

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΔΥΜΑΤΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



ΚΟΖΑΤΣΟΚ ΟΛΕΣΙΑ  
ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΠΙΡΙΜΕΝΤΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΔΥΜΑΤΑ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



PERSONAL PROTECTIVE CLOTHING  
WITH THE USE OF ELECTRONIC ELEMENTS

ΚΟΖΑΤΣΟΚ ΟΛΕΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ ΙΩΑΝΝΑ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΠΙΡΙΜΕΝΤΑΣ

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες ΟΛΕΣΙΑ ΚΟΖΑΤΣΟΚ του ΒΑΛΕΡΙΗ και ΙΩΑΝΝΑ ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, του ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, φοιτήτριες του Τμήματος **Κλωστοϋφαντουργών Μηχανικών Τ.Ε.** του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβουμε την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μας, δηλώνουμε ότι ενημερωθήκαμε για τα παρακάτω:

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

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

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

Οι Δηλούσες

  
ΚΟΖΑΤΣΟΚ ΟΛΕΣΙΑ

Σταυρούλου Ιωάννα



Ημερομηνία

29.11.2017

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστούμε θερμά τον καθηγητή μας Αντώνιο Πριμέντα, τους γονείς μας και όσους μας υποστήριξαν στην εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας...

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΣΥΝΟΨΗ</b>	<b>vi</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b>	<b>viii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>	<b>xii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>	<b>xii</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 ΣΚΟΠΟΣ	1
1.2 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ	1
1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	2
1.4 ΦΟΡΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	3
<b>2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>4</b>
2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (SENSORS)	4
2.1.1 Αισθητήρες μέτρησης ρυθμού αναπνοής	5
2.1.2 Αισθητήρες και συστήματα καταγραφής ανθρώπινης δραστηριότητας	7
2.1.3 Εύκαμπτοι αισθητήρες (Flexible Sensors)	8
2.1.4 Αισθητήρες πίεσης	10
2.1.5 Αισθητήρες θερμοκρασίας	11
2.1.7 Βιοχημικοί αισθητήρες	16
2.1.8 Ασύρματοι αισθητήρες	17
2.1.9 Αισθητήρες με χρήση υπερήχων	18
2.1.10 Αισθητήρες Time-of-Flight	19
2.1.11 Αισθητήρες ανίχνευσης αερίων (Gas Sensors)	19
2.2 TEXTRONICS	21
2.2.1 Εφαρμογές των TEXTRONICS	22
2.2.2 Μαγνητικές Ίνες Κυτταρίνης και η Εφαρμογή τους στα Textronics	23
2.2.3 Τα Βασικά Προβλήματα των Textronics	23
2.3 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ - ACTUATORS	24
2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΜΙΚΡΟΪΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ - SINGLE BOARD COMPUTER	25
2.5 ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	25
2.6 ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ (ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ)	26
2.7 ΚΕΡΑΙΕΣ	26
2.7.1 Προδιαγραφές και υλικά κεραιών	27
2.7.2 Κατηγορίες κεραιών	29
2.7.3 Προβλήματα κατά την εφαρμογή δύναμης	32

2.7.4	<i>Αντοχές κεραιών με αγώγιμα μελάνια (μέθοδος SCREEN PRINT) στο πλύσιμο</i>	32
2.7.5	<i>Δομή υφάσματος για την κατασκευή κεραίας</i>	33
2.8	<b>ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ</b>	33
2.8.1	<i>Η λειτουργία της τεχνολογίας RFID</i>	34
<b>3</b>	<b>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ</b>	<b>35</b>
3.1	<b>ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΡΗΣΤΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ</b>	35
3.1.1	<i>Βασικές αρχές της HCI</i>	36
3.2	<b>ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΕΥΚΟΛΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ</b>	37
<b>4</b>	<b>ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ</b>	<b>39</b>
4.1	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ/ΕΝΔΥΜΑΤΑ</b>	41
<b>5</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΟΡΕΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ</b>	<b>51</b>
5.1	<b>ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ</b>	51
5.2	<b>ΠΥΡΟΣΒΕΣΗ</b>	52
5.3	<b>ΕΝΟΠΛΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ</b>	53
5.4	<b>ΙΑΤΡΙΚΗ</b>	54
5.5	<b>ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ</b>	55
5.6	<b>ΕΠΙΠΛΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ</b>	56
5.7	<b>ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΑ ΑΤΟΜΑ / ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ</b>	57
<b>6</b>	<b>ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ E-TEXTILES</b>	<b>60</b>
6.1	<b>ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ</b>	60
6.2	<b>ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ</b>	62
6.2.1	<i>Προβλήματα κοινωνικής αποδοχής</i>	62
6.2.2	<i>Ασφάλεια και προστασία της υγείας</i>	63
6.2.3	<i>Προστασία προσωπικών δεδομένων</i>	64
6.2.4	<i>Σχεδιασμός και εργονομία</i>	64
6.2.5	<i>Δυσκολία χειρισμού</i>	65
6.2.6	<i>Κατασκευαστικά προβλήματα</i>	66
<b>7</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	<b>76</b>
	CPU, GPU, memory	76
	Arduino TRE	93
	Arduino PRO	93

## ΣΥΝΟΨΗ

Εξειδικευμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, τοποθετημένα σε ενδύματα ειδικής χρήσης, παρέχουν πληροφορίες για το περιβάλλον και την κατάσταση της σωματικής υγείας του ενδεδυμένου, με αυτά, χρήστη.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια οργανωμένη καταγραφή των κατηγοριών ηλεκτρονικών στοιχείων, των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών συστημάτων, των αγώγιμων νημάτων (οι κλωστοϋφαντουργικές “γραμμές μεταφοράς σημάτων”), καθώς και των μεθόδων ενσωμάτωσής τους σε ενδύματα ώστε αυτά να χαρακτηρίζονται ως ενδύματα ειδικής προσωπικής προστασίας.

Μια κριτική αναφορά - τοποθέτηση στις εφαρμογές της ενδυματικής - φορετής τεχνολογίας, με τα προσφερόμενα οφέλη αλλά και τα προβλήματα που εμφανίζονται με τη χρήση αυτής, ολοκληρώνει το παρόν πόνημα.

## **ABSTRACT**

Specially designed electronic circuits, embedded on garments of particular use, provide information regarding the environment as well as the physical health condition of the wearer.

In the present dissertation, an organized recording of the various categories of electronic elements, integrated electronic systems, electroconductive textile yarns (the textile “*signal transmission lines*”) and the embedding methods of all the above onto the garments, in order to be characterized as personal protective garments, was attempted.

A critical review of the end-uses of the textile wearable technology, its benefits and the problems, caused due to its usage, included, fulfils the present work.



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

<b>Φωτ/φια</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>Σελίδα</b>
2.1	Φορετό ηλεκτρικό σύστημα από πιεζοηλεκτρική ζώνη.....	6
2.2	Σύστημα με αισθητήρα πίεσης αφρού.....	7
2.3	Το σύστημα NAM και τα σημεία τοποθέτησής του στο σώμα.....	7
2.4	Ακουστικά με προσαρμοσμένο φωτοαισθητήρα για τη μέτρηση του καρδιακού παλμού.....	8
2.5	Αισθητήρας κατασκευασμένος απο εύκαμπτη μεμβράνη πυριτίου ( <i>silicon flexible skin</i> ) .....	9
2.6	Δομή καταμέτρησης καρδιακών παλμών σε μορφή αυτοκόλλητης ταινίας...	10
2.7	Τεχνητός βραχίονας με αισθητήρα πίεσης .....	11
2.8	Θερμοζεύγος ( <i>thermocouple</i> ) .....	11
2.9	TTP αισθητήρας .....	12
2.10	Ενσωματωμένος αισθητήρας ( <i>thin-skin sensor</i> ) .....	13
2.11	Προσομοιωτής δέρματος .....	13
2.12	Αισθητήρας <i>PyroCal</i> .....	13
2.13	Υδρόψυκτος αισθητήρας .....	14
2.14	Βασική δομή ενός συστήματος τύπου κουμπιού .....	14
2.15	Ζώνη με ηλεκτρικό και οπτικό αισθητήρα για τη μέτρηση του ρυθμού αναπνοής.....	15
2.16	Ηλεκτρόδια <i>non-contact</i> .....	18
2.17	Αισθητήρας με χρήση υπερήχων .....	18
2.18	Επιστημονικά πεδία που ενώνονται για δημιουργία <i>Textronic</i> .....	21
2.19	Σύστημα <i>textronic</i> για την παρακολούθηση ρυθμού αναπνοής .....	22
2.20	Διατομή της ίνας μετά την ένωση με τη σιδηρομαγνητική σκόνη .....	25
2.21	Κυρτή κεραία ( <i>Bowtie</i> ) από ύφασμα επικαλυμμένο με σίδηρο .....	30

2.22	Αγώγιμο nylon με σπειροειδή κεραία .....	30
2.23	Αγώγιμη κλωστή σε σπειροειδή κεραία .....	30
2.24	Αγώγιμη βαφή σε σπειροειδή κεραία .....	31
3.1	Σύστημα ανάπτυξης της HCI .....	36
4.1	Σύστημα Motion Capture .....	41
4.2	Μέθοδος crimping connect για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή.....	42
4.3	Μεγέθυνση κεντημένης με αγώγιμο νήμα δομής υφάσματος .....	43
4.4	Αισθητήρας ενσωματωμένος στο ύφασμα με τη μέθοδο κεντήματος .....	43
4.5	Μέθοδος Flip-chip bond για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή.....	44
4.6	Μέθοδος Reversible bond με μαγνήτη για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή.....	44
4.7	Μέθοδος Gluing συγκόλληση ηλεκτρονικών στοιχείων με κόλλα.....	45
4.8	<u>Αριστερά</u> η μονάδα συνδέεται με καλώδια σε ύφασμα πολυεστέρα και <u>Δεξιά</u> : με ένα εύκαμπτο πλαστικό έλασμα με σχεδιασμένες διασυνδέσεις....	46
4.9	<u>Αριστερά</u> η επικάλυψη των καλωδίων (μπλε) που απομακρύνεται με επεξεργασία λέιζερ <u>Δεξιά</u> : συγκόλληση με μεταλλικό έλασμα.....	46
4.10	Αγώγιμη τύπωση σε μη υφασμένα υφάσματα .....	48
4.11	Ολοκληρωμένο κύκλωμα chip σε μορφή κάψουλας ενσωματωμένο σε δέσμη ινών .....	50
5.1	Ο αισθητήρας τοποθετείται πάνω από την επιγονατίδα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι κρυμμένα στην τσέπη.....	56
5.2	Ελαστική εφαρμοστή φόρμα WarmX .....	59
5.3	Γάντια με ηλεκτρονικά στοιχεία που εκπέμπουν θερμότητα .....	59
6.1	Γιλέκο γυμναστικής antelope® το οποίο προκαλεί μυϊκές συσπάσεις .....	61
6.2	Η εφαρμογή καταγράφει την πρόοδο της κάθε προπόνησης και μετράει τους καρδιακούς παλμούς.....	62
7.1	Μελλοντική βιονική στρατιωτική στολή .....	68

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<i>Σχήμα</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Σελίδα</i>
2.1	<i>Δομή της θωράκισης σώματος, HIS, κεραίας.....</i>	<b>31</b>
2.2	<i>Κεραία microstrip patch.....</i>	<b>32</b>
2.3	<i>Σχεδιάγραμμα συστήματος RFID.....</i>	<b>34</b>
4.1	<i>Electro Conductive Area = Ηλεκτρο-αγώγιμη περιοχή.....</i>	<b>49</b>
4.2	<i>Μορφή του κυκλώματος με τις αντιστάσεις.....</i>	<b>49</b>
4.3	<i>Εύκαμπτοι πλεκτοί διακόπτες K- Switches.....</i>	<b>50</b>
4.4	<i>Διατομή ολοκληρωμένου κύκλωματος chip σε μορφή κάψουλας ενσωματωμένου σε δέσμη ινών.....</i>	<b>50</b>
5.1	<i>Παρακολούθηση των ασθενών χωρίς την παρέμβαση του χρήστη.....</i>	<b>54</b>
5.2	<i>Ένα συμβατικό qwerty πληκτρολόγιο στα επιμέρους στοιχεία του σε αντίθεση με ένα από Detect fabric.....</i>	<b>57</b>
7.1	<i>Ενσωματωμένος αισθητήρας σε γεωύφασμα.....</i>	<b>69</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<i>Πίνακας</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Σελίδα</i>
2.1	<i>Οι βιοχημικοί αισθητήρες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από την Biotex .....</i>	<b>16</b>

# **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## **1.1 ΣΚΟΠΟΣ**

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως σκοπό την παρουσίαση των εφαρμογών της φορητής τεχνολογίας στην προσωπική προστασία. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αναφορά στα ηλεκτρονικά – πολυλειτουργικά ενδύματα και αναλύονται οι ακόλουθες παράμετροι αυτών:

- οι διαδικασίες κατασκευής,
- οι τρόποι λειτουργίας,
- τα συστήματα που τα απαρτίζουν,
- τα απαιτούμενα υλικά,
- τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους,
- οι εφαρμογές τους σε διάφορους τομείς, και
- το μέλλον των πολυλειτουργικών ενδυμάτων.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι εκτιμήσεις πάνω στην αναγκαιότητα, χρηστικότητα, προσφορά και κοινωνική αποδοχή των συγκεκριμένων ενδυμάτων.

## **1.2 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ**

Η δομή της σύγχρονης κοινωνίας επιτάσσει την ανάγκη για εξεύρεση και χρήση καινούριων υλικών και προϊόντων τα οποία θα είναι ικανά να ακολουθήσουν τους ραγδαίους ρυθμούς ανάπτυξής της. Οι ανάγκες κυμαίνονται από την πιο απλή μέχρι την πιο πολύπλοκη διαδικασία της καθημερινότητας που βιώνει η ανθρωπότητα. Αυτές οι ανάγκες εκτείνονται από το χώρο της ένδυσης –από μία κοσμητική ανάγκη– μέχρι το χώρο της ιατρικής και της άθλησης. Όλα αυτά είναι πλήρως συνυφασμένα με την έννοια του εκσυγχρονισμού όπως π.χ. το ρολόι χειρός που κατασκευάστηκε πριν από πολλά χρόνια καλύπτοντας την άμεση ενημέρωση για το χρόνο, ανάγκη που επιβλήθηκε στον άνθρωπο από το ρυθμό και τις ποικίλες απαιτήσεις της καθημερινότητάς του. Ο χώρος της ένδυσης δε θα μπορούσε να αποτελέσει εξαίρεση.

Καινοτόμα και βελτιωμένα υλικά κάνουν δυναμικά την εμφάνισή τους τα οποία, προσφέροντας καλύτερη εφαρμογή, άνεση και προστασία, διευκολύνουν το χρήστη στις διάφορες καθημερινές δραστηριότητές του. Μερικά παραδείγματα είναι οι ελαστικές

εφαρμοστές φόρμες γυμναστικής με υφάσματα που έχουν αντηλιακή προστασία, ενδύματα *dry-fit* όπου επιτρέπουν την εφίδρωση αλλά δεν απορροφούν τον ιδρώτα ή νέα υλικά που δίνουν τη δυνατότητα χρήσης τεχνολογιών που παρακολουθούν τη βιο-φυσική πορεία του σώματος στην προπόνηση, με σκοπό την ασφάλεια και την υγεία των αθλουμένων (McCann & Bryson, 2009). Επίσης, υπάρχουν και τα ενδύματα προστασίας με επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχουν π.χ. ανακλαστικές ταινίες για εργαζόμενους που δουλεύουν σε συνθήκες με περιορισμένη ορατότητα στο δρόμο ή στο σκοτάδι, αλλά και εξειδικευμένα ενδύματα για πυροσβέστες με προσαρτημένα εξάρτηματα και αισθητήρες τα οποία μπορούν να ανιχνεύουν την αύξηση του επιπέδου του μονοξειδίου του άνθρακα σε μια πυρκαγιά. Άλλος τομέας στον οποίο βρίσκουν εφαρμογή τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και οι φορητές συσκευές είναι οι ένοπλες δυνάμεις. Τα στελέχη τους εφοδιάζονται με στολές που μπορούν να ανταπεξέρχονται σε επικίνδυνες καταστάσεις και το δυσμενές περιβάλλον των στρατιωτικών επιχειρήσεων. Επίσης, στην Ιατρική, η χρήση ηλεκτρονικών φορητών κυκλωμάτων βρίσκει εφαρμογές σε ενδύματα που μετρούν τους καρδιακούς παλμούς, τη θερμοκρασία του σώματος, τη συσσώρευση υγρασίας σε εσώρουχα μιας χρήσης κ.ά. Όλα αυτά έχουν έναν κοινό παρονομαστή, τα έξυπνα υλικά, που βοηθούν στην ανάπτυξη ενός πολυλειτουργικού ενδύματος (McCann & Bryson, 2009).

### **1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ**

Το θέμα των ηλεκτρονικών ενδυμάτων είχε απασχολήσει την κλωστοϋφαντουργική κοινότητα ήδη από το 1950 όταν παράχθηκαν οι πρώτες τεχνητές ίνες όπως το νάϊλον και ο πολυεστέρας οι οποίες παρείχαν ιδιαίτερες δυνατότητες, ιδιότητες, και χαρακτηριστικά στα υφάσματα. Με την ακόμα πιο πρόσφατη παραγωγή των νανοϊνών και νανο-επιστρώσεων (nano-coatings) μπορούν να παραχθούν υφάσματα που να επιτρέπουν τη ροή ενέργειας σε μια επιφάνεια ή να εμποδίζουν την υδροδιαπερατότητα. Έτσι, γρήγορα βρήκαν απήχηση ιδέες για διαφορετικού τύπου υφάσματα. Εταιρείες όπως η Softswitch (Peratech), η Fibretronic και η Eleksen κατασκευάζουν συστήματα ελέγχου για την προσάρτηση - ενσωμάτωσή τους πάνω σε ενδύματα (McCann & Bryson, 2009).

Διάφορες προσπάθειες σχεδιασμού και υλοποίησης τέτοιων ενδυμάτων, στα πλαίσια του πειραματισμού και της μόδας, αποδείχθηκαν κοστοβόρες και μη επιτυχείς εμπορικά. Επιπροσθέτως, παρουσιάστηκαν προβλήματα για την περιποίηση και φροντίδα τους, καθώς όλος αυτός ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός αδυνατώντας να υποστεί πλύσιμο έπρεπε κάθε φορά να αφαιρείται και να επανασυνδέεται (McCann & Bryson, 2009).

## 1.4 ΦΟΡΕΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η φορετή τεχνολογία (wearable technology) προσφέρει νέες προοπτικές στον τομέα της κλωστοϋφαντουργίας, με την ενσωμάτωση διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών στοιχείων και εξαρτημάτων στα υφάσματα και στα ενδύματα προσδίδοντάς τους έτσι καινούριες δυνατότητες.

Κύριος στόχος της φορετής τεχνολογίας με χρήση πολυστρωματικών έξυπνων ινοδομών είναι να δημιουργηθούν ενδύματα ειδικών προδιαγραφών. Τα ενδύματα αυτά θα είναι ανθεκτικά κάτω από διάφορες και απαιτητικές συνθήκες, αισθητικά και οπτικά αμετάβλητα αλλά ταυτόχρονα θα εκπληρώνουν και τις ιδιαίτερες ανάγκες του χρήστη. Έτσι θα είναι εφικτή η κατασκευή ενός ελκυστικού αισθητικά “έξυπνου” ενδύματος χωρίς καλωδιώσεις, άκαμπτα εξαρτήματα και περιττές συσκευές. Προς το παρόν, τα ηλεκτρονικά στοιχεία προσαρμόζονται πάνω στο ύφασμα/ένδυμα με διάφορες τεχνικές (μεθόδους) που αναλύονται στη συνέχεια της παρούσας εργασίας (§ 4.1) (Bonfiglio, A., Curone, D., Secco, E. L., Magenes, G., & Tognetti, A., 2011, Chapman, R. A. (2013). *Smart Textiles for Protection*: Woodhead Publishing in Textiles).

## ΟΡΙΣΜΟΙ

**Ευφυή κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (Smart textiles)**: είναι εκείνα τα προϊόντα, κυρίως ενδύματα, που απαρτίζονται από συγκεκριμένα έξυπνα υλικά τα οποία μπορούν να αντιλαμβάνονται και να αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα (Stoppa & Chiolerio, 2014).

**«Φορετά» ηλεκτρονικά στοιχεία (Wearable electronics)**: είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, που αποτελούνται από διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, προσαρμοσμένα σε ένα φορετό – κλωστοϋφαντουργικό υπόστρωμα ή προϊόν, (π.χ ύφασμα, ένδυμα) ελεγχόμενα από μια προγραμματιζόμενη υπολογιστική μονάδα (Seymour, 2008).

**Διεπαφή χρήστη (User interface)**: είναι μια διάταξη ηλεκτρονικών στοιχείων προγραμματισμένη κατάλληλα, ώστε με την απαιτούμενη παρέμβαση του χρήστη να παρέχει το επιθυμητό αποτέλεσμα (έξοδος) ανάλογα με το ερέθισμα (είσοδος). Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι η ικανότητα εκτέλεσης πολλών προγραμμάτων ταυτόχρονα (Seymour, 2008).

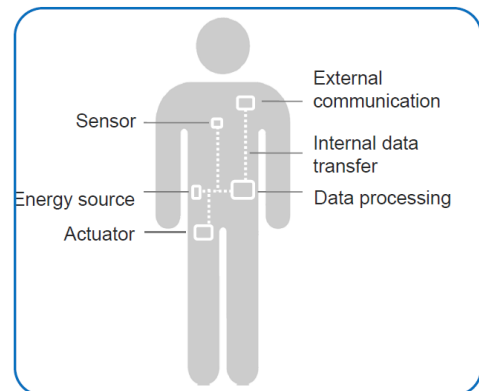
## 2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΚΛΩΣΤΟΥΨΑΝΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα έξυπνα υφάσματα/ενδύματα (smart textiles) αντιπροσωπεύουν κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα νέας γενιάς με ευρύ πεδίο εφαρμογής. Ο στόχος τους είναι να συνδυάζουν έξυπνα υλικά και ολοκληρωμένη υπολογιστική ισχύ σε μορφή κλωστοϋφαντουργικής δομής, δημιουργώντας προϊόντα με διαφορετικές συμπεριφορές και νέες λειτουργικότητες.

Τα ενδύματα, καθώς "συντροφεύουν" αδιαλείπτως τον άνθρωπο-χρήστη, θεωρούνται ένα από τα καταλληλότερα μέσα στα οποία μπορούν να ενσωματωθούν ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα. Με αυτήν την παρέμβαση, το ένδυμα μεταμορφώνεται κατά κάποιο τρόπο σε ένα προσωπικό ευφυή βοηθό βελτιώνοντας τις καθημερινές ανθρώπινες δραστηριότητες. Τα κλωστοηλεκτρονικά συστήματα μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα από το χρήστη και το περιβάλλον, και αντίστοιχα να αντιδρούν σε ηλεκτρικά, θερμικά, μαγνητικά και άλλα ερεθίσματα. Ανάλογα με τις μεταβολές και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, η έξυπνη φορετή συσκευή θα πρέπει να προσαρμόζεται αυτόματα και να ενεργοποιείται, να απενεργοποιείται ή να παραμένει σε κατάσταση αδράνειας (sleeping mode) (McCann & Bryson, 2009).

Οι κυκλωματικές βαθμίδες από τις οποίες αποτελούνται τα ενσωματωμένα σε ενδύματα ηλεκτρονικά συστήματα είναι οι ακόλουθες:

- ο αισθητήρας (sensor),
- το σύστημα ενεργοποίησης (actuator),
- η μονάδα επεξεργασίας (processor),
- η μονάδα τροφοδοσίας (παροχής ηλεκτρικής τάσης/ενέργειας/ρεύματος),
- το δίκτυο επικοινωνίας.



### 2.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (SENSORS)

#### ΟΡΙΣΜΟΣ

Ο αισθητήρας είναι ένα στοιχείο που έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τη μεταβολή ενός φαινομένου και να μετατρέπει αυτήν την πληροφορία σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο, με κατάλληλη επεξεργασία, θα παρέχει μετρήσιμους μεγέθους αποτέλεσμα.

Οι αισθητήρες, που ενσωματώνονται σε ένα ένδυμα, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό λιγότερο αντιληπτοί από το χρήστη, να μη μειώνουν το αίσθημα της άνεσής του και να είναι πλήρως λειτουργικοί. Παράλληλα, θα πρέπει να εκπληρώνουν ορισμένα κριτήρια όπως: αντοχή στην παραμόρφωση-ευκαμψία, αδιαβροχία, και ανθεκτικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (Bonfiglio, Curone, Secco, Magenes, & Tognetti, 2011). Στις επόμενες ενότητες γίνεται μια σχετικά αναλυτική παρουσίαση ορισμένων τύπων αισθητήρων και αισθητηρίων υλικών.

Γενικά, εκτός από την εφαρμογή των εμπορικά χρησιμοποιούμενων μη εύκαμπτων ηλεκτρονικών αισθητήρων, έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες για την υλοποίηση αμιγώς κλωστοϋφαντουργικών αισθητήρων βασισμένων σε ειδικές δομές με κατάλληλη χρήση αγώγιμων ινών και νημάτων. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι ίνες πιεζοαντίστασης που εμφανίζονται αρκετά αποτελεσματικές στην εκτατότητα (επιμήκυνση) κατά τη διάρκεια της οποίας ο προκαλούμενος διαχωρισμός νανοσωματιδίων της δομής τους παράγει αξιοποιήσιμο ηλεκτρικό σήμα. Δομές με τέτοιου τύπου ίνες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής ως έμμεσο αποτέλεσμα της έκτασης των κοιλιακών μυών. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι οπτικές ίνες είτε πλαστικές ή από πυρίτιο (Schlosser & Carroll, 2013).

### ***2.1.1 Αισθητήρες μέτρησης ρυθμού αναπνοής***

Ο ρυθμός αναπνοής είναι ένας μετρήσιμος παράγοντας που αποτελεί σημαντική ένδειξη για φυσικές καταστάσεις όπως η κόπωση μετά την άσκηση και τα επίπεδα του στρες. Για να μετρηθεί ο ρυθμός αναπνοής κλινικά, χρησιμοποιείται ένας πνευμοταχογράφος που μετράει τον όγκο του εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα ανά μονάδα χρόνου. Ένας άλλος τρόπος είναι μετρώντας τις συσπάσεις του θώρακα, αλλά λόγω του θορύβου στο σήμα, η μέτρηση δε θεωρείται πάντα ακριβής.

Διάφορα πιεζοηλεκτρικά υλικά, σε μορφή μεμβράνης, μετατρέπουν την ασκούμενη μεταβαλλόμενη πίεση (μηχανική ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Οι αισθητήρες που εκμεταλλεύονται αυτήν τη δυνατότητα μπορούν να εφαρμοστούν και σε ινοδομικά κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα.

Ένα τέτοιο προϊόν, η εικονιζόμενη πιεζοηλεκτρική ταινία (φωτ. 2.1), τοποθετημένη περιμετρικά του θώρακα του χρήστη και πάνω από το πλεκτό ένδυμά του, περιλαμβάνει αισθητήρες που καταγράφουν τη διακύμανση της διαστολής του θώρακα κατά την



αναπνευστική δραστηριότητα παρέχοντας κατ'αυτόν τον τρόπο το ρυθμό της αναπνοής σε πραγματικό χρόνο (Bonfiglio et al., 2011).

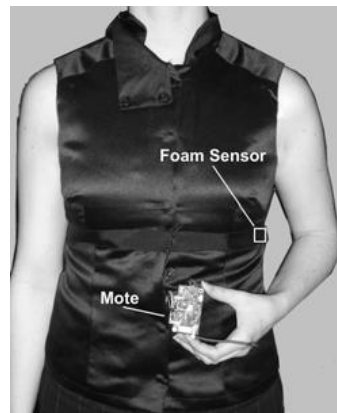


**Φωτογραφία 2.1** Φορετό ηλεκτρικό σύστημα από πιεζοηλεκτρική ζώνη (Bonfiglio et al., 2011)

Για την καταμέτρηση του ρυθμού της αναπνοής χρησιμοποιείται επίσης ο αισθητήρας επιπόνησης (strain sensor). Για την κατασκευή του, ειδική πάστα που περιέχει ρευστοποιημένους αγωγίμους νανο-σωλήνες, τυπώνεται πάνω στην επιφάνεια ενός υφάσματος (screen-printing). Οι διαστολές-συστολές του υφάσματος, αποτέλεσμα της εισπνοής-εκπνοής του χρήστη, προκαλούν μεταβολές της ηλεκτρικής αντίστασης του αισθητήρα με άμεση συνέπεια τις αντίστοιχες μεταβολές της ηλεκτρικής τάσης του σήματος. Με κατάλληλη επεξεργασία αυτού του σήματος παρέχεται η δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού αναπνοής στη μονάδα χρόνου (Furtak, Skrzetuska, & Krucińska, 2013).

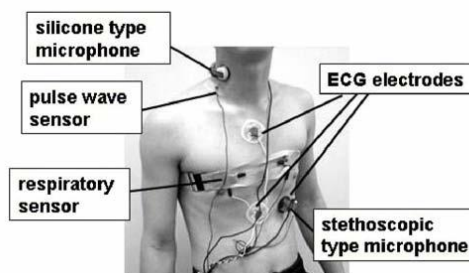
Είναι γνωστό ότι τα αγωγιμα πολυμερή έχουν διευκολύνει κατά πολύ τα φορετά υπολογιστικά συστήματα κάνοντάς τα απαλά και άνετα στη χρήση. Ένα τέτοιο αγωγίμο πολυμερές είναι το η πολυπυρρόλη (PPy). Σε μορφή ειδικής σύνθεσης αφρού ως επικάλυψη σε ύφασμα, αποτελεί τη βάση ενός αισθητήρα που αποβλέπει στην παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής του χρήστη. Τέτοιοι αισθητήρες, με την ευκολία τοποθέτησης-ενσωμάτωσης στα υφάσματα και το χαμηλό κόστος που τους διέπει, ενδεχομένως να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα ενδύματα πλέον του ενός. Ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος σε κάποιο μη εκτατό τμήμα του ενδύματος. Κατά την αναπνοή, η προκαλούμενη διαστολή του στήθους συμπιέζει το «στρώμα» του αισθητήρα ανάμεσα στο σώμα του χρήστη και στο ύφασμα. Ο βαθμός συμπίεσης αυτού μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα παρέχοντας πληροφορίες για το ρυθμό αναπνοής. Έχει παρατηρηθεί

ότι αυτή η μέθοδος μέτρησης του ρυθμού αναπνοής είναι το ίδιο ακριβής όσο και η μέθοδος διαπερατότητας του αέρα, και είναι άνετη για το χρήστη ακόμα και σε κατάσταση έντονης άσκησης (Brady et al., 2005).



**Φωτογραφία 2.2** Σύστημα με αισθητήρα πίεσης αφρού (Brady et al., 2005)

Ένας αισθητήρας τέτοιου τύπου είναι ο αισθητήρας με μικρόφωνο (NAM – Non-Audible Murmur) ο οποίος εφάπτεται επιδερμικά στο χρήστη και συλλέγει τους ήχους που εκπέμπονται από τα εσωτερικά όργανα στις διάφορες περιοχές του σώματός του. Μέσω ενός φίλτρου διέλευσης ζώνης συχνοτήτων (band-pass filtering) μπορούν να εξαχθούν τα δεδομένα για τη φυσιολογική, ή μη, αναπνευστική και καρδιακή λειτουργία (Noma, Kogure, Nakajima, Shimonomura, & Ohsuga, 2005).



**Φωτογραφία 2.3** Το σύστημα NAM και τα σημεία τοποθέτησής του στο σώμα (Noma et al., 2005)

### 2.1.2 Αισθητήρες και συστήματα καταγραφής ανθρώπινης δραστηριότητας

Ο συνδυασμός διαφόρων αισθητήρων με ένα φορητό υπολογιστικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θεραπείας (ανάκληση και υποβοήθηση μνήμης) και προειδοποίησης/ασφαλείας με την ανίχνευση και καταγραφή της συμπεριφοράς παραβατικών ατόμων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου επινοήθηκε το σύστημα LED ID tag το οποίο αποτελείται από ειδική κάμερα, για την εξομοίωση της ανθρώπινης

όρασης, καθώς και ένα μικρόφωνο. Αυτές οι δύο συσκευές, ενσωματωμένες σε ένδυμα, παρέχουν τη δυνατότητα καταγραφής της ηχητικής, νοηματικής ή εκφραστικής επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων όπως και των δραστηριοτήτων-αλληλεπιδράσεων αυτών με διάφορα αντικείμενα. Το εν λόγω σύστημα καταγράφει τις ποικίλες προσλαμβάνουσες πληροφορίες, τις οποίες αποστέλλει, μέσω ασύρματου δικτύου LAN σε ένα υπολογιστικό σύστημα βάσης δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασίες και αποθήκευση (Ito et al., 2005).

Η καταμέτρηση του ρυθμού των καρδιακών παλμών πραγματοποιείται με χρήση αισθητήρων ενσωματωμένων σε ακουστικά κινητού τηλεφώνου (συνοδευόμενων από σχετική εφαρμογή λογισμικού σε *iPhone* της Apple<sup>®</sup>), τα οποία ονομάζονται *Heartphones*. Στα ακουστικά, έχει προσαρμοστεί ένας ανακλαστικός φωτοαισθητήρας αποτελούμενος από φωτοαντίσταση και υπέρυθρα LED. Όταν είναι σε χρήση και αγγίζοντας το εσωτερικό του λωβού του αυτιού, ο φωτοαισθητήρας μετράει την ποσότητα φωτός που ανακλάται από τα υποδόρια αιμοφόρα αγγεία της περιοχής. Κατά τη διάρκεια της καρδιακής λειτουργίας οι ογκομετρικές αλλαγές στα αιμοφόρα αγγεία τροποποιούν το μήκος κύματος του προσπίπτοντος φωτός. Οι μεταβολές της ποσότητας του ανακλώμενου φωτός υποδηλώνουν την πιθανή έναρξη καρδιακού επεισοδίου. Το δε λογισμικό, παρέχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων και απεικόνισης του ρυθμού των καρδιακών παλμών του ανά μονάδα χρόνου (Poh, Kim, Goessling, Swenson, & Picard, 2009).



