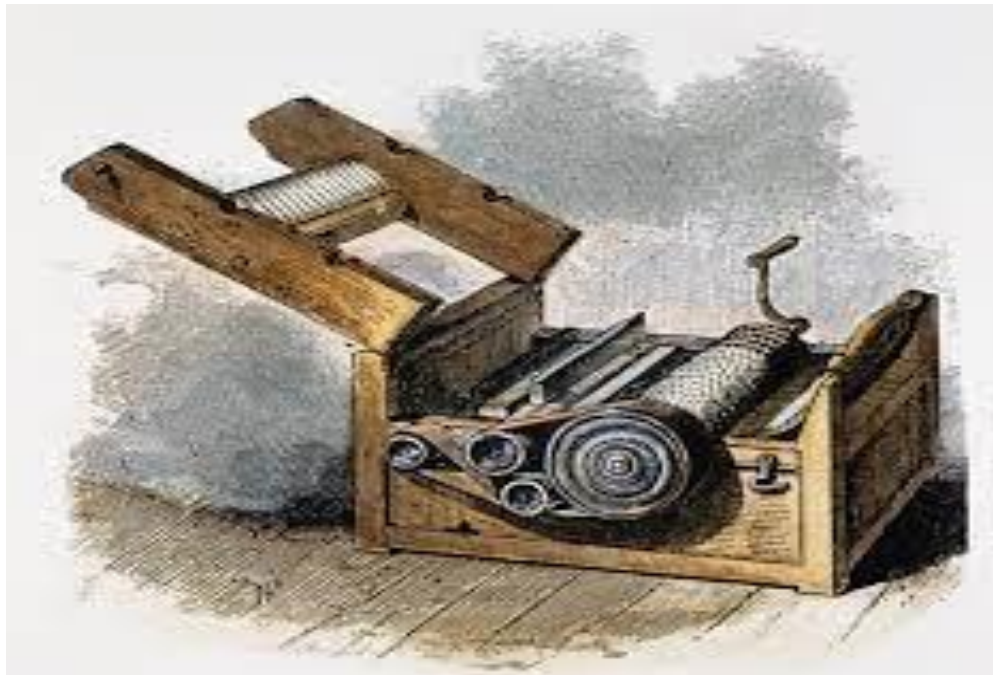
(<https://interknit.com.au/about-wool/>)



Εικόνα 3 : Βαμβάκι.

(<https://en.wikipedia.org/wiki/Cotton>)

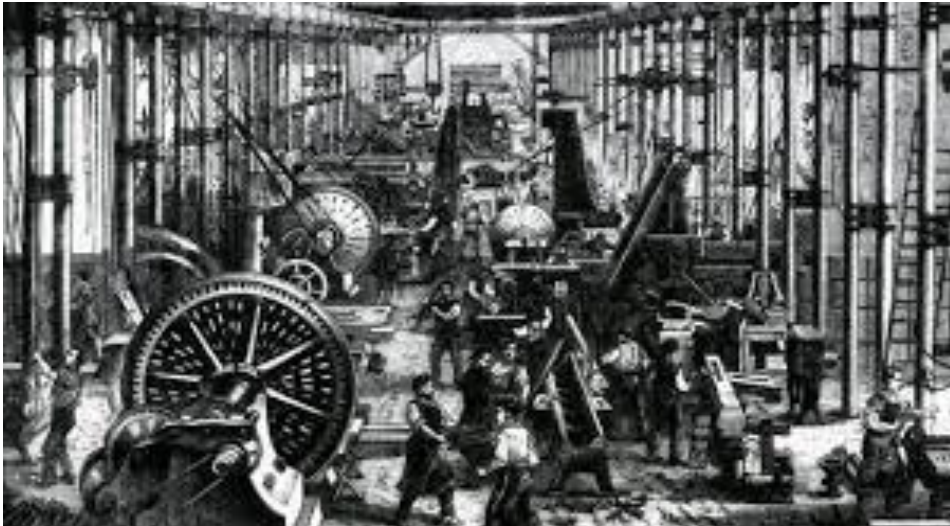
Κατά την πάροδο των χρόνων και ταυτόχρονα την ανάπτυξη των πολιτισμών από εποχή σε εποχή, αναπτύχθηκε η τεχνογνωσία και οι τεχνικές που συμβάλουν στη ταχύτερη δημιουργία ινών και υφασμάτων. Η ανακάλυψη του τροχού κλώσης και του αργαλειού συνέβαλε αποτελεσματικά στη μαζική παραγωγή υφασμάτων, κατά συνέπεια την ανάπτυξη της κλωστοϋφαντουργικής βιομηχανίας. Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον κλάδο της παραγωγής υφασμάτων έφερε ο “Neli Whitney” το 1793 με την εφεύρεση του “cotton gin” , αποτελώντας ένα μηχάνημα διαχωρισμού σπόρων από τις βαμβακερές ίνες. Ωστόσο αυτό το επίτευγμα συνδέεται άμεσα με την επανάσταση στη βιομηχανία του βαμβακιού οδηγώντας σε μαζική αύξηση της παραγωγής βαμβακιού.



Εικόνα 4: Το “cotton gin” από τον “Neli Whitney”.

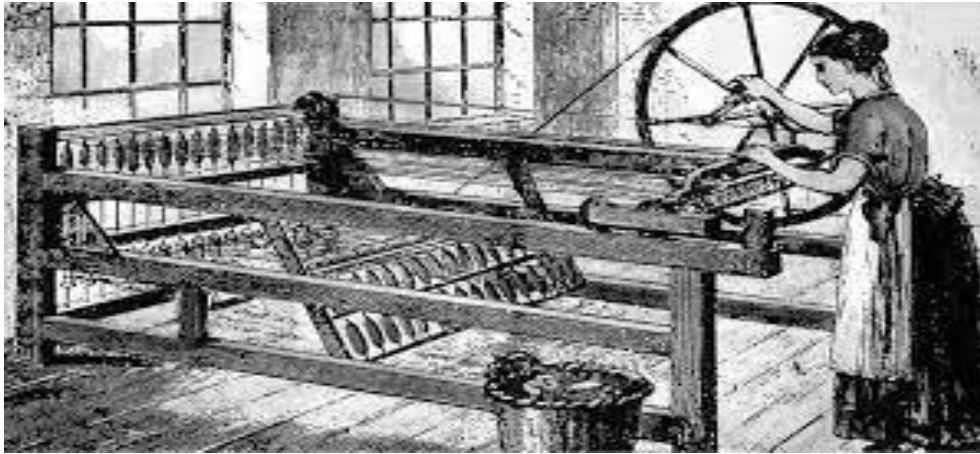
(<https://www.amazon.com/Posterazzi-GLP469052LARGE-Collection-Engraving-Multicolored/dp/B07C3B9CWZ>)

Καθώς οι ανθρώπινοι πολιτισμοί εξελίσσονταν άφηναν πίσω τους την προβιομηχανική εποχή και βιάζονταν ολοένα και πιο γρήγορα στην πρώτη βιομηχανική επανάσταση με μια ακόμα ανακάλυψη στην επιστήμη της κλωστοϋφαντουργίας που αποδεικνύει τα πρώτα ίχνη της επανάστασης αυτής. Στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, η εφεύρεση του “spinning jenny” από τον “James Hargreaves” έφερε την αυτοματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής υφασμάτων οδηγώντας στην ανάπτυξη του κλάδου. Ωστόσο στη συνέχεια τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έγιναν πιο προσιτά στο κόσμο και η απαίτηση για την παραγωγή νέων υφασμάτων αυξήθηκε ραγδαία. Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, η ανάπτυξη των συνθετικών ινών και υφασμάτων οδήγησαν στη δημιουργία ποικίλων νέων υλικών, όπως το νάιλον, πολυεστερική ίνα και η λεγόμενη ίνα “Spandex”. Αυτά τα υλικά φημίζονται για τις μοναδικές μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάζουν όπως αυξημένη αντοχή, ανθεκτικότητα, εξαιρετική ευελιξία και αντοχή στην υγρασία.



Εικόνα 5: Πρώτη βιομηχανική επανάσταση.

(<https://www.he.duth.gr/sharedhistories/index.php/contents/the-impact-of-the-industrial-revolution/the-impact-of-the-industrial-revolution>)



Εικόνα 6 : “spinning jenny”.(<https://www.faribaultmill.com/pages/spinning-jenny>)

1.2 Νέα υλικά

Στην σύγχρονη εποχή που διανύουμε με την επίδραση της τεχνολογίας των υπολογιστών και τους γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης νέων μεθόδων παραγωγής προϊόντων η κλωστοϋφαντουργία συνεχίζει να καινοτομεί με έμφαση στη βιωσιμότητα και την αειφόρο ανάπτυξη . Νέα υλικά όπως το μπαμπού, η κάνναβη κερδίζουν δημοτικότητα ως βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις για το παραδοσιακό βαμβάκι καθώς, η 3D εκτύπωση και τα έξυπνα υφάσματα συμβάλουν αμοιβαία στην μαζική αλλαγή του κλάδου της ύφανσης. Είναι γνωστό πως όσο αυξάνεται ο πληθυσμός των ανθρώπων και όσο η τεχνολογία εξελίσσεται υπάρχουν και περισσότερες ανάγκες για την ταχύτερη αξιοποίηση της στην βιομηχανική παραγωγή.

Οι έξυπνες ίνες και τα έξυπνα υφάσματα έχουν φέρει την επανάσταση στην κλωστοϋφαντουργία ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες σε υλικά με τα οποία επιβιώνει σήμερα ο άνθρωπος. Τα υλικά αυτά έχουν την ικανότητα να αντιλαμβάνονται και να ανταποκρίνονται στο περιβάλλον τους, δηλαδή να ανιχνεύουν διάφορους παραμέτρους από το κοντινό τους περιβάλλον και να επιδρούν αναλόγως καθιστώντας τη ιδανική λύση για διάφορες εφαρμογές. Βασικές εφαρμογές χρήσης έξυπνων ινών και υφασμάτων είναι η παρακολούθηση της υγείας του χρήστη, η φυσική κατάσταση, ακόμη και η αξιοποίηση τους στις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Η δημιουργία έξυπνων ινών και υφασμάτων απαιτεί μια διεπιστημονική προσέγγιση, που περιλαμβάνει τομείς όπως η επιστήμη των υλικών, η ηλεκτρολογία η επιστήμη της πληροφορικής και των μικροεπεξεργαστών. Σε αυτή την διατριβή, θα εμβαθύνουμε στην πρόσφατη έρευνα των έξυπνων ινών και υφασμάτων, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων τους, και των εφαρμογών τους. Θα διερευνήσουμε επίσης τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες για τη μελλοντική ανάπτυξη αυτών των υλικών, με έμφαση στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να βελτιώσουν τη ζωή μας και να ωφελήσουν την κοινωνία στο σύνολό της.



Εικόνα 8: ίνες μπαμπού.



Εικόνα 7: Ύφασμα από κάνναβη



Εικόνα 9: Έξυπνες ίνες. (<https://news.mit.edu/2020/smart-fabrics-future-0508>)



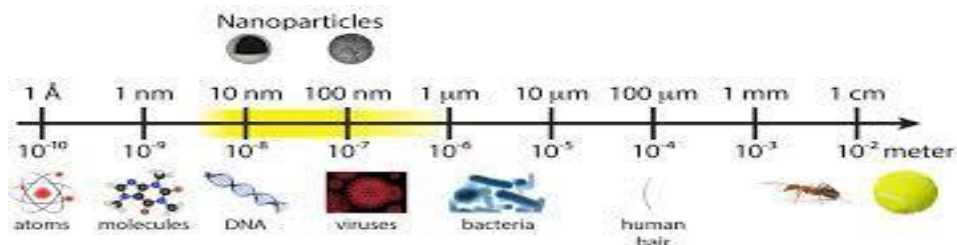
Εικόνα 10: Έξυπνα υφάσματα στον στρατό. (ΕΛΙΣΜΕ 20190221 Χρήστος Μαλτέζος «Η Νανοτεχνολογία σε προχωρημένα Οπλικά Συστήματα»)

2. ΕΞΥΠΝΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι αναγκαία για την καθημερινή μας ζωή και έχουν πολλαπλές ωφέλειες. Τα υφάσματα πλέον παρουσιάζουν βελτιωμένη αντοχή καθώς ο κλάδος της κλωστοϋφαντουργίας συσχετίζεται ολοένα και περισσότερο με την τεχνολογία με κύριο σκοπό την ικανοποίηση των αναγκών του καταναλωτή. Ωστόσο οι πρόσφατες εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών αποδεικνύουν την υπαρκτή συνθήκη για την ανάπτυξη έξυπνων υφασμάτων, ενσωματώνοντας την νανοτεχνολογία. Η νανοτεχνολογία είναι η επιστήμη που επικεντρώνεται στον χειρισμό της ύλης σε ατομική ή μοριακή κλίμακα των 1-100nm και αξιοποιείται για την κατασκευή μικροσκοπικών συσκευών. Η νανοτεχνολογία συνδράμει αποτελεσματικά στον κόσμο των υφασμάτων μέσω κατάλληλων μεθόδων.



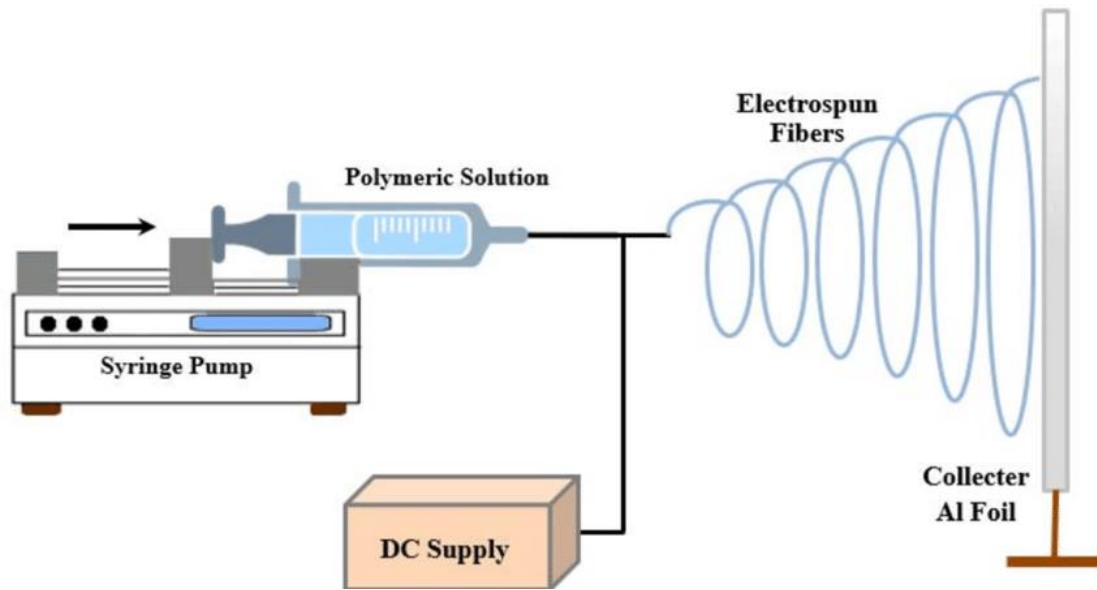
Εικόνα 11: Νανοτεχνολογία. (<http://www.tsiridesfoundation.com>)



Εικόνα 12 : Μοριακή κλίμακα και νανοσωματίδια.

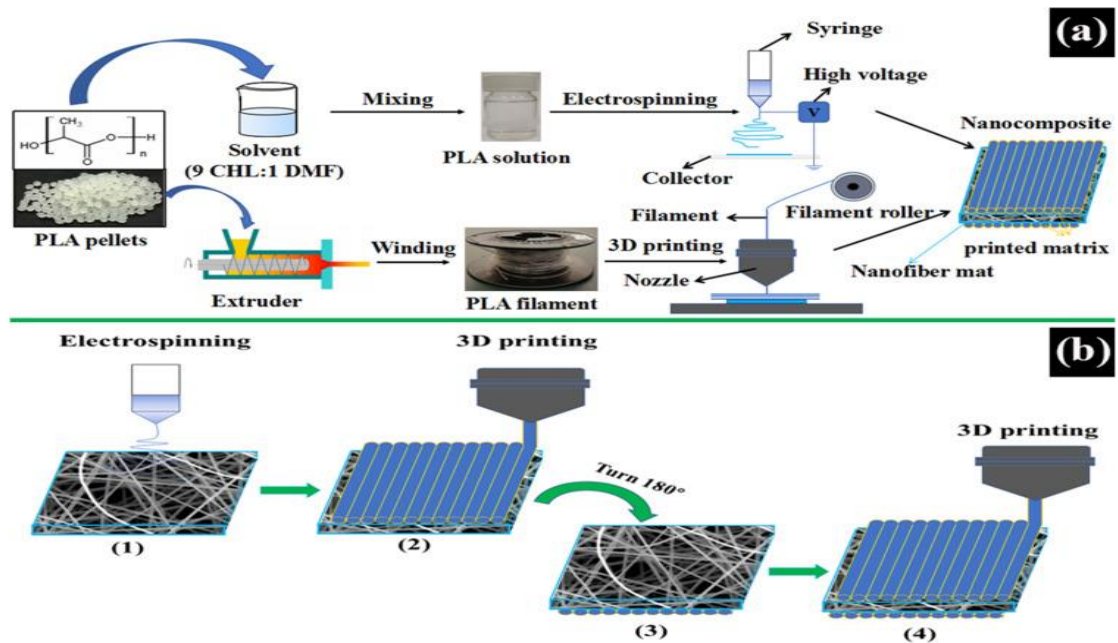
(ΕΛΙΣΜΕ 20190221 Χρήστος Μαλτέζος «Η Νανοτεχνολογία σε προχωρημένα Οπτικά Συστήματα»)

Μία από τις βασικές μεθόδους που τα νάνο-υλικά ενσωματώνονται με τα κλωστοϋφαντουργικά είναι η ηλεκτρονηματοποίηση, δηλαδή το λεγόμενο 'electrospinning' όπου κατά την διαδικασία της ινοποίησης ασκείται υψηλή τάση στο διάλυμα πολυμερούς με στόχο να παραχθεί ένας πίδακας και έπειτα να στερεοποιηθεί με το αποτέλεσμα την δημιουργία των ινών. Επιπλέον, παράλληλα με την τεχνολογική πρόοδο πρωταρχικό ρόλο παίζει και η νανοτεχνολογία στην κατασκευή ηλεκτρικών συστημάτων με μια ακόμη μέθοδος δημιουργίας έξυπνων ινών την 3d εκτύπωση ή την εκτύπωση με λείζερ.



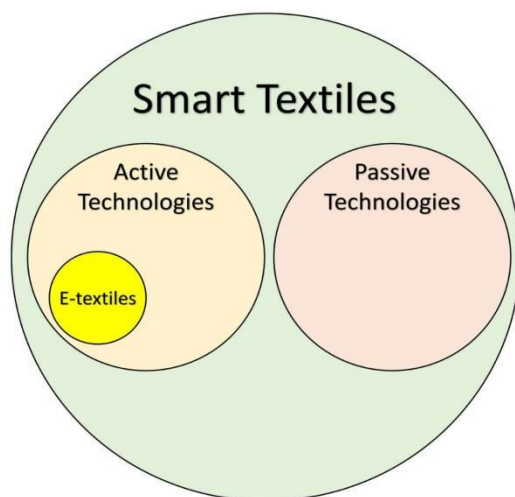
Εικόνα 13: Ηλεκτρονηματοποίηση.

(https://www.researchgate.net/publication/305662363_Highly_Hydrophilic_Electrospun_Polyacrylonitrile_Polyvinylpyrrolidone_Nanofibers_Incorporated_with_Gentamicin_as_Filter_Medium_for_Dam_Water_and_Wastewater_Treatment)



Εικόνα 14 Η δημιουργία πολυδιάστατων υλικών με νανοδομές που συνδέονται μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης, χρησιμοποιώντας τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης. (<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214860421001950-gr1.jpg>)

Αναφορικά τα βασικότερα νάνο υλικά όπου προσδίδουν διάφορες ιδιότητες στα έξυπνα υφάσματα είναι το Διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), το οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO), οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT), Τα νανოსωματίδια (GO) και διάφορα πολυμερή όπως η πολυπυρόλη και η πολυανιλίνη. Σύμφωνα με τις ιδιότητες του κάθε υφάσματος χωρίζονται σε 3 κατηγορίες σε παθητικά, σε ενεργά και σε πολύ έξυπνα υφάσματα. Γενικότερα μπορούν να παρακολουθούν τις αλλαγές στο περιβάλλον μέσω αισθητήρων και να αντιδρούν αντισταθμίζοντας διάφορους παραμέτρους δρώντας ως παθητικά ή ενεργά στοιχεία. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η παρουσία μονάδων ελέγχου, η διασύνδεση των ηλεκτρικών συστημάτων και η χρήση του διαδικτύου εκ των πραγμάτων καθιστά τα υφάσματα ακόμα πιο έξυπνα με περισσότερες δυνατότητες με την προϋπόθεση την διατήρηση των ιδιοτήτων τους. Εδώ εμπλέκεται και η νάνο τεχνολογία, καθώς επιτρέπει την προσθήκη νέων λειτουργιών στα υφάσματα με χρήση νάνο σωματιδίων με αποτέλεσμα τα υφάσματα να έχουν βελτιωμένες ιδιότητες όπως για παράδειγμα αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, να είναι μικροβιοκτόνα, να μην ερεθίζονται από το νερό, να καθιστούν δυνατή την συλλογή και αποθήκευση ενέργειας, να έχουν την ικανότητα αυτοκαθαρισμού.



Εικόνα 15: Ταξινόμηση των έξυπνων υφασμάτων.

(<https://etextilewearables.com/whats-the-difference-between-electronic-textiles-e-textiles-and-smart-textiles/>)

Τα έξυπνα νανοϋφάσματα έχουν αρκετές πολυσήμαντες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως ο στρατός, ο αθλητισμός, η ιατρική, η ψυχαγωγία, η φαρμακευτική και η μόδα. Στην ιατρική τα σύγχρονα αυτά υφάσματα συμβάλουν στην παρακολούθηση της υγείας των ασθενών σε πραγματικό

χρόνο, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο τους ειδικούς για την επίτευξη ποιοτικότερης απόδοσης. Επιπρόσθετα αυτά τα έξυπνα υλικά εμπλέκονται εύκολα και στο τομέα της υγιεινής κατά συνέπεια μπορούν να καταπολεμήσουν βακτήρια και ιούς για την αποτροπή εξάπλωσης των ιών. Στον στρατό παρέχεται ειδικός εξοπλισμός σχεδιασμένος με έξυπνα υφάσματα για την εξασφάλιση της ασφάλειας σε επικίνδυνα περιβάλλοντα. Στον αθλητισμό οι αθλητές μπορούν να κατέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιβλέποντας την επίδοσή τους. Τα ανώτερου επιπέδου έξυπνα υφάσματα όπως οι διαστημικές στολές σχεδιάζονται με προηγμένες τεχνολογίες βασισμένα στην τεχνητή νοημοσύνη και έχουν την τάση να προγραμματίζονται για συγκεκριμένες εφαρμογές και λειτουργίες, όπου σε αυτό το κομμάτι περιέχεται και το στοιχείο της πρόβλεψης καταστάσεων με σκοπό να μην ερεθίζονται από τις εξωτερικές συνθήκες.



*Εικόνα 16 : Ύφασμα από βαμβάκι με ενσωμάτωση διοξειδίου του τιτανίου.
(<https://www.asianscientist.com/tag/hubei-university/>)*



Εικόνα 17: Έξυπνη ένδυση στον αθλητισμό.

(<https://sporttomorrow.com/4-awesome-reasons-why-smart-textiles-improve-athlete-performance/>)



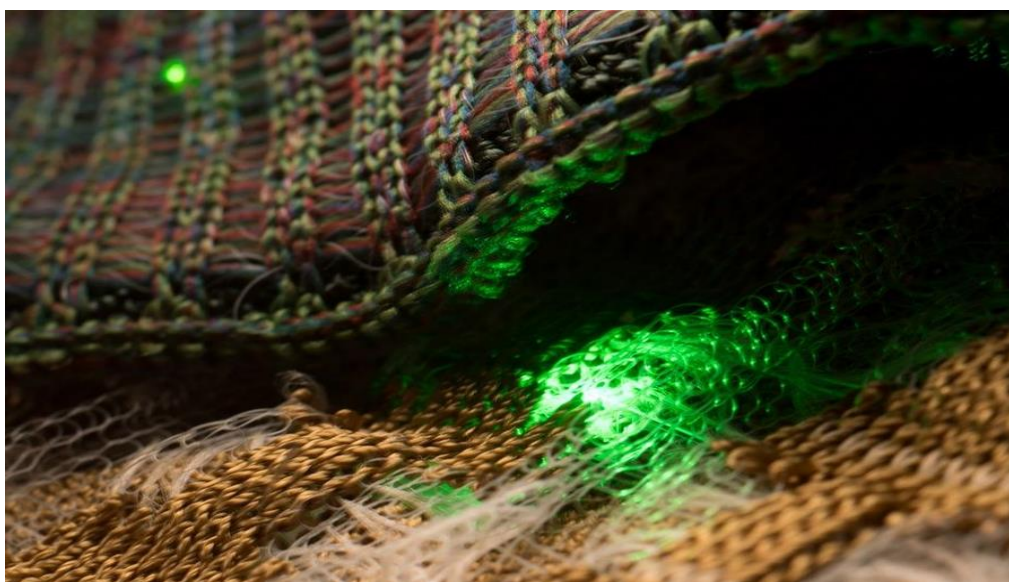
Εικόνα 18: Έξυπνα υφάσματα στην ιατρική.

(<https://www.semanticscholar.org/paper/A-single-chip-encrypted-wireless-12-lead-ECG-smart-Morrison-Silver/2904b170179989cebe80316f70fb32e5cc42f210>)

2.1 Ιδιότητες Έξυπνων Υφασμάτων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η χρήση της νανοτεχνολογίας στην εποχή που διανύουμε έχει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού και στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου, καθώς αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την ανάπτυξη των προηγμένων υφασμάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως για τις πολυσύνθετες λειτουργίες τους. Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως παρόλο που ο χώρος της επιστήμης είναι ανοιχτός και συνεχώς εξελίσσεται δεν αναιρεί το γεγονός ότι σε πολλές εφαρμογές παροδικά παρουσιάζονται βλάβες και προβλήματα στον χρήστη. Αν εξεταστεί το κομμάτι της ενσωμάτωσης ηλεκτρονικών συστημάτων σε προϊόντα ένδυσης είναι σαφές πως αποτελεί ένα πολύ λεπτό ζήτημα για την ικανοποίηση των αναγκών του καταναλωτή.

