

Intelektinis rezultatas IO2: elektroninė knyga

MEDICININĖS, JUTIKLINĖS IR APSAUGINĖS TEKSTILĖS PLĖTRA EUROPOS EKONOMIKOS PLĖTROS IR SKAITMENINIMO KONTEKSTE

Sudarė: Daiva Mikučionienė (KTU)
Ginta Laureckienė (KTU)

Europos Komisijos parama šios el. knygos gamybai nereiškia, kad patvirtina turinį, kuris atspindi tik autorių požiūrį, ir Komisija negali būti laikoma atsakinga už bet kokią joje pateiktos informacijos naudojimą.

© 2021-2023 DIGITEX Consortium Partners. Visi prekių ženklai ir kitos trečiųjų šalių produktų teisės, minimos šiame dokumente, yra pripažįstamos ir priklauso atitinkamiems savininkams.



SANTRAUKA

„DigiTEX“ projektu siekiama remti novatoriškus metodus ir skaitmeninio mokymosi technologijas, siekiant paspartinti inovacijas, mokymą ir mokymąsi medicinos, apsauginių, sensorinių ir išmaniųjų 3D tekstilės gaminių projektavimo, bandymų ir pažangių sveikatos priežiūros produktų (apsauginės įrangos, nešiojamų stebėjimo prietaisų) srityje skaitmeninės ekonomikos kontekste.

Šioje knygoje pateikiama pasaulinė į tekstilės gaminius integruotų nešiojamų prietaisų apžvalga iš tyrinėtojo ir galutinio vartotojo perspektyvos. Tikslas yra pateikti sprendimą dėl visų aspektų, susijusių su tokiais dėvimosiomis tekstilės priemonėmis, skirtoms sveikatos priežiūrai ir apsaugai, integravimu ir veiksmingumu. Nešiojamų sistemų dizainas ir patikimumas pateikiami galutinio vartotojo priimtimumo ir naudojimo požiūriu. Be to, pristatomas dirbtinio intelekto algoritmų, naudojamų teikiant skaitmeninius sprendimus sveikatos priežiūrai ir apsaugai, vaidmuo. Ekologinis nešiojamųjų technologijų dizainas pristatomas glaudžiai susietas su dėvimo komforto aspektais ir komponentų pakartotiniu naudojimu arba perdirbimu, atsižvelgiant į žiedinės ekonomikos būtinybę. Nešiojamų prietaisų pagrindu pagaminta tekstilė, skirta apsaugos ir sveikatos priežiūros įrangai, būtų puikus šaltinis pradedantiesiems arba vyresniems mokslininkams, dizaineriams ir akademikams, kurie domisi dėvimųjų technologijų, integruotų į tekstilės gaminius, kūrimu.



TURINYS

1 skyrius. ISTORIJA	5
<i>Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania</i>	
2. Skyrius. APIBRĖŽIMAI IR KLASIFIKACIJA	10
<i>Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania</i>	
3. Skyrius .PAŽANGIOS MEDŽIAGOS SVEIKATOS PRIEŽIŪROS SISTEMOJE	14
<i>Md. Reazuddin Repon, Rimvydas Milašius and Daiva Mikučioniene, Kaunas University of Technology, Lithuania</i>	
4. Skyrius . PAŽANGIOS MEDŽIAGOS APSAUGINEI ĮRANGAI	19
<i>David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Terrassa, Barcelona, Spain</i>	
5. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ŠILUMINEI APSAUGAI	23
<i>Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece</i>	
6. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ENERGIJAI IŠGAUTI	28
<i>Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece</i>	
7. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ELEKTROMAGNETINIAM SLOPINIMUI	32
<i>Razvan Radulescu and Raluca Aileni, INCDTP, Bucharest, Romania</i>	
8. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS TEMPIMO JUTIKLIMS	37
<i>Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, “Gheorghe Asachi” Technical University, Romania</i>	
9. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS SLĖGIO JUTIKLIAMS	41
<i>Aileni Raluca Maria, Stroe Cristina and Radulescu Razvan, INCDTP, Romania</i>	
10. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS VALDIKLIAMS	46
<i>Aileni Raluca Maria and Cristina Stroe, INCDTP, Romania</i>	
11. Skyrius. JUTIKLIAMS GAMINTI NAUDOJAMŲ MEDŽIAGŲ APIBRĖŽIMAI, KŪRIMAS IR TAIKYMAS	51
<i>Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica, Greece</i>	
12. Skyrius. JUTIKLIŲ KOMFORTO VERTINIMAS	56
<i>David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain</i>	



13. Skyrius. FOTONINĖS MEDŽIAGOS NAUDOJAMOS JUTIKLIAMS 61
Athanasios Panagiotopoulos, Georgios Priniotakis and Ioannis Chronis, University of West Attica
14. Skyrius. ELEKTRONINĖS TEKSTILĖS PAŽEIDIMAI 66
Farima Daniela, Iovan Dragomir Alina and Bodoga Alexandra, "Gheorghe Asachi" Technical University, Romania
15. Skyrius. ELEKTRONINĖS TEKSTILĖS SKALBIAMUMAS, STANDARTAI IR NORMOS 71
David Gómez, AEI Tèxtils, Corporate Development, Barcelona, Spain
16. Skyrius. EKOLOGINIS DIZAINAS IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS KURIMUI 76
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy
17. skyrius. ORGANINĖS IR NEORGANINĖS IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS MEDŽIAGOS 82
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy
18. Skyrius. KAIP TVARKYTI SU IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS ATLIEKAS 87
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy
19. Skyrius. IŠMANIŲJŲ TEKSTILĖS IŠTEKLIŲ TAUPYMAS PAGAL 3R KONCEPTĄ 90
Alexandra Bodoga, Daniela Farima and Alina Dragomir Iovan, "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Roumania
20. Skyrius. DARNI IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS PLĖTRA 104
Athanasios Panagiotopoulos and Georgios Priniotakis, UNIWA, Greece
21. Skyrius. IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS TOKSIŠKUMAS 110
Olga Papadopoulou, Creative Thinking Development, Greece



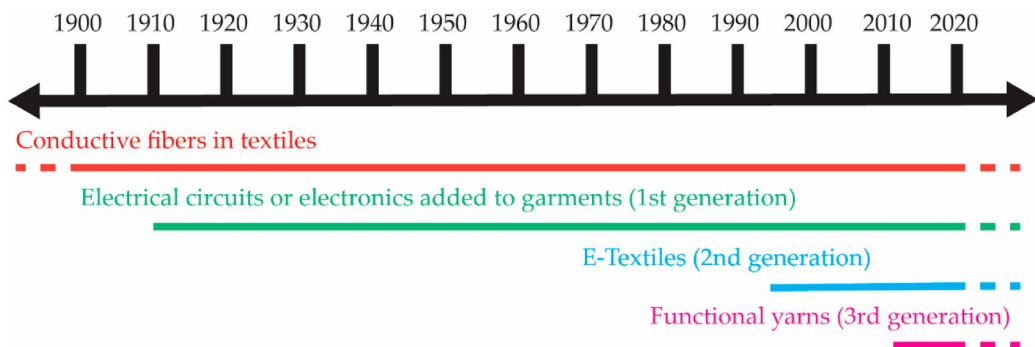
1. Skyrius. ISTORIJA

Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Department of Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Lithuania

Santrauka. Išmaniųjų audinių tyrimai yra naujas modelis, skirtas kurti novatoriškus ir kūrybiškus sprendimus, skirtus elektronikai integruoti į netipiską aplinką, ir tai lems naujus mokslinius proveržius. Galimybė derinti tekstilės ir elektronikos gamybos technologijas, kad būtų galima greitai funkcionalizuoti didelio ploto paviršius, yra pagrindinė motyvacija atliekant pažangiosios tekstilės tyrimus. Šiame skyriuje apžvelgiame išmaniosios tekstilės raidos istoriją ir supažindiname su pagrindinėmis šios srities tendencijomis. Galiausiai pateikiame savo srities perspektyvas ir ateities prognozes.

1.1 Išmaniosios tekstilės kūrimo istorija

Ši istorinė išmaniosios tekstilės apžvalga leis skaitytojui geriau suprasti jos evoliuciją. Tekstilės inovacijos prieš 27 000 metų gali būti laikomos pirmuoju žmonijos materialiu išradimu [1]. Mezgimo mašiną, kurį 1589 m. išrado Williamas Lee [2], šaudyklė, kurią išrado Johnas Kay 1733 m., ir rankinė daugiaverpstė verpimo mašina, kurią apie 1765 m. išrado Jamesas Hargreavesas [3], buvo pagrindiniai išradimai, pakeitę visuomenę ir sukūrę pirmosios pramonės revoliucijos pagrindą. Šviečiančių galvos juostų naudojimas baletė „La Farandole“ 1883 m. buvo vienas pirmųjų išmaniosios tekstilės pavyzdžių [4]. Elektroninė tekstilė skirstoma į tris kartas, atsižvelgiant į elektronikos integravimą į tekstilę: elektronikos ar grandinių uždėjimas ant drabužių (pirma karta), funkciniai audiniai, tokie kaip jutikliai ir jungikliai (antroji karta), ir funkciniai siūlai (trečioji karta). [5]. 1.1 paveiksle pavaizduota E-tekstilės raida laiko juostoje.



1.1 paveikslas. Elektroninės tekstilės raida laikui bėgant [5]

Nors elektros energijos pritaikymas drabužiams, tokiems kaip korsetai ir diržai, buvo tiriamas nuo 1850 m., mokslo pasaulis tik neseniai susidomėjo nešiojamomis elektrinėmis programomis (ypač nešiojamaisiais kompiuteriais). [6]. Edwardas Thorpe'as ir Claude'as Shannonas sukūrė pirmąjį ant kūno nešiojamą kompiuterį 1955 m [7]. Nešiojamiems kompiuteriams būdingas ryšio tarp dėvėtojo elektroninės įrangos ir aprangos trūkumas.

1990 m. pradžioje ant kūno nešiojami kompiuteriai tapo išmaniaja tekstile, o elektroninės funkcijos buvo labiau įtrauktos į audinį. Šiame skyriuje laipsniškai parodytas „protingų“ komponentų integravimo su tekstilės struktūra lygis.

Pirmasis žingsnis. Išmaniosios tekstilės plėtra buvo įstrigusi ant kūno nešiojamo kompiuterio koncepcijai, kuriant audinių skaičiavimo platformą. Vienas reikšmingų tikslų buvo sukurti lengvai perkonfigūruojamas sujungimo technologijas tekstilės viduje. Buvo naudojami pluoštai ir siūlai, o funkcijų matmenys buvo riboti. Vienintelis funkcionalumas, pvz., elektrinis arba optinis laidumas, buvo pasiektas naudojant integruotas tekstilės medžiagas. Norint pasiekti norimą sistemos našumą, jungtys buvo suporuotos su įprastais, standartiniais komponentais. Pavyzdžiui, Georgia Tech Wearable Motherboard (GTWM) buvo ankstyva išmanioji tekstilė, sukurta nuo 1996 m., paveikslas 1.2 (a) [8].

Antrasis žingsnis. Šiame etape išmanioji tekstilė buvo gaminama derinant kelias naujas tekstilės gamybos technologijas. Kuriant išmaniają hibridinę tekstilę buvo naudojamas siuvinėjimas. Audinys paprastai buvo neatsiejama šių išmaniųjų tekstilės gaminių tekstilės prietaiso arba grandinės dalis, jis buvo daugiau nei tik tekstilės siūlai ir elektros grandinių laikiklis. Išmanusis tekstilės dizainas vis dar buvo sprendžiamas iš tradicinės elektroninių sistemų projektavimo perspektyvos, tačiau pati tekstilė pradėjo atlikti vis daugiau funkcijų. Tradiciniai tekstilės gamybos procesai (pvz., audimas ar siuvinėjimas) taip pat buvo derinami su tradiciniais elektroninės grandinės gamybos metodais, pvz., spausdintinės plokštės dizainu. [9]. MIT Media Lab 1997 ir 1998 m. sukurtos dygsniuotos ir siuvinėtos klaviatūros, taip pat ugniagesių apranga (1.2 paveikslas(b)) yra pirmieji to pavyzdžiai.



1.2 paveikslas. Įvairi išmanioji tekstilė; (a) GTWM. Publikuoti leista [8]. Copyright © 2002, ACM. (b) Ugniagesė suknelė. Publikuoti leista [10]. Copyright® 2000, International Business Machines Corporation. (c) Tekstilės slėgio jutiklis su 16 jutiklių elementų, išsiuvinėtų elektrai laidžiais siūlais. Publikuoti leista [11]. Copyright® 2006, IEEE proceedings. (d) Eleksen audinio klaviatūra, skirta ratlankiui Blackberry [12]. licencija Creative Commons BY-NC-SA 2.0. (e) Textronic drėgmės jutiklis [13]. (f) a Lillypad Arduino mikrovaldiklio lustas, integruotas į tekstilę [14]. licencija Creative Commons BY-NC-SA 2.0

1. lentelė Išmaniosios tekstilės gaminių laiko juosta ir pasiekimai [16, 17]





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



Trečiasis žingsnis. 2000 m. pradžioje pasirodė pirmieji bandymai sukurti sudėtingesnę pluoštų lygio elektroniką. Fibertronics yra kitas šios tyrimų srities pavadinimas. Šių tyrimų

tikslas buvo sukurti įrenginius ir logines grandines „žemiau įrenginio lygio“, t.y. pasiekti aukštesnio lygio elektronines operacijas pluoštuose ir iš atskirų pluoštų pagaminti sudėtingesnę išmaniąją tekstilę. Šie tyrimai paprastai yra labiau orientuoti į technologijų plėtrą, o sistemos kuriamos pagrindiniu elementu imant pluoštą. Lanksčios juostelės su pagrindinėmis plonasluoksnėmis tranzistorių (PPT) grandinėmis naudojamos pluošto lygio išmaniajai tekstilei įvesti į austos tekstilės inverterių grandines. [15]. Nors tekstilės pramonėje stebima bendra tendencija palaipsniui į tekstilės pluoštus integruoti vis daugiau komponentų sistemų, dauguma metodų derina minėtas koncepcijas. Tinkamiausią požiūrį lems galutinis išmaniosios tekstilės naudojimas komerciniuose gaminiuose, o ateities išmanioji tekstilė gali atrodyti visiškai kitaip, nei dabar. 1.2 paveiksle pavaizduotos įvairios išmaniosios tekstilės sistemos nuo pirmo iki trečio žingsnio, o 1 lentelėje – išmaniosios tekstilės gaminto laiko juosta ir pažanga.

1.2 Išvados ir perspektyvos

Nepaisant to, kad išmaniosios tekstilės tyrimai vyksta jau ilgiau nei 30 metų, komercinių sprendimų rinkoje yra nedaug. Išmanieji audiniai pastaruoju metu padarė didelę pažangą, ir ši tyrimo tema yra plačiai remiama tiek mokslinių tyrimų, tiek prekybos sektoriuose. Siekiant užtikrinti, kad išmaniosios tekstilės gaminiai sėkmingai nukeliautų nuo mokslinių tyrimų iki pramoninių sprendimų, reikia išspręsti daugybę problemų. Kaip kliūtys šiam procesui buvo paminėti standartizacijos trūkumas, naujiems produktams skirtų teisės aktų nepakankamumas, vertės kūrimo grandinės dalyvių koordinavimo ir bendradarbiavimo netobulumas bei įmonių finansų, skirtų finansuoti plėtrą, apribojimai. Turi būti atsižvelgta į saugą, etinius ir socialinius motyvus. Norint įgalinti kitą išmaniųjų tekstilės gaminių bangą, reikalinga atlikti tolesnius pagrindinius tyrimus. Išmaniosios tekstilės aplinkoje mes vis dar toli gražu neišnaudojame sektoriaus galimybių. Anksčiau neišnaudotų galimybių visų pirma suteikia 3D tekstilė.

Nuorodos

1. Adovasio, J.M., Soffer, O, Klíma, B. Upper palaeolithic fibre technology: Interlaced woven finds from Pavlov I, Czech Republic, c. 26,000 years ago. *Antiquity*, 1996, 70(5), 26–34. <https://doi.org/10.1017/S0003598X0008368X>.
2. Lewis, P. W. Lee's stocking frame: technical evolution and economic viability 1589-1750. *Text Hist.*, 1986, 17, 29–47. <https://doi.org/10.1179/004049686793700890>.
3. Thackeray, F.W., Findling, J.E. Events that Changed Great Britain Since 1689. Annotated. Westport, CT, USA: Greenwood Publishing Group, 2002.
4. Guler, S.D., Gannon, M., Sicchio, K.A. Brief History of Wearables. *Crafting Wearables*, Apress, Berkeley, CA, 2016, p. 3–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4842-1808-2_1.
5. Hughes-Riley, T., Dias, T., Cork, C.A historical review of the development of electronic textiles. *Fibers*, 2018, 6. <https://doi.org/10.3390/fib6020034>.
6. Fishlock, D. Doctor volts. *Electrotherapy*, 2001, 47(2), 3–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/ir:20010304>.
7. Thorp, E.O. The invention of the first wearable computer. *2nd Int. Symp. Wearable Comput.*, 1998, 4–8. <https://doi.org/10.1109/ISWC.1998.729523>.
8. Park, S., Mackenzie, K., Jayaraman, S. The wearable motherboard: A framework for personalized mobile information processing (PMIP). *Proc - Des Autom Conf*, 2002, 170(4).





- <https://doi.org/10.1145/513918.513961>.
9. Eichinger, G.F., Baumann, K., Martin, T., Jones, M. Using a PCB layout tool to create embroidered circuits. *Proc - Int Symp Wearable Comput ISWC*, 2007, 105(6). <https://doi.org/10.1109/ISWC.2007.4373789>.
Post ER, Orth M, Gershenfeld N, Russo PR. E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Syst J* 2000;39:840–60.
 10. Meyer, J., Lukowicz, P., Tröster, G. Textile pressure sensor for muscle activity and motion detection. *Proc - Int Symp Wearable Comput ISWC*, 2006, 69–74. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2006.286346>.
 11. Eleksen Developing Fabric Keyboard for RIM BlackBerry, 2006. <https://www.geekzone.co.nz/content.asp?contentid=6303>.
 12. Jakubas, A., Lada-Tondyra, E., Nowak, M. Textile sensors used in smart clothing to monitor the vital functions of young children. *Prog Appl Electr Eng*, 2017, 5–8. <https://doi.org/10.1109/PAEE.2017.8008989>.
 13. Lilypad Embroidery, 2008. <https://www.flickr.com/photos/bekathwia/2426457410/in/photostream/>.
 14. Bonderover, E., Wagner, S. A woven inverter circuit for e-textile applications. *IEEE Electron Device Lett*, 2004, 25(5), 295 - 297. <https://doi.org/10.1109/LED.2004.826537>.
 15. A History of Smart Fabric, 2016. <https://medium.com/@LoomiaCo/tale-2-a-history-of-e-textiles-and-conductive-fabrics-dbe9c4a0cb03>.
 16. H2020 projects about “textiles”, 2020. <https://www.fabiodisconzi.com/open-h2020/per-topic/textiles/list/index.html>.



2. Skyrius. APIBRĖŽIMAI IR KLASIFIKACIJA

Md. Reazuddin Repon and Daiva Mikucioniene, Department of Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Lithuania

Santrauka. Pluoštai, siūlai ir audiniai, sukurti ir pagaminti taip, kad juose būtų naudojamos technologijos, suteikiančios vartotojui daugiau funkcionalumo, yra žinomi išmaniosios tekstilės pavadinimu. Šiame skyriuje apžvelgiamos išmaniosios tekstilės apibrėžimus ir klasifikacijas, paremtas įvairiais požiūriais.

2.1 Išmaniosios tekstilės apibrėžimai

Išmaniosios arba „gudrios“ medžiagos yra termino „protinga tekstilė“ pagrindas. 1989 m. Japonijoje pirmą kartą apibrėžtas „išmaniosios medžiagos“ terminas. Šilko siūlai su formos atmintimi buvo pirmoji tekstilės medžiaga, retrospektyviai pažymėta kaip „protinga tekstilė“. Išmanioji tekstilė, taip pat žinoma kaip išmanioji tekstilė, elektro ar elektroninė tekstilė, yra išmaniosios medžiagos, nustatančios išorinius dirgiklius ir į juos reaguojančios. Paprastesnė, funkcinė tekstilė kartais irgi įtraukiama į išmaniosios tekstilės apibrėžimą [1, 2].

Pirmasis oficialus apibrėžimas buvo toks: „išmanioji tekstilė yra sudaryta iš medžiagų ar struktūrų, jaučiančių ir reaguojančių į aplinkos dirgiklius - mechaninius, terminius, cheminius, magnetinius ar pan.“ [3].

Europos standartizacijos komiteto (ESK) teigimu, išmaniosios tekstilės sistemos apibrėžiamos taip: „tekstilės ir ne tekstilės gaminių visuma, integruota į gaminį, kuris išlaiko savo tekstilės savybes ir sąveikauja su aplinka“. [4].

ESK pateikia papildomą integracijos lygių apibrėžimą:



1 integracijos lygis

Elektroninį komponentą galima išimti nesugadinant gaminio. Komponentai gali būti traktuojami kaip atskiri vienetai.

2 1 integracijos lygis

Elektroninis komponentas pritvirtintas prie tekstilės ir jo neįmanoma nuimti nesugadinus gaminio. Sudedamosios dalys nevertinamos atskirai, o tik kaip visuma. Šiuo atveju tekstilė gali būti laikoma pagrindu.

3 1 integracijos lygis

Vienas ar daugiau komponentų yra tekstilės tipo (arba tekstilės apdailos). Jie derinami su integruotais 1 arba 2 lygio komponentais. Daugeliu atvejų jungtis yra tekstilė.

4 1 integracijos lygis

Visi išmaniosios tekstilės sistemos komponentai yra tekstilės tipo arba tekstilės apdaila. Šiuo atveju komponentas yra tekstilė.

2.1 paveikslas. Integracijos lygio apibrėžimas 1-4

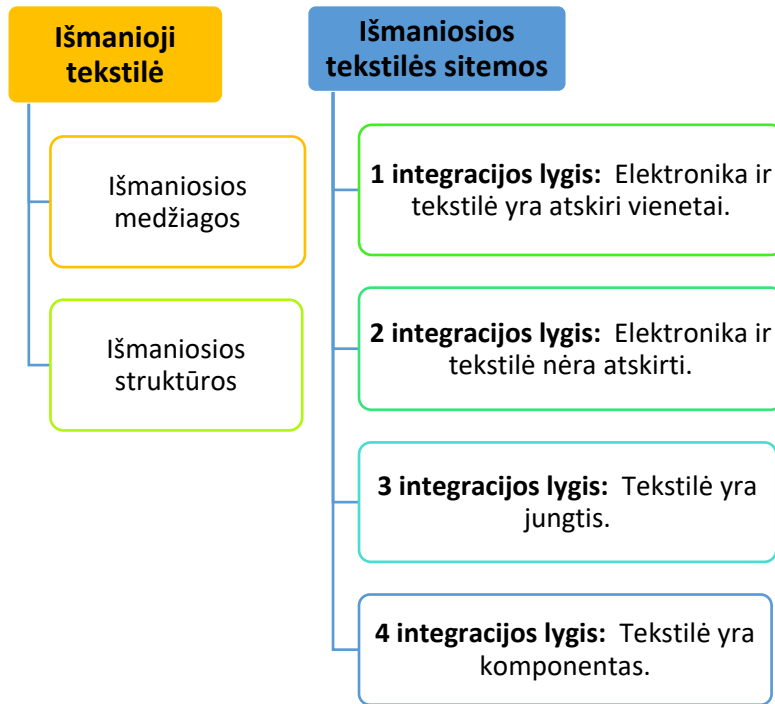
2.2 Išmaniosios tekstilės klasifikacija

Nėra aiškiai nustatytos išmaniosios tekstilės klasifikacijos. Šiame skyriuje tiesiog pateikiami ir paaiškinami naudojamų klasifikacijų pavyzdžiai.

Pirmoji klasifikacijos sistema sudaryta naudojant „išmaniosios tekstilės gaminių“ apibrėžimą, kurį pateikė Europos standartizacijos komitetas [4].

Pagal šią klasifikaciją skiriami „išmaniosios tekstilės gaminiai“ ir „išmaniosios tekstilės sistemos“:





2.2 paveikslas. Klasifikacija pagal ESK

Išmaniąją tekstilę galima suskirstyti į tris pogrūpius [3, 5–8]:

- **Pasyvioji išmanioji tekstilė.** Pasyvioji išmanioji tekstilė skirtą tik pajusti aplinką ar vartotoją. Tai dar vadinama pirmosiomis išmaniosios tekstilės kartomis. Šios išmaniosios tekstilės gaminiai laikomi tik jutikliais. Puikus pavyzdys yra į tekstilę įterptas temperatūros zondas. Kiti pavyzdžiai yra galimybės, įskaitant antimikrobines, kvapus slopinančias, antistatines, neperšaunamas.
- **Aktyvi išmanioji tekstilė.** Aktyvioji išmanioji tekstilė geba pajusti aplinkos dirgiklius ir reaguoti. Tai dar vadinama antrosios kartos išmaniąja tekstile. Joje yra jutimo dalis ir veikimo funkcija. Jo reakcija laikomas iš anksto nustatyta. Aktyvioji išmanioji tekstilė yra formą atsimeriantys, spalvą keičianti, vandeniui atspari ir garams pralaidi (hidrofilinė / neporinga), šilumą kaupianti ir reguliuojanti, garus sugerianti ir šilumą skleidžianti medžiaga, iš jos gaminami, pvz., elektra šildomi kostiumai.
- **Labai išmani tekstilė.** Labai išmanios tekstilės gaminiai geba pajusti, reaguoti ir pritaikyti savo reakciją prie susiklosčiusių aplinkybių. Ši klasifikacija galioja "intelektualiai" tekstilei su elektronika ir be jos, net jei atrodo, kad kategorija „labai protinga tekstilė“ skirta „e-tekstilei“. Tai dar vadinama trečiąja išmaniųjų tekstilės gaminių karta arba itin išmania tekstile. Labai išmani tekstilė iš esmės susideda iš vieneto, veikiančio kaip smegenys; ji turi pažinimo, samprotavimo ir aktyvinimo gebėjimus. Labai išmanios tekstilės gamyba tapo realybe po sėkmingo tradicinės tekstilės ir drabužių technologijų susiejimo su kitomis mokslo šakomis, tokiomis kaip

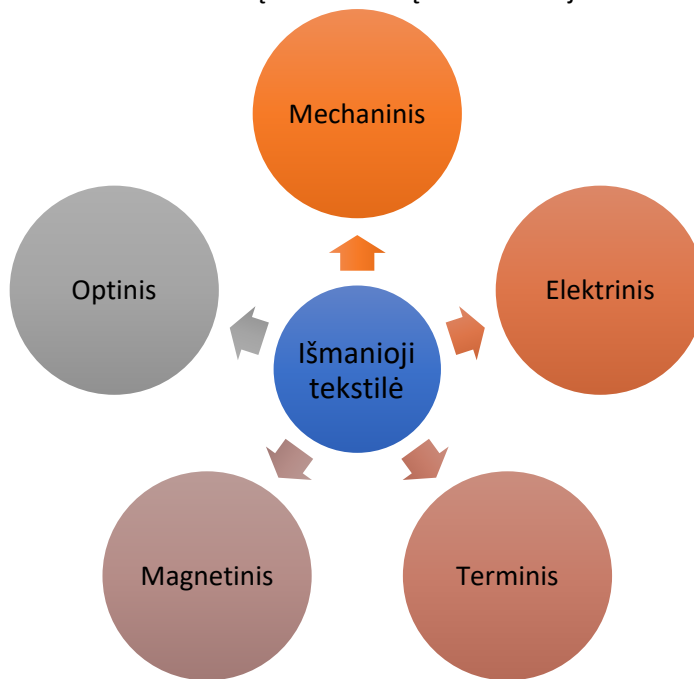


medžiagų mokslas, konstrukcinė mechanika, jutiklių ir pavarų technologija, pažangios apdorojimo technologijos, komunikacija, dirbtinis intelektas, biologija ir kt..

Elektroninė tekstilė taip pat gali būti klasifikuojama kaip:

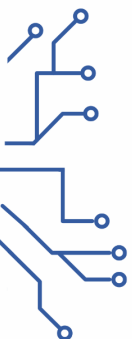
- ❖ **Nereaguojanti:** Nereaguojančios tekstilės grupėje yra elektroninės tekstilės gaminiai, atliekantys tik vieną funkciją, pavyzdžiui, jutimą, veikimą, perdavimą.
- ❖ **Reaguojanti:** Reaguojanti tekstilė yra išmanesnė, joje yra elektroninė tekstilė, turinti bent dvi funkcijas, tokias kaip jutimas ir veikimas.

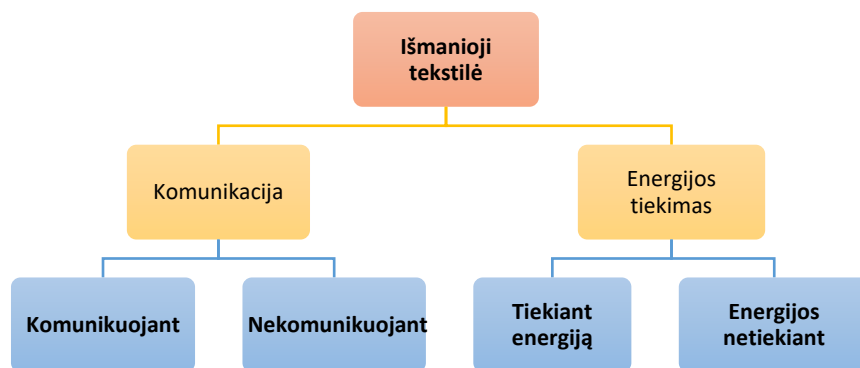
Išmanioji tekstilė taip pat gali būti klasifikuojama pagal dirgiklio / atsako tipą. Tačiau ši klasifikacija yra ne visada universali. 2.3 paveiksle pateikiami išmaniosios tekstilės gaminių dirgiklių ir atsakų į juos sąrašai.



2.3 paveikslas. Išmaniosios tekstilės klasifikacija pagal skirtingą dirgiklį / atsaką

Štai dar vienas šiek tiek labiau ribojančios klasifikacijos pavyzdys. Jį sudaro komunikacijos ir energetinės veiklos atskyrimas. „Bendravimą“ reikėtų aiškinti plačiai, jis turėtų apimti ne tik bangų emisiją, bet ir, pavyzdžiui, vaizdinio pranešimo sklaidą (per ekraną) ir vibraciją. Elektros energijos kūrimas ir saugojimas yra įtrauktas į „energijos“ funkciją. 2.4 paveiksle parodyta išmaniosios tekstilės klasifikacija, pagrįsta komunikacija ir energijos tiekimu.





2.4 paveikslas. Išmaniosios tekstilės klasifikacija pagal komunikaciją ir energijos tiekimą

2.3 Išvados

Per pastaruosius tris dešimtmečius naujų rūšių– išmaniosios ir interaktyvios - tekstilės kūrimas nenutrūkstamai tęsiasi. Išmaniosios tekstilės medžiagos ir jų pritaikymas sparčiai auga, nes šių tekstilės gaminių paklausa didėja, atsirandant naujiems pluoštams, naujiems audiniams ir naujoms apdirbimo technologijoms. Išmaniosios tekstilės rinkos paklausa didėja dėl pažangių funkcijų ir elektroninių komponentų mažėjimo. Todėl nėra aiškiai nustatytų išmaniosios tekstilės apibrėžimų ir klasifikacijų. Šiame skyriuje naudojami apibrėžimai ir klasifikacijos buvo tiesiog pateikti ir paaiškinti.

References

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



3. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS SVEIKATOS PRIEŽIŪROS SISTEMOJE

Md. Reazuddin Repon, Rimvydas Milašius and Daiva Mikučionienė, Department of Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Lithuania

3.1 Įvadas

Išmanioji ir interaktyvi tekstilė turi didelį biomedicininį tyrimų potencialą ir yra palyginti naujas tyrimo objektas. Išmaniosios tekstilės medžiagos yra pavyzdys, kai naudojant išmaniuosius įrenginius galima atpažinti, įrašyti ir perduoti pagrindinius duomenis tikslinei institucijai. Šie prietaisai gali būti naudojami širdies veiklos, kūno temperatūros, kvėpavimo dažnio ir kt. duomenims stebėti ir fiksuoti, kurie vėliau gali būti perduodami internetu, mobiliuoju ar bet kuria kita prieinama laikmena į skubios pagalbos/sveikatos centrą. [1]. Drabužiai gali numatyti raumenų perkrovą ir streso mediacijas, kurios padeda išvengti įtempimo traumų, stebėti kūdikio širdies plakimą ir įvertinti biocheminius skysčių, susidarantių kasdieninėje veikloje ar atliekant fizinius pratimus, signalus. [2]. Išmaniųjų audinių gebėjimas sąveikauti su kūnu suteikia galimybę nustatyti naudotojo fiziologijos ypatybes ir prisitaikyti prie dėvėtojo poreikių. Išmanūs drabužiai gali tapti taikomuoju sprendimu, nes padidina informuotumą apie asmens sveikatos būklę ir skatina imtis veiksmingesnio vaidmens rūpinantis savo individualia sveikata. Tokie drabužiai gali padėti gydytojams nustatyti tikslesnę diagnozę išsaugant skaitmeninį įrašą. Šiais laikais dėvimi medicinos prietaisai gali būti suvynioti į audinį, siekiant įvairių sveikatos tikslų [3]. Medicinos inžinerija apima inžinierių, mokslininkų ir gydytojų patirtį [4, 5].

3.2 Antimikrobinė tekstilė

Siekiant sumažinti pavojingų mikrobu kaupimąsi, naudojamos antimikrobinės tekstilės medžiagos. Įvairios antimikrobinės medžiagos, tokios kaip metalų jonai, chitozanas, taninai, triklozanas, ketvirtiniai amonio junginiai, poliheksanidas, n-halaminai ir polipiroliai, naudojami ne tik mikrobu atakoms įveikti, bet ir kvapui sumažinti bei suteikti drabužiams mechaninį tvirtumą. Į dirgiklius reaguojančios tekstilės gaminių kūrimas su drėgmės ir mikrobiologinių sąlygų valdymu palengvina reguliuojamą antimikrobinį cheminių medžiagų, padengtų tekstilės audiniais, naudojimą ir ilgalaikį prieinamumą. Sensorinis audinys yra vienas iš pažangiųjų produktų antimikrobinį tekstilės gaminių srityje. Kuriant išmaniuosius antimikrobinis audinius, naudojamos kelios antimikrobinės cheminės medžiagos.