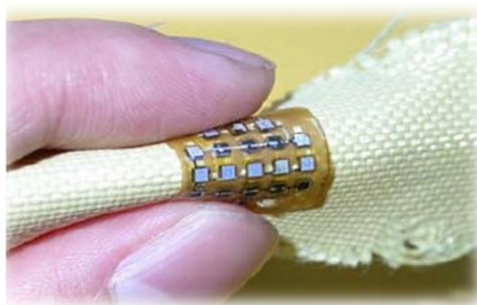
**Φωτογραφία 2.4** Ακουστικά με προσαρμοσμένο φωτοαισθητήρα για τη μέτρηση του καρδιακού παλμού (Poh, Kim, Goessling, Swenson, & Picard, 2009)

### 2.1.3 Εύκαμπτοι αισθητήρες (Flexible Sensors)

Μια ειδική κατηγορία αισθητήρων αποτελούν ιδιαίτερες κλωστοϋφαντουργικές δομές, κατασκευασμένες από αγώγιμα νήματα πολυεστερικών και ελαστικών υλικών καθώς και υλικά πιεζοαντίστασης. Αυτοί, λόγω της ευκαμψότητας που τους χαρακτηρίζει, παρέχουν ευκολία στο σχεδιασμό ενδυμάτων στα οποία ενσωματώνονται, περισσότερη άνεση στο χρήστη, χωρίς να υστερούν αισθητικά (Huang, Tang, Lee, & Chang, 2008).

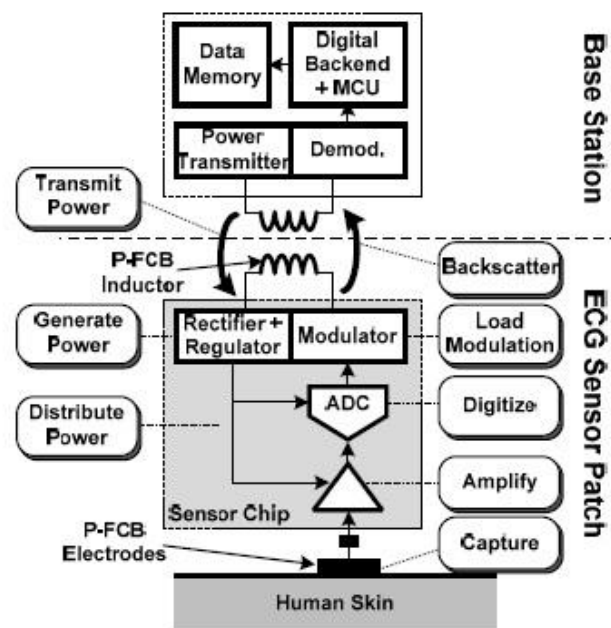
Ένας ακόμα εύκαμπτος αισθητήρας ανίχνευσης υγρασίας παράγεται με τη μέθοδο ινοποίησης τήξης. Το τήγμα αποτελείται από πολυλακτίδιο (PLA – βιοδιασπώμενο πολυμερές που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές) αναμειγμένο με νανοσωλήνες άνθρακα για να προκύψει ένα νήμα συνεχών ινών με ηλεκτρικές και αγώγιμες ιδιότητες (Devaux, Aubry, Campagne, & Rochery, 2011).

Η ενσωμάτωση αισθητήρων και υπολογιστικών - ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε ύφασμα με παραμένουσα την ευκαμψία του υφάσματος επιτυγχάνεται με τη ραφή εύκαμπτης μεμβράνης πυριτίου (silicon flexible skin) σε ύφασμα από *Kevlar*<sup>®</sup>, χρησιμοποιώντας μεθόδους μικρομηχανικής (micromachining). Η παρακάτω φωτογραφία αποδεικνύει περίτρανα την ευκαμψία του συστήματος αισθητήρα-υφάσματος (Katragadda & Xu, 2008).



**Φωτογραφία 2.5** Αισθητήρας κατασκευασμένος από εύκαμπτη μεμβράνη πυριτίου (silicon flexible skin) (Katragadda & Xu, 2008)

Αισθητήρας για την καταμέτρηση των καρδιακών παλμών έχει τη μορφή αυτοκόλλητης ταινίας. Ο αισθητήρας αυτός βελτιώνει την άνεση του χρήστη, δεν είναι ενεργοβόρος, κοστοβόρος στην κατασκευή του ενώ ταυτόχρονα είναι ασφαλής για το χρήστη. Τα στεγνά ηλεκτρόδια αποτρέπουν τους ερεθισμούς στην επιδερμίδα καθιστώντας έτσι δυνατή την εφαρμογή τους πάνω στο σώμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το σύστημα αποτελείται από ηλεκτρόδια, ο επαγωγέας σε μορφή τυπώματος βρίσκεται πάνω στο ύφασμα και το ολοκληρωμένο σύστημα του αισθητήρα είναι συνδεδεμένο με σύρμα απευθείας στο ύφασμα. Σχηματικά, ο αισθητήρας προσαρμόζεται σαν αυτοκόλλητη ταινία η οποία χρησιμοποιεί την αναλώσιμη Planar-Fashionable Circuit Board και αφαιρείται μετά από κάθε χρήση. Τα δύο βασικά στοιχεία του συστήματος είναι ο σταθμός βάσης (base station) (φωτ. 2.6) που περιέχει τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία για να λειτουργήσει το σύστημα και η αυτοκόλλητη ταινία με τον αισθητήρα για την παρακολούθηση του καρδιακού παλμού (Electrocardiogram sensor-ECG). Η αρχιτεκτονική τους παρουσιάζεται αναλυτικά στην παρακάτω φωτογραφία (Yoo et al., 2009).



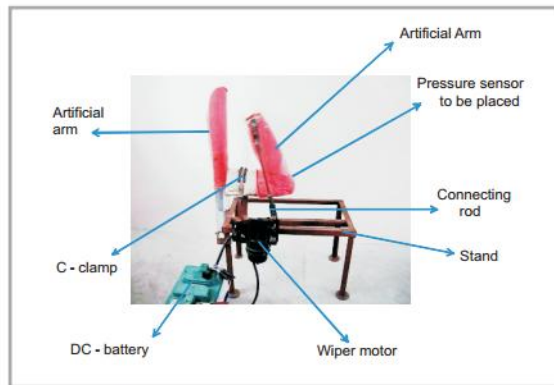
**Φωτογραφία 2.6** Δομή καταμέτρησης καρδιακών παλμών σε μορφή αυτοκόλλητης ταινίας

#### 2.1.4 Αισθητήρες πίεσης

Στις περισσότερες αθλητικές δραστηριότητες, κυρίως δε σε επίπεδο πρωταθλητισμού, είναι γνωστό ότι ο περιβάλλον αέρας επιδρά ανασταλτικά στην επίτευξη μιας καλής επίδοσης ενός αθλητή. Η σημαντική μείωση της τριβής του αθλητή με τον αέρα έχει επιτευχθεί χάριν του σχεδιασμού και της υλοποίησης ελαστικών πλεκτών ενδυμάτων, τα οποία εφαρμόζουν σχεδόν πλήρως στην επιφάνεια του σώματός του.

Για τη μελέτη της επίδρασης της πίεσης, που ασκεί ένα τέτοιο ελαστικό ένδυμα, στην αισθανόμενη άνεση του φέροντος το ένδυμα, καθώς και της μεταβαλλόμενης αντίστασης στις ποικίλες κινήσεις/δραστηριότητες των αθλουμένων, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένας τεχνητός βραχίονας (Φωτ.2.7). Αυτός φέρει έναν αισθητήρα πίεσης, τοποθετημένο μεταξύ της “επιδερμίδας” και του ενδύματος, μέσω του οποίου γίνεται καταγραφή των μεταβολών της ασκούμενης πίεσης από το ένδυμα στο “σώμα” του αθλητή.

Η παραμετροποιημένη αξιολόγηση της άνεσης κατά την άσκηση πίεσης αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα καθώς συνδυάζει αρκετές παραμέτρους που άπτονται των χαρακτηριστικών στοιχείων των ελαστικών υφασμάτων, όπως η κρουστότητά τους, η μάζα, η υφή και η ευκαμψία τους. Ένα ένδυμα θεωρείται άνετο όταν το ύφασμα, από το οποίο αποτελείται, έχει μεγάλη ελαστικότητα και επαναφορά με μικρή αύξηση πίεσης ή εφελκυστικής τάσης σε τιμή μικρότερη από  $0.4 \text{ N/mm}^2$ .



*Design of the dynamic artificial arm.*



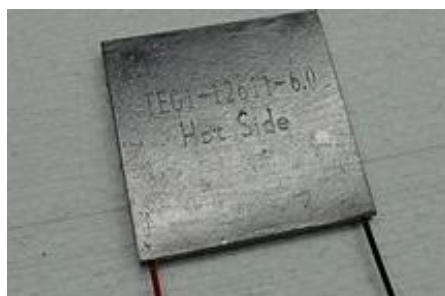
*Artificial arm movements: position 1 (a) and 2 (b).*

## **Φωτογραφία 2.7** Τεχνητός βραχίονας με αισθητήρα πίεσης

Στα πλαίσια πειραματικής μελέτης, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς την αξιοπιστία, επαναληψιμότητα και χρησιμότητα του εν λόγω βραχίονα, χρησιμοποιήθηκαν τρία πλεκτά υφάσματα απλής πλέξης διαφορετικού βαθμού ελαστικότητας και τεχνικών χαρακτηριστικών: α) με βαμβακερά νήματα, β) με εναλλαγή βαμβακερών νημάτων και νημάτων ελαστάνης στους τροφοδότες (σειρά παρά σειρά), γ) με διπλό νήμα (βαμβακερό και ελαστάνη) στον ίδιο τροφοδότη (Senthilkumar, Kumar, & Anbuman, 2012).

### **2.1.5** Αισθητήρες θερμοκρασίας

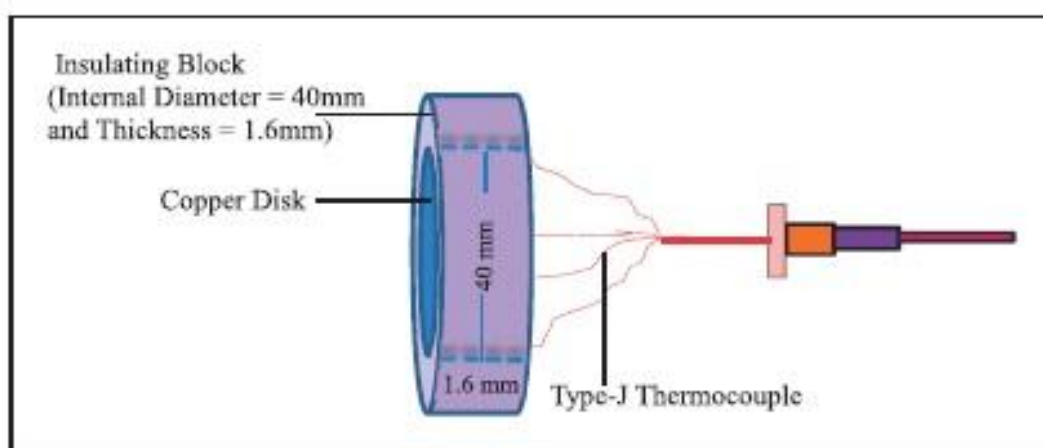
Όταν δύο αγωγοί θερμοηλεκτρικής συσκευής (θερμοζεύγος) ενωθούν μεταξύ τους (Φωτ.2.8) δημιουργείται διαφορά δυναμικού μετατρέποντας τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το σύστημα χρησιμοποιείται ως αισθητήρας της θερμοκρασίας.



**Φωτογραφία 2.8** Θερμοζεύγος (*thermocouple*)

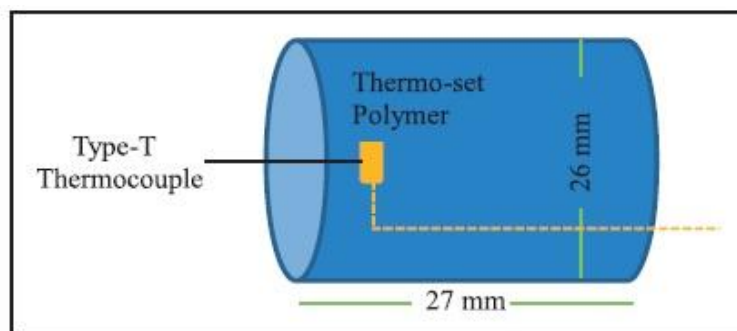
Οι αισθητήρες θερμότητας χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: επαφής και μη επαφής. Αυτοί οι αισθητήρες αντιδρούν στη θερμότητα και μετατρέπουν το ερέθισμα σε ηλεκτρικό σήμα. Οι αισθητήρες της κατηγορίας είναι διαδεδομένοι σε ενδύματα προστασίας πυροσβεστών ή για όποιον εργάζεται σε θερμοκρασιακά επικίνδυνες θέσεις εργασίας π.χ. στη βιομηχανία. Από τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των αισθητήρων μπορεί να υπολογιστεί ο βαθμός βλάβης που θα προκληθεί σε έναν άνθρωπο από την έκθεσή του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Διαφορετικοί τύποι θερμικών αισθητήρων προσφέρουν διαφορετικές δυνατότητες και αποτελέσματα. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι: οι TTP (copper slug sensor), ο ενσωματωμένος αισθητήρας (thin-skin sensor), ο προσομοιωτής δέρματος, ο PyroCal και ο υδρόψυκτος αισθητήρας (Mandal & Song, 2015).

**TTP (copper slug sensor):** προσφέρει σταθερή καταγραφή θερμικής ροής για μικρό χρονικό διάστημα. Αποτελείται από ένα χάλκινο δίσκο πάχους 1.6 mm και διαμέτρου 40 mm. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι αξιόπιστος, ακριβής, ανθεκτικός για επαναλαμβανόμενες εκθέσεις σε υψηλές θερμοκρασίες μέγιστης διάρκειας 120 s. Βασικό μειονέκτημά του αποτελεί η απώλεια ενέργειας από το χάλκινο δίσκο (Mandal & Song, 2015).



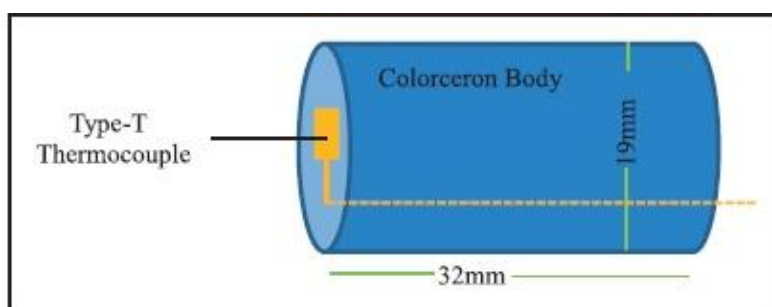
**Φωτογραφία 2.9** Αισθητήρας TTP (Mandal & Song, 2015)

**Ενσωματωμένος αισθητήρας (thin-skin sensor):** κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας μια θερμοφιξαριζόμενη ρητίνη τοποθετημένη σε ένα μικρό συμπαγές κυλινδρικό βύσμα. Η θερμική αδράνεια της ρητίνης είναι παρόμοια με αυτήν του υγιούς ανθρώπινου δέρματος. Επίσης, η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες είναι δυνατό να επιφέρει ρήξη της ρητίνης (Mandal & Song, 2015).



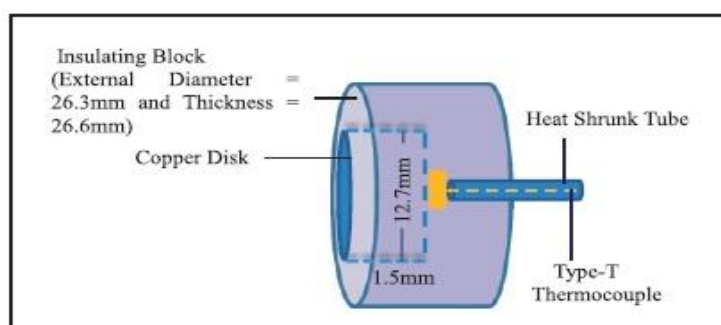
**Φωτογραφία 2.10** Ενσωματωμένος αισθητήρας *thin-skin sensor* (Mandal & Song, 2015)

**Προσομοιωτής δέρματος:** σε αυτόν τον αισθητήρα η φύση της μεταφοράς θερμικής ενέργειας προσομοιάζει αυτήν του ανθρώπινου δέρματος. Αποτελείται από ανόργανο υλικό που ονομάζεται colorceron και περιέχει ασβέστιο, αλουμίνιο, ίνες αμιάντου, και μια συγκολλητική ουσία. Είναι γρήγορος και ακριβής για μέτρηση θερμικής ροής για μικρό χρονικό διάστημα  $\leq$  των 120 s (Mandal & Song, 2015).



**Φωτογραφία 2.11** Προσομοιωτής δέρματος (Mandal & Song, 2015)

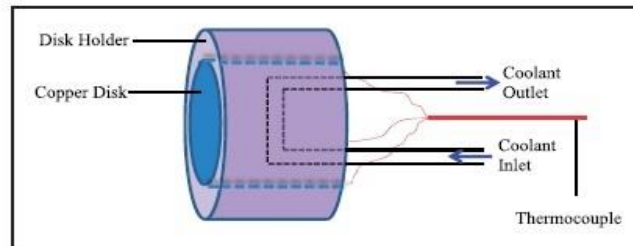
**PyroCal αισθητήρας:** είναι θερμικά μονωμένος και είναι πιο αξιόπιστος από τον κλασικό TTP που προαναφέρθηκε. Ενώ είναι οικονομικός και κατασκευάζεται από εύκολα διαθέσιμα υλικά (χάλκινος δίσκος, θερμοφιξαριζόμενη ρητίνη, και δαχτυλίδι που κρατά τη μόνωση), δεν μπορεί να απορροφήσει σωστά τη θερμότητα σε παρατεταμένη έκθεση (Mandal & Song, 2015).



**Φωτογραφία 2.12** Αισθητήρας *PyroCal* (Mandal & Song, 2015)



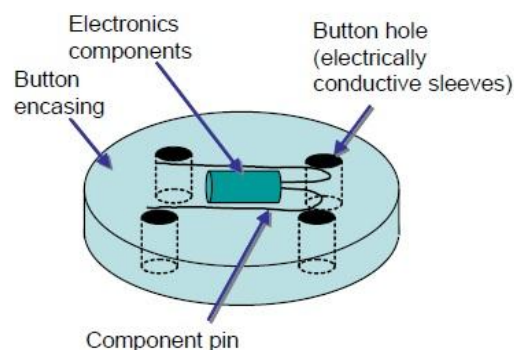
**Υδρόψυκτος αισθητήρας:** η κατασκευαστική φιλοσοφία του αισθητήρα αυτού, δε διαφέρει από αυτήν των υπολοίπων, ωστόσο προκειμένου να παρακαμφθεί το πρόβλημα της έλλειψης αντοχής σε παρατεταμένη έκθεση αποτελείται από ένα μόνο σύστημα ψύξης και δε χαρακτηρίζεται από ακρίβεια και ταχύτητα στην απόδοση των ενδείξεών του (Mandal & Song, 2015).



**Φωτογραφία 2.13** Υδρόψυκτος αισθητήρας (Mandal & Song, 2015)

Ο υδρόψυκτος αισθητήρας είναι πιο ανθεκτικός για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ωστόσο δεν είναι ακριβής στις ενδείξεις του. Επομένως, για ενδύματα πυρασφάλειας προτιμώνται κυρίως οι TTP και PyroCal αισθητήρες οι οποίοι παρόλο που αντέχουν για πιο μικρό χρονικό διάστημα δίνουν πιο αξιόπιστες ενδείξεις (Mandal & Song, 2015).

Επίσης, έχει κατασκευαστεί ένας τύπος αισθητήρα θερμοκρασίας σε μορφή κουμπιού. Αυτός παρεμβάλλεται ανάμεσα στα ηλεκτρονικά στοιχεία και το κλωστοϋφαντουργικό προϊόν σχηματίζοντας κατ'αυτόν τον τρόπο μία γαλβανική επαφή μεταξύ τους. Παράλληλα, διασφαλίζεται η χρηστικότητα και η καλαισθησία στην εμφάνιση του τελικού προϊόντος. Η σύνδεση των ηλεκτρικών στοιχείων γίνεται με αγωγίμο νήμα. Αυτό το σύστημα κατασκευάζεται τοποθετώντας τα απαραίτητα ηλεκτρονικά μέσα από το κάλυμμα του κουμπιού. Το υλικό του καλύμματος του κουμπιού μπορεί να είναι από πολυουρεθάνη (Hannikainen, Mikkonen, & Vanhala, 2005). Η δυνατότητα της βιομηχανικής παραγωγής του διερευνάται, καθώς υπολείπεται ο προσδιορισμός των αντοχών του σε μηχανικές καταπονήσεις και στο πλύσιμο (Hannikainen et al., 2005).



**Φωτογραφία 2.14** Βασική δομή ενός συστήματος τύπου κουμπιού (Hannikainen et al., 2005)

Η βελτίωση των θερμοηλεκτρικών αισθητήρων, που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξοπλισμού προστασίας για τους πυροσβέστες, έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές, κυρίως επεμβαίνοντας στον αλγόριθμο και στα συστήματα για την εξατομικευμένη παρακολούθηση του χρήστη κατά τη διάρκεια της έκθεσής του σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι φυσιολογικές παράμετροι αυτού καταγράφονται με τη βοήθεια κατάλληλου αισθητήρα θερμότητας που είναι ενσωματωμένος κάτω από τη στολή του. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε φορητή μονάδα PPU (Portable Patient electronic Unit), και μεταδίδονται μέσω GPRS (General Packet Radio Service) στο κέντρο ελέγχου που παρακολουθεί την ομάδα κρούσης. Η άμεση ανίχνευση επικίνδυνου στοιχείου με τη χρήση GPRS δίνει τη δυνατότητα αποφυγής δυσάρεστων ατυχημάτων (Buller, Tharion, Duhamel, & Yokota, 2015).

### **2.1.6 Αισθητήρες οπτικών ινών**

Ένα ακόμα υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή αισθητήρων είναι οι οπτικές ίνες. Αυτές, έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν τάχιστα και αξιόπιστα μεγάλο όγκο πληροφοριών σε σύγκριση με άλλους κυματοδηγούς. Το υλικό των οπτικών ινών είναι το καταλληλότερο για τη διαβίβαση πληροφοριών όπως η θερμοκρασία, η πίεση και ο ηλεκτρισμός.

Σε ποικίλες ιατρικές εφαρμογές όπως και σε ενδύματα προστασίας για σώματα ασφαλείας, χρησιμοποιούνται επίσης ηλεκτρικοί και οπτικοί αισθητήρες, που βασίζονται στις ιδιότητες των αγώγιμων νημάτων και οπτικών ινών αντίστοιχα. Με τα δύο συγκεκριμένα μέσα δημιουργήθηκε μια «ζώνη» η οποία τοποθετημένη γύρω από το στήθος, μετρά το ρυθμό αναπνοής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το αγώγιμο νήμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν από πολυακρυλικές ίνες έχοντας ως αγώγιμο μέσο τα σουλφίδια χαλκού (Zięba & Frydrysiak, 2006).



**Φωτογραφία 2.15** Ζώνη με ηλεκτρικό και οπτικό αισθητήρα για τη μέτρηση του ρυθμού αναπνοής (Zięba & Frydrysiak, 2006)

### 2.1.7 Βιοχημικοί αισθητήρες

Η παραγωγή των βιοχημικών αισθητήρων συνίσταται στην κατασκευή εξειδικευμένων ηλεκτρικών κλωστοϋφαντουργικών εξαρτημάτων για ιατρική χρήση. Οι βιοχημικοί αισθητήρες κατηγοριοποιούνται σε χημικούς αισθητήρες μέσω των οποίων είναι δυνατό να διαγνωσθεί μια ασθένεια, είτε σε αισθητήρες οι οποίοι παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας ενός ασθενή.

Οι βιοχημικοί αισθητήρες, με τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών από τον ιδρώτα του χρήστη, παρέχουν τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για τη συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών και το pH. Ακόμα, υπάρχουν βιοχημικοί αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να εντοπίσουν στο αίμα είτε στο πλάσμα ορισμένες πρωτεΐνες, να ανιχνεύουν τη γλυκόζη, να δίνουν ενδείξεις για τα αντιγόνα, τα αντισώματα και άλλες βιοχημικές ουσίες.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι μέθοδοι και οι βιοϊατρικοί αισθητήρες που αναπτύχθηκαν από την εταιρεία Biotex για την ενσωμάτωσή τους σε κλωστοϋφαντουργικά επιθέματα για ιατρική χρήση (Luprano, 2008).

**Πίνακας 2.1** Οι βιοχημικοί αισθητήρες και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από την Biotex (Luprano, 2008)

<b>ΟΜΑΔΕΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ</b>	<b>ΙΔΡΩΤΑΣ</b>	<b>ΠΛΑΣΜΑ ΑΙΜΑΤΟΣ</b>
<b>ΟΠΤΙΚΟΙ</b>	φασματοσκοπία		σημείο κορεσμού οξυγόνου (O <sub>2</sub> )
	οπτικός αισθητήρας ένδειξης αμυντικού συστήματος χρωματομέτρηση της υδρογέλης		VEGF C-reactive protein
	οπτική χρωματομετρία σε ευπαθές επίπεδο	pH	
<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ</b>	αντίσταση	αγωγιμότητα	
	αντίσταση	ποσοστό ιδρώτα	
<b>ΧΗΜΙΚΟΙ</b>	ηλεκτροχημική μέθοδος	συγκέντρωση ηλεκτρολυτών Cl, Na, K	

Τα επιθέματα βιοαισθητήρων είναι κατάλληλα για ανθρώπους που είτε ζουν απομονωμένοι, ή λόγω της ασθένειάς τους δεν είναι εφικτό να μετακινηθούν. Κατ'αυτόν

τον τρόπο παρακολουθούνται από απόσταση οι βιολογικές παραμέτροι του ασθενή (όπως θερμοκρασία, καρδιακή και αναπνευστική λειτουργία) ειδοποιώντας κάποιο κέντρο υγείας, σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ασφαλείας. Προϊόντα με βιοαισθητήρες για την παρακολούθηση κατάστασης υγείας μπορούν να αποδειχτούν σωτήρια όχι μόνο για ασθενείς με χρόνιες παθήσεις αλλά και για υγιή άτομα ή αθλητές χρησιμοποιώντας τα προληπτικά.

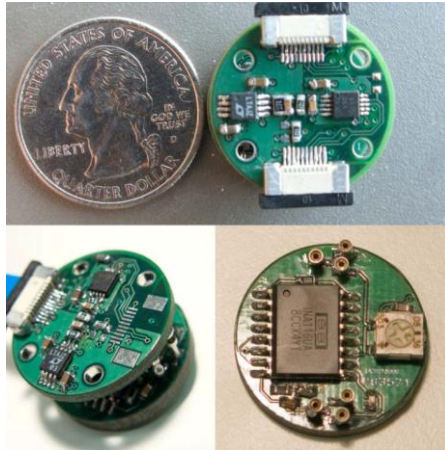
Απόρροια των παραπάνω αποτελεί η εξέλιξη του ηλεκτροχημικού βιοαισθητήρα ο οποίος προσαρμόζεται απευθείας επάνω στο δέρμα με τη μορφή προσωρινού τατουάζ. Παρατηρείται ότι με αυτήν τη μέθοδο οι εν λόγω αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές καθώς δεν καταστρέφονται με χημικές επεξεργασίες. Έχει προταθεί η χρήση αυτών των αισθητήρων στο εξωτερικό στρώμα ενός ενδύματος προστασίας μέσω της ενσωματωσής τους στο ένδυμα με βέλκρο που ράβεται πάνω του (Krucińska, Skrzetuska, & Urbaniak–Domagała, 2014).

Το σύστημα προσωπικής προστασίας Wealthy της εταιρείας Protex δοκιμάστηκε σε συνθήκες προσομοίωσης έκτακτης ανάγκης. Το σύστημα χρησιμοποιείται χωρίς την παρέμβαση του χρήστη και αποτελείται από βιοκινητικούς αισθητήρες καταγραφής ανθρώπινης δραστηριότητας (καρδιακή και αναπνευστική λειτουργία, εφίδρωση και υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, GSR (galvanic skin response), ηλεκτρομυογράφημα - EMG), καθώς και αισθητήρες ανίχνευσης περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση του περιβάλλοντος, ανίχνευση της τοποθεσίας του χρήστη μέσω του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (GPS - Global Positioning System) (Paradiso, Bourdon, & Loriga, 2008).

### **2.1.8 Ασύρματοι αισθητήρες**

Στον τομέα της υγείας η τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας έχει εφαρμοσθεί σε αισθητήρες, επιτρέποντας στους ασθενείς να γνωρίζουν αδιαλείπτως την κατάστασή της υγείας τους. Μέχρι τώρα, η τεχνολογία που εφαρμόζεται δεν είναι άνετη, καθώς ο χρήστης έρχεται σε επαφή με ηλεκτρόδια. Αυτό συμβαίνει και με τα ηλεκτρόδια σε ξηρά κατάσταση, τα οποία είναι ικανά να ερεθίσουν επιπλέον μία ήδη ταλαιπωρημένη επιδερμίδα. Έτσι, δημιουργήθηκαν ηλεκτρόδια τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν ανάμεσα σε στρώσεις της ενδυμασίας, χωρίς να έρχονται σε επαφή με το χρήστη. Η ροή του ηλεκτρικού σήματος πραγματοποιείται απρόσκοπτα, ανιχνεύοντας με υψηλό βαθμό ακρίβειας τους καρδιακούς παλμούς παρά τη λεπτή μόνωση που δημιουργούν τα

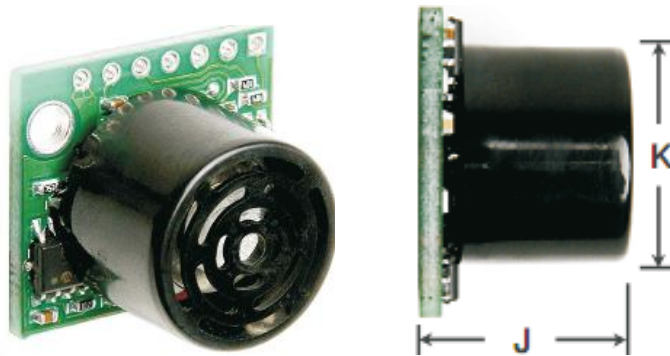
ενδύματα. Παρεμπόδιση εκπομπής του ηλεκτρικού σήματος παρατηρείται όταν υπάρχει πολυστρωματικό ένδυμα. Οι παράμετροι που διερευνώνται είναι το πως θα μειωθεί ο “θόρυβος” για να λαμβάνεται όσο το δυνατόν πιο καθαρό σήμα στις μετρήσεις και τον τρόπο με τον οποίο το ηλεκτρόδιο θα λαμβάνει δεδομένα με σταθερό ρυθμό (Chi & Cauwenberghs, 2010).



**Φωτογραφία 2.16** Ηλεκτρόδια non-contact (Chi & Cauwenberghs, 2010)

### 2.1.9 Αισθητήρες με χρήση υπερήχων

Αισθητήρες με χρήση υπερήχων, ενσωματωμένοι σε ένα ινοδομικό προϊόν υποβοηθούν άτομα με μειωμένη όραση για την ανίχνευση αντικειμένων στο χώρο. Βρίσκουν επίσης εφαρμογή, στις ένοπλες δυνάμεις για χαρτογράφηση και εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο. Για την κατασκευή των αισθητήρων με χρήση υπερήχων, χρησιμοποιούνται αγώγιμα νήματα επικαλυμμένα με ασήμι, από καθαρό ατσάλι, νήματα με μονωμένο πυρήνα από σίδηρο και ανθρακονήματα. Η μορφή του αισθητήρα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Kursun-Bahadir, Koncar, Kalaoğlu, Cristian, & Thomassey, 2011).



**Φωτογραφία 2.17** Αισθητήρας με χρήση υπερήχων (Kursun-Bahadir et al., 2011)

Διάφορες εφαρμογές όπως το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού (GPS-Global Positioning System) καθώς και πολλές λειτουργίες είναι ενεργοβόρες και εξασθενούν γρήγορα τη μπαταρία. Έτσι, κατασκευάστηκε αισθητήρας του οποίου η δομή περιλαμβάνει στο εσωτερικό του συσκευές εκπομπής υπερήχων και ενός δέκτη στο φορετό ύφασμα. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας απαιτεί για τη λειτουργία του χαμηλή παροχή ενέργειας, λιγότερη από 10mW (Muller, Randell, & Moss, 2006).

#### **2.1.10 Αισθητήρες *Time-of-Flight* (ToF)**

Με τη χρήση αισθητήρων κατασκευάστηκε φορετό σύστημα το οποίο παρακολουθεί την κίνηση όλου του σώματος. Αποτελείται από ένα έξυπνο ένδυμα το οποίο έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται τις διαστάσεις του και να προσαρμόζεται δυναμικά στη στάση σώματος του εκάστοτε χρήστη. Στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες *Time-of-Flight* με χρήση υπερήχων γιατί η εφαρμογή τους είναι πιο εύκολη, δεν είναι κοστοβόροι και ενεργοβόροι. Ένα ύφασμα το οποίο «γνωρίζει» τις διαστάσεις του θα βοηθήσει στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων απομνημόνευσης της κίνησης με νέες διεπαφές και συσκευές με αίσθηση του περιβάλλοντα χώρου. Αυτή η κατασκευή βρίσκει εφαρμογή στους κλάδους της ιατρικής όπως η αποκατάσταση και φυσικοθεραπεία αλλά και σε βιομηχανικές κατασκευές. Γενικά, τα συστήματα αυτά παρακολουθούν τις θέσεις του σώματος, τη γεωμετρία των κινήσεων, χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικές ή οπτοηλεκτρονικές συσκευές. Το συγκεκριμένο σύστημα όμως δεν μπορεί να διακρίνει αν για παράδειγμα ο χρήστης περπατάει στο δρόμο ή στο διάδρομο εκτός αν οι κινήσεις του διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, αλλά αντιλαμβάνεται την κατεύθυνση προς την οποία κινείται ο χρήστης (Einsmann et al., 2005).