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου οι ηλεκτρονικές συσκευές είναι ευάλωτες από εξωτερικές διαταραχές με αποτέλεσμα να μην είναι αποδοτικές και μερικές φορές τελικά να καταστρέφονται. Επιπλέον η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών συστημάτων σε ενδύματα αυτομάτως προσδίδει μειωμένη άνεση στον καταναλωτή και δυσαρέσκεια. Έτσι η βελτίωση των αποδόσεων στο κλάδο των έξυπνων υφασμάτων είναι απαραίτητη για την εξυγίανση των συχνών των φαινομένων αυτών και για την επίτευξη της αυτονομίας των ενδυμάτων. Η χρήση των νάνο υλικών για την δημιουργία ινών και υφασμάτων γεννάει αρκετά ερωτήματα στον κόσμο καθώς πρέπει να αναλογιστεί κανείς και το πώς επιδρά η τοξικότητα τους στο περιβάλλον. Η εμβάθυνση στα κύρια χαρακτηριστικά και στις ιδιότητες των έξυπνων υφασμάτων θα διαλευκάνει την σημασία της χρησιμότητάς τους στις μέρες μας, καθώς η χρήση σε διάφορες εφαρμογές τους έχουν πάρει μεγάλες διαστάσεις.



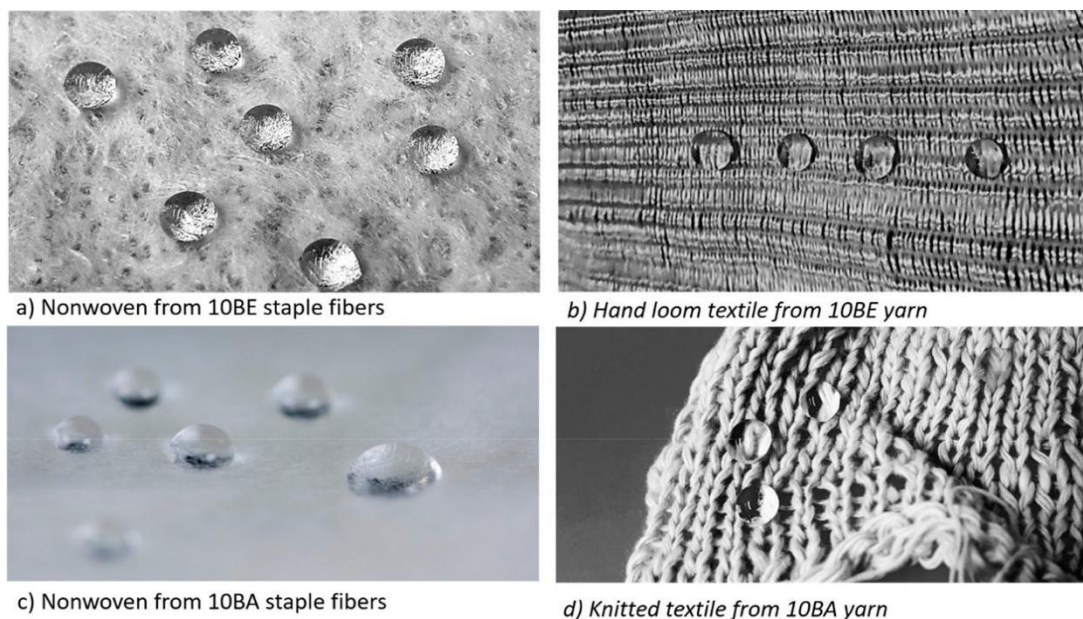
Εικόνα 19 Υφάσματα και ηλεκτρονικά συστήματα.

(<https://www.innovationintextiles.com/fabric-the-new-software/>)

2.2 Υδροφοβικότητα και ελαιοφοβικότητα υφασμάτων

Βασιζόμενοι στις ραγδαίες εξελίξεις στην σύγχρονη τεχνολογία του 21^{ου} αιώνα και τις μελέτες πάνω στην επιστήμη των υλικών ολοένα και εξάγουμε νέα συμπεράσματα για τις χρήσιμες ιδιότητες τους. Οι ίνες και τα υφάσματα έχουν καθοριστικό ρόλο στην καθημερινότητα μας καθώς είναι υπεύθυνα για ότι ρούχα φοράμε. Είναι αυτά τα υλικά που μας προστατεύουν από τις καιρικές συνθήκες, την υγρασία και τους λεκέδες. Είναι ζωτικής σημασίας λοιπόν πριν διευρύνουμε περαιτέρω στις ιδιότητες των έξυπνων υφασμάτων να αναφερθούμε στις πιο βασικές που έχουν να κάνουν με την υδροφοβικότητα και την ελαιοφοβικότητα που παρουσιάζουν τα διάφορα υφάσματα. Καταρχάς, είναι εξίσου σημαντικό να διευκρινίσουμε τους όρους που αναφέραμε ξεκινώντας από την υδροφοβικότητα η αλλιώς υδροφοβία όπου είναι η ιδιότητα που καθιστά τα υφάσματα ανθεκτικά στο νερό. Με πιο απλά λόγια είναι η ιδιότητα που έχει κάποιο αδιάβροχο ύφασμα το οποίο κατά την παραγωγή επεξεργάζεται χημικά ή χρησιμοποιούνται ειδικές στρώσεις με σκοπό τον εμποτισμό της διείδυσης του νερού μέσα στο ύφασμα.

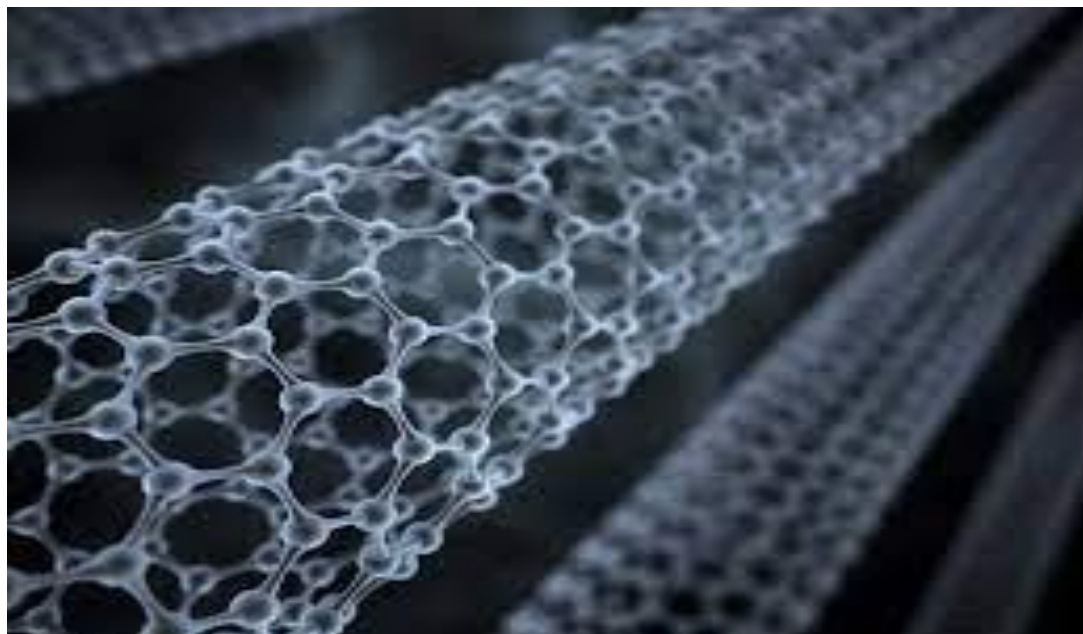
Από την άλλη μεριά η ελαιοφοβία είναι το αντίθετο της υδροφοβίας και αναφέρεται στην ιδιότητα ενός υλικού που απωθεί το λάδι. Ένα ελαιοφοβικό κλωστοϋφαντουργικό προϊόν θα αντιστέκεται στην απορρόφηση ελαίων και θα είναι εύκολο να καθαριστεί και να συντηρηθεί σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν έλαια και λίπη. Αυτή η ιδιότητα είναι επωφελής σε εφαρμογές όπως τα ρούχα εργασίας και τα υφάσματα κουζίνας όπου η αντοχή στους λεκέδες από λάδι είναι σημαντική. Η παραγωγή ελαιοφοβικών υφασμάτων συνήθως περιλαμβάνει την εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων που απωθούν τα έλαια και τα εμποδίζουν να διαπεράσουν το ύφασμα.



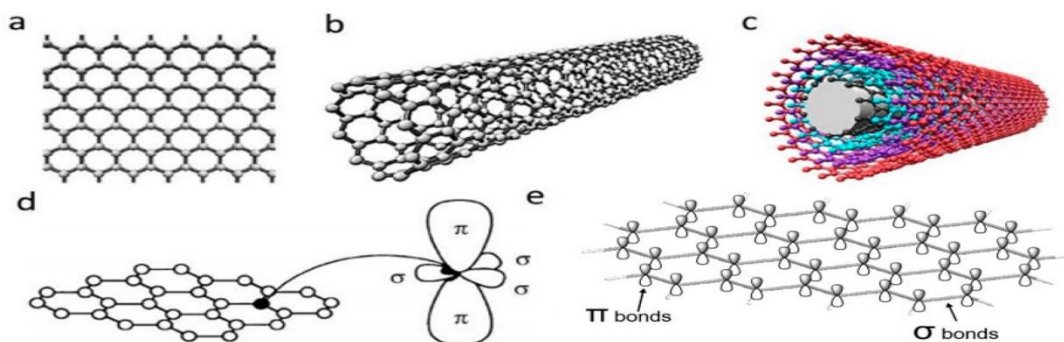
Εικόνα 20: Υδρόφοβα υφάσματα.

(<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acssuschemeng.1c00695>)

Για την ενσωμάτωση αυτών των ιδιοτήτων οι επιστήμονες παραδειγματίστηκαν από την φύση όπως για παράδειγμα η αξιοποίηση της χιτοζάνης με σκοπό την δημιουργία επιφανειών με υδροφοβική δράση. Η χιτοζάνη προέρχεται από το πολυμερές χιτίνη που βρίσκεται στο κέλυφος των αρθροπόδων . Αξιοποιώντας τις φυσικές ιδιότητες της μαζί με επεξεργασία ενώσεων σιλικόνης ,οι επιστήμονες δημιουργούν επιστρώσεις σε βαμβακερά και πολυεστερικά υφάσματα με αποτέλεσμα να μην περνάει εύκολα το νερό. Ένας άλλος τρόπος δημιουργίας υδροφοβικών επιφανειών χρησιμοποιώντας νανοσωλήνες άνθρακα CNTs .Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι κυλινδρικά μόρια που σχηματίζουν εξαγωνική διάταξη υβριδισμένων ατόμων άνθρακα και η υδροφοβία προκύπτει από τις επιφανειακές ιδιότητες των νανομορίων.



Εικόνα 21 Νανοσωλήνες άνθρακα. (<https://www.healthweb.gr/>)

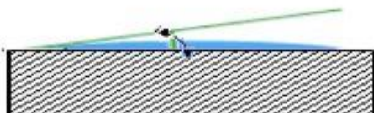


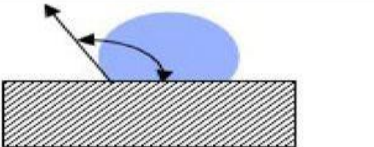
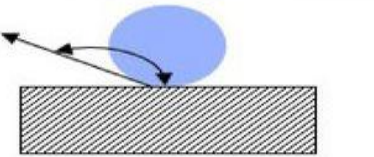


Εικόνα 22 Δομή και διάταξη. (<https://www.mdpi.com/2073-4360/12/12/2946>)

Βασικό παράγοντα για την επίτευξη υδροφοβίας αποτελεί η γωνία επαφής. Η γωνία επαφής είναι η γωνία που σχηματίζεται στο σημείο επαφής μεταξύ δύο καταστάσεων της ύλης, αν η γωνία ενός υγρού είναι μικρή το υγρό θα εξαπλωθεί περισσότερο στην επιφάνεια. Τα νανοσωματίδια SiO₂ συνδυαστικά με το πολυμερές PGMA (πόλυ-γλυκιδύλιο) δρουν αποτελεσματικά βελτιώνοντας την υδροφοβία και την ελαιοφοβία του υφάσματος. Η γωνία επαφής του νερού με την επιφάνεια του υφάσματος αυξάνεται και φτάνει στις 155 μοίρες, με αποτέλεσμα το νερό θα σχηματίζει μικρότερες σταγόνες που θα κυλούν εύκολα από την επιφάνεια.

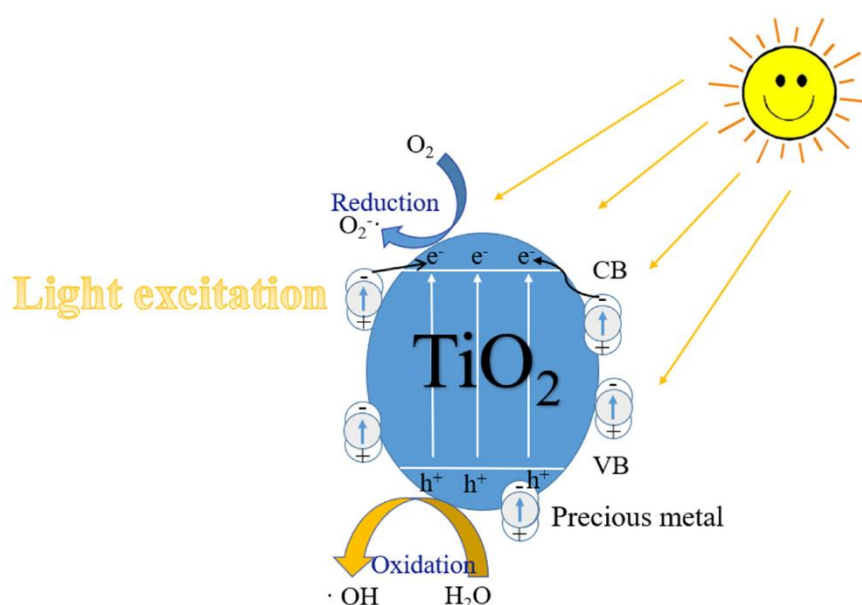
2.3 Αυτοκαθαριζόμενα υφάσματα

Μια νέα ιδιότητα που παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια στη χρήση νάνο υλικών σε υφάσματα είναι τα λεγόμενα αυτοκαθαριζόμενα υφάσματα. Η έννοια του αυτοκαθαρισμού στα υφάσματα είναι μια καινοτόμος εξέλιξη στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας και αναφέρεται σε υφάσματα που μπορούν να καθαρίζονται μόνα τους χωρίς την ανάγκη πλυσίματος ή άλλων χημικών

| Γωνία Επαφής | | | |
|---------------------------------------|---|--------------------------|---|
| Τιμές θ | Περιγραφή της συμπεριφοράς της σταγόνας | Χαρακτηρισμός επιφάνειας | Σχήμα |
| $\theta < 10^\circ$ | Η σταγόνα απλώνεται και βρέχει ένα πολύ μεγάλο μέρος της επιφάνειας | Σούπερ υδρόφιλη |  |
| $10^\circ \leq \theta < 90^\circ$ | Η σταγόνα | Υδρόφιλη |  |
| Εικόνα 23 Μεταβολή της γωνίας επαφής. | | | |
| | μέρος της επιφάνειας | |  |
| $90^\circ \leq \theta < 150^\circ$ | Η σταγόνα σχηματίζει ημισφαιρικό σχήμα | Υδρόφοβη |  |
| $\theta \geq 150^\circ$ | Η σταγόνα σχηματίζει σφαιρικό σχήμα. Ένα πολύ μικρό ποσοστό της επιφάνειας της σταγόνας έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια | Σούπερ υδρόφοβη |  |

επεξεργασιών. Το γεγονός αυτό προσφέρει εξοικονόμηση στο πλύσιμο χάρη στις νανοδομημένες επιφάνειες που δημιουργούνται με την εφαρμογή

νανοσωματίδιων αξιοποιώντας τις χαρακτηριστικές ιδιότητες τους και κυρίως της υδροφοβία που προαναφέραμε. Τα νανοσωματίδια δρώντας πάνω στην επιφάνεια του υφάσματος μπορούν και μειώνουν την επαφή του υφάσματος μεταξύ των υπολειμμάτων απομακρύνοντάς τα. Είναι κατανοητό πως τα έξυπνα υφάσματα προσδίδουν πολλά οφέλη στον άνθρωπο. Τα κυρίαρχα οφέλη είναι ότι διατηρείται το ύφασμα καθαρό, άρα και αξιόπιστο οδηγώντας σε μείωση του κόστους. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της ιδιότητας αυτοκαθαρισμού παρατηρείται κατά την χρήση φωτοκαταλυτικής ένωσης TiO_2 (Το Διοξείδιο του Τιτανίου) όπου με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας μπορεί να απομακρύνει λεκέδες καταστρέφοντας τις ακαθαρσίες. Επίσης μελέτες έχουν εξαγάγει βελτιωμένα αποτελέσματα στην ιδιότητα του αυτοκαθαρισμού χωρίς να επηρεάσει άλλες σημαντικές ιδιότητες, συγκεκριμένα με συνδυασμό της διαλδεΐδη πολυσακχαρίτη (DAPS), την αντιδραστήρια ρητίνη (DMDHEU), καθώς και νανοσωματίδια αργύρου (Ag) ή τιτανίου (TiO_2).



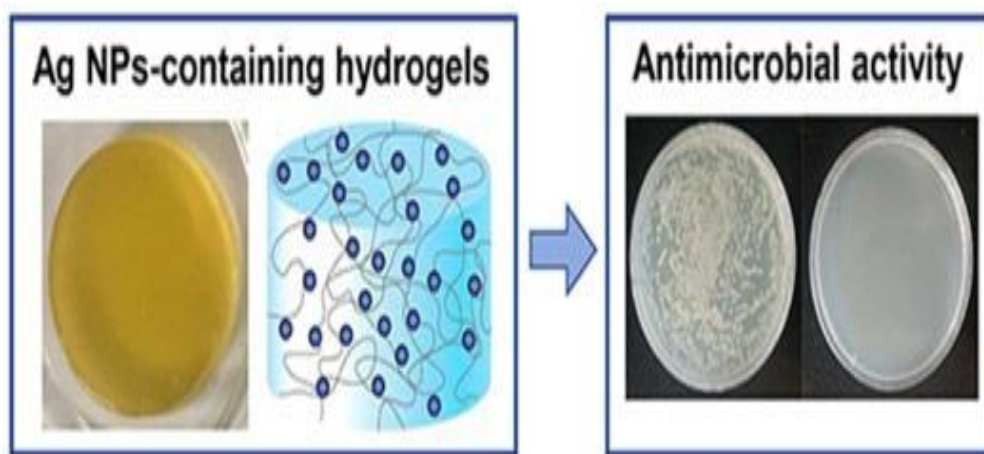
Εικόνα 24: Αυτοκαθαρισμός υφάσματος λόγω του διοξειδίου του τιτανίου.

(<https://www.mdpi.com/2073-4344/10/7/804>)

2.4 Αντιβακτηριακα Υφασματα

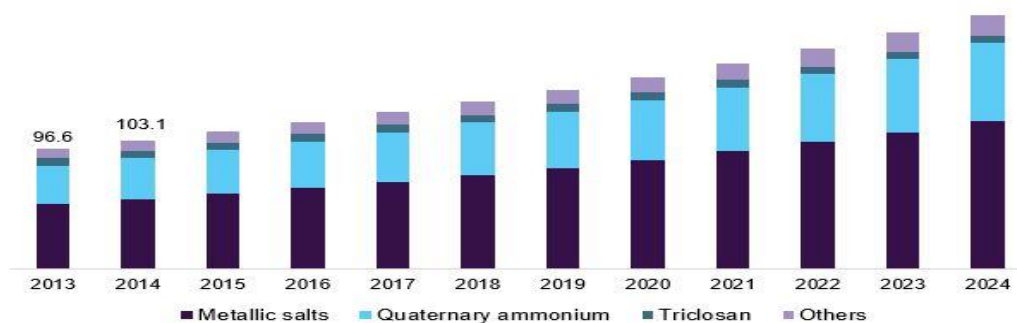
Είναι ευρέως γνωστό από την αρχαιότητα πως οι άνθρωποι έχουν προκληθεί διαχρονικά από δεκάδες ιώσεις και βακτήρια. Για την αντιμετώπιση των σοβαρών αυτών ασθενειών εκτός από την επιστήμη της ιατρικής και της φαρμακευτικής βοήθησε και η κλωστούφαντουργία, αναπτύσσοντας προστατευτικά μέσα με σημαντικές ιδιότητες για την ανθρώπινη υγεία. Λόγω των νοσημάτων αυτών δημιουργήθηκαν τα αντιβακτηριακά ή αντιμικροβιακά υφάσματα με νάνο-υλικά, τα οποία σχηματίζονται με διάφορους μεθόδους όπως η ηλεκτροϊόντιση και η νάνοκαθίζηση. Ένα από τα πιο συνήθεις και

γνωστά νανοϋλικά που επωφελήθηκε ο κλάδος της επιστήμης είναι τα νανοσωματίδια αργύρου (Ag NPs), τα οποία έχουν εξαιρετικές αντιμικροβιακές δράσεις και μπορούν να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα τα νανοσωματίδια του αργύρου λόγω της μεγάλης επιφάνειας τους μπορούν να αλληλοεπιδρούν με τις βακτηριάζεις πρωτεΐνες με αποτέλεσμα την εξασφάλιση της αντιμικροβιακής δράσης. Οι επιστήμονες αξιοποίησαν την μέθοδο της ηχοχημείας δηλαδή υπέρηχους για την επιτάχυνση διαφόρων χημικών αντιδράσεων, ώστε να παρασκευάσουν νανοσωματίδια βαμβακιού με επικάλυψη αργύρου. Με βάση την μέθοδο αυτή τα νανοσωματίδια αργύρου παρουσίασαν υψηλή αντιμικροβιακή δράση καθώς διανεμήθηκαν ομοιόμορφα στην επιφάνεια των υφασμάτων.



Εικόνα 25 Αντιβακτηριακή δράση νανοσωματιδίων αργύρου.

U.S. antimicrobial medical textiles market size, by finishing agent, 2013 - 2024 (USD Million)



Εικόνα 26: Αγορά αντιβακτηριακών προϊόντων στην ιατρική τα τελευταία χρόνια. (<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/antimicrobial-medical-textiles-market>)

Επίσης νανοσωματίδια SiO_2 με πρόσμιξη Ag σε μορφολογία “Core-corona” (η περιφέρεια του νανοσωματιδίου αποτελείται από SiO_2) αποδείχτηκαν ότι έχουν αντιβακτηριακή ικανότητα και μπορούν να διατηρήσουν την αποτελεσματικότητά τους με την πάροδο του χρόνου. Χάρη στη φόρτιση τους με αντιβακτηριακές ενώσεις όπως άλατα τεταρτοταγούς αμμωνίου καθιστούν βελτιώσεις σε εφαρμογές της υγιεινής και των αντιβακτηριακών ιδιοτήτων σε υφάσματα. Άλλες ενώσεις νανοσωματιδίων που συνδράμουν στην αντιμικροβιακή δράση είναι τα νανοσωματίδια TiO_2 (Το Διοξείδιο του Τιτανίου). Αυτά τα σωματίδια μπορούν να παράγουν ενεργά στοιχεία οξυγόνου (ROS), όπως το υπεροξείδιο και την υδροξυλομάδα με σκοπό την αλληλεπίδραση τους με την κυτταρική μεμβράνη των βακτηρίων οδηγώντας τα σε εξολόθρευση. Ένα επιπλέον πολυσήμαντο χαρακτηριστικό των αντιδραστικών ειδών του οξυγόνου (ROS) είναι ότι προσδίδει αυτοκαθαριστικές ιδιότητες στο ύφασμα. Το γεγονός ότι τα σωματίδια TiO_2 μπορούν να απομακρύνουν μικροοργανισμούς ενισχύεται με πρόσθεση αργύρου Ag, χρυσού Au, SiO_2 (διοξείδιο του πυριτίου) και ZnO (οξείδιο του ψευδαργύρου).

Επιπλέον τα σωματίδια TiO_2 συμβάλλουν και σε άλλες εφαρμογές όπως τον συνδυασμό με ενώσεις $\text{C}_{26}\text{H}_{58}\text{NO}_3\text{SiCl}$ (σιλάνια) που περιέχουν σιλκόνη. Τα σιλάνια μπορούν να προσδώσουν υδροφοβικές ιδιότητες στο βαμβάκι, μειώνοντας την απορρόφηση του νερού και των υγρών. Ταυτόχρονα, το TiO_2 έχει αντιλιπαρές ιδιότητες, με την ικανότητα να απωθεί τα λιπαρά. Άλλος ένας τύπος που δρα ως αντιμικροβιακή λύση είναι τα νανοσωματίδια ZnO (οξείδιο του ψευδαργύρου) όπου συμπεριφέρονται όπως τα TiO_2 . Κατά την ενσωμάτωση των σωματιδίων ZnO σε υφάσματα από βαμβάκι οι ερευνητές εξήγαγαν αξιόπιστα αποτελέσματα για αντιμικροβιακή δράση, καθώς από τα συμπεράσματα των μελετών δεν έλειψαν και οι σημαντικές μηχανικές ιδιότητες που παρουσιάστηκαν στα υφάσματα.

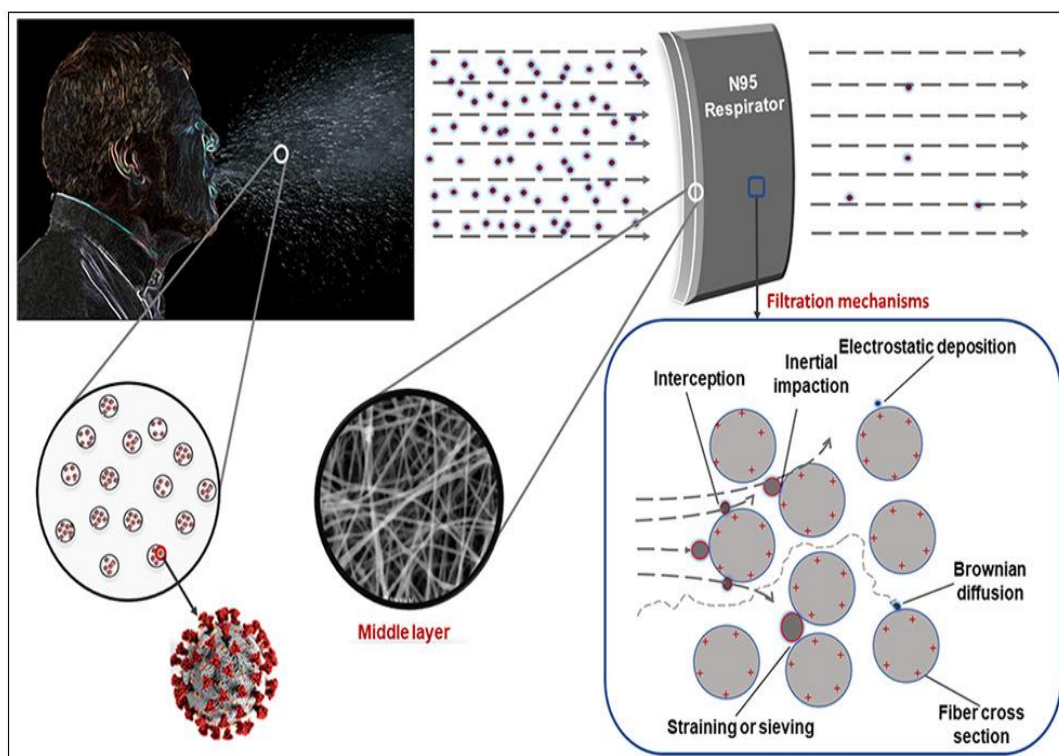
Ακόμα, έρευνες έδειξαν πως τα νανοσωματίδια ZnO που παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς δηλαδή, τα λεγόμενα βιοσυνθεμένα νανοσωματίδια

ZnO μπορούν και αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων με την ενσωμάτωση τους στα προϊόντα της κλωστοϋφαντουργίας. Πειραματικά οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τον μύκητα 'Aspergillus terreus' αντιδρώντας με άλας ψευδαργύρου ώστε να εξάγουν τις ζωτικής σημασίας αντιμικροβιακές ιδιότητες των παραγόμενων σωματιδίων ZnO.