Chitozanas dažnai taikomas tekstilės pramonėje. Chitozanas pats savaime veikia prieš tam tikrus mikroorganizmų tipus [6]. Fluoro angliavandeniliais arba polisiloksanu apdoroto chitozано savybė atstumti vandenį sumažina paviršiaus energiją, leidžia teršalams prilipti, todėl padeda apsaugoti žmones nuo mikrobiologinio poveikio. Chitozanu padengta tekstilė apsaugo tuos, kurie dirba sveikatos apsaugos ir kituose sektoriuose. Esant odos pH lygiui, jonizuota chitozано forma sąveikauja su mikrobu ląstelės sienele, todėl pakinta ląstelių pralaidumas ir galiausiai mikrobai miršta. [7].



Antimikrobinų audinių, modifikuotų metalais, naudojimas sparčiai plinta visame pasaulyje. Vartojant mažas / netoksiškas dozes, metalų, įskaitant Ag, Cu, Ni, Zn, Co ir Cd, derinys pagerino antibakterinį poveikį žmogaus keratinocitų ląstelėse. [8]. Lydant ir pučiant CuO_3Si funkcionalizuotas neaustinis kompozitas pasižymi itin didelėmis antibakterinėmis savybėmis, veikia *S. aureus* ir *E. coli* bakterijas. Tačiau į vario silikatą pridėjus įvairių polimerų, pvz., $(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n$, (R)-3-hidroksiribelių rūgščių, sumažėja mišinio biologinis skaidymas, nes keičiasi lydymosi/kristalizacijos procesai. [9]. Bimetalinės Ag / Cu nanodalelės gali sustiprinti medvilnės / poliuretano audinių antibakterinį aktyvumą [10]. Dėl veiksmingų antibakterinių ir aptikimo savybių grafenas yra svarbus medicinos ir elektroninėse srityse [11]. Grafeno jutikliai gali aptikti virusus, alerginius simptomus, kvėpavimo dažnį, gliukozės kiekį kraujyje, mažų molekulių ir baltymų sąveiką, kraujospūdį ir kūno temperatūrą. [12]. Elektrocheminiam poveikiui nepaveikus jutiklis gripo virusui identifikuoti buvo sukurtas naudojant iš šelako gautus termiškai redukuotus grafeno oksido (rGO) dribsnius. Šie terminiai rGO veikimu pagrįsti jutikliai pasižymi dideliu stabilumu ir atkartojamumu, nes juos galima naudoti kuriant įvairius nepaveikius jutiklius.

Įprasti elektrai laidūs polimerai, naudojami antibakteriniam poveikiui užtikrinti, yra polipirolis (PPy), polianilinas (PANI), politiofenas (PTh), poliacetilenas (IUPAC) ir kt., ir visi jie yra konjuguoti polimerai. Tvarią antimikrobinę tekstilę galima sukurti padengiant jas π -konjuguotais polimerais. Teigiami laidžių polimerų krūviai prisitvirtina prie neigiamų bakterijų membranos krūvių, taip užkirsdami kelią bakterijų aktyvumui [13]. PTh pasižymi stipriu antimikrobinu aktyvumu prieš *B. cereus*, *E. aerogenes*, *E. aureus* ir *E. coli* bakterijas; PANI pasižymi stipriu antimikrobinu aktyvumu prieš patogenus dėl amino vienetų, trumpų polimerų grandinių, elektrostatinės sąveikos; IUPAC pasižymi antimikrobinu aktyvumu, kurį sukelia trys konjuguotos dalys. Mikroląstelės dažniausiai pažeidžiamos dėl elektrostatinės sąsajos [14].

3.3 Vaistus išskirianti tekstilė

Kai tradiciniai gydymo metodai yra nepriimtini, tinkamas pasirinkimas gali būti tekstilė su vaistais. Vaistai, pavyzdžiui, kapsulės ir tabletės, absorbuojami į viršutinę pilvo dalį arba žarnyno sistemą. Tačiau kai kurie vaistai gali prarasti savo veiksmingumą, nes jie sunaikinami rūgštinėje skrandžio aplinkoje arba metabolizuojami kepenyse. Išmanioji tekstilė gali būti padengta specifiniais vaistų nešikliais ir reaguoti į tam tikrą dirgiklį. Yra įvairių padengimo metodų, skirtų paruošti vaistus atpalaiduojančius tekstilės gaminius. Ši tekstilė gali būti yrantai arba neyranti; gali būti naudojama vaistus išskiriantiems pluoštams, audiniams ir neaustiniams audiniams. Neaustinės medžiagos dažniausiai naudojamos medicinoje dėl didelio lankstumo, greitų gamybos ciklų ir mažų gamybos sąnaudų. Paaikškėjo, kad neaustinėje medžiagoje įsipainioję, vaistų turintys siūlai labai tinka kontroliuojamoms, nuolatinio vaistų atpalaidavimo sistemoms. Norimas vaisto išsiskyrimas gali būti pakeistas pagal reikalavimus jo taikymui. Elektrinis verpimas yra efektyvi ir universali vaistus išskiriančių skaidulų gamybos technologija, nes ji leidžia į pluoštų masės fazę įtraukti vandenį atstumiančius vaistus, baltymus ar itin smulkias metalines daleles. [14]. Vaistai ir agentai, turintys biologinį poveikį, gali būti dedami į išorinį rezorbuojamą



apvalkalą ir išskiriami kontroliuojamu greičiu, priklausomai nuo polimero molekulės storio, molekulinės masės ir formos.

Skersinio mezgimo polidioksanono stentas, pripildytas 5-fluorouracilo buvo sukurtas gaubtinės arba tiesiosios žarnos vėžiui gydyti. [15]. Nustatyta, kad plokščiojo mezgimo celiulioziniai audiniai, padengti chitozanu, natrio alginatu ir kalcio alginatu, yra tinkami kaip tvarstis žaizdoms gydyti. [16]. Siekiant padidinti antibakterines ir žaizdų gijimo savybes, į dangą padengtus polimerus buvo pridėta chloramfenikolio ir tetraciklino hidroklorido vaistų. Remiantis tyrimu, kai vaistas, esantis ant audinio paviršiaus, nusidėvi, polimerinė dangą ant paviršiaus sukuria naują barjerą nuo mikrobo.

Austinės sistemos yra naudojamos kai kuriose medicinos srityse, kuriant audinius, kuriuose yra inkapsuluoti vaistai ar funkcinės medžiagos. Antimikrobiniai žaizdų tvarščiai gali būti pagaminti iš bioaktyvios austinės medvilnės marlės; pavyzdžiui, medicininė marlė buvo padengta itin smulkiomis Ag (sidabro) dalelėmis ir akacijos derva [17]. Kofeino nanodalelės buvo dedamos į mikromodalinę austinę medvilnės ir viskozės tekstilę, skirtą transderminiam antioksidaciniam pleistru. Nešiojant prie odos, prietaisas tam tikru laikotarpiu gali aprūpinti kofeinu, pacientui nieko papildomai nedarant [18].

3.4 Sveikatos būklę prižiūrinti tekstilė

Nešiojami prietaisai dabar gali būti integruoti į drabužius dėl įvairių priežasčių, įskaitant fiziologinių rodiklių stebėjimą. Elektromiografija (EMG) yra technologija, padedanti gydytojams išmatuoti elektrinį raumenų aktyvumą, kad būtų galima stebėti nervų ir raumenų būklę. Trys elektrodai, dedami tiesiai ant odos, yra dažniausiai naudojami raumenų veiklai registruoti. Šiai trijų elektrodų konfigūracijai sukurti buvo naudojami tekstiliniai elektrodai, integruoti su šortais [19]. ES finansuojamame „ConText“ projekte iširta galimybė bekontakčiu būdu įrašyti elektromiogramas. Matavimams atlikti du išsiuvinėti EMG elektrodai įmontuoti į marškinius ir liemenę, naudojant elektrai laidų siūlą, kad signalai būtų siunčiami iš bekontakčio jutiklio į duomenų registratorių [20].

Elektrokardiograma (EKG) yra širdies raumens elektrinio aktyvumo odos paviršiuje įvertinimas. Su kiekvienu dūžiu per širdies raumenį teka jonai, sudarydami krūvio gradientus. Skirtingi EKG vektoriai atsiranda dėl skirtingų kūno paviršiaus elektrinio potencialo matavimų skirtingose vietose. Per pastaruosius kelerius metus buvo iširtos įvairios tekstilės technologijos, siekiant sukurti ir tobulinti tekstilės elektrodus, kurie gali būti integruoti į drabužius ir kuriuos galima būtų panaudoti užrašant EKG. Siuvinėjimo technologija gali būti naudojama siekiant pagerinti elektrodų ir odos sąveiką, nes išsiuvinėta dalis pakeliama nuo audinio paviršiaus, kad būtų geresnis kontaktas [21]. Audinių sluoksnius galima naudoti įrašant pjezoelektriniu polimeru apdorotą EKG [22].

Elektroencefalograma (EEG) yra priemonė, skirta stebėti smegenų elektrinį aktyvumą. Naudojant minkštą, elektrai laidžią tekstilę, EEG tekstilės pagrindu pagamintas prietaisas gali būti naudojamas naujagimio smegenų veiklai stebėti. [23]. Kadangi naujagimio oda yra itin jautri skausmui, mokslininkai sukūrė unikalius elektrodus, leidžiančius užtikrinti ilgalaikį stebėjimą. Įtampos pokyčiai tarp galvos odos vietų, kurias sukuria smegenų struktūros,



registruojami EEG elektrodais, kurie paprastai yra mažos metalinės plokštelės, uždėtos ant galvos odos. Pagal tarptautinių standartų reikalavimus, elektrodai paprastai tvirtinami ant dangtelio, pagaminto iš elastingo audinio [24].

Išmanioji tekstilė gali atlikti svarbų vaidmenį diabeto prevencijos ir gydymo srityje. Gliukozės kiekį kraujyje galima nustatyti naudojant Bragg pluošto grotelių jutiklius [25]. Kito tyrimo metu buvo nustatyta, kad išmaniosios kojinės, kurias diabetu sergantys pacientai naudoja pagrindiniams sveikatos parametrams stebėti, taip pat patvirtina, kad kojinės su temperatūros ir pėdos slėgio jutikliais yra tarpusavyje susijusios [22].

Vidutinis kvėpavimo dažnis yra nuo 12 iki 25 kartų per minutę. Sukurtas diržas, matuojantis kvėpavimo ciklą ir nustatantis apnėjos / hipopnėjos priepuolius [26]. Krūtinės tūris ir kvėpavimo dažnis gali būti matuojamas naudojant lankstų jutiklį, pritvirtintą prie marškinių [27]. Be to, buvo sukurti išmanieji marškinėliai su tekstiliniiais jutikliais, kurie matuoja kvėpavimo laiką ir fazes, įkvėpimo dažnį ir krūtinės dydį. [28]. Keletas kitų tyrėjų taip pat sukūrė prietaisus kvėpavimo dažniui nustatyti tekstilės pagrindu, todėl toks sveikatos stebėjimas ėmė plisti išmaniosios tekstilės pasaulyje.

Vienas iš svarbiausių klinikinio įvertinimo ir sveikatos priežiūros kriterijų yra kūno temperatūra. Kompozitai, sudaryti iš elektrai laidžių įrankių ir į temperatūrą reaguojančių polimerų, gali būti naudojami temperatūros jutiklių gamybai.

3.5 Santrauka

Dauguma medicininių sutrikimų gydomi etapais, apimančiais slopinimą, gydymą, reabilitaciją ir nuolatinę paramą. Išmanioji tekstilė yra atsakinga už kiekvieną iš šių ligų gydymo ir prevencijos etapų. Audinių jutiklius galima lengvai įterpti į drabužius ir sujungti elektrai laidžiais siūlais siuvinėjimo, mezgimo ar audimo procesų metu. Ligos atveju išmanūs drabužiai gali padėti medikams, nes jie suteikia išsamesnį pacientų sveikatos vaizdą ir leidžia nuotoliniu būdu stebėti kliniskus pokyčius. Sumanus drabužis reabilitacijoje gali padėti pačiam pacientui aktyviai dalyvauti gydant ligas ir užkirsti kelią būsiamiems atkryčiams. Išmanioji tekstilė ateityje gali turėti gydomųjų funkcijų, suteikdama kintamą ir pagal poreikius nustatomą gydymo būdą. Tačiau yra keletas sunkumų, kuriuos reikia išspręsti, kad nešiojamieji prietaisai būtų plačiai naudojami. Kad būtų patenkinti tipiškų drabužių reikalavimai, nešiojamų įrenginių technologija turi būti minkšta, lanksti ir skalbiama. Skalbimas yra esminis gaminio gyvavimo ciklo aspektas.

Nuorodos

1. Lymberis, A., Olsson, S. Intelligent Biomedical Clothing for Personal Health and Disease Management: State of the Art and Future Vision. *Telemedicine Journal and e-health*, 2003, 9(4), 379-386.
2. Milenković, A., Otto, C., Jovanov, E. Wireless sensor networks for personal health monitoring: Issues and an implementation. *Computer Communications*. 2006, 29(13-14), 2521-2533.
3. Esfahani, M.I.M. Smart textiles in healthcare: a summary of history, types, applications, challenges, and future trends. *Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*, Matthew Deans, 2021.





4. Fagette, P. Tracking the Historical Development of Biomedical Engineering: The 1960s and 1970s. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 1997, 16(5), 164-173.
5. Jatoi, A.S., et al. Current applications of smart nanotextiles and future trends. *Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*. Woodhead Publishing Ltd., 2021.
6. Nalankilli, G. Crosslinking of Chitosan with Cotton using Polycarboxylic Acids. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2014, 3(4), 1769–1774.
7. Alonso, D., et al. Cross-linking chitosan into UV-irradiated cellulose fibers for the preparation of antimicrobial-finished textiles. *Carbohydrate Polymers*, 2009, 77(3), 536-543.
8. Garza-Cervantes, J.A., et al. Synergistic antimicrobial effects of silver/transition-metal combinatorial treatments. *Scientific reports*, 2017, 7(1), 1-16.
9. Sójka-Ledakowicz, J., et al. Antimicrobial functionalization of textile materials with copper silicate. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2016, 24(5), 151-156.
10. Paszkiewicz, M., et al. The antibacterial and antifungal textile properties functionalized by bimetallic nanoparticles of Ag/Cu with different structures. *Journal of Nanomaterials*, 2016, 1-13.
11. Ye, S., et al. Antiviral Activity of Graphene Oxide: How Sharp Edged Structure and Charge Matter. *ACS applied materials & interfaces*, 2015, 7(38), 21571-21579.
12. Seshadri, D.T., Bhat, N.V. Synthesis and properties of cotton fabrics modified with polypyrrole. *Journal of Fiber Science and Technology*, 2005, 61(4), 103-108.
13. Chundawat, N.S., Chauhan, N.P.S. Conducting polymers with antimicrobial activity. *Biocidal Polymers*. De Gruyter, 2019.
14. Pornsopone, V., et al. Electrospun methacrylate-based copolymer/indomethacin fibers and their release characteristics of indomethacin. *Journal of Polymer Research*, 2007, 14(1), 53-59.
15. Li, G., et al. A 5-fluorouracil-loaded polydioxanone weft-knitted stent for the treatment of colorectal cancer. *Biomaterials*, 2013, 34(37), 9451-9461.
16. Hanmugasundaram, O.L., Mahendra, Gowda, R.V. Development and characterization of cotton, organic cotton flat knit fabrics coated with chitosan, sodium alginate, calcium alginate polymers, and antibiotic drugs for wound healing. *Journal of Industrial Textiles*, 2012, 42(2), 156-175.
17. El-Naggar, M.E., et al. Bioactive Wound Dressing Gauze Loaded with Silver Nanoparticles Mediated by Acacia Gum. *Journal of Cluster Science*, 2020, 31(6), 1349-1362.
18. Massella, D., et al. Preparation of bio-functional textiles by surface functionalization of cellulose fabrics with caffeine loaded nanoparticles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018.
19. Finni, T., et al. Measurement of EMG activity with textile electrodes embedded into clothing. *Physiological Measurement*, 2007, 28(11), 1405-1419.
20. Linz, T., Gourmelon, L., Langereis, G. Contactless EMG sensors embroidered onto textile. *IFMBE Proceedings*, 2007.
21. Marozas, V., et al. A comparison of conductive textile-based and silver/silver chloride gel electrodes in exercise electrocardiogram recordings. *Journal of electrocardiology*, 2011, 44(2), 189-194.
22. Najafi, B., et al. An Optical-Fiber-Based Smart Textile (Smart Socks) to Manage Biomechanical Risk Factors Associated with Diabetic Foot Amputation. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 2017, 11(4), 668-677.
23. Adnane, M., et al. Detecting specific health-related events using an integrated sensor system for vital sign monitoring. *Sensors*, 2009, 9(9), 6897-6912.
24. Löfhede, J., Seoane, F., Thordstein M. Textile electrodes for EEG recording - a pilot study. *Sensors*, 2012, 12(12), 16907-16919.
25. Kurasawa, S., et al. Development of smart textiles for self-monitoring blood glucose by using



- optical fiber sensor. *Journal of Fiber Science and Technology*, 2020, 76(3), 104-112.
26. Wang, H., et al. The regulatory role of the SIRT1 / FoxO1 pathway in the prevention of insulin resistance in skeletal muscle by aerobic exercise in mice. *Research Square*, 2022, 1–17.
27. Mokhlespour, Esfahani, M.I., et al. A wearable respiratory plethysmography using flexible sensor. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 2013, 11(4), 364-380.
28. Massaroni, C., et al. Smart textile for respiratory monitoring and thoraco-abdominal motion pattern evaluation. *Journal of Biophotonics*, 2018, 11(5), 1-12.



4. Skyrius PAŽANGIOS MEDŽIAGOS APSAUGINEI ĮRANGAI

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

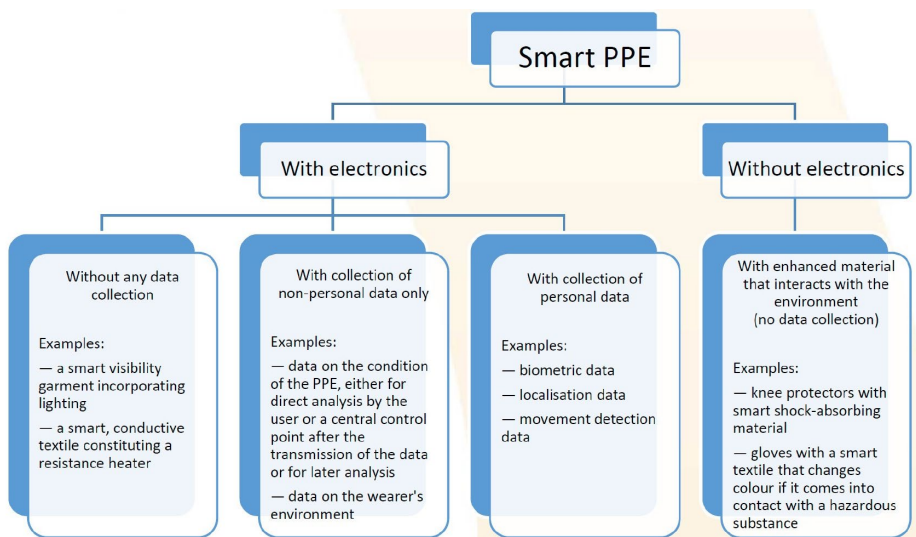
4.1 Įvadas

Darbo vietos ne visada yra saugios. Tiesą sakant, kai kurie esami darbai šiais laikais turi keletą rizikingų užduočių, su kuriomis susiduria darbuotojai. Štai kodėl sauga tapo sektoriaus kertiniu prioritetu, ypač kai kuriuose sektoriuose, tokiuose kaip antžeminė ir požeminė kasyba, statybvietės, elektrinės, gamyklos ir kt. [1].

Todėl svarbu apsaugoti darbuotojus nuo galimų pavojų, kurie galėtų sukelti įvairių tipų sužeidimus – terminius, biologinius, elektrinius, mechaninius ar cheminius, ir tie pažeidimai vienu metu [2] gali paveikti kelias skirtingas žmogaus kūno vietas (akis ir veidą, galvą, kojas ir pėdas, kitas kūno vietas, klausą). [3]). Asmeninės apsaugos priemonės (AAP) padeda išvengti tokių sužalojimų, nes apsaugo jų naudotoją.

Apibendrinant galima teigti, kad AAP galima ir reikia tobulinti, siekiant kad jos būtų veiksmingesnės ir efektyvesnės, plėtojant ir integruojant jutiklių technologijas į darbuotojų aprangą. Šis patobulinimas leistų stebėti darbuotojų sveikatą, kenksmingų elementų poveikį, darbuotojų atstumą iki pavojingų zonų ir kt. [4].

Išmaniosios AAP gali būti suskirstytos į keturias skirtingas kategorijas, atsižvelgiant į jas gaminant naudojamą technologiją. Viena vertus, vertinama, ar yra elektronikos komponentai, ar ne, o antra vertus, atsižvelgiama į jų duomenų rinkimo ypatybes (žiūr. 4.1 paveikslą).



4.1 paveikslas. Išmaniųjų AAP klasifikacija pagal sudėtį ir galimybes rinkti duomenis

Toliau pateikiami keli AAP pavyzdžiai su integruota elektronika arba išmaniosiomis medžiagomis [5]:

Pirma, *išmaniosios kelių apsaugos*. Jos gali būti minkštos ir lanksčios, palengvinti įprastus judesius, pavyzdžiui, vaikščiojimą, ir tuo pačiu garantuoti išmaniosios medžiagos savybes – amortizuoti galimus smūgius.

Antra, išmanioji, laidžioji tekstilė, kuri yra varžinis šildytuvas. Išmaniojoje tekstilėje galima integruoti elektros laidumą. Dėl nuolatinio elektros tiekimo ir jutiklių integravimo šie išmanieji tekstilės gaminiai gali generuoti ir palaikyti pastovią temperatūrą aplink šildytuvą.

Be to, išmanaus apšvietimo drabužiai gali skleisti šviesą, integruodami optinius pluoštus į drabužių medžiagą. Optiniai pluoštai, integruoti į tekstilę ir sujungti su valdomu šviesos šaltiniu, gali būti naudojami kaip išmaniųjų drabužių dalis. Jie netgi gali nustatyti apšvietimo tipą integruojant jutiklį.

Be to, išmaniosios pirštinės, galinčios atpažinti pavojingas medžiagas - tai yra naujoviškas AAP gaminytis, sukurtas išnaudojant išmanios tekstilės pažangą. Priklausomai nuo sąlyčio su potencialiai pavojingomis medžiagomis, jos įgauna skirtingas spalvas.

Galiausiai, kai kurios išmaniosios AAP taip pat gali rinkti duomenis apie savo naudojimą. Jei jose yra jutikliai, jos gali rinkti kelių tipų duomenis apie naudojimo trukmę ar kiekius bei perduoti juos į centrinę duomenų bazę

Kaip minėta, tai tik keli pavyzdžiai iš daugybės galimybių, kurias gali pasiūlyti išmanioji tekstilė.

4.2 AAP pritaikymas

Išmanioji tekstilė AAP priemonėse taikoma dažnai ir įvairiai. Plečiantis tyrimams šioje srityje, plečiasi ir AAP potencialas [6].

Šiais laikais yra trys kategorijos, trys produkto kūrimo keliai. Iš esmės jie susiję su praktiniais vartotojų poreikiais, pasaulinėmis sistemomis ir reakcijomis į išorinius dirgiklius bei aplinkos sąlygas.

Pavyzdžiui, rasti tam tikri konkretūs būdai, skirti gilintis į AAP kūrimą naudojant išmaniąją tekstilę [7] ir kelias jų tyrimo sritis (fiziologinės būklės stebėseną, temperatūros ir drėgmės jutiklius, galios ir duomenų siųstuvus bei eksploatavimo pabaigos indikatorius, išmaniąsias medžiagas ir kt.). gali būti tokios: membranos, pasižyminčios jautriu pralaidumu, įskaitant vandens garams, gali būti gaminamos naudojant formos atminties polimerus, polimerinius gelius, superabsorbuojančius polimerus, skiepytų polimerų šepėčius ir polimerinius joninius skysčius. Šios barjerinės membranos netgi gali būti savaime nukensminamos N-halaminiais, ketvirtinėmis amonio grupėmis, biožineriniais būdais pakeistais fermentais, metalais ir metalų oksidais, nanomedžiagomis ir šviesa aktyvuotais junginiais. Šiluminis komfortas taip pat gali būti pagerintas naudojant fazes keičiančias medžiagas, kurios, esant poreikiui, gali suteikti papildomos šilumos arba vėsinti. Taip pat gali būti naudojami tirštinantys skysčiai, kurie sukietėja ir tampa amortizatoriais, kai susiduria su dideliu greičiu.



4.3 Tolesnė AAP plėtra

Ne visos galimos rizikos yra matomos ar suvokiamos žmogaus pojūčiais. Būtina apsaugoti nuo dujų, dulkių, garso ir (arba) dūmų. Galimybė sudaryti ryšį yra pagrindinė sritis, suteikianti daug naujų paslaugų AAP, gaunamų naudojant specifines medžiagas, tokias kaip išmanioji tekstilė. Kai AAP yra sujungtos su daiktų internetu, išmaniaisiais telefonais ir bet koku išmaniuoju įrenginiu, jos gali būti pritaikytos žemiau minimais tikslais, kad padidintų asmens, kuris dėvi AAP, apsaugą keliais lygiais. [1]. Pavyzdžiui:

Prijungtos AAP gali aptikti nematomą riziką, pvz., aukštą temperatūrą. Temperatūros jutiklis gali stebėti išorinę aplinką ir laiku įspėti vartotoją apie pavojingą aplinką bei įspėti vadovus, jei darbuotojai dirba esant nesaugioms sąlygoms.

Be to, geografinės lokalizacijos elementas, integruotas į prijungtą AAP, gali stebėti ir realiu laiku nustatyti vartotojo vietą bei suteikti jam informaciją apie tai, kuris maršrutas yra saugesnis, ar kelionę tęsti, ar saugiau būtų grįžti. Tuomet atsirastų galimybė generuoti ir perduoti duomenų analizę realiuoju laiku, o tai leistų nedelsiant įspėti vartotoją, patekusį į pavojingą aplinką ar su ja susilietus, taip pat informuoti kitą išorinį aspektą, galintį pažeisti vartotojo saugumą.

Be to, susiejus su ryšių sistemomis, AAP gali palengvinti greitų ir veiksmingų integruotų ryšio kanalų kūrimą prasto vaizdo sąlygomis arba esant dideliame triukšmui.

Galiausiai, bet ne mažiau svarbu, naudotojų sveikatos būklės, pvz., širdies plakimo dažnio, stebėjimas tampa pagrindiniu dalyku, užtikrinančiu asmens, kuris dėvi AAP, saugumą.

4.4 Santrauka

Pažangių medžiagų ir išmaniosios tekstilės gaminių, kaip AAP dinamatorių, projekcija yra aiški, ilga ir verta saugoti. Dauguma taikomųjų įrenginių šiuo metu yra bandomi, turi būti tobulinami arba dar tik kuriami prototipai. Tačiau kai kurios jau pritaikytos tik demonstruoja įspūdingus pasirodymus ir didelį potencialą.

Vis dėlto reikia įveikti tam tikrą riziką ir priimti teisės aktus bei nustatyti šių naujų produktų standartus.

Nuorodos

1. Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D., Serafimovski, D., System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry, In: The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, 2019, 34, 1, 37-44.
2. Dolez, P.I., Vu-Khanh, T. Recent Developments and Needs in Materials Used for Personal Protective Equipment and Their Testing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 2009, 15(4), 347-362, DOI: 10.1080/10803548.2009.11076815





3. Berry, C., McNeely, A., Beauregard, K., Haritos, S. A guide to personal protective equipment. Raleigh, NC, USA: N.C. Department of Labor, 2008. Retrieved December 16, 2008, from: <http://www.nclabor.com/osha/etta/indguide/ig25.pdf>
4. Cao, H., Smart technology for personal protective equipment and clothing, Chapter of Smart textiles for protection, Woodhead Publishing Limited, 2013, 229-241
5. CEN/TR 16298:2011 'Smart textiles – Definitions, categorisation, applications and standardization needs', 2011.
6. Dolez, P.I., Mlynarek, J., Smart materials for personal protective equipment, Chapter of Smart Textiles and their Applications, Editor Chapman R., Woodhead Publishing, 2016
7. Gómez, D. *R&D Alfredo Grassi SPA*, 2022. <https://www.grassi.it/en/research-and-development>



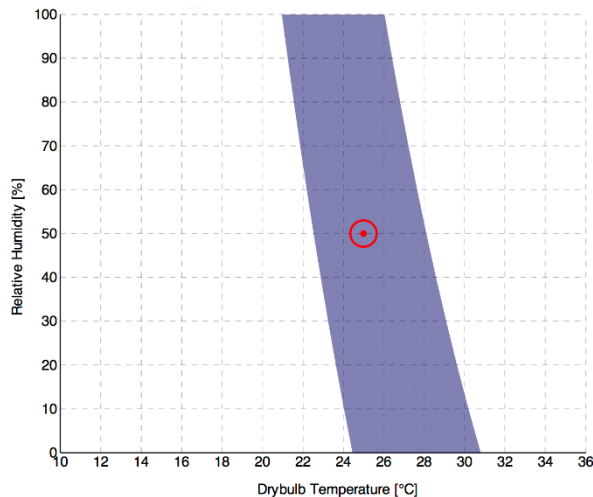
5. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ŠILUMINEI APSAUGAI

Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece

5.1 Įvadas

Šiluminės apsaugos tekstilės gaminiai gali būti naudojami saugantis nuo itin aukštų ar žemų temperatūrų poveikio, siekiant sumažinti pavojų sveikatai dėl ilgalaikio temperatūros, viršijančios žmogaus fiziologinės temperatūros ribas, poveikio arba siekiant išvengti diskomforto, paprastai esant intensyviai fiziniam krūviui. Pagrindiniai šiluminės apsaugos tekstilės mechanizmai yra šilumos izoliacija ir šilumos perdavimo reguliavimas. Pažangios ir išmaniosios medžiagos gali turėti temperatūros jutiklius, taip pat 3D struktūras ir savybes, keičiančias tekstilės gaminius, reaguojant į skirtingas sąlygas. Ekstremalią temperatūrą saugantys dėvimi drabužiai dažniausiai yra pagrįsti izoliacinėmis savybėmis, siekiant išlaikyti kūno šilumą, susidariusią dėl medžiagų apykaitos, kad ji nepatektų į aplinką arba kad aplinkos šiluma nepatektų į kūną.

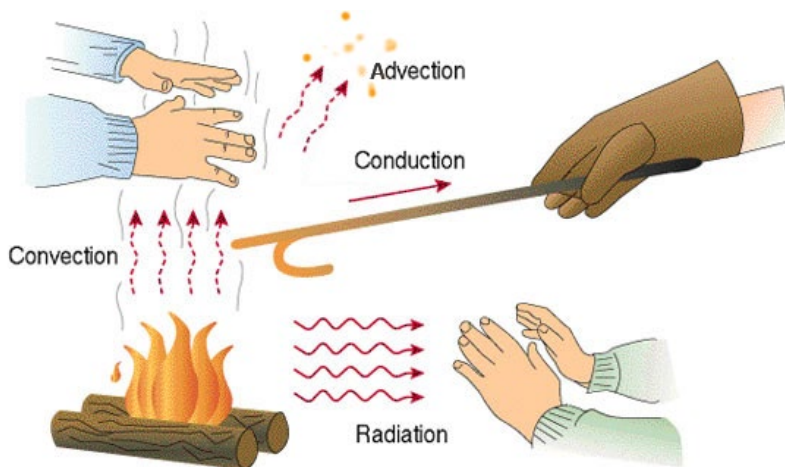
Žmogaus kūnas gamina šilumą vykstant medžiagų apykaitai ir turi palaikyti beveik pastovią temperatūrą $36.6 \pm 0,5$ °C. Priklausomai nuo aplinkos sąlygų, žmonės turi išlaikyti arba išleisti kūno šilumą. Komforto zona žmonėms yra temperatūrai esant nuo 22 °C iki 27 °C, o santykinei oro drėgmei (RH) esant nuo 40% iki 60% [1]. Evoliucijos proceso metu nuo žmogaus kūno nusulinko vią kūną dengęs kailis, kuris daugeliui žinduolių veikia kaip šilumos perdavimo reguliatorius. Šią funkciją daugiau ar mažiau pakeičia drabužių naudojimas kūno šilumai sulaikyti ir prakaitavimas šilumos pertekliui pašalinti.



5.1 paveikslas. Žmogaus kūno komforto zona. Aplinkos centras, Kalifornijos Berklio universitetas, CC BY-SA 3.0, per Wikimedia Commons

Dažniausiai šiluma perduodama vienu iš trijų būdų: veikiant šilumos laidumui, šiluminei konvekcijai arba šiluminei spinduliuotei. Šilumos laidumo procesas vyksta tarp kietų kūnų

arba skysčių, kurie nejuda. Šilumos, kurią galima perduoti laidumo būdu, kiekis labai priklauso nuo medžiagų pobūdžio. Metalai pasižymi labai dideliu šilumos laidumu, o dauguma audiniams naudojamų medžiagų prastai praleidžia šilumą. Medžiagose sulaikytas oras pasižymi labai mažu šilumos laidumu, todėl daugumoje izoliacinių medžiagų naudojamas oras, sulaikytas burbuliukuose arba tarp pluoštų – tai yra pagrindinis mechanizmas, užkertantis kelią šilumos perdavimo procesui. Vanduo pasižymi dideliu šilumos laidumu; todėl drėgna tekstilinė medžiaga neapsaugos nuo žemos temperatūros. Šiluminė konvekcija atsiranda, kai šiluma perduodama skysčiui tekant. Šilumos perdavimas konvekcijos būdu gali būti labai efektyvus, nes iš patirties galima pasakyti, kad tai veikia, kai užklumpa šaltas vėjas arba kai iš lauko patenkama į pastatą, kuriame naudojamas centrinis šildymas. Šiluminė spinduliuotė atsiranda, kai spinduliuojančio kūno ir aplinkos temperatūrų skirtumas yra didelis. Saulės šiluma žemę pasiekia spinduliuotės būdu, toks pat yra šilumos, kurią jaučiame susidūrę su ugnimi ar įkaitusiu metalu, mechanizmas. Skirtingas šilumos perdavimo būdas yra fazinis perėjimas, o pagrindinis vaidmuo reguliuojant žmogaus kūno temperatūrą yra vandens išgarinimas. Kai vanduo gėlo vandens arba prakaito pavidalu išgaruoja, molekulės iš skystos būsenos pereina į dujinę būseną, o tai sumažina likusio vandens, kuris vis dar liečiasi su kūnu, temperatūrą, taip veikdamas kaip aušinimo mechanizmas.



5.2 paveikslas Šilumos perdavimo mechanizmai. Kmecciunit, cmglee, CC BY-SA 4.0, per Wikimedia Commons

Žmogaus kūno šilumos pusiausvyra priklauso nuo pusiausvyros tarp šilumos, susidarančios metabolizmo metu, ir šilumos, kuri keičiasi su aplinka. Daugeliu atvejų šiluma perduodama ne vienu mechanizmu, o nuosekliai arba lygiagrečiai veikiančių mechanizmų deriniu. Kuriant tekstilės gaminius ir pynimus šiluminės apsaugos reikmėms, reikia išmanyti ir šilumos perdavimo mechanizmus, ir žmogaus kūno termoreguliacijos mechanizmą, kad būtų pasiektos norimos savybės, priklausomai nuo aplinkos sąlygų, kuriomis dėvimi daiktai bus naudojami..