Αισθητήρες, κατάλληλα διατεταγμένοι σε συγκεκριμένα γεωμετρικά σχήματα (sensor arrays) συλλέγουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή/και ακουστικά σήματα. Οι φορετές ακουστικές διατάξεις αισθητήρων - μικροφώνων (acoustic arrays) εντοπίζουν πηγές ακουστικών σημάτων σε πραγματικό χρόνο (real-time), τα δε δεδομένα τους είναι άμεσα αξιοποιήσιμα χωρίς να είναι αναγκαία η επεξεργασία μετά τη λήψη τους (Grant et al., 2004).

#### **2.1.11 Αισθητήρες ανίχνευσης αερίων (*Gas Sensors*)**

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει ποικίλα είδη αερίων, κάποια από τα οποία μπορεί να είναι βλαβερά για τον άνθρωπο ή/και για το οικοσύστημα. Αυτό το γεγονός επιβάλλει την ανάγκη για την ανίχνευσή τους.

Από τα τέλη του 20ού αιώνα έχουν αναπτυχθεί ορισμένοι τύποι αισθητήρων ανίχνευσης αερίων, οι οποίοι μετατρέπουν τις χημικές πληροφορίες που λαμβάνουν από το εξωτερικό περιβάλλον σε ηλεκτρικό σήμα. Το χαρακτηριστικό απόδοσης του κάθε αισθητήρα βασίζεται σε ορισμένες ιδιότητες όπως, υψηλή ευαισθησία, επιλεκτικότητα, να διαθέτει όριο ανίχνευσης και άμεσος χρόνος απόκρισης.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι αισθητήρων ανίχνευσης αερίων.

- **Καταλυτικοί αισθητήρες (Catalytic sensors)**

Τα περισσότερα μεταλλικά οξειδία και οι ενώσεις τους έχουν την καταλυτική ιδιότητα να επιταχύνουν τη χημική αντίδραση κατά την οποία επικίνδυνα αέρια μετατρέπονται σε λιγότερο επικίνδυνα.

Τα εύφλεκτα αέρια και μείγματα αερίων δεν καίγονται έως ότου επιτευχθεί κάποια θερμοκρασία ανάφλεξης, αλλά παρουσία μιας συγκεκριμένης χημικής διαδικασίας το αέριο θα αρχίσει να αναφλέγεται ακόμη και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται “καταλυτική καύση”.

- **Αισθητήρας αερίου θερμικής αγωγιμότητας (Thermal Conductivity Gas Sensor)**

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μετρούμενη απώλεια θερμότητας από ένα θερμότερο σώμα στο ψυχρότερο στοιχείο μέσω θερμικής αγωγιμότητας. Ο TCGS συνήθως χρησιμοποιείται για την ανίχνευση αερίων με υψηλή θερμική αγωγιμότητα μεγαλύτερη από τον αέρα όπως το υδρογόνο και το μεθάνιο, ενώ αέρια με χαμηλή αγωγιμότητα και κοντά στις τιμές του αέρα, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα δεν μπορεί να ανιχνευτεί από τη συγκεκριμένη συσκευή.

- **Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες αερίου (Electrochemical Gas Sensors)**

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες λειτουργούν αντιδρώντας σε ένα αέριο και παράγουν ηλεκτρικό σήμα που είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση του αερίου.

- **Οπτικοί αισθητήρες αερίων (Optical Gas Sensors)**

Οπτικοί αισθητήρες αερίων χρησιμοποιούν οπτική απορρόφηση ενός είδους αερίου σε συγκεκριμένα οπτικά μήκη κύματος. Αποτελούνται από μια συσκευή η οποία εκπέμπει φως, ένα φωτοανιχνευτικό στοιχείο ανίχνευσης αερίων καθώς και ένα φίλτρο το οποίο συλλέγει το φθορισμό ή φωσφορισμό.

- *Υπέρυθροι αισθητήρες αερίου (Infrared Gas Sensor)*

Οι αισθητήρες υπερύθρων αποτελούνται από έναν ανιχνευτή ο οποίος μετατρέπει την ενέργεια ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό σήμα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), καθώς και για ανίχνευση υδρογονανθράκων.

- *Αισθητήρες ημιαγωγών (Semiconductor Sensors)*

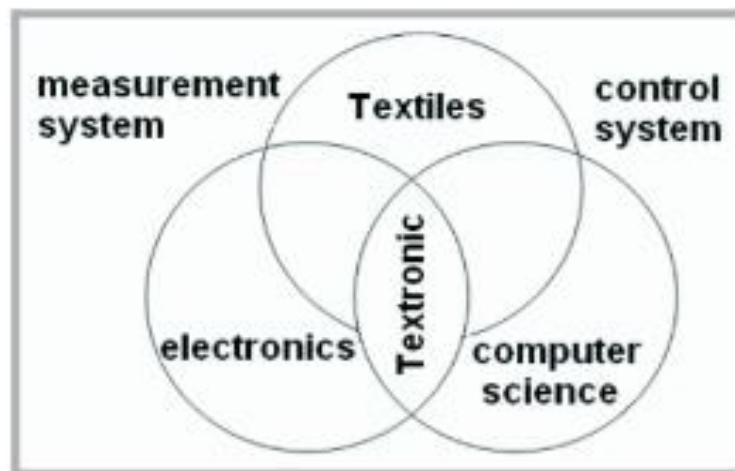
Οι αισθητήρες αερίων ημιαγωγών είναι κατασκευασμένοι από θερμαινόμενα μεταλλικά οξείδια τα οποία χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της συγκέντρωσης ενός αερίου από την μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης που παρουσιάζει ο αισθητήρας.

- *Αισθητήρες αερίου ακουστικών κυμάτων (Acoustic Wave Gas Sensors)*

Καθώς το ακουστικό κύμα διαδίδεται μέσω της επιφάνειας του υλικού, οποιαδήποτε παρεμβολή στη μετάδοση του ακουστικού κύματος επηρεάζει την ταχύτητα και την ακρίβεια της μετάδοσης (Gas sensors 2014).

## 2.2 TEXTRONICS

Ο όρος *textronics* αναφέρεται σε διεπιστημονικές προσεγγίσεις όσον αφορά στις διαδικασίες παραγωγής και σχεδίασης έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών υλικών, οι οποίες παρουσιάστηκαν τις τελευταίες δεκαετίες. Είναι μια συνεργασία - συλλογική προσπάθεια μεταξύ των κλάδων της κλωστοϋφαντουργίας, ηλεκτρονικών εφαρμογών και ηλεκτρονικών υπολογιστών η οποία υιοθετεί και χρησιμοποιεί στοιχεία και αρχές των πεδίων του αυτοματισμού και της μετρολογίας (*metrology*).



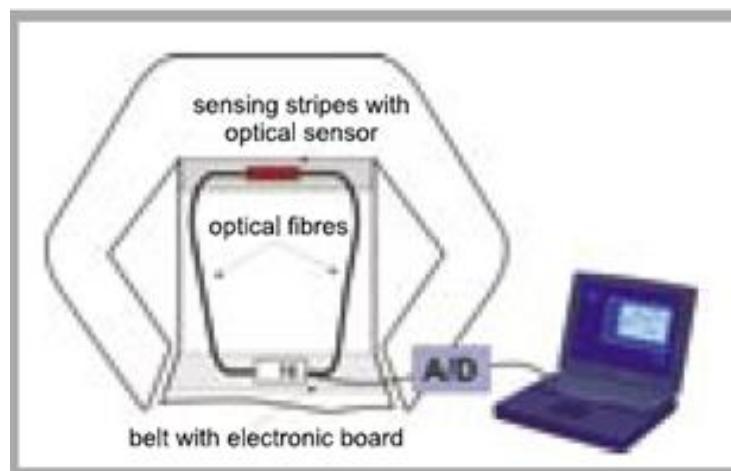
**Φωτογραφία 2.18** Επιστημονικά πεδία που ενώνονται για δημιουργία *Textronic* (Zięba & Frydrysiak, 2006)



Η δημιουργία ενός νέου πεδίου επιτεύχθηκε με τη χρήση συστατικών στοιχείων, τα οποία χάριν της αμοιβαίας πληροφόρησης αποκτούν όλο και πιο αυξημένη επιρροή στους προαναφερθέντες κλάδους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη φυσική ενσωμάτωση μικροηλεκτρονικών (ολοκληρωμένων κυκλωμάτων-chip, μικροαγωγών, κ.λπ) κατά τη δημιουργία των υλικών ύφανσης αλλά και των ενδυμάτων. Ο κύριος ρόλος του τομέα των *textronics* είναι η δημιουργία πολυλειτουργικών, έξυπνων προϊόντων με πολύπλοκες εσωτερικές δομές, τα οποία όμως θα διέπονται από ομοειδείς λειτουργικές αρχές (Zięba & Frydrysiak, 2006).

### 2.2.1 Εφαρμογές των *TEXTRONICS*

Η συχνότητα της αναπνοής αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ανθρώπινα ζωτικά σήματα και για την παρακολούθησή της έχουν αναπτυχθεί πρωτότυπα συστήματα *textronics*, όπως οι οπτοηλεκτρονικοί αισθητήρες συχνότητας αναπνοής (breath frequency sensors - BFS) από κλωστοϋφαντουργικά υλικά, οι οποίοι βασίζονται στη χρήση τεχνολογίας οπτικών ινών προκειμένου να μεταδίδονται τα μετρούμενα σήματα μέσα σε ινώδεις δομές. Οι αισθητήρες BFS έχουν ινώδη δομή καθώς στην ουσία αποτελούνται από δύο οπτικούς κυματοδηγούς, του πομπού και του δέκτη, την κεφαλή του αισθητήρα και το υφασμάτινο ελατήριο που συνδέει τις άκρες των οπτικών ινών.



**Φωτογραφία 2.19** Σύστημα *textronic* για την παρακολούθηση του ρυθμού αναπνοής (Gniotek, 2007)

Η ινώδης δομή της συσκευής, σε συνδυασμό με την απλή και οικονομική κατασκευή της, το μικρό μέγεθος και την ελαστικότητά της, την καθιστά κατάλληλη για χρήση σε πολλές εφαρμογές *textronics* με σκοπό την ανθρώπινη ασφάλεια, όπως η ενσωμάτωσή της σε στολές σωμάτων διάσωσης και ασφαλείας και σε ιατρικά ενδύματα παρακολούθησης ασθενών (Gniotek, 2007).

### **2.2.2 Μαγνητικές Ίνες Κυτταρίνης και η Εφαρμογή τους στα Textronics**

Οι μαγνητικές ίνες είναι ίνες που παρουσιάζουν σιδηρομαγνητικές ιδιότητες, οι οποίες προκύπτουν προσθέτοντας σιδηρομαγνητική σκόνη σε διάλυμα κυτταρίνης. Οι μαγνητικές τους ιδιότητες εξαρτώνται από το είδος του μαγνητικού υλικού και την κατ'όγκο περιεκτικότητά του στις ίνες. Οι μαγνητικές ίνες και τα παραγόμενα από αυτές μη υφασμένα υφάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρομαγνητικές συσκευές textronic καθώς και για την κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών μαγνητικών πηνίων. Τα πηνία αυτά είναι το πλέον βασικό στοιχείο των ηλεκτρομαγνητικών συσκευών, όπως αισθητήρες και ηλεκτρομαγνητικοί ενεργοποιητές. Επίσης, από τις μαγνητικές ίνες μπορούν να παραχθούν μαγνητικά μη υφασμένα υφάσματα τα οποία θα χρησιμοποιούνται ως μαγνητικές “ασπίδες” σε ενδύματα textronic (Rubacha & Zieba, 2007).

### **2.2.3 Τα Βασικά Προβλήματα των Textronics**

Τα textronics εκτός από τις νέες δυνατότητες που προσφέρουν στην επιστημονική κοινότητα, δημιουργούν και ορισμένες δυσκολίες. Είναι αναγκαία η ανάπτυξη νέων ινωδών συσκευών, αισθητήρων και ενεργοποιητών που θα μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό σήμα σε συνάρτηση με την ποσότητα των παραμέτρων που επιμετρούνται. Με αυτές τις συσκευές θα διευκολυνθεί η παραγωγή προηγμένων αυτομάτων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου των συνθηκών ζωής για την ενεργή προστασία των ανθρώπων κάτω από ειδικές καταστάσεις.

Πολύ σημαντικό είναι το ζήτημα της μετάδοσης των σημάτων μέτρησης και ελέγχου, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί ενσύρματα ή ασύρματα, καθώς και η ανάπτυξη νέων μεθόδων για τη μετατροπή και επεξεργασία των σημάτων αυτών.

Ωστόσο, το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα textronics είναι η ηλεκτρική πηγή που θα χρησιμοποιούν τα συστήματα, καθώς οι παραδοσιακές μπαταρίες έχουν μεγάλο μέγεθος και βάρος, ενώ εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως οι θερμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν χαμηλές δυνατότητες. Για τη σύνδεση των ηλεκτρονικών στοιχείων με το ύφασμα υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι: η εισαγωγή ανεξάρτητων κλειστών ηλεκτρονικών συσκευών στην ινώδη δομή, η εγκατάσταση μικροσκοπικών ειδικών κατασκευών στη δομή του υφάσματος, και η άμεση εγκατάσταση ενώσεων p-n στις ίνες (Gniotek & Krucinska, 2004).

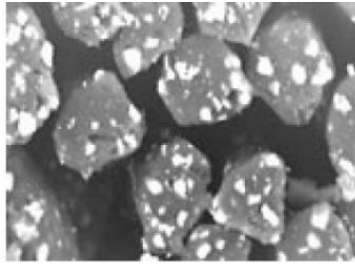
### 2.3 ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΕΣ - ACTUATORS

Η λειτουργία των ενεργοποιητών αφορά στο μετασχηματισμό των ηλεκτρικών σημάτων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες προκαλώντας μία κινητική ή ηχητική αντίδραση.

Στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα χρησιμοποιούνται ως ενεργοποιητές, λόγω της νηματοειδούς μορφής τους, τα κράματα μνήμης σχήματος (Shape memory alloys), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν το σχήμα τους παράγοντας κινητική ενέργεια, αποτέλεσμα αντίδρασης σε κάποιο ερέθισμα όπως μιας μεταβολής της θερμοκρασίας τους. Αυτά τα υλικά έχουν διττή υπόσταση (είναι και αισθητήρες και ενεργοποιητές), καθώς παράγουν την απαιτούμενη ενέργεια (θερμότητα) για να αυτο-ενεργοποιηθούν και να αλλάξουν σχήμα μέσω της ενέργειας που απορροφούν και εκπέμπουν (resistive heating). Βέβαια, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην Ιατρική ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται και στην Κλωστοϋφαντουργία, όμως η διαδικασία ενσωμάτωσής τους είναι περίπλοκη και ακριβή. Ένα κράμα μνήμης σχήματος που χρησιμοποιείται στην Κλωστοϋφαντουργία είναι εκείνο του νικελίου και τιτανίου με την εμπορική ονομασία Nitinol. Επειδή η τιμή θερμοκρασίας αλλαγής φάσης του κράματος είναι πολύ υψηλή για ένδυμα, αλλάζει η αναλογία του στοιχειακού τιτανίου και νικελίου και έτσι το κράμα «προγραμματίζεται» να αλλάζει μορφή σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Το μειονέκτημα είναι ότι το σύρμα με Nitinol πρέπει να είναι επεξεργασμένο στο σχήμα από πριν, διότι αν τοποθετηθεί στο ύφασμα είναι δύσκολο να αλλάξει το shape-set, καθώς απαιτείται υψηλή θερμοκρασία 500°C, περιορίζοντας έτσι τις δυνατότητες του σχεδιασμού αλλά και της παραγωγής.

Ακόμα λόγω υψηλών μηχανικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων ως ενεργοποιητές μπορούν να λειτουργήσουν οι ίνες από νανοσωλήνες άνθρακα (carbon nanotubes fibres) (Berzowska & Coelho, 2005).

Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενεργοποιητών είναι οι μαγνητικές ίνες. Ανάλογα του μαγνητικού υλικού και της ποσότητας που προστίθεται κατά την παραγωγή τους, αυτές αποκτούν διαφορετικές ιδιότητες. Αυτές οι ίνες βοηθούν στην κατασκευή κλωστοϋφαντουργικών μεταλλικών πηνίων βάσει των οποίων δημιουργούνται τα ηλεκτρονικά και μαγνητικά κυκλώματα που εφαρμόζονται στα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Τα κλωστοϋφαντουργικά πηνία έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν το σχήμα τους. Στην παρακάτω εικόνα (Φωτ. 2.20) απεικονίζεται η διατομή της ίνας μετά την ένωση με τη σιδηρομαγνητική σκόνη (Rubacha & Zięba, 2006).



**Φωτογραφία 2.20** Διατομή της ίνας μετά την ένωση με τη σιδηρομαγνητική σκόνη (Rubacha & Zięba, 2006)

#### **2.4 ΜΟΝΑΔΑ ΜΙΚΡΟΎΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ -SINGLE BOARD COMPUTER**

Για την επεξεργασία των ληφθέντων σημάτων (από τους διάφορους αισθητήρες) απαιτείται λειτουργικό πρόγραμμα. Για τον προγραμματισμό του μικροϋπολογιστή (single board computer - SBC), χρησιμοποιείται λογισμικό όπου ο χρήστης χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εντολές και παραμέτρους, σχηματίζει τον επιθυμητό κώδικα για να ελέγχει αισθητήρες, leds, είτε άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν επεξεργαστές δεδομένων κατασκευασμένοι από κλωστοϋφαντουργικά υλικά.

Για την κατασκευή ηλεκτρονικών ενδυμάτων απαιτείται μικρού μεγέθους μικροεπεξεργαστής, ο οποίος επιπλέον πρέπει να είναι εύκαμπτος, ελαφρύς, να προσαρμόζεται με ευκολία πάνω στο ρούχο, αλλά και να έχει τη δυνατότητα απομάκρυνσής του από το ένδυμα, κατά το πλύσιμο του ενδύματος (McCann & Bryson, 2009).

Στο Πίνακα 1 του Παραρτήματος (σελ.76) παρουσιάζονται οι τύποι και τα χαρακτηριστικά των περισσότερων, εμπορικά διαθέσιμων, μικροϋπολογιστών.

#### **2.5 ΠΗΓΕΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Για να λειτουργήσουν όλα τα παραπάνω συστήματα απαιτείται παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πηγές τροφοδότησης ενέργειας αποτελούν μεγάλο πρόβλημα για την κατασκευή ηλεκτρονικών ενδυμάτων λόγω του βάρους τους.

Οι συσσωρευτές ενέργειας, οι μπαταρίες λιθίου, οι αλκαλικές μπαταρίες καθώς και οι κυψέλες μικρο-καυσίμων (micro fuel cells) χρησιμοποιούνται ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ως πηγές ενέργειας για τα e-textiles οι συσσωρευτές ηλιακής ενέργειας, οι θερμογεννήτριες όπου εκμεταλλεύονται τη θερμότητα του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και συσκευές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια από το περπάτημα σε ηλεκτρική ενέργεια (McCann & Bryson, 2009).

## **2.6 ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ (ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ)**

Οι ηλεκτρικές γραμμές μεταφοράς δεδομένων θεωρούνται οι συνδετικοί κρίκοι στα δίκτυα επικοινωνίας μεταξύ των αισθητήρων και των ενεργοποιητών ενός συστήματος φορητής ηλεκτρονικής τεχνολογίας. Μέσω των γραμμών μεταφοράς μεταφέρονται ηλεκτρικά σήματα δεδομένων και ενέργεια.

Ως δίκτυα επικοινωνίας σε ένα ηλεκτρικό σύστημα είναι τα καλώδια που μεταφέρουν τα δεδομένα και το τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια. Για την κατασκευή ενδυμάτων με τη χρήση ηλεκτρονικών στοιχείων (e-textiles) χρησιμοποιούνται ως δίκτυα παροχής ενέργειας οι οπτικές ίνες καθώς και αγωγία νήματα ή κλωστές. Ακόμα, για να υπάρχει αλληλεπίδραση ανθρώπου με το σύστημα απαραίτητες είναι οι διεπαφές, τα πληκτρολόγια (keyboards), πλήκτρα (buttons), οθόνες - displays, συστήματα αναγνώρισης γραφής ή/και ομιλίας, LEDs και κεραίες. Για τις γραμμές μετάδοσης σήματος χρησιμοποιούνται αγωγία νήματα διαφορετικών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζουν την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Το μέγεθος που το επηρεάζει είναι η γραμμική αντίσταση (linear resistance). Όσο αυξάνεται η γραμμική αντίσταση, τόσο χειροτερεύει η μετάδοση του σήματος.

Μερικοί τύποι αγωγίων νημάτων είναι νήματα μονωμένα με χαλκό, επαργυρωμένα νήματα NYLON 66-4 ply, 66-2 ply, 66 και νήματα από 100% ανοξείδωτο ατσάλι. Σε πειράματα αποδείχτηκε ότι τα μονωμένα με χαλκό νήματα παρέχουν καλύτερης ποιότητας σήμα αλλά τα επαργυρωμένα NYLON 66-4 ply νήματα αποτελούν το βέλτιστο συνδυασμό, καθώς παρουσιάζουν καλή ελαστικότητα, αντοχή στον εφελκυσμό και προσφέρουν καλής ποιότητας μετάδοση σήματος. Ένα ακόμα θετικό στοιχείο για τα επαργυρωμένα NYLON 66-4 ply νήματα είναι η ευκολία στην πλέξη και η ενσωμάτωσή τους σε αισθητήρα (Kursun-Bahadir, Koncar, Kalaoğlu, Cristian, & Thomassey, 2011).

## **2.7 ΚΕΡΑΙΕΣ**

Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες έχουν δείξει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον στην κατασκευή κεραιών από κλωστοϋφαντουργικά υλικά κατάλληλα για την ενσωμάτωσή τους σε κυκλώματα ραδιοφωνικών συχνοτήτων, για τη χρήση τους στην κατασκευή ενδυμάτων με τη χρήση ηλεκτρονικών στοιχείων.

## ΟΡΙΣΜΟΙ

Ground plane: είναι η επιφάνεια που είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το μήκος κύματος, και συνδέεται με τον πομπό (Transmitter) λειτουργώντας ως ανακλαστική επιφάνεια για τα ραδιοκύματα.

Planar structure: μονοδιάστατη δομή

### *2.7.1 Προδιαγραφές και υλικά κεραιών*

Για την κατασκευή μιας «φορητής» κεραίας πρέπει τα υλικά να τηρούν ορισμένες προϋποθέσεις, με κυριότερη την ευκαμψία. Η κεραία για να έχει καλά αποτελέσματα πρέπει να είναι λεπτή, ελαφριά, να μη χρειάζεται συχνή συντήρηση, να είναι φθηνή και να ενσωματώνεται εύκολα σε κυκλώματα ραδιοφωνικών συχνοτήτων (Radio Frequency (RF)). Φυσικά, να μπορεί να ενσωματωθεί στο ύφασμα με τον ελάχιστο παρεμβατικό τρόπο. Κατάλληλες κεραίες για την τοποθέτησή τους σε ένδυμα είναι οι microstrip patch γιατί ακτινοβολούν κυρίως κάθετα προκαλώντας ένα είδος φραγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ground planes) προστατεύοντας έτσι το χρήστη από την απορρόφηση της ακτινοβολίας (Salvado, Loss, Gonçaves, & Pinho, 2012).

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι συμβατικά κλωστοϋφαντουργικά νήματα και υφάσματα αλλά και αγώγιμα νήματα/υφάσματα. Είναι σημαντικό να γίνει σωστή επιλογή υλικών καθώς επηρεάζει τη λειτουργία της κεραίας αφού της παρέχουν διαφορετικές ιδιότητες όπως το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) και την αποτελεσματικότητα της απόδοσής της. Τα αγώγιμα υφάσματα για τα patch και ground planes πρέπει να έχουν πολύ μικρή ηλεκτρική επιφανειακή αντίσταση για να μειωθούν οι ηλεκτρικές απώλειες και να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της κεραίας. Τα επικαλυμμένα υφάσματα με αγώγιμες ταινίες δεν είναι αποτελεσματικά και είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται αγώγιμα νήματα. Κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα σε υφαντή και μη υφασμένη μορφή προτιμώνται για κατασκευή του patch αφού οι δομές τους είναι πιο σταθερές. Στη δομή πρέπει να υπάρχει ένα κλωστοϋφαντουργικό προϊόν με υψηλή αντοχή στην εφελκυστική τάση, αντίσταση στην κάμψη και σταθερή γεωμετρία ώστε να σταθεροποιείται το πλαίσιο όπου βρίσκεται το σύστημα της κεραίας (Salvado et al., 2012).

Είναι σαφές ότι η συμβατική κλωστοϋφαντουργική τεχνολογία είναι εφαρμόσιμη για την κατασκευή ενσωματωμένων κεραιών στα υφάσματα. Τα ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιούνται για κατασκευή των patches για τις κεραίες, αλλά τα

patches που έχουν κατασκευαστεί με αγωγή μελάνια (screen print) δίνουν περισσότερες επιλογές επεξεργασίας (Hertleer, Van Langenhove, & Rogier, 2008).

Κάποια μεγέθη που επηρεάζουν τη λειτουργία της κεραίας είναι η διηλεκτρική σταθερά και το πάχος του υποστρώματος αλλά και του διηλεκτρικού υλικού. Μειώνοντας τη διηλεκτρική σταθερά αυξάνεται το εύρος ζώνης συχνοτήτων. Αντίστοιχα, το πάχος του υποστρώματος επηρεάζει το εύρος ζώνης συχνοτήτων αλλά μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά της και αλλάζει το γεωμετρικό μέγεθος της (Salvado et al., 2012).

Η αγωγιμότητα των τυπωμένων μέσων επιτυγχάνει την καλύτερη απόδοση όταν το τύπωμα παραμένει πάνω στην επιφάνεια του υφάσματος και δε διαπερνά τη δομή του υφάσματος. Χρησιμοποιούνται ακόμα προστατευτικές επιστρώσεις, για την προστασία των τυπωμένων μέσων και τυπωμένων κυκλωμάτων από τις περιβαλλοντικές μολύνσεις, και τις φυσικές φθορές. Τέτοιες επιστρώσεις κατασκευάζονται από σιλικόνη, πολυουρεθάνη, και ακρυλική ρητίνη. Οι προστατευτικές επιστρώσεις συνιστώνται στις αγωγίμες τυπώσεις γιατί είναι πιθανό πολλές φορές να κάνουν ραγίσματα ή να αποκολλούνται από το ύφασμα λόγω μηχανικών καταπονήσεων όπως το πλύσιμο και τη χρήση. Βέβαια, για να παρέχεται άνεση στο χρήστη δεν προτιμώνται δύσκαμπτα και πολύ σκληρά υλικά. Τις καλύτερες ιδιότητες δίνουν η σιλικόνη και η πολυουρεθάνη.

Συμπερασματικά, οι κεραίες που έχουν επικάλυψη σιλικόνης είναι πιο εύκαμπτες ενώ η πολυουρεθάνη είναι η πλέον άκαμπτη. Οι κεραίες με επικάλυψη πολυουρεθάνης παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση που βοηθάει κατά πολύ τη μετάδοση του σήματος. Η ακρυλική επίστρωση είναι πιο ευλύγιστη από την πολυουρεθάνη και παρέχει διαπερατότητα στον αέρα, αλλά αν καμφθεί δεν επανέρχεται στην αρχική της διάσταση και αυτό έχει ως επίπτωση τα τυπωμένα μέσα να εμφανίζουν ρωγμές και ασυνέχειες αποκλείοντάς την όσον αφορά τη προστασία των υλικών. Σε αντίθεση με την ακρυλική επίστρωση, οι επιστρώσεις σιλικόνης και πολυουρεθάνης είναι πιο εύκαμπτες και επανέρχονται στις αρχικές τους διαστάσεις (Suh, Carroll, & Oxenham, 2011).

Οι επικαλυμμένες, με πολυουρεθάνη κεραίες παρουσιάζουν καλύτερη ηλεκτρική απόδοση αλλά μειωμένες μηχανικές ιδιότητες και σχετικά χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση. Φαίνεται ότι η ηλεκτρική απόδοση των επικαλυμμένων κεραιών μειώνεται με την εφαρμογή της προστατευτικής επίστρωσης. Η μηχανική απόδοση της σιλικόνης είναι πολύ καλύτερη σε σύγκριση με τα προαναφερθέντα υλικά (πολυουρεθάνη, ακρυλική ρητίνη) (Suh, Carroll, Grant, & Oxenham, 2013).

Όσον αφορά στην επιλογή του υποστρώματος, αυτή γίνεται κυρίως με βάση την τελική του χρήση κι όχι με την απόδοση της κεραίας. Παρ' όλα αυτά, τα τζιν (denim) υφάσματα είναι τα πλέον σταθερά από πλευράς διαστάσεων και αντιστέκονται στη φυσική παραμόρφωση που προκαλείται από τα υλικά επίστρωσης (Suh et al., 2013).

Η ανάγκη για ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των στοιχείων του κυκλώματος έδωσε έδαφος για την ανάπτυξη κεραιών επαγωγικής σύζευξης (inductive coupling). Έτσι, οι αισθητήρες μπορούν να βρίσκονται εσωτερικά κάτω από στρώσεις ενδυμάτων για να έχουν πιο ακριβείς μετρήσεις και μέσω των κεραιών με αυτήν τη λειτουργία να στέλνουν το αντίστοιχο σήμα στα λοιπά στοιχεία του κυκλώματος. Οπότε, στην έξυπνη ένδυση που περιέχονται πολλαπλές στρώσεις υφασμάτων δίνεται η δυνατότητα χρήσης ενός καινούριου ασύρματου δικτύου το οποίο βελτιστοποιεί τη συνολική απόδοση του συστήματος, καθώς επιβραδύνει την εξάντληση της μπαταρίας και ταυτόχρονα βελτιώνει την εμφάνιση του ενδύματος, γεγονός που το καθιστά πιο ελκυστικό ως προϊόν και με μεγαλύτερη απήχηση στο αγοραστικό κοινό (Suh, E. Carroll, Grant, & Oxenham, 2014).

### **2.7.2 Κατηγορίες κεραιών**

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες κεραιών, οι σπειροειδείς, οι κυρτές (Bowtie) και οι κεραίες με ευρεία ζώνη συχνοτήτων με διπολικό σύρμα (Broadband). Η τελευταία κατηγορία καλύπτει χαμηλές συχνότητες από 100MHz με 250MHz. Η σπειροειδής και η κυρτή καλύπτουν συχνότητες 250MHz με 800MHz. Αυτές μπορούν να ενσωματωθούν στο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν με συμβατικούς τρόπους. Η κατασκευαστική διαδικασία είναι παρόμοια για τη σπειροειδή και τη κυρτή, ενώ για το ευρείας ζώνης διπολικό σύρμα είναι διαφορετική. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για να ενσωματωθούν με τους παραπάνω τρόπους στο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν είναι: αγωγήμη κορδέλα, μονωμένο σύρμα, αγωγήμη βαφή, αγωγήμη nylon, αγωγήμη κλωστή, φωσφορικό χάλκινο πλέγμα, screen print, LCP (=υγρό κρυσταλλικό πολυμερές), ύφασμα επικαλυμμένο με σίδηρο. Τα υλικά με την καλύτερη απόδοση και με μεγαλύτερη ευκολία στην κατασκευή είναι το αγωγήμη nylon και το επικαλυμμένο με σίδηρο ύφασμα (Matthews & Pettitt, 2009).