Εφαρμογές των έξυπνων υφασμάτων από βαμβάκι

| ΝΑΝΟ ΥΛΙΚΑ | ΑΝΤΙΒΑΚΤΗΡΙΑΚΟ | ΑΥΤΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ | ΥΔΡΟ ΦΟΒΗΚΟΤΗΤΑ | ΕΛΑΙΟ ΦΟΒΗΚΟΤΗΤΑ |
|---|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Νάνο σωματίδια ZnO με βαμβάκι | ΝΑΙ | ΝΑΙ | ΟΧΙ | ΟΧΙ |
| Νάνο σωματίδια TiO2 με βαμβάκι | ΝΑΙ | ΝΑΙ | ΟΧΙ | ΟΧΙ |
| Νάνο σωματίδια SiO2 με βαμβάκι | ΟΧΙ | ΟΧΙ | ΝΑΙ | ΝΑΙ |
| Νάνο σωματίδια Ag με βαμβάκι | ΝΑΙ | ΟΧΙ | ΟΧΙ | ΟΧΙ |

Καθώς οι εφαρμογές των σωματιδίων αυτών είναι πάρα πολλές είναι σημαντικό να μην παραλείψουμε την σύνθεσή τους με το γαλλικό οξύ. Το γαλλικό οξύ ανήκει στην κατηγορία των φαινολικών οξέων έχοντας πλούσιες αντιμικροβιακές ιδιότητες και χρησιμοποιείται συχνά για την αντιμετώπιση μικροβιακών λοιμώξεων. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο υλικό μαζί με τα νανοσωματίδια ZnO για την προστασία στα ιατρικά υφάσματα. Όπως προαναφέραμε τα έξυπνα υφάσματα επωφελούνται καθημερινά στο τομέα της ιατρικής ως προστατευτικά μέσα με σκοπό την καταπολέμηση της μετάδοσης των ασθενειών και των βακτηρίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι και ο COVID-19 που συγκλόνισε την ανθρωπότητα με εκατομμύρια θανάτους όπου ακόμα οι άνθρωποι δοκιμάζονται λόγω της ταχύτητας των μεταδιδόμενων βακτηρίων του ιού, του ιικού φορτίου και των μεταλλάξεων του. Οι προηγμένες μάσκες προσώπου που χρησιμοποιούν νανοϋλικά αποτελούν κρίσιμη λύση λόγω της εμφάνισης του COVID-19. Ερευνητές ανά τον κόσμο έχουν αναπτύξει διάφορες προηγμένες τεχνολογίες για αντιμικροβιακές μάσκες προσώπου και προστατευτικό εξοπλισμό προσώπου, τα οποία μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορα μικρόβια, συμπεριλαμβανομένου του SARS-CoV-2.

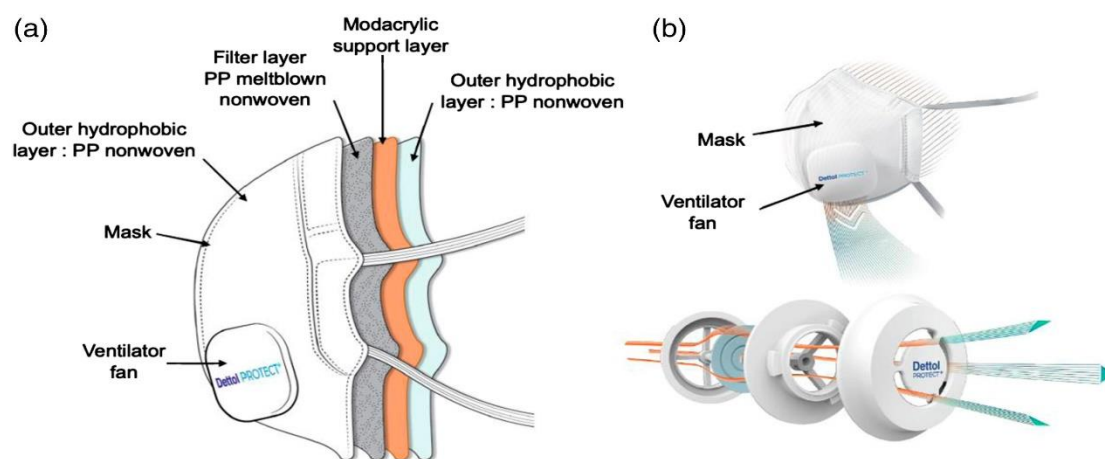


Εικόνα 27: Μάσκα τύπου N95 κατά SARS-CoV-2.

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.chas.1c00016>

Οι προτεινόμενες μέθοδοι περιλαμβάνουν τη χρήση νανοϋλικών και αντιβακτηριακών βιοαισθητήρων που ενσωματώνονται σε υφάσματα μάσκας ή προστατευτικού εξοπλισμού προσώπου. Ειδικότερα, μεταλλικά νανοσωματίδια όπως αργίλιο (Ag), χαλκός (Cu), διοξείδιο του τιτανίου (TiO₂) και άλλα, αποτελούν εναλλακτικές λύσεις στις συμβατικές μεθόδους απολύμανσης όπως χλωρίδια, αμίνες, και υπεροξειδία. Οι μάσκες προσώπου που αναπτύχθηκαν περιλαμβάνουν πολλαπλά στρώματα με εναλλακτικά υδρόφιλα και υδρόφοβα υλικά. Το υδρόφοβο στρώμα απωθεί τα ατμοσφαιρικά σωματίδια του νερού και εμποδίζει την εισροή του στο υδρόφιλο στρώμα. Εκεί, το υδρόφιλο στρώμα αναστέλλει την κίνηση του υγρού που προσπαθεί να απορροφηθεί. Αυτός ο σχεδιασμός προσφέρει αποτελεσματική προστασία κατά της διάδοσης του ιού μέσω της αναπνοής και του βήχα.

Παράλληλα, πραγματοποιούνται ενδιαφέρουσες μελέτες για την ανάπτυξη νανοπορώδους και εύκαμπτου προτύπου που βασίζεται στο πυρίτιο (Si), το οποίο έχει τη δυνατότητα να αποτρέψει τη διέλευση μικροοργανισμών μέχρι το μέγεθος των 5 νανομέτρων. Το νανοπορώδες πρότυπο έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί ως φίλτρο στις μάσκες που προστατεύει από τις μικροβιακές μολύνσεις. Μια νέα αντιβακτηριακή θεραπεία υφασμάτων εξετάζεται με τη χρήση νανοσωματιδίων βορίου, τα οποία επεξεργάζονται και μετατρέπονται σε μορφή σκόνης και απειονίζονται δηλαδή γίνεται η απελευθέρωση των ιόντων βορίου όταν έρχονται σε επαφή με νερό (H₂O). Ωστόσο χρησιμοποιούνται ως υλικό επίστρωσης σε διάφορα υφάσματα για την αντιμετώπιση της βακτηριακής ανάπτυξης με αποτέλεσμα να αποτελούν αντιμικροβιακή επιλογή για αρκετά είδη βακτηρίων. Η χρήση νανοσωματιδίων βορίου στα υφάσματα είναι μια ελπιδοφόρα προσέγγιση για την αντιμετώπιση της μικροβιακής μόλυνσης και της διάδοσης μικροβίων, βελτιώνοντας έτσι την υγιεινή και την ασφάλεια σε διάφορους τομείς, όπως η ιατρική, η κατασκευή ρούχων και άλλες εφαρμογές που αφορούν τον περιβάλλον μας.



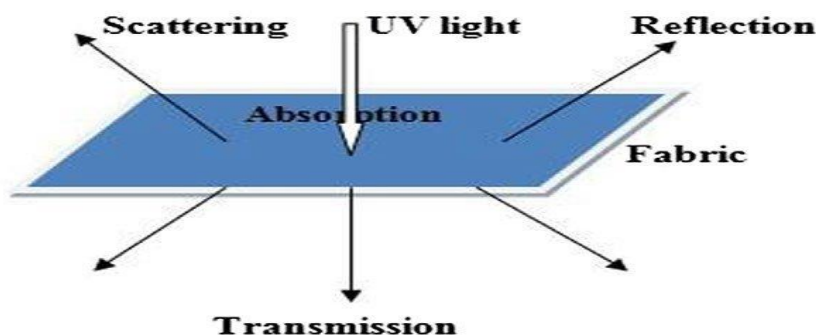
Εικόνα 28: Πολυστρωματική μάσκα κατά τον covid 19.

[\(https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8883169/\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8883169/)

2.5 Υφάσματα ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία

Είναι σαφές πως η ακτινοβολία του ήλιου επηρεάζει την υγεία του ανθρώπου κυρίως στις ηλιόλουστες χώρες ,καθώς η υπερβολική έκθεση στον ήλιο βλάπτει το δέρμα και κάποιες φορές προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις. Η υπεριώδη ακτινοβολία UVA και UVB προτρέπει να εισβάλει στα ρούχα που φοράμε καθημερινά και εν συνέχεια να διαπεράσει στο δέρμα μας. Ωστόσο τα έξυπνα υφάσματα αποτελούμενα από νάνο-υλικά συνδράμουν στο να εμποδίζουν την ακτινοβολία να διαπερνά και να ενισχύουν την θωράκιση του υφάσματος κατά την διοχέτευση ακτινοβολίας.

Ο δείκτης προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία λέγεται παράγοντας προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία (UPF) και μετράει την αποτελεσματικότητα της προστασία του υφάσματος από την ακτινοβολία. Τέτοια νάνο υλικά είναι τα νανοσωματίδια ZnO(οξειδίο του ψευδαργύρου) τα οποία δημιουργούν στρώσεις στην επιφάνεια του υφάσματος με σκοπό ανάπτυξης προστατευτικών στρωμάτων έναντι της ακτινοβολίας. Τα νανοσωματίδια ZnO έχουν εφαρμοστεί σε βαμβακερά και πολυεστερικά υφάσματα ως στρώμα απορρόφησης UV ακτινοβολίας. Συνεπώς με τον ίδιο σκοπό δρουν και τα νανοσωματίδια TiO₂ (Το Διοξειδίο του Τιτανίου) όπου συνήθως χρησιμοποιούνται για επίστρωση στο βαμβάκι. Γενικά αυτά τα σωματίδια ZnO και TiO₂ μπορούν να σκορπίσουν την υπεριώδη ακτινοβολία χωρίς να την απορροφήσουν πλήρως ,αλληλοεπιδρώντας με τις ακτίνες της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα της δημιουργίας του στρώματος σκέδασης και για αποτελεσματική προστασία χρειάζονται σωματίδια μεγέθους περίπου 20-40 nm .Ωστόσο ,οι ιδιότητες αυτών των νανοσωματιδίων διατηρούνται σταθερές σε υψηλές θερμοκρασίες ακόμα και μετά από πολλές πλύσεις των υφασμάτων. Επιπλέον μελέτες έδειξαν θετικά αποτελέσματα για την απορρόφηση των ακτινών UV στο συνδυασμό νανοσωματιδίων MnO₂-FeTiO₃ με θερμοπλαστικά βαμβακερά υφάσματα πολυουρεθάνης.



Εικόνα 29: Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

https://www.researchgate.net/publication/311901390_Developing_UV_protection_of_cotton_fabric_a_review/figures?lo=1

2.6 Αντιστατικές ιδιότητες στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα

Όταν ένα ύφασμα έρχεται σε επαφή με άλλες επιφάνειες και προκαλείται τριβή παρουσιάζεται στατικός ηλεκτρισμός, πράγμα που έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Καθώς με την βοήθεια του ηλεκτρισμού κολλούν μικροοργανισμοί ή σκόνη στο ύφασμα με αποτέλεσμα σε εκείνους που έχουν αναπνευστικά προβλήματα να αποτελεί ζήτημα. Η χρήση συγκεκριμένων σωματιδίων σε νάνο-κλίμακα φέρει αντιστατικές ιδιότητες στο ύφασμα έχοντας έτσι την ικανότητα αποτροπής σχηματισμού ηλεκτρικών φορτίων στην επιφάνεια. Πιο συνηθισμένα το νάιλον και ο πολυεστέρας απαιτούν χρήση νάνο-υλικών για την αντιμετώπιση των στατικών φορτίων. Τέτοια υλικά είναι τα νανοσωματίδια TiO_2 (Το Διοξείδιο του Τιτανίου), τα whiskers ZnO σε μορφή λεπτών νημάτων και τα νανοσωματίδια SnO_2 (Το Διοξείδιο του κασσιτέρου). Αυτά τα υλικά είναι ηλεκτρικά αγωγά και κατά συνέπεια μπορούν να αποτρέψουν την συσσώρευση φορτίων στο συνθετικό ύφασμα. Επιπλέον υπάρχουν διάφορες ενώσεις όπου προσδίδουν αντιστατικές ιδιότητες κατά την δράση τους στα υφάσματα. Για παράδειγμα υλικά ικανά για την αντιμετώπιση των στατικών φορτίων είναι νάνο-διαλύματα με κύριο συστατικό τα σιλάνια δηλαδή ενώσεις του πυριτίου και υδρογόνου. Τα νάνο διαλύματα αυτά μπορούν να απορροφούν την υγρασία από τον αέρα μέσω των επιφανειακών υδροξυλομάδων που υπάρχουν στη δομή τους, επιτρέποντας τα να δρουν ως αντιστατικές επιφάνειες.

Άλλη μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των αντιστατικών ιδιοτήτων είναι η επικάλυψη "sol-gel". Αυτές οι επικαλύψεις έχουν την τάση να απωθούν το νερό με αποτέλεσμα την δόμηση μιας υδρόφοβης επιφάνειας και έτσι αποτρέπεται η συσσώρευση του στατικού ηλεκτρισμού στην επιφάνεια του υλικού. Επιπλέον τα σιλάνια με συνδυασμό αλκοξειδίων δημιουργούν ενώσεις ικανές να κατανέμουν το ηλεκτρικό φορτίο σε όλο το υλικό αποτρέποντας την συσσώρευση των φορτίων σε σημεία της επιφάνειας του

υφάσματος.Στις συνθετικές ίνες πολυακρυλονιτριλίου (PAN) κατά τον συνδυασμό διοξειδίου του κασσιτέρου SnO₂ με το Sb (αντιμόνιο) διαπιστώθηκε ότι δημιουργούνται αγώγιμα κανάλια διαχύοντας το στατικό φορτίο στο περιβάλλον. Η μελέτη των αντιστατικών ιδιοτήτων στα υφάσματα είναι υψηλής σημασίας καθώς ο στατικός ηλεκτρισμός επηρεάζει την λειτουργία διάφορων ηλεκτρονικών συστημάτων όπου πλέον ενσωματώνονται στα υφάσματα.

2.7 Ηλεκτρικά αγώγιμα υφάσματα

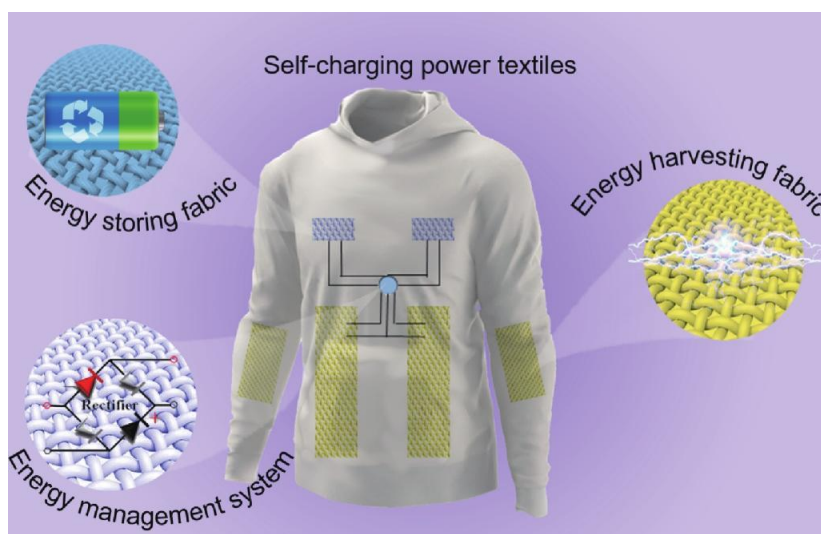
Η ζήτηση για νέες εφαρμογές και έξυπνες λύσεις με σκοπό την ποιοτικότερη ζωή δεν έλειψε τα τελευταία χρόνια. Καθώς πολλοί τομείς συνδυάστηκαν με την πληροφορική, το ίδιο γίνεται και με την κλωστοϋφαντουργία. Η αξιοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι πλέον καθημερινότητα καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται ταχύτατα. Με την χρήση του IOT (INTERNET OF THINGS) και των κυβερνοφυσικών συστημάτων όλα μπορούν και λειτουργούν έξυπνα και κάποιες φορές και αυτόνομα. Η ενσωμάτωση αισθητήρων και στοιχείων δράσης στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα αποτελεί την κύρια πρόκληση στους επιστήμονες για την ανάπτυξη έξυπνων υλικών. Η αγωγιμότητα στα υφάσματα παίζει τον κύριο ρόλο ως προς την λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων που ενσωματώνονται εσωτερικά στο ύφασμα. Έχει διαπιστωθεί πως η αξιοποίηση των αγώγιμων πολυμερών καλύπτει πολλές εφαρμογές στην κλωστοϋφαντουργία. Ειδικότερα, αυξάνεται η αγωγιμότητα των πολυμερών αυτών με την μείωση της ειδικής τους αντίστασης και αυτό επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό νάνο-υλικών. Τα σημαντικότερα πολυμερή που συμμετέχουν σε διάφορες εφαρμογές ενισχύοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα στα υφάσματα είναι η πολυπυρρόλη (PPy) και η πολυανιλίνη (PANI). Κατά την επεξεργασία της επιφάνειας των πολυμερών με αγώγιμα νανοσωματίδια παρατηρούνται βελτιώσεις στις διάφορες ιδιότητες του υλικού αλλά κυρίως υψηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τέτοιες περιπτώσεις ενίσχυσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας συναντάμε στο συνδυασμό νανοσωματιδίων SiO₂ με ίνες πολυιμιδοαμιδίου (PAMAM) και στην ενσωμάτωση νανοσωματιδίων σε ίνες πολυακρυλονιτριλίου (PAN).

Με την αξιοποίηση των νάνο-ινών αναπτύσσονται ηλεκτρικά προσβάσιμοι αγωγοί διαμέσου των ινών του πολυμερούς διευκολύνοντας την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Στα βαμβακερά υφάσματα έχει παρατηρηθεί βελτιωμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα με συνδυασμό νάνο-σωλήνων άνθρακα και πολυηλεκτρολυτών καθώς και τα δύο είδη υλικών αποτελούν αγώγιμα υλικά. Παράλληλα η προσθήκη στρώσης γραφένιου στις κλωστοϋφαντουργικές ίνες προσδίδει πληθώρα πλεονεκτημάτων και πέρα από τις μηχανικές ιδιότητες αποτελεί και μια λύση για την ενίσχυση της αγωγιμότητας. Κατά την ενσωμάτωση του γραφένιου τα οξέα από τα οξείδια του γραφένιου αφαιρούνται και το γραφένιο διαλύεται στο νερό. Συνεπώς το ύφασμα βυθίζεται

απορροφώντας το γραφένιο και στην συνέχεια στεγνώνει υπό κατάλληλες συνθήκες για να ενσωματωθεί το γραφένιο στην επιφάνεια του υφάσματος. Έρευνες έδειξαν ότι νάνο-σωλήνες άνθρακα ενσωματωμένοι σε πάστα νερού δημιουργούν ειδικές στρώσεις για τα υφάσματα ενισχυμένων ιδιοτήτων. Οι νάνο σωλήνες άνθρακα κατανέμονται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του υλικού με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επίσης με την αξιοποίηση διάφορων νάνο-υλικών μπορούν να δημιουργηθούν φιλμ όπου μπορούν να επικαλυφθούν στα υφάσματα αναπτύσσοντας βελτιωμένες ιδιότητες.

2.8 Αποθήκευση ενέργειας από κλωστούφαντουργικά προϊόντα

Η ενέργεια στις μέρες μας αποτελεί κρίσιμο ρόλο για τις ζωές των ανθρώπων καθώς καθημερινά σε πολλές χώρες στον πλανήτη αξιοποιούνται πολλές πηγές ενέργειας για την θέρμανση, ψύξη, κίνηση και πολλές άλλες εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί σε νέες λύσεις για την χρησιμότητα των πηγών ενέργειας με κύριο σκοπό την απόδοση και την αναζήτηση πηγών ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Με την ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών έχουν ερευνηθεί πρωτοποριακές σχετικά λύσεις για την αποθήκευση ενέργειας στα κλωστούφαντουργικά προϊόντα καθώς δεν έλειψαν τα αρκετά πλεονεκτήματα κατά την χρησιμότητα των έξυπνων αυτών υλικών. Ο συνδυασμός του τομέα της κλωστούφαντουργίας και της ενέργειας αναπτύσσει ένα ενιαίο σύστημα που εξυπηρετεί τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου βελτιώνοντας την καθημερινότητα των χρηστών. Η προσφορά αυτή των νέων τεχνολογιών δεν είναι αμοιβαία μόνο για τον κόσμο αλλά αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αειφόρα ανάπτυξη και το περιβάλλον. Οι Έξυπνες ίνες με την ενσωμάτωση της αποθήκης ενεργειών διαμορφώνονται στο ύφασμα καταλλήλως με αποτέλεσμα την έξυπνη ένδυση και πολλές άλλες καινοτόμες εφαρμογές.



Εικόνα 30: Αποθήκευση ενέργειας μέσω έξυπνων υφασμάτων.

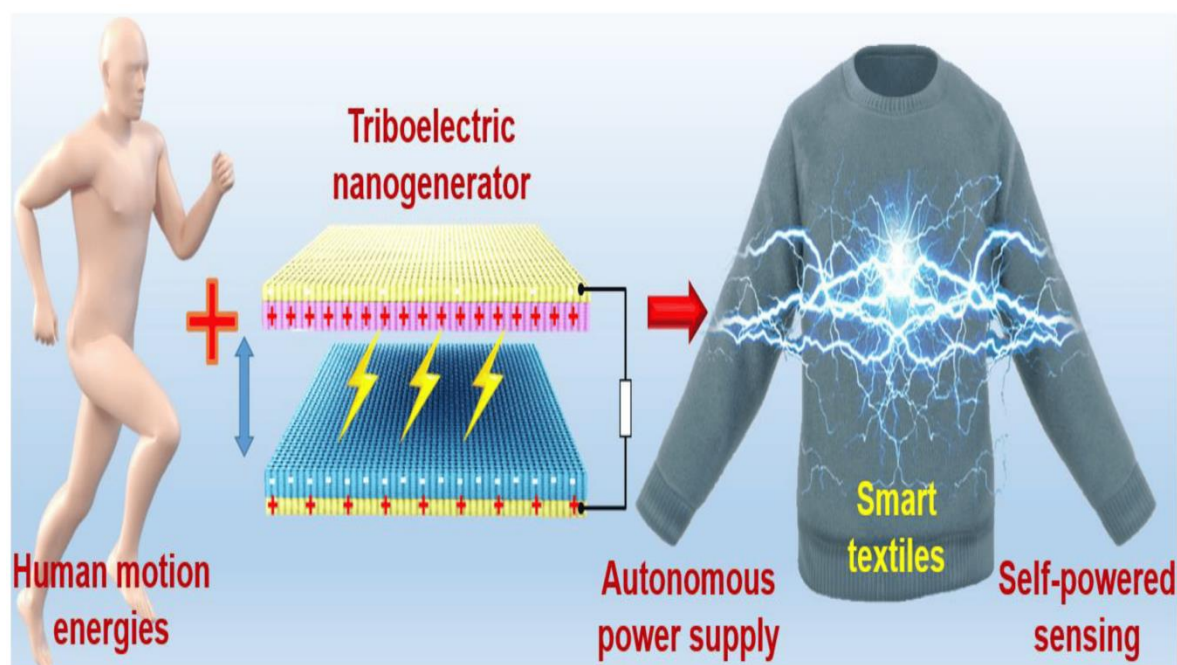
<https://m.researching.cn/articles/OJa91d8676810a5c52/figureandtable>

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω στα αγώγιμα πολυμερή και την χρήση τους για την ενίσχυση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις ίνες θα επισημάνθουν ξανά. Ηλεκτρονικές συσκευές όπως ηλεκτροχημικοί πυκνωτές είναι ευρέως χρήσιμοι στην αποθήκευση ενέργειας από κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα καθώς παρέχουν γρήγορη ικανότητα φόρτισης και αποφόρτισης. Με την ενσωμάτωση αγώγιμων πολυμερών όπως το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA) και την πολυαιθυλενογλυκόλη (PEG) σε συνδυασμό με ενεργό άνθρακα επιτυγχάνεται η δημιουργία ηλεκτροδίων και η ηλεκτρική απόδοση των πυκνωτών καθώς, τα αγώγιμα πολυμερή διευκολύνουν την ροή του ρεύματος εσωτερικά του υφάσματος για την φόρτιση και αποφόρτιση του πυκνωτή. Στις ίνες πολυεστέρα παίζει σημαντικό ρόλο η χρησιμότητα της μεταξοτυπίας η οποία είναι μια μέθοδος τοποθέτησης των ηλεκτροδίων του ηλεκτροχημικού πυκνωτή στο ύφασμα. Με βάση την μέθοδο της μεταξοτυπίας είναι δυνατόν η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων με ακρίβεια έχοντας ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά ώστε ο ιδιαίτερος αυτός πυκνωτής να είναι πλήρως αποδοτικός με ισορροπημένη εκφόρτιση και αποφόρτιση ενέργειας. Με την χρήση του υπερπυκνωτή οδηγούμαστε στην ανάπτυξη καινοτόμων πρακτικών εφαρμογών όπως για παράδειγμα την τροφοδοσία φορητών συσκευών στα ενδύματα αλλά και για τα ευφυή υφάσματα τα οποία υπόσχονται νέες εφαρμογές ως προς την αυτονομία των έξυπνων ρούχων.