Be šilumos srautų reguliavimo, pažangioje tekstilėje taip pat gali būti šilumą generuojančių arba vėsinančių komponentų, kurie aktyviai sąveikauja su šilumos perdavimo pusiausvyra, kad būtų pasiekta norima žmogaus kūno temperatūra. Šios technologijos bus aptartos kitame skyriuje.

Kita svarbi šiluminės apsaugos tekstilės medžiagų kategorija yra nedėvimos medžiagos, tokios kaip izoliacinės plokštės ir apmušalai.

5.2 Pažangioji tekstilė šilumos izoliacijai ir kūno šilumos reguliavimui

Šilumos izoliacijai skirta tekstilė skirta kuo labiau sumažinti šilumos perdavimą iš žmogaus kūno į šaltą aplinkos aplinką arba sumažinti šilumos perdavimą iš karštos aplinkos į kūną, tuo pačiu leidžiant šilumą perduoti iš kūno į aplinką.

Pirmuoju atveju pagrindiniai apsaugos nuo šalčio mechanizmai yra mažo šilumos laidumo medžiagų naudojimas (dažniausiai naudojant tarp pluoštų sulaikytą orą), neleidžiant vandeniui sudrėkinti tekstilės ir neleidžiant oro srautams pasiekti vidinius sluoksnius, kur jie gali išgarinti vandenį prie kūno arba pakeisti šiltą sulaikytą vandenį šaltu. Pastaruoju atveju apsaugai nuo karščio pageidaujamos ir izoliacinės savybės, tačiau - ypač kūno šilumos reguliavimo atveju - siekiama greito vandens išgarinimo iš šalia kūno esančių sluoksnių.

Šiuos rezultatus galima pasiekti naudojant medžiagas ir gamybos būdus tiek verpalų gamyboje, tiek tekstilės gamyboje, kuriant naujus produktus. Naujausioje bibliografijoje gausu mokslinių publikacijų, kuriose siūlomi įvairūs sprendimai. N. Khadse ir kt. [2] siūlo išnaudoti dviejų medžiagų, Hytrel® ir Crastin®, šiluminio plėtimosi koeficiento skirtumą, kad būtų sukurtas dvikomponentis pluoštas, kuris žemoje temperatūroje raitosi ir sulaiko orą. Pluoštas buvo pagamintas koekstruzijos / lydalo verpimo būdu ir iš pradžių buvo įvertintas kaip neaustinės pagalvėlės. Y. Chen ir kt. [3] sukūrė nešiojamą membraną, pagamintą iš perdirbto PET polimero, skirtą reguliuoti prakaito perdavimą ir pagerinti šilumos izoliaciją. Šiuo tikslu jie panaudojo vakuuminį filtravimą ir magnetroninį purškimą, kad sukurtų daugiasluoksnią membraną su anglies nanovamzdeliais/mangano oksido nanogijomis (CNTs-MnO₂ nanogijomis) prakaito pernešimui reguliuoti ir sidabro nanodalelėmis (Ag), skirtomis pagerinti antibakterines savybes. Y. Xu ir kt. [4], įkvėpti poliarinių gyvūnų plaukų ir plunksnų savybių, naudojo šlapią verpimą etanolio, vandens ir amoniako mišinyje, siekdami sukurti biomimetinį pluoštą su vidinėmis paslėptomis nanoporomis (HNPF), naudojant algino rūgštį ir keturnarį chitozaną kaip prototipus. Taip jie sugebėjo pagaminti pluoštą su labai mažu šilumos laidumo koeficientu ir biomimetinėmis saulės energijos kaupimo savybėmis, skirtą austi šalčiui atspariems tekstilės gaminiams. L. Wang ir kt. [5], įkvėptas tų pačių gyvūnų plaukų, šlapijo verpimo būdu vandenyje pagamino tuščiavidurius porėtus termoplastinius poliuretano (TPU) ir poliakrilnitrilo (PAN) pluoštus.

5.3 Pažangi tekstilė priešgaisrinei saugai

Priešgaisrinė apsauga yra išskirtinis atvejis šiluminės apsaugos įrenginiuose dėl specifinių ugnies savybių, kuri gali perduoti labai daug šiluminės energijos ir sukelti labai aukštą temperatūrą bei greitas oksidacijos reakcijas, kai objektas užsidega. Taigi, priešgaisrinė



tekstilė turi išlaikyti tam tikras savybes, tokias kaip puiki šilumos izoliacija, atsparumas šiluminiam smūgiui ir greitas šilumos perdavimas ir stabilumas aukštoje temperatūroje, t.y. medžiaga neturi išsilydyti, prarasti funkcijų arba užsidegti, kai liečiasi su liepsna, deginančiais daiktais (pvz., degiais skysčiais) arba kai temperatūra pakyla dėl karšto skysčio srautų arba dėl šiluminės spinduliuotės. Be to, priešgaisrinė tekstilė neturėtų sukelti gaisro, o užsiliepsnojus ugnis turi užgesti pati.

Tradiciskai priešgaisriniai audiniai buvo gaminami iš austo asbesto pluošto, bet vėliau, nustačius kancerogenines asbesto savybes, buvo pakeisti kitais neorganiniais pluoštais, tokiais kaip stiklo pluoštas ir akmens vata, kurie irgi yra toksiški.

J. Sullivan ir kt. [5] naudoja anglies nanovamzdelių šilumos laidumo anizotropiją modeliudami tekstilę, kuri būtų atspari liepsnai ir gerai izoliuotų šilumą, sklindančią statmena kryptimi, tačiau tuo pačiu tinkamai išlygiuoja anglies nanovamzdelius, nukreipiant kūno skleidžiamą šilumą link aplinkos, sumažinant apsauginės tekstilės temperatūrą. G.M. Gonzalez ir kt. [6] sukūrė pusiau struktūrinius neaustinius para-aramidinio pluošto lakštus, kurie pasižymi mechaninėmis ir šiluminės apsaugos savybėmis dėl to, kad naudojamas ištisinis itin plonas para-aramidinis pluoštas, kurio kompaktiškumas panašus į aerogelį. Ši nauja medžiaga gali būti naudojama kaip apsauginė priemonė sprogiroje aplinkoje. Poreikis derinti šiluminės apsaugos ir elektromagnetinio ekranavimo savybes viename audinyje, paskatino M. Li ir kt. [7] gaminti laidžius kompozitinius aramido nanopluoštus, kad būtų galima sukurti itin lengvą, lanksčią, bet tvirtą aerogelio tekstilę. Tai buvo pasiekta pridodant anglies nanovamzdelių ir maišant mechaniškai bei ultragarsu pirminį šlapiajam verpimui ir džiovinimui šalčiu skirtą mišinį. Taip buvo pagamintas mikroporinis siūlas, sudarytas iš nanopluošto aerogelio.

Sensorinės tekstilės gaminiai dažnai prastai tempiasi, o tai riboja jų galimą pritaikymą. S. Zou ir kt. [8] sukūrė ugniai atsparų tempiamą siūlą, skirtą temperatūros stebėjimui ir įtempimo jutikliams. Veralai susideda iš trijų dalių: lanksčios spandekso šerdies, padengtos dviem aramido pluošto sluoksniais. Vidinis sluoksnis yra laidus sudėtingo aramido / anglies nanovamzdelių pluošto sluoksnis, o išorinis sluoksnis yra paprastas aramidas. Abu aramido pluošto sluoksniai gaminami apvyniojant pluoštą aplink šerdį naudojant frikcinius volelius. Statmena aramidinio pluošto sluoksnių kryptis spandekso šerdies atžvilgiu leidžia siūlams būti elastingiems, o tarp pluoštų uždarytas oras sumažina šilumos perdavimą ir užtikrina izoliaciją.

Kitokio požiūrio laikėsi L. Wang ir kt. [9], kurie sukūrė išmaniąją audinių sistemą, supynę formą prisimenančią giją iš para-aramidinio audinio. Formos atminties giją (nikelio / titano lydinio) galima „išmokyti“ tam tikroje temperatūroje pakeisti linijin formą į sinusoidinę (banguotą formą). Formos atminties audinys gali būti įtrauktas į 2D daugiasluoksnę išmaniųjų audinių sistemą. Pasiekus formos transformacijos temperatūrą, siūlas sulinks ir susivynios, sukurdamas 3D struktūrą su dideliais oro plotais ir efektyviai veiks kaip šilumos perdavimo barjeras..

5.4 Santrauka

Pažangiausia technologija naudojama kuriant naujus pluoštus, verpalus ir tekstilės gaminius, kurie gali būti naudojami šiluminei apsaugai ir komfortui užtikrinti. Ekologinis



dizainas, perdirbtų ir perdirbamų medžiagų naudojimas, taip pat toksiškų ir kancerogeninių medžiagų pakeitimas netoksiškomis medžiagomis yra dar vienas svarbus mokslinių tyrimų ir naujoviškų produktų gamybos klausimas. Šiame skyriuje pateikiami naujausios bibliografijos pavyzdžiai leidžia suprasti medžiagų naudojimo, gamybos technologijų ir dizaino tendencijas. Tiek 2D, tiek 3D dizainas gali būti naudojamas kuriant pažangius nešiojamus įrenginius, pritaikytus konkrečioms aplinkoms ir užtikrinančius apsaugą bei komfortą.

Nuorodos

1. ASHRAE Standard 55-2004. "Thermal environmental conditions for human occupancy". American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2004.
2. Khadse, N., et al. Temperature Responsive PBT Bicomponent Fibers for Dynamic Thermal Insulation. *Polymers (MDPI)*, 2022, 14, 2757.
3. Chen, Y., et al. Laminated PET-based membranes with sweat transportation and dual thermal insulation properties. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 450, 138177.
4. Xu, Y., et al. Gradient assembly of alginic acid/quaternary chitosan into biomimetic hidden nanoporous textiles for thermal management. *Carbohydrate Polymers*, 2023, 300, 120236.
5. Wang, L., et al. Large-scalable polar bear hair-like cellular hollow fibers with excellent thermal insulation and ductility. *J Appl Polym Sci.*, 2022, 139, e53018
6. Gonzalez, G. M., et al. Para-Aramid Fiber Sheets for Simultaneous Mechanical and Thermal Protection in Extreme Environments. *Matter*, 2020, 3, 742–758.
7. Li, M., et al. Ultralight aerogel textiles based on aramid nanofibers composites with excellent thermal insulation and electromagnetic shielding properties. *Composites Communications*, 2022, 35, 101346.
8. Zou, S., et al. Facile and scalable fabrication of stretchable flame-resistant yarn for temperature monitoring and strain sensing. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 450, 13846.
9. Wang, L., et al. Developing smart fabric systems with shape memory layer for improved thermal protection and thermal comfort. *Materials & Design*, 2022, 221, 110922.



6. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ENERGIJAI IŠGAUTI

Michail Delagrammatikas, Creative Thinking Development, Ntrafi Rafinas, Greece

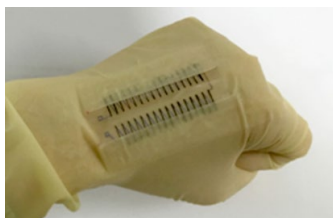
6.1 Įvadas

Išmanioji tekstilė dažnai sunaudoja nedidelį kiekį elektros energijos, kurios reikia aktyviems jutikliams ar veikiančioms pavaroms. Elektros energijos šaltinis gali būti iš baterijų, pritvirtintų prie nešiojamo prietaiso, tačiau energija taip pat gali būti paimta iš aplinkos ir saugoma lanksčiuose energijos kaupimo įrenginiuose (baterijose ir superkondensatoriuose), įmontuotuose į tekstilę. Taigi, yra du pagrindiniai nešiojamos energijos valdymo aspektai: energijos surinkimas ir energijos kaupimas.

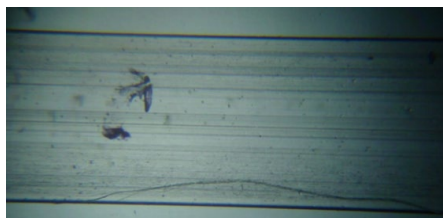
Nedidelius energijos kiekius galima gauti iš aplinkos, juos išsaugoti ir naudoti. Šis procesas dažnai vadinamas energijos surinkimu. Aplinkos energijos šaltiniai dėvimiems įrenginiams gali būti saulės spinduliuotė, elektromagnetiniai laukai, kinetinė energija, atsirandanti dėl žmogaus, dėvinčio išmaniąją tekstilę, judesių arba potencinė energija, kurią sukuria slėgis, bei daugelis kitų. Paprastai visi šie energijos šaltiniai naudojami elektrai gaminti. Nors elektros energijos gamyba pramoniniu mastu įmanoma tik naudojant kelias kintamo dydžio technologijas, mažos apimties elektros gamyba galima naudojant daug daugiau energijos konversijos reiškinį ir technologijų. Kai kurie energijos šaltiniai, kuriuos galima naudoti išgaunant nedidelius energijos kiekius bei su jais susijusios technologijos yra išvardytos toliau:

- Saulės energija, gaunama naudojant lanksčią fotovoltinę energiją (PV). Saulės energija taip pat gali būti naudojama išgaunant šiluminę energiją.
- Potenciali energija, išgauta iš pjezoelektrinių pluoštų ir pjezoelektrinių generatorių (PEG), kurie naudojami tekstilės lenkimu ir tempimu, naudojant susidarančiu slėgiu arba vibracija.
- Termoelektriniai generatoriai (TEG) gamina elektrą naudodamiesi temperatūros skirtumais, kurie gali atsirasti dėl kūno šilumos, spinduliuojančių šaltinių ir kt..
- Kinetinė energija gali būti išgaunama magnetais, kad jie savo ruožtu indukuotų elektros energiją, arba triboelektriniais nanogeneratoriais (TENGs).
- Elektromagnetiniai laukai taip pat gali sąveikauti su specialiomis antenomis ir indukuoti elektros energiją.





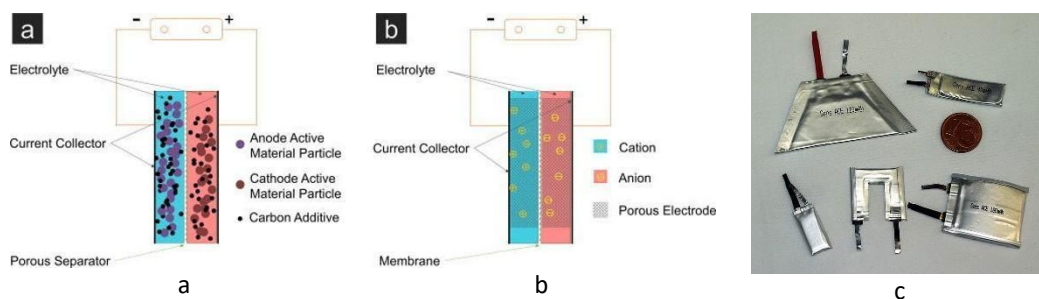
a



b

6.1 paveikslas a– PEDOT: PSS termoelektrinis generatorius, įdėtas į pirštinę, skirtas elektros energijos gavybai iš žmogaus kūno šilumos. Eun Jin Bae et al., CC BY 4.0, via Wikimedia Commons; b – PVDF pjezoelektrinės juostelės verpalai (2.5x). Ptosky, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons

Kartą išavus energiją ir pavertus ją elektra, ji turėtų būti naudojama įrenginiuose, pvz., jutikliuose ir pavarose, arba saugoma tolimesniam naudojimui. Išmaniosios tekstilės gaminių ir nešiojamų įrenginių atveju tai galima pasiekti naudojant elektros kaupimo įrenginius, tokius kaip baterijos ir superkondensatoriai. Baterijos ir tam tikrų tipų superkondensatoriai įkraunami elektrą paverčiant chemine energija, kuri vykstant elektrocheminėms reakcijoms vėl tampa elektros energija. Elektrocheminės reakcijos – tai cheminės transformacijos, kurių metu dviejų medžiagų – anodo ir katodo – jonai keičiasi per laidžią terpę, vadinamą elektrolitu. Kai du poliai, anodas ir katodas yra sujungti per elektronams laidžią medžiagą (pvz., metalinę vielą, anglies nanovamzdelių pluoštus, laidžius siūlus), tada dėl elektrocheminės reakcijos laidžią medžiagą veikia elektros srovė. Nutrūkus elektronų laidumo grandinei, elektrocheminė reakcija sustoja ir energija lieka saugoma. Kiti superkondensatorių tipai kaupia energiją elektrostatinės potencinės energijos pavidalu arba naudojami elektrostatiniais ir elektrocheminiais mechanizmais. Išsamią baterijų ir superkondensatorių technologijų apžvalgą galite rasti [1].



6.2 paveikslas a-b – (a) ličio jonų akumuliatoriaus ir (b) superkondensatoriaus schemas. Zhaoxiang Qi, Gary M. Koenig Jr [1], CC-BY 4.0; c – S įvairių dydžių, dizaino ir talpos everal Gens ACE LiPo baterijų paketai, skirti maitinanti nešiojamus skaičiavimo įrenginius, pagaminti GREPOW Battery Co., Ltd. Thomas Springer, CC0, via Wikimedia Commons

Kai kuriais atvejais energija kaupiama ar naudojama ne elektros, o cheminės energijos ir šiluminės energijos pavidalu. Egzoterminės arba endoterminės cheminės reakcijos yra naudojamos atitinkamai šildymui arba vėsinimui, nedalyvaujant elektrocheminėms reakcijoms, vykstančioms elektros energijos kaupimo įrenginiuose. Kitų dviejų poskyrių tikslas – pristatyti pavyzdžius iš naujausios bibliografijos apie medžiagų, skirtų tekstilės

gaminių energijos surinkimui ir energijos kaupimui nešiojamuosiuose įrenginiuose, pažangą.

6.2 Energiją išgaunanti tekstilė

Siekiant prie nešiojamų įrenginių pridėti fotovoltinius elementus (FE), buvo naudojamos įvairios technologijos. Paprasčiausias sprendimas yra uždėti nuimamas įprastas fotovoltines plokštes (ir baterijas) ant tekstilės ir panaudoti energiją šilumai arba šviesai gaminti. Nors tokios priemonės gali būti geras sprendimas, kai reikia didesnio energijos kiekio, jos turi ir tam tikrų trūkumų, nes padidina tekstilės svorį, yra standžios ir nepatogios, lengvai sugadinamos, jų negalima skalbti kaip įprastų drabužių. Naujausi tyrimai apima lanksčių fotovoltinių elementų, kurie yra prilipę prie tekstilės, arba netgi pluoštų, turinčių fotovoltinių savybių savybių, kūrimą. Pateikiami trys skirtingi pavyzdžiai iš naujausios bibliografijos. T. M. Bandara, J. M. Hansadi ir F. Bella [2] neseniai paskelbė apžvalginį straipsnį apie tekstilės dažams jautrius saulės elementus (DSSC), skirtus nešiojamai elektronikai. DSSC paprastai susideda iš skaidraus anodo, pagaminto iš indžio/fluoro alavo oksido stiklo (ITO/FTO), porėtos terpės, kurioje yra įkrovos perdavimo dažų, ir laidus katodas elektronams pritraukti [3], kuriame gali būti anglies nanovamzdelių. DSSC tekstilė yra lengva, lanksti, patogi ir pritaikyta pramoninei gamybai. Tekstilės DSSC gali būti gaminami kaip verpalai arba sukurti ant tekstilės pagrindo. E.N. Güler ir kt. pradėjo naudoti kitokio tipo lanksčius fotovoltinius elementus ir organinę fotovoltinę energiją (OFE) [4]. OFE elementai yra labai lankstus ir efektyvus (pagal generuojamos galios ir masės santykį) energijos išgavimo sprendimas tekstilės gaminiams, kurio trūkumas yra tai, kad jie linkę oksiduotis veikiant aplinkai (saulės UV spinduliuotė ir prakaito poveikis yra du dažniausi oksiduojantys veiksniai). Šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas skirtingų sluoksnių, sudarančių OFE sistemą, nusodinimui tiesiai ant barjerinės plėvelės, išvengiant kapsulių susidarymo. Barjerinė plėvelė dažniausiai naudojama OFE apsaugai nuo oksidacijos. I. Borazanas, A. C. Bedeloglu ir A. Demiras siūlo sprendimą, kurio pagrindą sudaro nerūdijančio plieno tinklinis audinys [5], formuojamas naudojant tekstilės pramonei įprastus metodus, pavyzdžiui, padengimą panardinimu. Šis gaminytis gali būti naudojamas dėvimiems daiktams, taip pat kaip tekstilė ant sudėtingos geometrijos konstrukcijų.

Naujoviški sprendimai, naudojant PEG, TEG ir TENG technologijas energijos išgavimui, taip pat siūlomi naujausiuose tyrimuose. L. Veeramuthu ir kt. [6] sukūrė nebrangų ir nenuodingą nanopjezoelektrinį generatorių, pagrįstą elektriniu verpimu sustiprintu laidžiu pluoštu (EVSP). Energijos išgavimas įmanomas dėl to, kad gamybos metu pasiekama griežta nanopluoštų išlygiavimo tvarka, o tai leidžia elektronus surinkti generatoriaus anodu ir katodu. U. Zubairas [7] siūlo maitinti aktyvius jutiklius, paimant energiją iš pjezoelektrinės nanokompozitinės dangos, sudarytos iš cinko oksido nanodalelių, disperguotų polivinilideno fluorido (PVDF) rišiklyje, uždėtame ant tekstilės. R. Bagherzadeh ir kt. [8] apibendrina PENG ir TENG nanogeneratorių, naudojamų išmaniuosiuose ir sensoriniuose nešiojamuosiuose įrenginiuose, pažangą.

6.3 Energijos kaupimas tekstilėje



3D spausdinimo technikas naudojo K. Jain ir kt. [9] modifikuoti celiuliozės pluoštus naudojant poli(3,4-etilendioksitiofeno) poli(stirola sulfonata) (PEDOT:PPS) dažus. Autoriai nurodė, kad šie lengvai pagaminami 3D spaudiniai demonstruoja superkondensatorių savybes. Y. Liang ir kt. [10] sukūrė lanksčius superkondensatorius, įterpdamas ceolito imidazolato karkasą ant polimerinių siūlų, sukurtų cheminiu garų nusodinimu (CVD) ir megztais bei modifikuotų anglies nanovamzdėliais. Y. Rao ir kt. [11] naudojo litografiją, pagrindu grafeno gamindami kevlaro tekstilės mikrosuperkondensatorius. Šis metodas leidžia sukurti sudėtingus elektroninius prietaisus ant tekstilės. Technologinė pažanga nešiojamos mikroelektronikos energijos kaupimo srityje apibendrinta neseniai paskelbtame X. Xiao ir kt. apžvalginiame straipsnyje. [12]. Šioje apžvalgoje taip pat pabrėžiami naujaisi, esami technologijų apribojimai ir ateities tendencijos. A. H. Khademas ir kt. [13] daugiausia dėmesio skiria grafeno pritaikymui kuriant tekstilės gaminius superkondensatoriams, nes 2D anglies technologija gali padidinti lanksčių energijos kaupimo įrenginių efektyvumą.

Kitas būdas kaupti energiją yra pasinaudoti tiesioginiu cheminės energijos pavertimu šilumine energija (ir atvirkščiai) per egzotermes ir endotermes chemines reakcijas arba fazių kaitos reiškinis. Aušinimo kilimėliai yra plačiai paplitęs pritaikymas, kuris naudojami endoterminėmis reakcijomis, susijusiomis su vandeniu, išsiskiriančiu iš hidratuotų druskų, procesui vykstant aukštoje temperatūroje. Fazių keitimo medžiagos naudojimas verpaluose arba tekstilės gaminiuose šildymui ir vėsinimui tekstilės pramonėje aptariamas kaip atskira taikymo sritis K.A.R. Ismail ir kt. apžvalginiame straipsnyje [14]

6.4 Santrauka

Medžiagų technologijos pažanga, susijusi su įvairiais energijos išgavimo ir kaupimo mechanizmais, leidžia sukurti išmaniają ir jutiminę tekstilę, į kurią įterpiami energiją vartojantys prietaisai. Maitinimo šaltinių prijungimas prie nešiojamos įrangos, kuri yra tik pritvirtinta prie kitu atveju įprastos tekstilės gaminių, greitai padeda sukurti lanksčius, patvarius ir veiksmingus energijos surinkimo ir energijos kaupimo įrenginius, kurie iš esmės yra įterpti į tekstilės gaminius arba ant jų ar net prie verpalų, kurie gali būti megzti arba austi.

Nuorodos

1. Zhaoxiang, Q., Gary, M., Koenig, J. Review Article: Flow battery systems with solid electroactive materials. *Journal of Vacuum Science & Technology*, 2017, B 35, 040801.
2. Bandara, T.M., Hansadi, J.M., Bella, F. A review of textile dye-sensitized solar cells for wearable electronics. *Ionics*, 2022, 28, p.p. 2563-2583.
3. Sharma, S., et al. Dye sensitized solar cells: From genesis to recent drifts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 70, p. p. 529-537.
4. Güler, E.N., et al. Fully solution-processed, light-weight, and ultraflexible organic solar cells. *Flexible and Printed Electronics*, 2022, 7, 025003.
5. Borazan, I., Bedeloglu, A.C., Demir, A. A photovoltaic textile design with a stainless steel mesh fabric. *Journal of Industrial Textiles*, 2022, 51(10), p.p. 1527-1538.
6. Veeramuthu, L., et al. Muscle fibers inspired electrospun nanostructures reinforced conductive



- fibers for smart wearable optoelectronics and energy generators. *Nano Energy*, 2022, 107592.
7. Zubair, U., et al. Multifunctional knit fabrics for self-powered sensing through nanocomposites coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 2023, 293, 126951.
 8. Bagherzadeh. R., et al. Wearable and flexible electrodes in nanogenerators for energy harvesting, tactile sensors, and electronic textiles: novel materials, recent advances, and future perspectives. *Materials Today Sustainability*, 2022, 20, 100233.
 9. Jain, K., et al. 3D printable composites of modified cellulose fibers and conductive polymers and their use in wearable electronics. *Applied Materials Today*, 2023, 30, 101703.
 10. Liang, Y., et al. Deposition of ZIF-67 and polypyrrole on current collector knitted from carbon nanotube-wrapped polymer yarns as a high-performance electrode for flexible supercapacitors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 631, p.p. 77-85.
 11. Rao, Y., et al. Laser-scribed phosphorus-doped graphene derived from Kevlar textile for enhanced wearable micro-supercapacitor. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023, 630, p.p. 586-594.
 12. Xiao, X., et al. Advances in solid-state fiber batteries for wearable bioelectronics. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2022, 26, 101042.
 13. Khadem, A.H., et al. Fabrication, properties, and performance of graphene-based textile fabrics for supercapacitor applications: A review. *Journal of energy storage*, 2022, 56, 105988.
 14. Ismail, K.A.R., et al. New potential applications of phase change materials: A review. *Journal of energy storage*, 2022, 53, 105202.



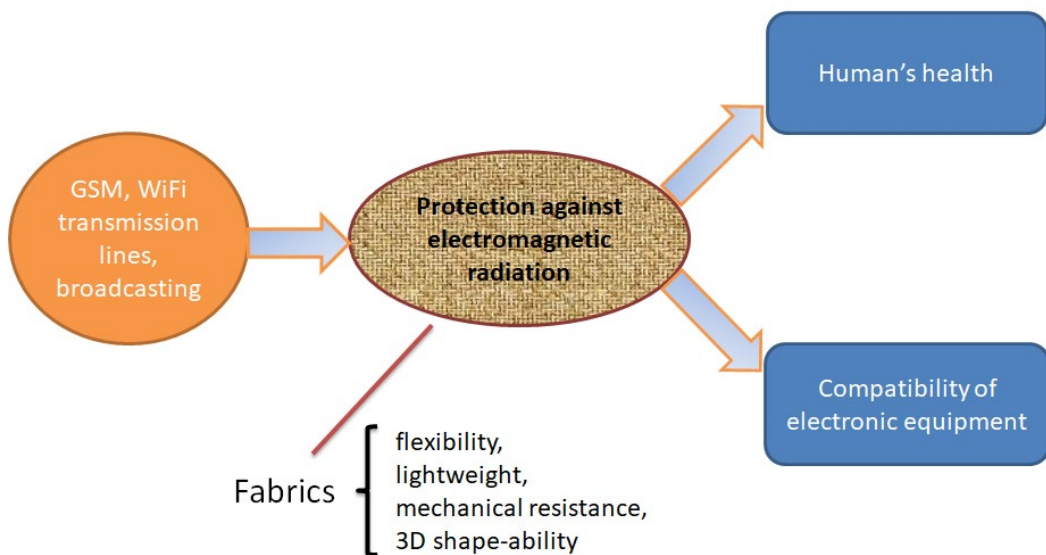
7. skyrius PAŽANGIOS MEDŽIAGOS ELEKTROMAGNETINIAM SLOPINIMUI

Razvan Radulescu and Raluca Aileni, INCDTP, Bucharest, Romania

7.1 Įvadas

Šis modulis skirtas apibūdinti tekstilės audinių, skirtų elektromagnetiniam ekranavimui nuo elektromagnetinio lauko (EL), gamybą ir naudojimą. Pirmoji svarbi šių audinių savybė yra elektros laidumas [1]. Tačiau naujausi tyrimai yra susiję su EL ekranavimu ir kitomis savybėmis - pralaidumu orui, antimikrobinu veikimu, mechaniniu atsparumu, galimybe plauti. [2-6].

Pagrindinis audinių, pasižyminčių laidumu elektrai pritaikymas, yra apsauga nuo EL spinduliuotės pagal Faradėjaus narvelio principą, sukeliant sūkurines sroves, kurių kryptis yra priešinga krentančio EL lauko atžvilgiu, taigi, taip pasireiškiant ir silpninimo efektui. [7]. Apsauga nuo EL spinduliuotės šiais laikais yra svarbi dėl įvairių EL taršos šaltinių: GSM, WiFi, elektros perdavimo linijų, transliacijų ir kt. Remiantis keletu tyrimų [8-9], tokia spinduliuotė gali sukelti rimtų žmonių sveikatos problemų, taip pat trukdyti kitai elektroninei įrangai, o tokių trikdžių reikėtų vengti pagal elektromagnetinio suderinamumo apsaugos principus. [7]. Tekstilės audiniai turi keletą privalumų, palyginti su klasikiais metaliniais skydais, kaip parodyta paveikslėlyje 7.1.

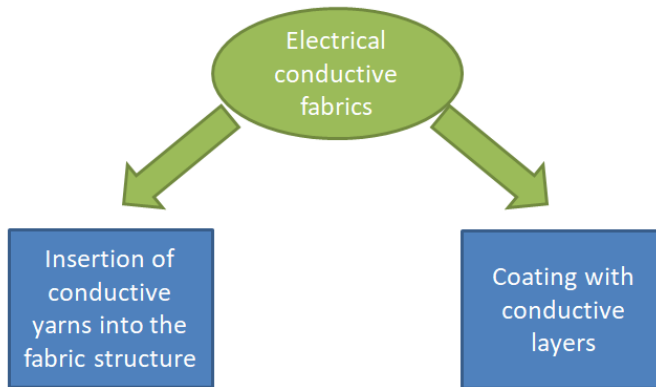


7.1 paveikslas. Audinių taikymas EL ekranavimui – pagrindimas

Suteikiant tekstilei elektrai laidžias savybes išsaugomos pagrindinės būdingos tekstilės audinių savybės: lankstumas, lengvumas, mechaninis atsparumas ir galimybė formuoti 3D formas. [10].

7.2 Elektrai laidžių audinių gamyba EMI ekranavimui

Gaminant elektrai laidžius audinius galima išskirti dvi pagrindines technologijas, kaip parodyta paveikslėlyje 7.2.



7.2 paveikslas. Pagrindinės technologijos, suteikiančios audiniams laidumo savybes

Du pagrindiniai metodai apima:

- Elektrai laidžių siūlų įterpimas į audinio struktūrą (austą, megztą, neaustinį audinį) – 7.3 ir 7.4 paveiksluose pavaizduotos audimo staklės ir metmenų velenas, skirtas audiniams su metaliniais siūlais paruošti;



7.3 paveikslas SOMET audimo staklės metaliniams siūlams įterpti SC Majutex SRL

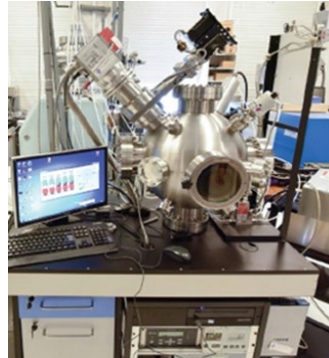


7.4 paveikslas Metmenų velenas, skirtas metaliniams siūlams įterpti į metmenų struktūrą

- Dengimas elektrai laidžiais sluoksniais (PECVD, magnetronu, purškim ir kt.) – 7.5 ir 7.6 paveiksluose parodyta plazminė įranga, skirta audiniams padengti plonais metaliniais sluoksniais.



7.5 paveikslas. INCDTP žemo slėgio plazminė įranga



7.6 paveikslas. INFLPR magnetroninio purškimo plazminė įranga

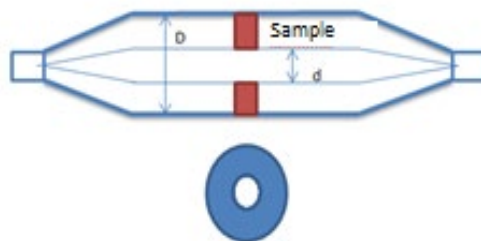
Pirma, mes turime pagaminti EL ekranavimo audinius, tada turime išmatuoti pagrindines jų funkcijas pagal jų pritaikymą, t.y. ekranavimo efektyvumą.

7.3 Tekstilinių skydų EL ekranavimo efektyvumo matavimo metodai

Elektromagnetinio ekranavimo efektyvumas (EEE) apibrėžiamas kaip krintančio signalo galios ir perduodamo signalo santykis ir išreiškiamas decibelais [dB]. EMSE apibrėžiamas kaip:

$$EEE = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{krintančio signalo galia}}{\text{perduodamo signalo galia}} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

Vienas iš patogiausių EMSE matavimo metodų yra skersinės elektromagnetinės celės arba SEC naudojimas. Bandymo principas yra išmatuoti elektrinį signalą su mėginiu ir be jo ir apskaičiuoti santykį pagal atitikimą (1). Pagal standartą ASTM-ES07 SEC celė turi tokią konstrukciją –7.7 paveikslas[11]. Energijos generatorius sukuria elektros signalą, o stiprintuvas sustiprina signalą, kuris įvedamas vienoje SEC elemento jungtyje. Tekstilės bandinys turi ekranuojantį poveikį, kuris matuojamas tinklo analizatoriumi arba osciloskopu kitoje SEC kameros jungtyje. Bandymui skirtas tekstilės pavyzdys yra poveržlės formos, kad atitiktų vidinį ir išorinį SEC celės skersmenį ($d = 30 \text{ mm}$; $D = 100 \text{ mm}$).