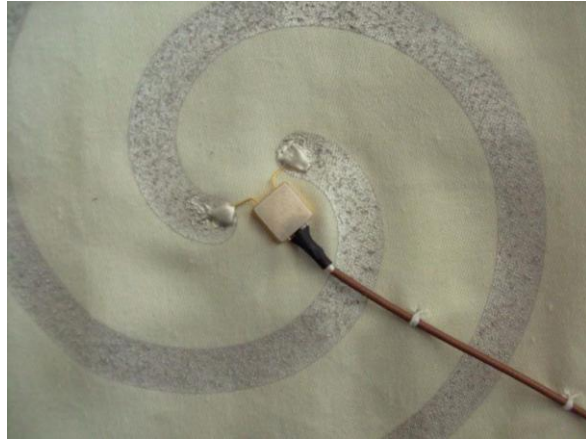
**Φωτογραφία 2.21** Κυρτή κεραία (Bowtie) από ύφασμα επικαλυμμένο με σίδηρο (Matthews & Pettitt, 2009)



**Φωτογραφία 2.22** Αγωγή nylon με σπειροειδή κεραία (Matthews & Pettitt, 2009)

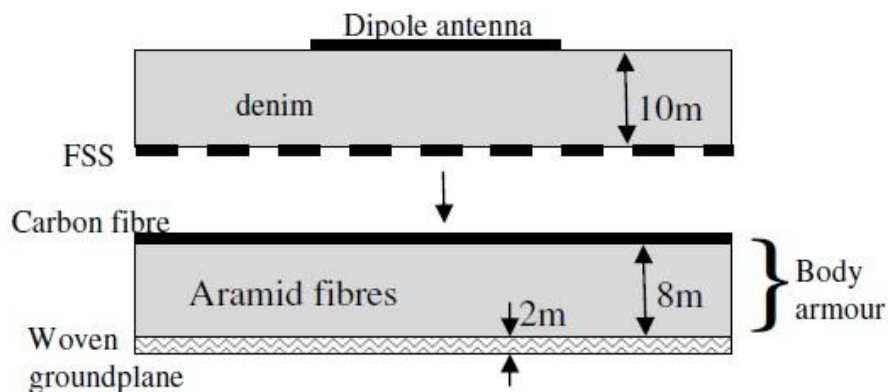


**Φωτογραφία 2.23** Αγωγή κλωστή σε σπειροειδή κεραία (Matthews & Pettitt, 2009)



**Φωτογραφία 2.24** Αγωγή βαφή σε σπειροειδή κεραία (Matthews & Pettitt, 2009)

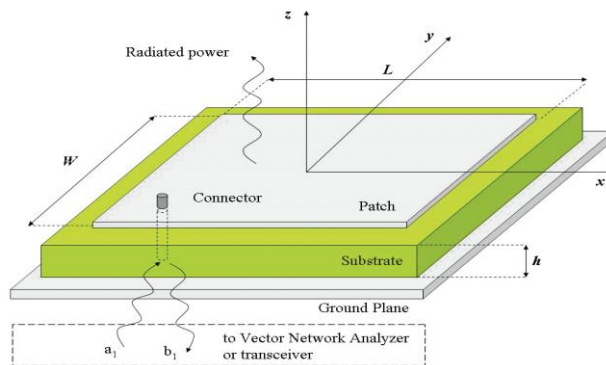
Οι φορητές κεραίες χρησιμοποιούνται συχνά στις Ένοπλες Δυνάμεις με την προσάρτησή τους σε γιλέκα προστασίας (body armour) για την υποβοήθηση στην επικοινωνία σε ειδικές αποστολές. Με τη χρήση συμβατικών υλικών προκύπτουν προβλήματα όπως το ότι δεν καλύπτεται το μήκος κύματος για μεγάλη έκταση, ότι το ποσοστό ακτινοβολίας (Specific Absorption Rate - SAR) είναι μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο καθώς έρχονται πολύ κοντά με το ανθρώπινο σώμα, αλλά και το ότι οι κεραίες έχουν μικρή διάρκεια “ζωής”. Αυτά τα προβλήματα λύνονται με την ενσωμάτωση ενός αραμιδικού υλικού και μιας μεταλλικής υφαντής στρώσης που χρησιμοποιείται ως διηλεκτρικό υλικό. Η επιφάνεια υψηλής σύνθετης-επαγωγικής-αντίστασης (HIS - High Impedance Surface) είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί στα 400MHz. Αυτές οι επιφάνειες ενσωματώνονται στο ύφασμα και βελτιώνουν την εμβέλεια της κεραίας ενώ παράλληλα προστατεύουν τον άνθρωπο από την απορρόφηση ακτινοβολίας χωρίς να μειώνουν τη λειτουργικότητά της. Αυτό γίνεται χάρη στα μεταλλικά επίπεδα που βρίσκονται ενσωματωμένα στη δομή. Τα συμπυκνωμένα array στοιχεία βοηθούν στη μείωση του μεγέθους των HIS (Sanz-Izquierdo, Parker, Batchelor, & Miller, 2011).



**Σχήμα 2.1** Δομή της θωράκισης σώματος, HIS, κεραίας (Sanz-Izquierdo et al., 2011)

Οι κεραιές microstrip patch (μικροταινίας επιφανειακής επαφής) αποτελούνται από ένα μεταλλικό patch πάνω στο διηλεκτρικό υλικό το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω στο ground plane όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2.2. Το πλεονέκτημά τους είναι οι ελαφριές συμπτυκνωμένες (compact) γεωμετρικές δομές που δεν είναι ακριβές και ευαίσθητες καθώς δεν έχουν προεξέχοντα μέρη. Χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία γιατί μπορούν πολύ εύκολα να ενσωματωθούν σε ηλεκτρικά κυκλώματα, δίνουν ευχέρεια στο σχεδιασμό, και εκπέμπουν μακριά από το σώμα ενώ μόνο κάποιο ποσοστό τους απορροφάται τελικά από αυτό (Hertleer, Tronquo, et al., 2008).

Το είδος του υποστρώματος εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται. Έτσι μια κεραιά microstrip patch αλλά με αραμιδικό ύφασμα (4 στρώματα) για υπόστρωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επαγγελματικά ενδύματα προστασίας π.χ. για πυροσβέστες (Hertleer, Van Langenhove, et al., 2008).



**Σχήμα 2.2** Κεραιά microstrip patch (Hertleer, Tronquo, Rogier, & Van Langenhove, 2008)

### 2.7.3 Προβλήματα κατά την εφαρμογή δύναμης

Κατά τη χρήση του ενδύματος, εκείνο δέχεται κάποιες συμπιεστικές δυνάμεις πάνω του. Αυτό που παρατηρείται είναι, ότι κατά την εφαρμογή δύναμης μεταβάλλονται οι διαστάσεις του υποστρώματος και μαζί τους μεταβάλλεται και η συχνότητα συντονισμού της κεραιάς (Sanjari, Merati, Varkiani, & Tavakoli, 2014).

### 2.7.4 Αντοχές κεραιών με αγώγιμα μελάνια (μέθοδος SCREEN PRINT) στο πλύσιμο

Σε πειράματα που διεξήχθησαν παρατηρήθηκε ότι στα 20 πλυσίματα οι κεραιές που ήταν κατασκευασμένες με μέθοδο screen print και επικαλυμμένες με πολυουρεθάνη είχαν ικανοποιητικές αντοχές και δεν υπήρξε αποκόλληση των αγώγιμων υλικών. Άρα, σε βάθος 20 πλυσιμάτων η επίστρωση παραμένει λειτουργική. Επομένως, όχι μόνο δεν παρατηρήθηκε αποσύνθεση στη στρώση του αγώγιμου μελανιού, αλλά αποφεύγεται και η

αποκόλληση των πολλών επιπέδων που έχει το υπόστρωμα της κεραίας επάνω του. Βέβαια, ακόμα και οι μη επικαλυμμένες με πολυουρεθάνη κεραίες παρατηρήθηκε ότι μετά από 20 πλυσίματα λειτουργούσαν σωστά γεγονός που οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία πλυσίματος δεν επηρεάζει σημαντικά την αποσύνθεση του αγωγίμου μελανιού. Το μόνο πρόβλημα που διαπιστώθηκε ήταν ότι υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των πλυσιμάτων και μετά τη μηχανική καταπόνηση κατά το πλύσιμο αρχίζουν οι φθορές (Kazani et al., 2014).

### ***2.7.5 Δομή υφάσματος για την κατασκευή κεραίας***

Τα μη υφασμένα υφάσματα είναι μια δομή που δίνει την ευκαιρία για έλεγχο του πορώδους, της γεωμετρίας των πόρων και της υφής της επιφάνειας επιλέγοντας ποιες ίνες και ποια διαδικασία επεξεργασίας θα ακολουθηθεί. Επίσης, ο τρόπος που είναι καταναμημένες και ο προσανατολισμός των ινών επηρεάζει το βαθμό με τον οποίο μπορεί ένα υγρό να διεισδύσει στο ύφασμα και να εξαπλωθεί στην επιφάνειά του. Για αυτό το λόγο επιλέγονται δομές που έχουν μικρές ίνες και πόρους καταναμημένους τυχαία και επιτρέπουν στο μελάνι να διεισδύσει στο ύφασμα. Αυτό δείχνει ότι τα μη υφασμένα μπορούν να δώσουν λύση στα ηλεκτρονικά κ/υ στην ενσωμάτωση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Karaguzel et al., 2008).

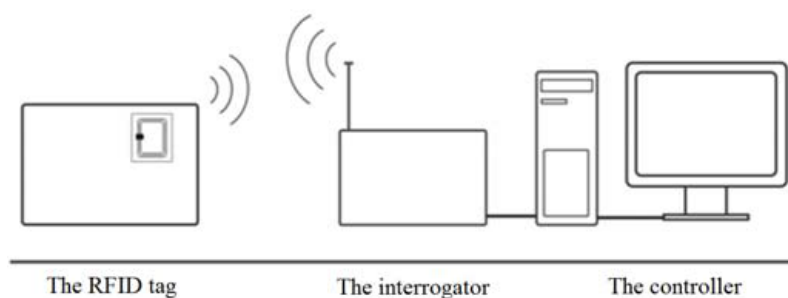
## ***2.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ***

Ακόμα ένα σύστημα επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην Κλωστοϋφαντουργία είναι η τεχνολογία αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification - RFID). Η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID) είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας που χρησιμοποιείται (RFID TAGS) για την επισήμανση προϊόντων. Η τεχνολογία RFID εφαρμόζεται όλο και περισσότερο καθημερινά σε γραμμικούς κώδικες, τα barcodes. Η τεχνολογία RFID μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή συστημάτων που στοχεύουν στην αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων με ετικέτα. Σε αντίθεση με την τεχνολογία του γραμμικού κώδικα, η τεχνολογία RFID αποδεικνύεται πολύ πιο αποτελεσματική όσον αφορά τη διαδικασία παραγωγής αλλά και αποθήκευσης συγκεκριμένων προϊόντων. Χωρίς καμία αμφιβολία, εταιρείες που δραστηριοποιούνται στους τομείς παραγωγής και εμπορίας υφασμάτων θα έχουν σημαντικά οφέλη από την χρήση των RFID εφαρμογών.

### 2.8.1 Η λειτουργία της τεχνολογίας RFID

Το σύστημα RFID αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία:

- μια ετικέτα – αναμεταδότης (tag)
- μια συσκευή ανάγνωσης / εγγραφής (interrogator)
- ένας ελεγκτής (controller)



**Σχήμα 2.3** Σχεδιάγραμμα συστήματος RFID (Barburski, Czekalski, & Snycerski, 2008)

Ο αναμεταδότης (tag) συντίθεται από: α) ένα μικροτσιπ ημιαγωγών, β) κεραία, γ) μια μπαταρία (προαιρετικά). Για να είναι προστατευμένο το σύστημα, τα υλικά που επιλέγονται για την κατασκευή του περιβλήματος, αναλόγως τη χρήση μπορεί να είναι από πλαστικά, από χαρτόνια και σε μορφή ετικέτας.

Η συσκευή αναγνώρισης λαμβάνει πληροφορίες που συλλέγονται από τους αναμεταδότες (passive tags, active tags) και αποτελείται από μια κεραία, μια ηλεκτρονική μονάδα ραδιοσυχνότητας, και μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.

Ο ελεγκτής (controller) συνήθως είναι μια συσκευή όπως ένας υπολογιστής ή μία βάση δεδομένων και λογισμικού ελέγχου.

Η ετικέτα RFID και η συσκευή αναγνώρισης, κοινοποιούν τις πληροφορίες μεταξύ τους μέσω ραδιοκυμάτων. Όταν ένα αντικείμενο με ετικέτα εισέρχεται στη ζώνη ανάγνωσης, τα σήματα και τα αποθηκευμένα δεδομένα μεταδίδονται στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα για την καταγραφή τους σε μια βάση δεδομένων ή μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πληροφορίες για την ανακατεύθυνση του αντικειμένου σε ένα σύστημα παραγωγής με ιμάντα (Barburski, Czekalski, & Snycerski, 2008).

### **3 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ**

Είναι σαφές ότι ένα φορετό σύστημα είτε ηλεκτρονικό, ή ευφυές, είτε ο συνδυασμός αυτών, είναι απαραίτητο να πληροί κάποιες προδιαγραφές (technical standards). Το φορετό σύστημα θα πρέπει να έχει μικρή μάζα, να παρέχει άνεση και ασφάλεια, να είναι εύχρηστο και πρακτικό και να μην είναι ενεργοβόρο. Στην περίπτωση της ενσωματωμένης, επαναφορτιζόμενης πηγής ενέργειας, η φόρτιση να είναι ταχεία. Το κόστος παραγωγής και συντήρησης να είναι μικρό και φυσικά να είναι ανθεκτικό στις καταπονήσεις. Τέλος, να έχει ενσωματωμένο μικροϋπολογιστή (single board computer - SBC) για τη δυνατότητα επεξεργασίας των σημάτων (McCann & Bryson, 2009).

#### **3.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΡΗΣΤΗ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ**

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις προδιαγραφές ενός τέτοιου ενδύματος είναι η αλληλεπίδραση χρήστη - υπολογιστή (Human Computer Interaction - HCI). Η HCI είναι η έρευνα, η οργάνωση και ο σχεδιασμός του τι συμβαίνει όταν ο χρήστης και ο υπολογιστής αλληλεπιδρούν (Hu, 2011).

Οι στόχοι της HCI είναι να δημιουργηθούν εύχρηστα, ασφαλή και λειτουργικά συστήματα. Για να δημιουργηθούν συστήματα με σωστή χρηστικότητα οι προγραμματιστές προσπαθούν να πετύχουν τους παρακάτω τρεις (3) στόχους:

- Κατανόηση των παραμέτρων που καθορίζουν το πως οι άνθρωποι χρησιμοποιούν την τεχνολογία,
- Ανάπτυξη εργαλείων και τεχνικών για να δημιουργήσουν τα κατάλληλα συστήματα,
- Επίτευξη αποτελεσματικής και ασφαλούς αλληλεπίδρασης (Hu, 2011).

Τονίζεται, ότι αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία σε αυτά τα συστήματα είναι να εξετάζονται πρώτα οι άνθρωποι, οι ανάγκες, οι δυνατότητες και οι προτιμήσεις τους για τη διεξαγωγή διάφορων εργασιών. Ο ανθρώπινος παράγοντας θα κατευθύνει με ποιον τρόπο θα πρέπει να κατασκευαστούν τα συστήματα αλληλεπίδρασης. Οι χρήστες δεν πρέπει να αλλάζουν τον τρόπο που χρησιμοποιούν ένα σύστημα και το σύστημα θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να ταιριάζει με τις απαιτήσεις του χρήστη (Hu, 2011).

### 3.1.1 Βασικές αρχές της HCI

Η ανάπτυξη των HCI συστημάτων περιλαμβάνει (4) τέσσερα βήματα όπως παρουσιάζεται στη Φωτ. 3.1:



**Φωτογραφία 3.1** Σύστημα ανάπτυξης της HCI (Hu, 2011)

#### 1. Απαιτήσεις ανάλυσης

- Κατοχύρωση των στόχων της HCI από πλευράς χρηστών,
- Αναγνώριση των αναγκών των χρηστών με στόχο να είναι χρηστικό στις απαιτήσεις τους,
- Εκτίμηση των ήδη υπαρχόντων εκδοχών παρόμοιων συστημάτων, αν υπάρχουν,
- Πραγματοποίηση ανάλυσης του ανταγωνισμού από άλλους developers,
- Πραγματοποίηση συζητήσεων με πιθανούς μελλοντικούς χρήστες.

#### 2. Σχεδιασμός

- Σχεδιασμός του συστήματος και της αρχιτεκτονικής σε αφηρημένο επίπεδο,
- Εντοπισμός βασικών χαρακτηριστικών.

### **3. Δημιουργία προτύπου**

- Δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων (mock-ups) ή διαδραστικές αναπαραστάσεις (πρότυπα) του συστήματος,
- Αξιολόγηση χρηστικότητας χρησιμοποιώντας αναγνωρισμένη μέθοδο,
- Με τα αποτελέσματα γίνεται δημιουργία καινούριων οπτικών αναπαραστάσεων και βελτιώνονται τα πρότυπα,
- Επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία μέχρι οι στόχοι του σχεδιασμού και της χρηστικότητας να επιτευχθούν.

### **4. Ανατροφοδότηση (Feedback)**

- Αξιολόγηση λειτουργικότητας μέσα από δοκιμές διασφαλίζοντας την ποιότητα,
- Με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης το προϊόν βελτιώνεται,
- Να διατηρηθεί η ανατροφοδότηση από το χρήστη,
- Και με τη χρήση της ανατροφοδότησης να δημιουργηθούν καινούριες απαιτήσεις ώστε να υπάρξουν βελτιώσεις σε καίρια σημεία του συστήματος που σχεδιάστηκε (Hu, 2011).

#### **3.2 ΑΝΕΣΗ ΚΑΙ ΕΥΚΟΛΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ**

Με τον όρο άνεση μια βασική προϋπόθεση που καλούνται να καλύψουν τα ηλεκτρονικά έξυπνα ενδύματα αποτελεί η φορητότητα (portability), η οποία προϋποθέτει κανονικό μέγεθος ενδύματος, μικρό βάρος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το μέγεθος εξαρτάται από τις επιπλέον συσκευές που δε θα πρέπει να εξέχουν, αλλά να ενσωματώνονται στα ενδύματα.

Επιπλέον, τα επιπρόσθετα στοιχεία και συσκευές δε θα πρέπει να παρεμποδίζουν τις κινήσεις του χρήστη, αλλά να προσφέρουν ευκολία κίνησης όπως ακριβώς στα συμβατικά ενδύματα. Συμπερασματικά, σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να θυσιάζεται η άνεση του χρήστη για χάρη των πρόσθετων χαρακτηριστικών που προσδίδουν στις ιδιότητές του. Η εξατομίκευση των ενδυμάτων είναι μείζονος σημασίας για αυτά τα ενδύματα καθώς



επηρεάζει την αποτελεσματικότητά τους. Σε ιατρικές μετρήσεις χρησιμοποιούνται κάποιοι αισθητήρες που πρέπει να βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία, τα οποία ποικίλλουν για κάθε άνθρωπο. Είναι απαραίτητο να υπάρχει η δυνατότητα προσαρμογής των αισθητήρων για τον κάθε χρήστη.

Στο σχεδιασμό των ενδυμάτων αυτών είναι σημαντικό τα επιπλέον εξαρτήματα να μην είναι ορατά στους άλλους, όπως και στο χρήστη. Είναι μια λειτουργική ανάγκη δευτερεύουσας σημασίας. Οι άνθρωποι δεν έχουν συνηθίσει να έχουν καλώδια γύρω από το σώμα τους, ογκώδεις συσκευές στη ζώνη, καθώς δεν είναι άνετο, ούτε αισθητικά ωραίο ή αποδεκτό. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που προέκυψε από τη χρήση των «φορετών» υπολογιστών. Η μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών στοιχείων έχει συμβάλει στη μείωση των συσκευών θέτοντάς τα πιο διακριτικά. Τα έξυπνα ενδύματα και συνεπώς τα ηλεκτρονικά στοιχεία δε θα πρέπει να ξεχωρίζουν από το συμβατικό ένδυμα, παρά μόνο στη λειτουργία, επομένως θα πρέπει να ακολουθούν και τις τάσεις της μόδας ανάλογα του τελικού σκοπού τους.

Όσον αφορά την άνεση, στα ενδύματα προστασίας πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας ακόμα παράγοντας ο οποίος είναι η θερμική άνεση που επηρεάζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους όπως, η υγρασία, η ζέστη και το κρύο, η μόνωση και ο αέρας που περνάει μέσα από το ένδυμα (Chapman, 2013).

#### 4 ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ

Στην προηγούμενη παράγραφο έγινε αναφορά στην άνεση και στην ευκολία στη χρήση των ηλεκτρονικών ενδυμάτων. Εντούτοις, υπάρχουν διαφόρων τύπων δυσκολίες, λόγω χάριν, ένας άνθρωπος ο οποίος δεν είναι εξοικειωμένος με τέτοια συστήματα σίγουρα θα βρεθεί αντιμέτωπος με το άγνωστο. Επομένως, μια προϋπόθεση είναι να υπάρχει ένα προηγούμενο υπόβαθρο επαφής με ηλεκτρονικά συστήματα. Έτσι η βιομηχανία καλείται να «εκπαιδεύσει» τους χρήστες για να κάνει τα προϊόντα της πιο επιθυμητά και χρηστικά. Επομένως, τα προϊόντα τους θα μετατραπούν από απλά και συμβατικά σε διαδραστικά (reactive) και προσαρμοζόμενα στις απαιτήσεις κάθε χρήστη (McCann, J., & Bryson, D., 2009).

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως ένα από τα κύρια στοιχεία για ένα επιτυχημένο ηλεκτρονικό ένδυμα η διεπαφή θα πρέπει να είναι εύχρηστη, εύκολα προσβάσιμη και ευανάγνωστη. Επίσης, θα πρέπει να είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη, ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί γρήγορα και εύκολα διαφορετικές ομάδες ανθρώπων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως δεξιόχειρες και αριστερόχειρες. Μείζονος σημασίας είναι το γραφικό περιβάλλον όπου προκύπτουν θέματα ευκολίας στη χρήση και εκμάθησής του. Οι λειτουργίες πάνω στη διεπαφή θα πρέπει να είναι ευδιάκριτες και ευνόητες, ώστε ο χρήστης να έχει τον απόλυτο έλεγχο.

Δύο ακόμη παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη οι κατασκευαστές για τη σχεδίαση διαδραστικών ενδυμάτων είναι η πλήρης κατανόηση της φυσιολογίας του ανθρώπινου σώματος αλλά και των τεχνικών χαρακτηριστικών των υφασμάτων, καθώς η ευκαμψία των υφασμάτων δυσκολεύει την ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών στοιχείων σε αυτά. Το τελικό προϊόν θα πρέπει να υπακούει σε συγκεκριμένους κοινωνικούς κανόνες και να πληροί ορισμένες κοινωνικές προσδοκίες και απαιτήσεις. Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι ότι ενώ έχουν γίνει διάφορες προσπάθειες ενσωμάτωσης των ηλεκτρονικών στοιχείων με αγωγή νήματα /ίνες στο ένδυμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία δεν ακολουθούν εξολοκλήρου τις κινήσεις του σώματος με αποτέλεσμα κάποιοι αισθητήρες να μην εφάπτονται καλά στο σώμα και να παρεμποδίζουν την εκπομπή σήματος, με αποτέλεσμα τη λήψη λανθασμένων δεδομένων. Λαμβάνοντας τις παραπάνω παραμέτρους υπόψη, ο κατασκευαστής κατά τη σχεδίαση του διαδραστικού ενδύματος καλείται να λύσει τα προβλήματα της άνεσης και της αξιόπιστης λειτουργίας όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων του έξυπνου ενδύματος (Dunne, 2010).

Στον αθλητισμό, ένας προβληματισμός που προκύπτει, είναι ο τρόπος και το σημείο ενσωμάτωσης των αισθητήρων στο ένδυμα για την καλύτερη δυνατή παρακολούθηση των επιδόσεων και της φυσικής κατάστασης των αθλουμένων. Λόγω του ότι οι αθλητές βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και το ένδυμα κινείται μαζί με το σώμα, οι αισθητήρες δέχονται πολλές εφελκυστικές τάσεις οι οποίες επηρεάζουν τη λήψη του σήματος. Διάφορες μέθοδοι και δοκιμές έχουν αναπτυχθεί για έλεγχο επίδοσης και λειτουργίας των ενσωματωμένων ηλεκτροδίων και αισθητήρων. Ένας από τους τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος εκπομπής σήματος είναι η αλλαγή μεγέθους των αισθητήρων (Schlosser & Carroll, 2013).

Επίσης, η θέση και ο προσανατολισμός του χρήστη επηρεάζουν το λαμβάνον σήμα, όπου σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να στέλνει ψευδείς πληροφορίες, καθώς, το σήμα που λαμβάνεται όταν ο χρήστης είναι ξαπλωμένος και όταν βρίσκεται σε όρθια θέση είναι το ίδιο όταν ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος στο ίδιο σημείο. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα με δυνατότητα αναγνώρισης κίνησης βασισμένο στη διανομή της σχετικής ενέργειας σε πέντε (5) διαφορετικά σημεία του σώματος. Κάποιοι ερευνητές αντιμετωπίζουν αυτό το πρόβλημα με ένα τρισδιάστατο επιταχυνσιόμετρο με το οποίο κάνουν ακριβή ανάλυση των λαμβανόμενων σημάτων ανεξαρτήτως του προσανατολισμού των αισθητήρων. Ο προσανατολισμός του αισθητήρα επηρεάζεται από δύο (2) κύριους παράγοντες: α) τον τρόπο με τον οποίο έχει φορεθεί το ένδυμα από το χρήστη και β) τη στάση του σώματος του χρήστη (Thiemjarus, 2010).

Στην προσαρμογή των αισθητήρων στο ένδυμα συναντώνται κάποια προβλήματα όπως στην ακρίβεια των ληφθέντων δεδομένων και το μέγεθος του σφάλματος. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα μια μέθοδος προτείνει δύο μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η μία είναι η τοποθέτηση του αισθητήρα στο σωστό σημείο πάνω στο σώμα και η δεύτερη το πόσο θα κινηθεί ο αισθητήρας από αυτό το προκαθορισμένο σημείο όταν το σώμα βρίσκεται σε κίνηση. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε ένα ανδρείκελο το οποίο είχε τεθεί σε κίνηση, και στο οποίο είχε φορεθεί ένα παντελόνι με απόλυτη εφαρμογή (skin tight), εφαρμόζοντας ψηλά στη μέση. Πάνω στο παντελόνι σε συγκεκριμένα σημεία ήταν τοποθετημένοι οι αισθητήρες οι οποίοι ήταν σηματοδεδεμένοι. Για να κριθούν τα σημεία από το σύστημα ως έγκυρα, έπρεπε το ίδιο σημάδι να το ανιχνεύσουν τρεις κάμερες. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Motion Capture (ή mocap). Παρακάτω, (Φωτ. 4.1) παρουσιάζονται οι θέσεις των αισθητήρων (Gioberto & Dunne, 2012).



**Φωτογραφία 4.1** Σύστημα *Motion Capture*

#### **4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΑ ΥΦΑΣΜΑΤΑ/ΕΝΔΥΜΑΤΑ**

Η ενσωμάτωση των έξυπνων συστημάτων και αισθητήρων σε κλωστοϋφαντουργική δομή, είναι η βασική τεχνολογία μέλλοντος για την κατασκευή ηλεκτρονικών ενδυμάτων προσωπικής προστασίας. Η συνεχής καταγραφή και μετάδοση ανθρώπινων δραστηριοτήτων και περιβαλλοντικών δεδομένων με τη βοήθεια έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών υλικών, τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών καθώς και της μικροηλεκτρονικής, προσφέρουν στο χρήστη άνεση και προστασία.

Μέχρι και σήμερα εξελίσσονται συνεχώς διάφορες φορητές μονάδες ειδικά σχεδιασμένες για καταγραφή συνθηκών έκτακτης ανάγκης για την προστασία.

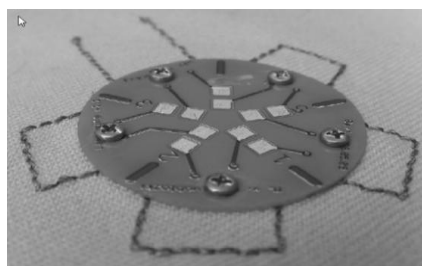
Στην πρώτη γενιά έξυπνων ενδυμάτων χρησιμοποιήθηκαν συμβατικά υλικά και μέθοδοι ενσωμάτωσης ηλεκτρονικών στοιχείων στο ένδυμα. Η πρώτη απόπειρα που στέφθηκε με επιτυχία ήταν το πανωφόρι στο οποίο υπήρχαν προσαρμοσμένα μικρόφωνο, ακουστικό, τηλεχειριστήριο, κινητό τηλέφωνο και MP3 player. Με το όνομα ICD+ line σε συνεργασία των εταιρειών Philips και Levi's. Το μειονέκτημα ήταν ότι το σύστημα με τα καλώδια έπρεπε να αφαιρείται για να πλυθεί το ένδυμα και στη συνέχεια να επαναπροσαρμόζεται. Έτσι, το επόμενο βήμα προόδου ήταν η ενσωμάτωση των καλωδίων σύνδεσης μέσα στο ύφασμα. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το πρώτο μικροσκοπικό MP3 player ενσωματωμένο πάνω σε ένδυμα. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που ήταν ενσωματωμένα στο ένδυμα ήταν: ένας κεντρικός μικροαισθητήρας, ακουστικό, μπαταρία και κάρτα μνήμης για δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων. Κατά το πλύσιμο, αυτά τα στοιχεία προστατεύονταν με αδιάβροχη συσκευασία. Ακόμα και με ένα τέτοιο εγχείρημα το ηλεκτρονικό ένδυμα δεν ήταν ιδιαίτερα εύχρηστο διότι είχε ανάγκη από αρκετή φροντίδα και συντήρηση και επιπλέον ο χρόνος ζωής του ήταν αμφίβολος.

Κάποια στοιχεία όπως οι πυκνωτές, τα πηνία και οι αντιστάσεις μπορούν να δημιουργηθούν εξολοκλήρου από κλωστοϋφαντουργικά υλικά, αλλά για τα ηλεκτρονικά στοιχεία, αυτό δεν είναι ακόμα δυνατό. Έτσι μια μέθοδος ενσωμάτωσης των ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργικό υλικό, είναι η απευθείας συγκόλλησή τους σε μεταλλικό νήμα. Μετά την τοποθέτηση των στοιχείων, οι συνδέσεις πάνω στο μεταλλικό νήμα ενισχύονται μηχανικά με ακρυλική επικάλυψη ή με κάποιο άλλο εξίσου εύκαμπτο υλικό. Οι διακόπτες (gripper snaps) είναι άριστοι συνδετήρες μεταξύ του υφάσματος και των ηλεκτρονικών στοιχείων. Δεδομένου ότι ο διακόπτης διαπερνά το νήμα, δημιουργεί μια εκπληκτικά γερή ηλεκτρική επαφή και επιπροσθέτως παρέχει καλύτερη επιφάνεια για συγκόλληση.

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι ενσωμάτωσης ηλεκτρονικών στοιχείων σε μια κλωστοϋφαντουργική δομή παρουσιάζονται παρακάτω:

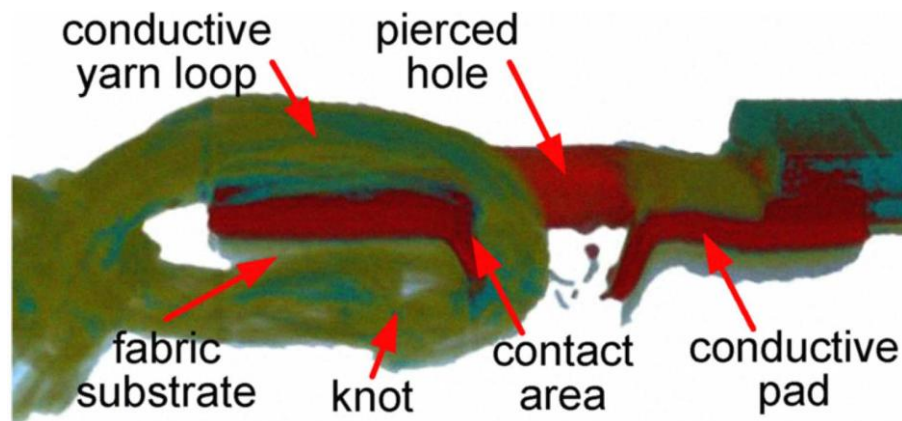
- crimping connect,
- συγκόλληση (soldering),
- στερέωση (stapling),
- κέντημα (embroidery),
- δέσιμο (bonding) με δύο κατηγορίες flip-chip bond και reversible bond,
- ένωση (joining),
- gluing με χρήση αγωγίμης κόλλας (Simon, 2011).

Με τη μέθοδο **crimping connect**, η σύνδεση δεν απαιτεί μεγάλες θερμοκρασίες αλλά καθιστά το ύφασμα δύσκαμπτο εξαιτίας της ύπαρξης των τυπωμένων κυκλωμάτων σε πλακέτες (printed circuit boards - PCBs). Στερεοποιείται με βίδωμα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

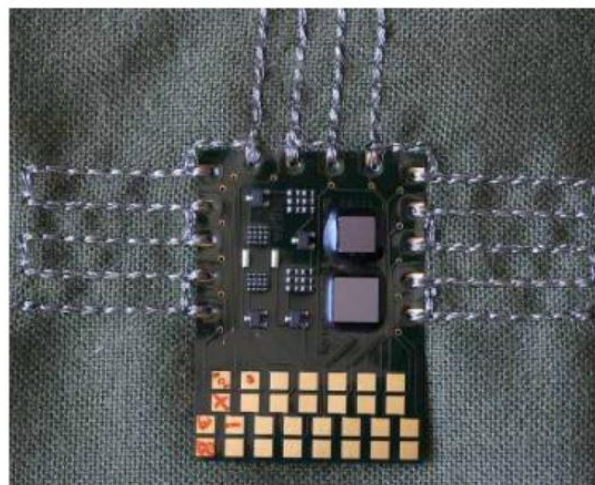


**Φωτογραφία 4.2** Μέθοδος *crimping connect* για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή (Simon, 2011)

- Η **συγκόλληση** δίνει τη δυνατότητα στερέωσης των ηλεκτρονικών στοιχείων απευθείας πάνω στο ύφασμα. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν υπάρχει ευκαμψία στο ύφασμα και είναι ακατάλληλη σε εφαρμογές που έρχονται σε άμεση επαφή με το σώμα του χρήστη λόγω της τοξικότητας των συγκολλημένων στοιχείων.
- Η **στερέωση** ως τεχνική είναι επίπονη για το ύφασμα καθώς κατά την κάμψη του υπάρχει φθορά. Σε αυτήν την τεχνική τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι ραμμένα πάνω σε αγωγικά κυκλώματα δημιουργώντας έτσι ηλεκτρονικά κλωστοϋφαντουργικά κυκλώματα.
- Με τη μέθοδο κεντήματος **embroidery** χρησιμοποιείται εύκαμπτο υπόστρωμα για να μπορεί να το διαπεράσει η βελόνα, και καθαυτών τον τρόπο ενσωματώνονται με σταθερή σύνδεση τα ηλεκτρονικά στοιχεία με το ύφασμα (LINZ, T 2008-2010).