Ακόμα, μελετητές πάνω στις εφαρμογές των υπερπυκνωτών έχουν επωφεληθεί την δυνατότητα δημιουργίας πυκνωτών σε μορφή σύρματος μέσω αεροπηκτώματος. Το αεροπήκτωμα ή αλλιώς (aerogel) είναι ένα ελαφρύ υλικό που δημιουργήθηκε πάνω σε μεταλλικό σύρμα τιτανίου και αποτελείται από νάνο-ίνες πολυακρυλονιτρίλης (polyacrylonitrile) με γλυκερίνη οι οποίες δημιουργούνται με την μέθοδο της ηλεκτροκλώσης. Η αερογέλη αξιοποιείται ως καλούπι για την διαμόρφωση του σχήματος του υπερπυκνωτή και στην συνέχεια αφαιρούνται οι όγκοι αέριων αφήνοντας πίσω τα ηλεκτρόδια του πυκνωτή με μεγάλη επιφάνεια αποθήκευσης ενέργειας. Άλλοι συνδυασμοί βασισμένοι στο τιτάνιο και στο πόλυ (3,4-αιθυλενοδιοξυθειοφένιο) (PEDOT) εμφάνισαν εξαιρετική απόδοση ικανή για την ενσωμάτωσή τους σε φορητές συσκευές.

Μια άλλη έρευνα διαπίστωσε δυνατή την δημιουργία ηλεκτροχημικών πυκνωτών με νάνο-σωλήνες άνθρακα και πολυανιλίνη (PANI) έχοντας θετικά αποτελέσματα ως προς την αποθήκη ενέργειας. Με ειδική στρώση ηλεκτρολύτη τα ιόντα μπορούν εύκολα να κινηθούν μεταξύ των ηλεκτροδίων και έτσι επιτυγχάνεται η φόρτιση- αποφόρτιση του υπερπυκνωτή. Επιπλέον οι επιστήμονες επωφελούνται τους γραμμικούς υπερπυκνωτές οι οποίοι δημιουργούνται από νήματα νάνο-σωλήνων άνθρακα με συνδυασμό

μεταλλικών συρμάτων και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται η ενσωμάτωση ηλεκτρονικών σε ενδύματα. Έκτος από τους πυκνωτές υπάρχουν και άλλες ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ενέργειας στα υφάσματα. Μία εξίσου σημαντική τεχνολογία είναι οι τρίβο-ηλεκτρικές νανογεννήτριες (TENG) όπου έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν ηλεκτρική ενέργεια από την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας δηλαδή τριβή ή πίεση. Η δομή της συσκευής αποτελείται από ένα εύκαμπτο πολυμερές σε νανοκλίμακα το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS). Η νάνο-δομή του πολυδιμεθυλοσιλοξάνιου επικαλύπτει νανοράβδους του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) με αποτέλεσμα η νάνο γεννήτρια να παράγει υψηλότερες τάσεις. Τέτοιες συσκευές βρίσκουν εφαρμογή σε φορητές συσκευές φορτίζοντας υπερπυκνωτές ή ακόμα τροφοδοτώντας και ασύρματους αισθητήρες.



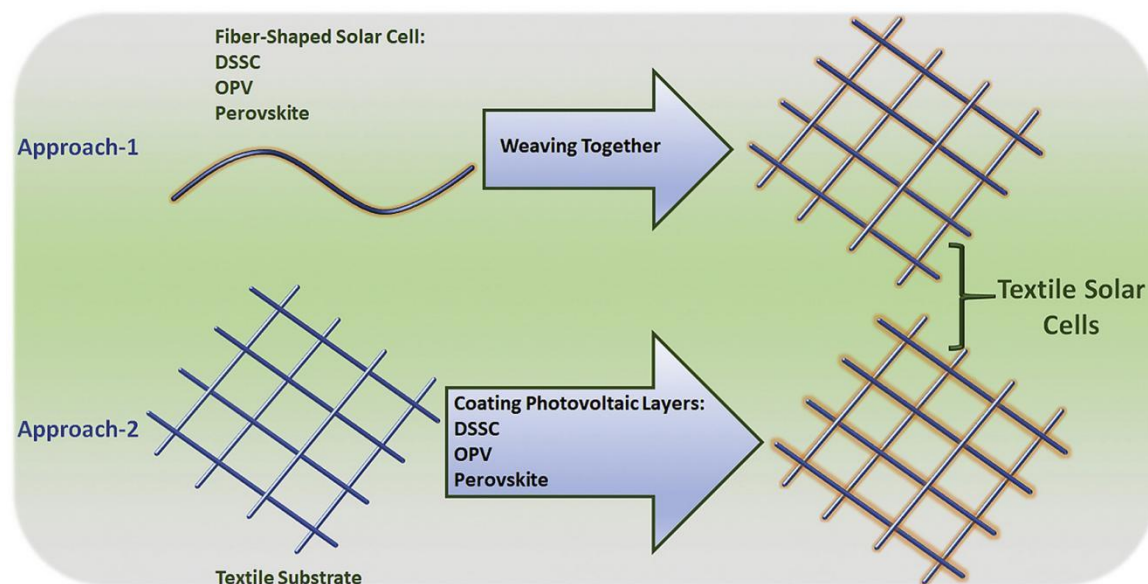
Εικόνα 31 :τρίβο-ηλεκτρικές νανογεννήτριες (TENG).

<https://www.mdpi.com/2673-706X/2/1/6>

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες (TEG) όπου με βάση το φαινόμενο του (seebeck) οι γεννήτριες αυτές παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από το ανθρώπινο σώμα λόγω της διαφοράς θερμοκρασιών του ανθρώπινου οργανισμού και του περιβάλλοντος. Ωστόσο ο συνδυασμός των νάνο-συρμάτων ZnO με τις ενσωματωμένες νάνο γεννήτριες στο ύφασμα και με το αντιστατικό φιλμ προσφέρει πιεζοηλεκτρικές ιδιότητες παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια υπό μηχανική παραμόρφωση. Έτσι η χρήση νάνο-συρμάτων ZnO με αντιστατικό φιλμ καθιστά δυνατή την τροφοδοσία των

οθονών υγρών κρυστάλλων (LCD) και των οργανικών διόδων εκπομπής φωτός (OLED). Στα έξυπνα βαμβακερά υφάσματα έχει παρατηρηθεί πως η ενσωμάτωση νάνο-σωματιδίων χρυσού (Au) με πολυ(3,4-αιθυλενοδιοξυθειοφαίνιο) (PEDOT) προσδίδει ενδιαφέρουσες ιδιότητες ηλεκτρικής αγωγιμότητας συλλέγοντας ηλιακή ενέργεια από το περιβάλλον με βάση τα νάνο σωματίδια του χρυσού. Αυτή η προσέγγιση υπόσχεται πληθώρα εφαρμογών όπως τα φωτοβολταϊκά ενδύματα και παράλληλα την τροφοδοσία των ενσωματωμένων ηλεκτρικών συστημάτων.

Η σημαντικότερη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια και είναι εμφανές το πόσο κρίσιμο ρόλο παίζει στην ανάπτυξη των έξυπνων υφασμάτων αποθηκεύοντας ενέργεια. Καθώς η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται είναι δυνατή η τροφοδοσία διάφορων ηλεκτρικών συσκευών στο ύφασμα. Οι επιστήμονες δημιούργησαν εύκαμπτο υφάσμα από πολυεστέρα με την ενσωμάτωση νανο-φωτοκαταλυτών δηλαδή υλικών που επιταχύνουν χημικές αντιδράσεις αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Με το γεγονός αυτό επιτεύχθηκε η μετατροπή οξικού οξέος σε ηλιακό καύσιμο με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας. Όπως γνωρίζουμε τα φωτοβολταϊκά συστήματα αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια μέσω ηλιακών κυψελών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως για να ενσωματωθούν στα υφάσματα απαιτείται να έχουν επίπεδο σχήμα και να είναι αρκετά λεπτά. Έτσι αναπτύχθηκαν τα ηλιακά κύτταρα PSSC (Planar-Shaped Solar Cells) όπου αποτελούν πρόκληση στους ερευνητές για την βελτίωση τους.

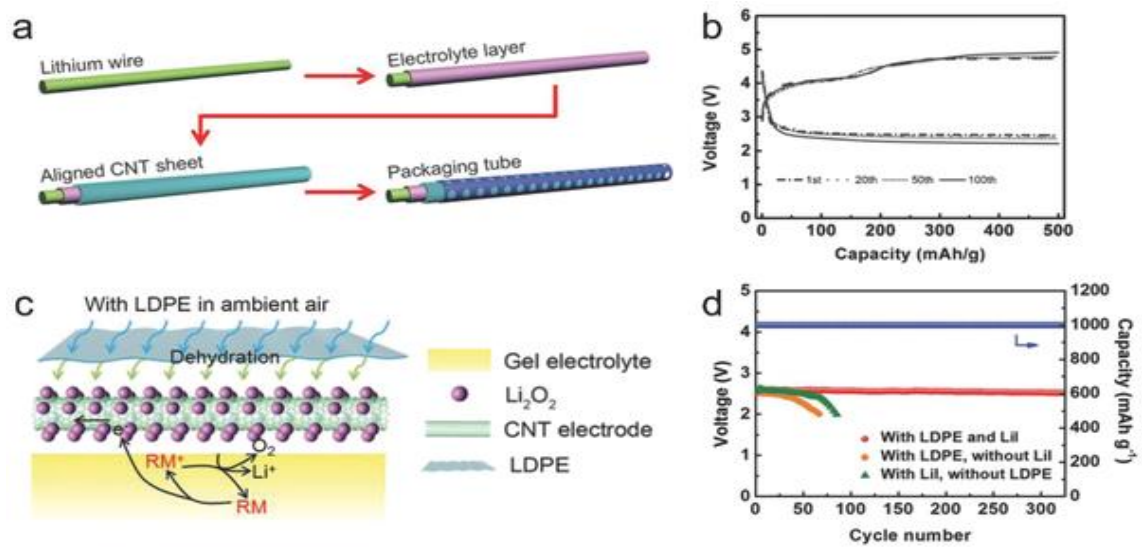


Εικόνα 32: (Planar-Shaped Solar Cells).

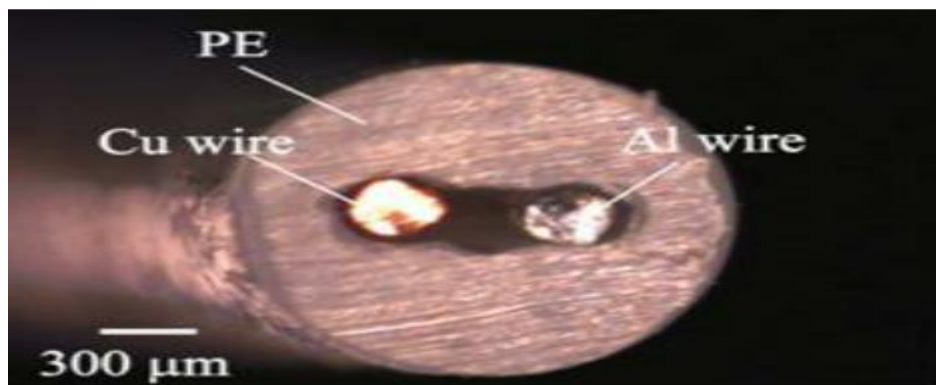
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285520301671>)

Όσο από την αξιοποίηση των ηλεκτρικών συστημάτων δεν έλειψαν οι εύκαμπτες μπαταρίες ινών όπου εξίσου και αυτές συνδράμουν για την ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών. Τέτοιες μπαταρίες είναι οι εύκαμπτες μπαταρίες ινών ιόντων λιθίου (LIB) κατά τις οποίες είναι δυνατή η ενσωμάτωση τους σε υφάσματα με κύριο στόχο την αποθήκευση ενέργειας. Καθώς οι

Μπαταρίες ινών μπορούν να τοποθετηθούν εύκολα στο εσωτερικό των υφασμάτων είναι ικανές για την τροφοδότηση LED και άλλων μικρών συσκευών. Ένας συνήθης τύπος μπαταρίας ινών ενσωματώνεται σε υφάσματα από την ανθεκτική ίνα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE) καθώς η ίνα αυτή έχει εξαιρετικές ιδιότητες. Στα υφάσματα αυτά η μπαταρία ινών κατασκευάζεται μέσω ανόργανων υλικών όπου σύρματα αλουμινίου και χαλκού παίζουν το ρόλο των ηλεκτροδίων. Για την επίτευξη της οξειδοαναγωγής με αποτέλεσμα την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται η χρήση κατάλληλου ηλεκτρολύτη όπως για παράδειγμα το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl).



Εικόνα 33: Δομή ίνας πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). (https://www.researchgate.net/publication/328634831_The_Recent_Advance_in_Fiber_Shaped_Energy_Storage_Devices/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic)

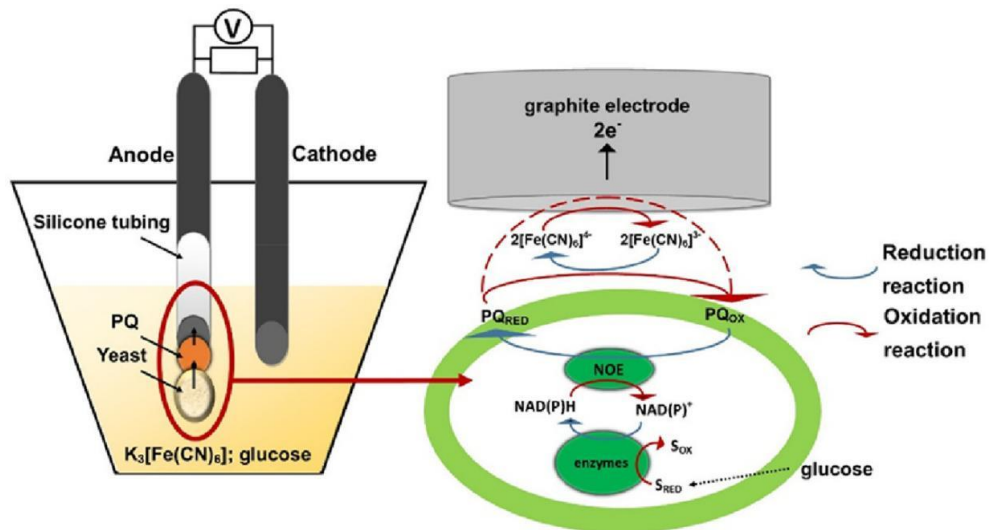


Εικόνα 34 :Τα σύρματα αλουμινίου και χαλκού διαμέσου της ίνας (LDPE).

(https://www.researchgate.net/publication/234060294_Flexible_fiber_batteries_for_applications_in_smart_textiles)

Άλλες εξίσου ηλεκτρονικές συσκευές όπου παρουσίασαν αξιόπιστα αποτελέσματα κατά την ενσωμάτωση τους στα υφάσματα είναι οι ημιαγωγικοί δίοδοι Schottky. Οι συγκεκριμένοι δίοδοι δημιουργούνται με χρήση φωτοευαίσθητου υλικού και είναι ικανοί για τον περιορισμό των υψηλών τάσεων στα ηλεκτρονικά συστήματα των υφασμάτων. Καθώς οι απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής για νέες τεχνολογίες που αποδίδουν με την λιγότερη κατανάλωση ενέργειας έχουν κορυφωθεί, είναι εξίσου σημαντικό να αναφερθούμε στην συμβολή της εμβιομηχανικής ενέργειας στα έξυπνα υφάσματα. Επωφελούμενοι τις κινήσεις του ανθρώπινου σώματος, την ροή του αίματος, την αναπνοή και πολλά άλλα, μπορούμε να επιτύχουμε τη συλλογή ενέργειας. Η επίδραση του Πιεζοηλεκτρικού φαινομένου και της τριβής στα υφάσματα οδηγεί πιο αποτελεσματικά στην συλλογή ενέργειας από την εμβιομηχανική.

Εξίσου ενδιαφέροντες εφαρμογές των έξυπνων υφασμάτων αποτελεί η βιοχημική ενέργεια όπου οι χημικές αντιδράσεις μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βιοχημική ενέργεια προέρχεται συνήθως από τον ιδρώτα, τα δάκρυα και άλλες βιολογικές διεργασίες. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αποθηκευτεί σε μοριακές δομές όπως η γλυκόζη, η οποία δρα ως βιολογικό καύσιμο στην κυψέλη βιοκαυσίμων BFC. Η χρήση της κυψέλης βιοκαυσίμων καθιστά δυνατή την συλλογή ηλεκτρικής ενέργειας από βιολογικά καύσιμα και κατά συνέπεια να τροφοδοτούνται οι ενσωματωμένες ηλεκτρικές συσκευές των υφασμάτων. Ουσιαστικά στην άνοδο της κυψέλης γίνεται η οξειδωση της γλυκόζης με χρήση βιοκαταλυτών, όπου κατά την αντίδραση παράγονται ηλεκτρόνια και κυκλοφορούν προς την κάθοδο για την αναγωγή. Συνήθως χρησιμοποιούνται ένζυμα ως καταλύτες όπου αυξάνουν την ταχύτητα της αντίδρασης ενώ η αξιοποίηση βακτηρίων από το περιβάλλον ως βιοκαταλύτες οδηγεί στην βιωσιμότητα και στη προστασία του περιβάλλοντος.



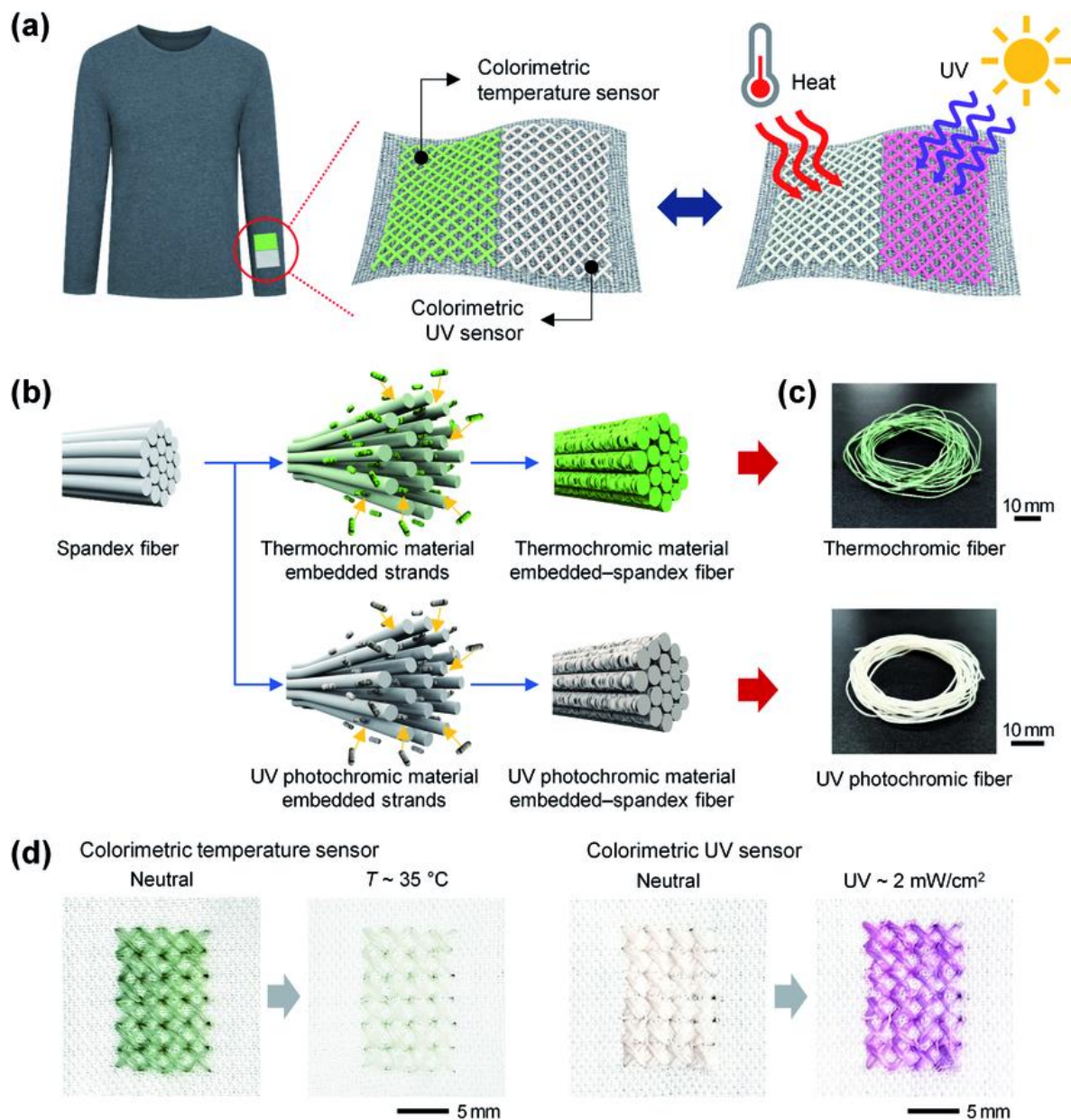
Εικόνα 35: Η οξειδοαναγωγική αντίδραση.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468621002085>)

2.9 Φωτονική ενέργεια

Όσον αφορά τα έξυπνα υφάσματα δεν πρέπει να παραλείψουμε την προσέγγιση της επιστημονικής κοινότητας στην φωτονική ενέργεια και το πώς συνδέεται με τα υφάσματα. Με την εξέλιξη της επιστήμης οι ερευνητές βασισμένοι στην αξιοποίηση της φωτονικής τεχνολογίας ονόμασαν τα υφάσματα φωτονικά τα όποια έχουν ενδιαφέρουσες ιδιότητες ,καθώς με την έκθεση στο φως διαμορφώνονται νέες ιδιότητες των υφασμάτων υποσχόμενες για την ανάπτυξη προηγμένων εφαρμογών. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για την ανάπτυξη φωτονικών υφασμάτων με κύριο στόχο την αισθητική και την αυτονομία. Ένας τρόπος κατασκευής των έξυπνων φωτονικών υφασμάτων είναι η επίστρωση οπτικού φιλμ στις ίνες του ,όπου κατά την έκθεση στο φως υπό διαφορετικές γωνίες έχουμε ως αποτέλεσμα το ύφασμα να "αλλάζει" το χρώμα πράγμα που καθιστά την ενδυμασία ενισχυμένης αισθητικής. Ένας άλλος τρόπος είναι η χρήση οπτικών ινών όπου αποτελούνται από μικροδιατρήσεις (μικρές οπές)ώστε το φως να διαρρέει από τον πυρήνα στο εξωτερικό περίβλημα της οπτικής ίνας. Με αυτόν τον σχεδιασμό διατίθεται η δυνατότητα του φωτισμού μέσω των μικροδιατρήσεων με αποτέλεσμα τα υφάσματα να είναι φωτιζόμενα. Επιπλέον υπάρχει και ο σχεδιασμός των φωτονικών υφασμάτων με μακροκάμψη της ίνας όπου σε αυτήν την περίπτωση η γωνία που διαδίδεται το φως μέσα στον πυρήνα της ίνας δεν αντανακλά στα τοιχώματα της και διαρρέεται εξωτερικά της. Τέτοια υλικά που με βάση το φως μπορούν να αλλάζουν το χρώμα στο ύφασμα λέγονται φωτοχρωμικά υλικά και η αλλαγή του χρώματος οφείλεται στις μεταβολές στην πυκνότητα των ηλεκτρονίων.

Επίσης υπάρχουν τα θερμοχρωματικά υλικά τα οποία με τις μεταβολές στις θερμοκρασίες του περιβάλλοντος μπορούν και αλλάζουν το χρώμα του υφάσματος με αποτέλεσμα να ενισχύεται η οπτική των ρούχων. Ένα γνώριμο παράδειγμα χρήσης θερμοχρωματικών ινών είναι η ενσωμάτωση τους σε στολές πυροσβεστών. Αυτό καθιστά τις στολές προστατευόμενες από περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας αφού τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη θερμότητα ενώ τα ανοιχτά την αντανακλούν. Επίσης τα υλικά εκείνα όπου μπορούν να αλλάξουν το χρώμα τους υπό ηλεκτρική τάση λέγονται ηλεκτροχρωμικά. Επιπρόσθετα άλλοι τύποι τέτοιων υφασμάτων είναι αυτά που αλλάζουν το χρώμα τους με βάση το pH καθώς υπάρχουν και τα μηχανοχρωμικά υφάσματα όπου μεταβάλλουν το χρώμα τους ανάλογα την πίεση. Πέρα από την αισθητική η φωτεινή ενέργεια συμβάλει και σε άλλες εφαρμογές όπως η ανίχνευση διάφορων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Με την συμβολή των νανοϊνών είναι δυνατή η οπτική ένδειξη των μεταβολών στο περιβάλλον. Καθώς τα χρώματα των υφασμάτων αλλάζουν, μπορούν να δείξουν τις αλλαγές της υγρασίας και της θερμοκρασίας ανιχνεύοντας έτσι οπτικά τις περιβαλλοντικές μεταβολές.



Εικόνα 36: Δομή φωτοχρωμικών και θερμοχρωμικών υλικών.

(https://www.researchgate.net/publication/362597276_Washable_and_stretchable_fiber_with_heat_and_ultraviolet_color_conversion/figures?lo=1)

Άλλος ένας τρόπος αξιοποίησης της φωτεινής ενέργειας είναι η ενσωμάτωση οπτικών οθονών στα υφάσματα καθώς με αυτό τον τρόπο το ύφασμα καθίσταται ένα διαδραστικό προϊόν. Για την δημιουργία των οπτικών οθονών οι ερευνητές ενσωμάτωσαν σε ύφασμα δύο διαστάσεων τις οπτικές ίνες όπου κάθε ίνα συνδέθηκε με διαφορετική πηγή φωτός με σκοπό την μετάδοση του στην επιφάνεια του υφάσματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να δημιουργηθούν διάφορα μοτίβα φωτός με αποτέλεσμα να μπορούν οι οπτικές ίνες να προβάλουν εικόνες ή μηνύματα. Ακόμα είναι σημαντικό να

αναφέρουμε πως η ενσωμάτωση οπτικών ινών στα υφάσματα υπόσχεται νέες εφαρμογές όπου καθιστά γρήγορη και αξιόπιστη τη μεταφορά δεδομένων εσωτερικά του υφάσματος προς άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Για παράδειγμα ενσωματώνοντας οπτικές ίνες στο ύφασμα μπορεί να λειτουργεί ως σύστημα επικοινωνίας όπου οι αισθητήρες μπορούν εύκολα να λαμβάνουν και να μεταφέρουν σήματα ήχου.