7.7 paveikslas. SEC celė pagal standartą ASTM-ES07

Mūsų mokomajame modulyje pateikiami dviejų tipų tekstilės pavyzdžiai. Pirmasis pavyzdys yra audinys su įterptais sidabriniais siūlais metmenimis ir ataudais ant medvilnės pagrindo. Atstumas tarp sidabrinųjų siūlų yra 5 mm, o audinio specifinė masė yra lygi 118 g/m^2 (7.8 paveikslas). Tas pats audinys magnetronine plazma buvo padengtas 1200 nm vario



sluoksniu iš abiejų pusių (7.9 pavykslas). Kaip minėta ankstesnėje pastraipoje, abu mėginiai buvo paruošti poveržlės formos, kad juos galima būtų matuoti SEC cele.

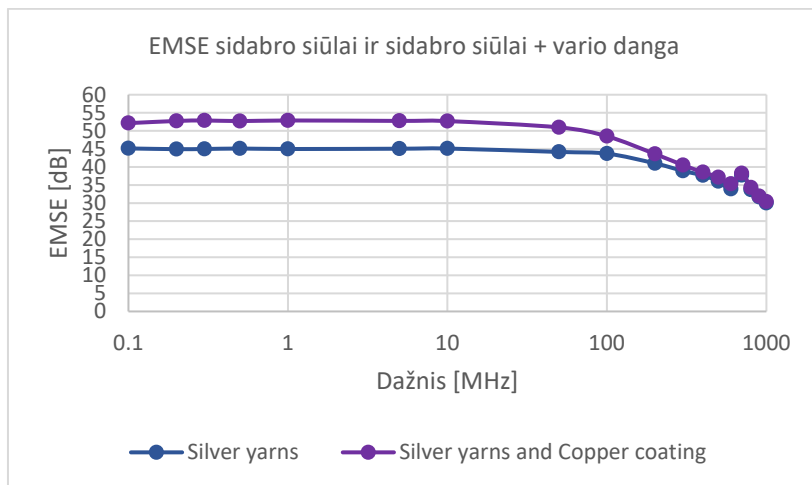


7.8 pavykslas. Pavyzdys F1, skirtas SEC celei: austas audinys su įterptais laidžiais sidabro siūlais



7.9 pavykslas. Pavyzdys F2, skirtas TEM celei: austas audinys su įterptais laidžiais sidabro siūlais ir plazmine danga su variu.

EMSE matuotas dB pagal (1), dažnių intervale 0.1-1000 MHz. 7.10 pavyksle pateiktos EMSE dažnių vertės MHz logaritminėje skalėje. EMSE vertės audiniui su sidabriniais siūlais siekia 44-45 dB, o audiniui su sidabro siūlais ir vario danga jos yra 50-53 dB, kai dažnių intervalas yra 0.1-100 MHz. Nedidelis EMSE verčių sumažėjimas buvo išmatuotas 100–1000 MHz dažnių diapazone dėl to, kad naudojama stora elektra laidži medžiaga, kur bandinio storis daug didesnis už odos dydį, ir dėl didesnių perdavimo režimų vienašėje SEC celėje. Šie didesni perdavimo režimai, kurie yra didesni nei pagrindinis perdavimo režimas ir gali turėti įtakos matavimo rezultatui [12].



7.10 pavykslas. EMSE abiejų audinių pavyzdžių rezultatai

7.4 Išvados



Per pastaruosius 20 metų tekstilės audiniai pradėti naudoti papildomu tikslu, vadinamu technine tekstile. Viena iš šių programų yra elektromagnetinės spinduliuotės ekranavimas pagal elektromagnetinio suderinamumo principus. (EMS). Pagrindinė ekranuojančių audinių savybė yra laidumas elektrai, leidžiantis generuoti sūkurines sroves, pasižyminčias ekranavimo efektu pagal Faradėjaus narvelio principą. Šiuolaikinės verpimo ir dengimo technologijos leidžia gaminti metalinius siūlus ir dengti metaliniais sluoksniais. Naudojant šias naujas technologijas gaminami tekstilės audiniai su metaliniais siūlais, įterptais į audinio struktūrą (t.y. austiniai, megzti ir neaustiniai audiniai) arba audiniai padengiami metaliniais sluoksniais (PECVD, naudojant magnetroną, purškimo būdu). Pagaminus elektrai laidžius audinius, kitas sprendimas yra susijęs su jų pagrindinio funkcionalumo rodikliu, t.y. elektromagnetinio spinduliuavimo ekranavimo efektyvumu, matavimu. (ESEE). Vienas iš paprasčiausių bandymo metodų naudoti per skersinį elektromagnetinį (SEM) elementą pagal standartą ASTM ES-07. ESEE rezultatai rodo 5-8 dB padidėjimą plazma padengtam audiniui dažnių diapazone 0.1-1000 MHz.

Nuorodos

1. Ziąja, J., Jaroszewski, M. EMI shielding using composite materials with plasma layers. In *Electromagnetic Waves*. InTechOpen: London, UK, 2011.
2. Mengwei, D., et al. A green approach to preparing hydrophobic, electrically conductive textiles based on waterborne polyurethane for electromagnetic interference shielding with low reflectivity. *Chemical Engineering Journal*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127749>
3. Qiongzhen, L., et al. Flexible, breathable, and highly environmental-stable Ni/PPy/PET conductive fabrics for efficient electromagnetic interference shielding and wearable textile antennas. *Composites Part B*, 2021, 215, 108752. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108752>
4. Zhang, X., Qingwen, Li, et al. Developing thermal regulating and electromagnetic shielding textiles using ultra-thin carbon nanotube films. *Composites Communications* 21, 2020, 100409. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100409>
5. Pakdel, E., Xungai, W., et al. Advances in photocatalytic self-cleaning, superhydrophobic and electromagnetic interference shielding textile treatments. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2020, 277, 102116. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102116>
6. Cortez, J., et al. Sintering of nanoscale silver coated textiles, a new approach to attain conductive fabrics for electromagnetic shielding. *Materials Chemistry and Physics*, 2014, 147, 815e822. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.06.025>
7. Schwab, A., Kuerner, W. *Electromagnetic compatibility*. AGIR publishing house, 2013.
8. Community research: Health and electromagnetic fields, EU-funded research into the impact of electromagnetic fields and mobile telephones on health, 2005
9. World Health Organization (WHO): Radiation: Electromagnetic fields - Questions and Answers. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-electromagnetic-fields>, 2015, Accessed 19.04.2022
10. *The Handbook of the Textile Engineer*, AGIR publishing house, 2005
11. Standard ASTM ES-07, https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/astm-es-7-1983-154532_saig_astm_astm_371798/, Accessed 19.04.2022
12. Bădic, M., Marinescu, M-J. The Failure of Coaxial TEM Cells ASTM Standards Methods in H.F. Range. *IEEE Xplore*, 2002, DOI: 10.1109/ISEMC.2002.1032442

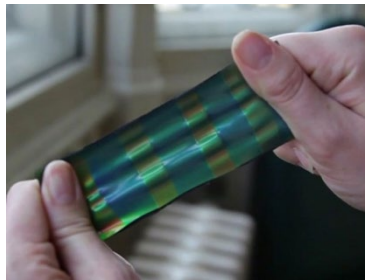


8. SKYRIUS. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS TEMPIMO JUTIKLIAMS

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

8.1 Įvadas

Kai tekstilės struktūra sugeba pajusti dirgiklius, reaguoti ir prie jų prisitaikyti, ji tampa pažangia tekstile. Pažangios medžiagos gali keisti arba pritaikyti savo savybes, reaguodamos į išorinius veiksnius (pavyzdžiais gali būti elektrai laidžios medžiagos arba medžiagos, galinčios keisti spalvą (8.1 paveikslas) [1], medžiagos, kurios gali išlaikyti formą, medžiagos, kurios gali grįžti į ankstesnę formą veikiant šilumai, medžiagos, pagamintos iš audinių, apdorotų stabdančiomis arba hidrofobinėmis priemonėmis).

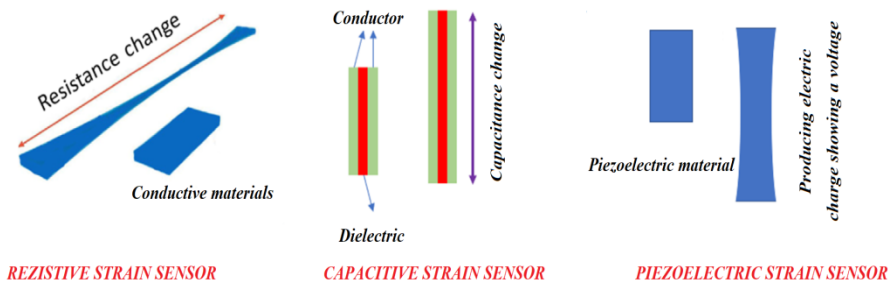


8.1 paveikslas. Spalvą keičiančios išmaniosios medžiagos [1]

Naujos kartos įrenginiai, kurie sujungia galimybę jausti tempimą su dėvėjimu ir pasižymi didele geba išsitempti [2], yra tekstilės tempimo jutikliai.

8.2 Jutiklių klasifikacija

8.2 paveiksle [2] pateikti įvairių tipų tekstilės tempimo jutikliai.

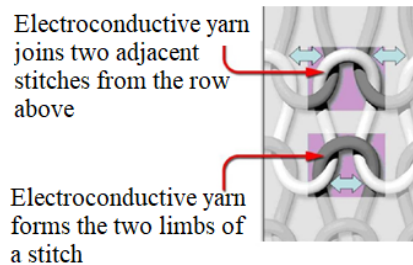


8.2 paveikslas. Tempimo jutiklių klasifikacija

Iš 8.2 paveikslo matyti, kad yra trys jutiklių kategorijos:



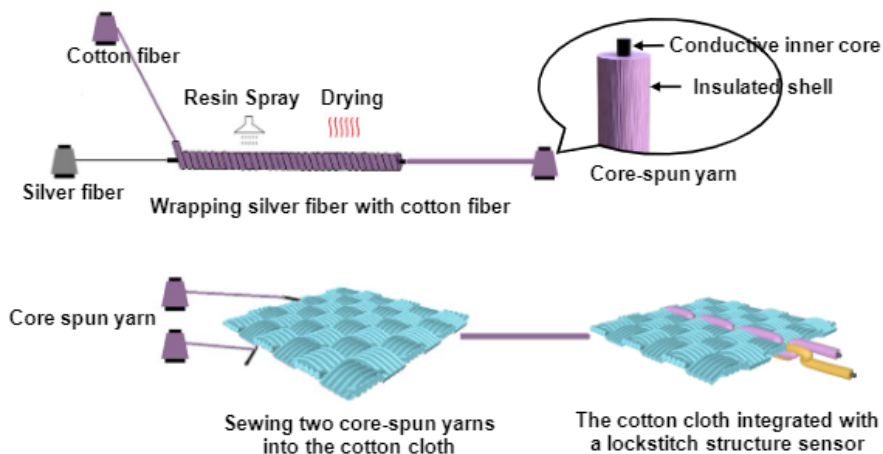
- **Varžiniai deformacijos jutikliai** (sudaryti iš aktyvių medžiagų ir lankstaus substrato [6]), kurie veikia naudodamiesi principu, kai veikiant tempimui keičiasi jutiklio elektrinė varža [3, 4, 5]. Jutiklio elektrinė varža atsistato, kai laidžios medžiagos atkuria pradines būsenas arba struktūras, įtampai dingus. Tekstilės pagrindu pagaminti varžiniai deformacijų jutikliai nesunkiai pagaminami, jų signalai lengvai nuskaitomi [3]. Tekstilės pagrindu pagaminti varžiniai deformacijų jutikliai pasižymi tekstilinių elektrodų sluoksniu, sudarytu iš aktyvių medžiagų, kuris veikia kaip rezistorius veikiant įtampai, o varža kinta priklausomai nuo įtampos dydžio. (8.3 paveikslas) [15].



8.3 paveikslas. Varžinio deformacijos jutiklio struktūra

8.3 paveiksle matomos rodyklės, žyminčios sritis, kuriose yra elektrinis kontaktas, kai pagrindo konstrukcija atleidžiama po tempimo.

- **Talpiniai jutikliai** (8.4 pav.) sudaryti iš dviejų priešingų aktyviųjų medžiagų elektrodų, kurie yra atskirti vienu izoliacinių medžiagų dielektriniu sluoksniu. [7,8,9,10,14].

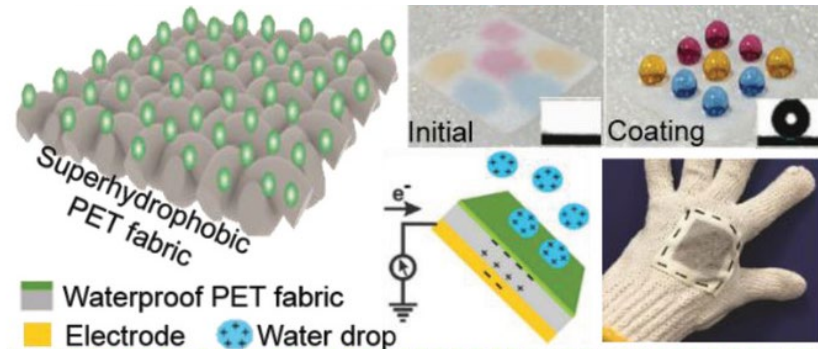


8.4 paveikslas. Talpinis jutiklis

- Pjezoelektriniai deformacijos jutikliai yra pagaminti iš pjezoelektrinės medžiagos, kuri deformaciją paverčia elektros energija [11, 12]. Šiuose jutikliuose veikiant



išoriniams veiksniams (slėgiui, įtempiams ar sukimui) susidaro įtampų skirtumas (8.5 paveikslas).



8.5 paveikslas. Pjezoelektrinis deformacijos jutiklis

Išmaniajai tekstilei gauti naudojamos elektrai laidžios tekstilės medžiagos (jutikliai, šildančioji tekstilė, elektrostatinės iškvos drabužiai, komunikacijos tekstilė).

Elektrai laidžią tekstilę galima gauti trimis būdais:

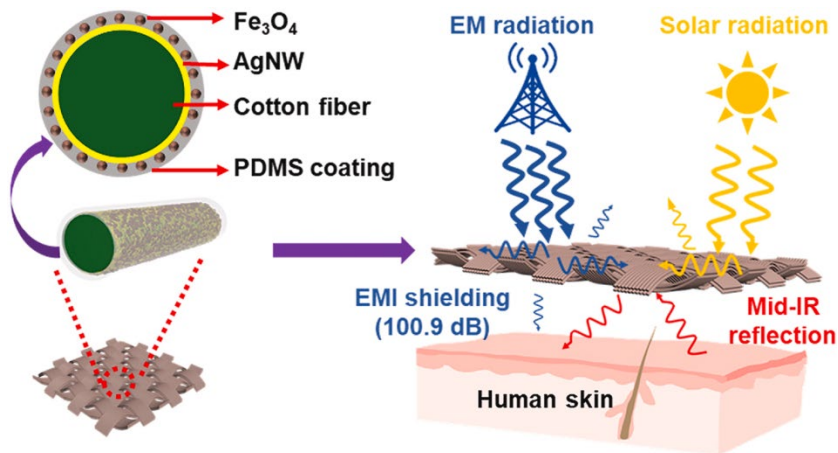
1. Naudojant natūraliai laidžius polimerus.
2. Pridedant įvairių formų anglį arba įvairių formų metalus – laidus, pluoštus ar metalų daleles .
3. Padengiant elektrai laidžiomis medžiagomis [13].

Elektrai laidžių tekstilės gaminių klasifikacija

a. Antistatinė tekstilė kuri gali kaupti elektros krūvį objektų paviršiuje.

b. Elektromagnetinė ekranuojanti tekstilė (EET) kuri gali apriboti elektromagnetinių laukų sklaidą erdvėje (austinės, megztos ir neaustinės medžiagos) (8.6 paveikslas) [16].





8.6 paveikslas. Elektromagnetinė ekranuojanti tekstilė

8.6 paveiksle pavaizduoti siūlai yra laidūs elektrai, naudojama siekiant elektromagnetinio poveikio.

c. E-tekstilė, elektrai laidūs pluoštai ir verpalai pasižymi tokiais savybėmis kaip elektros laidumas, lankstumas, elektrostatinė iškrova ir apsauga nuo elektromagnetinių trukdžių.

Pagrindinis dėvimų išmaniųjų tekstilės gaminių komponentas yra laidus tekstilės pluoštas, naudojamas jutikliuose, elektromagnetinių trukdžių ekranuose, elektrostatinės iškrovos įrenginiuose ir duomenų perdavimui drabužiuose. [13].

d. Funkcinės dangos gali būti medžiagų sąsajos arba paviršiai ir tai yra galimybė modifikuoti laidžias savybes turinčią tekstilę [16].

8.4 Išvada

Tempimo jutikliai yra varžiniai, talpiniai ir pjezoelektriniai. Tempimo jutikliai reaguoja mažindami arba padidindami elektrinę varžą, kai veikia dirgikliai (įtempimas, slėgis, tempimo jėgos, gniuždymo jėgos ir sukimas).

Nuorodos

1. <https://materialdistrict.com/article/colour-changing-smart-material/>, 2012.
2. Jilong, W., Chunhong, L. and Kun, Z. Textile-Based Strain Sensor for Human Motion Detection. *Energy & Environmental Materials*, Wiley
3. Amjadi, M., Kyung, K.U., Park, I., Sitti, M. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 1678.
4. Jian, M., Wang, C., Wang, Q., Wang, H., Xia, K., Yin, Z., Zhang, M., Liang, X., Zhang, Y. *Sci. China Mater.*, 2017, 60, 1026.
5. Yamada, T., Hayamizu, Y., Yamamoto, Y., Yomogida, Y., Izadi-Najafabadi, A., Futaba, D.N., Hata, K. *Nat. Nanotechnol.*, 2011, 6, 296.
6. Huang, C.T., Shen, C.L., Tang, C.F., Chang, S.H. *Sens. Actuators a Phys.*, 2008, 141, 396.





7. Lipomi, D.J., Vosgueritchian, M., Tee, B.C.K., Hellstrom, S.L., Lee, J.A., Fox, C.H., Bao, Z. *Nat. Nanotechnol.*, 2011, 6, 788.
8. Cai, L., Song, L., Luan, P., Zhang, Q., Zhang, N., Gao, Q., Zhao, D., Zhang, X., Tu, M., Yang, F., Zhou, W., Fan, Q., Luo, J., Zhou, W., Ajayan, P.M., Xie, S. *Sci. Rep.*, 2013, 3, 3048.
9. Yao, S., Zhu, Y. *Nanoscale*, 2014, 6, 2345.
10. Cai, L., Song, L., Luan, P.S., Zhang, Q., Zhang N., Gao, Q.Q., Zhao, D., Zhang, X., Tu, M., Yang, F., Zhou, W.B., Fan, Q.X., Luo, J., Zhou, W.Y., Ajayan, P.M., Xie, S.S. *Sci. Rep.*, 2013, 43, 3048.
11. Sun, Q., Seung, W., Kim, B.J., Seo, S., Kim, S.-W., Cho, J.H. *Adv. Mater.*, 2015, 27, 3411.
12. Zhou, Y., Gu, Fei, P., Mai, W., Gao, Y., Yang, R., Bao, G., Wang, Z.L. *Nano Lett.* 2008, 8, 3035.
13. <https://www.textileblog.com/conductive-textiles-types-properties-and-applications/>
14. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssensors.0c00210>
15. https://www.google.com/search?q=Resistive+strain+sensors+in+textile+images&tbm=isch&ved=2ahUKEwjw_PGBx8n4AhWfwwIHHQ4kBAAQ2-cCegQIABAA&oiq
16. Zong, J.Y., Zhou, X.J., Hu, Y.F., Yang, T.B., Xiang, Y.D., Hao, L., Lei, J., Li, Z.M. A wearable multifunctional fabric with excellent electromagnetic interference shielding and passive radiation heating performance. *Composites Part B: Engineering*, 2021, 225 (15).



9. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS SLĖGIO JUTIKLIAMS

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

Anotacija. Tekstilės slėgio jutiklių kūrimas yra sudėtingas procesas mokslininkams, bandantiems vystyti mokslinę pažangą biomedicininio stebėjimo (judesio, pulso ir kvėpavimo) arba robotikos (dirbtinės elektroninės robotų odos) srityse. Įvairus tekstilės medžiagų siuvinėjimas, technologijos su polimerais, pažangūs mikro/nanostruktūriniai kompozitai ir skaitmeninimas (programinė įranga ir mikroelektronika) sukuria naujoviškus nešiojamus gaminius. Šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai naudojamų medžiagų ir technologijų, skirtų varžiniams ir talpiniams jutikliams kurti, aspektai.

9.1 Įvadas

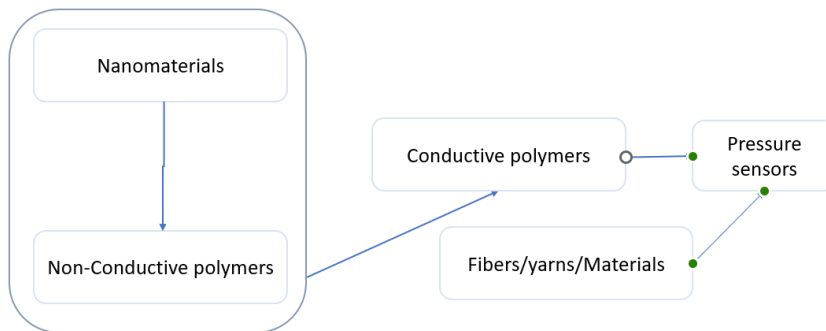
Slėgio jutikliai naudojami slėgiui pajusti ir paversti jį elektriniu signalu, kur signalo reikšmė priklauso nuo esamo slėgio lygio ir jo kitimo. Slėgio jutiklį sudaro slėgiui jautrūs elementai (pjezorezistiniai, talpiniai ir elektriniai varžiniai), skirti įvertinti slėgį, ir kai kurie komponentai, paverčiantys šią informaciją elektriniu signalu. Slėgis parodo jėgą, kuria skystis arba dujos veikia paviršių (jautrius elementus). Slėgio jutikliai aptinka judesį, pulsą, kvėpavimo dažnį arba elektroninę odą (9.1 paveikslas). Dažniausiai naudojami jautrūs elementai yra pjezorezistinės arba talpinės medžiagos.

			
<p>a. Į kojines integruoti plaunami tekstilės slėgio jutikliai eisenos kartografavimui [1]</p>	<p>b. Rankų slėgio kartografavimas naudojant tekstilinį slėgio jutiklį [2]</p>	<p>c. Pirštinių slėgio jutikliai, skirti valdyti įvairiais gestais [2]</p>	<p>d. Išmanusis padas pėdų spaudimo kartografavimui [3]</p>
			
<p>e. Talpinis slėgio jutiklis judesio aptikimui [4]</p>	<p>f. Pulso stebėjimas [5]</p>	<p>g. Kvėpavimo stebėjimas [5]</p>	<p>h. Elektroninė oda [5]</p>

9.1 Paveikslas. Slėgio jutiklių taikymas

9.2 Slėgio jutikliams naudojamos medžiagos

Slėgio jutiklių gamybai naudojamą žaliavą sudaro elektrai nelaidūs polimerai (EBP), cheminės medžiagos (anglies nanovamzdeliai, grafenas, vienasluoksniai anglies nanovamzdeliai, daugiasluoksniai anglies nanovamzdeliai), elektros srovei laidūs polimerai (CP=NCP+CNT), savaime laidūs polimerai (PEDOT: PSS, PANI).



9.2 paveikslas. Slėgio jutikliams naudojamos medžiagos

- *Elektros srovei laidūs polimerai*

Poli(3,4-etilendioksitiofeno)-poli(stireno sulfonatas) PEDOT PSS yra laidus polimeras, kurį galima nusodinti ant tekstilės pagrindo ir sudaryti elektrocheminių savybių turinčius kompozitus, tokius kaip spausdinta elektronika. Polianilinas (PANI) yra savaime laidus polimeras ir puslaidininkis su jutikliais ir spausdintinių plokščių gamybos programomis.

- *Elektrai nelaidūs polimerai - elastomerai*

Polivinilideno difluoridas (PVDF) yra termoplastinis fluorpolimeras, naudojamas 3D spausdinimui ir jutiklių (lytėjimo jutiklių matricių), baterijų ir superkondensatorių gamybai. Paprastai polimerinis silikonas naudojamas elektros izoliacijai, integruojant į grafeno nanovamzdelių arba CNT (anglies nanovamzdelių) polimerinę matricę, kad taptų laidžiu silikonu, idealiai tinkančiu naudoti slėgio jutikliuose.

- *Nano medžiagos*

Anglies nanovamzdeliai (CNT) turi puikias elektrines pjezorezistinių slėgio jutiklių savybes. Apskritai pjezorezistiniai slėgio jutikliai yra gaminami naudojant įvairius elementus, tokius kaip aukso laidai, ZnO, sidabro nanogijos, grafenas, aukso/sidabro nanodalelės ir anglies nanovamzdeliai, integruoti į silikonus.

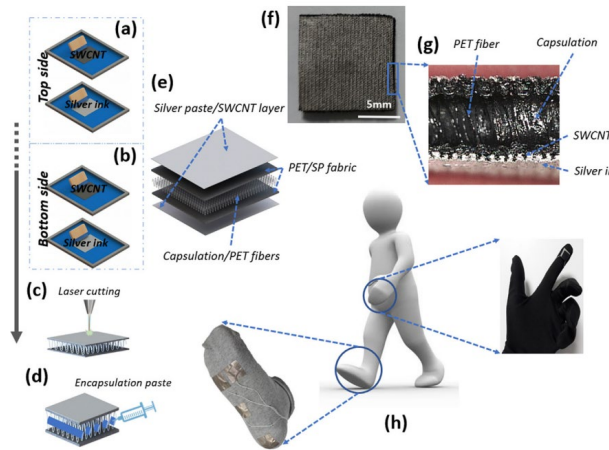
9.3 Slėgio jutiklių klasifikacija ir gamyba

A. Talpiniai slėgio jutikliai

Talpiniai slėgio jutikliai (9.3, 9.4 pav.) gaminami iš laidžių medžiaga, pavuzdžiui, plokščių, atskirtų dielektrikais (sintetiniais putplasčiais, audinio tarpikliais arba minkštais nelaidžiais



polimerais). Šie jutikliai gali būti gaminami naudojant įvairias technologijas - audimą, siuvimą, 3D mezgimą (9.3 pav.), siuvinėjimą laidžiomis gijomis/siūlais, po to 3D spausdinimą (9.4 pav.), kai medžiaga nusodinama purškiant, arba šilkografiją su laidžiais dažais/ pasta elektrai laidžių polimerų pagrindu.



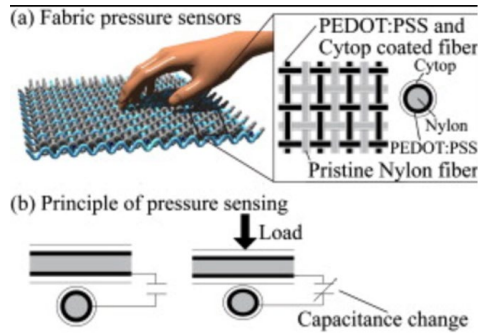
9.3 paveikslas. Talpinio slėgio jutiklio, sudaryto iš tarpiklio audinio ir SWCNT / sidabro spaudos, gamybos procesas [6]



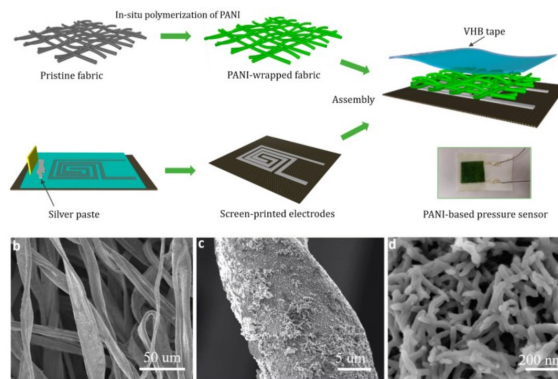
9.4 paveikslas. Lanksčių talpinių jutiklių gamyba [6] slėgio jutikliai, pagrįsti CB/CNT/PDMS [7]

Naudojant laidžius polimerus (pvz., PEDOT: PSS (9.5 pav.), PANI (9.6 pav.) galima sukurti jutiklius tokiems įrenginiams kaip klaviatūros, slėgio jutikliai, integruoti į lovas, sofas ar medicininius vidpadžius [8] arba judesio aptikimo jutiklius, 3D lytėjimo jutiklius robotų judesių aptikimui [8]. Slėgio jutiklis pagamintas audžiant siūlus, padengtus laidžiu polimeru PEDOT: PSS ir perfluoro dielektrine polimerine plėvele (amorfiniu fluoro polimeru) [8].





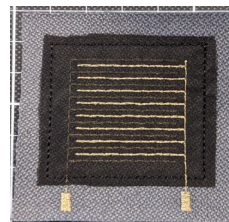
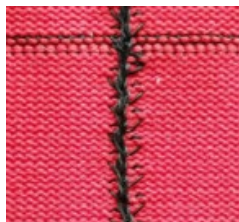
9.5 paveikslas. Audinio slėgio jutiklio matrica [8]



9.6 paveikslas. Lankščių talpinių jutiklių gamyba, pagrįsta PANI nanopluoštais ir sidabro elektrodais [9]

B. Varžiniai slėgio jutikliai

Varžiniai slėgio jutikliai gali būti pagaminti naudojant elektrai atsparias arba laidžias medžiagas - kaip siūlus, gijas, megztas, klijuotas, austas arba išsiuvinėtas įvairiomis struktūromis, naudojant skirtingus gamybos būdus (audimą, siuvinėjimą, mezgimą, siuvimą). Darbo principas pagrįstas elektrinės varžos didėjimu, kai medžiaga (austinė, megzta) tempiama arba suspaudžiama. Jutikliai gali sukurti įtampos pokytį tempiami (9.7 a pav.) arba suspaudžiami (9.7 b pav.).



a

b

9.7 Paveikslas. Varžiniai slėgio jutikliai: a – megzti slėgio jutikliai, pagaminti iš pjerezozistinių siūlų [10]; b – išsiuvinėtas varžinis slėgio jutiklis [11]

9.4 Išvada

Slėgiui nustatyti naudojami slėgio jutikliai susideda iš jautrių elementų iš laidžių polimerų, elastomerų ir nanomedžiagų. Slėgio jutikliai skirstomi į talpinius ir varžinius. Talpiniai jutikliai gali būti gaminami naudojant 3D spausdinimą, siuvimą, 3D spausdinimą, dengimą (magnetrono purškimas, šilkografija) ir audimą. Varžiniai jutikliai gali būti pagaminti naudojant tekstilės technologijas (audimas, mezgimas ir siuvinėjimas) ir modifikuoti jų elektrinę varžą tempiant ar suspaudžiant. Jie gali būti gaminami audimo, mezgimo ir siuvinėjimo būdu.

Nuorodos

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





10. Skyrius. PAŽANGIOS MEDŽIAGOS VALDIKLIAMS

Aileni Raluca Maria and Cristina Stroe, INCDTP, Romania

Santrauka. Tekstilinio valdiklio dizainas yra iššūkis tyrėjams, bandantiems patobulinti sprendimą integruojant lengvas, lanksčias ir patogias medžiagas nešiojamiems valdikliams (VR pirštinėms, dirbtiniams raumenims, egzoskeletams, elektrostimuliacijos įtaisams, mados gaminiams) arba robotikos elementams (dirbtinėms elektroninėms robotų dangoms). Minkštų / lanksčių valdiklių kūrimas apima tiek klasikinės technologijas (mezgimą, siuvimą, audimą, siuvinėjimą), tiek ir pažangias (plazmą, purškimą, 3D spausdinimą). Be to, integruojant elektroaktyvius arba elektrai laidžius polimerus, mikro/nanostruktūras ir atliekant skaitmeninimą (naudojant programinę įrangą, elektroninius komponentus) gali būti pagaminti naujoviški dėvimųjų gaminių valdikliai. Šiame skyriuje pateikiami pagrindiniai aspektai, susiję su valdiklio tipu, naudojamomis medžiagomis ir lanksčių valdiklių kūrimo technologijomis.

10.1 Įvadas

Tikrieji tyrimai lanksčių / minkštų valdiklių srityje rodo didėjančią susidomėjimą spręsti dabartinius iššūkius integruojant lanksčias medžiagas, atliekančias valdiklio vaidmenį nešiojamose sistemose.

Valdikliai reaguoja mechaniškai, chemiškai, magnetiškai, elektriniu būdu ir termiškai, veikiant dirgikliui (pvz., terminiam, elektriniam, mechaniniam, optiniam ar magnetiniam). Siekiant sukurti valdiklį naudojamos kelios išmaniosios medžiagos - pjezoelektrinės, elektrostrikinės, magnetostrikinės, reologinės, formos atminties (termiškai jautrios), pH jautrios ir elektrochrominės medžiagos. [1].

Valdikliai paverčia įvesties veiksnius (elektrinę, mechaninę, šiluminę, optinę ar cheminę energiją, magnetinį lauką) į veiksmą. Priklausomai nuo energijos pokyčio iš įvesties veiksmių į išėjimo veiksmą, lentelėje 1.1 pateikiami keli valdikliai.

Dažniausiai valdikliai integruoja pjezoelektrines [2, 3], elektrostrikinės [4], elektrochrominės [5], magnetostrikinės [6, 7], formos atmintinės [8] medžiagas, pasižyminčias šilumos laidumu, maža paviršiaus varža, jautrias pH, pasižyminčias reologinėmis ir magnetinėmis savybėmis. Valdikliai reaguoja į įvesties veiksnius (elektrinę, mechaninę, optinę, cheminę ar šiluminę energiją) ir sukuria veiksmą arba tam tikros rūšies energijos pavertimą kita (1.1 lentelė). Pavyzdžiui, žinoma, kad dirbtiniai raumenys (10.1 pav.) veikia elektroaktyvių polimerų pagrindu. [9, 10]. Tekstilės valdiklių kūrimui naudojamos klasikinės technologijos (mezgimas, audimas, siuvimas), kombinuojamas su pažangiomis technologijomis, tokiomis kaip RF plazma, purškimas, 3D spausdinimas ir mikrobangų krosnelė.