**Φωτογραφία 4.3** Μεγέθυνση κεντημένης με αγωγικό νήμα δομής υφάσματος

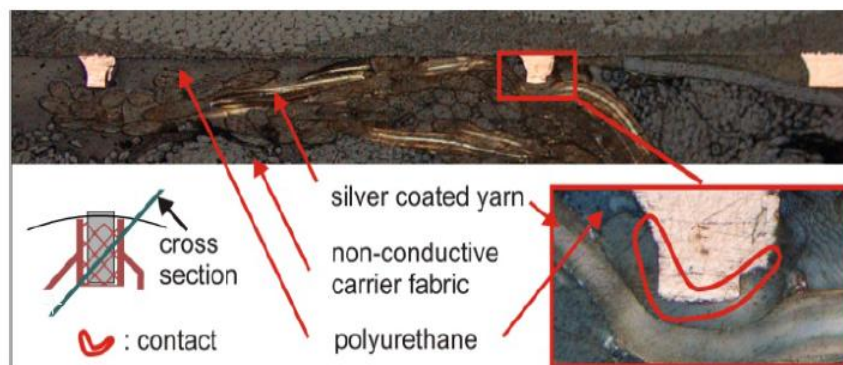


**Φωτογραφία 4.4** Αισθητήρας ενσωματωμένος στο ύφασμα με τη μέθοδο κεντήματος (Linz, 2008-2010).

- Στο **δέσιμο** χρησιμοποιούνται υψηλά αγώγιμα, ανθεκτικά και μη τοξικά συγκολλητικά υλικά για την προσαρμογή άκαμπτων υλικών πάνω στο ύφασμα.

- **Flip-chip bond**

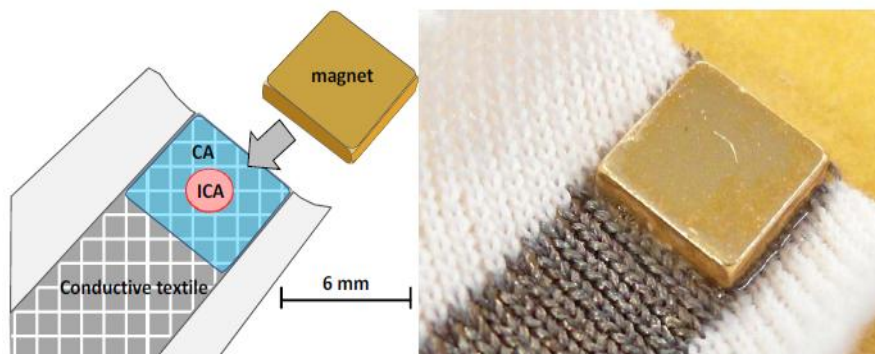
Σε αυτήν τη μέθοδο μπορούν να ραφτούν τα αγώγιμα νήματα πάνω στο ύφασμα με ραπτική μηχανή. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία προστίθενται πάνω στο ύφασμα γρήγορα. Χρειάζεται όμως ειδική μηχανή για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και απαιτείται η θερμοκρασία να είναι στους 190°C.



**Φωτογραφία 4.5** Μέθοδος *Flip-chip bond* για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή (Scheulen, K., Schwarz, A. & Jockenhoevel, S., 2013).

- **Reversible bond**

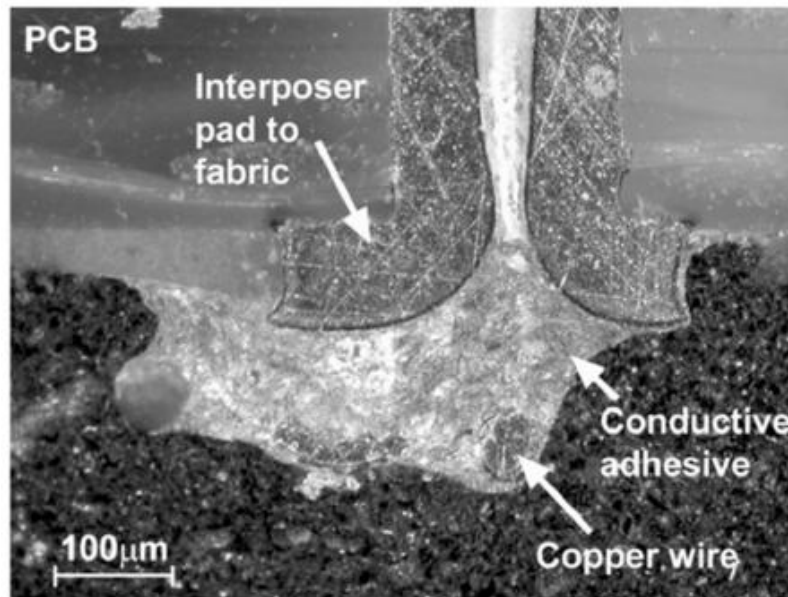
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μαγνήτη για να ενισχύσει τη συγκολλητική δράση (Scheulen, K., Schwarz, A. & Jockenhoevel, S., 2013).



**Φωτογραφία 4.6** Μέθοδος *Reversible bond* με μαγνήτη για την ενσωμάτωση ηλεκτρονικών στοιχείων σε κλωστοϋφαντουργική δομή (Scheulen, Schwarz, & Jockenhoevel, 2013).

- Η **ένωση** είναι η μέθοδος στην οποία τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε πλαίσια από νήματα τα οποία επισυνάπτονται σε ραμμένα αγώγιμα κυκλώματα, θέτοντας τα στοιχεία αυτά σε συγκεκριμένες θέσεις (Meoli & May-Plumlee, 2002).

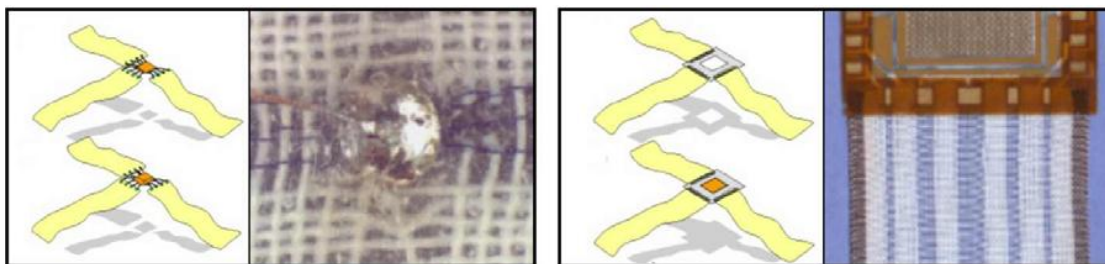
- **Gluing** είναι η μέθοδος στην οποία τα ηλεκτρονικά στοιχεία συγκολλούνται με αγωγήμη κόλλα.



**Φωτογραφία 4.7** Μέθοδος *Gluing* συγκόλληση ηλεκτρονικών στοιχείων με κόλλα (Simon, 2011)

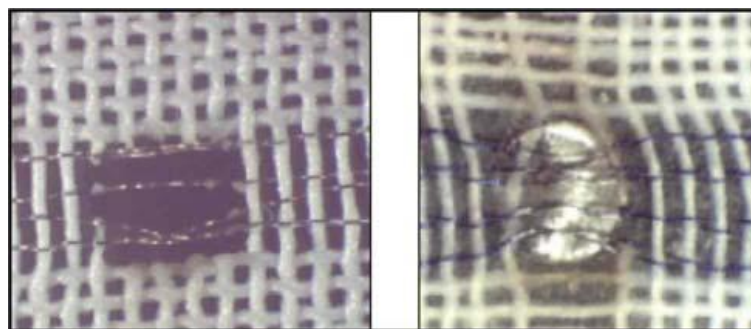
Σύμφωνα με τις ραγδαίες εξελίξεις στη μικροηλεκτρονική, μπορεί πλέον να κατασκευαστεί ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό κύκλωμα με μεγάλο αριθμό ενσωματωμένων στοιχείων ανά τετραγωνικό χιλιοστό. Το μέγεθός τους είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με τις τυπικές διαστάσεις των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, επομένως χρειάζονται καινοτόμες τεχνικές για τις διασυνδέσεις των ηλεκτρονικών στοιχείων. Το κενό αυτό που δημιουργείται μπορεί να ξεπεραστεί με δύο μεθόδους που θα αναλυθούν παρακάτω. Δοκιμαστικά, έγινε χρήση σε στενό υφαντό ύφασμα πολυεστέρα με παράλληλα και αγωγήμη νήματα στημονιού. Στην πρώτη περίπτωση, οι άκρες του αγωγήμου υφάσματος προετοιμάζονται με τη συγκόλληση μικροσκοπικών μεταλλικών πλακών επαφής (contact plates). Στη συνέχεια, το σύστημα αυτό συνδέεται με μονωμένα καλώδια και τελικά οι πλάκες επαφής και τα καλώδια καλύπτονται με ένα εύκαμπτο και μονωτικό στρώμα που παρέχει μηχανική προστασία όπως φαίνεται στη Φωτ. 4.8, στην αριστερή πλευρά της. Στη δεξιά πλευρά της εικόνας, αναπαριστάται η δεύτερη περίπτωση, κατά την οποία χρησιμοποιείται ένας λεπτός ευέλικτος πίνακας κυκλωμάτων ο οποίος συγκολλείται επίσης πάνω στο κλωστοϋφαντουργικό υπόστρωμα. Ο πίνακας αποτελείται από δομημένα ηλεκτρόδια (Stefan Jung, Christl Lauterbach, & Werner Weber, 2002; S. Jung, C. Lauterbach, & W. Weber, 2002).





**Φωτογραφία 4.8** Αριστερά: η μονάδα συνδέεται με καλώδια σε ύφασμα πολυεστέρα και Δεξιά: με ένα εύκαμπτο πλαστικό έλασμα με σχεδιασμένες διασυνδέσεις (Stefan Jung et al., 2002; S. Jung et al., 2002)

Στα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν καλώδια χαλκού με επίστρωση αργύρου και πολυεστέρα. Στη Φωτ. 4.9 (αριστερή εικόνα) υποδεικνύονται διασυνδεδεμένες περιοχές όπου η ηλεκτρική απομόνωση των καλωδίων απομακρύνεται με επεξεργασία λέιζερ. Στα κενά που δημιουργούνται στο ύφασμα τοποθετούνται μεταλλικές πλάκες ίδιου μεγέθους και συνδέουν τα υφασμένα καλώδια με συγκόλληση. Το μέταλλο με το ύφασμα συνδέονται μηχανικά με λιώσιμο και επαναστερεοποίηση των συνθετικών ινών πολυεστέρα με μια σύντομη συγκόλληση σε υψηλή θερμοκρασία όπως φαίνεται και στη Φωτ. 4.8 (δεξιά πλευρά). Με την κάλυψη ενός στρώματος λιωμένου συγκολλητικού η επιφάνεια επαφής είναι δυνατό να απομονωθεί εκ νέου (Stefan Jung et al., 2002; S. Jung et al., 2002).



**Φωτογραφία 4.9** Αριστερά: η επικάλυψη των καλωδίων (μπλε) που απομακρύνεται με επεξεργασία λέιζερ και Δεξιά: συγκόλληση με μεταλλικό έλασμα (S. Jung et al., 2002)

Ένα σημαντικό κομμάτι για την κατασκευή ενός έξυπνου και ηλεκτρονικού συστήματος όπως έχει προαναφερθεί παραπάνω είναι να μπορεί να μεταφέρει μηνύματα. Μια προϋπόθεση είναι τα συστατικά του να έχουν υψηλή αγωγιμότητα για να μπορούν να "αισθάνονται", να μεταφέρουν μηνύματα και να ενεργοποιούνται. Λόγω του ότι τα περισσότερα ενδύματα κατασκευάζονται από οργανικά πολυμερή τα οποία λειτουργούν ως μονωτές, δεν μπορεί να παρέχεται η αγωγιμότητα όπου είναι απαραίτητη για την

κατασκευή ενός έξυπνου ηλεκτρονικού ενδύματος. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη κατασκευής αγωγίμων επικαλύψεων (Charman, 2013).

Η κατασκευή αγωγίμων νημάτων είναι κοστοβόρα μειώνοντας αισθητά τις μηχανικές ιδιότητες των νημάτων. Επομένως, οι αγωγίμες επικαλύψεις έδωσαν την πολυπλοκότητα και οικονομικότερη λύση για τη μετάδοση της αγωγιμότητας μόνο με ένα λεπτό στρώμα επικάλυψης για τις συγκεκριμένες εφαρμογές (Charman, 2013).

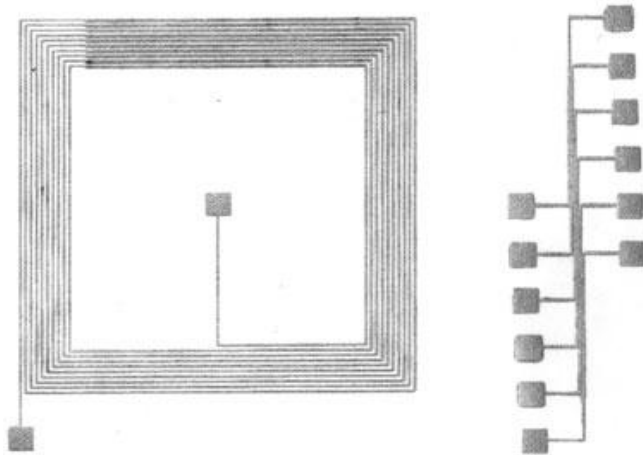
Οι αγωγίμες επικαλύψεις συμπεριλαμβάνουν μεταλλικές επικαλύψεις και με αγωγίμα πολυμερή. Η εναπόθεση μετάλλων ως επί το πλείστον δεν πραγματοποιείται με συμβατική κλωστοϋφαντουργική διαδικασία, αλλά με απόθεση κενού, επιμετάλλωση ιόντων, ηλεκτρολυτική επίστρωση ή ηλεκτρολυτική επικάλυψη (Charman, 2013).

Τα αγωγίμα πολυμερή είναι αγωγοί του ηλεκτρισμού και οι ιδιότητές τους, τα καθιστούν ευαίσθητα σε εξωτερικά ερεθίσματα όπως ραδιενέργεια, θερμοκρασία ή άλλα χημικά. Τα πιο γνωστά από αυτά είναι η πολυπυρρόλη (PPy) που χρησιμοποιήθηκε στο παραπάνω πείραμα, η πολυανιλίνη (PANI), το πολυθειοφαίνιο και τα παράγωγά τους. Μια πάστα επίστρωσης αποτελούμενη από μικροδισπαρμένο άνθρακα ή από αγωγίμα μόρια μέσα σε ένα πολυμερές μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως αγωγίμες επιστρώσεις. Αυτή η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε έναν αισθητήρα καθώς θα γίνει δραστική αλλαγή στην ηλεκτρική αντίσταση μέσω της μηχανικής παραμόρφωσης (Charman, 2013).

Σε μια άλλη μέθοδο, επικαλύπτουν τα νήματα ή τα υφάσματα με μείγμα ελαστικού υλικού (rubber) και άνθρακα. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα με εμβάπτιση του υφάσματος σε διάλυμα ελαστικού υλικού και διασκορπισμένων φάσεων άνθρακα όπου τα αγωγίμα στοιχεία ακινητοποιούνται λόγω ανύψωσης της θερμοκρασίας στους 130°C. Οι μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος που προκύπτει, επηρεάζονται από την ταχύτητα επικάλυψης, το ιξώδες του διαλύματος και την αμοιβαία διαπερατότητα των υλικών. Έτσι και οι αισθητήρες που βασίζονται σε carbon loaded rubbers (CLR) είναι κι αυτοί αισθητήρες πίεσης (De Rossi et al., 2005).

Άλλη μια μέθοδος που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον σε αυτόν τον τομέα είναι το αγωγίμο τύπωμα. Με την τεχνολογία του τυπώματος μπορούν να δημιουργηθούν περίπλοκα σχέδια πάνω στο ύφασμα κι αυτό καθιστά αυτήν την τεχνολογία ελκυστική καθώς δίνει δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων και έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών κυκλωμάτων. Υπάρχουν πολλών διαφορετικών τύπων μελάνια στην αγορά τα οποία περιέχουν αγωγίμα στοιχεία μέσα τους όπως άνθρακα, μέταλλα και φυσικά αγωγίμα

πολυμερή. Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι με τη χρήση αγώγιμων πολυμερών στην τεχνολογία τύπωσης δημιουργούνται κυκλώματα υψηλής ανάλυσης (Charman, 2013).

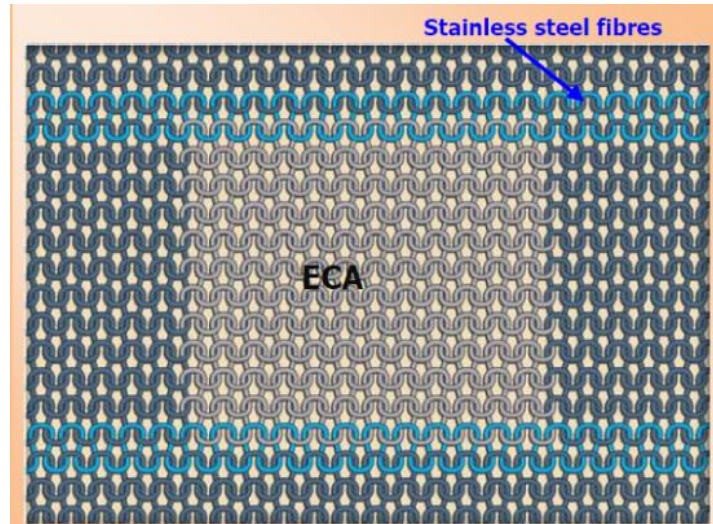


**Φωτογραφία 4.10** Αγώγιμη τύπωση σε μη υφασμένα υφάσματα (Charman, 2013)

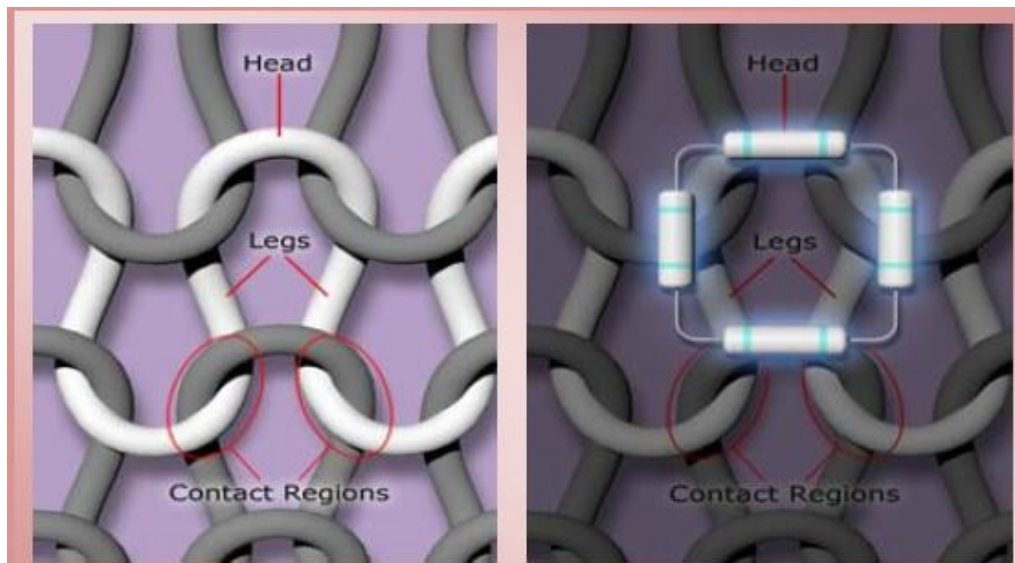
Μια ακόμη μέθοδος ενσωμάτωσης ηλεκτρονικών υλικών σε κ/υ υπόστρωμα είναι το τύπωμα με αγώγιμα μέρη. Αυτή η μέθοδος μπορεί να γίνει με τους συμβατικούς τρόπους τύπωσης όπως jet-printing και screen printing. Είναι πολύ χρήσιμη στα ηλεκτρονικά με πολλές εφαρμογές. Κυρίως όμως εφαρμόζεται πάνω σε ελάσματα, γυαλί, πολυμερή και αλουμινόχαρτο. Τα περισσότερα αγώγιμα μελάνια περιέχουν νανοσωματίδια χρυσού, χαλκό, ασήμι, αναμειγνύονται και νιτρικό άργυρο. Το μειονέκτημα για κλωστοϋφαντουργική χρήση είναι ότι απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες. Από την άλλη, το θετικό είναι ότι δεν υπάρχουν αγώγιμα νήματα αλλά μόνο αγώγιμη πάστα. Η μεγάλη ιξώδους πάστα εμποδίζει το μελάνι να εξαπλωθεί σε όλη την επιφάνεια του υφάσματος και δε δημιουργεί στρώση μεγάλου πάχους η οποία μπορεί να αλλάξει τη δομή του υφαντού υφάσματος (Krucíńska et al., 2014).

Οι δομές στις οποίες γίνεται αναφορά έχουν τη διαφορά ότι πλέκονται ώστε να επωφεληθούν τρία (3) σημαντικά χαρακτηριστικά της πλεκτής δομής. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: καλή επιστροφή στις αρχικές ιδιότητες και διαστάσεις μετά από εφελκυσμό, καλή εφαρμογή του πλεκτού, και άνεση και αεροδιαπερατότητα. Για να γίνει αυτή η δομή πιο οικονομική και λιγότερο χρονοβόρα στην κατασκευή της χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα συστήματα σχεδιασμού CAM/CAD που επιτρέπουν ακρίβεια στο σχεδιασμό και στην τοποθέτηση του ηλεκτρονικού συστήματος. Με το CAD/CAM δημιουργούνται διάφορα στρώματα με ομάδες αισθητήρων με αγώγιμες «διαδρομές» για την ενέργεια και την πρόσληψη των δεδομένων βοηθώντας σημαντικά και την ικανότητα πλυσίματος ενός τέτοιου ενδύματος. Για να κατασκευαστεί αυτή η δομή, χρησιμοποιείται

αγώγιμο νήμα. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ηλεκτρο-αγώγιμη περιοχή (Electro Conductive Area - ECA). Ένα από τα βασικά μετρήσιμα μεγέθη της είναι η ηλεκτρική αντίσταση. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μορφή της ECA (Dias, Hurley, Monaragala, & Wijeyesiriwardana, 2008).

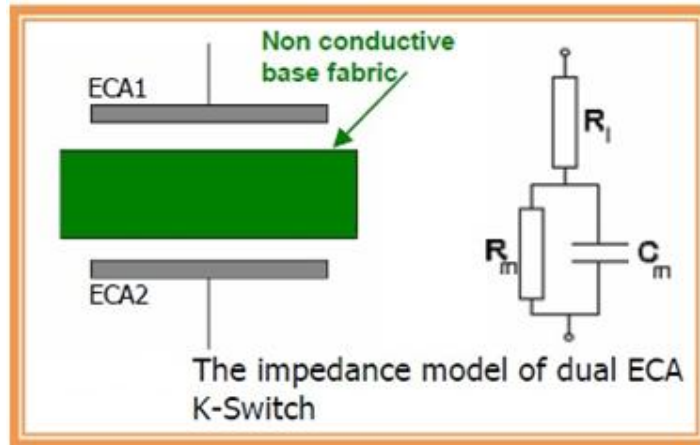


**Σχήμα 4.1** *Electro Conductive Area = Ηλεκτρο-αγώγιμη περιοχή (Dias, Hurley, Monaragala, & Wijeyesiriwardana, 2008)*



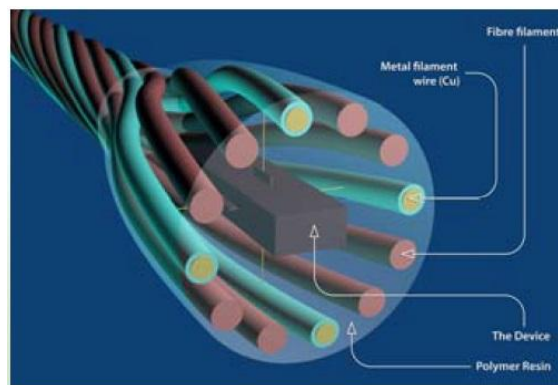
**Σχήμα 4.2** *Μορφή του κυκλώματος με τις αντιστάσεις (Dias et al., 2008)*

Μια ακόμα εφαρμογή των ECAs είναι οι εύκαμπτοι πλεκτοί διακόπτες που ονομάζονται K-Switches και μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε κλωστοϋφαντουργικές δομές χρησιμοποιώντας τεχνολογία πλεξίματος flat-bed. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην αλλαγή της αντίστασης μεταξύ δύο γειτονικών ECAs, γεγονός που πυροδοτείται με την αφή. Η δομή αποτελείται από δύο ECAs με δύο ή περισσότερες αγώγιμες τροφοδοσίες που τις χωρίζει ένα μη αγώγιμο νήμα. Το παρακάτω σχεδιάγραμμα απεικονίζει τη δομή.



**Σχήμα 4.3** Εύκαμπτοι πλεκτοί διακόπτες K- Switches

Η ενσωμάτωση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων chip πραγματοποιείται με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι να ενσωματωθούν στην ίνα κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Επομένως, η εφαρμογή γίνεται μόνο σε τεχνητές ίνες, πράγμα που παρουσιάζει μειονεκτήματα διότι δεν προστατεύει το ολοκληρωμένο κύκλωμα chip από στροφικές παραμορφώσεις. Ο δεύτερος τρόπος είναι σε μορφή κάψουλας ενσωματωμένης σε δέσμη ινών με δυνατότητα εφαρμογής και σε φυσικές ίνες. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτό να προστατευτεί το ολοκληρωμένο σύστημα από τις διάφορες επεξεργασίες και καταπονήσεις όπως, εφελκυστικές, συμπιεστικές τάσεις, κάμψη, συστροφή, βαφή, φινιρίσμα, και φυσιολογική φθορά από τη χρήση και το πλύσιμο. Η διατομή της κάψουλας παρατίθεται αμέσως μετά όπως και η μορφή της δομής σχηματικά (Dias et al., 2008).



**Σχήμα 4.4** Διατομή ολοκληρωμένου κύκλωματος chip σε μορφή κάψουλας ενσωματωμένου σε δέσμη ινών (Dias et al., 2008).



**Φωτογραφία 4.11** Ολοκληρωμένο κύκλωμα chip σε μορφή κάψουλας ενσωματωμένο σε δέσμη ινών (Dias et al., 2008)

## 5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΟΡΕΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Οι εφαρμογές της φορετής τεχνολογίας είναι πολλές και εκτείνονται σε πολλούς τομείς όπως στην προσωπική προστασία, στις Ένοπλες Δυνάμεις, στην πυρόσβεση, στον αθλητισμό και στους τομείς της υγείας. Παρακάτω γίνεται ανάλυση των αναφερόμενων πεδίων.

Σύμφωνα με την αμερικάνικη υπηρεσία υγείας και ασφάλειας είναι απαραίτητο σε κάποια επαγγέλματα οι εργαζόμενοι να φορούν ειδικό εξοπλισμό προσωπικής προστασίας (Personal Protective Equipment - PPE). Η παραπάνω διάταξη αφορά επαγγέλματα όπου ο χώρος εργασίας τους, περιέχει χημικά, βιολογικά, ραδιολογικά και πυρηνικά υλικά, αλλά και για όσους εργάζονται κοντά σε εστίες με φωτιά είτε μεγάλη θερμοκρασία. Ο σκοπός αυτού του εξοπλισμού είναι σαφώς να μειώσει την έκθεση του εργαζόμενου στους διάφορους κινδύνους που είναι πιθανό να κληθεί να αντιμετωπίσει. Αποτελείται από προστατευτικά χεριών (γάντια), προστατευτικά ματιών, ποδιών και κεφαλιού, συσκευές που προστατεύουν από την ηχορύπανση (ωτοασπίδες), αναπνευστήρες και ολόσωμες στολές. Σε αυτά τα αντικείμενα μπορούν να προστεθούν ηλεκτρονικά στοιχεία και αισθητήρες τα οποία βοηθούν τον εργαζόμενο να αντιληφθεί αν κινδυνεύει, καθώς αντιδρούν σε διαφόρων τύπων εξωτερικά ερεθίσματα. Έτσι, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ανάλογα με τους κινδύνους ο κάθε εξοπλισμός πρέπει να πληροί διαφορετικές απαιτήσεις, οι οποίες βέβαια τελικά ακολουθούν κάποια πρότυπα που θεσπίζει η κάθε χώρα (Charman, 2013).

### 5.1 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Αναπτύχθηκε τεχνολογία που ονομάζεται μείωση του ενεργού θορύβου ή ακύρωση του θορύβου (Active Noise Reduction - ANR), η οποία μειώνει τον ανεπιθύμητο θόρυβο εκπέμποντας ένα ηχητικό κύμα ίδιου εύρους με του θορύβου αλλά ανεστραμμένης φάσης. Λόγω του μεγάλου μήκους, ο χαμηλής συχνότητας θόρυβος μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις και να διαπεράσει εμπόδια όπως τσιμεντένιους τοίχους και είναι πολύ δύσκολο να εξασθενίσει. Έτσι, η Pro Tech Technologies Inc. (Wilton, Connecticut) ενσωμάτωσε την ANR σε μια PPE εφαρμογή και κατασκεύασε το *NoiseBuster*<sup>®</sup> ANR Safety Earmuff. Η συσκευή περιλαμβάνει ένα μικρόφωνο μέσα στο ακουστικό το οποίο εγκλωβίζει το θόρυβο, και ηλεκτρονικά δημιουργεί ένα κύμα άντι-θορύβου που είναι παρόμοιο με αυτόν αλλά σε διαφορετική φάση και το εκπέμπει στο ηχείο το οποίο βρίσκεται και αυτό στο ακουστικό. Αυτή η συσκευή μειώνει τον ενεργό θόρυβο κατά 20

dB. Συνήθως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εργαζόμενους που συντηρούν αεροσκάφη, ανθρακωρύχους και εργαζόμενους στην παραγωγή και συναρμολόγηση.

## **5.2 ΠΥΡΟΣΒΕΣΗ**

Χρησιμοποιείται ένα σύστημα στην πυρόσβεση το οποίο βρίσκεται πάνω στις στολές, ονομάζεται (Personal Alert Safety System - PASS). Το σύστημα λειτουργεί ανιχνεύοντας την κίνηση, και αν ο πυροσβέστης πέσει ή δεν έχει κινηθεί για περίπου 30 δευτερόλεπτα εκπέμπει ένα διαπεραστικό ήχο. Μελλοντικά, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των θανάτων και τραυματισμών των πυροσβεστών έτσι ώστε σε περίπτωση εγκλωβισμού ή τραυματισμού να μπορούν να εντοπιστούν εγκαίρως. Βέβαια αποτελεί κι αυτό μια πρόκληση καθώς ο ήχος που εκπέμπεται από τη συσκευή υπάρχει πιθανότητα να μη μπορεί να εντοπιστεί εύκολα γιατί συνήθως οι συνθήκες εργασίας τους είναι δυσμενείς με μικρή ορατότητα. Επίσης, υπάρχει κίνδυνος αντίλαλου όταν δεν υπάρχει καλή ηχομόνωση του χώρου αλλά και μειωμένη ικανότητα ακοής από πλευράς των πυροσβεστών λόγω του εξοπλισμού που φέρουν (Charman, 2013).

Μία ακόμα λεπτομέρεια που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η θερμομόνωση από το περιβάλλον γύρω τους. Αυτό όμως δημιουργεί προβλήματα στην κατανόηση της έκθεσής τους σε υψηλή θερμοκρασία, λόγω χάριν, στους 66°C μπορούν να εργαστούν για περισσότερη ώρα ενώ σε καταστάσεις που η θερμοκρασία φτάνει τους 650°C πρέπει άμεσα να αποχωρήσουν από το χώρο. Έτσι τοποθετήθηκαν θερμικοί αισθητήρες σε πολλές PASS συσκευές για να κρατούν ενήμερους τους πυροσβέστες για την έκθεσή τους στο εύρος των θερμοκρασιών. Η Viking Life Saving equipment ανέπτυξε ένα έξυπνο ύφασμα στο οποίο ενσωμάτωσε θερμικούς αισθητήρες στα εσωτερικά και εξωτερικά στρώματα της στολής των πυροσβεστών. Οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με οθόνες με LED στο μανίκι και στο πίσω μέρος του αριστερού ώμου. Οι αισθητήρες ελέγχουν τη θερμοκρασία στην εμβέλεια του πυροσβέστη και του περιβάλλοντος του και τον προειδοποιούν για ακραίες θερμοκρασίες. Το σύστημα στο μανίκι υποδεικνύει την ανεβασμένη θερμοκρασία τόσο εντός της στολής όσο και εκτός αναβοσβήνοντας αργά για την εξωτερική θερμοκρασία όταν φτάσει γύρω στους 250°C ή αν η εσωτερική θερμοκρασία κοντεύει 50°C. Όταν αναβοσβήνει γρήγορα σημαίνει ότι η εξωτερική θερμοκρασία φτάνει τους 350°C και η εσωτερική τους 68°C. Τέλος, η οθόνη που βρίσκεται στον ώμο, είναι ορατή και μπορεί να ειδοποιήσει τα υπόλοιπα άτομα του πυροσβεστικού σώματος για το πιθανό επικίνδυνο θερμικό περιβάλλον (Charman, 2013).