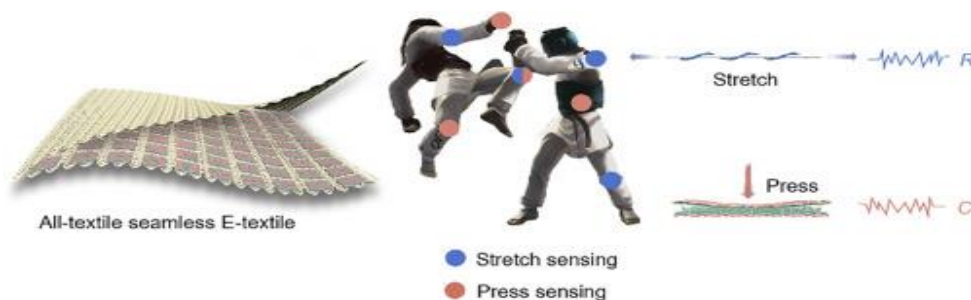
Ωστόσο είναι ζωτικής σημασίας να αναφερθούμε και στο πως σχετίζονται τα φωτονικά υφάσματα με την ιατρική. Ένα κλασσικό παράδειγμα είναι η δράση των φωτονικών υφασμάτων ως τεχνική φωτοθεραπείας, όπου τα υφάσματα αυτά εφαρμόζονται στο δέρμα του ανθρώπου επιτρέποντας έτσι την βελτίωση της υγείας των κυττάρων. Καθώς οι οπτικές ίνες συμβάλλουν για την μεταφορά του φωτός στο ύφασμα μπορούν να συνδυαστούν με τους οπτικούς αισθητήρες επιτυγχάνοντας τα επιθυμητά μήκη κύματος του φωτός. Η επιστημονική κοινότητα μελέτησε την αξιοποίηση των πολυμερών οπτικών ινών (POF) στα υφάσματα και διαπίστωσε ότι συνδράμουν για την αποκατάσταση των ιστών του οργανισμού. Συγκεκριμένα η ένταξη των πολυμερών οπτικών ινών στα υφάσματα καθιστά την εκπομπή κόκκινου υπέρυθρου φωτός με περίπου 600 έως 950 νανόμετρα μήκος κύματος το οποίο συμβάλλει για την παραγωγή κολλαγόνου στα ανθρώπινα ινοκύτταρα. Επίσης μία ιδιαίτερη εφαρμογή των έξυπνων υφασμάτων με οπτικές ίνες (POF) είναι η δημιουργία φωτεινού υφάσματος για την εκπομπή του μπλέ φωτός όπου απαιτείται για την θεραπεία του ίκτερου των μωρών. Οι ερευνητές σχεδίασαν υφασμάτινο διαχυτήρα φωτός (TLD) με τον συνδυασμό των οπτικών ινών (POF) και νημάτων πολυεστέρα. Ο διαχυτήρας φωτός έχει την δυνατότητα να ρυθμίζει ελεγχόμενα την δόση του φωτός που θα διαρρέουν οι ίνες POF του υφάσματος στο δέρμα των ανθρώπων. Έτσι η συγκεκριμένη φωτοθεραπεία συμβάλλει στην θεραπεία του δέρματος. Όπως αντιλαμβανόμαστε η φωτονική ενέργεια παρέχει πληθώρα εφαρμογών στο τομέα της ιατρικής αλλά και σε άλλους τομείς. Όμως μπορούμε να κατανοήσουμε πιο εύκολα τις διάφορες λειτουργίες των έξυπνων υφασμάτων μελετώντας την επίδραση των ενσωματωμένων αισθητηρίων.

2.10 Αισθητήρες στα υφάσματα

Όπως σημειώσαμε παραπάνω τις πιο βασικές ιδιότητες των έξυπνων υφασμάτων θα πρέπει να κατατάξουμε τους πιο σημαντικούς τύπους αισθητηρίων που μπορούν να ενσωματωθούν στα υφάσματα ώστε να κατανοήσουμε τις λειτουργίες τους. Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών στην βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας, για διάφορους αισθητήρες, όπου η χρησιμότητά τους είναι εξαιρετικής σημασίας. Αναφορικά οι πιο βασικοί αισθητήρες που συναντώνται σε πολλές εφαρμογές των έξυπνων υφασμάτων είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας, οι αισθητήρες πίεσης, οι οπτικοί αισθητήρες, οι χημικοί αισθητήρες, οι αισθητήρες αφής και οι αισθητήρες όσφρησης.

Οι αισθητήρες πίεσης προσδίδουν πληθώρα εφαρμογών στην κλωστοϋφαντουργία καθώς είναι δυνατή η ενσωμάτωσή τους σε υφάσματα. Μια κλασική εφαρμογή των αισθητήρων πίεσης είναι στο ιατρικό τομέα όπου είναι δυνατή η μέτρηση της πίεσης των επιδέσμων που ασκείται σε ασθενείς οι οποίοι έχουν προσβληθεί από διάφορες ασθένειες. Επίσης μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η ανίχνευση των δυνάμεων επαφής μεταξύ των αθλητών στις πολεμικές τέχνες και κατά συνέπεια η παρακολούθηση της απόδοσης του εκάστοτε αθλητή. Ενδιαφέρουσα αποτελέσματα έχουν αποδώσει τα πιεζοαντιστατικά υλικά κατά τα οποία όταν υπόκεινται σε καταπόνηση μεταβάλλουν την ηλεκτρική τους αντίσταση η οποία υπολογίζεται και αναλογικά μπορεί να υπολογιστεί η πίεση. Τα πιεζοαντιστατικά υλικά μπορούν να ενσωματωθούν στα υφάσματα και να ανιχνεύουν με αυτό τον τρόπο την πίεση που υφίσταται όταν ασκείται πάνω στο ύφασμα. Ωστόσο έχει διαπιστωθεί πως για την ανίχνευση τάσεων τα κατάλληλα υλικά είναι τα νανο-υλικά όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα (CNT) και το γραφένιο. Τέτοιου είδους νανοσωματίδια με βάση τον άνθρακα σε συνδυασμό με διάφορα πολυμερή προσδίδουν ενισχυμένες ιδιότητες ανίχνευσης των τάσεων στο ύφασμα.

Επίσης έχει παρατηρηθεί από την επιστημονική κοινότητα πως τα μεταξωτά και βαμβακερά υφάσματα υπό κατάλληλη διεργασία υπόσχονται δυνατή την εφαρμογή ανίχνευσης των τάσεων από τα αισθητήρια. Όμως για την επίτευξη των ικανοποιητικών αυτών αποτελεσμάτων απαιτείται η κατάλληλη επεξεργασία η οποία γίνεται με τη επικάλυψη ενός λεπτού υλικού πάνω στην επιφάνεια για την βελτίωση της αγωγιμότητας του υφάσματος, καθώς χρειάζεται και η απαραίτητη υψηλή θερμοκρασία για την ενθράκωση του υφάσματος με στόχο την βελτίωση των ιδιοτήτων της επιφάνειάς του.



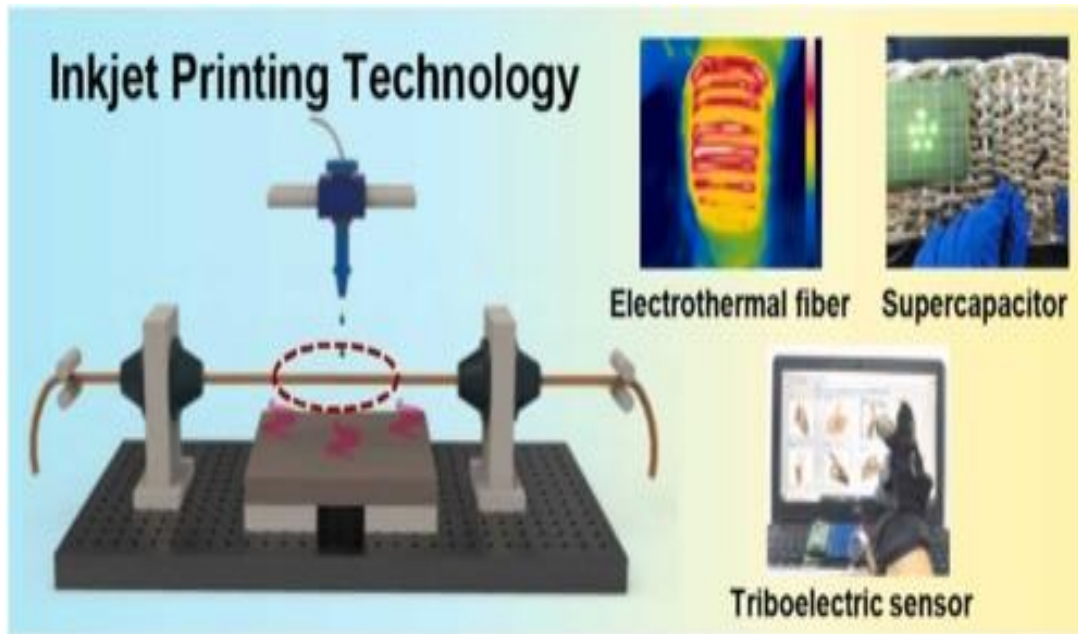
Εικόνα 37: Ενσωματωμένοι αισθητήρες τάσης για την παρακολούθηση της αθλητικής κίνησης
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285521001993>

Ένας τρόπος για την ανίχνευση θερμοκρασίας και πολλών διάφορων παραμέτρων είναι η δημιουργία αισθητήρων με ενσωμάτωση του οξειδίου κασσιτέρου-ινδίου (ITO) καθώς είναι ηλεκτρικά αγωγίμο υλικό. Το συγκεκριμένο υλικό υπόσχεται πολλές εφαρμογές στον τομέα της υγείας λόγω της εύκολης ενσωμάτωσής του στα ρούχα. Ένα διαφορετικό είδος αισθητήριων που συνδράμει σε πολλές εφαρμογές με βάση τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα είναι οι λεγόμενοι πλασμονικοί αισθητήρες. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες

χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών για τα έξυπνα υφάσματα καθώς αξιοποιείται το φαινόμενο του πλασμονικού συντονισμού όπου όταν το φως διαπερνά ένα μεταλλικό υλικό δημιουργούνται πλασμονικά κύματα(κύματα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας). Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η ανίχνευση διαφόρων παραμέτρων ανάλογα με τις μεταβολές στην διάδοση και την ανακλαστικότητα των κυμάτων. Ο πλασμονικός συντονισμός επιτυγχάνεται εξίσου στα υφάσματα σε διάφορα πολυμερή και νάνο σωματίδια ,έτσι είναι δυνατή η ενσωμάτωση των αισθητήρων αυτών στα υφάσματα.

Στους αισθητήρες αφής είναι απαραίτητη η ενσωμάτωση ευκάμπτων πυκνωτών για την ανίχνευση της αφής. Συγκεκριμένα όταν πραγματοποιείται η αφή από κάποιον χρήστη στην περιοχή του αισθητήρα ο πυκνωτής παρουσιάζει μεταβολές στην τάση και έτσι οι μεταβολές αυτές μπορούν να καταγραφθούν ως το σήμα αφής του χρήστη. Επίσης μια ακόμη μέθοδος για την ανάπτυξη αισθητήριων πίεσης στα υφάσματα είναι η αξιοποίηση των αγώγιμων πολυμερών. Για παράδειγμα όπως έχουμε προαναφέρει έρευνες έδειξαν πως ο συνδυασμός αγώγιμων πολυμερών όπως το (EDOT) πολύ-(3,4-αιθυλένοδιοξυθειοφαίνιο) και το πολύ-στυρενεσουλφονικό είναι αναγκαίος για την ενίσχυση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εσωτερικά των υφασμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διευκολύνεται η ανίχνευση της πίεσης καθώς όταν ασκείται πίεση σε διάφορες περιοχές του υφάσματος μεταβάλλεται η χωρητικότητα των πυκνωτών με τη βοήθεια διηλεκτρικών φιλμ τα οποία δρουν ως μονωτές και κατά επέκταση δημιουργούν τους πυκνωτές.

Επιπλέον διάφοροι δημοφιλείς μέθοδοι υπάρχουν για την ακριβή ανάπτυξη ενσωματωμένων αισθητήρων στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Μια από αυτές είναι η λεγόμενη φωτολιθογραφία όπου ένα φωτοευαίσθητο υλικό στρώνεται στην επιφάνεια του υφάσματος και με την βοήθεια ενός φίλτρου του φωτός το φως διαπερνά από συγκεκριμένες ζώνες του υλικού κατά τις οποίες είναι δυνατή η ανίχνευση της θερμοκρασίας και πίεσης. Ακόμη μια τεχνική ανάπτυξης ενσωματωμένων αισθητήριων στα υφάσματα είναι η εκτύπωση τύπου inkjet. Κατά την εκτύπωση με inkjet χρησιμοποιείται ειδικό μελάνι ηλεκτρικά αγώγιμο το οποίο εφαρμόζεται σε συγκεκριμένες περιοχές με μικρές σταγόνες πάνω στο ύφασμα. Για την δημιουργία κατάλληλων αισθητήρων απαιτείται η επεξεργασία του μελανιού όπως πολυμερισμό ή θέρμανση. Οι τεχνικές αυτές συμβάλλουν περισσότερο για την δημιουργία αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας οι οποίοι κατασκευάζονται σε εύκαμπτες επιφάνειες πολυιμιδίου. Επίσης η εκτύπωση με inkjet χρησιμοποιείται για την ακριβή τοποθέτηση λεπτών φιλμ πάνω στην επιφάνεια πολυιμιδίου. Συγκεκριμένα γίνεται η τοποθέτηση ειδικών μεταλλικών φιλμ πάνω στις επιφάνειες πολυιμιδίου έχοντας τον ρόλο του ηλεκτρικού πυκνωτή έτσι καθώς αλλάζει η χωρητικότητα του λόγω της μεταβολής της υγρασίας με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ανιχνευθεί η υγρασία.



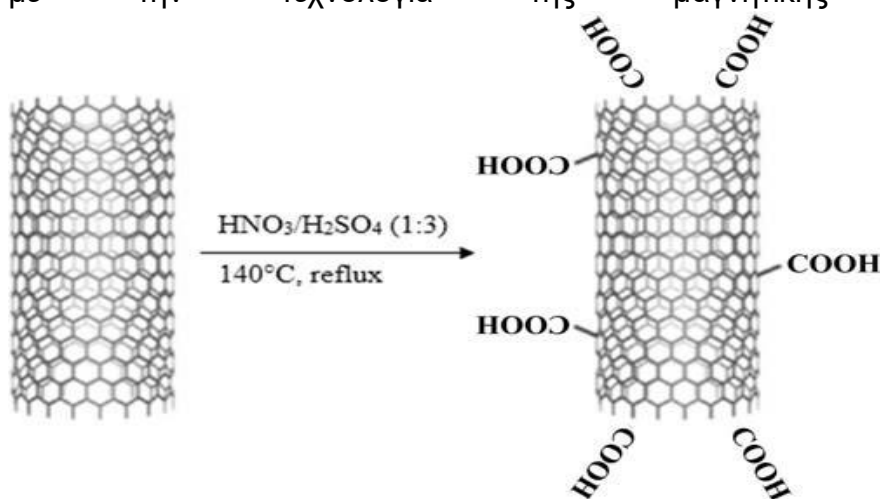
Εικόνα 38 :Τεχνολογία εκτύπωσης Inkjet.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285523004111>)

Με την χρήση των αγώγιμων νημάτων είναι δυνατή η ενσωμάτωση LED στο ύφασμα με στόχο την οπτική ανίχνευση διάφορων μεταβολών στην θερμοκρασία και στην υγρασία .Ωστόσο βασιζόμενοι στα αγώγιμα νήματα και την συμβολή της νανοτεχνολογίας είναι εξίσου δυνατή η ενσωμάτωση τσιπ ,ενισχυτών και άλλων σύγχρονων ηλεκτρονικών συσκευών για τον συνδυασμό τους με διάφορους αισθητήρες. Εξίσου σημαντικό να αναφέρουμε είναι και ο συνδυασμός νανοσωλήνων άνθρακα (CNT) και της πολυανιλίνης (PANI) όπου καθιστά δυνατή την δημιουργία αισθητήρων λόγω της βελτιωμένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρατηρείται στο ύφασμα .Πέρα απο τους συνηθεις τύπους ανίχνευσης στα έξυπνα υφάσματα εξίσου οι αισθητήρες δοκιμάστηκαν και για άλλους παράμετρους ανίχνευσης όπως τα τοξικά αέρια. Τα (MOFs) γνωστά ως μέταλλο-οργανικά πλαίσια είναι ικανά υλικά για την αποθήκευση αερίων καθώς ο συνδυασμός τους με κβαντικούς νανοράβδους καθιστά δυνατή την δημιουργία χρωματομετρικών αισθητήρων. Με την αλληλεπίδραση των βαμβακερών υφασμάτων με τα τοξικά αέρια το ύφασμα υπέστη αλλαγή στο χρώμα με αποτέλεσμα να μπορεί να εκτιμάται ανάλογα το τοξικό αέριο. Μια εφαρμογή όπου αξιοποιήθηκε το MOF-199 μαζί με το βενζολο-1,3,5-τρικαρβοξυλικό χαλκό ($C_9H_5CuO_6$) έδειξε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην δημιουργία υφάσματος το οποίο μπορούσε να απωθεί τα κουνούπια. Συγκεκριμένα ο συνδυασμός των υλικών αυτών ήταν υπεύθυνος για την απελευθέρωση της περμεθρίνης ουσία που δρα ως εντομοκτόνο για την απομάκρυνση των κουνουπιών. Επιπλέον αξίζει να σημειωθεί όπως έχουμε επισημάνει πως ο πολυμερισμός της ανιλίνης με την αξιοποίηση των νανοσωλήνων άνθρακα προσδίδει αρκετές ικανότητες στο ύφασμα όπως την δημιουργία αισθητήρων FMCNT(Functionalized Multiwalled Carbon

Nanotubes). Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν αέρια καθώς η παρουσία διάφορων αερίων προκαλεί μεταβολές στις ηλεκτρικές ιδιότητες των FMCNT με αποτέλεσμα οι αλλαγές αυτές να μπορούν να μετρηθούν. Ωστόσο έρευνες έχουν δείξει πως η ανάμιξη του τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου με τα FMCNT αποδίδει καλύτερα ως προς την αξιοπιστία του αισθητηρίου λόγω της ευκαμψίας που προσθέτει το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο.

Άλλοι αισθητήρες αερίων που μπορούν να αξιοποιηθούν είναι οι αισθητήρες ημιαγωγών οξειδίων μετάλλων ή αλλιώς χημικοί αισθητήρες. Οι χημικοί αισθητήρες αποκρίνονται γρήγορα έχοντας την ικανότητα να αντιδρούν σε περιβαλλοντικές μεταβολές. Για παράδειγμα το ημιαγωγικό τριοξείδιο του μολυβδαινίου (MoO_3) έχει την δυνατότητα να αλληλοεπιδρά με αέριες ουσίες κατά συνέπεια να παρουσιάζονται αλλαγές στις ηλεκτρικές του ιδιότητες. Ένας αρκετά ενδιαφέρον τύπος αισθητηρίων είναι οι οπτικοί αισθητήρες Fiber Bragg Gratings (FBGs). Οι αισθητήρες αυτοί εξασφαλίζουν ένα ελπιδοφόρο μέλλον για την δημιουργία έξυπνων υφασμάτων καθώς αξιοποιούνται με χρήση των οπτικών ινών. Κατά την αλλαγή των περιβαλλοντικών παραμέτρων ή υπό μορφή καταπόνησης ο αισθητήρας αλληλοεπιδρά διαφορετικά με το φως που τον διαπερνά και έτσι εκτιμάται η μεταβολή της αντανάκλαστικότητας του για τον υπολογισμό των παραμέτρων. Έκτος από την ανίχνευση μεταβολών της θερμοκρασίας, των καταπονήσεων υποδεικνύει και την δυνατότητα παρακολούθησης του ανοσοποιητικού μας συστήματος. Μάλιστα πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι ο συνδυασμός των FBG με αισθητήρες μακροκάμψης ανταποκρίνεται αποτελεσματικά στην ανίχνευση των κινήσεων του σώματος και της αναπνοής. Η ένταξη των FBG αισθητηρίων στα υφάσματα είναι επίσης χρήσιμη για την παρακολούθηση της αναπνοής των ασθενών που εξετάζονται με την τεχνολογία της μαγνητικής τομογραφίας.

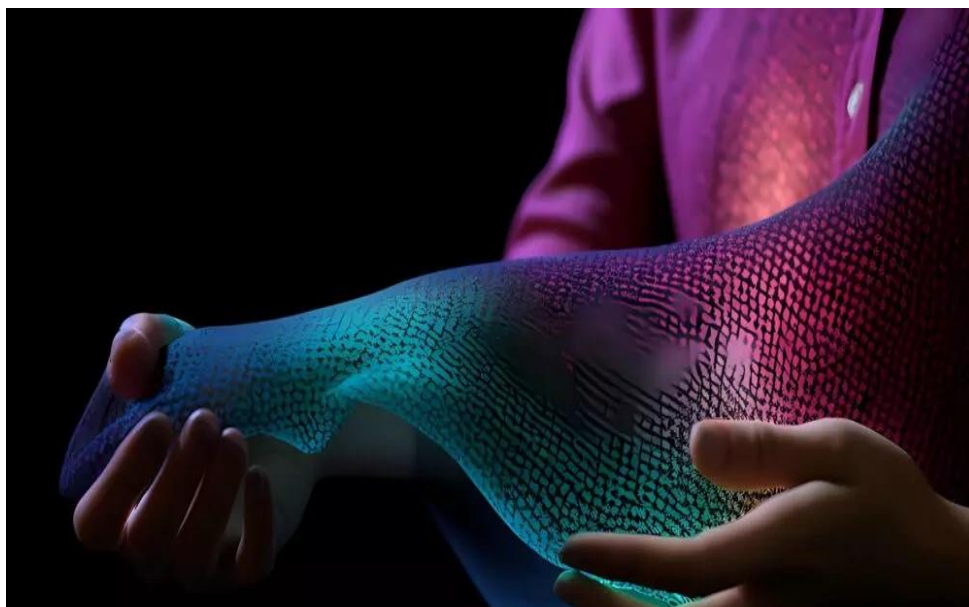


Εικόνα 39: Δομή FMCNT.

https://www.researchgate.net/publication/351275929/Additive_manufacturing_of_functionalized_nanomaterials_for_the_modern_health_care_industry

3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ

Ο κόσμος της νανοτεχνολογίας μας παρέχει την ευκαιρία για την διερεύνηση νέων και πολύ-λειτουργικών υφασμάτων όπου θα είναι ικανά να αποδώσουν καλύτερα σε απαιτητικές εφαρμογές. Προηγμένοι μικροεπεξεργαστές υπόσχονται πληθώρα εφαρμογών κατά την ενσωμάτωση τους στα έξυπνα υφάσματα ενώ απαιτούνται ταυτοχρόνως και νέες καινοτόμες τεχνολογίες για την ανάπτυξη βελτιωμένων ιδιοτήτων . Μία από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα έξυπνα υφάσματα είναι η φθορά κατά του πλυσίματος λόγω της ευαισθησίας των ηλεκτρικών στοιχείων. Όμως προηγμένοι τύποι φινιρίσματος μπορούν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα των υφασμάτων κατά των φθορών . Ωστόσο ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα του ανθρώπου είναι η καταπολέμηση των ασθενών και η βελτίωση της υγείας. Με τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων ενσωματώνοντας προηγμένους μικροεπεξεργαστές είναι δυνατή η παρακολούθηση της υγείας μας.



Εικόνα 40: Μελλοντική ανασκόπηση των προηγμένων υφασμάτων.

<https://www.murqitroyd.com/insights/patents/the-future-of-fabric-smart-textiles-and-patents>

Μια ελπιδοφόρα εφαρμογή που αφορά την κυκλοφορία του αίματος στο άνθρωπο είναι η ένταξη νανοκινητήρων στο ύφασμα .Οι νανοκινητήρες είναι νανοσωματίδια και μηχανισμοί που μπορούν να παράγουν κινητική ενέργεια προκαλώντας δονήσεις σε διάφορες περιοχές του σώματος βελτιώνοντας έτσι την κυκλοφορία του αίματος. Άλλη μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι η δυνατότητα ψύξης του σώματος σε περίπτωση πυρετού. Για να είναι αξιόπιστη η εφαρμογή απαιτείται αρκετή αποθήκευση ενέργειας από το ύφασμα χρησιμοποιώντας προηγμένους πυκνωτές η ακόμη και κατάλληλες ηλιακές κυψέλες. Μια ακόμη τεχνολογία που μπορεί να βοηθήσει στην ψύξη του

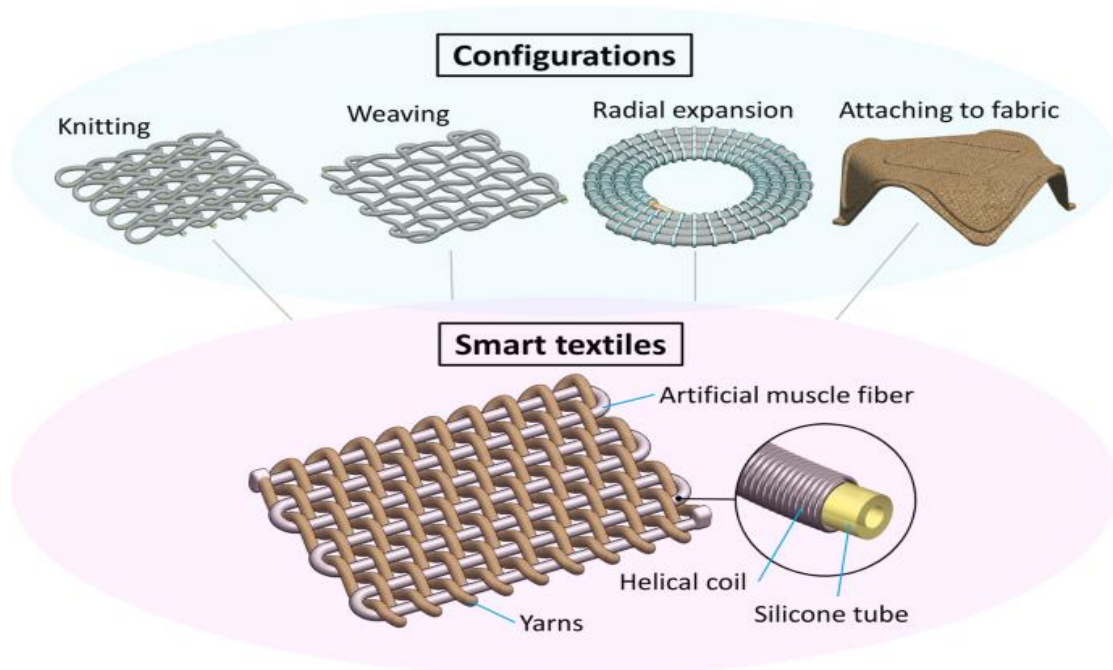
σώματος και σε άλλες εφαρμογές είναι οι ανακλαστικές υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αυτά τα υλικά έχουν την δυνατότητα ενσωμάτωσης σε υφάσματα με κύριο στόχο την μείωση της θερμότητας.