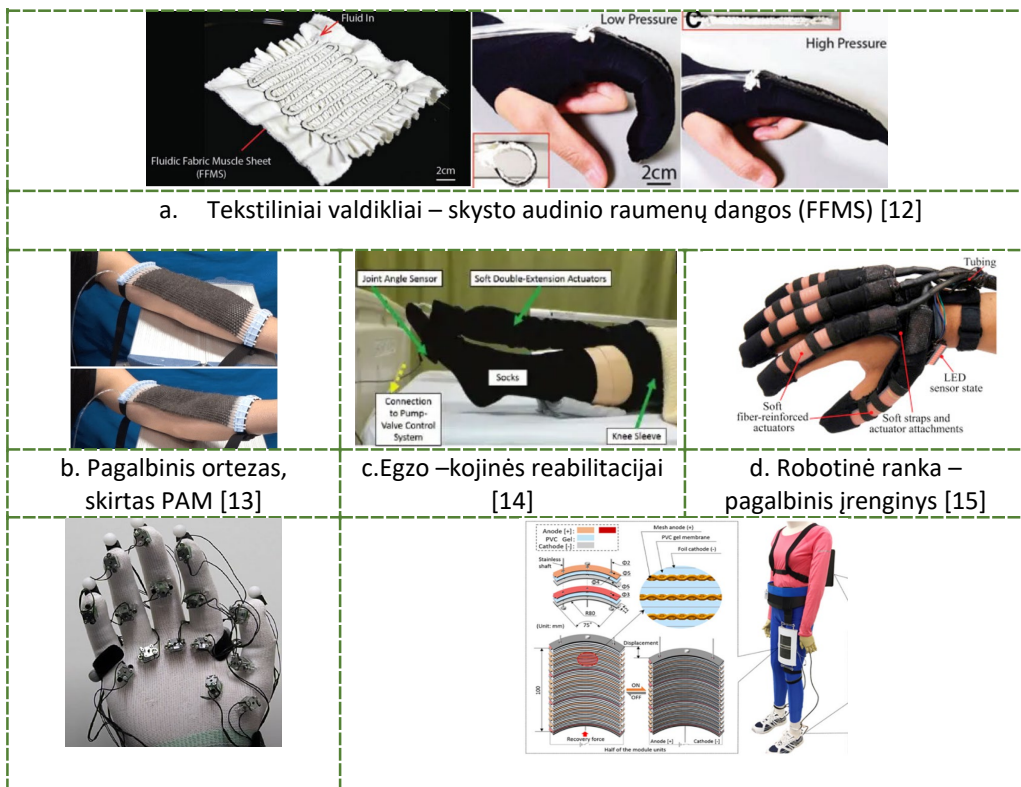




10.1 paveikslas. Dirbtiniai raumenų pagrindu pagaminti elektroaktyvūs polimerai [11]

10.2 Valdiklių tipai Ir jų gamyba

Valdikliai gali būti minkšti arba kieti, priklausomai nuo medžiagos lankstumo. Minkšti valdikliai yra lankstūs, tai yra tamprios medžiagos su kintamomis ir grįžtamomis savybėmis. Minkšti valdikliai (10.2 pav.) naudojami dėvimiems prietaisams, pvz., skysto audinio raumenų dangos (FFMS -10.2 pav. a), dirbtiniai raumenys (pneumatiniai dirbtiniai raumenys (PDR), pagaminti pynimo ar mezgimo technologijomis – 10.2 b pav.), mežtos egzo-kojinės reabilitacijai (10.2 pav. c), pirštinės reabilitacijai (10.2 pav. d), lietimą simuliuojanti pirštinė skirta VR (10.2 pav. e), dielektrinis elastomerinis valdiklis (DEV – 10.2 pav. f) ir minkštos rankenos. Antra vertus, kieti valdikliai, pagaminti iš kietų medžiagų, pasižymi nekintamomis savybėmis, netinka nešiojamiems įrenginiams, nes yra nepatogūs.



a. Tekstiliniai valdikliai – skysto audinio raumenų dangos (FFMS) [12]

b. Pagalbinis ortezas, skirtas PAM [13]

c. Egzo-kojinės reabilitacijai [14]

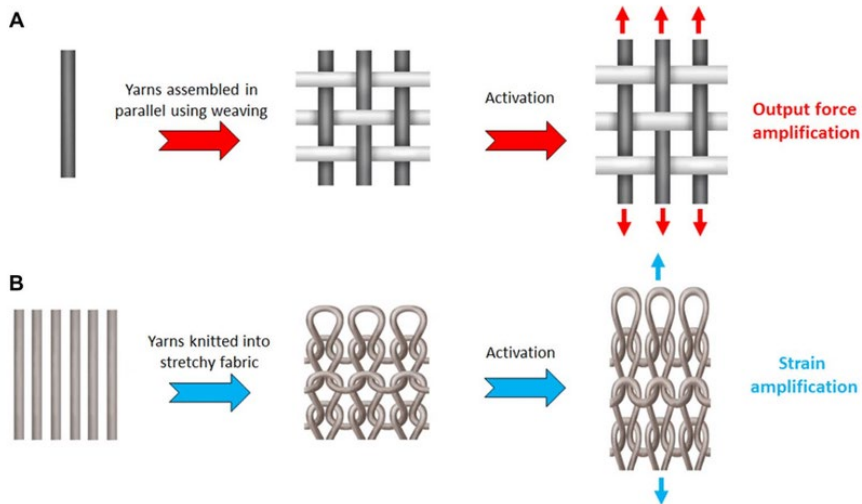
d. Robotinė ranka – pagalbinis įrenginys [15]



e. EM valdiklis lietimo funkciją simuliuojančiai pirštinei [16]	f. Dielektrinis elastomerinis valdiklis (DEV), skirtas sąnarių reabilitacijai [17]
---	--

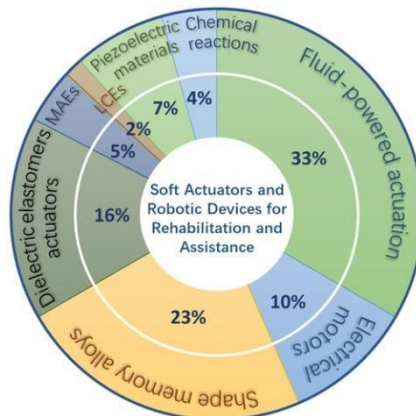
10.2 paveikslas. Tekstilinių (minkštų) valdiklių (soft actuators) pritaikymas

10.3 paveiksle parodytas audimo ar mezgimo būdu pagamintų tekstilinių valdiklių veikimo principas.



10.3 paveikslas. Valdikliai: A – audimo siūlai lygiagrečiai sustiprina jėgą; išilgine kryptimi B – apkrova buvo sustiprinta mezgant siūlus ataudų mezgimo struktūroje [18]

10.4 paveiksle parodytos kelios pažangios medžiagos, naudojamos minkštiems valdikliams.



10.4 paveikslas. Minkšti valdikliai, pagaminti iš dielektrinių elastomerų, SMA, MAE, LCE ir piezoelektrinių medžiagų [19]



10.1 Lentelė. Valdiklių tipai

Valdiklio tipas	Įvado stimulatorius	Išėjimo atsakas	Veiksmas	Medžiagos tipas	Pavyzdys
Terminis	Šiluminė energija	Mechaninė energija [19] (kinetika/judesys)	Termomechaninis (susitraukimas/ plėtimasis)	Šiluminė energija	Išmanioji termiškai veikianti tekstilė
Termoelektrinis	Šiluminė energija	Elektrinis	Termoelektrinis	Termoelektrinė	Šilumos pavertimas elektra
Elektromagnetinis	Elektros energija	Mechaninis	Elektromechaninis	Elektromagnetinė	Elektromagnetinės pavaros, skirtos prisilietimo stimuliavimui atvaizdavimui VR
Pjezoelektrinis	Mechaninė energija	Elektrinis	Pjezoelektrinis	Pjezoelektrinė	Pjezoelektrinis pluoštas, skirtas judesiams jautriai tekstilei
Optoelektroninis	Optinė energija	Elektrinis	Optoelektroninis	Fotoelektrinė	Fotovoltinė energija iš tekstilės
Elektroninis fotoninis	Elektros energija	Optinis	Elektrofotoninis	Elektrofotoninė	LED j tekstilę išmaniesiems drabužiams
Fototerminis	Šviesos energija	Šiluminis	Fototerminis	Fototerminė	fototerminės fazės keitimo tekstilė
Magnetinis reologinis	Magnetinis laukas	Magnetoelastinis efektas (deformacija)	Mechaninis (elastinė deformacija)	Magnetinė elastinė	Magnetoelastinis pluoštas
Elektrocheminis	Elektros energija	Cheminis	Elektrocheminis	Elektrocheminė	Susukty siūlų valdiklis
Fotocheminis	Šviesos energija	Cheminis	Fotocheminis	Fotocheminė	Pluošto tipas FET

10.3 Išvada

Valdikliai pavaros įvesties dirgiklius paverčia išvesties veiksmiais (mechaniniais, cheminiais, magnetiniais, elektriniais ir terminiais), daugiausia naudojami robotams (rankos protezavimas, egzoskeletas) ir dirbtinių raumenų reabilitacijai. Minkštas pavaras galima gauti tekstilės technologijomis (audimas, mezgimas, pynimas).

Nuorodos

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



19. Pan, M., Yuan, C., Liang, X., Dong, T., Liu, T., Zhang, J., Zou, J., Yang, H. and Bowen, C. Soft Actuators and Robotic Devices for Rehabilitation and Assistance. *Advanced Intelligent Systems*, 2022, 4(4), 2100140.
20. Yang, Y., Wu, Y., Li, C., Yang, X. and Chen, W. Flexible actuators for soft robotics. *Advanced Intelligent Systems*, 2020, 2(1), 1900077.

11. skyrius. JUTIKLIAMS GAMINTI NAUDOJAMŲ MEDŽIAGŲ APIBRĖŽIMAI, KŪRIMAS IR TAIKYMAS

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

11.1 Įvadas

Jutikliai yra esminė dabartinių naujovių dalis. Jie yra vadinamosios 4-osios pramonės revoliucijos ir naujos kartos interneto arba daiktų interneto, kaip jis paprastai žinomas, pagrindas. Kai kalbame apie jutiklį, galime jį apibūdinti kaip įrenginį, modulį, mašiną ar net sistemą, galintį aptikti arba išmatuoti vieną ar daugiau supančios aplinkos parametrų. Jutikliai matuoja parametrus, (įvestis) ir pateikia (perduoda) rezultatus (reikšmes) pagal matavimo prietaiso, kurio dalis jie yra, struktūrą.

Jutikliai naudojami įvairiose srityse – nuo medicinos iki aplinkos mokslų. Naujausi jutiklių dizaino pokyčiai pajvairino jų pritaikymą ir medžiagas, kuriose jie gali būti naudojami. Jie tampa mažesni, pigesni ir efektyvesni. Jie taip pat gali veikti sudėtingoje aplinkoje ir tarnauja ilgiau. Šiuos patobulinimus lėmė mikro ir nano dydžio medžiagos, taip pat skaitmeninės technologijos. Taip pat labai svarbu atsižvelgti į jutiklių gamybos būdus. Naudojami nauji metodai, pavyzdžiui, elektroninių grandinių spausdinimas, rezultatai yra įspūdingi.

Jutikliai veikia kasdienėje veikloje, dažnai vartotojui to aiškiai nesuvokiant. Pavyzdžiui, išmanieji telefonai turi daugybę skirtingų jutiklių, kurie naudojami atliekant įvairias užduotis ir palaikant programas, tokias kaip kompasas, akcelerometras, artumo jutikliai, orientacijos jutikliai ir šviesos įrenginiai. Jutikliai medicinoje yra gyvybiškai svarbūs ligų aptikimui, stebėjimui, gydymui ir gydymui. Neperdedama, kad dabartinė civilizacija yra pasinėrusi į technologijas, susijusias su jutikliais.

Nešiojami prietaisai priklauso nuo jutiklių, kurie informuoja apie nuvažiuotą atstumą, širdies plakimo diapazoną ir deguonies prisotinimą kraujyje ir kt. Žmogaus kūno ir aplinkos temperatūra taip pat gali būti matuojama naudojant miniatiūrinius atitinkamos paskirties jutiklius.

11.2 Nešiojami jutikliai sveikatos parametrų stebėjimui

Nešiojami jutikliai gali būti gaminti naudojant daugybę skirtingų transdukcijos metodų, įskaitant varžinį, talpinį pjezoelektrinį ar triboelektrinį. Visi šie metodai informuoja apie signalus naudodami elektronus.

Nešiojamus jutiklius galima suskirstyti į tris pagrindines kategorijas pagal išmatuotus biologinius signalus, tai yra, elektrofiziologinius, fizinius ir cheminius. [1]

11.3 Elektrofiziologiniai jutikliai

Gaminant elektrofiziologinius jutiklius, labai svarbu suprojektuoti plonus, atitinkančius ir biologiškai suderinamus epidermio elektrodus, kad sumažėtų odos ir elektrodo kontaktinė varža. Nuolatinis kontakto artumas yra esminis aspektas, leidžiantis mažinti odos ir elektrodo kontaktinę varžą. Elektrofiziologiniai jutikliai nustato elektrinių potencialų skirtumą tarp elektrodų specializuotuose audiniuose - širdies (elektrokardiografos (EKG)), smegenų (elektroencefalografija (EEG)) ir raumenys (EMG).

Dėl to gaunami įvairūs galutiniai produktai, įskaitant epidermio EEG, lipnią EKG, epidermio EKG, grafeno EEG ir šilko EMG.. [2]

Fiziniai jutikliai

Fiziniai jutikliai registruoja fizinius žmogaus kūno signalus. Yra keletas fizinių signalų, susijusių su žmogaus sveikata, pavyzdžiui, kraujospūdis, kūno temperatūra ir raumenų ar odos tempimas. Kuriant odą atitinkančius slėgio jutiklius, buvo naudotos tokios medžiagos: sidabriniai, auksiniai bei anglies nanovamzdeliai, grafenas, laidūs polimerai, joniniai skysčiai ir skystieji metalai.

Pagrindiniai jų tiriama parametrai yra jautrumas, histerezė ir ilgaamžiškumas.

Physical sensors measure pressure, temperature, light, strain, and sound. Applications of such sensors can be found on tattoo temperature sensors, gesture detection, bending degree, limb movement and muscle training.

Cheminiai jutikliai

Gaminant cheminius jutiklius gali būti naudojami ir natrio jonai, chlorido jonai, pieno rūgštis ir gliukozė. Kai kurie iš šių jutiklių yra gliukozės kiekio kraujyje detektoriai, mikrofluidiniai prakaito detektoriai, hidratacijos jutikliai ir tekstilės daugiajoniniai jutikliai, naudojami cistinei fibrozei diagnozuoti.s.

Jutiklio savybės

Pagrindiniai naudingo jutiklio tikslai yra tikslūs rezultatai, ilgaamžiškumas, maža kaina ir neutralus poveikis žmonėms bei aplinkai.

Norint pasiekti pirmiau minėtas charakteristikas, būtinos, be kita ko, keletas norimų jutiklių savybių, būtent geba išsitempti, moduliškumas, mastelio pritaikomumas, autonominio taisymosi savybės ir skaidrumas. Norint to pasiekti, svarbu naudoti nanostruktūrinės medžiagos, gelio pagrindu pagamintus joninius laidininkus, spausdintą elektroniką, tamprius elektrodus ir biorezorbuojamą elektroniką.

Be to, biorezorbuojamumą, biologinį suderinamumą, energijos suvartojimą ir pralaidumą galima pasiekti nustatant poveikį aplinkai, sveikatos veiksnius ir kuriant savarankiškas sistemas.

Be to, laidumas, jautrumas, aptikimo diapazonas, patikimumas, selektyvumas ir atsparumas vandeniui yra labai svarbios savybės temperatūros, deformacijos ir slėgio, elektrofiziologiniams, optiniams ir elektrocheminiams jutikliams. [3]

Tamprumas

Jutiklis, numatytas naudoti nešiojamame įrenginyje arba tvirtinamas prie žmogaus kūno, turi būti tamprus. Būdai, leidžiantys pasiekti tamprumą, apima medžiagų, naudojamų kaip elektrodai, matmenų sumažinimą [4], tamprųjų polimerų, hidrogelių ir joninių skysčių naudojimą. [5].

Formos veiksnys

Vertinant formos veiksnį, tikslas yra sukurti lanksčius, nešiojamus, plonus, sausus jutiklius, kurie būtų skaidrūs, lengvi ir patogūs. [6].

Permatomumas

Norint naudoti jutiklį žmogaus kūne, jis turi būti skaidrus. Keli metodai sukurti permatomus jutiklius yra polimerinės plėvelės ir metalinių elektrodų linijų pločio ribojimas. Kiti metodai apima permatomų elastinių anglies nanovamzdelių plėvelių, silicio nanolaidelių ir metalinių nanolaidelių naudojimą. [7, 8].

Biologinis suderinamumas

Mažas toksiškumas yra gyvybiškai svarbus ilgalaikiam jutiklių naudojimui ant žmogaus odos. Tam gali būti naudojamas inkapsuliuavimas arba kompozicija su biologiškai suderinamomis medžiagomis. Kitas būdas yra naudoti sausus klijus be gelio [9, 10].

11.4 Jutikliams gaminti naudojamos medžiagos

Kiekvienas jutiklio tipas apima konkrečias medžiagas, kurios buvo naudojamos, ištirtos arba yra tiriamos ir tiriamos, kad jas būtų galima naudoti. Medžiagų rūšis labai priklauso nuo galimo pritaikymo.

Temperatūros jutikliams naudojamas chromas ir auksas ant silikono pagrindo [11].

Elektrofiziologiniams jutikliams naudojami auksas ir sidabras CNT ir sidabro lydiniai [12, 13].

Slėgio ir deformacijos jutikliams naudojamas sidabras ir poliamido nanopluoštas, cinko oksida jūros ežio formos mikrodalelės ir tamprūs bei prisitaikantys matricų tinklai ant PVA arba PDMS pagrindų. [14, 15]

Elektrocheminiai jutikliai naudoja PEDOT: PSS ant SEBS substrato ir OECT pagrindu pagamintą kortizolį.

Išmanios medžiagos jutikliams gaminti

Dėl COVID-19 pandemijos protrūkio išmaniųjų medžiagų, naudojamų jutikliams, plėtra labai paspartėjo, jų naudojimas labai išaugo.

Išmaniosios medžiagos naudojamos keliose disciplinose, pradedant medžiagų mokslu, chemija, fizika, inžinerija ir nanotechnologijomis. [16].

Dažniausios tokio tipo medžiagos yra nanomedžiagos, grafenas, anglies nanodalelės, neorganinės medžiagos, organinės nanodalelės, laidūs ir izoliaciniai polimerai bei hibridinės medžiagos..

11.5 Išvados

Jutikliai palaiko žmonių gyvybes įvairiais būdais. Labai svarbu sukurti geresnius jutiklius su didesnėmis galimybėmis, kad juos galima būtų sėkmingai integruoti į kuo daugiau mūsų visuomenės aspektų. Sveikatos ir sportinės veiklos stebėjimo jutikliai, jutikliai, skirti stebėti aplinkos metriką, orą, jūrą, gyvūnus yra tik keletas svarbių sričių, kurios priklauso nuo šių pokyčių.

Visame pasaulyje tyrimų laboratorijose ir universitetuose atliekami medžiagų, galinčių sukurti kompleksiškesnius ir sudėtingesnius jutiklius, tyrimai..

Nuorodos

1. Ling, Y., Tiance, A., Lim Wei, Y., Zhu, B., Gong, S., Wenlong, Ch. Disruptive, Soft, Wearable Sensors. *Advanced Materials*, 2019. doi:10.1002/adma.201904664
2. Ha, M., Lim, S., Ko, H. Wearable and flexible sensors for user-interactive health-monitoring devices. *Journal of Materials Chemistry B*, 2018. doi:10.1039/C8TB01063C
3. Lim, H.R., Kim, H.S., Qazi, R., Kwon, Y.T., Jeong, J.W., Yeo, W.H. Advanced Soft Materials, Sensor Integrations, and Applications of Wearable Flexible Hybrid Electronics in Healthcare, Energy, and Environment. *Advanced Materials*, 2019. doi:10.1002/adma.201901924
4. Koo, J.H., Kim, D.C., Shim, H.J., Kim, T.H., Kim, D.H. Flexible and Stretchable Smart Display: Materials, Fabrication, Device Design, and System Integration. *Advanced Functional Materials*, 2018. doi:10.1002/adfm.201801834
5. Trung, T.Q., Lee, N.-E. *Advanced Materials*, 2017, 29, 1603167.
6. Wen, Z., Yang, Y., Sun, N., Li, G., Liu, Y., Chen, C., Shi, J., Xie, L., Jiang, H., Bao, D., Zhuo, Q., Sun, X., *Advanced Functional Materials*, 2018, 28. <https://doi.org/10.1002/adfm.201803684>
7. Lipomi, D.J., Vosgueritchian, M., Tee, B.C., Hellstrom, S.L., Lee, J.A., Fox, CH., Bao, Z. Skin-like pressure, and strain sensors based on transparent elastic films of carbon nanotubes. *Nat Nanotechnology*, 2011, 6(12), 788-792. Doi: 10.1038/nano.2011.184. PMID: 22020121.
8. Miyamoto, A., Lee, S., Cooray, N.F., Lee, S., Mori, M., Matsuhisa, N., Jin, H., Yoda, L., Yokota, T., Itoh, A., Sekino, M., Kawasaki, H., Ebihara, T., Amagai, M., Someya, T. Inflammation-free, gas-permeable, lightweight, stretchable on-skin electronics with nano meshes. *Nat Nanotechnology*, 2017, 12(9), 907-913. doi: 10.1038/nnano.2017.125. Epub 2017 Jul 17. PMID: 28737748.
9. Wang, C.Y., Xia, K.L., Wang, H.M., Liang, X.P., Yin, Z., Zhang, Y. *Advanced Materials*, 2019, 31, <https://doi.org/10.1002/adma.201801072>
10. Wang, C., Li, X., Hu, H., Zhang, L., Huang, Z., Lin, M., Zhang, Z., Yin, Z., Huang, B., Gong, H., Bhaskaran, S., Gu, Y., Makihata, M., Guo, Y., Lei, Y., Chen, Y., Wang, C., Li, Y., Zhang, T., Chen, Z.,



- Pisano, A.P., Zhang, L., Zhou, Q., Xu, S. Monitoring of the central blood pressure waveform via a conformal ultrasonic device. *Nat Biomed Eng.*, 2018, 2(9), 687-695. doi: 10.1038/s41551-018-0287-x. Epub 2018 Sep 11. PMID: 30906648; PMCID: PMC6428206.
11. Krishnan, S.R., Su, C.-J., Xie, Z., Patel, M., Madhvapathy, S.R., Xu, Y., Freudman, J., Ng, B., Heo, S.Y., Wang, H., Ray, T.R., Leshock, J., Stankiewicz, I., Feng, X., Huang, Y., Gutruf, P., Rogers, J.A. *Small*, 2018, 14. <https://doi.org/10.1002/sml.201803192>
 12. Son, D., et al. An integrated self-healable electronic skin system fabricated via dynamic reconstruction of a nanostructured conducting network. *Nature nanotechnology*, 2018, 13(11), 1057-1065.
 13. Choi, S., Han, S.I., Jung, D., et al. Highly conductive, stretchable, and biocompatible Ag–Au core–sheath nanowire composite for wearable and implantable bioelectronics. *Nature Nanotech*, 2018, 13, 1048–1056. <https://doi.org/10.1038/s41565-018-0226-8>
 14. Fan, Y.J., Li, X., et al. *ACS Nano*, 2018, 12, 9326.
 15. Yin, B., Liu, X., et al. *Nat. Commun*, 2018, 9, 5161
 16. Özgecan, E., Esmā, D., Kutay, S., Eylül, G.Y., Fatih, I. Smart materials-integrated sensor technologies for COVID-19 diagnosis. *Emergent Materials*, 2021. doi:10.1007/s42247-020-00150-w

12. Skyrius. JUTIKLIŲ KOMFORTO VERTINIMAS

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

12.1 Įvadas

Jutiklių komfortas yra svarbus vertinant tekstilę. Ši sąvoka paprastai naudojama apibūdinti audinio pojūtį, susijusį su jo sąlyčiu su žmogaus oda, atsižvelgiant į glotnumą, šilkiškumą ar kitas kokybines savybes, kurios pagerina tekstilės dėvimąsias savybes. Šį pojūtį taip pat galima vadinti *audinio grifu* arba *audinio pojūčiu*, dėl tiesioginių užuominų į kūno jautrumo ir patogumo laipsnį, kai jis liečiasi su pluoštu [1]. Svarbu paminėti, kad priklausomai nuo žmogaus, kuris dėvi atitinkamą tekstilę, pageidavimų, skirsis kintamieji, kurie lemia jos kokybę ir patogumą, nes toks vertinimas yra visiškai subjektyvus. [2].

Mechaninis tekstilės kontaktas su oda sukelia komforto jausmą arba jo nesukelia. Tekstilė gali būti prilipusi prie prakaitu sušlapusios odos, braižyti odą arba būti per standi, o tai paprastai jaučiama kaip nemalonus pojūtis, arba ji gali būti minkšta ir lygi – tai pojūčiai, priskiriami patogumui ir malonumui. Be to, kai kurie tekstilės gaminiai gali net sudirginti, kai jie liečiasi su oda mechaniniu būdu. Tokie gaminiai būtų priskirti prie nepatogios tekstilės. [3] Labai tikėtina, kad išmaniosios tekstilės gaminiai sukurs tokį efektą dėl laidžių siūlų, kuriuos jie gali turėti savo struktūroje.

Audinio trintis ir šiurkštumas bei tai, kaip jis veikia žmogaus odą, taip pat yra svarbūs veiksniai vertinant audinio patogumą. Šis kontaktas ir (arba) trintis, kartu su tekstilės šiurkštumu ar glotnumu, sukuria pojūtį, kuris vėliau yra vertinamas. Paprastai glotnumas siejamas su patogumu ir yra gerai vertinamas [4].

12.2 Pagrindiniai komforto vertinimo veiksniai

Vertinant pluošto, audinio ar tekstilės patogumą, galima atsižvelgti į konkretesnius audinio pojūčius: [5]:

Pirmiausia galime kalbėti apie esminius lytėjimo pojūčius: dygumą, kutenimą, šiurkštumą, glotnumą, drėgmę, braškėjimą, niežėjimą, išrankumą, lipnumą.

Kaip jau minėta, trinties jėga vaidina svarbų vaidmenį fizikiniame pluošto ar tekstilės įvertinime: netaisyklingas arba grubus pluošto paviršius visada sukels didesnę trintį nei lygus. [6]. Taigi jėga, reikalinga audiniui perslinkti išilgai odos, kai vyksta odos ir audinio sąlytis, yra priešinga šio kontakto sukuriama trinties jėgai. Kai taikoma jėga viršija trinties jėgą, audinys juda palei odą. Slydimo paviršių trinties charakteristikos dažnai apibūdinamos trinties koeficientu, kuris apibrėžiamas kaip pasipriešinimo jėgos (lygiagrečios paviršiumi) ir normalios jėgos, spaudžiančios besiliečiantį paviršių, santykis. [7, 8].

Antras veiksnys yra pojūtis, kurį pluošte gali sukelti drėgmės buvimas arba nebuvimas, pavyzdžiui, jei pluoštas yra drėgnas, drėgnas, šlapias, lipnus, nesugeriantis, lipnus.

Kai kurie tyrimai rodo, kad drėgmė padidina trintį tarp audinio ir odos, todėl žmogaus jaučia, kad tekstilės gaminiai tokiomis sąlygomis yra šiurkštesni nei sausoje aplinkoje. Kitaip tariant, kuo daugiau drėgmės, tuo daugiau trinties ir nepatogių pojūčių. Taigi, reakcija į drėgmę tampa svarbiu jutiminio komforto vertinimo veiksniu [9].

Gijų skaičius verpaluose taip pat keičia pojūtį liečiant audinį: kuo didesnis gijų skaičius, tuo audinys bus minkštesnis. Štai kodėl mikrogijos naudojamos kai kuriose konkrečiose srityse, kurios turi sukurti malonų jausmą, kai audinys liečiasi su oda. Kalbant apie išmaniąją tekstilę, laidūs siūlai turi kitokias savybes nei audinio siūlai, o mikrogijų sąvoka nenaudojama. Taip pat elektrai laidžių siūlų standumas gali turėti įtakos audinio glotnumui.

Kai kurias iš šių savybių lengviau pakeisti sintetiniuose audiniuose, o ne natūraliuose pluoštuose (ypač augaliniuose).

Tada audinio priglundimas prie kūno ir tai, kaip jis jaučiamas, pavyzdžiui, priglundęs, laisvas, lengvas, sunkus, minkštas, standus.

Ir galiausiai, taip pat svarbus kintamasis: šilumos pojūtis: šaltis, šaltis, vėsa, šilta, karšta.

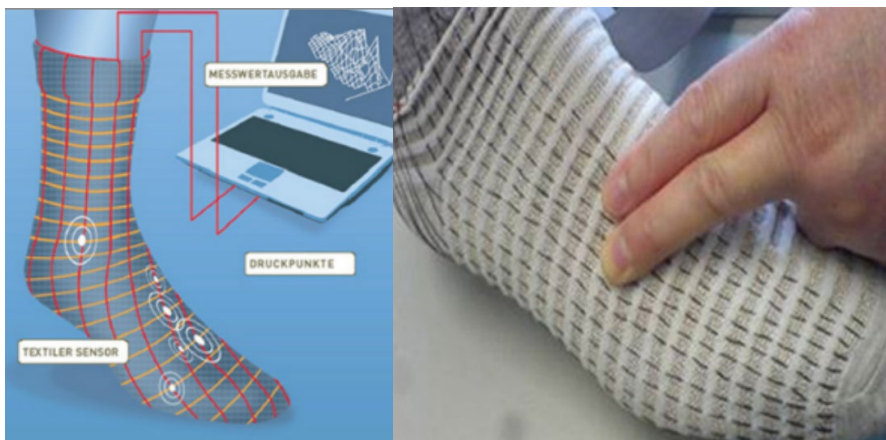
12.3 Inovacijos ir komfortas

Sportinių drabužių rinka yra sritis, kurioje reikalaujama didelio tekstilės našumo ir didelio komforto pojūčio. Šioje tekstilės taikymo srityje sportininkams reikia ne tik jaustis patogiai įprastomis sąlygomis, bet ir atliekant specifinę veiklą, o tai reiškia, kad ilgai kartojami judesiai, kuriuos atliekant audinys trina odą, tikrina, kaip audinys reaguoja į drėgmę ir prakaitą, taip pat atsparumą ir apsaugą nuo nepalankių klimato sąlygų (tiek aukštos, tiek žemos temperatūros). Taigi, tai yra priežastis, dėl kurios sporto pasaulis teisingai parodo tekstilės komforto vertinimą. Be to, šiuo metu dėmesio centre yra naujovių, sporto ir komforto derinys [10]. Toliau pateikiamas įdomus pavyzdžių rinkinys [10]:



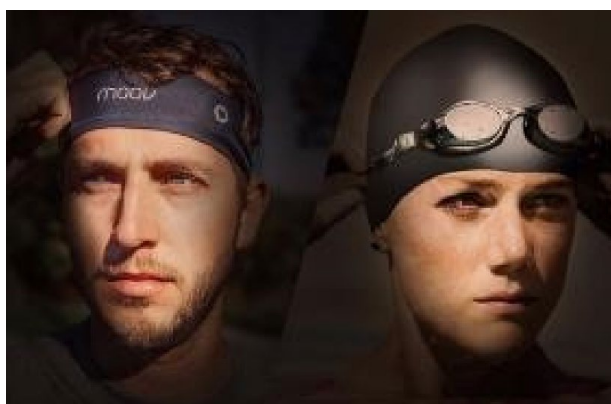
12.1 paveikslas. Sensoria produktai su jutikliais (marškinėliai be rankovių, sportinė liemenėlė, kojinės ir bėgimo bateliai)

Prekės ženklas „Sensoria“ sukūrė keletą išmaniųjų gaminių, susijusių su sportine apranga, linijų. Asortimente yra drabužių, praderdant treniruočių drabužiais, kojinių ir iki marškinėlių. Šių naujoviškų produktų ypatybės leidžia sekti širdies plakimą, greitį, skaičiuoti kalorijas ir atstumą, ir kt.



12.2 paveikslas. „SmartSock“ iš Alphafit skirta tinkamumui matuoti

„SmartSock“ yra įdomių savybių ir funkcijų gaminys. Jis suteikia galimybę įvertinti, ar pėda tinka bate.



12.3 paveikslas. Moov HR prakaitui sulaikyti skirta juosta ir plaukimo kepuraitė

MOV HR yra prakaito juosta, kuri gali sekti žmogaus sveikatos rodiklius, pavyzdžiui, širdies ritmą, arba teikti labiau individualizuotus duomenis, nes ją galima prijungti ir sinchronizuoti su ausinėmis. Be to, ją galima naudoti ir po maudymosi kepuraitė.



12.4 paveikslas „Venture Heat Deluxe“ šildomos striukės pamušalas

Venture Heat Deluxe Heated Jacket Liner suteikia jį dėvinčiam žmogui šildantį pojūtį, kuris sušvelnins šalčio pojūtį lauke. Tai ypač naudinga motociklininkams.

Visi šie daiktai turi pasižymėti aukštu komforto lygiu, kad jie veiktų teisingai ir netrikdytų sportininko veiklos.

12.4 Santrauka

Šioje analizės vietoje kai kurie teiginiai yra aiškūs. Viena vertus, tekstilės ir drabužių patogumas gali būti vertinamas iš kelių pusių. Kita vertus, galime daryti išvadą apie labiausiai svarstomus kintamuosius, ir tai yra gerai, nes patogumas yra subjektyvi kokybė. Vis dėlto plačiajai visuomenei lytėjimo pojūčiai, susiję su minkštumu ir kitomis sąlygomis, susijusiomis su drėgme, tikriausiai yra laikomi svarbiausiais kintamaisiais, kurie lemia, ar tekstilė yra komfortiška, ar ne.

Ir galiausiai, kalbant apie konkretų šio patogumo pritaikymą naujos kartos tekstilės gaminiams, reikia pabrėžti, kad naujovės suteikia gaminiams daug naujų pritaikymų bei patobulinimų, o dėvėjimo pojūtis yra faktorius, kurio niekada nereikia pamiršti.

Nuorodos

1. Meinander, H., Luible, C., Magnenat-Thalmann, N. Influence of Physical Parameters on Fabric Hand. *Proceedings of the HAPTEX'05 Workshop on Haptic and Tactile Perception of Deformable Objects, Hanover, 2005*, 12.
2. Pan, N., Yen, K.C., Zhao, S.T., Yang, S.R. A New Approach to the Objective Evaluation of Fabric Handle from Mechanical Properties, Part I; Objective Measure for Total Handle. *Textile Research Journal*, 1988, 58, 438-444.
3. Bartels, V.T. Physiological comfort of bio functional textiles in Current problems in Dermatology. G. burg, Editor: Karger, Switzerland, 2006, 51-66.
4. LaMotte, R.H. Psychophysical and Neurophysiological Studies of Tactile Sensibility, in Clothing comfort. N.R.S. Hollies and R.F. Goldman, Editors: Michigan, 1977, 83-105.