Ένας ακόμα παράγοντας που συμβάλλει στη θνησιμότητα των πυροσβεστών είναι τα ξαφνικά καρδιακά επεισόδια εν ώρα υπηρεσίας. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το γεγονός αναπτύχθηκαν στολές με ενσωματωμένα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (wireless sensor network - WSN) στα γάντια και στη στολή, για να παρακολουθούν την καρδιακή υγεία του πυροσβέστη αλλά και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αυτό δημιουργείται από πολλά δίκτυα τα οποία διακλαδίζονται (nodes) τα οποία ονομάζονται επίσης και motes. Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν το mote είναι ένας μικροεπεξεργαστής, μια μνήμη με περιορισμένη χωρητικότητα, μια μπαταρία και ένα ραδιόφωνο με μικρή κατανάλωση για την επικοινωνία. Με την τεχνολογία αυτή κατασκευάστηκε ένα γάντι το οποίο αποτελείται από sensor motes που παίρνουν μετρήσεις οξυγόνου από τον αισθητήρα που υπάρχει στο δάχτυλο, πλακέτα συνδεσιμότητας και πλακέτα που μετρούν τον κορεσμό του οξυγόνου στο αίμα (Mica sensor). Τα δεδομένα των μετρήσεων αποστέλλονται σε έναν υπολογιστή. Δύο σετ από τους παραπάνω αισθητήρες και μια πλακέτα με αισθητήρα για το περιβάλλον που έχουν την ικανότητα να μετρούν τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία τοποθετήθηκαν σε θήκες για αισθητήρες και προσαρτήθηκαν στην πλάτη και στην αριστερή πλευρά του στήθους της στολής για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Ένα τρίτο σετ αυτών των αισθητήρων τοποθετήθηκε στην εξωτερική θήκη φτιαγμένη με το υλικό του εξωτερικού υφάσματος της στολής για να ελέγχει τις καταστάσεις στο χώρο που βρίσκεται ο πυροσβέστης (Charman, 2013).

### **5.3 ΕΝΟΠΛΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ**

Έχει κατασκευαστεί φορητή μητρική πλακέτα δομημένη από εύκαμπτη υποδομή (απλή ύφανση με αγωγή νήματα που μπορούν να αποτελέσουν κυκλώματα για ειδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα chip και επεξεργαστές), με σκοπό την παρακολούθηση των ζωτικών ενδείξεων των ανθρώπων. Αισθητήρες όπως το ηλεκτροκαρδιογράφημα μπορούν να προσαρμοστούν στην «έξυπνη» μπλούζα και να καταγράφουν πληροφορίες για τις ζωτικές λειτουργίες όπως θερμοκρασία, καρδιακοί παλμοί, ρυθμός αναπνοής αλλά και πληροφορίες για τυχόν τραυματισμούς. Αυτές οι πληροφορίες συλλέγονται και αποστέλλονται στο DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).

Παρόλο που αυτή η εφαρμογή αρχικά σχεδιάστηκε για τις Ένοπλες Δυνάμεις, μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για προστασία όπως στην υγεία και την τηλε-ιατρική ακόμα και για τους αστροναύτες (Charman, 2013).

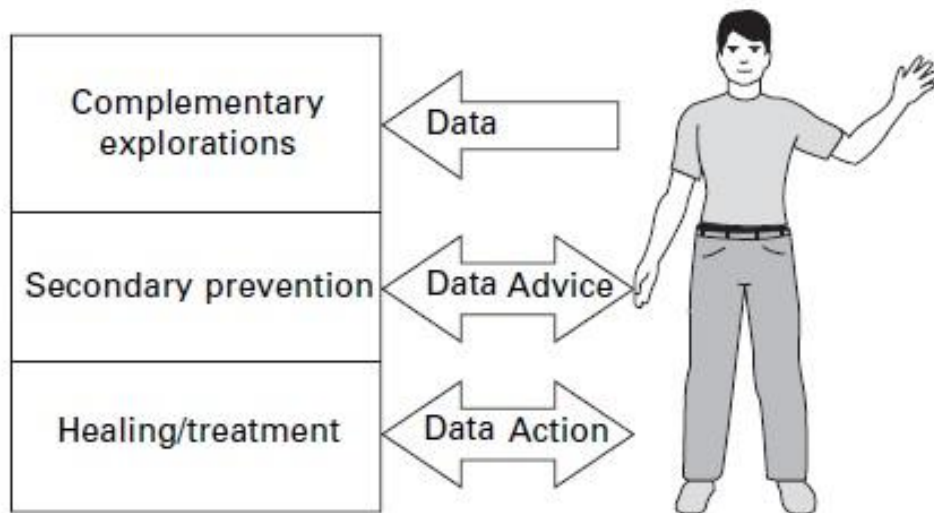


#### 5.4 ΙΑΤΡΙΚΗ

Οι εφαρμογές σε αυτόν τον τομέα χωρίζονται με βάση δύο (2) κριτήρια: α) τις ιατρικές εφαρμογές προσανατολισμένες στην παρακολούθηση ασθενών από απόσταση και στη διαχείριση της ασθένειάς τους, β) εφαρμογές πρόληψης, διάγνωσης και θεραπείας ασθένειας (Mattila, 2006).

Έτσι το κριτήριο διαιρείται σε 2 φάσεις. Στην πρώτη φάση ο ασθενής λαμβάνει ενεργά μέρος στη διαδικασία, λόγω χάριν όπως ένας διαβητικός ελέγχει τακτικά τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα και κρατάει τα δεδομένα αυτά για να αξιολογηθούν αργότερα από τους ειδικούς και να αποφασίσουν εάν χρειάζεται κάποια αλλαγή στον τρόπο ζωής ή/και στα φάρμακα που λαμβάνει ο ασθενής. Η δεύτερη φάση έχει να κάνει με την παρακολούθηση των ασθενών χωρίς όμως εκείνοι να παίρνουν μέρος καθώς δεν είναι σε θέση να μπορούν να αξιολογήσουν τα δεδομένα. Ως παράδειγμα αναφέρεται ένας ηλικιωμένος άνθρωπος που μένει μόνος του και ο οποίος μπορεί να βρίσκεται σε κίνδυνο –κυρίως για ασθένειες που σχετίζονται με την υγεία της καρδιάς– άρα είναι σημαντικό να υπάρχει μια συνεχής ιατρική παρακολούθηση για άμεση επέμβαση και βοήθεια αν κριθεί αναγκαίο (Mattila, 2006).

Το δεύτερο κριτήριο συνοψίζεται στην επόμενη εικόνα



**Σχήμα 5.1** Παρακολούθηση των ασθενών χωρίς την παρέμβαση του χρήστη

Αρχικά, δηλαδή είναι η διάγνωση μέσα από τη λήψη δεδομένων. Ακολουθεί η πρόληψη που ανιχνεύει τυχόν κινδύνους και αλλαγές στα μέχρι τωρινά και φυσιολογικά δεδομένα. Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία της θεραπείας όπου γίνεται προσπάθεια για ίαση ή βελτιστοποίηση της παρούσας κατάστασης (Mattila, 2006).

Κάποια ακόμα πεδία εφαρμογής των ηλεκτρονικών κλωστοϋφαντουργικών υλικών είναι στα υφάσματα που ανιχνεύουν την πίεση. Εντοπίζουν το αυξημένο φορτίο και την περίοδο παρατεταμένης ακινησίας που θα μπορούσε να δημιουργήσει έλκη πίεσης. Όπως είναι ευνόητο, αυτό σε έναν ασθενή ο οποίος είναι κλινήρης ή παράλυτος επηρεάζει την ποιότητα και το κόστος ζωής του. Αυτά τα υφάσματα προσαρμόζονται σε αναπηρικά αμαξίδια, σε χειρουργεία αλλά ακόμα και σε κρεβάτια νεογνών (Mattila, 2006).

Στις ιατρικές γάζες και επιδέσμους με αισθητήρες που υπάρχουν μέσα τους, είναι δυνατή η παρακολούθηση των πληγών χωρίς να τα αφαιρούν και να τα επανατοποθετούν στην πληγή. Αισθητήρες υγρασίας ανιχνεύουν την αιμορραγία ή βρίσκουν την αλκαλικότητα η οποία είναι σημάδι μόλυνσης. Επίσης, με συνεχή ηλεκτρική θέρμανση μπορούν να ανακουφίσουν τον ασθενή από τον πόνο ή να επιταχύνουν την ίαση. Αντιθέτως, οι φλεβολογικοί επίδεσμοι έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να κάνουν την επούλωση αργή αλλά να περιορίζουν την πληγή. Τέτοιοι επίδεσμοι πρέπει να παρακολουθούνται για να εφαρμόζεται η σωστή πίεση με στόχο να αποφευχθεί η δημιουργία σημαδιών. Τέλος, στον τομέα της υγείας επειδή η τεχνολογία που χρησιμοποιείται έρχεται σε στενή επαφή με τον ασθενή, είναι αναγκαίο τα ηλεκτρονικά στοιχεία να έχουν μαλακή υφή και να είναι φιλικά προς το χρήστη (Mattila, 2006).

### **5.5 ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ**

Ένα παράδειγμα σε αυτόν τον τομέα είναι το ελαφρύ, έξυπνο ηλεκτρονικό ύφασμα το οποίο ονομάζεται Intelligent Knee Sleeve. Φοριέται γύρω από το γόνατο και έχει ενσωματωμένο πάνω του έναν αναλώσιμο και επικαλυμμένο με πολυμερές αισθητήρα. Ο σκοπός αυτού του υφάσματος είναι η αποφυγή τραυματισμού των συνδέσμων του γονάτου σε αθλητές, χωρίς όμως να περιορίζει το εύρος κίνησης του γονάτου στις δυναμικές κινήσεις. Το Intelligent Knee Sleeve λειτουργεί με τον ακόλουθο τρόπο: υπάρχει μια προκαθορισμένη αντίσταση στον αισθητήρα βασισμένη στη γωνία κάμψης του γονάτου –διαφορετική για κάθε άτομο– και όταν το γόνατο φτάσει σε αυτήν τη γωνία κάμψης εκπέμπεται ηχητική προειδοποίηση για να ενημερώσει τον αθλούμενο να μην την υπερβεί (Mattila, 2006).

Αυτά τα συστήματα έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογής όσον αφορά την κίνηση των πιο μείζονων τμημάτων του σώματος. Για παράδειγμα αν τοποθετηθεί ένα τέτοιο σύστημα στο γάντι ενός παίκτη golf θα μπορούσε να βελτιώσει την τεχνική του, άρα και την απόδοσή του. Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό αυτά τα υφάσματα να είναι άνετα, ελαφριά

και να μην επιβαρύνουν τον αθλούμενο. Επίσης, να διασφαλίζεται ότι ο αισθητήρας παραμένει σταθερός στο σημείο που πρέπει να λαμβάνει δεδομένα για να είναι αξιόπιστος, γεγονός το οποίο είναι δύσκολο καθώς το σώμα κινείται.



**Φωτογραφία 5.1** Ο αισθητήρας τοποθετείται πάνω από την επιγονατίδα και τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι κρυμμένα στην τσέπη (Mattila, 2006)

Μια ακόμα εφαρμογή είναι υφάσματα με ηλεκτρονικά στοιχεία δυνατότητας εκπομπής θερμότητας, τα οποία έχουν απήχηση σε εξωτερικές αθλητικές δραστηριότητες όπως σκι ή σνόουμπορντ.

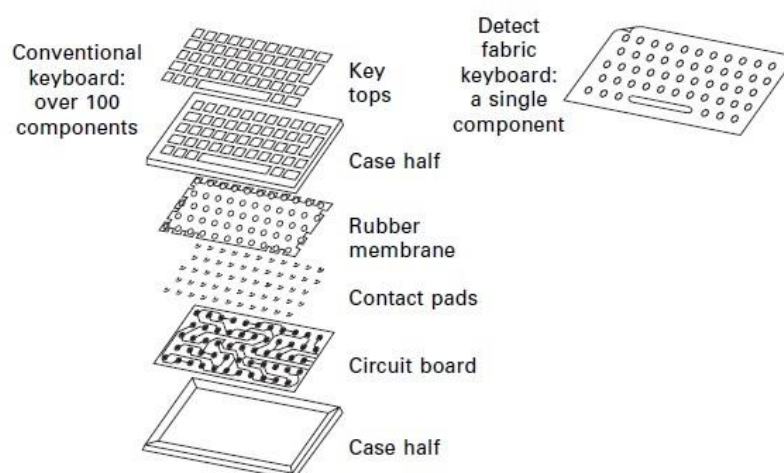
Τέλος, με τις βιομετρικές εφαρμογές μπορεί να γίνει παρακολούθηση και της τεχνικής αλλά και της φυσιολογικής επίδοσης. Για το τελευταίο χρησιμοποιούνται αγωγίμα υφάσματα ενσωματωμένα μέσα στα ενδύματα και μετρούν τους παλμούς της καρδιάς, τη θερμοκρασία με ηλεκτρόδια και είναι σε επαφή με το δέρμα. Η παρακολούθηση της τεχνικής είναι εφικτή με τη χρήση αισθητήρων πίεσης κατά την επαφή όπως είναι το Detect Fabric. Μπορεί να μπει σε σόλες υποδημάτων καθώς αυτό το ύφασμα μπορεί να «χαρτογραφήσει» την πίεση στα πέλματα, τη βάδιση και τα επίπεδα δραστηριότητας. Οπότε παρόμοιες τεχνολογίες μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την τεχνική λαβής σε διάφορα αθλήματα (Mattila, 2006).

## **5.6 ΕΠΙΠΛΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

Οποιοδήποτε έπιπλο του σπιτιού έχει κάτι κλωστοϋφαντουργικό πάνω του μπορεί να θερμανθεί π.χ. καρέκλες, χαλιά, πετσέτες και κρεβάτια. Θερμαινόμενες καρέκλες και χαλιά μπορούν να αντικαταστήσουν καλοριφέρ και εξαεριστήρες ελευθερώνοντας

πολύτιμο χώρο στο σπίτι. Θα μπορούσαν να ενσωματωθούν αισθητήρες στα χαλιά για να ανιχνεύουν την κίνηση στα δωμάτια και αναλόγως της ύπαρξης ή μη ανθρώπων να σβήνουν τα φώτα. Για τους ηλικιωμένους, τα χαλιά να έχουν αισθητήρες που να μπορούν να ανιχνεύουν αν περπατούν πάνω τους ή αν έχουν πέσει (Mattila, 2006).

Το Detect Fabric που αναφέρθηκε και προηγουμένως χρησιμοποιείται και στην αεροναυπηγική για ελαφρύτερες κατασκευές καθώς δεν απαιτούνται για την κατασκευή τους πολλά επιμέρους στοιχεία συνεπώς είναι λιγότερο ενεργοβόρες και πιο οικονομικές όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (Mattila, 2006).



**Σχήμα 5.2** Ένα συμβατικό qwerty πληκτρολόγιο στα επιμέρους στοιχεία του σε αντίθεση με ένα από Detect fabric

### **5.7 ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΑ ΑΤΟΜΑ / ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ**

Οι ηλικιωμένοι έχουν διαφορετικές ανάγκες σε σχέση με τους υπόλοιπους ανθρώπους. Ως στόχος αυτού του εγχειρήματος είναι να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων με το να γίνουν πιο ανεξάρτητοι και να μη χρειάζονται συνεχή βοήθεια από τρίτους. Κατασκευάζονται λοιπόν ενδύματα, τα οποία μπορούν όπως και στον αθλητικό τομέα που αναφέρθηκε προηγουμένως, να παρακολουθούν τις ζωτικές λειτουργίες όπως την πίεση στο αίμα, καρδιακούς παλμούς, θερμοκρασία σώματος, ρυθμό αναπνοής. Ένας ακόμη παράγοντας που αλλάζει στις μεγάλες ηλικίες είναι η ικανότητα να μπορούν εκτελέσουν καθημερινές απλές κινήσεις καθώς με την πάροδο του χρόνου χάνονται ικανότητες όπως η ευλυγισία, η ισορροπία, η επιδεξιότητα, η μυϊκή μάζα και δύναμη, αλλά και η καρδιοαναπνευστική αντοχή. Όμως, όλες αυτές οι ικανότητες χρειάζονται για να υπάρχει ανεξαρτησία από μέρους της συγκεκριμένης κοινωνικής ομάδας. Άλλα αντανακλαστικά που χάνονται είναι οι αισθήσεις όπως η αφή, η ακοή και η όραση που θέτουν σε κίνδυνο τη σωματική ακεραιότητά τους. Όλα αυτά τα προβλήματα μπορούν να

λυθούν με τη χρήση των «έξυπνων» ενδυμάτων με ηλεκτρονικά στοιχεία. Έτσι, όχι μόνο θα μπορεί να τους παρασχεθεί άμεσα βοήθεια σε περίπτωση ανάγκης, αλλά και οι ίδιοι θα νιώθουν καλύτερα με τον εαυτό τους, αφού θα είναι πιο ανεξάρτητοι και πιο σίγουροι με συνεχή παρακολούθηση για τα ιατρικά θέματα αλλά και με τα ενδύματα που τους βοηθούν να κινούνται με μεγαλύτερη άνεση και ασφάλεια (Charman, 2013).

Με την τεχνολογία του *SmartLife*<sup>®</sup> παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο οι καρδιακοί παλμοί ή η αναπνοή και είναι άμεσα συγκρίσιμα με κλινικές τιμές. Τα δεδομένα του ηλεκτρονικού κλωστοϋφαντουργικού υλικού ενσωματώνονται άψογα με ασύρματο, κινητό ή υπάρχων εξοπλισμό είτε στο σπίτι, είτε στην κλινική ή στην τσέπη. Αυτό δίνει απευθείας τη θέση του χρήστη και επίσης επειδή είναι εύχρηστο δε χρειάζεται κάποια σύσταση πριν τη χρήση. Οι συλλεγόμενες πληροφορίες μπορούν να μεταδοθούν κατευθείαν μέσω Bluetooth, PDA ή κινητού. Μια ακόμα εφαρμογή είναι το *Zephyr Bio Harness*<sup>™</sup> το οποίο επίσης μετράει τις ζωτικές ενδείξεις αλλά και τις ενσωματώνει σε ένα ευρύτερο κάδρο που περιλαμβάνει και τη φυσική δραστηριότητα του χρήστη που το φέρει. Με διεπαφές ραδιοκυμάτων όπως είναι τα smartphones γίνεται η μετάδοση των δεδομένων στους ανθρώπους που παρακολουθούν τους χρήστες και είναι υπεύθυνοι για την υγεία τους. Βέβαια, για τη λήψη δεδομένων και επεξεργασίας τους είναι αναγκαία η ύπαρξη μιας συσκευής. Με την πρόοδο στα ηλεκτρονικά, στόχος είναι να μικραίνει για να γίνεται όσο πιο αποδοτική αλλά και διακριτική, εργονομική στην παρουσία της (Charman, 2013).

Στα συμπιεστικά υφάσματα το επίπεδο προστασίας σχετίζεται κυρίως με τη δομή της πλέξης και το μέγεθος της ελαστικότητας. Χρησιμοποιούνται για βελτιωμένη κυκλοφορία αίματος από αθλητές, ασθενείς που βγήκαν από χειρουργείο για τη θεραπεία του οιδήματος. Δε χρησιμοποιούνται εδώ ηλεκτρονικά στοιχεία και γι' αυτό δε θα αναλυθεί περαιτέρω.

Μια γερμανική εταιρεία δημιούργησε μια σειρά ενδυμάτων την *WarmX* που προορίζεται κυρίως για αθλήματα σε εξωτερικό χώρο ή δραστηριότητες εξωτερικού χώρου. Τα ενδύματα αυτά όμως εξυπηρετούν και ηλικιωμένους ανθρώπους καθώς είναι ανακουφιστικά και δρουν αναλγητικά στο μυϊκό πόνο π.χ. πλάτης ή/και νεφρών, προσφέροντας θερμότητα απευθείας στο δέρμα. Αυτά τα ενδύματα είναι καλσόν που αποτελούνται από 49% βαμβάκι, 9% ελαστάνη, 40% πολυαμίδιο και 2% πολυαμίδιο επικαλυμμένο με καθαρό ασήμι, με τη μεγαλύτερη αναλογία τους να βρίσκεται στην περιοχή των πελμάτων για να ζεσταίνει απευθείας το δέρμα. Εκτός από την αγωγιμότητα

το ασήμι βοηθά στη μείωση των βακτηρίων και της κακοσμίας. Η κατασκευή παίρνει ενέργεια από μπαταρίες λιθίου και βρίσκεται σε μια μικρή τσέπη στο επάνω αριστερό μέρος του καλσόν ενώ εναλλακτικά μπορεί να τοποθετηθεί με προέκταση στην τσέπη ενός παντελονιού. Τα ενδύματα αυτά μπορούν να πλυθούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους για επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους (Charman, 2013).



**Φωτογραφία 5.2** Ελαστική εφαρμοστή φόρμα WarmX

Στο μεσαίο και εξωτερικό στρώμα μπορούν να ενσωματωθούν επίσης ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία κυρίως εκπέμπουν θερμότητα ή μονώνουν τη θερμότητα που εκπέμπει το σώμα. Άλλη μια εφαρμογή των ηλεκτρονικών είναι οι αισθητήρες που ελέγχουν την επικινδυνότητα του περιβάλλοντος (Charman, 2013). Αυτό παρέχει προστασία σε ηλικιωμένους που μένουν μόνοι τους ή πάσχουν από κάποια ασθένεια όπως το Αλτσχάιμερ.



**Φωτογραφία 5.3** Γάντια με ηλεκτρονικά στοιχεία που εκπέμπουν θερμότητα

## **6 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ E-TEXTILES**

### **6.1 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ**

Με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας τα ηλεκτρονικά στοιχεία και συστήματα συνεχώς μειώνονται σε μέγεθος και αναπτύσσουν μεγαλύτερες δυνατότητες με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τρομερή εξέλιξη στα ηλεκτρονικά συστήματα, νέοι αισθητήρες και νέες καινοτόμες ιδέες εφαρμόζονται για την κατασκευή έξυπνης ένδυσης.

Υπάρχουν πλέον πολλές εταιρείες υψηλής τεχνολογίας που κατασκευάζουν πολυλειτουργικά ενδύματα από ηλεκτροενεργές ίνες, *textronics* με διακριτικό σχεδιασμό και σκοπό να προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα για πιο άνετη καθημερινή ζωή με τη φορετή τεχνολογία να τον χαλαρώνει, διασκεδάζει, γυμνάζει, προειδοποιεί για κάποιο κίνδυνο και να τον ενημερώνει. Τα βασικά εργαστήρια κατασκευής των πρωτοτύπων έχουν την έδρα τους σε μεγάλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Αγγλία, η Ιταλία και η Γερμανία, αλλά και στην Ιαπωνία και στις ΗΠΑ, όπου οι επιστήμονες για να μελετήσουν την αντίδραση που προκαλούν τα ενδύματα στην επιδερμίδα χρησιμοποιούν κούκλες με ειδικούς αισθητήρες που αναπαράγουν τις ανθρώπινες αντιδράσεις, Εταιρείες όπως η *Luminex*, η *Smartex*, η *Mizuno*, η *Elektex* και η *Add* έχουν ήδη εκθέσει τα πρότυπα ενδύματα νέας γενιάς.

Η φορετή τεχνολογία παρέχει μεγάλο όφελος στον τομέα της υγείας. Για παράδειγμα, καθώς περίπου το 19% του πληθυσμού των ΗΠΑ ζει με αναπηρία, οι επιστήμονες και οι ερευνητές ασχολούνται σε μεγαλύτερο βαθμό στο να κατασκευάσουν φορητά ηλεκτρονικά προϊόντα τα οποία θα βοηθήσουν τους ανθρώπους με ακουστικά προβλήματα δίνοντας οπτική λύση είτε το αντίστροφο, σε ανθρώπους με απώλεια όρασης να τους προσφέρουν ηχητικά προϊόντα τα οποία θα βελτιώσουν την καθημερινή τους ζωή (Profita, Lightner, Correll, & Kane, 2017).

Ακόμα καινοτόμα ηλεκτρονικά επιθέματα, γάζες, σκεπάσματα κλινών κατασκευάζονται να εξυπηρετήσουν τους ασθενείς ώστε να παραμένουν λιγότερο διάστημα στα νοσοκομεία και να παρακολουθείται η ανάρρωσή τους από το σπίτι μέσω ασύρματης επικοινωνίας και να παρέχεται άμεση διάγνωση, καταγραφή της προόδου της θεραπείας και παρακολούθηση της κατάστασης των ζωτικών τους οργάνων (Van Langenhove, 2007).

Στον κλάδο της άθλησης και sportswear, τα e-textiles έχουν συμβάλει στην καλύτερη επίδοση των αθλητών και στην προειδοποίησή τους για τυχόν τραυματισμούς. Ειδικά ενδύματα έχουν σχεδιαστεί για αθλητές με βιοαισθητήρες και συστήματα παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης και καρδιακής συχνότητας τα οποία μπορούν να στέλνουν τα δεδομένα σε κάποιο κέντρο υγείας, να ανιχνεύουν από τον ιδρώτα αν περιέχονται στον οργανισμό του αθλητή απαγορευμένες ουσίες ή να υπολογίζουν το ποσοστό των θερμίδων που έχουν καταναλωθεί κατά τη διάρκεια της προπόνησης. Τα ενδύματα αυτά αποστέλλουν επίσης στοιχεία για την εφίδρωση του οργανισμού, ώστε το κέντρο ελέγχου να εκτιμήσει αν πρέπει να επέμβει για να προλάβει την αφυδάτωση.

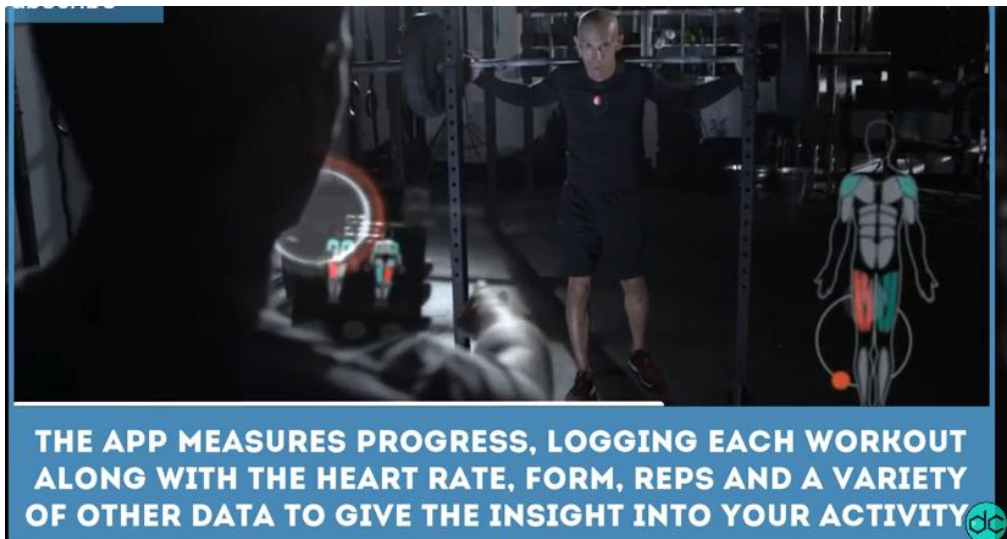
Η εταιρεία Antelope ασχολείται δυναμικά με τον κλάδο της Κλωστοϋφαντουργίας και της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας σε είδη αθλητισμού. Έχει αναπτύξει προϊόντα που προκαλούν ηλεκτροσύσπαση των μυών βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ενδυνάμωση και την αντοχή των αθλητών. Στην εικόνα παρουσιάζεται το γιλέκο Antelope και τα επιμέρους συστήματα. Το γιλέκο είναι συγχρονισμένο με την εφαρμογή η οποία λειτουργεί με bluetooth και πλένεται στο χέρι όπου αντέχει έως 30 πλύσεις [antelope].

In 4 weeks you can increase: performance up to 30%, jumping ability up to 20%, muscle volume up to 10%.



**Φωτογραφία 6.1** Γιλέκο γυμναστικής antelope<sup>®</sup> το οποίο προκαλεί μυϊκές συσπάσεις





**Φωτογραφία 6.2** Η εφαρμογή καταγράφει την πρόοδο της κάθε προπόνησης και μετράει τους καρδιακούς παλμούς

Τα μεγαλύτερα οφέλη απαντώνται σε ενδύματα προστασίας για επαγγέλματα υψηλού κινδύνου και σώματα ασφαλείας. Τα ενδύματα με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά συστήματα μπορούν να διατηρούν σταθερή τη θερμοκρασία σώματος του χρήστη, ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος στο οποίο κινείται, ή να παρακολουθούν εν ώρα επικίνδυνης αποστολής τις βιολογικές παραμέτρους του χρήστη (όπως η θερμοκρασία, η καρδιακή και ανπνευστική λειτουργία, κ.λπ.) ειδοποιώντας κάποιο κέντρο υγείας, όταν αυτές ξεπεράσουν τα όρια ασφαλείας. Η έγκαιρη επέμβαση, μόλις ανιχνευτεί κάποιο πρόβλημα, μπορεί να αποδειχθεί σωτήρια.

Η εμφάνιση των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων μπορεί να βοηθήσει την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας που έχει τους πόρους να επενδύσει στην έρευνα και βιομηχανική τους παραγωγή, μετατρέποντας τον κλάδο της Κλωστοϋφαντουργίας από παραδοσιακό τομέα σε βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας.

## **6.2 ΠΙΘΑΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΝΔΥΜΑΤΩΝ**

### **6.2.1 Προβλήματα κοινωνικής αποδοχής**

Όπως με όλα τα νέα προϊόντα που εμφανίζονται στην αγορά, υπάρχουν οι πρωτοπόροι και οι «εθισμένοι» με την τεχνολογία που υποστηρίζουν τα νέα προϊόντα και προσαρμόζονται εύκολα με τις εξελίξεις της τεχνολογίας. Υπάρχει όμως και μια μερίδα του πληθυσμού η οποία δυσκολεύεται να αποδεχτεί το καινούριο, δεν εμπιστεύεται τη νέα τεχνολογία παραμένοντας δύσπιστη, προτιμώντας το συνηθισμένο και αποδεκτό τρόπο ζωής.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η κοινωνική αποδοχή των ηλεκτρονικών ενδυμάτων, όπως η ευκολία στη χρήση, η ασφάλεια, η διακριτικότητα, η εργονομία, η ευκολία εκμάθησης και η προστασία των προσωπικών δεδομένων, καθώς και το μάρκετινγκ των εταιρειών που προωθούν τέτοια προϊόντα.

### **6.2.2 Ασφάλεια και προστασία της υγείας**

Τα έξυπνα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα απευθύνονται σε πολλούς τομείς. Υπάρχει πολύ μεγάλη έρευνα για την ανάπτυξη τέτοιων προϊόντων καθώς και χρηματοδότηση από κράτη και πολλές εταιρείες όσον αφορά τον τομέα της υγείας και ατομικής προστασίας.

Πολλά προϊόντα έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια των πειραμάτων και έχουν εκπληρώσει τον αρχικό σκοπό του σχεδιασμού τους, έχουν μελετηθεί τα πρώτα προβλήματα και έχουν λυθεί, πηγαίνοντας την έρευνα όλο και ένα βήμα πιο πέρα.

Από τα σημαντικά προβλήματα που προκύπτουν είναι τα υλικά και οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και ο τρόπος της ενσωμάτωσής τους στο κλωστοϋφαντουργικό προϊόν. Στο χώρο της υγείας τα υλικά που πρέπει επιλεγθούν για την κατασκευή του διαδραστικού, έξυπνου προϊόντος πρέπει να είναι απόλυτα ασφαλή και να έχουν γίνει όλοι οι έλεγχοι τήρησης των προδιαγραφών υγιεινής, διότι έρχονται σε επαφή με ευάλωτους ανθρώπους και με σημεία του σώματος με ανοιχτές πληγές, όπως το παράδειγμα του επιδέσμου με βιοαισθητήρες που «αισθάνεται» τις αλλαγές του pH του τραύματος που έρχεται σε επαφή και ειδοποιεί τον ιατρό για την κατάσταση της επούλωσης της πληγής ή της μόλυνσης.

Ένα ακόμα από τα προβλήματα που πρέπει να λυθεί είναι η εκπομπή της ακτινοβολίας από τα bluetooth και την υπέρυθρη μέσα από το σώμα του ασθενή με άγνωστες μέχρι σήμερα επιπτώσεις. Αυτά τα προϊόντα πρέπει να παρέχουν πλήρη ασφάλεια καθώς οι χρήστες μπορεί να είναι μικρά παιδιά ή βρέφη και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να απειλούνται από το ενδεχόμενο κάποιου βραχυκυκλώματος από τα ηλεκτρονικά στοιχεία σε περίπτωση που βρεθούν σε περιβάλλον υγρασίας ή βροχής ή εξαιτίας του ιδρώτα του χρήστη.

Ένας άλλος παράγοντας που δημιουργεί αναξιοπιστία και ανησυχία στον τομέα της ιατρικής είναι η ακρίβεια των δεδομένων που μπορεί να μετρήσει ένα ηλεκτρονικό σύστημα, στα οποία μπορούν να βασίζονται οι ιατροί. Ειδικά σε αυτόν τον τομέα θα

πρέπει όλο και πιο πολύ να συνεχίζονται οι έρευνες για να βελτιωθούν τα παραπάνω προβλήματα και να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα.

### **6.2.3 Προστασία προσωπικών δεδομένων**

Η μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών στοιχείων, η πιο διακριτική ενσωμάτωσή τους στο ένδυμα και η ανάπτυξη νέων και ευκάμπτων συστημάτων, δίνει τη δυνατότητα κατασκευής ολοκληρωμένης υπολογιστικής ισχύος με πολυμέσα που μπορούν να φορεθούν προσφέροντας στο ένδυμα μεγαλύτερες δυνατότητες όπως: βιντεοσκόπηση του ίδιου του χρήστη καθώς και του περιβάλλοντος γύρω του, αν το πολυλειτουργικό ένδυμα έχει κάποια ενσωματωμένη κάμερα, είτε να μπορεί να προσφέρει ασύρματη επικοινωνία αντικαθιστώντας ένα τηλέφωνο ή και δυνατότητα εύρεσης της τοποθεσίας του χρήστη αν το σύστημα έχει ενσωματωμένο GPS. Γι' αυτούς τους λόγους τα πολυλειτουργικά ενδύματα τα οποία έχουν ενσωματωμένα συστήματα «παρακολούθησης», θα πρέπει να προσφέρουν στο χρήστη ιδιωτικότητα και ασφάλεια. Όλες οι λειτουργίες του ηλεκτρονικού ενδύματος θα πρέπει να είναι γνωστές και πλήρως κατανοητές από το χρήστη. Τα συστήματα, δε θα πρέπει να είναι σε συνεχή λειτουργία, αλλά να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει πότε η συσκευή (gadget) θα είναι ενεργή και πότε απενεργοποιημένη. Επομένως, πρέπει να διευθετηθούν κάποια όρια προστασίας προσωπικών δεδομένων και από τον κατασκευαστή, διαχωρίζοντας αναλόγως τη χρήση του πολυλειτουργικού ενδύματος: ιατρική χρήση, για τις ανάγκες της «μόδας», στις Ένοπλες Δυνάμεις, κ.ά., καθώς και τα κατάλληλα λογισμικά προστασίας δεδομένων. Επιπλέον, θα πρέπει να θεσπιστεί και κατάλληλη νομοθεσία διότι ο χρήστης θα πρέπει να νιώθει ασφαλής για τα προσωπικά του δεδομένα και να είναι προστατευμένος από πιθανές προσπάθειες υποκλοπής και παραβίασης της ιδιωτικότητάς του (Gould, 2003).