Ένα ιδιαίτερο υφάσμα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα είναι το υφάσμα Xel flex. Το συγκεκριμένο υφάσμα περιλαμβάνει οπτικούς αισθητήρες και είναι ικανό να παρακολουθεί αποτελεσματικά την δραστηριότητα του χρήστη. Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η μελλοντική χρήση του συγκεκριμένου υφάσματος καθώς υπόσχεται πληθώρα εφαρμογών στον τομέα της ιατρικής και του αθλητισμού. Οι οργανικές δίοδοι εκπομπής φωτός (OLED) με την αξιοποίηση διάφορων οργανικών υλικών μπορούν να δημιουργήσουν φωτεινές επιφάνειες ενσωματώνοντας οθόνες στα υφάσματα. Ενώ με την εξέλιξη της τεχνολογίας πλέον αυτές οι δίοδοι ενισχύονται ως κβαντικοί δίοδοι εκπομπής φωτός (QLED) όπου μπορούν να βελτιώσουν την φωτεινότητα. Η χρησιμότητα του φωτός στα υφάσματα παραπέμπει την δημιουργία έξυπνων πολύ λειτουργικών αλλά και προηγμένων υφασμάτων. Καθώς αναπτύχθηκε η εικονική πραγματικότητα δεν έλειψε η εφαρμογή της και στα ενδύματα. Αξιοποιώντας την τεχνολογία της ολογραφίας μπορούν να αναπτυχθούν τρισδιάστατες αναπαραστάσεις εικόνων όπως τα ολογράμματα και κατά συνέπεια να εφαρμοστούν σε διάφορα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Έτσι είναι δυνατή και η ενσωμάτωση ολογραφικών αισθητήρων στα υφάσματα με αποτέλεσμα ως ένας τρόπος για την ανίχνευση βιολογικών παραμέτρων και την παρακολούθηση της υγείας.

Ο προβληματισμός κατά της οσμής στα υφάσματα έχει προκαλέσει την επιστημονική κοινότητα για την εύρεση νέων λύσεων. Η οσμή στα υφάσματα μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως ο ιδρώτας, η υγρασία και αρκετούς ακόμα. Οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στην βέλτιστη λύση καθώς πολλές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του ζητήματος. Μερικές από αυτές είναι η χρήση χημικών ουσιών όπου εξολοθρεύουν τα μικρόβια όπως το QAC και η τρικλοσάνη. Η χρήση όμως ζεόλιθων στην δομή του υφάσματος δείχνει ότι μπορούν και απορροφούν αποτελεσματικά την οσμή λόγω της μεγάλης επιφάνειας που διαθέτουν. Καθώς η νανοτεχνολογία συνεχίζει και συνδράμει στο πλαίσιο της ανάπτυξης προηγμένων υφασμάτων, υπόσχεται την χρήση τεχνολογιών, όπως του διαδικτύου των πραγμάτων και της μηχανικής μάθησης. Με την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων τα υφάσματα μπορούν να προσαρμοστούν αναλογικά με τις ανάγκες του χρήστη.

Από το πεδίο της κλωστοϋφαντουργίας δεν έλειψαν τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN) καθώς η τεχνολογία αυτή έχει εντυπωσιάσει το εύρη επιστημονικό κοινό και εξολοκλήρου τον κόσμο. Χάρι στις εντυπωσιακές εφαρμογές που υπόσχεται η τεχνητή νοημοσύνη καθίσταται δυνατή η εκτίμηση των ελαττωματικών υφασμάτων κατά την παραγωγή. Τα νευρωνικά δίκτυα παρέχουν προγνωστικές ικανότητες συμβάλλοντας έτσι στην βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και στην βελτίωση της ποιότητας των νημάτων. Ακόμα με βάση τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, είναι δυνατή η πρόβλεψη των ιδιοτήτων του υφάσματος στηριζόμενοι σε ιστορικά δεδομένα. Με την βοήθεια των (ANN) καθίσταται δυνατή η αναγνώριση σφαλμάτων του

εκάστοτε υφάσματος και αυτό επιτυγχάνεται αναλύοντας τα σήματα και τις εικόνες που έχουν παρθεί από την παραγωγή υφασμάτων. Έκτος από την εξασφάλιση του ποιοτικού ελέγχου η τεχνητή νοημοσύνη είναι ικανή να καθορίσει και το βέλτιστο συνδυασμό ινών για την ανάπτυξη έξυπνων υφασμάτων. Η πρόβλεψη της διαπερατότητας του αέρα στα υφάσματα είναι μια πρόκληση για τους επιστήμονες καθώς επηρεάζει την συμπεριφορά του υφάσματος. Η διαπερατότητα του αέρα εξαρτάται από τα μικροδομικά χαρακτηριστικά του νήματος τα οποία μπορούν να εκτιμηθούν με την γραμμική παλινδρόμηση. Με την χρήση των (ANN) διευκολύνεται η πρόβλεψη των τιμών διαπερατότητας του αέρα με αποτέλεσμα την βελτίωση των ιδιοτήτων του υφάσματος. Έκπληξη προκαλεί η τεχνολογία των μυϊκών ινών η οποία αξιοποιεί ιδιότητες κάποιων υγρών όπου προκαλούν τεχνητή κίνηση στα υφάσματα. Η κύρια υποσχόμενη εφαρμογή τους είναι η παροχή επιπρόσθετης υποστήριξης σε άτομα με αναπηρία.



Εικόνα 41: τεχνητές μυϊκές ίνες οδηγούμενες από είδη υγρών.

<https://www.nature.com/articles/s41598-022-15369-2>

3.1 Έξυπνα υφάσματα και πρακτικές εφαρμογές

Καθώς αναφερθήκαν οι μέθοδοι όπου ακολουθούνται συνήθως για την ενσωμάτωση της σύγχρονης τεχνολογίας στα υφάσματα ,μπορεί να υποψιαστεί κανείς το πώς τα ευφυή ενδύματα έχουν συμβάλει στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Όπως έχει τονιστεί , ο συνδυασμός των παραδοσιακών υφασμάτων με τα ηλεκτρονικά στοιχεία δεν στοχεύει μόνο στην αισθητική των ενδυμάτων αλλά και σε ένα πολυλειτουργικό προϊόν όπου οι προδιαγραφές του υποδηλώνουν νέες λειτουργίες λύνοντας αρκετά καθημερινά ζητήματα. Σύμφωνα με τις έρευνες για τα έξυπνα ενδύματα έχει εξακριβωθεί πως μπορούν να θεωρηθούν ως έξυπνες συσκευές όπου βασίζονται σε λογισμικό, στην ενσωμάτωση της νεφοϋπολογιστικής μηχανικής και του IOT(Internet of things). Η ασύρματη επικοινωνία, η δυνατότητα της τηλεμετρίας και άλλα πολυχρηστικά εργαλεία επιτυγχάνουν την αποτελεσματικότητα των ενδυμάτων. Η παρακολούθηση διάφορων δεικτών του σώματος ,η ανίχνευση τάσεων και κινήσεων καθώς και πολλά ακόμη που έχουν αναφερθεί ,καθιστούν αυτά τα ενδύματα έξυπνα και χρήσιμα για τον χρήστη.

Η έξυπνη ένδυση εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς όπως στην ιατρική ,στον στρατό ,στον αθλητισμό και κατά την εργασία. Ανάλογα το περιβάλλον και τον χώρο που εφαρμόζονται τα ενδύματα μπορούν να προσαρμοστούν καταλλήλως ώστε να εξυπηρετούν τις ανάγκες του χρήστη . Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο κλάδος της ιατρικής όπου οι εμφυτεύσιμες συσκευές στον οργανισμό μπορούν να βασίζονται στα έξυπνα υφάσματα. Επίσης ένα ακόμα παράδειγμα είναι η προσαρμογή των έξυπνων ενδυμάτων σε περιβάλλοντα στρατιωτικών εφαρμογών όπου σε πραγματικό χρόνο είναι δυνατή η παρακολούθηση της υγείας τους. Καινοτόμες εταιρίες ανά τον κόσμο που παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων είναι η “Thread” in “Motion”, η “Myontec”, η “Prevayl Limited” και η “KYMIRA”. Λόγω της κορύφωσης των αναγκών την τελευταία πενταετία για έξυπνα λειτουργικά ενδύματα ,η πρόκληση στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας απέκτησε νέες διαστάσεις και αναμένεται σημαντική αύξηση στις πωλήσεις έξυπνων υφασμάτων έως το 2027.Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των έξυπνων υφασμάτων υπόσχεται νέες θέσεις εργασίας αλλά ταυτόχρονα και ραγδαία αύξηση των εσόδων λόγω της προβλεπόμενης ζήτησης για τα επόμενα χρόνια. Καθώς αποτελεί ένα προϊόν με αρκετές λειτουργίες και παρέχει άνεση στον καταναλωτή ,είναι δυνατόν η απλούστερη αλληλεπίδραση του με τα ενσωματωμένα συστήματα.

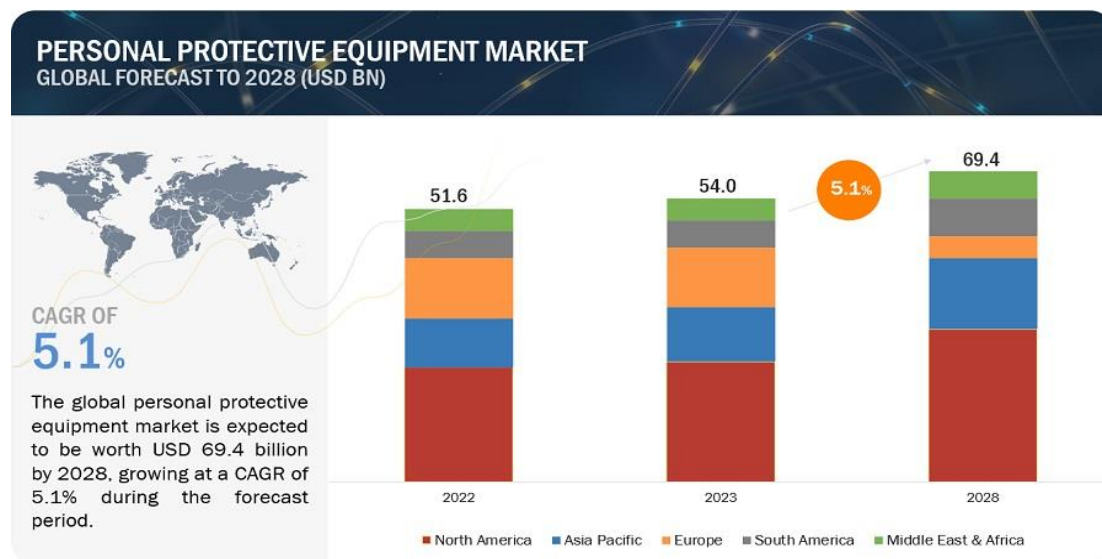
Ακόμη δεν πρέπει να παραληφθεί το γεγονός ότι κατά την πάροδο των χρόνων η φορητή τεχνολογία θα αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο με κύριο παράγοντα την εξέλιξη της κλωστοϋφαντουργίας. Η αξιοποίηση των έξυπνων ενδυμάτων συμβάλλει καθοριστικά στα μέτρα ατομικής προστασίας ΜΑΠ, όπου απαιτούνται γοργοί ρυθμοί εξέλιξης για νέα έξυπνα υφάσματα ώστε να επιτευχθεί βελτιωμένη ασφάλεια στους επικίνδυνους χώρους εργασίας. Ως έξυπνο ΜΑΠ καλείται ο κατάλληλος εξοπλισμός ατομικής προστασίας, που

αξιοποιεί τα έξυπνα ενσωματωμένα συστήματα με πρωταρχικό στόχο την ικανότητα της αίσθησης του χώρου ,καθώς και την ικανότητα επικοινωνίας.



Εικόνα 42: “Internet of things” κατά την έξυπνη ένδυση στον αθλητισμό.

(<https://thegadgetflow.com/blog/sensoria/>)



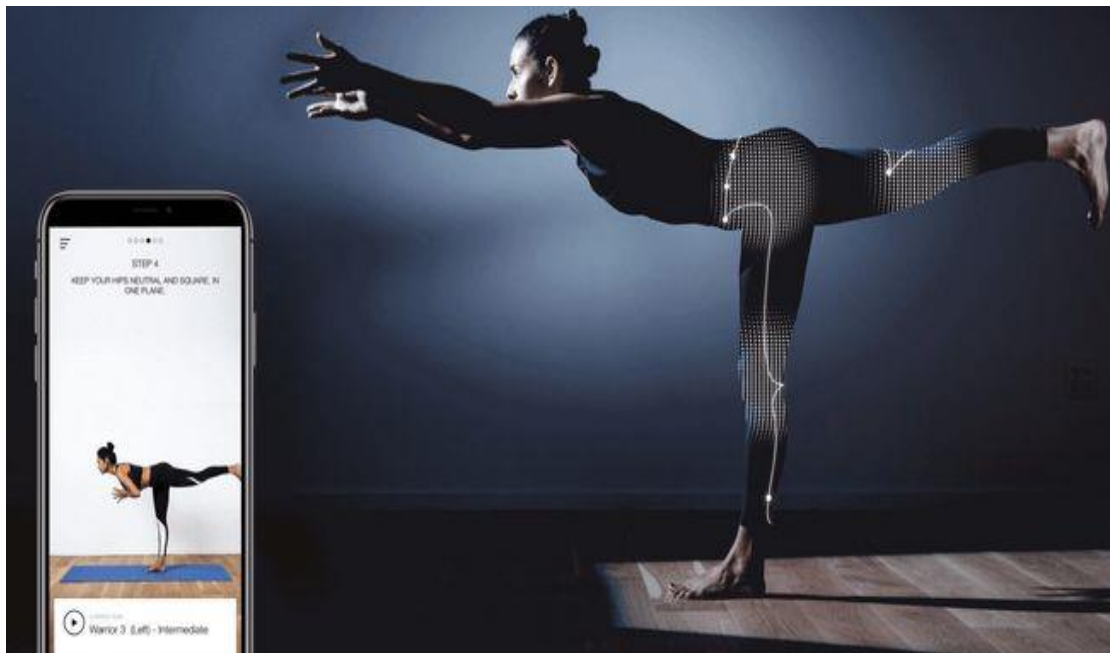
Εικόνα 43: Ζήτηση για τα Μέτρα ατομικής προστασίας στα επόμενα χρόνια.

(<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/personal-protective-equipment-market-132681971.htm>)

3.2 Εφαρμογή της έξυπνης ένδυσης στον αθλητισμό

Τα έξυπνα υφάσματα καλύπτουν καθημερινά πληθώρα εφαρμογών σε διάφορους τομείς. Ένας από αυτούς όπου έχει τονιστεί στην παρούσα εργασία

είναι ο κλάδος της έξυπνης ένδυσης όπου εξαιτίας της φορητής τεχνολογίας και της νανοτεχνολογίας είναι δυνατή η παραγωγή πολυλειτουργικών προϊόντων της κλωστοϋφαντουργίας. Καθώς είναι γνωστές οι πιο δημοφιλείς ιδιότητες των έξυπνων ινών και έχοντας κατανοήσει τους τρόπους λειτουργίας των προηγμένων υφασμάτων είναι εξαιρετα σημαντικό να αναλυθούν οι πρακτικές εφαρμογές τους ανά τον κόσμο. Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί η πρακτική άσκηση της yoga με την χρήση ειδικού προηγμένου παντελονιού ,το λεγόμενο <Nadi x>.Το Nadi x αποτελεί ένα αρκετά έξυπνο είδος ρουχισμού ειδικά σχεδιασμένο ώστε να εξυπηρετεί τον ασκούμενο. Με την χρήση του πολυλειτουργικού παντελονιού ο ασκούμενος μπορεί να βελτιώσει σε μικρό χρονικό διάστημα την πρακτική του εξαιτίας των αισθητήρων, όπου έχουν ενσωματωθεί εσωτερικά του υφάσματος στα σημεία των γοφών, των γονάτων και των αστραγάλων. Αυτοί αισθητήρες ανιχνεύουν τις κινήσεις του ασκούμενου και ανάλογα με τον τρόπο ρύθμισης ενεργοποιούνται δονήσεις δείχνοντας έτσι τις σωστές στάσεις της yoga. Η ρύθμιση γίνεται με Bluetooth μέσω κινητού τηλεφώνου “smartphone” λόγω ενός επιταχυνσιομέτρου όπου τοποθετείται στο πίσω μέρος του γόνατου.



Εικόνα 44 : “Nadi x” .

<https://www.wareable.com/smart-clothing/nadi-x-yoga-billie-whitehouse-wearable-experiments-innovation-340>

Ωστόσο μια άλλη εφαρμογή που σχετίζεται με την άσκηση του χρήστη είναι το έξυπνο μπλουζάκι Ambiatex. Το καινοτόμο αυτό ένδυμα μπορεί να συλλέξει δεδομένα από τους αισθητήρες για την κατάσταση της υγείας του χρήστη εν ώρα άθλησης και έπειτα να τα μεταδώσει σε κάποιο android για την επεξεργασία τους. Συγκεκριμένα κατά την αξιοποίηση του υπολογίζεται το ατομικό αναερόβιο κατώφλι (IAS) το οποίο αποτελεί δείκτη έντασης της άσκησης κατά την οποία παράγεται παραπάνω γαλακτικό οξύ στο ανθρώπινο σώμα από ότι μπορεί να απορροφήσει. Αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη κατά τον οποίο χρειάζεται να γνωρίζει ο αθλητής για την βελτίωση της απόδοσης του, καθώς μπορεί να παρακολουθεί ακόμη και τα επίπεδα του στρες. Επίσης μια εναλλακτική εφαρμογή των έξυπνων προϊόντων ένδυσης στον τομέα του αθλητισμού είναι τα μανίκια συμπίεσης για τους αθλητές. Το προϊόν παρέχεται από την “Komodo Technologies” και πρόκειται για ένα καινοτόμο αξεσουάρ όπου η βασική του λειτουργία είναι η παρακολούθηση της καρδιακής δραστηριότητας. Με τους αισθητήρες ηλεκτροκαρδιογραφήματος καταγράφονται τα σήματα της καρδιάς και αναλύονται στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας ή αν υπάρχει ασύρματη επικοινωνία στο “android”. Εκτός από τους ρυθμούς της καρδιάς τα έξυπνα μανίκια μπορούν να παρακολουθήσουν την ένταση της άσκησης, την ποιότητα του αέρα στο χώρο, την ποιότητα του ύπνου του αθλητή, καθώς και άλλους παραμέτρους όπου μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του ασκούμενου.



Εικόνα 45: Μανίκια συμπίεσης από την “Komodo Technologies”. (<https://komodotec.com/ekg-monitor/>)

Ωστόσο, τα έξυπνα ενδύματα στον αθλητισμό μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κύριους κλάδους. Ο ένας από αυτούς είναι ο κλάδος της απομακρυσμένης παρακολούθησης που αφορά τα ενδύματα εκείνα όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ενημερωθεί για την κατάσταση της υγείας του εν ώρα γυμναστικής μέσω μιας εφαρμογής. Όμως με την τακτική παρακολούθηση επιτρέπεται στον αθλητή να έχει άμεση επίγνωση της φυσικής του κατάστασης και της απόδοσης του με την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο σημαντικό ρόλο έχει η άνεση του ασκούμενου

καθώς δραστηριοποιείται ,και γι' αυτό τον λόγο αναλόγως τις ανάγκες του τα έξυπνα ενδύματα χωρίζονται σε άνετα ή προσαρμοσίμα.

3.3 Έξυπνη ένδυση στην υγειονομική περίθαλψη

Τα έξυπνα ενδύματα μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των ασθενών με κύριο σκοπό την παρακολούθηση της υγείας τους. Κάποιες εφαρμογές των ενδυμάτων στην ιατρική είναι παρόμοιες με αυτές στον αθλητισμό εφόσον έχουν κοινό σκοπό την παρακολούθηση της φυσικής κατάστασης του χρήστη. Ωστόσο είναι ζωτικής σημασίας να τονιστεί το πώς τα έξυπνα υφάσματα συμβάλλουν στην καθημερινότητα των ασθενών και έπειτα το πόσο χρήσιμα είναι για την παρακολούθηση της υγείας του ασθενή. Υπάρχει πληθώρα εφαρμογών στον κλάδο της ιατρικής με πολλές από αυτές να υπόσχονται βελτιώσεις στο μέλλον. Η επιχειρηματική συνεισφορά της “Samsung” στην έξυπνη ένδυση είναι ευδιάκριτη στον κόσμο με αρκετές πρακτικές εφαρμογές. Μια από αυτές είναι το φούτερ “Body Compass” όπου εκτός από την υγεία σχετίζεται με τον αθλητισμό αλλά ακόμη και με την καθημερινότητα του χρήστη. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι απλός αφού μπορεί να ενσωματωθεί στο ρούχο και οι αισθητήρες να εκτιμήσουν διάφορους παραμέτρους. Συνήθως μετράει τον καρδιακό ρυθμό, την θερμοκρασία του σώματος ,τα πρότυπα ύπνου και την αναπνευστική δραστηριότητα. Αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται και αναλύονται μέσω εφαρμογής. Ουσιαστικά κατά τον έξυπνο ρουχισμό τύπου Body Compass γίνεται η παρακολούθηση βιομετρικών δεδομένων με εξαιρετική ακρίβεια όπου κατά την άθληση συμπεριλαμβάνεται ο ιατρικός παράγοντας. Εκτός από τα δεδομένα που αναφέρθηκαν αναλύονται σημαντικά δεδομένα που αποτελούν δείκτη υγείας όπως τα επίπεδα οξυγόνου στο αίμα και η μέτρηση της πίεσης.



Εικόνα 46: “Body Compass Samsung”.

<https://www.techradar.com/news/wearables/samsung-s-body-compass-covers-your-body-with-a-personal-trainer-1312744>

Επίσης μια ενδιαφέρουσα συσκευή με πολλά πλεονεκτήματα στο κομμάτι της υγείας είναι το προηγμένο εσώρουχο “Palpreast” όπου είναι ικανό για την διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Το προϊόν αυτό διαθέτει ένα ιδιαίτερο σύστημα το οποίο περιλαμβάνει θαλάμους αέρα τοποθετημένους στην περιοχή του μαστού. Με την ενσωμάτωση του αισθητήρα πίεσης είναι δυνατή η ανίχνευση τυχόν εξογκώματος κοντά στην περιοχή του μαστού. Ωστόσο, κατά την ανίχνευση μεταβολών στην πίεση η συσκευή προτρέπει στην έγκαιρη ενημέρωση των γυναικών. Αναγνωρισμένη είναι η δράση της εταιρίας “Visseiro” στην Γερμανία για την ανάπτυξη αισθητήρων ειδικά προσαρμοσμένους για την φροντίδα ηλικιωμένων ατόμων. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες αποτελούν βιομετρικούς ανιχνευτές όπου ενσωματώνονται σε υφάσματα και αντικείμενα που σχετίζονται με την καθημερινότητα των ανθρώπων. Ίδανικά ενσωματώνονται σε μαξιλάρια, κουβέρτες και καθίσματα με σκοπό να λειτουργούν άνετα χωρίς να προκαλούν ενοχλήσεις στον χρήστη. Μπορούν να ανιχνεύσουν πολύτιμα δεδομένα από την καρδιά και τους πνεύμονες με στόχο την αξιόπιστη παρακολούθηση της υγείας των ηλικιωμένων. Κατά την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ένας δείκτης που σχετίζεται με την κατάσταση της υγείας του χρήστη, όπου υπάρχει η δυνατότητα της απομακρυσμένης παρακολούθησης του μέσω κάποιας εφαρμογής ή του διαδικτύου. Αξιοποιώντας την συγκεκριμένη καινοτομία καθίσταται η εύκολη και η έγκαιρη πρόσβαση στα βιομετρικά δεδομένα του χρήστη από συγγενείς και γιατρούς.

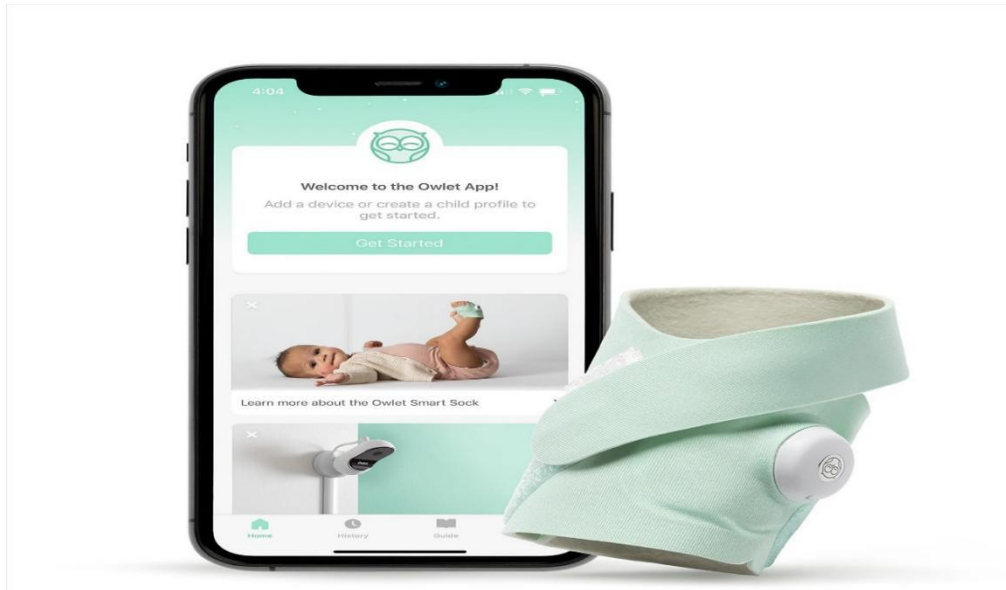
Η παρακολούθηση της υγείας της καρδιάς και της φυσικής κατάστασης του χρήστη κατά την άσκηση αποτελούν πρόκληση για τα έξυπνα ενδύματα, καθώς εξαιτίας της κλωστοϋφαντουργίας το προϊόν καθίσταται πολυλειτουργικό και απαραίτητο για τους ηλικιωμένους. Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή της έξυπνης ένδυσης που συνδυάζει τον αθλητισμό με την υγειονομική περίθαλψη είναι το λεγόμενο σουτιέν “Adidas miCoach Seamless Sports Bra” το οποίο έχει κατασκευαστεί από αγωγίμες ίνες με στόχο την ανίχνευση των παλμών της καρδιάς. Οι αγωγίμες ίνες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην μετάδοση των ηλεκτρικών σημάτων στον αισθητήρα ώστε τα δεδομένα να μπορούν να ληφθούν από μια συσκευή. Η συμβολή της εταιρίας Ralph Lauren στον τομέα της έξυπνης ένδυσης είναι εξίσου σημαντική, καθώς το πολυλειτουργικό πουκάμισο “PoloTech Smart Shirt” προσφέρει πληθώρα εφαρμογών. Πρόκειται για ένα υφαντικό προϊόν όπου το ύφασμα του συνδυάζει πολυεστέρα, spandex και ασημένιες ίνες. Περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ενός επιταχυνσιόμετρου για την ανίχνευση της κίνησης και αξιοποιώντας της αγωγιμότητα των ασημένιων ινών είναι δυνατή η παρακολούθηση της καρδιακής δραστηριότητας. Τα δεδομένα συλλέγονται σε μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας η οποία τοποθετείται κοντά στο δέρμα του χρήστη κάτω από το πουκάμισο για την αποτελεσματικότερη μέτρηση των δεδομένων και έπειτα αποστέλλονται μέσω Bluetooth σε κάποια συσκευή.