5. Sundaresan, S., and Dasaradan, B.S. Comfort Properties of Apparels. *The Indian Textile Journal*, 2007, 32, 2-10.
6. Bhupender, E.M., and Gupta, S. Friction in Fibrous Materials. *Textile Research Journal*, 1991, 61(9), 547-554.
7. Gwosdow, A.R., and Steven, J.C. Skin friction and fabric sensations in neutral and warm environments. *Textile Research Journal*, 1986, 56(9), 574-580.
8. Nawaza, N., Troynikovb, N., Watsonc, C. Evaluation of Surface Characteristics of Fabrics Suitable for Skin Layer of Firefighters' Protective Clothing. *International conference on Physics Science and Technology*, 2011.
9. Li, Y., ed. The Science of clothing comfort. *The Textile Institute, Textile Progress*, Oxford, UK, 2001, 103
10. Kazani, I., Lutz, V., Malik, S., Mazari, A., Nierstrasz, V., Rodrigues, L., Tedesco, S. CONTEXT-COST, *Smart textiles for sportswear and wearables (WG5)*, 2021.

13. Skyrius FOTONINĖS MEDŽIAGOS NAUDOJAMOS JUTIKLIAMS

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

13.1 Įvadas

Fotonika yra studijų sritis, apimanti spinduliuotės naudojimą šviesos dažnių spektre, naudojant pagrindinį šviesos elementą – fotoną. Yra ryšys tarp elektroninių ir fotoninių programų - elektroninės programos naudoja elektronus, panašiai kaip fotoninės programos – fotoną. Fotonika turi specifinių pranašumų, lyginant su elektronika, ir tai yra priežastis, kodėl ji yra naudojama.

Įvairūs fotoniniai komponentai jau yra prieinami ir naudojami įprastuose įrenginiuose, pavyzdžiui, lazeriuose, optiniuose pluoštuose, mobiliųjų telefonų kamerose ir ekranuose, optiniuose pincetuose, transporto priemonių ir pastatų apšvietime, kompiuterių ekranuose ir televizoriuose ir kt.

Terminu „fotoninės medžiagos“ vadiname medžiagas, kurios skleidžia, aptinka, manipuliuoja arba valdo šviesą. Fotoniniai prietaisai skleidžia, perduoda ir aptinka šviesą ir yra sukonstruoti naudojant lazerinius ar šviesos diodus, saulės ir fotovoltinius elementus, ekranus ir optinius stiprintuvus.

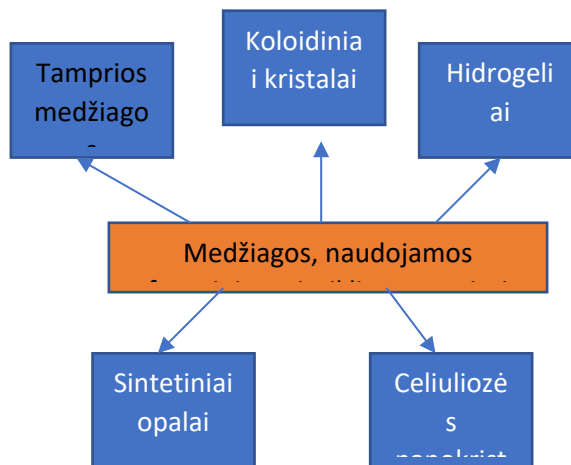
13. 2 Fotoninių medžiagų panaudojimas jutikliuose

Viena iš paplitusių medžiaga rūšių, naudojama kaip jutimo elementai, yra vadinamieji savaime susirenkantys koloidiniai kristalai. Tai mikro ar net nano mastelio kristalai, labai smulkios dispersijos forma. Paprastai jie gaminami iš tirpalo. Sudedamųjų medžiagų struktūra ir pobūdis lemia fotoninės juostos plotį ir jų struktūrinę spalvą, todėl jos yra naudingos kaip jutimo elementai įvairiose srityse.. [1].

Fotoniniai jutikliai turi tam tikrų pranašumų, palyginti su įprastais elektroniniais jutikliais. Tai yra didelis jautrumas, maža histerezė, atsparumas elektromagnetiniams trukdžiams [2]

Medžiagos

Pastaraisiais metais tobulėjo turimos technologijos ir fotoninių jutiklių naudojimas. Pagrindinės šių medžiagų kategorijos pateiktos paveikslėlyje 13.1.



13.1 paveikslas. Medžiagos, naudojamos fotoniniams įrenginiams

Tamprios medžiagos elastomerų pagrindu

Dažnas išmaniosios tekstilės komponentas yra funkcionalios tamprios medžiagos ir dažniausiai tempiami elektrai laidūs elementai. Pagrindas paprastai yra elastomeras, kuris veikia kaip laidžių užpildų ir tinklų matrica arba kaip laidžių plėvelių, takelių ir funkcinių įtaisų atraminė medžiaga. [3]. Pageidautina elastomerų savybė yra jų lankstumas, o tai reiškia, kad jie atlaiko tempimo jėgas ir gali išlaikyti savo pradinę formą po įtempimo ar po tūkstančio tempimo/atleidimo ciklų. Ištempiami jutikliai turi optinio skaidrumo funkciją, palengvinančią optinį pritaikymą optoelektronikoje, fotodetektoriuose, šviesą sklaidžiančiuose įrenginiuose, saulės elementuose [4, 5].

Polidimetilsiloksanas (PDMS) yra plačiausiai naudojama elastomerinė medžiaga atitinkamose srityse. Tai mineralinis-organinis polimeras, kurio sudėtyje yra silikono, taip pat ir brandus komercinis produktas, nes jau seniai yra rinkoje. [6].

Be to, elektros laidininkams gaminti naudojamos elastomero medžiagos. Dažniausiai naudojami elektros laidininkai yra pagaminti iš metalinių plėvelių, metalinių nanolaidų, anglies pagrindu pagamintų nanomedžiagų, savaiminio laidumo polimerų, skystų metalų ir joninių skysčių.

Buvo sukurti įrenginiai, pagrįsti jutikliais, kurių gamybai naudojamos elastomerinės medžiagos, pavyzdžiui, deformacijos matuokliai [7], slėgio jutikliai [8], temperatūros jutikliai [9], dujų [10] ir UV jutikliai. [11].

Koloidiniai kristalai

Koloidiniai kristalai yra sekos matricos struktūra, sudaryta iš monodispersinių, neorganinių arba organinių nanodalelių [12, 13]. Visos įdomios optinės savybės, susijusios su fotoniniais kristalais, atsiranda dėl energijos juostų egzistavimo [14].

Fotoniniai kristalai skirstomi pagal jų matmenis: vienmačiai (1D), dvimačiai (2D) ir trimačiai. (3D) [15]. Koloidiniai kristalai priskiriami trimačių fotoninių kristalų kategorijai.

Colloidal crystals have been reported to be integrated in time-temperature sensors [16].

Fotoninis lakštas koloidinių kristalų pagrindu buvo pagamintas naudojant monodispersinį polistireną (PS) ant polidimetilsiloksano (PDMS) pagrindo. Atsižvelgiant į elastomero pagrindo įtempimą ir jo deformaciją, keičiasi lakšto spalva [17].

Hidrogeliai

Hidrogeliai yra dvifazės medžiagos, susidedančios iš skysčio (tai dažniausiai yra vanduo) ir porėtos bei vandeniui laidžios kietos polimerinės struktūros. Pakeitus cheminės sintezės technologiją (pvz., vandens koncentraciją), keičiasi hidrogelių mechaninės savybės (pvz., elastingumas, šlyties stiprumas ir kt.). Panašus poveikis atsiranda, jei jie keičia savo polimerinės matricos struktūrą. Tokiu būdu, pritaikydami savo chemines savybes ir fizinę struktūrą, jie tampa jautrūs išoriniams dirgikliams ir biologiniam suderinamumui; jie gali būti formuojami įvairiose struktūrose ir integruojami į mikrosistemas [18].

Hidrogelių sintezė atliekama vandeniniuose tirpaluose taikant UV spinduliuotę [19], terminiu būdu inicijuojamą radikalinę polimerizaciją [20], adityvinę reakciją [21], savaiminį atpažįstamų motyvų susirinkimą, pavyzdžiui, susisukusių spiralių [22], peptidų [23]., vandenilio tiltelių [24] arba DNR [25].

Hidrogeliai gali būti naudojami jutikliams gaminti, bet taip pat gali jie patys gali būti jutikliais. Kitas hidrogelių pritaikymas yra galimybė juos naudoti kaip biojutiklius.

Sintetiniai opalai

Sintetiniai opalai yra dirbtiniai opalai, ty hidratuotas silicio dioksidas SiO₂. Jų cheminė sudėtis, vidinė struktūra, fizinės savybės ir išvaizda yra tokie patys, kaip ir natūralių opalų. Jie taip pat vadinami laboratorijoje sukurtais opalais, laboratorijoje išaugintais opalais arba išaugintais opalais, nurodant, kad juos pagamino žmogus. Opalai yra kristalai, kurie gali nukreipti arba sulaukyti šviesos sklaidimą, užtikrindami šviesos lokalizaciją, o tai yra labai pageidautinas efektas fotoniniuose įrenginiuose.

Pavyzdžiui, nuoroda į sintetinius opalus, sudarytus iš vienodo skersmens a-SiO₂ sferų, glaudžiai suspausta į 3D paviršiuje centruotas kubines groteles, kurių periodai yra apie 200 nm, reiškia, kad jie turi fotonines stabdymo juostas visame matomame spektre. (400–600 nm) [26].

Celiuliozės nanokristalai

Nano formos celiuliozė (nanodalelės (NP) yra dar viena daug žadanti nauja medžiaga fotoninėse srityse. Celiuliozės NP savybės labai skiriasi nuo birios celiuliozės savybių. Nustatyta, kad kompozicinės plonos plėvelės, pagamintos iš celiuliozės nanokristalų, turi geresnį jutimo galimybių. [27].

Celiuliozės nanokristalų taikymas apima įvairius jutiklių tipus, slėgio, deformacijos, artumo, dujų ir garų jutiklius, biojutiklius, optinius, PH, fluorescencinius ir elektrocheminius jutiklius. [27].

Celiuliozės nanokristalų sintezė paprastai atliekama sieros rūgšties hidrolizės metodu, gerai apibrėžtu ir nusistovėjusiu metodu. Celiuliozės nanokristalai jau naudojami kai kuriuose medicinos gaminiuose, jie tikrai turi nešiojamų jutiklių potencialą [28].

13.3 Išvada

Fotoninės medžiagos turi tam tikrų pranašumų, palyginti su elektronikos programomis, daugiausia didelio jautrumo, mažos histerezės ir atsparumo elektromagnetiniams trukdžiams. Išmaniosios tekstilės gaminių optinių skaidulų taikymai buvo naudojami gana ilgą laiką, tačiau jie apsiriboja tekstilės estetinė dalimi ir neatlieka jokių funkcijų. Fotonikos prietaisų, tokių kaip šviesos ar cheminių jutiklių, naudojimas tekstilėje yra pagrįstas mikro- ar nanokoloidiniais kristalais, kurie nusėda ant tekstilės pagrindo. Šie kristalai yra pagaminti iš mineralų, tokių kaip silicio dioksidas, pvz. monodispersinis polistirenas ant polidimetilsiloksano substrato arba α -SiO₂ mikrokristalų. Daug žadanti fotoninė medžiaga, turinti didelį nešiojamų jutiklių potencialą, yra celiuliozės nanokristalai.

Nuorodos

1. Zheng, H., Ravaine, S. Bottom-Up Assembly and Applications of Photonic Materials. *Crystals*, 2016, 6(5). doi:10.3390/cryst6050054
2. Peng, W., Wu, H., Flexible and Stretchable Photonic Sensors Based on Modulation of Light Transmission. *Advanced Optical Materials*, 2019, 7. <https://doi.org/10.1002/adom.201900329>
3. Yu, X., Mahajan, B., Shou, W., Pan, H. Materials, Mechanics, and Patterning Techniques for Elastomer-Based Stretchable Conductors. *Micromachines*, 2016, 8(1). doi:10.3390/mi8010007
4. Yao, S., Zhu, Y. Nanomaterial-enabled stretchable conductors: Strategies, materials and devices. *Adv. Mater.*, 2015, 27, 1480–1511
5. McCoul, D., Hu, W., Gao, M., Mehta, V., Pei, Q. Recent advances in stretchable and transparent electronic materials. *Adv. Electron. Mater.*, 2016, 2, 1500407
6. Vohra, A.; Filiatrault, H.L.; Amyotte, S.D.; Carmichael, R.S.; Suhan, N.D.; Siegers, C.; Ferrari, L.; Davidson, G.J.E.; Carmichael, T.B. Reinventing butyl rubber for stretchable electronics. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 5222–5229
7. Amjadi, M.; Kyung, K.-U.; Park, I.; Sitti, M. Stretchable, skin-mountable, and wearable strain sensors and their potential applications: A review. *Adv. Funct. Mater.*, 2016, 26, 1678–1698
8. Gong, S.; Schwalb, W.; Wang, Y.; Chen, Y.; Tang, Y.; Si, J.; Shirinzadeh, B.; Cheng, W. A wearable and highly sensitive pressure sensor with ultrathin gold nanowires. *Nat. Commun.*, 2014, 5, 3132
9. Yu, C.; Wang, Z.; Yu, H.; Jiang, H. A stretchable temperature sensor based on elastically buckled thin film devices on elastomeric substrates. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 95, 141912
10. Yun, J.; Lim, Y.; Jang, G.N.; Kim, D.; Lee, S.-J.; Park, H.; Hong, S.Y.; Lee, G.; Zi, G.; Ha, J.S. Stretchable patterned graphene gas sensor driven by integrated micro-supercapacitor array. *Nano Energy*, 2016, 19, 401–414
11. Yoon, J.; Hong, S.Y.; Lim, Y.; Lee, S.-J.; Zi, G.; Ha, J.S. Design and fabrication of novel stretchable device arrays on a deformable polymer substrate with embedded liquid-metal interconnections. *Adv. Mater.*, 2014, 26, 6580–6586

12. Asher, S.A., Alexeev, V.L., Goponenko, A.V., Sharma, A.C., Lednev, I.K., Wilcox, C.D., Finegold, J. *Am. Chem. Soc.*, 2003, 125, 3322
13. Pratibha, R., Park, W., Smalyukh, I.I. *J. Appl. Phys.*, 2010, 107
14. Kittel, C. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley & Sons, New York, 1976
15. Furumi, S.; Fudouzi, H.; Sawada, T. Self-organized colloidal crystals for photonics and laser applications. 2010, 4(2), 205–220. doi:10.1002/lpor.200910005
16. Schöttle, M., Tran, T.; Feller, T.; Retsch, M. Time–Temperature Integrating Optical Sensors Based on Gradient Colloidal Crystals. *Advanced Materials*, 2021. doi:10.1002/adma.202101948
17. Fudouzi, H., Sawada, T. *Langmuir*, 2006, 22, 1365
18. Buenger, D.; Topuz, F.; Groll, J. Hydrogels in sensing applications. 2012, 37(12). doi:10.1016/j.progpolymsci.2012.09.001
19. Nguyen, K.T, West, J.L. Photopolymerizable hydrogels for tissue engineering applications. *Biomaterials*, 2002, 23, 4307–14.
20. Biswal, D., Hilt, J.Z. Microscale analysis of patterning reactions via FTIR imaging: application to intelligent hydrogel systems. *Polymer*, 2006, 47, 7355–60.
21. Dalton, P.D., Hostert, C., Albrecht, K., Moeller, M., Groll, J. Structure and properties of urea-crosslinked star poly (ethylene oxide)-ran- (propylene oxide) hydrogels. *Macromolecular Bioscience*, 2008, 8, 923–31.
22. Vandermeulen, G.W.M., Tziatzios, C., Duncan, R., Klok, H.A. PEG-based hybrid block copolymers containing alpha-helical coiled coil peptide sequences: control of self-assembly and preliminary biological evaluation. *Macromolecules*, 2005, 38, 761–9.
23. Galler, K.M., Aulisa, L., Regan, K.R., D’Souza, R.N., Hartgerink, J.D. Self-assembling multidomain peptide hydrogels: designed susceptibility to enzymatic cleavage allows enhanced cell migration and spreading. *Journal of the American Chemical Society*, 2010, 132, 3217–23
24. Dankers, P.Y.W., Harmsen, M.C., Brouwer, L.A., Van Luyn, M.J.A., Meijer, E.W. A modular and supramolecular approach to bioactive scaffolds for tissue engineering. *Nature Materials*, 2005, 4, 568–74.
25. Topuz, F., Okay, O. Rheological behavior of responsive DNAhydrogels. *Macromolecules*, 2008, 41, 8847–54
26. Vlasov, Yu.A.; Astratov, V.N.; Karimov, O. ; Kaplyanskii, A. A.; Bogomolov, V. ; Prokofiev, A.V. Existence of a photonic pseudogap for visible light in synthetic opals. *Physical Review B*, 1997, 55(20), R13357–R13360. doi:10.1103/PhysRevB.55.R13357
27. Ansari, J.R. Nanocellulose Based Composites for Electronics. *Nanocellulose-based materials/composites for sensors*, 2021, 185–214. doi:10.1016/B978-0-12-822350-5.00008-4
28. Kelcylene, B.R.T; Rafaela, C.S.; Fernanda, L.M.; Pavinatto, A.; Murilo H.M.F. ; Correa, D.S. A Review on the Role and Performance of Cellulose Nanomaterials in Sensors. *ACS Sensors*, 2021. doi:10.1021/acssensors.1c00473

14. Skyrius. ELEKTRONINĖS TEKSTILĖS PAŽEIDIMAI

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

Apibrėžimas

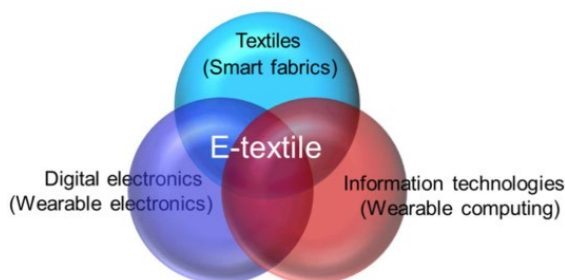
Aktyvus išmanusis audinys, kurio sudėtyje yra elektroninių elementų, vadinamas E-tekstile (elektronine arba išmaniąja tekstile). Elektroninė tekstilė iš tikrųjų yra nešiojami kompiuteriai arba elektroniniai prietaisai, įtraukti į drabužių dizainą. Išmanieji audiniai gali būti naudojami interjero dizaino technologijose. Tai reiškia, kad elektronikos komponentai įterpiami į audinius ar pluoštą [1]. Be to, e-tekstilė gali būti naudojama mikro/nanopluošto pagrindu pagamintuose drabužiuose, kuriuose yra integruota elektronika ir kurie "skaito" kūno formas. [3, 4].

14.1 Įvadas

E-tekstilė pasižymi elastingumu, lankstumu ir patogumu [2]. Priklausomai nuo naudojimo srities, e-tekstilė taip pat žinoma kaip išmanioji tekstilė, technotekstilė, nešiojami kompiuteriai ir nešiojama elektronika. [5, 6].

Multidisciplininis elektroninės tekstilės charakteris apima:

- tekstilė (išmanius audinius);
- skaitmeninės elektronikos sistemas (dėvimąją elektroniką);
- informacines technologijas (dėvimus kompiuterius) (14.1 paveikslas) [5].

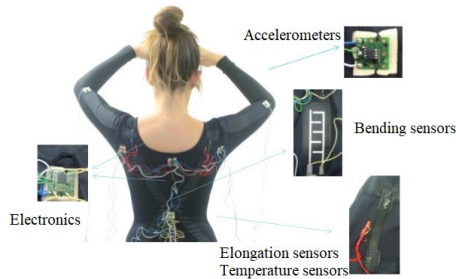


14.1 paveikslas Multidisciplininis elektroninės tekstilės charakteris.

14.2 Elektroninės tekstilės klasifikacija

Elektroninę tekstilę galima suskirstyti į tris kategorijas [7]:

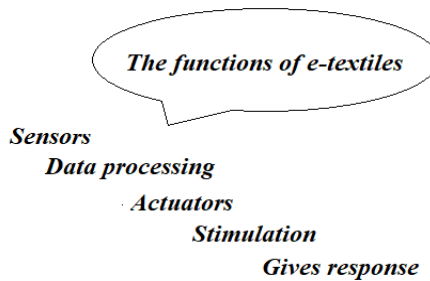
1. Pasyvioji e-tekstilė, pagrįsta jutikliais, galinčiais pajusti aplinką.
2. Aktyvi išmanioji tekstilė, reaguojanti į aplinkos dirgiklius, kurios pagrindas yra valdiklio funkcija ir jutiklis. Aktyvios išmaniosios tekstilės pavyzdys pateiktas 14.2 paveiksle [8].



14.2 paveikslas. Aktyvi išmanioji tekstilė

3. Labai išmani tekstilė, kuri jaučia aplinkos dirgiklius, reaguoja ir prisitaiko prie jų elgesio. Visos elektroninės tekstilės funkcijos.
4. Labai išmani tekstilė: geba jausti, reaguoti ir pritaikyti savo elgesį prie konkrečių aplinkybių.

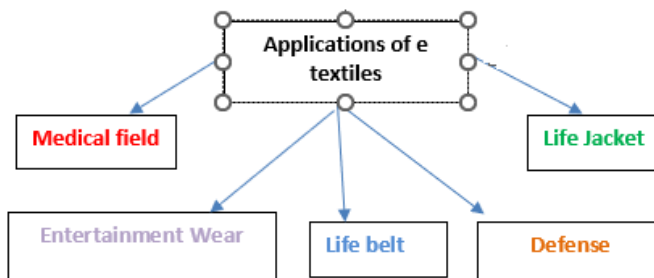
Elektroninės tekstilės funkcijos pateikiamos 14.3 paveiksle.



14.3 paveikslas. Elektrinės tekstilės funkcijos

Jutikliai yra būtini norint užfiksuoti aplinkos parametrus. Aktyvus apdorojimas skirtas duomenims apdoroti ir pateikti atsakymams pagal jutiklio (valdiklio) funkciją. Stimulatorius šiuo atveju yra aplinka.

Elektroninės tekstilės pritaikymas galimas skirtingoms veiklos sritims, jis pristatomas 14.4 paveiksle [7].



14.4 paveikslas. Elektroninės tekstilės pritaikymas



Elektroninei tekstilei gaminti naudojamoms medžiagoms

Elektroninei tekstilei gaminti naudojama daug medžiagų, priklausomai nuo jų elektrinio laidumo (pluoštai ar kitos panašios, tinkamos formos, pavyzdžiui, litavimo grandinės ar spausdinti sluoksniai):

- metalai;
- savaimė laidūs polimerai;
- laidžių dalelių/polimero (mikro arba nano) kompozitai [7].
- aplinka, integruojanti valdiklio funkciją ir jutiklio įtaiso aplinką, valdiklio funkciją ir jutiklį.

Elektroninės tekstilės pažeidimai

Labai svarbu, kad elektroninę tekstilę būtų galima skalbti, tačiau tai yra didelė problema.

Skalbimo procesui įtakos turintys faktoriai):

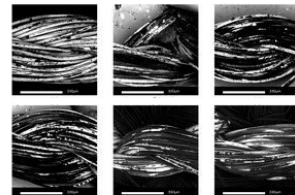
- trukmė;
- temperatūra;
- mechaninis veiksmas;
- cheminiai ir biologiniai faktoriai [8, 9].

Dažniausios problemos, susijusios su elektroninės tekstilės plovimu, yra:

- Laidžių dangų ir atspausdintų laidžių konstrukcijų pažeidimai (14.5 paveikslas) [10];
- Metalizuotų sluoksnių pažeidimai (14.6 paveikslas) [15];
- Laidų, laidžių takelių ir jungčių pažeidimai (14.7 paveikslas) [16];
- Apsauginių sluoksnių pažeidimai (14.8 paveikslas) [16];
- Tekstilės pokyčiai.

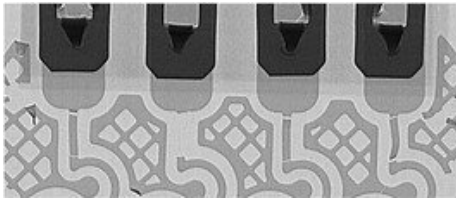


14.5 paveikslas. Laidžių dangų pažeidimai skalbiant



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

14.6 paveikslas. Metalo kiekis priklauso nuo ciklų skaičiaus



14.7 paveikslas. Įtrūkimai vario takeliuose ties perėjimais prie kontaktinių kaladėlių



14.8 paveikslas. Apsauginio sluoksnio nustatymas išilgai laidžių takelių

Po kelių skalbimo ciklų sidabro kiekis padidėja, tačiau didžiausi sidabro nuostoliai būna per pirmuosius kelis plovimo ciklus. [11] (14.6 paveikslas) [15]. Metalizacijos praradimas priklauso nuo trinties tarp bandytų tekstilės audinių [12, 13]. Be to, cikliniai temperatūros pokyčiai skalbimo metu lemia naudojamų medžiagų šiluminio plėtimosi koeficiento neatitikimą, o tai sukelia audinio pažeidimus. [14]. Plaunant į tekstilę įtautas lanksčios plokštės juosteles galima pastebėti metalo lūžimus (perėjimuose nuo laidžios srities prie kontaktinių kaladėlių). (14.7 paveikslas) [16].

Apsauginių sluoksnių pažeidimai priklauso nuo plovimo programos intensyvumo (pavyzdžius veikiančios trinties jėgos sukels PU sluoksnio plonėjimą ir galimus nutrūkimus) (14.8 paveikslas) [17].

Kiti pažeidimai skalbimo metu yra:

- tekstilinio pagrindo pakitimai ir pažeidimai;
- tiriamųjų mėginių susiraukšlėjimas [18];
- pumpuravimasis [17];
- pluoštų susipynimas [19];
- audinio paruošimui naudoti medžiagų išplovimas [20];
- kai kurių išplautų elektrai laidžių siūlų korozija;
- paviršiaus patamsėjimas, rodantis sidabrinės dangos oksidaciją [21].

14.3 Išvados

Skalbimas gali sukelti daug elektroninės tekstilės problemų. Šie gedimai gali atsirasti tam tikruose dizaino taškuose arba visame audinyje, priklausomai nuo elektroninės tekstilės tipo ir sudėties. Silpnosios vietos yra kontaktai tarp skirtingų medžiagų ir komponentų, taip pat pereinamieji plotai toje pačioje medžiagoje. Laidžių siūlų ar tekstilės gaminiuose be tam tikros apsaugos formos gali būti pažeista visa konstrukcija. Šiuo metu reikia atlikti elektroninės tekstilės tyrimus, susijusius su atskirų elektroninės tekstilės elementų patiriamos žalos skalbiant rūšimis.

Nuorodos

1. <https://www.techopedia.com/definition/29467/electronic-textile-e-textile>
2. Wang, Y.; Yu, W.; Wang, F. Structural design and physical characteristics of modified ring-spun yarns intended for e-textiles: A comparative study. *Text. Res. J.*, 2017, 004051751774115.
3. Coyle, S.; Diamond, D. Smart Nanotextiles: Materials and Their Application. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*; Elsevier: New York, NY, USA, 2010; pp. 1–5. ISBN 978-0-08-043152-9.
4. Zeng, W.; Shu, L.; Li, Q.; Chen, S.; Wang, F.; Tao, X.-M. Fiber-Based Wearable Electronics: A Review of Materials, Fabrication, Devices, and Applications. *Adv. Mater.*, 2014, 26, 5310–5336.
5. Ghahremani Honarvar, M.; Latifi, M. Overview of wearable electronics and smart textiles. *J. Text. Inst.*, 2017, 108, 631–652.
6. Meoli, D. Interactive Electronic Textiles: Technologies, Applications, Opportunities, and Market Potential. North Carolina State University: Raleigh, NC, USA, 2002.
7. Sornamugi, V. E-Textile and its Applications. *IJSK*, 9(3), ISSN 2321 3361 2019
8. Wagner, G. *Waschmittel*. 5th ed., Wiley VCH: Weinheim, Germany, 2017.
9. Ellmer, K. *Wäsche-Cluster in Konsumentenhaushalten*. Ph.D. Thesis, Technische Universität Berlin, Germany, 2016.
10. <https://encyclopedia.pub/entry/10041>
11. Dhanawansa, K.B.; Senadeera, R.; Gunathilake, S.S.; Dassanayake, B.S. Silver nanowire-containing wearable thermogenic smart textiles with washing stability. *Adv. Nano Res.*, 2020, 9, 123–131.
12. Foerster, P. *Untersuchungen zu Eigenschaften von Nanosilberschichten auf Polyamidfasern*. Studienarbeit, Technische Universität Berlin, Germany, 2010.
13. Lee, J.C.; Lo, C.; Chen, C.C.; Liu, W. Laundering Reliability of Electrically Conductive Fabrics for E-Textile Applications. *Proceedings of the 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, Las Vegas, NV, USA, 2019; 1826–1832.
14. Rotzler, S.; Kallmayer, C.; Dils, C.; von Krshiwoblozki, M.; Bauer, U.; Schneider-Ramelow, M. Improving the washability of smart textiles: Influence of different washing conditions on textile integrated conductor tracks. *J. Text. Inst.*, 2020, 111, 1766–1777.
15. Hardy, D.A.; Rahemtulla, Z.; Satharasinghe, A.; Shahidi, A.; Oliveira, C.; Anastasopoulos, I.; Nashed, M.N.; Kgatuke, M.; Komolafe, A.; Torah, R.; et al. Wash Testing of Electronic Yarn. *Materials*, 2020, 13, 1228.
16. Shahariar, H.; Kim, I.; Bhakta, R.; Jur, J.S. Direct-write Printing Process of Conductive Paste on Fiber Bulks for Wearable Textile Heaters. *Smart Mater. Struct.*, 2020.
17. Rotzler, S. *Einfluss der Sinnerschen Faktoren Sowie der Textilien Substrate auf die Waschbarkeit Textilintegrierter Leiterbahnen*. Master's Thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, Germany, 2018.
18. Ojuroye, O.; Torah, R.; Beeby, S. Modified PDMS packaging of sensory e-textile circuit microsystems for improved robustness with washing. *Microsyst. Technol.*, 2019.
19. Quandt, B.M.; Braun, F.; Ferrario, D.; Rossi, R.M.; Scheel-Sailer, A.; Wolf, M.; Bona, G.L.; Hufenus, R.; Scherer, L.J.; Boesel, L.F. Body-monitoring with photonic textiles: A reflective heartbeat sensor based on polymer optical fibres. *Interface*, 2017, 14, 20170060.
20. Martinez-Estrada, M.; Moradi, B.; Fernández-García, R.; Gil, I. Impact of Manufacturing Variability and Washing on Embroidery Textile Sensors. *Sensors*, 2018, 18, 3824
21. Gaubert, V.; Gidik, H.; Bodart, N.; Koncar, V. Investigating the Impact of Washing Cycles on Silver-Plated Textile Electrodes: A Complete Study. *Sensors*, 2020, 20, 173.



15. Skyrius. ELEKTRONINĖS TEKSTILĖS SKALBIAMUMAS, STANDARTAI IR NORMOS

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

15.1 Įvadas

Elektroninės tekstilės arba elektrai laidžios tekstilės gaminių plovimas yra vienas iš šio tipo naujoviškų gaminių iššūkių arba silpnųjų vietų.

Pagrindinė priežastis, kodėl elektroninė tekstilė yra pažeidžiama skalbimui, yra elektroninės tekstilės elementų jautrumas vandeniui. Susilietę su vandeniu, jie praranda savo savybes.

Šiais laikais yra keletas procedūrų, kurios įvertina ir patvirtina, kad elektroninė tekstilė yra pakankamai kokybiška, kad ir toliau atliktų savo funkcijas po tam tikro skalbimų skaičiaus..

Tai, kad elektroninės tekstilės skalbimo procesams taikomi skirtingi standartai ir kad nei dėl vieno iš jų nesutaria mokslo bendruomenė, yra sunkumas tekstilės sektoriui ir šio tipo gaminiams. Tai, kad nėra bendro sutarimo reiškia, kad nėra vienodo reguliavimo, kurį pripažintų visi, todėl tas pats produktas gali būti tinkamas ir funkcionalus po tam tikro plovimų skaičiaus pagal vieną procedūrą, bet būti netinkamas pagal kitą procedūros tipą ar standartą, pagal kurį reikia atitikti kitus kriterijus [1].

Reikalingi suvienodinti arba universalizuoti kriterijai, kuriais patvirtinama, kad elektroninė tekstilė yra tinkama naudoti ne tik pirmą akimirką po jos pagaminimo, bet ir kasdieniam naudotojo gyvenimui (tai reiškia ir tam tikrą kasdienio skalbimo skaičių). [1].

15.2 Elektroninės-tekstilės gedimai skalbimo metu

Skalbiant elektroninę tekstilę, audinys gali patirti įvairių pažeidimų, susijusių su audinio senėjimu, taip pat jo formos ar spalvos pokyčiais (neskaitant jau minėtų savybių praradimo). [1].

Nustačius vieną ar daugiau iš jau minėtų pažeidimų, elektroninė tekstilė gali patirti šiuos antrinius padarinius:

- Jos elektrinių savybių pokyčiai, pvz., laidumo praradimas.
- Jos funkcionalumo pokyčiai, pvz., vienas ar daugiau komponentų (pvz., šviesos diodų) nustoja veikti.
- Jos charakteristikų, pavyzdžiui, jutiklių, pokyčiai.
- Jo išvaizdos pokyčiai, pvz., paviršiaus patamsėjimas, susiraukšlėjimas ar susitraukimas.

Tai, ar šie pokyčiai atsiranda po tam tikro plovimų skaičiaus, ar ne, naudojama kaip rodiklis vertinant elektroninės tekstilės gaminių efektyvumą.

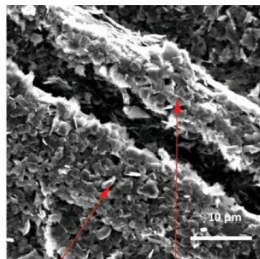
15.3 Elektroninės tekstilės gaminių pažeidžiamumo charakteristikos

Skalbiant elektroninę tekstilę gali būti registruojamos klaidos ir gedimai, o nuo ankstesnių sutrikimų charakteristikų priklauso, koks bus elektroninės tekstilės atsparumas vienam ar daugiau skalbimo procesų.

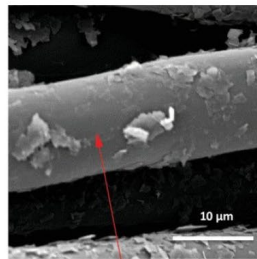
Pagrindinis elementas yra gaminio tipas ir sudėtis, t.y. medžiaga, iš kurios jis pagamintas ir tai, kaip audinys bei siūlai yra susiję su komponentais, sudarančiais drabužį. Pavyzdžiui, elektroninė tekstilė, kurios prietaisai tarpusavyje integruoti laidžiaisiais elementais (tiesiogiai veikiami vandens), labia greitai degraduos. Arba neapsaugotas laidininkas, pasižymintis šia funkcija taip pat greitai suges.