### **6.2.4 Σχεδιασμός και εργονομία**

Μία βασική προϋπόθεση των έξυπνων ενδυμάτων είναι η σωστή εργονομία και ο σχεδιασμός τους. Τα κύρια βήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη σχεδίαση οποιουδήποτε προϊόντος είναι:

- Έρευνα συμπεριφοράς χρηστών στο περιβάλλον εφαρμογής,
- Σχεδίαση γενικής ιδέας (concept),
- Δημιουργία σεναρίων του προφίλ των χρηστών ανά κατηγορίες (storyboard),

- Σχηματοποίηση και σχεδίαση διαγραμμάτων ροής (flow diagrams),
- Δημιουργία πρωτοτύπων και δοκιμή τους από χρήστες,
- Ανάπτυξη εφαρμογής ,
- Τελικός έλεγχος και παράδοση.

Το μέγεθος και το βάρος των συστημάτων πρέπει να είναι καλά μελετημένα, το συνολικό βάρος του ηλεκτρονικού προϊόντος πρέπει να είναι κανονικό, το μέγεθος των συστημάτων πρέπει να είναι διακριτικό και τα επιμέρους υλικά σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να εξέχουν, διαφορετικά θα αποτελούν πρόβλημα για το χρήστη.

Τα έξυπνα ενδύματα δε θα πρέπει να ξεχωρίζουν από τα συμβατικά παρά μόνο στη λειτουργία τους. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να υπάρχει στενή συνεργασία ερευνητών και επιστημόνων από διάφορους τομείς όπως κλωστοϋφαντουργία, βιοτεχνολογία, επιστήμη υλικών, πληροφορική και μικροηλεκτρονική.

#### **6.2.5 Δυσκολία χειρισμού**

Εδώ και πολλά χρόνια η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στηρίζει σε πολλαπλά επίπεδα τις ερευνητικές προσπάθειες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή έξυπνων προϊόντων που μπορούν να βελτιώσουν το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων. Λόγω του ότι οι περισσότερες ασθένειες καταπολεμούνται πλέον αποτελεσματικά, στις ευρωπαϊκές χώρες έχει αυξηθεί το προσδόκιμο ζωής με αποτέλεσμα οι άνθρωποι τρίτης ηλικίας να καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Το πρόβλημα παρουσιάζεται λόγω του ότι οι άνθρωποι τρίτης ηλικίας που έχουν ανάγκη από τέτοια υποστηρικτικά ιατρικά ηλεκτρονικά συστήματα χωρίς την παρουσία κάποιου εκπαιδευμένου ατόμου δε θα μπορέσουν να κατανοήσουν την τεχνολογία και να τη χρησιμοποιούν με ευκολία μόνοι από το σπίτι τους. Ακόμα η χρήση τέτοιων προϊόντων δε θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μικρά παιδιά χωρίς τη βοήθεια κάποιου ενήλικα. Επομένως, οι βιομηχανίες που αναπτύσσουν τέτοια προϊόντα θα πρέπει πολύ προσεκτικά να μελετήσουν το σκοπό και το χρήστη που θα εξυπηρετήσουν τα ηλεκτρονικά ενδύματα. Ο τρόπος λειτουργίας πρέπει να είναι πλήρως κατανοητός από το χρήστη, και ο κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει κάποιο επίπεδο ικανοτήτων και γνώσεων για το χειρισμό τους. Επομένως, η ευκολία στο χειρισμό είναι ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη τέτοιων προϊόντων

και την εμφάνισή τους στην αγορά, άρα και οι εταιρίες θα πρέπει βρουν τρόπο να εκπαιδεύσουν και να ενημερώσουν τους καταναλωτές ως προς τη χρήση τους.

#### **6.2.6 Κατασκευαστικά προβλήματα**

Για την κατασκευή ηλεκτρονικών ενδυμάτων απαιτούνται πολύ αυστηρές προδιαγραφές, μεγάλη μελέτη επιλογής υλικών των ηλεκτρονικών στοιχείων καθώς και προσεκτικός και ακριβής τρόπος ενσωμάτωσής τους στα ενδύματα υψηλής τεχνολογίας. Πρέπει να βρεθούν τρόποι ώστε να μη φθείρονται τα συστήματα από την καθημερινή χρήση και το πλύσιμο. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του ενδύματος κατά το πλύσιμο, την κάμψη ή από τον ιδρώτα δε θα πρέπει να έχουν προβλήματα αποκόλλησης, καταστροφής του κυκλώματος ή διάβρωσης των αγωγίμων στοιχείων. Επίσης, δε θα πρέπει να καταστρέφεται το κύκλωμα κατά το σιδέρωμα, το στεγνό καθάρισμα ή την έκθεση στον ήλιο (Burchard, Jung, Ullsperger, & Hartmann, 2001).

Επιπλέον, το λειτουργικό σύστημα του ηλεκτρονικού στοιχείου του ενδύματος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα αναβάθμισης μετά από το πέρασμα του χρόνου και την εξέλιξη νέων συστημάτων.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζουν τα φορετά συστήματα είναι η ενέργεια. Μέχρι στιγμής οι μπαταρίες αποτελούν το μέσο αποθήκευσης της ενέργειας για τέτοιες εφαρμογές, και ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή και το χρόνο λειτουργίας ποικίλουν τόσο σε μέγεθος όσο και σε βάρος. Για να λυθεί το ενεργειακό πρόβλημα, διάφορες εταιρίες (π.χ. Infineon Technologies) ασχολούνται με την εκμετάλλευση εναλλακτικών πηγών ενέργειας όπως το ηλιακό φως, η θερμοκρασία και η κίνηση του ανθρώπινου σώματος οι οποίες μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμα γίνεται χρήση τεχνολογίας εύκαμπτων ηλιακών κυττάρων και θερμοηλεκτρικών κινητήρων (Nørstebø, 2003).

Εξαιτίας των παραπάνω η κατασκευή των ηλεκτρονικών ενδυμάτων θα πρέπει να γίνεται από πολύ εξειδικευμένο προσωπικό, τα σφάλματα κατασκευής να είναι περιορισμένα έως ελάχιστα και σε περίπτωση ελαττωματικού προϊόντος να υπάρχουν πιστοποιημένα σημεία επιδιόρθωσης.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Όσο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν στην καθημερινότητά τους προϊόντα κλωστοϋφαντουργίας, τόσο αυτά θα αποτελούν στόχο για τους ερευνητές διαφορετικών ειδικοτήτων όπως, βιοτεχνολογίας, μικροηλεκτρονικής, επιστήμης υλικών και πληροφορικής. Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταφέρει να μικρύνει το μέγεθος των ηλεκτρονικών στοιχείων καθώς και συσκευών που εύκολα μπορούν να μεταφερθούν και να φορεθούν. Όλα αυτά έχουν προκαλέσει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια για τη δημιουργία ηλεκτρονικών ενδυμάτων προσωπικής προστασίας.

Ο στόχος των έξυπνων ηλεκτρονικών ενδυμάτων είναι να μπορούν να μεταφέρουν χρήσιμα δεδομένα και να αποτελούν εργαλεία που να μπορούν να εκτελούν διάφορες ενέργειες και συναλλαγές αντικαθιστώντας σιγά σιγά τις ηλεκτρονικές συσκευές. Όταν χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρονικά ενδύματα για την προστασία ενός εργαζομένου, αυτά θα πρέπει να μπορούν με διαφορετικές ειδοποιήσεις, αισθητήρες και συστήματα προσδιορισμού θέσης να του προσφέρουν ασφάλεια και προστασία.

Η παρούσα τεχνολογία και τα υλικά που είναι διαθέσιμα, δεν είναι ακόμα κατάλληλα για τη διαδικασία μαζικής παραγωγής. Όλες οι έρευνες έχουν στραφεί τη δεδομένη στιγμή στη λύση του μεγαλύτερου προβλήματος των e-textiles, της τροφοδότησης της ενέργειας καθώς αυτό είναι και το βαρύτερο κομμάτι πάνω στο ηλεκτρονικό ένδυμα. Σήμερα εκτός από τις προαναφερθείσες, στα προηγούμενα κεφάλαια, πηγές ενέργειας, υπάρχουν και δύο νέες προσεγγίσεις πηγών ενέργειας. Η κατασκευή πολυμερούς μπαταρίας λιθίου (lithium polymer battery) καθώς και κυττάρων μικρό-καυσίμου (micro fuel cells). Η εξέλιξη της τεχνολογίας και των έξυπνων κλωστοϋφαντουργικών ενδυμάτων, αναμένεται να φέρει καινοτομίες σε πολλούς τομείς.

Ένας από τους μεγαλύτερους χρηματοδότες για την κατασκευή «φορητής» τεχνολογίας αυτή τη στιγμή είναι οι Ένοπλες Δυνάμεις, καθώς ένας τέτοιος εξοπλισμός τους είναι απαραίτητος για ενδοεπικοινωνία που θα πρέπει να ανταπεξέρχεται σε διάφορες καταστάσεις όπως στον αέρα, στο νερό και στην ξηρά και ταυτόχρονα να λειτουργεί και με δορυφορικές τεχνολογίες. Ιδιαίτερη σημασία σε αυτό έχει αφιερώσει ο Στρατός των ΗΠΑ. Στο Naval Air Technical Training Center (NATICK) τρέχει ερευνητικό πρόγραμμα με το όνομα *Future Force Warrior Programme* με σκοπό να κατασκευαστεί μια πλήρως βιονική στολή πολεμιστή εξοπλισμένη με «έξυπνη» πανοπλία, εξωσκελετό,

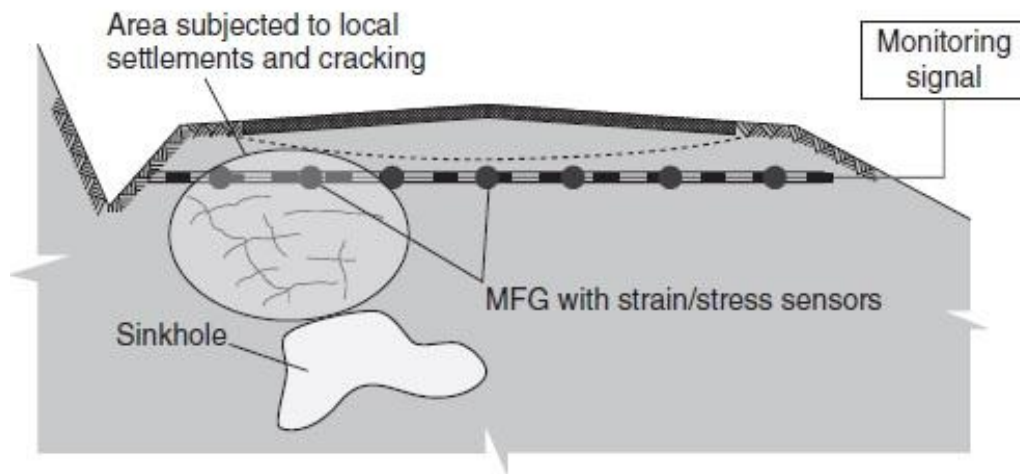
βιοπαρακολούθηση, οπλοστάσιο, επικοινωνίες την οποία ευελπιστούν να παρουσιάσουν το 2020 (McCann & Bryson, 2009).



**Φωτογραφία 7.1** Μελλοντική βιονική στρατιωτική στολή

Στην Ιατρική χρησιμοποιείται πολύ η «φορητή» τεχνολογία για την παρακολούθηση των ασθενών όμως λόγω του ότι αυτές οι συσκευές είναι συνήθως δύσχρηστες, άβολες και ορατές, οι ασθενείς τις αποφεύγουν. Όμως, τα προϊόντα ιατρικής περίθαλψης δίνουν ιδιαίτερη σημασία στη συνεχή παρακολούθηση των βιοφυσικών δεδομένων όπως οι παλμοί της καρδιάς, ο ρυθμός της αναπνοής, η αρτηριακή πίεση αλλά και η θερμοκρασία. Η κάθε χώρα πάραυτα έχει το δικό της κλινικό περιβάλλον και δεδομένα με αποδεκτές και μη τιμές, οπότε τα ιατρικά πειράματα για τις εταιρείες που αναπτύσσουν αυτήν την τεχνολογία είναι πολύ κοστοβόρα. Για το λόγο αυτό, αρχικά κάποιες εταιρείες στόχευσαν κυρίως στην έρευνα στον τομέα του αθλητισμού γιατί μέσω αυτού τα προϊόντα τους θα μπορούσαν να επιτύχουν το βαθμό ακρίβειας και συνοχής που είναι απαραίτητος στην ιατρική περίθαλψη (McCann & Bryson, 2009).

Είναι γεγονός ότι τα έξυπνα πολυλειτουργικά υλικά θα είναι από τα πιο χρήσιμα δομικά στοιχεία στο μέλλον για πολλές εφαρμογές όπως οι γεωτεχνικές. Θα λειτουργούν όπως τα συμβατικά αλλά θα έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν δεδομένα και πληροφορίες με τη συνεχή παρακολούθηση της καλής ή μη κατάστασης ενός γεωτεχνικού έργου. Αυτό επιτυγχάνεται με έξυπνα πολυμερή και υλικά μνήμης σχήματος (ΥΜΣ). Ένα σημαντικό στοιχείο είναι η ενσωμάτωση αισθητήρων σε γεωφάσματα τα οποία θα ανιχνεύουν κενά στη δομή του έργου. Οι αισθητήρες θα είναι φωτοευαίσθητοι και σε περίπτωση που αντιληφθούν φως θα υπάρχει συναγερμός που θα ενεργοποιείται. Αυτά τα υφάσματα είναι ελαφριά και το κύκλωμά τους σχετικά απλό. Το ίδιο ύφασμα χρησιμοποιείται και σε όχθες για να φαίνεται αν υπάρχει υποχώρηση του εδάφους (Chapman, 2013).



**Σχήμα 7.1** Ενσωματωμένος αισθητήρας σε γεωφάσμα

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθούν τα ανοιχτά ζητήματα και προβλήματα που καλούνται οι ερευνητές και κατασκευαστές της φορητής τεχνολογίας να επιλύσουν.

Απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός των έξυπνων ενδυμάτων για οποιαδήποτε χρήση. Ο σχεδιασμός και η αλληλεπίδραση των συστημάτων και των διεπαφών θα πρέπει να είναι εύχρηστοι και φιλικοί για το χρήστη. Τα ηλεκτρονικά ενδύματα και οι συσκευές από τις οποίες αποτελούνται, σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει να προκαλούν ανασφάλεια στο χρήστη όσον αφορά την υγεία του, τα προσωπικά του δεδομένα ακόμα και τη μη αξιόπιστη λειτουργία του ενδύματος. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο για την κοινωνική αποδοχή παίζει η σωστή προώθηση των ηλεκτρονικών ενδυμάτων στην αγορά καθώς και η σωστή εργονομία και διακριτικότητα που θα πρέπει να έχουν τέτοια προϊόντα ανάλογα με τις ανάγκες που καλούνται να καλύψουν.



## WEBOLOGY

<https://antelope.club/>

Anon., 2017. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLilyPad>. [Online] Available at: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLilyPad> [Accessed 15 6 2017].

<http://arduinolaboratory.weebly.com/pirhoomicrongammarhoalphamumualphatauiotasigmaamuomicronsigmaf-arduino.html>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82>. (2013, 5 31). *wikipedia*. Retrieved from <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B1%CF%82>

## 8 ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Computer Technology for Textiles and Apparel Woodhead Publishing in Textiles (Hu, 2011) Nonwovens Institute, North Carolina State University, USA.

Intelligent Textiles and clothing Woodhead Publishing in Textiles by H.Mattila 2006

<http://www.wellness.warmx.de>

## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Mann S., 1996, Smart Clothing: The Shift to Wearable Computing, Communications of the ACM vol. 39

*Perceptual intelligence, Communications of the ACM, Vol. 43, No.3.*

Barburski, M., Czekalski, B., & Snycerski, M. (2008). RFID TECHNOLOGY IN THE TEXTILE INDUSTRY. *AUTEX Research Journal*, 8(3), 92-96.

Berzowska, J., & Coelho, M. (2005). *Kukkia and vilkas: Kinetic electronic garments*. Paper presented at the Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.

Bonfiglio, A., Curone, D., Secco, E. L., Magenes, G., & Tognetti, A. (2011). Emergency and work *Wearable Monitoring Systems* (pp. 205-219): Springer.

Brady, S., Dunne, L. E., Tynan, R., Diamond, D., Smyth, B., & O'Hare, G. M. (2005). *Garment-based monitoring of respiration rate using a foam pressure sensor*. Paper presented at the Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.

Buller, M. J., Tharion, W. J., Duhamel, C. M., & Yokota, M. (2015). Real-time core body temperature estimation from heart rate for first responders wearing different levels of personal protective equipment. *Ergonomics*, 58(11), 1830-1841.

Burchard, B., Jung, S., Ullsperger, A., & Hartmann, W. (2001). *Devices, software, their applications and requirements for wearable electronics*. Paper presented at the Consumer Electronics, 2001. ICCE. International Conference on.

Chapman, R. A. (2013). *Smart Textiles for Protection*: Woodhead Publishing in Textiles.

Chi, Y. M., & Cauwenberghs, G. (2010). *Wireless non-contact EEG/ECG electrodes for body sensor networks*. Paper presented at the Body Sensor Networks (BSN), 2010 International Conference on.

De Rossi, D., Carpi, F., Lorussi, F., Paradiso, R., Scilingo, E. P., & Tognetti, A. (2005). , *Chapter 5 Electroactive fabrics and wearable man-machine interfaces, in wearable electronics and photonics*.

Devaux, E., Aubry, C., Campagne, C., & Rochery, M. (2011). PLA/Carbon Nanotubes Multifilament Yarns for Relative Humidity Textile Sensor. *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, 6(3).

Einsmann, C., Quirk, M., Muzal, B., Venkatramani, B., Martin, T., & Jones, M. (2005). *Modeling a wearable full-body motion capture system*. Paper presented at the

- Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.
- Furtak, N. T., Skrzetuska, E., & Krucińska, I. (2013). Development of screen-printed breathing rate sensors. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*(6 (102)), 84--88.
- Gniotek, K. (2007). Textronics System for Breathing Measurement. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 15(5-6), 64-65.
- Gniotek, K., & Krucinska, I. (2004). The basic problems of textronics. *FIBRES AND TEXTILES IN EASTERN EUROPE.*, 12(1), 13-16.
- Gould, P. (2003). Textiles gain intelligence. *Materials today*, 6(10), 38-43.
- Grant, E., Luthy, K., Muth, J., Mattos, L., Braly, J., Seyam, A., . . . Natarajan, K. (2004). Developing portable acoustic arrays on a large-scale e-textile substrate. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 16(1/2), 73-83.
- Hannikainen, J., Mikkonen, J., & Vanhala, J. (2005). *Button component encasing for wearable technology applications*. Paper presented at the Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.
- Hertleer, C., Tronquo, A., Rogier, H., & Van Langenhove, L. (2008). The use of textile materials to design wearable microstrip patch antennas. *Textile Research Journal*, 78(8), 651-658.
- Hertleer, C., Van Langenhove, L., & Rogier, H. (2008). *Printed textile antennas for off-body communication*. Paper presented at the Advances in science and technology.
- Hu, J. (2011). *Computer Technology for Textiles and Apparel*: Woodhead Publishing.
- Huang, C.-T., Tang, C.-F., Lee, M.-C., & Chang, S.-H. (2008). Parametric design of yarn-based piezoresistive sensors for smart textiles. *Sensors and Actuators A: Physical*, 148(1), 10-15.
- Ito, S., Iwasawa, S., Tsuchikawa, M., Sumi, Y., Mase, K., Katagiri, Y., . . . Hagita, N. (2005). *Implementation and evaluation of wearable sensor devices for recording and detecting conversational interaction*. Paper presented at the Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.
- Jung, S., Lauterbach, C., & Weber, W. (2002). *A digital music player tailored for smart textiles: First results*. Paper presented at the Avantex Symposium, Frankfurt, Germany.
- Jung, S., Lauterbach, C., & Weber, W. (2002). *A Digital Music Player Tailored for Smart Textiles: First Results, Avantex Symposium*.

- Karaguzel, B., Merritt, C., Kang, T., Wilson, J., Nagle, H., Grant, E., & Pourdeyhimi, B. (2008). Utility of nonwovens in the production of integrated electrical circuits via printing conductive inks. *Journal of the Textile Institute*, 99(1), 37-45.
- Kazani, I., Declercq, F., Scarpello, M. L., Hertleer, C., Rogier, H., Ginste, D. V., . . . Van Langenhove, L. (2014). Performance study of screen-printed textile antennas after repeated washing. *Autex Research Journal*, 14(2), 47-54.
- Krucińska, I., Skrzetuska, E., & Urbaniak–Domagała, W. (2014). Printed Textiles with Chemical Sensor Properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.
- Kursun-Bahadir, S., Koncar, V., Kalaoğlu, F., Cristian, I., & Thomassey, S. (2011). Assessing the signal quality of an ultrasonic sensor on different conductive yarns used as transmission lines. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*(5 (88)), 75--81.
- Luprano, J. (2008). *Bio-sensing textile for medical monitoring applications*. Paper presented at the Advances in Science and Technology.
- Mandal, S., & Song, G. (2015). Thermal sensors for performance evaluation of protective clothing against heat and fire: a review. *Textile Research Journal*, 85(1), 101-112.
- Matthews, J., & Pettitt, G. (2009). *Development of flexible, wearable antennas*. Paper presented at the Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on.
- Mattila, H. (2006). *Intelligent Textiles and clothing*: Woodhead Publishing in Textiles.
- McCann, J., & Bryson, D. (2009). *Smart clothes and wearable technology*: Woodhead Publishing.
- Meoli, D., & May-Plumlee, T. (2002). , *Interactive electronic textile development: A Review of technologies*, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Vol. 2, No. 2.
- Muller, H., Randell, C., & Moss, A. (2006). *A 10mw wearable positioning system*. Paper presented at the Wearable Computers, 2006 10th IEEE International Symposium on.
- Noma, H., Kogure, K., Nakajima, Y., Shimonomura, H., & Ohsuga, M. (2005). *Wearable data acquisition for heartbeat and respiratory information using NAM (non-audible murmur) microphone*. Paper presented at the Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on.
- Nørstebø, C. A. (2003). Intelligent textiles, soft products. *Journal of Future Materials*, 1-14.
- Paradiso, R., Bourdon, L., & Loriga, G. (2008). *Smart Sensing Uniforms for Emergency Operators*. Paper presented at the Advances in Science and Technology.

- Poh, M.-Z., Kim, K., Goessling, A. D., Swenson, N. C., & Picard, R. W. (2009). *Heartphones: Sensor earphones and mobile application for non-obtrusive health monitoring*. Paper presented at the Wearable Computers, 2009. ISWC'09. International Symposium on.
- Profita, H. P., Lightner, M., Correll, N., & Kane, S. K. (2017). Textile-Based Assistive Wearables. *The Journal on Technology and Persons with Disabilities*, 40.
- Rubacha, M., & Zieba, J. (2007). Magnetic cellulose fibres and their application in textronics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 15(5), 64.
- Rubacha, M., & Zięba, J. (2006). Magnetic textile elements. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14(5), 59.
- Salvado, R., Loss, C., Gonçalves, R., & Pinho, P. (2012). Textile materials for the design of wearable antennas: a survey. *Sensors*, 12(11), 15841-15857.
- Sanjari, H. R., Merati, A. A., Varkiani, S. M. H., & Tavakoli, A. (2014). A study on the effect of compressive strain on the resonance frequency of rectangular textile patch antenna: Elastic and isotropic model. *The Journal of The Textile Institute*, 105(2), 156-162.
- Sanz-Izquierdo, B., Parker, E. A., Batchelor, J. C., & Miller, J. (2011). *Body armour with integral high impedance surface*. Paper presented at the Antennas and Propagation (EUCAP), Proceedings of the 5th European Conference on.
- Schlosser, J. A., & Carroll, K. (2013). Textile and Clothing Applications for Health Monitoring of Athletes and Potential Applications for Athletes with Disabilities. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 8(1).
- Senthilkumar, M., Kumar, L. A., & Anbuman, N. (2012). Design and development of a pressure sensing device for analysing the pressure comfort of elastic garments. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 20(1), 90.
- Seymour, S. (2008). *Fashionable Technology*: SpringerWienNewYork.
- Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *Sensors*, 14(7), 11957-11992.
- Suh, M., Carroll, K., & Oxenham, W. (2011). Effect of protective coating on the performance of wearable antennas. *Universal Access in Human-Computer Interaction. Context Diversity*, 84-93.
- Suh, M., Carroll, K. E., Grant, E., & Oxenham, W. (2013). Effect of fabric substrate and coating material on the quality of conductive printing. *Journal of the Textile Institute*, 104(2), 213-222.

- Suh, M., E. Carroll, K., Grant, E., & Oxenham, W. (2014). Investigation into the feasibility of inductively coupled antenna for use in smart clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 26(1), 25-37.
- Van Langenhove, L. (2007). *Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications*: Elsevier.
- Yoo, J., Yan, L., Lee, S., Kim, H., Kim, B., & Yoo, H.-J. (2009). *An attachable ECG sensor bandage with planar-fashionable circuit board*. Paper presented at the Wearable Computers, 2009. ISWC'09. International Symposium on.
- Zięba, J., & Frydrysiak, M. (2006). Textronics-Electrical and electronic textiles. Sensors for breathing frequency measurement. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14(5), 59.
- SIMON, E. P., KALLMAYER, C., ASCHENBRENNER, R. & LANG, K. D. Novel approach for integrating electronics into textiles at room temperature using a force-fit interconnection. Microelectronics and Packaging Conference (EMPC), 2011 18th European, 12-15 Sept. 2011 2011. 1-7..
- SCHEULEN, K., SCHWARZ, A. & JOCKENHOEVEL, S. 2013. Reversible contacting of smart textiles with adhesive bonded magnets. *Proceedings of the 2013 International Symposium on Wearable Computers*. Zurich, Switzerland: ACM..
- LINZ, T., VIEROTH, R., DILS, C., KOCH, M., BRAUN, T., BECKER, K. F., KALLMAYER, C. & HONG, S. M. 2008. Embroidered Interconnections and Encapsulation for Electronics in Textiles for Wearable Electronics Applications. *Advances in Science and Technology*, 60, 85-94., LINZ, T., SIMON, E. & WALTER, H. Fundamental analysis of embroidered contacts for electronics in textiles. Electronic System-Integration Technology Conference (ESTC), 2010 3rd, 13-16 Sept. 2010 2010a. 1-5., LINZ, T., KALLMAYER, C., ASCHENBRENNER, R. & REICHL, H. Embroidering electrical interconnects with conductive yarn for the integration of flexible electronic modules into fabric. 2012 16th International Symposium on Wearable Computers, 2005 Osaka, Japan. IEEE, 86-91.
- Zainab Yunusa, Mohd. Nizar Hamidon, Ahsanul Kaiser,  
Zaiki Awang, Gas Sensors: A Review Sensors & Transducers, Vol. 168, Issue 4, April 2014, pp. 61-75

## 10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στον παρακάτω Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των περισσότερων εμπορικά διαθέσιμων μικροϋπολογιστών (single-board computers) (A. Primentas, 2016).

### CPU, GPU, memory

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			Type
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	
86Duino ZERO		Vortex86EX		300 MHz		128MB			DDR3
86Duino ONE		32-bit x86							
Arduino Uno	Atmel ATmega328P	AVR	1	16 MHz	N/A	2 KB	16	8	SRAM
Arduino DUE	Atmel SAM3X8E	ARM Cortex-M3		84 MHz		96 KB (two banks: 64KB and 32KB)			
Arduino TRE	Atmel ATmega32u4			16 MHz		2.5 KB (ATmega32u4)			
Arduino 101	Intel Curie			84 MHz	32MHz	24 kB			
Arduino 2560	<a href="#">ATmega2560</a>			16 MHz		8 KB			
Arduino ZERO	ATSAMD21G18	32-Bit ARM Cortex M0+		48 MHz		32 KB			
Arduino PRO	ATmega168 or ATmega328			8 MHz (3.3V) 16 MHz (5V)		1 KB (ATmega168) 2 KB (ATmega328)			
Arndale Board Model 5250-AA R.D.2012/10	Samsung Exynos 5	ARM Cortex-A15	2	1.7 GHz	Mali-T604MP4	2 GB			DDR3L
Arndale Octa		ARM	4	1.8 GHz	Mali-	3 GB			LPDDR3

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
Board <b>Model</b> 5420- AA		Cortex-A15 ARM Cortex-A7		1.3 GHz	T628MP6				
Banana Pi <b>R.D.</b> 2014/03	Allwinner A20	ARM- Cortex-A7	2	1 GHz	Mali-400MP2	1 GB			DDR3
Banana Pro <b>R.D.</b> 2014/12									
Banana Pi M2 <b>R.D.</b> 2015	Allwinner A31s		4		PowerVR SGX544MP				
Banana Pi M3 <b>R.D.</b> 2015	Allwinner A83T	ARM- Cortex-A7	8	1.8 GHz	PowerVR SGX544MP	2 GB			LPDDR3
BeagleBoard D <b>R.D.</b> 2012/10	TI OMAP3530			720 MHz	TMS320C64x @430 MHz, DSP	256 MB			LPDDR
BeagleBoard- xM C2 <b>R.D.</b> 2010/09	TI Sitara AM37x			1 GHz	C64x, DSP	512 MB			
BeagleBone A6A <b>R.D.</b> 2011/10	TI Sitara AM335x	ARM Cortex-A8	1	720 MHz	PowerVR	256 MB			DDR2
BeagleBone Black C <b>R.D.</b> 2013/04	TI Sitara AM335x			1 GHz	SGX530	512 MB		16	DDR3L
Cubieboard <b>R.D.</b> 2012/09	Allwinner A10				Mali-400	1 GB	960		DDR3
Cubieboard 2 <b>R.D.</b> 2013/06	Allwinner A20	ARM Cortex-A7	2		Mali-400MP2				



Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
Cubieboard 3 <b>R.D.</b> 2013/10									
Cubieboard 4 / CC-A80 <b>Model</b> Octo <b>R.D.</b> 2014	Allwinner A80	ARM Cortex-A15x4/ARM Cortex-A7x4	8	1.3 GHz	PowerVR 64-core 6230	2 GB	1600	64	
Gizmo Board <b>R.D.</b> 2013/02	AMD Embedded G-Series T40E APU	x86-64 Bobcat	2		Radeon HD 6250	1 GB			
HummingBoard i1 <b>R.D.</b> 2014/07	Freescale i.MX6 Solo		1	1 GHz	Vivante GC880 + GC320	512 MB	800	32	
HummingBoard i2 <b>R.D.</b> 2014/07	Freescale i.MX6 Dual Lite	ARM Cortex-A9	2						
HummingBoard i2eX <b>R.D.</b> 2014/07	Freescale i.MX6 Dual		2	1 GHz	Vivante GC2000 + GC355 + GC320	1 GB	1066	64	
Galileo Gen 2 <b>R.D.</b> 2013/10	Intel Quark SoC X1000	x86 Quark	1	400 MHz		256 MB	800		
MarsBoard A10 <b>R.D.</b> 2013/03	Allwinner A10	ARM Cortex-A8			Mali-400MP2	1 GB	960		
MarsBoard A20 <b>R.D.</b> 2013/04	Allwinner A20	ARM Cortex-A7		1 GHz					
MarsBoard RK3066 <b>R.D.</b> 2014/05	Rockchip RK3066	ARM Cortex-A9	2	1.6 GHz	Mali-400MP4	1-2 GB			

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
MinnowBoard R.D.2013/04	Intel Atom E640	x86 Bonnell	1	1 GHz	Intel GMA600	1 GB		64	DDR2
MinnowBoard Max R.D.2013/04	Intel Atom E3815 E3825		1 2	1.46 GHz 1.33 GHz		1 - 4 GB			DDR3
Netduino Plus 2 R.D.2012/11	STMicro STM32 F4	ARM Cortex-M4	1	168 MHz		100+ KB			SRAM
Nitrogen6x R.D.2013/06	Freescale i.MX6 Quad	ARM Cortex-A9	4	1 GHz	Vivante GC2000 GC355 GC320	+1 GB (2 GB +option)	1066	64	DDR3
Orange Pi R.D.2015/01	Allwinner A20		2		ARM Mali- 400 MP2				
Orange Pi Mini R.D.2015/02									
Orange Pi 2 R.D.2015/01	Allwinner H3	ARM Cortex-A7	4	1.536 GHz	ARM Mali- 400 MP2 @600 MHz	1 GB			
Orange Pi Mini 2 R.D.2015/02									
Orange Pi PC R.D.2015/02									
Orange Pi Plus R.D.2015/02									
Orange Pi Plus 2 R.D.2015/02									
Orange Pi One						512 MB			