Εικόνα 47: “PoloTech Smart Shirt”.

<https://www.pcmag.com/reviews/ralph-lauren-polotech-shirt>

Η “Owlet Baby Care Inc” αποτελεί μια κατασκευαστική εταιρεία που αφορά ενδύματα παρακολούθησης για βρέφη. Μια πρακτική εφαρμογή της είναι η έξυπνη κάλτσα η αλλιώς το σύστημα “OSS” (Owlet Smart Sock) το οποίο διατέθηκε για τους καταναλωτές το 2015. Πρόκειται για μια κάλτσα όπου φοριέται στο πόδι του βρέφους με σκοπό την παρακολούθηση της καρδιάς και του οξυγόνου κατά την διάρκεια του ύπνου. Το σύστημα περιλαμβάνει έναν βιομετρικό αισθητήρα όπου δρα με την τεχνική της παλμοσιγμογραφίας. Το αισθητήριο εκπέμπει φως προς το δέρμα και ανάλογα την απορρόφηση του φωτός από το αίμα ανιχνεύει το διαπερασμένο φως . Κατά την συλλογή των δεδομένων αποστέλλονται μέσω Bluetooth σε κάποιο smartphone και με βάση τις ενδείξεις της υγείας του μωρού ειδοποιούνται αναλόγως οι γονείς.



Εικόνα 48: Έξυπνη κάλτσα "Owlet Smart Sock".

<https://mobileimages.lowes.com/productimages/afbad3b0-33e8-4914-8d25-458ca626c60e/17186420.png>

Οι έξυπνες κάλτσες δεν έχουν δημιουργηθεί μόνο για βρέφη και αποτελούν σημαντικό δημιούργημα για τους ασθενείς με διαβήτη όπου παρουσιάζουν προβλήματα στα πόδια. Καθώς η ασθένεια του διαβήτη αποτελεί σημαντικό κίνδυνο τα τελευταία χρόνια έχει εκτιμηθεί πως αυτός ο κίνδυνος θα αυξηθεί περαιτέρω τα επόμενα χρόνια και οι περιπτώσεις ανθρώπων με διαβήτη θα πολλαπλασιαστούν. Έχει ιδιαίτερη σημασία να τονιστεί πως νέες μέθοδοι βασισμένοι στην έξυπνη ένδυση μπορούν να βελτιώσουν το φαινόμενο με την παροχή της έγκαιρης ενημέρωσης των γιατρών για την πρόοδο της παθήσεως. Συνήθως στις έξυπνες κάλτσες για τους διαβητικούς επιλέγονται αισθητήρες θέρμιστρος όπου είναι αρκετά ευαίσθητοι αισθητήρες στις μεταβολές της θερμοκρασίας διότι η μεταβολή της θερμοκρασίας επιδρά στον μεταβολισμό και στην κυκλοφορία του αίματος. Οι έξυπνες κάλτσες ειδοποιούν σε πραγματικό χρόνο για τυχόν μεταβολές της θερμοκρασίας στα πόδια και με βάση της συλλογής των δεδομένων ο ιατρός του κάθε ασθενούς μπορεί να παρακολουθεί την κατάσταση δρώντας ανάλογα. Έκτος από τον αισθητήρα θερμοκρασίας η διάταξη περιλαμβάνει μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μια συσκευή για την ασύρματη μετάδοση των δεδομένων. Επίσης με την ενσωμάτωση των ηλεκτροαγωγίμων υλικών στην ένδυση, ο χρήστης ανακουφίζεται από πόνους στην μέση και στην πλάτη λόγω της εκπομπής υπέρυθρων ακτίνων.



Εικόνα 49 “Adidas miCoach Seamless Sports Bra”

(<https://notsealed.com/heart-rate-monitor-sports-bra-smart-comfortable.html>)

3.4 Έξυπνη ένδυση στην μόδα και την καθημερινότητα

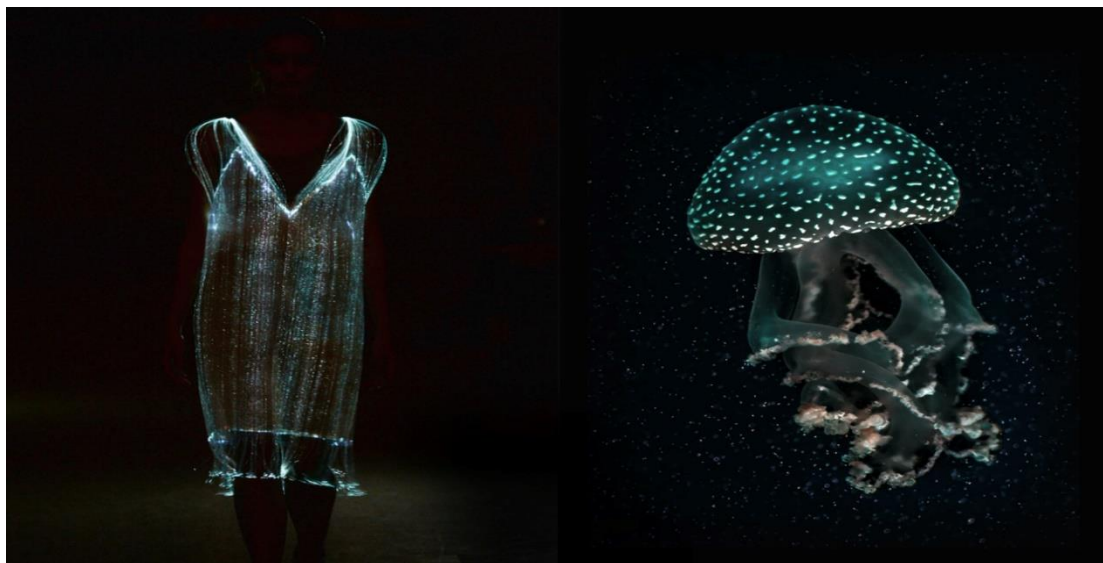
Με την ραγδαία αύξηση των επιχειρήσεων για την δημιουργία καινοτόμων υφασμάτων ώστε να εξυπηρετηθούν οι πολίτες, έχει επηρεαστεί και ο κλάδος της μόδας. Έχει παρατηρηθεί αυξανόμενος ανταγωνισμός στις εταιρίες όπου στοχεύουν στην ανάπτυξη προϊόντων για νέες τάσεις της μόδας. Έκτος από τις παρόμοιες εφαρμογές που προφέρει η τεχνολογία των έξυπνων ενδυμάτων στους τομείς που αναφέρθηκαν, η συνδρομή της είναι εξίσου ευδιάκριτη στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Ο σκοπός της ευφύιας στα υφάσματα είναι να ενημερώνει τον χρήστη βοηθώντας ανάλογα με τα δεδομένα, στην λήψη της σωστότερης απόφασης. Στην καθημερινότητα πολλές νέες εφαρμογές καλύπτουν με άνεση αρκετές ανάγκες των πολιτών. Μια εξαιρετική καινοτομία αποτελεί το κουστόμι “Rogatis”, το οποίο παρέχει υπηρεσίες “Near Field Communication (NFC)” και εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς. Μια συνήθης περίπτωση είναι το αυτόματο ξεκλείδωμα του κινητού τηλεφώνου του πολίτη κατά την αφαίρεσή του από την τσέπη του κοστουμιού. Επίσης το καινοτόμο κουστόμι μπορεί να συνδεθεί με το κινητό του χρήστη μέσω της ετικέτας “NFC” ώστε να ρυθμίζονται οι κλήσεις ως προς την σίγαση, το μπλοκάρισμα και να μπορούν να πραγματοποιούνται διάφορες προγραμματισμένες λειτουργίες στο κινητό.



Εικόνα 50: Το προηγμένο κουστόύμι “Rogatis”.

<https://news.samsungcnt.com/en/features/fashion/2016-10-strike-rogatis-smart-sui-scores-ten-pins-out-of-ten-for-business-leisure-transition/>

Η επιχείρηση “Drap og” Design έχει αναπτύξει ένα καινοτόμο σακάκι το οποίο καλείται “chameleon”. Η κύρια δυνατότητα του είναι να προσαρμόζει το χρώμα του με βάση τα χρώματα που αγγίζει ο χρήστης και αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση ενός αισθητήρα χρώματος. Αυτή η εντυπωσιακή ιδιότητα του ελέγχεται από διάταξη μικροελεγχτή “Arduino” και με την ενεργοποίηση των “led” φωτίζουν τα αντίστοιχα χρώματα. Προηγμένο προϊόν της έξυπνης ένδυσης εξίσου καλείται το φόρεμα “Jellyfish” σχεδιασμένο από τον “Richard Nicoll” όπου είναι εμπνευσμένο από τη φωτεινότητα των μεδουσών. Η ενσωμάτωση των οπτικών ινών στο ύφασμα καθιστούν την εξέλιξη της μόδας στην οπτική φύση. Διάφορα είδη ρούχων που προσαρμόζουν το χρώμα τους ανάλογα των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι και τα ρούχα της σχεδιάστριας “Lauren Bowker”. Αυτά τα είδη ρούχων περιλαμβάνουν ενσωματωμένο αισθητήρα ποιότητας του αέρα ο οποίος είναι ένα ειδικό μελάνι που αλλάζει το χρώμα αντιδρώντας στις μεταβολές της ποιότητας του αέρα. Η συνδρομή της σχεδιάστριας “Pauline van Dongen” για την έξυπνη ένδυση υπόσχεται πληθώρα εφαρμογών στην καθημερινότητα του κόσμου, καθώς το δημιουργικό της έργο περιλαμβάνει τα “wearable” ηλιακά φορέματα. Όπως έχει κατανοηθεί η συλλογή της ηλιακής ενέργειας στα έξυπνα υφάσματα εκτός από μια φιλική λύση προς το περιβάλλον αποτελεί και ένα σημαντικό μέρος για την τροφοδότηση των ενσωματωμένων ηλεκτρικών συσκευών.



Εικόνα 51: φόρεμα “Jellyfish”. (<https://whereiseefashion.tumblr.com/>)

Επιπλέον μία “start up” εταιρία με το όνομα “Wear It Berlin GmbH” έχει κινήσει το ενδιαφέρον στην αγορά λόγω της δημιουργίας του “boltware”. Όπου λόγω των ιδιοτήτων αυτής της τεχνολογίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε καθημερινή βάση στην εργασία, στα αθλήματα και στην μόδα. Το σύστημα Boltware μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορα είδη ένδυσης όπως παπούτσια, μπουφάν, παντελόνια και πολλά άλλα με σκοπό την αξιόπιστη παρακολούθηση διάφορων παραμέτρων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία περιλαμβάνει διάφορους αισθητήρες όπως τους αισθητήρες αφής και τους αισθητήρες κίνησης, στοχεύοντας έτσι στην αποκατάσταση της ασφάλειας του χρήστη σε δύσκολες συνθήκες εργασίας ή σε επικίνδυνα περιβάλλοντα.

3.5 Έξυπνα ενδύματα στο πυροσβεστικό σώμα και μέτρα ατομικής προστασίας

Ο κλάδος της κλωστοϋφαντουργίας σε συνδυασμό με την νανοτεχνολογία έχει επιτρέψει στην επιστημονική κοινότητα να μπορεί να διερευνά και να δημιουργεί προηγμένα νήματα, ώσπου να βελτιώνονται οι πρακτικές εφαρμογές τους. Καθοριστικό ρόλο έχουν τα ευφυή υφάσματα στην κατασκευή καινοτόμων μέτρων ατομικής προστασίας, καθώς αξιοποιώντας τις χρήσιμες ιδιότητες τους προσδίδουν τα απαραίτητα στοιχεία για την εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας των ΜΑΠ. Ο κύριος στόχος των ΜΑΠ είναι η επικράτηση της ασφάλειας του εργαζομένου κάτω από αντίξοες εργασιακές συνθήκες και κατά συνέπεια η βελτίωση της απόδοσης του εργαζομένου. Τα ΜΑΠ εφαρμόζονται υποχρεωτικά σε αρκετούς κλάδους. Μερικοί από αυτούς είναι τα σώματα ασφαλείας όπως η αστυνομία ή ο στρατός, η πυροσβεστική, ο κλάδος της υγείας και σε εργασίες κατασκευής. Οι διαφορετικές ανάγκες στα μέτρα ατομικής προστασίας είναι μια πρόκληση για τους ερευνητές, καθώς κάθε τομέας έχει διαφορετικές απαιτήσεις από τους άλλους και έτσι απαιτείται ειδικός σχηματισμός ΜΑΠ για την κάθε περίπτωση.

Όπως προηγουμένως επισημάνθηκε ο κοινός στόχος των έξυπνων ενδυμάτων στους τομείς του αθλητισμού και της υγειονομικής περίθαλψης, έτσι συμβαίνει και στα ΜΑΠ παρακολουθώντας τα βιομετρικά δεδομένα του εργαζόμενου. Ωστόσο δεν είναι μόνο αυτός ο σκοπός τους και υπάρχουν περιπτώσεις εφαρμογών όπου απαιτούνται περισσότερες λειτουργίες από τις συνήθεις. Η έξυπνη ένδυση συμβάλλει σε πολλές εφαρμογές των ΜΑΠ μετατρέποντας τα σε έξυπνα πολύ-λειτουργικά ΜΑΠ με εντυπωσιακές δυνατότητες. Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των έξυπνων ΜΑΠ αφορά το πυροσβεστικό σώμα, καθώς πρόκειται για σκληρές συνθήκες εργασίας αποτελούμενες από πύρινα μέτωπα, υψηλές τιμές της θερμοκρασίας και επιβλαβή αέρια. Για αυτό τον λόγο η απαίτηση για αξιόπιστα έξυπνα ΜΑΠ είναι αναγκαία, καθώς είναι ζωτικής σημασίας για την υγεία των μελών του πυροσβεστικού σώματος. Στον πυροσβεστικό εξοπλισμό βρίσκονται διάφοροι αισθητήρες ενσωματωμένοι στην στολή που φορούν οι πυροσβέστες. Οι απαραίτητοι αισθητήρες για την πλήρη εξασφάλιση της ασφάλειας είναι οι αισθητήρες οξυγόνου, όπου ανιχνεύουν τα επίπεδα οξυγόνου στο περιβάλλον στο οποίο καλείται ο πυροσβέστης να επέμβει και οι αισθητήρες για την παρακολούθηση της τοποθεσίας των μελών του πυροσβεστικού σώματος ώστε να επιτυγχάνεται η βελτίωση της οργάνωσης.

Επίσης, η φωτονική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί μέσω των έξυπνων υφασμάτων είναι ικανή να συνδράμει στην ορατότητα των πυροσβεστών που συχνά έρχονται αντιμέτωποι με τις μάζες καπνού. Συνήθως για την αντοχή ενάντια στο υψηλό θερμικό φορτίο αξιοποιούνται οι ίνες “Nomex” και ο πολυεστέρας “FR”. Με βάση την ρύθμιση της θερμοκρασίας τα έξυπνα υφάσματα στον εξοπλισμό των πυροσβεστών ταξινομούνται σε 2 κατηγορίες, στα υφάσματα θερμικής απόκρισης (TRT) τα οποία βρίσκουν πολύτιμη χρήση στην πυροπροστασία και στα υφάσματα ενεργού ψύξης (ACT) όπου μπορούν να συγκρατούν τα επίπεδα ψύξης απορροφώντας θερμότητα από το περιβάλλον και από το σώμα του χρήστη. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ενσωμάτωσης υλικών αλλαγής φάσης (PCM) στα προστατευτικά ρούχα των πυροσβεστών, κατά τα οποία μπορούν να αλλάζουν τις φάσεις τους χωρίς την μεταβολή της θερμοκρασίας. Πρακτική εφαρμογή αποτελούν τα γιλέκα (PCM) τα οποία φοριούνται πάνω από τις στολές των πυροσβεστών και είναι ικανά να ρυθμίζουν την θερμοκρασία ανακουφίζοντας τον χρήστη από το θερμικό φορτίο.



Εικόνα 52: Πυροσβεστικός εξοπλισμός με ίνες “NOMEX”.

<https://www.dupont.com/what-is-nomex.html>



Εικόνα 53: Γιλέκα (PCM).

<https://huskmedical.com/en/p/pcm-coolover-cooling-vest>

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή όπου η έξυπνη ένδυση συμβάλλει στα ΜΑΠ του πυροσβεστικού σώματος είναι το σύστημα “ProFiTex” όπου περιλαμβάνει ένα πολύ-λειτουργικό μπουφάν με ενσωματωμένους αισθητήρες υπέρυθρων ακτίνων για τον εντοπισμό και την ενημέρωση της πυρκαγιάς. Επίσης το σύστημα ProFiTex παρέχει άμεση επικοινωνία με το κέντρο διοίκησης μέσω ενός πλεγμένου σχοινιού, ωστόσο το πλεγμένο σχοινί είναι δυνατόν να συνδέεται με ασύρματη τεχνολογία. Η εταιρία “Viking Firefighting” έχει σχεδιάσει γιλέκο που λειτουργεί ως μέσω επικοινωνίας με τους άλλους πυροσβέστες εξαιτίας της αξιοποίησης αισθητήριων και εκπομπών Led κατά τον εντοπισμό κάποιου κινδύνου. Με το ίδιο σκοπό έχει σχεδιαστεί γιλέκο τύπου έξυπνου ΜΑΠ από την “Tecknisolar Seni” ως μέσω ειδοποίησης για πιθανούς κινδύνους. Επιπλέον συστήματα επικοινωνίας “PHAZER-Net” και “WASP” έχουν αναπτυχθεί για την έγκαιρη παρακολούθηση της φυσικής κατάστασης του πυροσβέστη κατάσβεσης. Με την χρησιμότητα της τεχνητής νοημοσύνης, της βαθιάς μάθησης και της εικονικής πραγματικότητας είναι αξιόλογο να διαπιστωθούν τα πλεονεκτήματα των εκάστοτε επιστήμων, καθώς με την αξιοποίηση της έξυπνης ένδυσης είναι δυνατόν η επεξεργασία σημαντικών δεδομένων για την εξέλιξη της πυρκαγιάς και έπειτα αυτά τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν μέσω συστημάτων VR(*Virtual Reality*) ή AR(*Augmented Reality*). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται προσομοιώσεις για την εκπαίδευση των πυροσβεστών σε ασφαλές περιβάλλον.

Η χρήση έξυπνων ΜΑΠ στο υγειονομικό σώμα είναι καθοριστική για την αντιμετώπιση της μετάδοσης των μικροβίων. Οι αισθητήρες αφής και βακτηρίων συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη υγειονομική περιθαλψη των ασθενών εξασφαλίζοντας ασφάλεια στους γιατρούς και το προσωπικό. Ωστόσο, κατά την χρήση ΜΑΠ από το υγειονομικό σώμα έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της υπερθέρμανσης όπου αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για την άνεση του γιατρού εν ώρα εργασίας. Για την αντιμετώπιση της υπερθερμίας υπάρχουν ειδικά γιλέκα ψύξης όπου λειτουργούν με σύστημα αρνητικής πίεσης ώστε να επιτευχθεί η πτώση της θερμοκρασίας κατά την χρήση. Προηγμένο εξοπλισμό ατομικής προστασίας αποτελούν οι προστατευτικές μάσκες διότι εκτός του φιλτραρίσματος των αέριων σωματιδίων μπορούν χάρη της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών συστημάτων στα έξυπνα υφάσματα να εκτιμήσουν την ποιότητα του αέρα και να ανταποκρίνονται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Με την εξέλιξη των έξυπνων υφασμάτων μέσω της προστατευτικής μάσκας είναι δυνατή η μέτρηση βιομετρικών σημάτων του χρήστη αλλά και τελικά η διάγνωση των ασθενειών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο “COVID-19” όπως έχει αναφερθεί στην προκειμένη διατριβή στις αντιβακτηριακές ιδιότητες των υφασμάτων. Επιπλέον είναι υψηλής σημασίας η χρήση βιώσιμων υλικών σε μάσκες προστασίας όπως το πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο (PDMS) και το πολυκλιμακωτό πορώδες πολυστυρένιο-μπλοκ-πολυ(αιθυλένιο-ραν-βουτυλένιο)-μπλοκ-πολυστυρένιο (SEBS). Αυτά τα υλικά καθιστούν την μάσκα ως ένα πολυλειτουργικό προϊόν, φιλικό προς το περιβάλλον, άνετο ως προς τον χρήστη και αποτελεσματικό κατά την λειτουργία των αισθητήρων.

3.6 Προηγμένα υφάσματα και εφαρμογή των ΜΑΠ στα σώματα ασφαλείας του στρατού και της αστυνομίας

Καθώς έχει τονιστεί το πώς επιδρά η κλωστοϋφαντουργία στην ανάπτυξη προηγμένων μέτρων ατομικής προστασίας στις μέρες μας ,δεν πρέπει να παραλειφθεί το γεγονός ότι συμμετέχει ως κύριο μέσο για την παραγωγή εξοπλισμού για τα σώματα ασφαλείας. Ειδικότερα ,αναφέροντας στην στρατιωτική κρίση κατά την πάροδο των χρόνων και στα γεγονότα που απασχολούν τα τελευταία χρόνια το διεθνή προσκήνιο ,γίνεται αντιληπτό το πόσο σημαντικό είναι να επιτευχθεί ο μετριασμός των απωλειών στα πεδία της μάχης. Η Αξιοποίηση των έξυπνων υφασμάτων για την δημιουργία προστατευτικού εξοπλισμού συμβάλλει στην βελτίωση της απόδοσης των ΜΑΠ. Κατά συνέπεια τα έξυπνα μέτρα ατομικής προστασίας εκτός από την ασφάλεια καθορίζουν και την αποτελεσματικότητα των στρατιωτών στα μέτωπα της μάχης. Επίσης με τη εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επηρεαστεί και το είδος των πυρομαχικών που χρησιμοποιούνται κατά τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Παλιότερα η βασική ζημιά που προκαλούσε τους μαχόμενους προερχόταν από τις σφαίρες των όπλων και τα ΜΑΠ ήταν προσαρμοσμένα με αυτές τις απαιτήσεις . Ωστόσο πλέον έχει εδραιωθεί το είδος των πυρομαχικών με την προηγμένη τεχνολογία που αφορά διάφορους ενσωματωμένους αισθητήρες καθώς, και τα συστήματα κατεύθυνσης.

Τα λεγόμενα θερμικά πυρομαχικά αποτελούνται από προηγμένα όπλα τα οποία λειτουργούν με την θερμική ακτινοβολία και μπορούν να ανιχνεύσουν τον στόχο λόγω της θερμότητας. Κατά αυτόν τον λόγο τα προηγμένα υφάσματα με τις πλούσιες ιδιότητες τους πλέον μπορούν να προσαρμόζουν ειδικά ΜΑΠ με στόχο την ασφάλεια των στρατιωτών. Για παράδειγμα τα πιο συνήθη είδη προστατευτικών μέσων στις μέρες μας ,όπου ο κύριος σκοπός τους είναι η προστασία κατά των φυσικών απειλών είναι τα κράνη , τα αλεξίσφαιρα είδη εξοπλισμού και οι αντιακρηκτικές πανοπλίες όπου κατά τις εκρήξεις απορροφούν την ενέργεια της έκρηξης χάρη στην ενσωμάτωση των έξυπνων υφασμάτων με διάφορες στρώσεις, καθώς μπορούν να μειώνουν την πίεση των εκρήξεων που δέχεται ο στρατιώτης. Όσο αφορά απειλές στο πεδίο της μάχης λόγω χημικών, πυρηνικών και βιολογικών παραγόντων απαιτείται η βραχυπρόθεσμη εξέλιξη των ΜΑΠ καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την δημιουργία νέων υπερσύγχρονων όπλων. Επικρατέστερα είδη ΜΑΠ σε παρόμοιες περιπτώσεις είναι οι μάσκες αερίων ,ωτοασπίδες για την προστασία από τον θόρυβο ,ειδικά γυαλιά όπου μπορούν να απορροφούν την ακτινοβολία του λέιζερ και εξειδικευμένα ρούχα τα οποία με την ενσωμάτωση των έξυπνων ενδυμάτων μπορούν να ανιχνεύουν την ακτινοβολία προστατεύοντας από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται.

Όπως μπορεί κανείς να αντιληφθεί εύκολα η ανάπτυξη πολύ-λειτουργικών μέτρων ατομικής προστασίας είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των στρατιωτών και πλέον λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της επιστήμης των όπλων αποτελεί μονόδρομη λύση για την μείωση της επικινδυνότητας στο πεδίο της μάχης. Εκτός από το στρατιωτικό προστατευτικό εξοπλισμό τα έξυπνα ΜΑΠ

μπορούν να επωφεληθούν και στο σώμα της αστυνομίας. Με την αύξηση των φαινομένων της εγκληματικότητας σε παγκόσμιο επίπεδο σε αστικά και μη κέντρα, επικαλείται η ανάγκη για εφαρμογή προηγμένων προστατευτικών εξοπλισμών ενσωματώνοντας την έξυπνη ένδυση.

3.7 Προηγμένος εξοπλισμός στο στρατό

Με την πάροδο των χρόνων και την παράλληλη κορύφωση της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν ολοκληρωμένα προηγμένα συστήματα προστασίας για το στρατό. Η ενσωμάτωση του διαδικτύου των πραγμάτων σε αυτά τα συστήματα συμβάλλει στην βελτίωση των δυνατοτήτων των στρατιωτών, καθώς και στην μετάδοση της πληροφορίας κατά την μάχη. Η ικανότητα της αυτονομίας βασισμένη στα ευφυή συστήματα της τεχνητής νοημοσύνης και η ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ,καθιστούν δυνατή την παρακολούθηση των εχθρικών ενεργειών προβλέποντας διάφορες πιθανές κινήσεις τους. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας αυτής συμβάλλει αμοιβαία στην λήψη καθοριστικών αποφάσεων στο πεδίο της μάχης με σκοπό την απόδοση και την ασφάλεια των στρατιωτών. Η πρώτη αναφορά για αυτά τα προηγμένα συστήματα προστασίας ήταν από τον αμερικάνικο στρατό στα τέλη του 20^{ου} αιώνα.

Το λεγόμενο προστατευτικό σύστημα “SIPE” καλύπτει αποτελεσματικά την σωματική προστασία από φυσικές ,χημικές ,πυρηνικές απειλές αλλά μπορεί να διαθέσει και συστήματα όπου είναι σε θέση να αντιμετωπίζουν ηλεκτρονικές εχθρικές επιθέσεις. Κατά την ενσωμάτωση μικρό-ηλεκτρονικών συστημάτων όπως αισθητήρες και συσκευές επικοινωνίας στον εξοπλισμό των στρατιωτών επιτυγχάνεται η ασφαλής μετάδοση των δεδομένων. Επίσης με την σύνδεση των ολοκληρωμένων συστημάτων προστασίας “SIPE” στο πεδίο της μάχης βελτιώνεται αποτελεσματικά η επικοινωνία μεταξύ του στρατιωτικού σώματος ανιχνεύοντας και παρακολουθώντας την κατάσταση του κάθε στρατιώτη.