Kartu verta pasakyti, kad elektroninė tekstilė su integruotais, apsaugotais komponentais, pavyzdžiui, koku nors būdu įkapsuliuotais, yra daug atsparesnė plovimui ir degradavimui nei laidžios dalys elektroninės detalės.

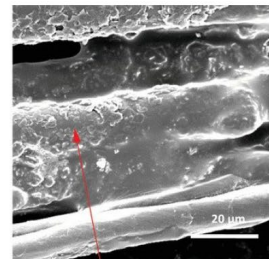
Be to, šie komponentai yra pakankamai atsparūs, todėl išvengiama viso ar dalies komponento atsiskyrimo nuo visumos. Elektroninės tekstilės gaminių gedimo pavyzdžiai:



G flakes on the individual fibre surface after coating

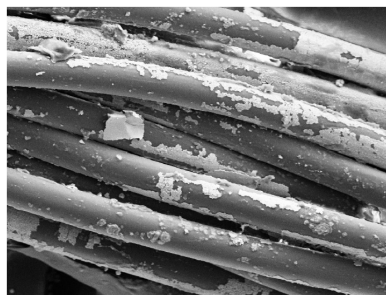


G flakes were removed after washing



G flakes are encapsulated on the fibre surface even after washing

15.1 paveikslas. Laidžių tekstilės dangų pažeidimų po plovimo pavyzdžiai [2]



15.2 paveikslas. Išseikvotas sidabro sluoksnis ant nailono gijų [3]

15.4 Dabartinė standartizacijos padėtis

Kaip minėta, plaunamumo vertinimo standartai yra keli ir nėra jokių bendrų taisyklių ar nurodymų visuotiniam standartizavimui. [4].

Vis dėlto buvo išbandyti keli standartai ir metodai, kurie yra daugelio elektroninės tekstilės gaminių vertinimo atskaitos taškas. Pagrindiniais punktais, nurodančiais, kaip gaminį reikia skalbti išlaikant jo savybes, laikomi [4]: skalbimo įrenginio tipas, programos trukmė, skalbinių kiekis, skalbimo temperatūra, skalbiklio rūšis arba džiovinimo būdas [4].

Esamų standartų, ypač sukurtų hibridinei elektroninei tekstilei, skaičius iki šiol yra labai mažas. Dauguma iš esamų apima terminologiją ir (arba) tokius apibrėžimus ISO/PRF TR 23383 ir ASTM D 8248:2020. Kiti pateikia bandymo metodus tekstilės gaminių atsparumui matuoti: AATCC 76 audiniams, AATCC 84 verpalams, ir CSN EN 16812 laidams takeliams ant tekstilės.

Dažniausiai naudojamas standartas iš gretimų srieties tikrinant elektroninės tekstilės skalbimą yra ISO 6330 tekstilė – skalbimo ir džiovinimo namuose procedūros tekstilės

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

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

bandymams. Standarto taikymo sritis apima ne tik tekstilės gaminius, bet ir „kitus tekstilės gaminius“ – terminą, kuris gali būti taikomas hibridiniams išmaniosios arba elektroninės tekstilės gaminiams, todėl standartą galima išplėsti ir bandyti tekstilės gaminius. Į standartą



neįtrauktos gairės ar rekomendacijos dėl būtino skalbimo ciklų skaičiaus nei kriterijai, kuriais remiantis galima būtų įvertinti plovimo patikimumą po bandymo.

15.3 Paveikslas. Skalbimo bandymas pagal ISO 6330 [4]

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

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

15.4 paveikslas. Skalbimo bandymai pagal kitus standartus [4]

Toliau pateiktame paveikslėlyje parodyti kai kurie su elektronine tekstile susiję standartai, klasifikuojami pagal jų esamą būklę. Europos požiūriu svarbu paminėti, kad šiuo metu elektronei tekstilei ISO standartai netaikomi.

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

15.5 paveikslas Elektroninės tekstilės standartizacijos padėtis

15.5 Išvados

Plaunamumas yra vienas iš pagrindinių elektroninės tekstilės klausimų. Lygiai taip pat ir tai, ką gamintojai gali pasiūlyti, kai į gaminį pridedama elektrai laidžių įrenginių.

Paprastas plovimas gali sugriauti visą gaminio technologiją, kurią naudojant gaminys yra pagamintas, todėl tekstilės gamintojų būdas ir skalbimas turės įtakos jos valymui (tai reiškia, kad tekstilės savybės nebus prarastos).

Tam labai svarbu bendras standartizavimas. Bendrosios taisyklės palengvintų tokio tipo produktų kūrimą, nes jie nuo pat pradžių būtų kuriami laikantis tam tikrų standartų ir visi gamintojai laikytųsi tų pačių taisyklių.

Pagrindinis iki šiol nustatytas apribojimas yra susijęs su politikos formuotojais. Net ir iki šiol atlikti tyrimai vadovaujasi nemaža dalimi elektroninės tekstilės gamintojų pateiktų duomenų ir, galima sakyti, apie 60% jų vadovaujasi esamais standartais, tačiau institucijos, turinčios kompetenciją reguliuoti šiuos standartus, jų nenustatė.

Nuorodos

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

16. Skyrius EKOLOGINIS DIZAINAS IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS KURIMUI

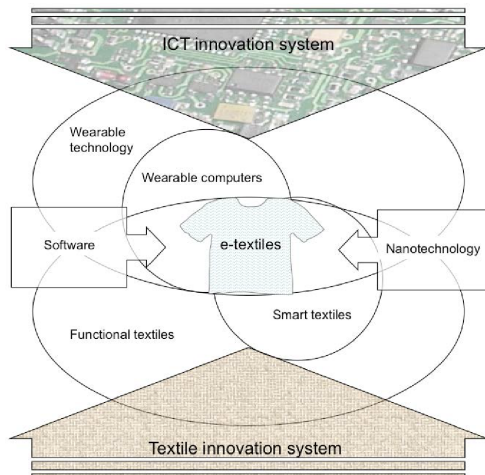
Veronica Guagliumi, Ciape, Italy

16.1 Elektroninė tekstilė ir perdirbimas

Išmaniosios tekstilės sektoriuje vykstantis inovacijų procesas gali prieštarauti aplinkos ir atliekų politikos tikslams. Atsižvelgiant į šiuolaikinius elektroninės tekstilės pavyzdžius, galima tikėtis, kad esamos elektroninių atliekų arba senų tekstilės gaminių grąžinimo ir perdirbimo sistemos nėra skirtos tokio pobūdžio žaliavoms apdoroti.

16.2 Naujausios inovacijų proceso tendencijos

Elektroninė tekstilė gali būti suvokiama kaip išmaniųjų technologijų, kurios persmelks mūsų gyvenimus ateityje, pirmtakas. Šie gaminiai apibūdinami kaip „madinga technologija“, kurios pagrindinės savybės yra unikalumas ir pažangus funkcionalumas kartu su mados ir estetikos pojūčiu. [1] Nešiojami skaitmeniniai įrenginiai liudija toli siekiančią viziją apie kompiuterinius įrenginius, kurie nepastebimai įterpiami į drabužius. Elektronikos ir tekstilės sektorių mokslininkai ir įmonės plėtoja elektroninę tekstilę. Žemiau pateiktame paveikslėlyje (16.1) pavaizduota konvergencinė technologinė naujovė, kai tame pačiame gaminyje sumaišomos medžiagos ir įrenginiai iš skirtingų technologijų sričių.



16.1 paveikslas. Elektroninė tekstilė tekstilės ir elektronikos sektoriaus inovacijų sistemoje [2]

Naujų dizaino koncepcijų organizavimas reikalingas dėl tekstilės ir elektronikos konvergencijos, ypač medžiagų sudėties ir komponentų konfigūracijos. Pagrindinės tekstilės integruotos elektronikos savybės turėtų būti lankstumas, tamprumas ir galimybė sulankstyti. Elektroninė tekstilė turi tapti patogiai, madinga ir skalbiama, išlaikyti savo

išmaniąsias funkcijas per daugelį naudojimo ciklą, kad vartotojo patirtis būtų geresnė. Todėl norint sėkmingai gaminti elektroninę tekstilę, reikia naujų dizaino ir konfigūravimo paradigmu, taip pat naujų medžiagų ir technologijų. Tarpdisciplininė dizainerių, meistrų ir mados menininkų bendruomenė plėtoja elektroninę tekstilę, gamindama tekstilės elektroninius komponentus ir savo idėjas atvirai skelbdama tinklaraščiuose, svetainėse ir dirbtuvėse. [3].

16.3 Elektroninės tekstilės eksploatavimo pabaigos poveikis

Vienas iš reiškinų, dėl kurių aukštųjų technologijų gaminiai virsta atliekomis, yra žinomas kaip laipsniškas senėjimas: jie pakeičiami naujesniais modeliais po palyginti trumpos eksploatavimo trukmės. Elektroninei tekstilei būdingas toks greitas senėjimas, nes jose trumpalaikė elektronika derinama su trumpalaikėmis mados tendencijomis, valdančiomis drabužių rinką. Technologijų vertinimo tyrimo išvados rodo, kad sena elektroninė tekstilė taps nauja atliekų kategorija netrukus po to, kai bus pristatyta į masines vartotojų rinkas. [4]. Dėl šių gaminių taip pat gali sunaudoti daugiau baterijų, kurias, joms išsikrovus, reikia išmesti. Tuo jie primena šiuolaikinę elektroninių atliekų problemą. Tačiau išmesta elektroninė tekstilė taip pat kelia naujų problemų, kylančių dėl jų unikalių savybių: dėl elektroninių medžiagų pasisklidimo dideliuose tekstilės atliekų kiekiuose bus sunku išgauti vertingas medžiagas iš žemos kokybės žaliavos [5]. Be to, potencialiai pavojingos medžiagos taip pat yra išsklaidytos, todėl jas sunku atskirti prieš šalinant. Šiandienos požiūriu aplinkai nekenksmingas elektroninės tekstilės atliekų tvarkymas nėra garantuotas dėl šių priežasčių:

(1) Galima tikėtis didelių masinių elektroninės tekstilės atliekų srautų, jei elektroninė tekstilė patirs proveržį masinėse rinkose [6].

(2) Pavojingų medžiagų išmetimas galimas dėl sąvartynuose laikomų arba sudegintų elektroninės tekstilės gaminių, taip pat tai yra kylantis pavojus sveikatai, kai elektroninė tekstilė perdirbama.

(3) Į tekstilę įterptuose elektroniniuose komponentuose yra nedidelis kiekis retųjų medžiagų, kurios yra išsibarsčiusios dideliuose tekstilės paviršiaus plotuose ir sunkiai atkuriamos. Tokių mišrių žaliavų perdirbimas naudojant esamus perdirbimo įrenginius vargu ar įmanomas. Atgauti nedidelius kiekius vertingų medžiagų iš didelio masinio tekstilės burių medžiagų srauto techniškai ir ekonomiškai sudėtinga. Jei neperdirbama, kyla pavojus, kad masinis elektroninės tekstilės naudojimas pagreitins ribotų išteklių, pvz., technologinių metalų ir pluošto gamybos išteklių, išsekimą.

16.4 Ekologinis elektroninės tekstilės dizainas: iššūkiai

Elektroninės tekstilės kūrėjų tikslas yra sklandžiai integruoti elektroniką į tekstilę, tačiau kol šis tikslas nėra visiškai pasiektas, tikslios šios tekstilės savybės dar nežinomos.

Dėl šios priežasties sudėtinga numatyti galimas naudojimo pabaigos problemas ir parengti atliekų mažinimo rekomendacijas. Pavyzdžiui, „Design for Recycling“ rekomendacija plastikiniams elektros prietaisų dangteliams vietoj varžtų naudoti užsegamas tvirtinimo

detales yra nenaudinga, jei jie yra siuvami arba išsiuvinėti ant audinių. [7]. Jei elektroniniai komponentai turi būti klijuojami ant audinio, taip pat bus sudėtinga juos suprojektuoti taip, kad jie būtų paprastai išardomi. DfR principas, ribojantis plastikinių dalių su matalizuotu paviršiumi naudojimą, prieštarauja metalu dengtų siūlų naudojimui elektrinei tekstilei. Tai reiškia, kad naujoviškos dizaino idėjos turi būti kuriamos kartu su elektrinės tekstilės inovacijų procesu.

16.1–16.2 lentelėse pateikiami ekologinio projektavimo principai, susiję su atliekų susidarymo prevencija ir tvarkymu eksploatacijos pabaigoje. Jie buvo perimti iš ECMA standarto 341 [8] ir Green Electronics Council [9].

16.1 lentelė. Ekologinio projektavimo iššūkiai ir galimybės, susijusios su medžiagų efektyvumu

Ekologinio dizaino principas	Įvertinimas	Aptarimas
Gaminio medžiagų įvairovės sumažinimas	! +	Elektroninių ir tekstilės komponentų sujungimas padidina gaminyje esančių medžiagų įvairovę. Konjuguotų polimerų (laidžių arba pusiau laidžių plastikų) naudojimas gali sumažinti metalinių komponentų kiekį. Organinės elektronikos naujovės gali paskatinti elektrinės tekstilės be metalų ir silicio dizainą.
Produkto svorio sumažinimas	+ + !	Lanksčių plonasluoksnių elektroninių komponentų tendencija gali padėti sutaupyti svorio ir padidinti išteklių naudojimo efektyvumą. Lengvos tekstilės medžiagos gali pakeisti kietąsias medžiagas (plastiką, metalą) kaip prietaisų korpuso arba pagrindo medžiagą. Didėjantis vienam asmeniui tenkančių prietaisų skaičius gali viršyti sutaupymo efektą.
Atnaujinamų medžiaga naudojimas	+	Natūralūs pluoštai (pvz., medvilnė, kanapės, kenafas, bambukas) gali pakeisti plastiką kaip apvalkalo arba pagrindo medžiagą. Tai padeda sumažinti produktų naudojimą.
Perdirbtų medžiaga naudojimas	+	Tekstilės medžiagas dėl jų lankstumo galima lengviau atnaujinti arba perdirbti į naujus gaminius nei standžias medžiagas, kurios paprastai būna elektronikoje.

- Galimybė (+), iššūkis (!)

16.2 paveikslas. Ekologinio dizaino iššūkiai ir galimybės, susiję su gaminio senėjimu

Ekologinio dizaino principas	Įvertinimas	Aptarimas
------------------------------	-------------	-----------

Nesenstantis dizainas	! +	Drabužių rinkoje sparčiai kinta dizaino tendencijos, todėl tekstilės gaminiai tampa nemadingi kas sezoną. Išmaniosios tekstilės medžiagos gali suteikti galimybę pritaikyti dizaino ypatybes prie naujų mados tendencijų (spalvos, formos, storio) nekeičiant gaminio.
Lengva atnaujinti ir taisyti	! ! +	Gedimų aptikimas ir priežiūra yra sudėtingi dėl sklاندus elektroninių komponentų integravimo. Remontas gali sugadinti daugkartinius drabužius. Sunku atnaujinti nešiojamus kompiuterinius įrenginius, atsižvelgiant į programinę įrangą, duomenų formatus, tinklo protokolus, duomenų saugos reikalavimus. Programinei įrangai pasenus sunku gauti techninės priežiūros informaciją, reikalingą išmaniosioms funkcijoms išsaugoti ilgą naudojimo etapą. Didelis atsparumas gedimams dėl tinkle sujungtos, perteklinės tekstilėje įterptos elektronikos architektūros.
Vartotojui suprantamas dizainas	!	Neįkyrumo ir sklاندus elektroninės tekstilės komponentų integravimo dizaino tendencijos trukdo vartotojui suprasti gaminį.
Naudojamos standartizuotos detalės (maitinimo šaltiniai, baterijos, jungties)	! !	Elektroninės tekstilės komponentų standartizavimas atsilieka nuo technologinių naujovių ir sparčiai kintančių tendencijų. Standartizavimas yra sudėtinga užduotis dėl didžiulio dengimo technologijos ir jos pagrindinių pramonės sektorių (tekstilės, elektronikos) nevienalytiškumo.
Leidžiama pakartotinai naudoti ir pakeisti įprastas gaminio dalis arba modulius	! !	Sunkumai keičiant elektroninius komponentus, tvirtai integruotus į tekstilę. Visų pirma tai susiję su į tekstilę įterptais akumulatoriais. Mažų sąnaudų komponentų tendencija mažina ekonomines paskatas pakartotinai naudoti. Naudotojų įpročiai, susiję su apranga, gali atgrasyti nuo pakartotinio naudojimo.
Senų dalių pakartotinis naudojimas ir atnaujinimas	!	Senos elektroninės tekstilės eksportas į užsienio dėvėtų drabužių rinkas (kaip labdaros komercinės prekybos senais drabužiais dalis) gali prieštarauti teisės aktams (Bazelio koncepcijai) dėl jose esančių elektronikos atliekų.

- Galimybė (+), iššūkis (!)

16.5 Ekologinio dizaino metodai, skirti elektroninės tekstilės patvarumui ir perdirbimui

Elektroninės tekstilės gaminių tvaraus dizaino koncepcijos turėtų sutelkti dėmesį į atliekų prevenciją. Dizaineriai turėtų ieškoti galimybių pratęsti elektroninės tekstilės tarnavimo laiką. Tai galima pasiekti kuriant gaminius, tinkamus taisymui, atnaujinimui ir pakartotiniam naudojimui. Couture sektorius pateikė senų drabužių perdirbimo pavyzdžių [10]. Ši patirtis gali įkvėpti aukštųjų technologijų drabužių dizainą ateityje tapti būsimais vintažiniais drabužiais, o ne atliekomis. Pasikeitus madai, galima panaudoti išmaniąsias medžiagas ir technologijas, kad gaminius būtų galima perkonfigūruoti ir pritaikyti jų išvaizdą. Tai padėtų atitolinti produktų senėjimą ir išvengti atliekų. Elektroninės tekstilės perdirbimo dizainas reiškia, kad sugedusius elektroninius komponentus galima pakeisti nepažeidžiant audinio. Aplinką tausojantis pažangių technologijų ir medžiagų taikymas gali pagreitinti inovacijų procesą tokiuose sektoriuose kaip polimerinė elektronika.

Yra galimybių sumažinti pirminių išteklių suvartojimą naudojant perdirbtą pluoštą ir būtina vengti pavojingų medžiagų naudojimo. Tekstilės medžiagos gali pakeisti probleminius elektronikos gaminių komponentus. Miniatiūrinių IRT įrenginių naudojimas gali padėti sumažinti išteklių suvartojimą, jei maži įrenginiai pakeis didesnių funkcijas. Be to, yra galimybių sumažinti retųjų metalų suvartojimą, jei polimerinė elektronika pakeis silicio pagrindu pagamintą elektroniką.

Naudojimo fazėje labai svarbu, kad elektros energijos suvartojimas būtų kuo mažesnis. Pavyzdžiui, elektronikos korpuse ir pakuotėse aplinkai nekenksmingos tekstilės medžiagos galėtų pakeisti įprastas medžiagas. Mygtukai, Velcro juostelės arba įsiūti maišeliai yra įprastų tekstilės priedų pavyzdžiai, kurie gali būti naudojami elektronikai montuoti ant tekstilės gaminių naudojant DfR nekenksmingus metodus (siekiant sutrumpinti išmontavimo laiką).

Išmanios medžiagos ir biologija paremti konstravimo principai gali atlikti daug norimų užduočių nenaudojant elektroninių komponentų [11]. Išmaniosios tekstilės gaminių, tokių kaip savaime susitaisantis audinys ir audinių, atspaių raukšlėms ar plyšimams, biomimetinio dizaino principus aptarė Singh ir kt.

Savaime susitaisančios nanotechnologijos leidžia kurti gaminius, kurie gali pasitaisyti patys ir yra mažiau pažeidžiami. Pakeičiamos medžiagos atveria naujas perdirbamų artefaktų dizaino galimybes, nes jos leidžia naudoti savaiminio ardymo metodus [12]. Ardomieji siūlai arba klijai, kurie suyra veikiami karščio, mikrobangų ar magnetinių laukų, gali būti sukurti naudojant į dirgiklius reaguojančius polimerus [13]. Naudojant tokias technologijas būtų galima ekonomiškai išardyti didelius naudotos elektroninės tekstilės gaminių kiekius, jei jie būtų patalpinti į automatizuotas perdirbimo gamyklas.

16.6 Išvada

Vis dar yra konkrečių iššūkių, trukdančių masiniam elektroninės tekstilės plitimui. Tarp jų – naujo dizaino ir konfigūracijos paradigmu poreikis, užtikrinantis komfortą ir skalbimą, kartu išlaikant išmaniąsias funkcijas per daugelį naudojimo ciklą. Naujos technologijos ir novatoriški metodai, skirti atgauti medžiagas, kai produktai yra šalinami, efektyviai atskirti komponentus ir sutaupyti didelius medžiagų kiekius bei išvengti potencialiai pavojingų medžiagų sklaidos. Norint tai padaryti, būtų svarbu laikytis konkrečių ekologinio projektavimo principų, orientuotų į atliekų prevenciją, gaminių kūrimą taisymui, atnaujinimui ir pakartotiniam naudojimui.

Nuorodos

1. Seymour, S. Fashionable technology: the intersection of design. Fashion, Science and Technology, Springer, 2008.
2. Challenges for eco-design of emerging technologies: The case of electronic textiles. Material and Design, Elsevier Ltd., 2013, 51/60
3. Satomi, M., Perner-Wilson, H. Future Master craftsmanship: Where we want electronic textile crafts to go. In: international symposium on electronic Art – ISEA, 2011.



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

17. skyrius. ORGANINĖS IR NEORGANINĖS IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS MEDŽIAGOS

Veronica Guagliumi, Ciape, Italy

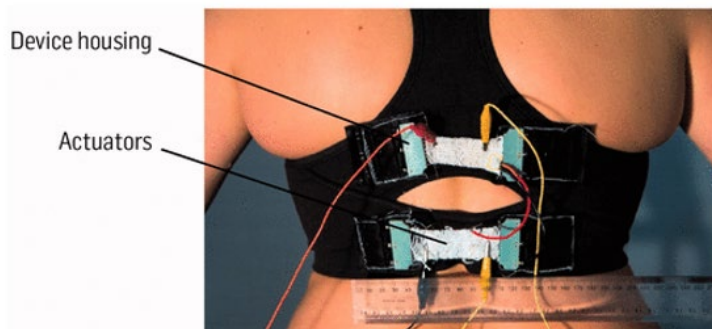
17.1 Išmaniosios tekstilės medžiagos

Išmaniosios ir interaktyviosios tekstilės pramonė per pastaruosius trisdešimt metų labai išaugo. Tikimasi, kad pradėjus naudoti naujus pluoštus, naujus audinius ir pažangiausias apdorojimo technologijas, išmaniųjų tekstilės medžiagų ir jų pritaikymo poreikis padidės. Be to, skalbiama, lanksti, lengva ir stipri elektroninė tekstilė yra labai paklausi. Šias charakteristikas veikia pradinės medžiagos savybės, tolesnis apdorojimas ir integravimo metodai.

Elektroniė tekstilė gali būti sukurta naudojant įvairias paviršiaus dengimo technologijas, ant tekstilės pagrindo paviršiaus padengiant laidų komponentą arba sukuriant tekstilės pagrindą iš metalų ir natūraliai laidžių polimerų ir naudojant juos pluoštams, verpalams ir tekstilės gaminiams gaminti. Be to, į tradicinį tekstilės pagrindą galima įterpti laidžių gijų pluoštus arba siūlus tiek kuriant tekstilės audinį, tiek po jo jį siuvinėjant. Visas išmaniosios tekstilės komponentas gali būti spausdinamas 3D, sluoksnis po sluoksnio, o 4D idėja gali būti labai svarbi pakeliant išmaniosios tekstilės prestižą į naują lygį [1].

17.2 Išmaniosios tekstilės klasifikacija

Išmanioji tekstilė yra medžiagos ir struktūros, kurios jaučia ir reaguoja į aplinkos sąlygas ar dirgiklius ir gali reaguoti į pačias save. Žodžiai „išmanūs“ ir „protingi“ tekstilės gaminiai arba „dėvima elektroninė“ tekstilė vartojami kaip sinonimai. Štai kodėl apibrėžimą lemia tik kontekstas, iš tikrųjų išmaniosios arba išmaniosios tekstilės medžiagos yra funkcinės medžiagos, aktyviai sąveikaujančios su jų aplinka. Kita vertus, išmaniosios arba intelektualiosios tekstilės sistemos yra sistemos, turinčios numatytą ir išnaudojamą atsaką kaip reakciją į aplinkos pokyčius arba į išorinį įvestį. 17.1 paveiksle parodyta Steele ir kt. sukurtos bioninės liemenėlės iliustracija. Ši liemenėlė naudoja dirbtinių raumenų technologiją ir elektromedžiagos jutiklius, kad aptiktų krūtų judesių padidėjimą ir tada reaguotų suteikdama daugiau paramos aktyviam gyvenimui.



17.1 paveikslas. Bioninė liemenėlė

Išmaniąją tekstilę galima suskirstyti į tris pogrūpius:

- Pasyvią
- Aktyvią
- Labai išmaniąją tekstilę.

Išmaniajai tekstilei sukurti gali būti naudojami elektroniniai komponentai, laidūs polimerai, įkapsuliuotos fazės keitimo medžiagos, formos atminties medžiagos ir kiti elektroniniai jutikliai bei komunikacijos įrankiai. Remiantis Dadi 2010 m. tyrimu, šios medžiagos reaguoja į aplinkinius dirgiklius pagal tai, kaip jos buvo sukonstruotos. [3]. Jau sukurta pirmoji nešiojamų motininių plokščių karta. Šiose motininėse plokštėse yra į drabužius įmontuoti jutikliai, galintys aptikti sužalojimus ir nustatyti dėvėtojo sveikatos duomenis ir nuotoliniu būdu perduoti šią informaciją į ligoninę..

17.3 Išmaniosios tekstilės sistemų komponentai

Išmanioji tekstilė su jutimo ir veikimo galimybėmis norimam naudojimui buvo gaminama kaip vienkartinė tekstilė. Tačiau visa išmanioji tekstilės sistema gali turėti specifinių funkcinių elementų, tokių kaip jutiklis, valdiklis, sujungimas, valdymo blokas, ryšio įrenginys ir maitinimo šaltinis. 17.2 paveiksle matome schematiškai pavaizduotą išmaniosios tekstilės sistemą.



17.2.paveikslas. Išmaniosios tekstilės funkcijos [4]

Jutikliai: Jutiklis yra elektroninis komponentas, kuris aptinka fizinę savybę ir įrašo arba reaguoja į ją. Tipiški į tekstilę integruoti jutiklių tipai apima tekstilinius įtempių, drėgmės, temperatūros, slėgio, šviesos, molekulių aptikimo, elektrokardiografijos, elektromiografijos ir elektroencefalografijos elektrodus.

Valdikliai: valdikliai atlieka veiksmus, pavyzdžiui, judina objektus, išleidžia medžiagas, leidžia garsus reaguodami į iš jutiklio gaunamą signalą, galbūt pirmą kartą nusiuntus šį signalą per informacijos procesorių. Įprasti tekstilinių valdiklių pavyzdžiai yra organiniai šviesos diodai, fazes keičiančios medžiagos, temperatūrą reguliuojanti tekstilė ir garsą sklaidžianti tekstilė. [5].

Duomenų apdorojimas: Išmaniojoje tekstilėje reikalingas pagal paskirtį tinkamas procesorius, kad jutiklių gaunamus parametrus galima būtų apdoroti ir išvesti reikiamus duomenis. Tik tada, kai tekstilė aktyviai apdoroja informaciją, reikalingas informacijos apdorojimo elementas.

Ryšio įrenginys: Tai įrenginys, integruotas atitinkamai perduoti ir priimti elektroninius duomenis ir (arba) informaciją iš vienos sistemos į kitą.

Maitinimo šaltinis: Maitinimo blokas yra dalis, naudojama sistemai maitinti. Dėl to, kad yra kompaktiškos, ličio polimero (LiPo) baterijos dažnai naudojamos išmaniajai tekstilei. Tačiau neseniai sukurti kondensatoriai ir energijos surinkimo sistemos, pagrįstos tekstilės gaminiiais, gali užimti savo vietą kai kuriuose įrenginiuose [6].

17.4 Elektrai laidžios medžiagos

Elektrai laidži tekstilė naudojama daugelyje išmaniųjų tekstilės gaminių, tačiau įprastos tekstilės medžiagos dažniausiai yra izoliacinės, todėl jų negalima tiesiogiai naudoti išmaniosioms tekstilės reikmėms, kurioms būtinas elektros laidumas. Tačiau galima gauti elektrai laidžių tekstilės gaminių į tekstilės struktūrą integruojant metalinius laidus, laidžius polimerus ar kitus laidžius junginius. Kad būtų užtikrintas laidumas, į tekstilės konstrukciją galima įterpti netekstilinių metalinių siūlų, pagamintų iš sidabro, nerūdijančio plieno, nikelio, aliuminio ir vario. Metalai užtikrina didelį laidumą, kuris yra labai svarbus kai kurioms išmaniosioms tekstilės reikmėms, tačiau padidina medžiagos svorį ir daro įtaką jų lankstumui. Be to, kai kurie metalai yra linkę į koroziją. Metalu pagrindu pagaminta laidžioji tekstilė taip pat gali būti gaminama padengiant metalinį rašalą ant tekstilės medžiagų paviršiaus, tačiau tai turi apribojimų kalbant apie skalbimo stabilumą. Alternatyvių laidžių junginių paieška yra labai svarbi norint žinoti, kaip gaminti patikimą, laidžią ir lankstesnę tekstilę. Tekstilės medžiagoms gaminti naudojamos elektrai laidžios medžiagos gali būti suskirstytos į kategorijas:

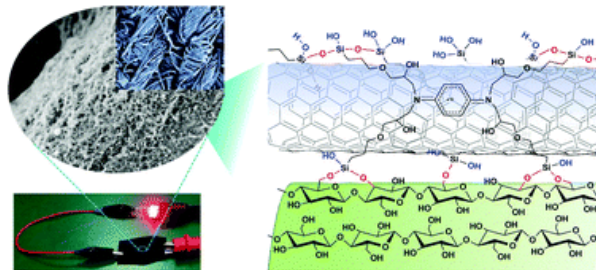
1. Elektrai laidūs rašalai.
2. Laidieji polimerai anglies pagrindu.
3. Savaimė laidūs polimerai.
4. Laidūs polimeriniai kompozitai.

17.5 Elektrai laidūs rašalai

Funkcinių spausdinamų rašalų (įvairių nanoskalės dydžių ir architektūrų) sukūrimas laikomas pagrindiniu veiksniu, lemiančiu spausdintinės elektronikos spausdinimo sėkmę. Laidūs rašalai gali būti plokščių, nanogijų, nanovamzdelių ar kitų trimačių nanostruktūrinių medžiagų pavidalu. Yra daug spausdinimo rašalo galimybių, įskaitant laidžius, pusiau laidžius ir dielektrinius rašalus. Laidiems dažams sukurti galima naudoti laidžias metalo nano- ir mikrodaleles. Pusiau laidžių dažų gamybai gali būti naudojami organiniai polimerai, neorganiniai puslaidininkiai ir metalų oksidai. Organiniai polimerai tirpikliuose, termoreaktyvūs organiniai polimerai arba organiniai polimerai, sukomponuoti su keramika, yra dielektriniai rašalai. Metalai, metalų oksidai, laidūs polimerai, organometaliniai dažai, grafenas, anglies nanovamzdeliai ir įvairių rašalų mišiniai gali būti naudojami gaminant naudingus laidžius rašalus. [7].

17.6 Laidieji polimerai anglies pagrindu

Elektrai laidžių audinių kūrimas buvo tiriamas naudojant anglies pagrindu pagamintas medžiagas- grafeną, anglies nanovamzdelius (CNT), suodžius, grafeno oksidą ir redukuotus grafeno oksidus. Šios anglies medžiagos dėl savo savybių idealiai tinka kuriant laidžią tekstilę – jos lanksčios, atsparios korozijai ir nebrangios. Buvo sukurtas laidus poliesterio audinys, pagamintas iš grafeno, ir naudojamas biologinio potencialo stebėjimui [8]. Priklausomai nuo apkrovos dydžio, šios medžiagos gali būti naudojamos įvairaus laidumo diapazonų laidžioms tekstilėms kurti. Zhu ir kt. naudojo panardinamą ir purškiamą dangas, siekdami sukurti skalbyklėje skalbiamus laidžius audinius iš vienasienių anglies nanovamzdelių [9]. Sukurta elektrai laidus tekstilė pasižymi dideliu laidumu iki 7.4 10² S/m.

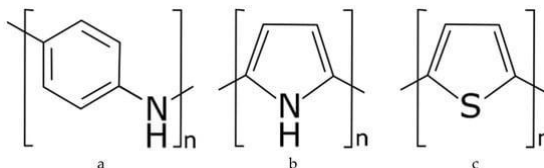


17.3 paveikslas. Anglies pagrindu pagamintų nanomedžiagų kompozicija [10]

17.7 Savaimė laidūs polimerai

Šiuo metu kuriant elektrai laidžius tekstilės gaminius plačiai naudojami savaimė laidūs polimerai. Polimerai, turintys konjuguotą molekulinę struktūrą, apimančią alternatyvias viengubas ir dvigubas jungtis tarp anglies atomų, yra žinomi kaip laidūs polimerai. Jie yra puikus pasirinkimas tekstilės elektrodams, nes gali sujungti metalų ar puslaidininkinių elektrines savybes su įprastų polimerų pranašumais. Veiksmingiausi laidūs polimerai gaminant laidžią tekstilę yra polipirolis (PPy), polianilinas (PANI) ir politiofeno darinys poli(3,4-etileno dioksitiofenas): poli(stireno sulfonatas) (PEDOT: PSS) [11]. Į polimerus galima

dėti organinių tirpiklių, vadinamų priemaišomis, siekiant padidinti jų laidumą, pavyzdžiui, naudojant polinius organinius tirpiklius, tokius kaip etilenglikolis, dimetilsulfoksidas ir glicerolis, PEDOT:PSS laidumas gali būti padidintas nuo vieno iki trijų kartų. [12]. Kadangi eksperimentuojant su polimero priedu ir jo kiekiu galima gauti įvairių elektrinių savybių, šie laidūs polimerai gali būti naudojami kuriant visus išmaniosios tekstilės sistemos konstrukcinius komponentus. Kelių laidžių polimerų cheminė sudėtis parodyta paveiksle 17.4.