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
R.D.2016/01	Orange Pi Lite								
R.D.2016/01									
ODROID-C1+ R.D.2014/12 2015/07	Amlogic S805	ARM Cortex-A5	4	1.5 GHz	Mali-450MP @600 MHz	1 GB		32	DDR3
ODROID-C2 R.D.2016/03	Amlogic S905	ARM Cortex-A53		2 GHz	Mali-450MP3 +2VS @700 MHz	2 GB		64	
ODROID-U3 R.D.2014/01	Samsung Exynos 4 Quad	ARM Cortex-A9		1.7 GHz	Mali-400MP4 @440 MHz		880		LPDDR2
ODROID-W R.D.2014/08	Broadcom BCM2835	ARM11	1	700 MHz	Broadcom VideoCore IV	512 MB			
ODROID-XU R.D.2013	Samsung Exynos 5 Octa (5410)	ARM Cortex-A15	8 (4+4)	1.7 GHz	PowerVR SGX544MP3	2 GB	800		LPDDR3
		ARM Cortex-A7		1.2 GHz	@600 MHz				
ODROID-XU3 R.D.2014/08	Samsung Exynos 5 Octa (5422)	ARM Cortex-A15	8 (4+4)	2 GHz	ARM Mali-				
		ARM Cortex-A7		1.4 GHz	T628 @695 MHz				
ODROID-XU4 R.D.2015/07	Samsung Exynos 5 Octa (5422)	ARM Cortex-A15							
		ARM Cortex-A7				933		32	DDR3L
ODROID-XU3	Samsung Exynos	ARM		1.8 GHz	ARM Mali-	2 GB	933	32	DDR3L

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
Lite R.D.2015/01	5 Octa (5422)	Cortex-A15		1.3 GHz	T628				
		ARM Cortex-A7			@695 MHz				
OLinuXino A10 LIME	Allwinner A10				Mali-400	512 MB			
OLinuXino A13	Allwinner A13	ARM Cortex-A8	1	1 GHz	Mali-400 (3D)	512 MB (2 x 256Mbit x 8)		32	DDR3
OLinuXino A13 MICRO					Mali-400	256 MB		16	
OLinuXino A13 WIFI					Mali-400 (3D)	512 MB (2 x 256Mbit x 8)		16	
OLinuXino A20 LIME R.D.2013/06					Allwinner A20	ARM Cortex-A7	2	1 GHz	
OLinuXino A20 LIME2 R.D.2014/09	Mali-400MP2			32					
OLinuXino A20 MICRO R.D.2013/06		1 GiB							
pcDuino Lite R.D.2013/10	Allwinner A10	ARM Cortex-A8	1	1 GHz	Mali-400	512 MB			
pcDuino v2 R.D.2013/09							1 GB		
pcDuino3	Allwinner A20	ARM	2		Mali-400MP2				

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
R.D.2014/02	pcDuino3Nano	Cortex-A7							
R.D.2014/07									
Radxa Rock R.D.2014/01	Rockchip RK3188	ARM Cortex-A9	4	1.6 GHz	Mali-400MP4	2 GB			DDR3
Radxa Rock Lite R.D.2014/01						1 GB			
Raspberry Pi Model A / B rev 1 R.D.2012/02 (A) R.D.2012/10 (B)	Broadcom BCM2835	ARM11	1	700 MHz	Broadcom VideoCore IV	256 MB			
Raspberry Pi Model B rev 2 / B+ R.D.2014/07						512 MB			
Raspberry Pi 2 Model B R.D.2015/02	Broadcom BCM2836	ARM Cortex-A7	4	900 MHz		1 GB			LPDDR2
Raspberry Pi 3 Model B	Broadcom BCM2837	ARM Cortex-A53		1.2 GHz					
Raspberry Pi Zero R.D.2015/11	Broadcom BCM2835	ARM11	1	1 GHz		512 MB			

Name	SoC	CPU			GPU	RAM			
		Architecture	Cores	Frequency		Size	Data rate [MT/s]	Data path width [bits]	Type
RioTboard R.D.2014/01	Freescall i.MX6 Solo	ARM Cortex-A9			Vivante GC880 + GC320	1 GB	800	32	DDR3
UDOO Dual Basic R.D.2013/10	Freescall i.MX6 Dual Lite	ARM Cortex-A9	3	1 GHz	Vivante GC880 + GC320				
	Atmel SAM3X8E			84 MHz					
UDOO Dual R.D.2013/10	Freescall i.MX6 Dual Lite	ARM Cortex-M3	(2+1)	84 MHz	Vivante GC880 + GC320				
	Atmel SAM3X8E								
UDOO Quad R.D.2013/10	Freescall i.MX6 Quad	ARM Cortex-A9	5	1 GHz	Vivante GC2000 + GC355 + GC320				
	Atmel SAM3X8E	ARM Cortex-M3	(4+1)	84 MHz					
Wandboard Dual R.D.2013	Freescall i.MX6 Dual	ARM Cortex-A9	2	1 GHz	Vivante GC880 + GC320				
Wandboard Quad R.D.2013	Freescall i.MX6 Quad	ARM Cortex-A9	4	1 GHz	Vivante GC2000 + GC355 + GC320				
					Vivante GC880 + GC320				
Wandboard Solo R.D.2013	Freescall i.MX6 Solo		1		Vivante GC880 + GC320	512 MB			DDR3

*R.D. Released Date*

### I/O interfaces and ports

Name	P C Le	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
		2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	SPI	GPIO	Analog		
86Duino ZERO		YES			8MB Flash	micro SD		LAN				Yes	Yes	6 (11bit) 17 (of which 7 provide 32bit PWM output) (Digital I/O Pins)	UART	
86Duino ONE		YES			8MB Flash	micro SD		LAN				Yes	Yes	7 (11bit) 45 (of which 11 provide 32bit PWM output) (Digital I/O Pins)	UART, CAN, RS485 LSM330DLC (6-axis Accelerometer & Gyro)	
Arduino Uno	No	No	No		32 KB Flash + 1 KB EEPROM	No	No	No	No	No	Yes	Yes	22	10-bit ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> 1.0 headers	
Arduino DUE																
Arduino TRE					1 KB (ATmega32u4) EEPROM											

Name	P C Le	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
		2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog		
					OM											
Arduino 101																
Arduino 2560					4 KB EEPROM											
Arduino ZERO																
Arduino PRO					512 bytes (ATmega168) EEPROM 1 KB (ATmega328) EEPROM											
Arndale Board	No	2	1	OTG	4GB eMMC	micro SD	SATA 3.0	100 GbE	a/b/g/n (AR6003)	4.0 BR/EDR + BLE			Opt		JTAG, RS232, <a href="#">MIPI DSI</a> , Audio	
Banana Pi	No	2	No	OTG	No	SD	SATA 2.0	GbE	No	No	Yes	Yes	80	12-Bit-ADC (CON1 for Touch)	CSI, UART	
Banana	No	2	No	OTG	No	micro	No	GbE	a/b/g/	No	Yes	Yes	40	12-Bit-ADC	CSI, UART	



Name	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
	Port	2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Ethernet	Wi-Fi	Bluetooth	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog	
Pi M2	0		0			SD			n			es		(CON1 for Touch)	
Banana Pi M3	N	2	N	OTG	No	micro SD	SATA 2.0	GbE	a/b/g/n	4.0	Yes	Yes	40	12-Bit-ADC (CON1 for Touch)	CSI, UART
BeagleBoard	N	1	N	OTG	512 MB Flash	SD	No	No	No	No			Yes	No	
BeagleBoard-xM	N	4	N	Yes	?	SD	No	10/100	No	No					
BeagleBone	N	1	N	Device	4 GB Flash	micro SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	66	12-bit ADC	CAN, UART
BeagleBone Black	N	1	N	Device	4 GB eMMC	micro SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	66	12-bit ADC	CAN, UART
Cubieboard, Cubieboard 2	N	2	N	OTG	4 GB Flash	micro SD	SATA 2.0	10/100	No	No	Yes	Yes	Yes	No	UART, AudioIn, IR
Cubieboard 3	N	3	N	OTG	8 GB Flash	micro SD	SATA 2.0	GbE	a/b/g/n (BCM4329)	2.1 +	Yes	Yes	Yes		IrDA, UART
Gizmo Board	N	2	N	No	No	No	Yes	GbE	No	No	No	Yes	?	ADC, DAC	JTAG, extra connectors
Hummingbird-1/2	N	2	N		No	micro SD (UHS)	No	10/100	No	No	Yes	Yes	8	No	CSI-2, FlexCAN, UART
Hummingbird	1	2	N		No	micro	mSATA	GbE	No	No	Yes	Yes	8	No	CIR rx, CSI-

Name	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
	Port	2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Ethernet	Wi-Fi	Bluetooth	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog	
igBoard- i2eX	mini		0			SD (UHS )	ATA					es			2, FlexCAN, UART
Intel Galileo Gen 2	1 mini	1	N	Client	8 MB Flash + 8 KB EEPROM	SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	20	12-bit ADC, 6 PWM	<a href="#">Arduino</a> 1.0 headers, JTAG, 6x UART
MarsBoard A10/A20 New	N	4	N	OTG	8 GB Flash	micro SD	Yes	10/100	b/g/n (RTL8 188)	No	No	N		No	CIF, UART
MarsBoard RK3066	N	4	N	OTG	4 GB Flash	micro SD	No	10/100	b/g/n (RTL8 188)	No	No	N		No	CIF, UART
Minnow Board	N	2	N	Device	No	micro SD	Yes	GbE	No	No	No	N	14	No	JTAG
Netduino Plus 2	N	No	N	No	384 KB Flash	micro SD	No	10	No	No	Yes	Yes	22	12-bit ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> 1.0 headers, 4x UART
Nitrogen 6x	1 mini opt.		N	OTG		2x micro SD	SATA	GbE	b/g/n (WL1 271)	Opt.	Yes	N		No	CAN-2, JTAG, extra USB header
ODROID -C1	N	4	N	OTG	eMMC Module opt.	micro SD	No	10/100/ 1000	No	No	Yes	Yes	32	2x 12-bit ADC, PWM	UART, IR, Real-time clock battery connector

Name	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
	Port	2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog	
ODROID-C1+	No	4	No	OTG	eMMC module opt.	microSD	No	10/100/1000	No	No	Yes	Yes	32	2x 12-bit ADC, PWM	UART, IR, I2S, Real-time clock battery connector
ODROID-U3	No	3	No	OTG	eMMC module opt.	microSD		10/100	No	No	Yes	No	Yes	No	UART, Real-time clock battery connector
ODROID-W	No	Pad	No		eMMC module opt.	microSD	No	No	No	No	Yes	Yes	32	2x 12-bit ADC, PWM	Real-time clock battery connector, LiPo battery connector
ODROID-XU3	No	4	1	OTG 3.0	eMMC module opt.	microSD	No	10/100 (LAN9514)	No	No	Yes	Yes	Yes	ADC	UART, Real-time clock battery connector
ODROID-XU3 Lite	No	4	1	OTG 3.0	eMMC module opt.	microSD	No	10/100 (LAN9514)	No	No	Yes	Yes	Yes	ADC	UART, Real-time clock battery connector
ODROID-XU4	No	1	2	OTG 3.0	eMMC module opt.	microSD	No	10/100/1000 (LAN9514)	No	No	Yes	Yes	Yes	ADC	UART, Real-time clock battery connector
OLinuXino A10-LIME	No	2	No	OTG	No / 2 KB EEPROM	microSD	Yes	100	No	No	Yes	Yes	134	PWM	6x UART

Name	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
	PCIe	2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog	
					for MAC Address										
OLinuXino A13 base	N	3 + 1	N	OTG can power the board	No	micro SD-card connector	No	No	No	No			142	No	
OLinuXino A13 MICRO	N	1	N	OTG	No	for booting	No	No	No	No			142	No	
OLinuXino A13 WIFI	N	3	N	OTG can power the board	4 GB Flash	optional Linux images	No	No	b/g/n (RTL8188)	No			142	No	
OLinuXino A20 LIME	N	2	N	OTG	4 GB Flash opt. + 2 KB EEPROM for MAC Address	micro SD	Yes	100	No	No			160	No	UART, UEXT
OLinuXino	N	2	N	OTG	4 GB	micro	Yes	1000	No	No			160	No	UART,

Name	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
	Ports	2.0	3.0	On-board	Flash slots	SATA	Ethernet	Wi-Fi	Bluetooth	I <sup>2</sup> C	Serial	GPIO	Analog		
no A20 LIME2				Flash opt.	SD + 2 KB EEPROM for MAC Address									UEXT	
OLinuXino A20 MICRO	No	2	No	OTG	4 GB Flash opt.	micro SD	Yes	100	No	No		160	No	UART, UEXT	
Orange Pi		4				micro SD	SA							CAN, CSI, IR, UART	
Orange Pi Mini		2				2× micro SD	TA 2.0	GbE	b/g/n		Yes	Yes	ADC, PWM		
Orange Pi 2					No									CSI, UART	
Orange Pi Mini 2	No	4	No	OTG			No	10/100	No						
Orange Pi PC		3				micro SD					Yes	Yes			
Orange Pi Plus							SA								
Orange Pi Plus 2		4			8 GB Flash		TA 2.0	GbE	b/g/n						
pcDuino Lite	No	2	No	OTG	No	micro SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	22	ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> 1.0 headers

Name	P C Le	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
		2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	SPI	GPIO	Analog		
pcDuino v2	No	1	No	OTG	4 GB Flash	micro SD	No	10/100	b/g/n (RTL8188)	No	Yes	Yes	22	ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> headers	1.0
pcDuino3	No	1	No	OTG	4 GB Flash	micro SD	Yes	10/100	b/g/n (RTL8188)	No	Yes	Yes	22	ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> headers	1.0
pcDuino3 Nano	No	2	No	OTG	4 GB Flash	micro SD	Yes	GbE	No	No	Yes	Yes	22	ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a> headers	1.0
Radxa Rock	No	2	No	OTG	8 GB Flash	micro SD (SDXC)	No	10/100	b/g/n (RTL8723)		Yes	Yes	80	ADC, PWM	UART	
Radxa Rock Lite	No	2	No	OTG	4 GB Flash	micro SD (SDXC)	No	10/100	b/g/n (RTL8188)	No	Yes	Yes	80	ADC, PWM	UART	
Raspberry Pi Model A	No	1	No		No	SD	No	No	No	No	Yes	Yes	8	No	UART	
Raspberry Pi Model B	No	2	No		No	SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	8	No	UART	
Raspberry Pi 4	No	4	No		No	micro SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	17	No	UART	

Name	P C Le	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
		2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SATA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	SPI	GPIO	Analog		
Model B+																
Raspberry Pi 2 Model B	No	4	No		No	micro SD	No	10/100	No	No	Yes	Yes	17	No		UART
Raspberry Pi 3 Model B	No	4	No		No	micro SD	No	10/100	b/g/n	4.1	Yes	Yes	17	No		UART
Raspberry Pi Zero	No	1	No		No	micro SD	No	No	No	No	Yes	Yes	17	No		UART
RIoTboard	No	4	No	OTG	4 GB Flash	micro SD and SD	No	GbE	No	No	Yes	Yes	10	PWM		CSI, UART
UDOO Dual Basic	No	2+1	No	OTG	No	micro SD	No	No	No	No	Yes	Yes	76	10-bit ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a>	1.0 headers
UDOO Dual	No	2+1	No	OTG	No	micro SD	No	GbE	n (RT5370)	No	Yes	Yes	76	10-bit ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a>	1.0 headers
UDOO Quad	No	2+1	No	OTG	No	micro SD	SATA	GbE	n (RT5370)	No	Yes	Yes	76	10-bit ADC, PWM	<a href="#">Arduino</a>	1.0 headers
Wandboard Dual	No	1	No	OTG	No	2x micro SD	No	GbE	n (BCM4329)	Yes	Yes	Yes	10	No		UART
Wandboard Quad	No	1	No	OTG	No	2x micro SD	Yes	GbE	n (BCM4329)	Yes	Yes	Yes	10	No		UART
Wandboard	No	1	No	OTG	No	2x	No	GbE	No	No	Yes	Yes	10	No		UART

Name	P C Le	USB			Storage			Networking			Communication			Generic I/O		Other interfaces
		2.0	3.0	Device	On-board	Flash slots	SA TA	Eth.	Wi-Fi	Bt.	I <sup>2</sup> C	SPI	GPIO	Analog		
rd Solo	o		o			micro SD						es				

### Audiovisual interfaces

Name	Mic In	Audio Out	HDMI	LVDS	Other Video Out
86Duino ZERO					
86Duino ONE			High Definition Audio		
Arduino Uno	N/A	N/A	No	N/A	N/A
Arduino DUE					
Arduino TRE					
Arduino 101					
Arduino 2560					
Arduino ZERO					
Arduino PRO					
Arndale Board	Yes	Yes	1.4	Yes	No
Banana Pi M3	Pads	Yes	1.4	Yes	Composite
BeagleBoard Black	Yes	Yes	1.x DVI compatible	No	No
BeagleBoard-xM	Yes	Yes	1.x	No	DVI-D, S-Video
BeagleBone	No	No	No	1.x	No
BeagleBone Black	No	HDMI	1.4a (Micro)	No	No
Cubieboard 2	No	3.5 mm, HDMI	1.x	Headers	Headers
Cubieboard 3	Header	3.5 mm,	1.4	No	VGA



Name	Mic In	Audio Out	HDMI	LVDS	Other Video Out
		HDMI, S/PDIF			
Gizmo Board	Yes	Yes	No	Part of “High Speed Connector”	VGA
HummingBoard- i1/2	No	3.5mm jack, S/PDIF	1.x	LCD header	No
HummingBoard- i2eX	Yes	3.5mm jack, S/PDIF	1.x	LCD header	No
Intel Galileo Gen 2	No	No	No	N/A	N/A
MarsBoard A10/A20 New	Yes	Yes	Yes	RGB, LVDS pads	Composite in/out, VGA
MarsBoard RK3066	Yes	Yes	Yes	RGB	No
MinnowBoard	Yes	Yes	Yes	No	No
Netduino Plus 2	No	No	No	N/A	N/A
Nitrogen6x	Header	3.5 mm, HDMI	Yes, DVI compatible	3 screen options	Parallel RGB
ODROID-C1	No	HDMI	1.x	No	No
ODROID-C1+	No	HDMI, I2S	1.x	No	No
ODROID-C2	No	HDMI	2.0	N/A	No
ODROID-U3	3.5 mm	3.5 mm, HDMI	1.x	No	No
ODROID-W	No	No	1.x	No	Pads: Composite
ODROID-XU3	No	3.5 mm, HDMI	1.x	No	DisplayPort
ODROID-XU3 Lite	No	3.5 mm, HDMI	1.x	No	No
ODROID-XU4	No	HDMI	1.4a	No	No
OLinuXino A10 LIME	No	No	Yes	LCD header	No
OLinuXino A13	Yes	Yes	No	LCD header	VGA

Name	Mic In	Audio Out	HDMI	LVDS	Other Video Out
base / WIFI					
OLinuXino A13 MICRO	Pads	Yes	No	LCD header	VGA
OLinuXino A20 LIME	No	No	Yes	LCD header	No
OLinuXino A20 LIME2	No	No	Yes	LCD header	No
OLinuXino A20 MICRO	Yes	Yes	Yes	LCD header	VGA 6-pin 1.25 mm step connector
pcDuino Lite	No	No	Yes	No	No
pcDuino v2	No	No	Yes	No	No
pcDuino3	No	Yes	Yes	LCD header	No
pcDuino3Nano	No	No	Yes	No	No
PC Engines APU	No	No	No	N/A	N/A
Radxa Rock	?	3.5 mm, HDMI, S/PDIF	1.4	Yes	AV output
Raspberry Pi 3	No	Yes	1.4, DVI compatible		<a href="#">Composite video</a>
RIoTboard	Yes	3.5 mm, HDMI	Yes	Yes	
UDOO	Yes	3.5 mm, HDMI, S/PDIF	Yes	LCD header	No
Wandboard	Yes	3.5 mm, S/PDIF	Yes	expansion board	No

### Operating system

Name	Linux	Android	BSD	Windows	Other
86Duino ZERO	Yes			Yes	DOS, 32-bit RTOS
86Duino ONE					
Arduino Uno	No	No	No	No	
Arduino DUE					
Arduino TRE					
Arduino 101					
Arduino 2560					
Arduino ZERO					
Arduino PRO					
Arndale Board					<a href="#">seL4</a>
Banana Pi	With out-of-tree patches (and BLOBs?)	Yes			
BeagleBoard				Yes; <a href="#">CE 6</a> , <a href="#">WEC 7</a>	<a href="#">seL4</a>
BeagleBoard-xM		Yes		Yes; <a href="#">CE 6</a> , <a href="#">WEC 7</a>	
BeagleBone				Yes; <a href="#">CE 6</a> , <a href="#">WEC 7</a>	
<a href="#">BeagleBone Black</a>		Yes	Yes	Yes; <a href="#">CE 6</a> , <a href="#">WEC 7</a>	
<a href="#">Cubieboard</a>		Yes		Yes; <a href="#">FreeBSD</a> , <a href="#">OpenBSD</a>	
<a href="#">Cubieboard 2</a>		Yes		Yes; <a href="#">FreeBSD</a> , <a href="#">OpenBSD</a> , <a href="#">NetBSD</a>	
<a href="#">Cubieboard 3</a>		Yes			

Name	Linux	Android	BSD	Windows	Other
Gizmo Board	Yes;Mainline			Yes	<a href="#">RTOS</a>
HummingBoard	Forked kernel recommended, BLOB required for GPU use	Yes			
Intel Galileo Gen 2	Yes;Mainline	No		Yes	
MarsBoard	Picuntu based on Ubuntu 12 and 14, Linaro, openSUSE, Debian Wheezy ports	Yes		No	
MinnowBoard	Yes;Mainline	No	No	No	
Netduino Plus 2	No	No	No	No	<a href="#">.NET Micro Framework</a> 4.2/4.3
Nitrogen6x	Forked kernel recommended, BLOB required for GPU use	Yes		Yes; <a href="#">CE</a>	<a href="#">QNX</a>
<a href="#">ODROID-C1</a>	Custom kernel 3.10.xx	Yes	NetBSD	No	
<a href="#">ODROID-C1+</a>	Custom kernel 3.10.xx	Yes	NetBSD	No	
ODROID-U3	With out-of-tree patches (and BLOBs?)	Yes	NetBSD	No	
ODROID-W	With out-of-tree Broadcom GPU firmware as binary BLOB	No	No	No	
ODROID-XU3		Yes	NetBSD	No	<a href="#">seL4</a>
ODROID-XU3 Lite		Yes	NetBSD	No	
ODROID-XU4	With out-of-tree patches (and BLOBs?)	Yes	NetBSD	No	
OLinuXino A10					

Name	Linux	Android	BSD	Windows	Other
OLinuXino A13		Yes			
OLinuXino A20		Yes			
pcDuino Lite		No			
pcDuino v2		Yes			
pcDuino3		Yes			
pcDuino3Nano		Yes			
Radxa Rock	Ubuntu/Linaro 13.09 With out of tree patches. No bluetooth support.	Yes		No	
<a href="#">Raspberry Pi</a>	With out-of-tree Broadcom GPU firmware as binary BLOB or as source not yet merged upstream due to <a href="#">MPEG licensing</a>		Yes; <a href="#">FreeBSD</a> , <a href="#">NetBSD</a>	No	<a href="#">RISC OS</a> , <a href="#">Plan 9</a>
Raspberry Pi Zero	With out-of-tree Broadcom GPU firmware as binary BLOB or as source not yet merged upstream due to MPEG licensing		Yes; <a href="#">FreeBSD</a> , <a href="#">NetBSD</a>	No	<a href="#">RISC OS</a> , <a href="#">Plan 9</a>
<a href="#">Raspberry Pi 2</a>	With out-of-tree Broadcom GPU firmware as binary BLOB or as source not yet merged upstream due to MPEG licensing Snappy: Ubuntu Core		Yes; <a href="#">FreeBSD</a> , <a href="#">NetBSD</a>	Yes; <a href="#">Windows 10 IoT Core</a>	<a href="#">RISC OS</a> , <a href="#">Plan 9</a>
RIoTboard	Forked kernel recommended, BLOB required for GPU use				
UDOO	Forked kernel recommended, BLOB required for GPU use	Yes	No	No	

Name	Linux	Android	BSD	Windows	Other
<a href="#">Wandboard</a>	With out-of-tree patches (and BLOBs?)		Yes; <a href="#">FreeBSD</a>		

### Physical and electrical comparison

Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
86Duino ZERO			7-12 V 5 V (oper. voltage) 16 mA DC Current per I/O Pin 400 mA DC for 3.3V Pin			
86Duino ONE			6-24 V With anti-power protection 5 V (oper. voltage) 16 mA DC per I/O Pin 400 mA DC for 3.3V Pin			
Arduino Uno	75 × 53	25 g	5 V (USB) or 7-12 V (DC)	0.172 W	0.233 W	USB or DC jack or pin header

Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
			jack)			
Arduino DUE			7–12 V 3.3 V (oper.voltage)			
Arduino TRE						
Arduino 101			7–12 V 3.3 V (oper.voltage) (5 V tolerant I/O)			
Arduino 2560			7–12 V 5 V (oper.voltage)			
Arduino ZERO			3.3 V (oper.voltage)			
Arduino PRO			3.3 V or 5 V (oper.voltage)			
Arndale Board	195 × 140 × 20		5 V		11.5 W	
Banana Pi	92 × 60	48 g	5 V	1.15 W idle in Linux	10 W supply	micro USB
Banana Pi M2	92 × 60	48 g	5 V		10 W supply	micro USB
Banana Pi M3	92 × 60	45 g	5 V		10 W supply	micro USB
BeagleBoard	78.74 × 76.2		2.7–4.5 V			miniUSB or DC jack

Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
BeagleBoard-xM	82.5 × 82.5		5 V			DC jack
BeagleBone	86 × 53		5 V		0.85 W	miniUSB or DC jack
BeagleBone Black	86.4 × 53.3	40 g	5 V	1.05 W	2.3 W	miniUSB or DC jack or via expansion header
Cubieboard	100 × 60	45 g	5 V			DC jack or USB OTG input
Cubieboard 2	100 x 60		5 V			DC jack or USB OTG input
Cubieboard 3	110 × 80	220 g (kit)	5 V			miniUSB or DC jack or LiPo batteries
Gizmo Board	102 × 102		12 V			DC jack
HummingBoard	85.6 × 54 x 19.5	48 g	5 V		10 W supply	Micro USB
Intel Galileo Gen 2	123.8 × 72		7-15 V			DC jack or <a href="#">PoE</a>
MarsBoard	105x78	90 g	5 V		10 W supply	DC jack
MinnowBoard	106.68 x 106.68		3.6-10 V			DC jack
Netduino Plus 2	71.1 × 53.3		5 V (USB) or 7.5–9.0 V (DC jack)			DC jack or micro USB
Nitrogen6x	116 × 75		5 V DC		1.5 W	Separate plug or <a href="#">PoE</a>
ODROID-C1	85.6 × 54 x 19.5	45 g	5 V			Micro USB (with user modification), 2.5mm DC jack or GPIO header



Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
ODROID-C1+	85.6 × 54 × 19.5	45 g (not including bundled heatsink)	5 V			Micro USB, 2.5mm DC jack or GPIO header
ODROID-U3	83 × 48	48 g	5 V			2.5mm DC jack or GPIO header
ODROID-W	60 × 36 × 7	8 g	5 V			Micro USB, GPIO header or LiPo batteries
ODROID-XU3	94 × 70 × 18	78 g	5 V	1.8 W	20 W supply	5.5mm DC jack
ODROID-XU3 Lite	94 × 70 × 18	78 g	5 V	1.8 W	20 W supply	5.5mm DC jack
ODROID-XU4	82 × 58 × 22 (including active cooler)	60 g (including active cooler)	5 V	1.8 W	20 W supply	5.5mm DC jack
OLinuXino A10 LIME	84 × 60		5 V		1.3 W	DC jack or USB OTG input or LiPo batteries
OLinuXino A13 base WIFI	120 × 120		6–16 V			DC jack or USB OTG input or LiPo batteries
OLinuXino A13 MICRO	100 × 85		6–16 V			DC jack or USB OTG input
OLinuXino A20 LIME	84 × 60		5 V			DC jack or LiPo batteries
OLinuXino	84 × 60		5 V			DC jack or LiPo

Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
A20 LIME2						batteries
OLinuXino A20 MICRO	142.24 × 82.55		6–16 V			DC jack or LiPo batteries
pcDuino Lite	125 × 52		5 V		10 W supply	Micro USB
pcDuino v2	125 × 52		5 V		10 W supply	Micro USB
pcDuino3	121 × 65		5 V		10 W supply	Micro USB
pcDuino3Nano	92 × 54		5 V		10 W supply	Micro USB
Radxa Rock	100 × 80 × 30		5 V			DC jack or USB OTG input
Raspberry Pi Model A+	85.6 × 54.0 × 19.5	45 g	5 V	0.5 W	1.15 W (5 W supply)	Micro USB or GPIO header
Raspberry Pi Model A	85.6 × 54.0 × 19.5	45 g	5 V	0.7 W	5 W supply	Micro USB or GPIO header
Raspberry Pi Model B	85.6 × 54.0 × 19.5	45 g	5 V	1.8 W	2.4 W (5 W supply)	Micro USB or GPIO header
Raspberry Pi Model B+	85.6 × 54.0 × 19.5	45 g	5 V	1.0 W	5 W supply	Micro USB or GPIO header
Raspberry Pi Model B+	85.6 × 56.5 × 17.0	45 g	5 V		4 W supply	Micro USB or GPIO header
Raspberry Pi Model B	85.6 × 56.5 ×	45 g	5 V			Micro USB or GPIO header

Name	Size [mm]	Weight	Input voltage	Idle Power consumption	Max Power consumption	Power source
	17.0					
Raspberry Pi Zero	65.0 × 30.0 × 5.0	23 g	5 V	0.45 W	5 W supply	Micro USB or GPIO header
RIoTboard	120 x 75		5 V		5 W supply	DC jack
UDOO	110 x 85		6-18 V			DC jack, or GPIO header or pin header
Wandboard	95 × 95		5 V	1.15 W typ	10 W supply	DC jack

### ARDUINO LILYPAD

Το Lilypad είναι ένα μοντέλο πλακετών Arduino με τεχνολογία surface-mounted AT-mega328 κατάλληλο για εφαρμογές ηλεκτρονικών ενδυμάτων (wikipedia, 2017).



*Μικροελεγκτής Arduino Lilypad (wikipedia, 2017)*

Μπορεί να ραφεί εύκολα πάνω με αγώγιμα νήματα σε υφάσματα μαζί με αισθητήρες και ενεργοποιητές. Η παροχή ρεύματος που χρειάζεται για τη λειτουργία του είναι μεταξύ 2,7-5,5 V, με την παραπάνω ένταση ο μικροελεγκτής μπορεί να καταστραφεί. Το Lilypad διαθέτει 14 ψηφιακά πηνία και υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία υποδοχής USB με τον υπολογιστή, με αυτόν τον τρόπο μεταφέρονται οι εντολές-προγράμματα τα οποία πρώτα σχεδιάζονται στον υπολογιστή με κώδικα γλώσσας προγραμματισμού C++. Η τροφοδοσία με ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να γίνει από κάποιο συσσωρευτή ενέργειας - μπαταρία ή μετασχηματιστή. Κάθε ακροδέκτης του Lilypad μπορεί να λαμβάνει είτε να παίρνει ρεύμα έως 40 mA.

Μέσα στην ιστοσελίδα του Arduino πραγματοποιείται η διαχείριση του μικροελεγκτή από τον υπολογιστή. Η πλατφόρμα Arduino είναι πολύ εύκολη στη χρήση, καθώς για την δημιουργία του κώδικα-προγράμματος υπάρχουν σαφείς οδηγίες στο site.

Για τη διαχείριση ενός κώδικα απαιτείται κατανόηση βασικών εντολών, σταθερών και συναρτήσεων όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2** Περιγραφή βασικών εντολών, σταθερών και συναρτήσεων

<b>ΣΤΑΘΕΡΑ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
LOW	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
HIGH	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true.
INPUT	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false.
OUTPUT	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true
<b>ΕΝΤΟΛΗ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
pinMode	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό pin θα είναι pin εισόδου ή pin εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο mode (INPUT ή OUTPUT αντίστοιχα).
digitalWrite	Θέτει την κατάσταση pinstatus (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό pin.
analogReference E	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην παράμετρο type για να καθορίσει την τάση αναφοράς (Vref) των αναλογικών εισόδων (5V, 1.1V ή η εξωτερική τάση με την οποία τροφοδοτείται το pin AREF αντίστοιχα).
analogWrite	Θέτει το συγκεκριμένο ψηφιακό pin σε κατάσταση ψευδοαναλογικής εξόδου (PWM). Η παράμετρος value καθορίζει το πλάτος του παλμού σε σχέση με την περίοδο του παραγόμενου σήματος στην κλίμακα από 0 ως 255 (π.χ. με value 127, το πλάτος του παλμού είναι ίσο με μισή περίοδο).

delay	Σταματά προσωρινά την ροή του προγράμματος για time ms. Η παράμετρος time είναι unsigned long (από 0 ως 2 <sup>32</sup> ). Σημειώστε ότι παρά την προσωρινή παύση, συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά την διάρκεια μίας delay.
detachInterrupt	Απενεργοποιεί το συγκεκριμένο interrupt.
noInterrupts	Σταματά προσωρινά τη λειτουργία όλων των interrupt.
interrupts	Επαναφέρει τη λειτουργία των interrupt που διακόπηκε προσωρινά από μία εντολή noInterrupts.
<b>ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
digitalRead	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού pin (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι pin εισόδου.
analogRead	Επιστρέφει έναν ακέραιο από 0 έως 1023, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο pin αναλογικής εισόδου στην κλίμακα 0 ως Vref.
millis	Μετρητής που επιστρέφει το χρονικό διάστημα σε ms από τη στιγμή που άρχισε η εκτέλεση του προγράμματος. Λάβετε υπόψη ότι λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit) θα γίνει overflow σε 2 <sup>32</sup> ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μετρητής θα ξεκινήσει πάλι από το μηδέν.
<b>ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΛΑΣΗΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>
Serial.begin	Θέτει το ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud).
Serial.println	Διοχετεύει τα δεδομένα data για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος data μπορεί να είναι είτε αριθμός είτε αλφαριθμητικό.

(arduinolaboratory)