Με αφορμή της στρατιωτικής επανάστασης χάρη στο “SIPE” και άλλες χώρες εξέλιξαν τα δικά τους συστήματα προστασίας με την Γερμανία να ακολουθεί ,αξιοποιώντας το σύστημα “IDZ-ES” κατά το οποίο εκτός της προηγμένης πανοπλίας που διαθέτει επικεντρώνεται στο επικοινωνιακό σύστημα “C4I” .Το συγκεκριμένο σύστημα συμβάλλει στην διοίκηση του στρατού για την λήψη αποφάσεων και μπορεί να συνδυαστεί με δορυφορικές επικοινωνίες ,ασφαλή δίκτυα και συστήματα μετάδοσης δεδομένων ενσωματώνοντας μονάδες επεξεργασίας στον εξοπλισμό των στρατιωτών. Ωστόσο παρόμοιο σύστημα ανέπτυξε η Γαλλία όπου αποκαλείται “FELIN” και ακολούθησε η Ρωσία με το λεγόμενο “Ratnik-3”.Το προστατευτικό σύστημα “Ratnik-3” αποδίδει ένα αρκετά βελτιωμένο σύστημα προστασίας του στρατιώτη λόγω της διάθεσης ενός φορητού συστήματος υποστήριξης όπου μειώνει τον κόπο και βοηθά την φυσική κατάσταση του χρήστη την ώρα της

στρατιωτικής επιχείρησης. Αυτό το φορητό εξωσκελετικό σύστημα διαθέτει δυνατότητες τηλεμετρίας καθώς είναι καθοριστική η συμβολή των έξυπνων ενδυμάτων που εξοπλίζεται ο στρατιώτης με κύριο σκοπό η παρακολούθηση της υγείας του σε πραγματικό χρόνο. Όμως είναι κρίσιμο τα ολοκληρωμένα συστήματα προστασίας να διαθέτουν όσο το δυνατόν ελαφρύ εξοπλισμό για την άνεση και την αποτελεσματικότητα του χρήστη. Αρκετά ελαφρύτερο εξοπλισμό προστασίας αποτελεί το λεγόμενο “TEP” (Torso and Extremities Protection) όπου το συγκεκριμένο σύστημα προστασίας μπορεί να ενσωματωθεί με προηγμένες τεχνολογίες.



Εικόνα 54: Τα δημοφιλή ολοκληρωμένα προστατευτικά συστήματα.

(<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214914722002719-gr1.jpg>)



Εικόνα 55:Ratnik-3.

[\(https://www.smartmash.net/2017/11/05/russia-militarys-latest-warfare-suit-ratnik-3-project/](https://www.smartmash.net/2017/11/05/russia-militarys-latest-warfare-suit-ratnik-3-project/)

Γενικά από το παρελθόν , για την αποτροπή της ζημιάς από πυρομαχικά μηχανικών μέσων αξιοποιείται η τεχνολογία της αντισφαιρικής θωράκισης. Τα αλεξίσφαιρα γιλέκα κατά την δομή τους αποτελούνται από πολλά στρώματα και αυτό για να επιτευχθεί αποτελεσματική αντίσταση στην κρούση. Με την εξέλιξη της κλωστοϋφαντουργίας και της ανάπτυξης προηγμένων ινών τα αλεξίσφαιρα γιλέκα έχουν υποστεί σημαντική βελτίωση όπου τα πιο συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται έως και σήμερα είναι το “Kevlar”,το πολυαιθυλένιο υπέρ υψηλού μοριακού βάρους πυκνότητας “polyethylene UHMWPE” και το “Poly-p-phenylene benzobisoxazole (PBO)” .Οι ίνες “Kevlar” ή αλλιώς το αραμίδιο αποτελεί συνθετική ίνα και συγκεκριμένα ταξινομείται στις οργανικές ίνες. Αυτή η ιδιαίτερη συνθετική ίνα έχει εισαχθεί στον κόσμο της κλωστοϋφαντουργίας από την δεκαετία του 1960 με 1970 χάρη στην εταιρία της “DuPont”. Το “Kevlar” έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή στις κρούσεις και την θερμότητα. Μια από αυτές τις εφαρμογές είναι τα αλεξίσφαιρα γιλέκα όπου η συνθετική ίνα ενσωματώνεται στα μαλακά στρώματα και προσδίδει υψηλή βαλλιστική αντοχή.



Εικόνα 56: "Kevlar".

(<https://www.mimowork.com/uploads/kevlar-fiber/>)

Η ίνα "polyethylene UHMWPE" αποτελεί μια συνθετική ισχυρή ίνα καθώς είναι γνωστή για την υψηλή αντοχή και την ελαστικότητα της. Παρήχθη από την "United Signal Corporation" το 1986 με στόχο την βελτίωση της βαλλιστικής αντοχής στο στρατιωτικό εξοπλισμό. Βέβαια, σε σύγκριση με το "Kevlar" έχει υψηλότερη αντοχή στις κρούσεις αλλά λιγότερη θερμική αντοχή. Το "Polybenzoate (PBO)" αποτελεί μια πανίσχυρη οργανική ίνα όπου έχει υψηλή αντοχή στην θερμότητα και αξιοποιείται σε μερικά είδη προστασίας. Ωστόσο λόγω της ευαισθησίας του στο φως και στη επαφή με οξέα αποδυναμώνονται οι ιδιότητες του και έτσι η χρήση του σε εφαρμογές περιορίζεται. Όσον αφορά τον προστατευτικό εξοπλισμό με πολλά επίπεδα σκληρών ινών, παρέχεται υψηλότερος βαθμός προστασίας σε σχέση με τις μαλακές στρώσεις. Συνήθως ο σκληρός προστατευτικός εξοπλισμός αποτελείται από αντισφαιρικά κράνη, αντιβαλλιστικές πλάκες και μάσκες όπου έχουν δομηθεί από κεραμικά υλικά και ρητίνες.

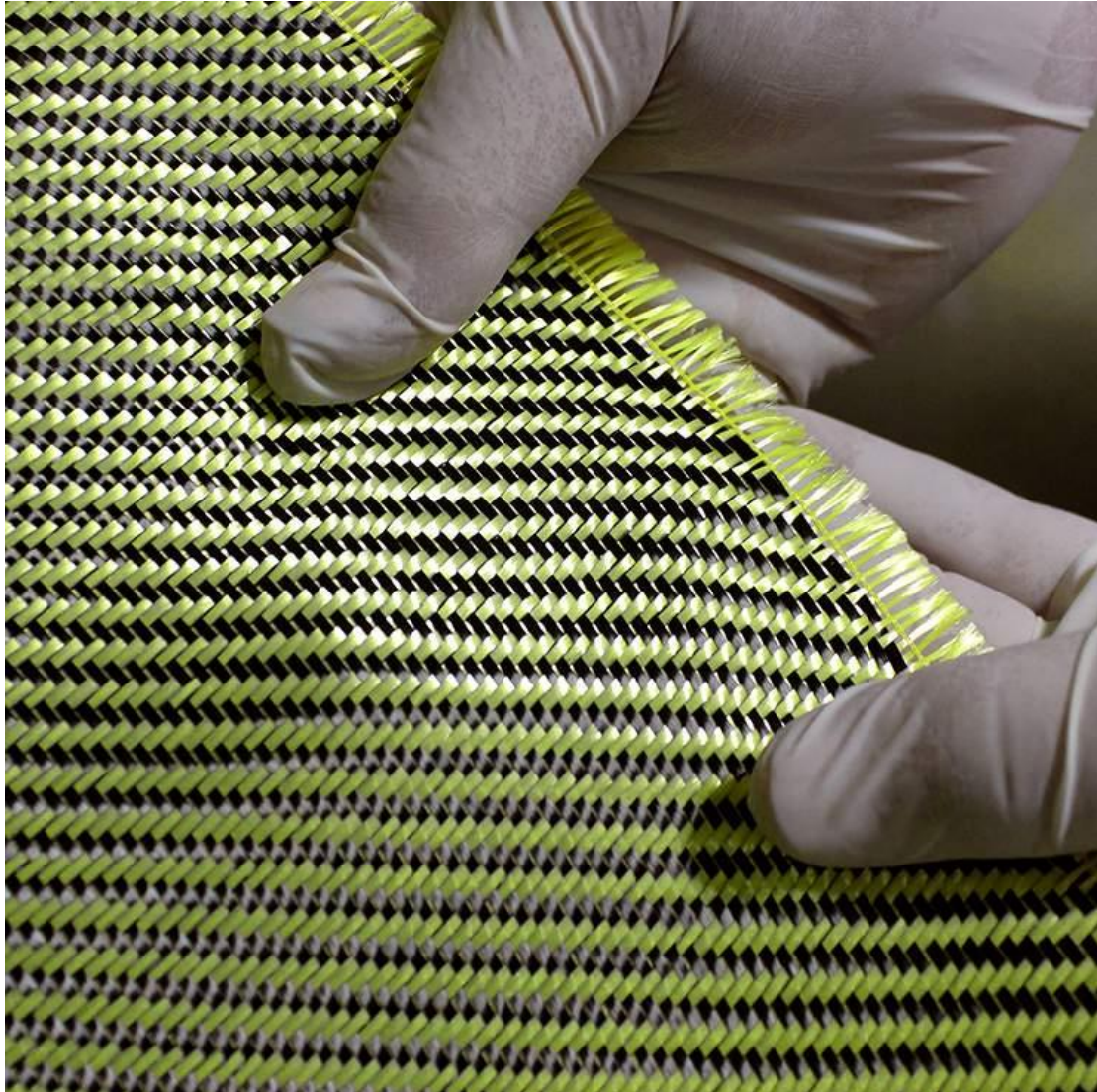


Εικόνα 57: Αλεξίσφαιρο γιλέκο “polyethylene UHMWPE”.

<https://i.ebayimg.com/images/g/KJsAAOSwGfVel3WD/s-l1200.webp>

Επιπλέον έκπληξη έχει προκαλέσει η ενσωμάτωση νανοϊνών άνθρακα στα υλικά θωράκισης, καθώς έχει παρατηρηθεί ικανοποιητική βελτίωση της αντοχής στην κρούση και της δυνατότητας απορρόφησης ενέργειας. Οι νανοσωλήνες άνθρακα “CNT” όπως έχει προαναφερθεί δομούνται σε μορφή σύρματος και τα άτομα άνθρακα συγκρατούνται με ομοιοπολικούς δεσμούς “sp²” και “sp³”. Οι νανοϊνες άνθρακα συνήθως συνδυάζονται με τα πολυμερή “Kevlar”, “PBO” και το πολυαιθυλένιο, προσδίδοντας υψηλότερη αντοχή στο αλεξίσφαιρο γιλέκο αλλά και την δυνατότητα απορρόφησης της μηχανικής ενέργειας των κρούσεων. Ακόμη, τα “CNT” μπορούν να συντεθούν με το γραφένιο

δημιουργώντας ισχυρότερες στρώσεις από τα συνήθη πολυμερή και κάνοντας τον προστατευτικό εξοπλισμό ελαφρύτερο.



Εικόνα 58 “kevlar” με ενσωμάτωση ινών άνθρακα.

(<https://www.easycomposites.co.uk/210g-31-twill-carbon-kevlar-cloth>)

Ο συνδυασμός νανοσωματιδίων με “STF” (Διατμητικό υγρό πάχυνσης) φέρει προηγμένες λύσεις για την βαλλιστική αντοχή. Η ενσωμάτωση του στα υφάσματα προσδίδει υψηλή προστασία καθώς όταν δέχεται κρούση το υγρό σκληραίνει και μετατρέπεται σε στερεή μορφή. Με την κίνηση νανοσωματιδίων σιδήρου μέσα σε ειδικό παχύρευστο υγρό είναι δυνατή η μεταβολή του υγρού σε στερεή μορφή κατά τους πυροβολισμούς. Η προηγμένη τεχνολογία του “MR” (μαγνητο-ρεολογικό ρευστό) ενσωματώνεται στα υλικά θωράκισης ενεργοποιώντας το μαγνητικού πεδίο μέσω αισθητήρων και πηνίων με αποτέλεσμα τα νανοσωματίδια να αντιδρούν. Αντιδρώντας μειώνεται η ροή του ρευστού και τελικά σκληραίνει.

Άλλη μια προηγμένη τεχνολογία όσον αφορά τον προστατευτικό εξοπλισμό στο στρατό είναι το καινοτόμο σύστημα προστασίας κεφαλής “Integrated Head Protection System (IHPS)”. Η συγκεκριμένη τεχνολογία προσδίδει ένα ειδικό κράνος στον χρήστη με στόχο να παρέχει προστασία και άνεση. Στο προστατευτικό κράνος αυτό σημαντικός παράγοντας είναι , η ενσωμάτωση των νάνο-υλικών , δίνοντας έτσι έμφαση στην βελτίωση της βαλλιστικής αντοχής και στην επιβιωσιμότητα. Ωστόσο ένας τρόπος για την αποφυγή τυχαίων τραυματισμών από κάποιο σύμμαχο είναι η ενσωμάτωση των έξυπνων οπτικών ινών στο εξοπλισμό του στρατιώτη ,ανιχνεύοντας έτσι τα οπτικά σήματα από τους συμμάχους μέσω των αισθητήρων του υφάσματος.

Καθώς έχει γίνει αναφορά στα εξωσκελετικά συστήματα εκτός τους ηλεκτροκίνητους τύπους εξωσκέλετων υπάρχει και ο εξωσκελετός με ενσωμάτωση νανο-ίνων άνθρακα. Η αξιοποίηση των έξυπνων ινών άνθρακα συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός πιο αποτελεσματικού εξοπλισμού, σχηματίζοντας κάτι ελαφρύ και ανθεκτικό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τέτοιες περιπτώσεις αποτελεί ο καινοτόμος στρατιωτικός εξωσκελετός “UPRISE” της εταιρίας “MAWASHI CANADA”.



Εικόνα 59: εξωσκελετός “UPRISE”.

<https://www.popularairsoft.com/mawashi-uprise-exoskeleton-design-inspired-sumo-wrestlers>

Επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η αξιοποίηση των οργανικών φωτοβολταϊκών (“OPV”) ενσωματώνοντας τις ηλιακές κυψέλες στα υφάσματα με στόχο την απεξάρτηση από μπαταρίες. Με αυτόν τον τρόπο ο προστατευτικός εξοπλισμός καθίσταται πιο ελαφρύς και αποδοτικός. Αντιπροσωπευτικό προϊόν αποτελούν οι οργανικές φωτοβολταϊκές συσκευές από Ιάπωνες επιστήμονες χρησιμοποιώντας το υλικό “PNTz4T” ,κατά το οποίο συμβάλλει στην μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική. Όμως ιδιαίτερη σημασία έχει το πώς αποθηκεύεται αυτή η ενέργεια όταν συλλέγεται.

Με την αξιοποίηση των χρήσιμων ιδιοτήτων που παρέχουν τα έξυπνα υλικά όπως η ενσωμάτωση του γραφένιου με νανοϊνες είναι δυνατή η ανάπτυξη υπερπυκνωτών στις στολές των στρατιωτών. Βασικός στόχος αυτών των καινοτόμων τεχνολογιών είναι η μείωση του φορτίου που αισθάνεται ο στρατιώτης αλλά και η παροχή ενέργειας.

Τα ευφυή υφάσματα παρέχουν συνεχώς βελτιωμένους μηχανισμούς ως προς τον στρατιώτη. Κάποια παραδείγματα από αυτούς τους μηχανισμούς είναι η προστασία από επικίνδυνες περιβαλλοντικές συνθήκες, η ανίχνευση τυχόν τραυματισμών και η αυτόματη ρύθμιση θερμοκρασίας του σώματος. Συγκεκριμένα στην αγορά έχουν κινήσει το ενδιαφέρον αρκετά έξυπνα ενδύματα που μπορούν να ανταπεξέλθουν στις παραπάνω απαιτήσεις. Ένα από αυτά είναι το Γαλλικό ένδυμα “CLIM 8” όπου είναι πλήρως αποδοτικό κατά την παρακολούθηση και αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος των στρατιωτών. Με παρόμοια λειτουργία ενεργούν τα έξυπνα εσώρουχα με ενσωματωμένες ίνες από ασημί της “WarmX”. Διάφοροι άλλοι μηχανισμοί είναι η προσαρμογή του χρώματος των στολών μάχης με βάση το περιβάλλον. Η τεχνολογία τύπου καμουφλάζ βασίζεται στις έξυπνες ίνες και σε πολυμερή που τα οποία μπορούν να αλλάζουν τις φυσικές ιδιότητές τους ανάλογα το περιβάλλον.



Εικόνα 60 : “CLIM 8”

[.https://www.techtera.org/en/news/clim8-development-in-europe-and-a-partnership-with-ixs/](https://www.techtera.org/en/news/clim8-development-in-europe-and-a-partnership-with-ixs/)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την συγγραφή της παρούσας διατριβής αναλύθηκαν οι βασικές ιδιότητες των έξυπνων υφασμάτων και αρκετές εφαρμογές τους. Έχει σημασία να κατανοηθεί το πόσο χρήσιμα είναι για μας τα ευφυή υφάσματα και το πόσο αναγκαίο είναι η μετεξέλιξη τους. Συμπεραίνοντας από τις απαιτήσεις του καθημερινού βίου σε διάφορους κλάδους όπως η εργασία, ψυχαγωγία, η ενδυμασία, μπορεί κανείς να καταλάβει το πόσο θετικά επιδρά η επιστήμη των ινών στην καθημερινότητά μας. Η συμβολή των ενσωματωμένων συστημάτων και του διαδικτύου των πραγμάτων καθιστούν τα υφάσματα έξυπνα με επιπρόσθετες λειτουργίες ικανές να εξασφαλίσουν ένα ποιοτικότερο μέλλον στην επιστήμη της κλωστοϋφαντουργίας. Καθώς ,οι τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης έχουν κατακλύσει πρόσφατα τον κόσμο των έξυπνων υφασμάτων, αναμένεται να διαφοροποιηθεί ο τρόπος αλληλεπίδρασης των υφασμάτων στο μέλλον. Τέλος πέρα από τους διάφορους τομείς όπου εφαρμόζονται τα έξυπνα υφάσματα υπάρχει ανάγκη για την διασύνδεση αρκετών τομέων ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα ως λειτουργικό προϊόν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abhijit Majumdar, Deepti Gupta, Sanjay Gupta, & Springerlink (Online Service. (2019). *Functional Textiles and Clothing*. Springer Singapore.
2. Basodan, R. A. M., Park, B., & Chung, H.-J. (2021). Smart personal protective equipment (PPE): current PPE needs, opportunities for nanotechnology and e-textiles. *Flexible and Printed Electronics*, 6(4), 043004. <https://doi.org/10.1088/2058-8585/ac32a9>
3. Deng, P., Wang, Y., Yang, R., He, Z., Tan, Y., Chen, Z., Liu, J., & Li, T. (2023). Self-Powered Smart Textile Based on Dynamic Schottky Diode for Human-Machine Interactions. *Advanced Science*, 10(11). <https://doi.org/10.1002/adv.202207298>
4. Foroughi, J., Mitew, T., Ogunbona, P., Raad, R., & Safaei, F. (2016). Smart Fabrics and Networked Clothing: Recent developments in CNT-based fibers and their continual refinement. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(4), 105–111. <https://doi.org/10.1109/mce.2016.2590220>
5. Gong, Z., Xiang, Z., OuYang, X., Zhang, J., Lau, N., Zhou, J., & Chan, C. C. (2019). Wearable Fiber Optic Technology Based on Smart Textile: A Review. *Materials*, 12(20), 3311. <https://doi.org/10.3390/ma12203311>
6. Hasan, M. N.-U., & Stannard, C. R. (2022). Exploring online consumer reviews of wearable technology: The Owlet Smart Sock. *Research Journal of Textile and Apparel*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/rjta-08-2021-0103>
7. Hu, Q., Shen, X., Qian, X., Huang, G., & Yuan, M. (2022). The personal protective equipment (PPE) based on individual combat: A systematic review and trend analysis. *Defence Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.12.007>

LINKS EIKONΩN

1. <https://i0.wp.com/hyperallergic-newspack.s3.amazonaws.com/uploads/2021/10/Font-de-Gaume.jpg?fit=1200%2C803&quality=100&ssl=1>
2. https://www.in.gr/wp-content/uploads/2023/02/bambaki_2806.jpg
3. <https://shop.britishwool.org.uk/wp-content/uploads/2021/08/Wool-Hands-e1629368837332.jpg>
4. <https://www.amazon.de/-/en/GRC0008378LARGE/dp/B07CC3LFNX>
5. https://cepr.org/sites/default/files/styles/16_9_small/public/voxeu-cover-image/Hartmann_Maschinenhalle_1868_%252801%2529.jpg?itok=dxF3XNKc
6. <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0947/7524/files/spinning-jenny.jpg?v=1534773278>
7. <https://colossustex.com/wp-content/uploads/2019/05/Bamboo-Fibers.jpg>
8. <https://www.athinodromio.gr/%CF%8D%CF%86%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%BA%CE%AC%CE%BD%CE%BD%CE%B1%CE%B2%CE%B7/>
9. <https://news.mit.edu/sites/default/files/download/202005/MIT-Future-Fabrics-01-press.jpg>
10. https://hips.hearstapps.com/hmg-prod/images/6516565-1621284584.jpg?crop=0.631xw:0.383xh;0.369xw,0.153xh&resize=300:*
11. <https://dyoforum.gr/wp-content/uploads/2018/07/nanotech.jpg>
12. <https://www.researchgate.net/publication/281278530/figure/fig1/AS:614372107907080@1523489133780/Onedimensionofananomaterial-should-be-in-the-1-100-nm-range-As-a-comparison-other.png>
13. <https://www.researchgate.net/publication/305662363/figure/fig9/AS:668713988677641@1536445247576/Schematic-view-of-electrospinning-process.png>
14. <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214860421001950-gr1.jpg>
15. <https://etextilewearables.com/wp-content/uploads/2023/02/Whats-the-difference-between-E-textiles-and-Smart-Textiles-scaled.jpg>

16. https://textiletoday.com.bd/storage/uploads/2015/03/clip_image002_0001.jpg
17. <https://sporttomorrow.com/4-awesome-reasons-why-smart-textiles-improve-athlete-performance/>
18. <https://www.textileblog.com/wp-content/uploads/2020/07/smart-textile.jpg>
19. https://news.mit.edu/sites/default/files/styles/news_article_image_gallery/public/images/201808/MIT-Fiber-Diodes-01_0.jpg?itok=IF8kthzd
20. https://pubs.acs.org/cms/10.1021/acssuschemeng.1c00695/asset/images/large/sc1c00695_0008.jpeg
21. <https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2016/06/10170642/gettyimages160380750.jpg?crop=4:3,smart&width=1200&height=900&upscale=true>
22. <https://images.newscientist.com/wp-content/uploads/2016/06/10170642/gettyimages-160380750.jpg?crop=4:3,smart&width=1200&height=900&upscale=true>
23. https://www.mdpi.com/polymers/polymers-12-02946/article_deploy/html/images/polymers-12-02946-g001.png
24. https://pub.mdpi-res.com/catalysts/catalysts-10-00804/article_deploy/html/images/catalysts-10-00804-g003.png?1602246575
25. <https://www.grandviewresearch.com/static/img/research/us-antimicrobial-medical-textiles-market.png>
26. https://www.tandfonline.com/action/showGraphicalAbstractImage?doi=10.1080%2F17518253.2020.1725149&id=tqcl_a_1725149_uf0001_oc.jpg
27. https://pubs.acs.org/cms/10.1021/acs.chas.1c00016/asset/images/acs.chas.1c00016.social.jpeg_v03
28. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8883169/>
29. <https://m.researching.cn/articles/OJa91d8676810a5c52/figureandtable>
30. <https://www.mdpi.com/2673-706X/2/1/6>
31. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285520301671>
32. https://www.researchgate.net/publication/328634831_The_Recent_Advance_in_Fiber_Shaped_Energy_Storage_Devices/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic

33. [https://www.researchgate.net/publication/234060294 Flexible fiber batteries for applications in smart textiles](https://www.researchgate.net/publication/234060294_Flexible_fiber_batteries_for_applications_in_smart_textiles)
34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468621002085>
35. [https://www.researchgate.net/publication/362597276 Washable and stretchable fiber with heat and ultraviolet color conversion/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/362597276_Washable_and_stretchable_fiber_with_heat_and_ultraviolet_color_conversion/figures?lo=1)
36. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285521001993>
37. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285523004111>
38. [https://www.researchgate.net/publication/351275929 Additive manufacturing of functionalized nanomaterials for the modern health care industry](https://www.researchgate.net/publication/351275929_Additive_manufacturing_of_functionalized_nanomaterials_for_the_modern_health_care_industry)
39. <https://www.murgitroyd.com/insights/patents/the-future-of-fabric-smart-textiles-and-patents>
40. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-15369-2>
41. <https://thegadgetflow.com/blog/sensoria/>
42. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/personal-protective-equipment-market-132681971.html>
43. <https://www.wareable.com/smart-clothing/nadi-x-yoga-billie-whitehouse-wearable-experiments-innovation-340>
44. <https://komodotec.com/ekg-monitor/>
45. <https://www.techradar.com/news/wearables/samsung-s-body-compass-covers-your-body-with-a-personal-trainer-1312744>
46. <https://www.pcmag.com/reviews/ralph-lauren-polotech-shirt>
47. <https://mobileimages.lowes.com/productimages/afbad3b0-33e8-4914-8d25-458ca626c60e/17186420.png>
48. <https://notsealed.com/heart-rate-monitor-sports-bra-smart-comfortable.html>
49. <https://news.samsungcnt.com/en/features/fashion/2016-10-strike-rogatis-smart-suit-scores-ten-pins-out-of-ten-for-business-leisure-transition/>
50. <https://whereiseefashion.tumblr.com/>
51. <https://www.dupont.com/what-is-nomex.html>
52. <https://huskmedical.com/en/p/pcm-coolover-cooling-vest>

53. <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2214914722002719-gr1.jpg>
54. <https://www.smartmash.net/2017/11/05/russia-militarys-latest-warfare-suit-ratnik-3-project/>
55. <https://www.mimowork.com/uploads/kevlar-fiber/>
56. <https://i.ebayimg.com/images/g/KJsAAOSwGfVeI3WD/s-l1200.webp>
57. <https://www.fibreglast.com/product/kevlar-carbon-hybrid-yellow-1065>
58. <https://www.popularairsoft.com/mawashi-uprise-exoskeleton-design-inspired-sumo-wrestlers>
59. <https://www.techtera.org/en/news/clim8-development-in-europe-and-a-partnership-with-ixs/>