17.4. paveikslas. Sėkmingiausi laidūs polimerai: a – polianilinas; b – polipirolis; c – politiofenas [1]

17.8 Laidūs polimeriniai kompozitai

Didžiausias laidumas yra metalo pagrindo laidžioje tekstilėje, nors ji dažnai yra per standi. Esami laidūs polimerai pasižymi neblogu laidumu, tačiau vis tiek reikia pagerinti jų mechanines savybes. Dėl to laidžių polimerinių kompozitų mechaninis stabilumas ir elektrinis laidumas yra geresni. Kompozitai, pagaminti iš anglies, metalo ir laidžių polimerinių užpildų, atskirai arba kartu, yra žinomi kaip elektrai laidūs polimeriniai kompozitai. Jie gali būti sukurti naudojant vieną polimerą arba kelių fazių mišinį, atsižvelgiant į reikalingas elektrines ir mechanines savybes. Laidžių polimerų kompozitų naudojimas akademinėje ir profesinėje aplinkoje nuolat auga. Norint sukurti laidžią tekstilę, buvo sukurta ir naudojama daugybė laidžių polimerinių kompozitų.

17.9 Išvada

Išmanioji tekstilė – tai medžiagos, kurios gali jausti ir reaguoti į aplinkos sąlygas ar dirgiklius. Technologijų pažanga, leidžianti nuolat gerinti šių medžiagų veikimą, skatina šių produktų paklausą rinkoje. Elektros laidumas yra svarbi daugelio išmaniųjų tekstilės medžiagų naudojimo savybė. Yra įvairių metodų, kuriuos galima taikyti norint gauti elektrai laidžių tekstilės gaminių; tinkamiausia priklauso nuo funkcijų, kurias norime gauti, ir nuo naudojamos medžiagos tipo.

Nuorodos

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



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

18. Skyrius. KAIP TVARKYTI SU IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS ATLIEKAS

Veronica Guagliumi, Ciape, Italy

18.1 Įvadas

Tekstilės atliekos yra pripažintos sparčiausiai augančiu atliekų srautu komunalinėse kietosiose atliekose (KKA). Visame pasaulyje augantis drabužių vartojimas ir gamyba paskatino tekstilės atliekų susidarymą, o tai sukėlė daug iššūkių daugelyje šalių. Vienas iš jų – atliekų surinkimas per ekonomiškai perspektyvią rūšiavimo infrastruktūrą, kurią sunku rasti. Kitas svarbus iššūkis yra pluošto mišinių skirtumai, dėl kurių tekstilės atliekų rūšiavimas reikalauja daug laiko ir pastangų, todėl yra sudėtingas. Tačiau rūšiavimo automatizavimas ir tekstilės perdirbimo naujovės yra vis labiau dominančios sritys [1]. Labiausiai pageidaujamas pasirinkimas yra pakartotinis tekstilės naudojimas, tačiau jo rinka mažėja, nes kai kuriose šalyse uždrausta importuoti dėvėtus drabužius. Naujų drabužių gamyba pakartotinai naudojant ir perdirbant tekstilę turėtų būti skatinama ekonominėmis paskatomis, kad tai būtų įmanoma atitinkamoje srityje. Siekiant sumažinti poveikį aplinkai, turi būti naujoviškai naudojamos tvarios mišrios medžiagos, pagamintos iš perdirbtų pluoštų. Be to, labai svarbu apibūdinti celiuliozės pluošto, regeneruoto iš medvilnės atliekų, struktūrą ir savybes. Papildomas pagrindinis veiksmas galėtų būti perdirbimo technologijų tyrimas siekiant tvariai tvarkyti kitas tekstilės atliekas, pvz., dirbtinį celiuliozės pluoštą (MMCF) ir kitus pluoštus, pvz., poliamidą. Be poliesterio ir medvilnės, MMCF yra pluoštų klasė, pagaminta daugiausia iš medienos ir kitų celiuliozės turinčių medžiagų. Jie yra trečias plačiausiai naudojamas pluoštas pasaulyje. Jie sudaro maždaug 7,1 Mt pluošto per metus arba apie 6,4 % viso pagaminamo pluošto. [2]. Tvarumą papildomai skatina netradicinių pluoštų kūrimas ir rišimo procesas be cheminių medžiagų. Palyginti su tradiciniais augalinės kilmės pluoštais, natūralūs pluoštai yra pranašesni dėl mažesnio poveikio aplinkai. Perdirbimo technologijos, kurios gali sukurti naujus pluoštus, panašius į pirminį pluoštą, yra viena iš inovacijų, skatinančių žiedinę ekonomiką ir uždaro ciklo perdirbimo sistemas. Mados sektorius labai laimi perėjus nuo esamos linijinės ekonomikos prie žiedinės ekonomikos, tuo pačiu sumažinami neigiami padariniai dėl didėjančio pasaulio gyventojų skaičiaus, dėl kurio didėja drabužių paklausa. [3].

18.2 Išmaniosios tekstilės perdirbimo privalumai

Tikimasi, kad elektroninė tekstilė bus plačiai naudojama ir tai sudarys didelį atliekų srautą. Bus sunku surinkti ir perdirbti seną elektroninę tekstilę be pažangių surinkimo ir perdirbimo schemų. Elektroninė tekstilė taip pat gali turėti įtakos žmonių sveikatai ir socialiniam teisingumui, paprastai susijusiems su elektroninėmis atliekomis. Tinkamai perdirbdami išmaniąją tekstilę, galime turėti neribotą naudą. Keletas faktų:

- Sintetinio pluošto produktai nesuyra, o natūralūs pluoštai gali išskirti šiltnamio efektą sukeliančias dujas, todėl sąvartynuose reikia mažiau vietos.
- Vengiama naudoti pirminius pluoštus.

- Sumažėja vandens ir energijos sunaudojimas.
- Taršos prevencija.
- Sumažėjusi dažų paklausa.
- Sumažėjusi šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija [4].

18.3 Išmaniosios tekstilės perdirbimo galimybės



18.1 paveikslas. Išmaniosios tekstilės perdirbimas

Senos elektroninės tekstilės “likimas” priklauso nuo atliekų tvarkymo schemų, kurios yra sukurtos jų šalinimo vietoje. Tačiau šiuo metu naudojamos perdirbimo schemos yra netinkamos rinkti ir apdoroti tekstilę su integruotais elektroniniais komponentais. Perdirbimo ekspertų teigimu, elektroninę tekstilę perdirbti sunku dėl įvairių techninių problemų. Pavyzdžiui, tekstilė gali užstrigti smulkintuvuose ir trupintuvuose, tokiuose, kurie šiuo metu naudojami elektros ir elektroninės įrangos atliekų perdirbimui. (WEEE) [5].

Buvo manoma, kad purių, lengvų medžiagų, tokių kaip metalizuotos plastikinės folijos ir tekstilės siūlai, atskyrimas automatinuose separatoriuose neįmanomas. Iš esamos EEJ atliekų perdirbimo technologijos žinome, kad mechaninis smulkinimas lemia didelius tauriųjų metalų nuostolius. Šios medžiagos yra perduodamos dideliais kiekiais į išvedamas frakcijas, iš kurių jų negalima išskirti. Be to, naikinant elektroninę tekstilę vertingi metalai (pvz., sidabras) patektų į dulkių frakciją. Ekspertai prognozavo, kad rankinis elektroninės tekstilės atliekų rūšiavimas ir apdorojimas yra įmanomas, nors ir sudėtingas. Kadangi dažni metalai nėra taip koncentruojami elektroninės tekstilės atliekose, kaip tradicinėse elektros atliekose, buvo prognozuojama, kad perdirbimo išlaidos bus pernelyg didelės.

Vis dar reikia sukurti išmaniosios tekstilės perdirbimo sprendimą. Kai kurių tyrimų rezultatai: [6-9]

- Technologija turėtų būti naudojama gaminant gaminius, kurių gyvavimo ciklas ilgesnis.
- Technologijų kūrėjai ir elektroninės tekstilės gaminių kūrėjai neturėtų tiesiog priskirti perdirbimo pramonei atsakomybės už savo išradimų eksploataavimo pabaigos fazę.

- Iššūkių pavertimas galimybėmis kuriant technologinius artefaktus, siekiant, kad būtų užtikrinta ilgalaikė tvarumo nauda per visą produkto gyvavimo ciklą.
- Reikia ieškoti tvarumo naudos ir ją pritaikyti praktiškai.
- Pramoniniai dizaineriai gali atlikti labai svarbų vaidmenį kurdami tvarios elektroninės tekstilės gaminių demonstracijas, kad įkvėptų vartotojus ir sprendimus priimančius asmenis sutelkti dėmesį į tvarias alternatyvas..
- Ekologinį naujų produktų dizainą turi skatinti kiekviena mokslo institucija.
- Atliekų prevencija turėtų būti aiškus inovacijų strategijų tikslas.
- Platesnis išmaniųjų tekstilės gaminių, skirtų paprastiems ir grubiems jutikliams, pvz., varžiniams ar talpiniams jutikliams, naudojimas gali padėti pasiekti tikslumą naudojant kelis jutiklius ir ekstrapoliuojant duomenis.
- Padidėjo šiuo metu egzistuojančių paviršinių audinių naudojimas, siekiant sumažinti mažų jutiklių ir elektroninių komponentų poreikį.
- Būtina įsitikinti, kad keli duomenų keliai ir lygiagrečios linijos užtikrina patikimumą ir saugią gedimo grandinę.
- Apsvarstykite galimybę naudoti kuo mažiau medžiagų medžiagas, pvz., mono medžiagų.
- Iškastinio kuro naudojimas gali sukurti naujų galimybių tvariai ateičiai.
- Valdymo grandinių išardymas iš išmaniosios tekstilės padidintų ilgaamžiškumą ir gaminybės būtų ilgiau naudojamas.
- Produktų ilgaamžiškumo gerinimas, daugiausia dėmesio skiriant kokybei, vienkartiniam naudojimui, nusidėvėjimui, pataisymui ir senėjimui.

18.4 Išvada

Siekiant sustiprinti tekstilės rinkos tvarumą ir uždaryti žiedinį ciklą, perdirbimas turėtų būti padidintas. Naudojant sumaišytas ir dirbtines medžiagas, kurios yra chemiškai pagrįstos, trukdo perdirbti. Elektroninės tekstilės atliekų perdirbimas dar sudėtingesnis; dabartinės perdirbimo schemos yra netinkamos, o veiksmingas sprendimas dar turi būti sukurtas. Dėl šių priežasčių naujų technologijų diegimas turėtų būti paremtas ekonominėmis paskatomis, o ekologinis dizainas, monomedžiagų, natūralaus pluošto naudojimas ir rišimo procesai be cheminių medžiagų turėtų būti skatinami.

Nuorodos

1. Bukhari, M.A., Carrasco-Gallego, R., Ponce-Cueto, E. Developing a national programme for textiles and clothing recovery. *Waste Manag. Res.*, 2018, 36, 321–331.
2. Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials, Market Report, 2020.
3. GFA & BCG (Global Fashion Agenda and the Boston Consulting Group). Pulse of the Fashion Industry, 2021
4. Biswas, P. Smart Recycling of Smart Textiles – an Un-explored area in Textile Waste Management, Textile Focus. *Textile Engineer.*, 2021.



5. Shradhanjali, B. & Goutam, B. Sustainability in Smart Textile. National Institute of Fashion Technology, Bhubaneswar, India. – Textile Value Chain, Dec 04, 2020.
6. Çelikel, D.C. Smart E-Textile Materials. Intechopen, October 30th, 2020.
7. Leblanc, R. The Basics of Textile Recycling- Growth of Textile Recycling Promises to Divert More Material from Landfills. The Balance Small Business, December 30, 2020.
8. <https://www.environmentalleader.com/2011/11/study-smart-fabrics-pose-e-waste-threat/>
9. <https://www.360researchreports.com/global-electronic-textiles-sales-market-16615686>

19. Skyrius. IŠMANIŪJŲ TEKSTILĖS IŠTEKLIŲ TAUPYMAS PAGAL 3R KONCEPTĄ

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

19.1 Įvadas

Mūsų gyvenimas yra apsuptas tekstilės gaminių, o kadangi esame technologijų eroje, nenuostabu, kad tekstilė taip pat atlieka protingas funkcijas. Šiais laikais mados industrijoje galima naudoti daug išmaniųjų ir novatoriškų audinių, išmaniosios tekstilės.

Išmanioji tekstilė taip pat vadinama elektronine tekstile arba e-tekstile ir yra tekstilė su elektroniniais komponentais, atliekančiais kai kurias funkcijas. Skaitmeninių komponentų integravimas neturėtų keisti drabužių funkcijų, tokių kaip patogumas, minkštumas, atsparumas, ilgaamžiškumas.

Išmaniosios tekstilės rinka auga besivystančiose šalyse, o pasaulinė išmaniųjų audinių rinka išaugs nuo 943 mln. USD 2015 m. iki 5369 mln. USD iki 2022 m. [1].

Literatūroje pateikiamos kelios išmaniosios tekstilės rūšys, o bendra klasifikacija grindžiama drabužių estetinėmis ir eksploatacinėmis funkcijomis. Mados industrijoje naudojami estetiški išmanūs audiniai, kurie gali keisti spalvą, šviesti. Šiuose audiniuose naudojamos termochrominės, solvatochrominės, fotochrominės ir elektrochrominės medžiagos. Veikimo funkcijos reiškia medžiagos gebėjimą apsaugoti nuo spinduliuotės, stebėti kūno funkcijas, tokias kaip širdies ritmas, kontroliuoti kūno temperatūrą.

Protinga tekstilė gali paversti dirgiklius reakcijomis, kurios sąveikauja su visais 5 pojūčiais: lytėjimo, regos, klausos, uoslės, lytėjimo. Be drabužių ir aprangos pramonės, išmanioji tekstilė turi ir kitų pritaikymų, tokių kaip medicina, automobiliai, kariuomenė, aviacija, robotika..

Išmanioji tekstilė nebūtinai yra tvaresnė už įprastą ir, remiantis literatūra, kyla abejonių dėl išmaniosios tekstilės tvarumo. [2]. Abi pramonės šakos – tekstilės ir mikroelektronikos – turi tam tikrų tvarumo problemų.

Terminas „tvarumas“ pastaraisiais metais tapo vis populiaresnis visose pramonės šakose ir tarp vartotojų. Tvarumas apibrėžiamas skirtingai, tačiau labiausiai paplitęs apibrėžimas yra toks: „antropinės veiklos kokybė, kurią reikia užtikrinti neišnaudojant turimų išteklių ir neniokojant aplinkos, taigi nepažeidžiant galimybių patenkinti ateities kartų poreikius“. [3]. Tvarumą galima apibūdinti kaip „trijų ramsčių“, kurie sudaro aplinkos, socialinių ir ekonominių problemų sprendimus, sankirtą.

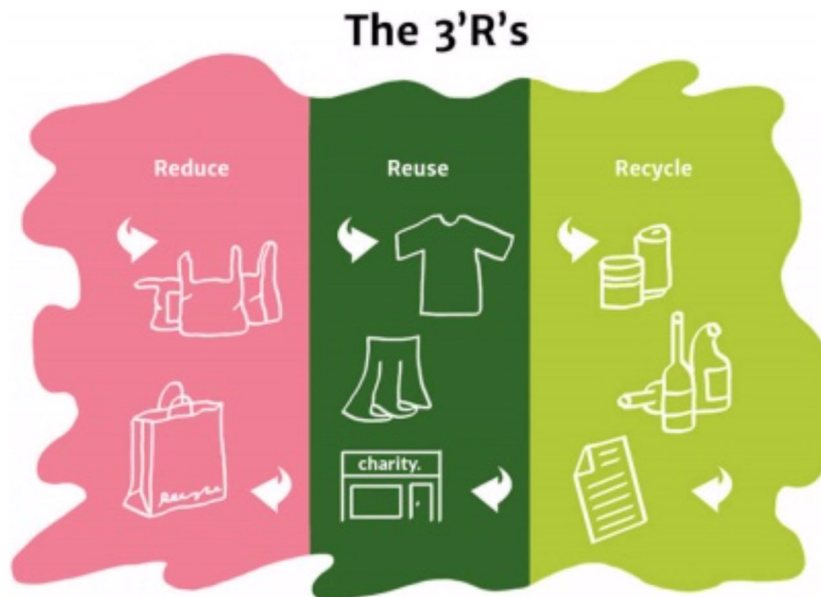
19.2 3R konceptas

Aplinkosaugos požiūriu tekstilės pramonė nebuvo labai draugiška, tačiau dėl pažangių ir novatoriškų technologijų pastaraisiais metais tai pasikeitė. Technologijų pažanga, procesų tobulinimas, rūpinimasis aplinka – tuo siekiama nukreipti pramonę tvarios plėtros link.

Ekonominiu požiūriu tvarus Europos pramonės vystymasis gali būti pasiektas konkurencingumu – vienu žingsniu lenkiant konkurentus. Dėl nesąžiningų eksporto apribojimų konkurentai iš kitų trečiųjų šalių gali įsigyti pigių produktų, todėl sunku išlaikyti konkurencinį pranašumą pasaulinėje rinkoje.

Socialiniu požiūriu turi būti laikomasi tam tikrų aspektų: gyvūnų gerovės užtikrinimo, pramonės įvaidžio gerinimo ir investicijų pritraukimo, švietimo ir specializuoto mokymo rėmimo, taip pat siekio neišnaudoti darbo jėgos.

Ilgą laiką į tvarumą ir žiedinę ekonomiką buvo kreipiamasi per 3 „R“ koncepcijos prizmę: Mažinimas (Reduce), pakartotinis naudojimas (Reuse), Perdirbimas (Recycle).



19.1. paveikslas. 3"R" koncepcija, šaltinis: <https://www.solarschools.net/knowledge-bank/sustainability/reduce-reuse-recycle>

Reduce (mažinimas)

Nurodomas pirkimų skaičiaus ribojimas, siekiant sumažinti susidarančių atliekų kiekį. Tai veiksmingiausias atliekų hierarchijos komponentas.

Reuse (pakartotinis naudojimas)

Antrasis „R“ reiškia, kad gaminius reikia naudoti kiek įmanoma daugiau prieš juos keičiant. Tekstilės gaminiai dažniausiai keičiami, nes nebėra madingi, net jei yra funkcionalūs ir nepažeisti.

Recycle (perdirbimas)

Trečiasis „R“ reiškia naujos paskirties suteikimą gaminiui arba kai kurioms jo dalims.

3"Rs" tikslas yra sumažinti susidarančių atliekų kiekį, kiek įmanoma pakartotinai naudojant produktus ir perdirbant visas medžiagas, kurios gali būti panaudotos naujam tikslui.

McDonough ir Braungart pasiūlė naują požiūrį į „R“: permąstyti arba perprojektuoti. Šis naujas „R“ yra pagrįstas visuomenės pertvarkymo elgsena, orientuota į ekologinį projektavimą ir projektavimo procesus, glaudžiai susijusius su tvariu vystymusi ir naujo vartotojo tipo, būtent sąmoningo vartotojo, atsiradimu. [1, 4].

19.3 6R konceptas

Naujausia koncepcija yra „6R“, kuri sudaro tvarios gamybos (sumažinti, pakartotinai naudoti, atsisakyti, pergalvoti, taisyti, perdirbti) pagrindą, nes tai leidžia iš vieno tradicinio atviro gyvavimo ciklo pereiti į uždarą. [5].



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

Iš naujo įsivaizduoti arba permąstyti

Apžvelgia vartotojų gyvenimo būdą ir jų pirkimo įpročius. Prieš ką nors pirkdami, vartotojai turėtų savęs paklausti, ar tikrai jiems to produkto reikia, ir permąstyti savo kasdienes pasirinkimus.

Pakartotinai naudoti

Užuoat pirkus naują gaminį, galima bandyti jį atrasti iš naujo arba rasti alternatyvų esamo produkto panaudojimą.

Sumažinti

Siekama sumažinti susidarančių atliekų kiekį perkant tik svarbius produktus ir apriboti pirkimus.

Remontuoti

Prieš išmetanti gaminį, pailginti jo naudojimo laiką galima jį sutaisius.

Atsisakyti

Tai reiškia, kad atsisakoma mokėti papildomai už tai, dėl ko susidarytų daugiau atliekų, pvz., didelę pakuotę, užpildytą popieriumi..

Perdirbti

Tekstilės gaminių žaliavas galima regeneruoti ir pakartotinai panaudoti kitam gaminiui gauti, o tai reiškia gamtos išteklių tausojimą ir prisidėjimą prie tvaraus vystymosi.

Kiekvienas iš šių „Rs“ apibūdina veiksmą, kurio galima imtis siekiant sumažinti gaminių poveikį aplinkai.

Galimybė perdirbti išmaniuosius tekstilės gaminius priklauso nuo naudojamų medžiagų ir tekstilės bei technologinių komponentų integracijos lygio. [5]. Kitas aspektas – elektroninių prietaisų tvirtinimo būdas: susiuvamas, užsegamas, užsegamas užtrauktuku. Neišimant elektroninių prietaisų perdirbimo metu, procesas pasunkėja. Net jei elektroninė aparatūra pašalinama, ją sunku perdirbti. Geriausias tekstilės atliekų šalinimo būdas yra perdirbimas, tačiau kalbant apie išmaniąją tekstilę, šis procesas yra labai sudėtingas, brangus ir kartais neįmanomas.

19.4 Išvados

Integruojant šiuos principus į išmaniosios tekstilės dizainą, gamybą, naudojimą ir šalinimą, 3R koncepcija skatina išteklių tausojimą, atliekų mažinimą ir aplinkos tvarumą. Tai padeda maksimaliai padidinti šių medžiagų vertę ir sumažinti jų poveikį aplinkai.

Išmaniojoje tekstilėje dažnai yra elektroninių komponentų, kuriems veikti reikia energijos. Tausodami išteklius ir įgyvendindami energiją taupančius projektus, galime sumažinti energijos suvartojimą ir priklausomybę nuo iškastinio kuro, taip sumažindami šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir kovodami su klimato kaita.

Tausojant išteklius skatinamos tvarios naujovės išmaniosios tekstilės srityje. Tai skatina kurti ekologiškas medžiagas, efektyvius gamybos procesus ir perdirbimo technologijas. Sutelkdama dėmesį į išteklių tausojimą, pramonė gali paskatinti pažangą, suderintą su aplinkosauginiu valdymu ir socialine atsakomybe.

Išmaniųjų tekstilės gaminių išteklių tausojimo akcentavimas atitinka žiedinės ekonomikos principus. Sumažindami, pakartotinai naudodami ir perdirbdami medžiagas, galime sukurti uždaro ciklo sistemą, kurioje ištekliai naudojami efektyviai, atliekų kiekis sumažinamas iki minimumo, o vertingos medžiagos nuolat grąžinamos į gamybos ciklą.

Išmaniosios tekstilės gaminių išteklių tausojimas yra labai svarbus siekiant sumažinti poveikį aplinkai, sumažinti atliekų kiekį, skatinti tvarumą ir atsakingai bei veiksmingai skatinti ekonominę ir technologinę pažangą.

Nuorodos

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

20. Skyrius. DARNI IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS PLĖTRA

Athanasios Panagiotopoulos and Georgios Priniotakis, UNIWA, Greece

Introduction, definitions

Išmanioji tekstilė gali būti apibrėžiama kaip tekstilė, galinti pajusti aplinkos sąlygas ir išorinius dirgiklius (pvz., mechaninius, šiluminius ir cheminius dirgiklius) ir į juos reaguoti dėl daugybės į tekstilę įmontuotų jutiklių.

Tvarumas – tai mūsų dabartinių poreikių tenkinimas nepakenkiant ateities kartų galimybėms patenkinti savo poreikius. Be gamtos išteklių, tvariam vystymuisi reikia ir socialinių bei ekonominių išteklių. Tvarumas yra ne tik aplinkosauga. Daugumoje tvarumo apibrėžimų mes randame susirūpinimą dėl socialinio teisingumo ir ekonominio vystymosi.

Išmaniosios tekstilės ir tvarumo terminų derinys lemia naujo apibrėžimo poreikį: tvarios išmaniosios tekstilės gaminių apibrėžimą. Plačiuoju ir bendru aspektu tai būtų apibrėžiama kaip išmanioji tekstilė, atitinkanti tvarumo poreikį visais savo funkcijų ir pritaikymo aspektais ir per visą gyvavimo ciklą, nuo žaliavų gavybos iki eksploatavimo pabaigos, įskaitant svarbiausias gamybos fazes ir naudojimą. Kad būtų patenkinti reikalavimai, keliami tvarios išmaniosios tekstilės gaminiams, labai svarbu, kad jie būtų tokie būtų sukurti ir taip gaminami.

Toliau pateiksime svarbiausius išmaniosios tekstilės, kuri gali būti vertinama kaip tvari, plėtros aspektus. Tvarumo siekis yra nuolat besikartojantis nuolatinio tobulėjimo procesas, todėl žemiau pateikti aspektai turėtų būti vertinami kaip ne vieninteliai, o patys svarbiausi ir geras atsپirties taškas visiems, norintiems kurti tvarų išmanųjį gaminį.

21.1 Energijos suvartojimas

Energijos suvartojimas yra vienas iš svarbiausių aspektų, susijusių su tvarumu, ypač perteklinis energijos suvartojimas, kai ši energija gaminama naudojant neatsinaujinančius šaltinius, tokius kaip iškastinis kuras. Kalbant apie išmaniają tekstilę, itin naudinga savybė norint išvengti energijos naudojimo yra savaiminio išsivalymo galimybė. Tam gali būti naudojami keli technologiniai sprendimai, tokie kaip fotokatalizatoriai, mikrobangos, anglies nanovamzdeliai, koloidinis metalo oksidas, sidabro nanodalelės ir chloro halaminas. [1]. Tekstilės paviršių savaiminio išsivalymo savybių realizavimas naudojant nanotechnologijas suteikia didžiulį potencialą kuriant naujas medžiagas arba naujus gaminius ir pritaikant turimas medžiagas [2].

Be to, savaiminis atsistatymas gali pailginti tekstilės gyvavimo ciklą keleriais metais. Jei galime pasiekti tekstilės savęs atsistatymo efektą, tai reiškia, kad galime pratęsti tekstilės naudojimą, o tai lemia mažesnes energijos, reikalingos naujiems gaminiams pagaminti, sąnaudas.

Savaime atsistatantys audiniai, žinomi kaip išmaniosios tekstilės gaminiai su automatinio savaiminio pasitaisymo funkcija, yra laikomi daug žadančiomis būtiniausiomis medžiagomis nuolatinei tekstilės pramonės plėtrai. Savaime atsistatanti tekstilė paprastai buvo kuriama naudojant apdailą cheminėmis dangomis mikrokapsulių, hidrogelių ar kitų polimerinių matricų pavidalu. [3].

Be to, tekstilės savaiminė termoreguliacija yra tikra energijos vartojimo revoliucija. Galima įsivaizduoti drabužius, galinčius reguliuoti juos dėvinčio žmogaus kūno temperatūrą, todėl mažiau, o gal ir visai nereikėtų šildymo ar vėsinimo įrenginių, kurie sunaudoja nemažą energijos kiekį. Šio metodo strategijos apima vėsinimo / šildymo, aušinimo / kaitinimo audinius, spalvotą, dinamišką tekstilę, PCM pluošto tekstilę, metalines nanopluošto hibridines plėveles / tekstilės gaminius, grafeno ir anglies pagrindu pagamintas medžiagas, termoelektrinius įrenginius (TED). [4]



21.1 paveikslas. Tvarumas veda į žalią ateitį

21.2 Medžiagos

Išmaniosios tekstilės gaminių tvarumas taip pat turi priklausyti nuo medžiagų, naudojamų gaminiui gaminti. Reikėtų vengti medžiagų, kurios yra per brangios arba kurioms reikia didelių išteklių, pirmenybę teikiant kitoms medžiagoms, geriausia – perdirbtoms, kurios laikomos tvariomis, pvz., neutraliomis anglies dioksido atžvilgiu, perdirbamomis arba galimomis perdirbti.

Netgi galima galvoti apie elektroninių medžiagų ir komponentų problemos sprendimą, kai jų eksploatavimo laikas baigiasi ir kurias būtų galima integruoti į išmaniąją tekstilę.



Pavyzdys yra mikroprocesoriai, kurie laikomi pasenusiais aukštųjų technologijų (kompiuterijos) programoms, tačiau gali efektyviai veikti su mažos paklausos programomis išmaniuosiuose tekstilės gaminiuose, savarankiškai valdant ribotą skaičių arba įvesties / išvesties įrenginius, pvz., jutiklius. Tokiu būdu didelis kiekis pavojingų elektronikos atliekų yra perdirbamos ir lieka naudojamos ir netampa taršos šaltiniu. [5]. Tas pats galioja ir mažiems ekranams iš mobiliųjų telefonų ar radijo ryšio įrangos.

Galimybė naudoti elektroninius komponentus, kuriuos galima nuardyti nuo išmaniosios tekstilės gaminių, lengvai nuimamu būdu sumontavus elektroninę techninę įrangą ant tekstilės gaminio, leidžia atnaujinti techninę įrangą ir pailginti gyvavimo ciklą, taigi ir sumažinti elektroninių atliekų kiekį.

21.3 Energijos gamyba

Jau minėjome energijos suvartojimą, kalbėdami apie galimybę sumažinti išmaniosios tekstilės funkcijai reikalingą energiją. Kitas žingsnis į priekį yra energijos gamyba iš pačios tekstilės.

Taip gali nutikti naudojant biomechaninę energiją, gaunamą iš tekstilės gaminių, nes žmogaus kūnas yra turtingas biomechaninės energijos šaltinis. Gana brandus technologinis sprendimas biomechaninei energijai surinkti yra pjezoelektrinis efektas, kurį būtų galima integruoti su tekstilės gaminiiais, gaminant elektros energiją ant kūno. Palyginti su pertraukiamąja biomechanine energija, kuriai reikia kūno judesių, kitas energijos šaltinis yra kūno šiluma, nuolat esanti ant žmogaus kūno net ir nejudrioje padėtyje, kuri atsiranda iš šalutinių medžiagų apykaitos produktų ir tapo prieinamu energijos šaltiniu nuolatiniam elektros energijos gamybai pastaruosius dešimtmečius. Be jau minėtos elektros energijos generavimo iš biomechaninių judesių ir kūno šilumos, biocheminė energija yra kūno energijos šaltinio tipas, kuris paprastai yra prieinamas, bet dažniausiai ignoruojamas ir pasireiškia tokiomis formomis kaip kūno skysčiai, įskaitant prakaitą, ašaras, kraują ir seiles. [6].

Fotoelektrinė tekstilė

Du pagrindiniai fotovoltinės (PV) tekstilės sektoriai pirmiausia yra jutiklių ir kitos elektronikos, integruotos į dėvimą audinį, maitinimas, o po to - didelio masto saulės energijos iš tentų, skėčių nuo saulės, dangčių ir panašių įrenginių naudojimas. Šiuo metu nėra grynai tekstilinių saulės energijos gaminių, bet daug laboratorinio masto versijų, kurios pretenduoja į komercines programas.

Pirmasis iššūkis gaminant bet kurį PV elementą yra sukurti elektrai laidžią bazę, kuri neturėtų varžos kliūties krūviams tekėti iš elemento. Elementams, kurie tiekia didelę srovę, naudojami tik metalai, o mažesnio našumo plonasluoksniai elementai gali naudoti mažiau laidžius skaidrius oksidus (pvz., indžio alavo oksidą-ITO arba aliuminio cinko oksidą-AZO). Laidieji polimerai patys savaime nėra pakankamai laidūs [7]

Natūralių pluoštų naudojimas

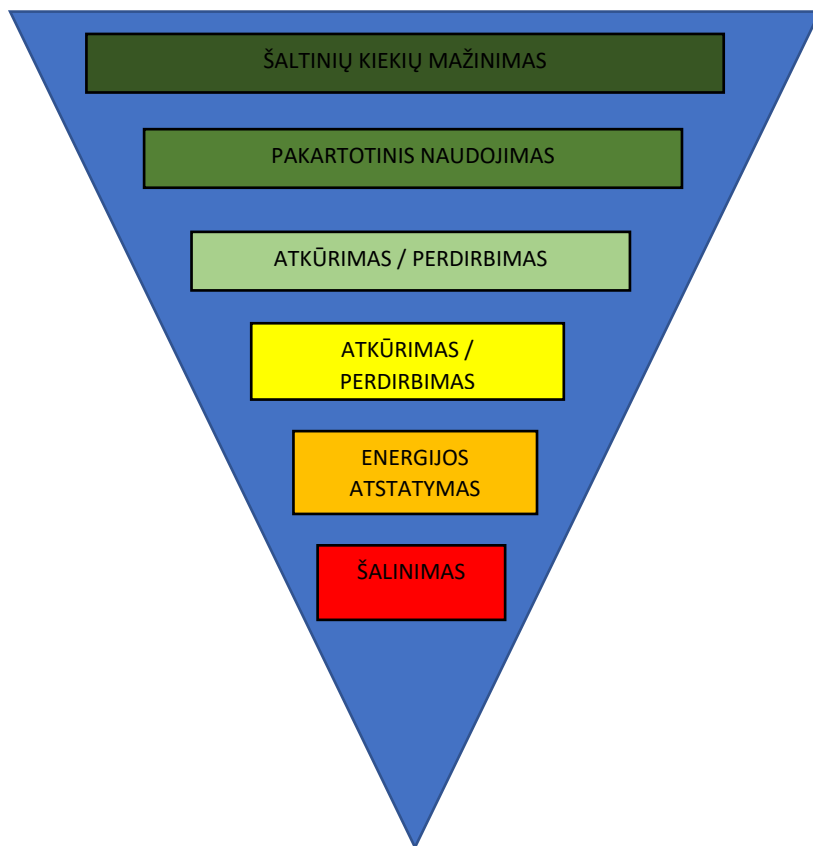


Natūralaus pluošto kompozitai yra intensyviai tiriami dėl jų ekologiškumo ir unikalių savybių. Jų privalumai yra nuolatinis tiekimas, paprastas ir saugus tvarkymas, jie yra biologiškai skaidūs. Nors natūralūs pluoštai pasižymi nuostabiomis fizinėmis ir mechaninėmis savybėmis, jie skiriasi priklausomai nuo augalų šaltinio, rūšies, geografijos ir kt. [8].

Natūralių pluoštų kategorijos:

- Augaliniai pluoštai, įskaitant plaušą, lapus, stiebus, vaisius, sėklas ir kitus pluoštus, tokius kaip mediena.
- Gyvūninės kilmės pluoštai, tokie kaip vilna, angora, mohera, kašmyras ir alpaka, taip pat šilkas.
- Mineraliniai pluoštai, tokie kaip asbestas [9], taip pat gali būti naudingi, tačiau jie kelia problemų žmonių sveikatai, o tai yra stabdantis veiksnys..

Perspektyviausia ir naujoviškiausia kategorija yra pluoštai, gaunami iš vaisių ir sėklų. Kasmet iššvaistoma daugybė tonų vaisių. Jei iš jų bus įmanoma gaminti pluoštą, tai duos puikių aplinkosaugos ir finansinių rezultatų.



21.2 paveikslas. Atliekų mažinimo hierarchija

20.4 Išvada

Nors išmanioji tekstilė dar neturi brandžios rinkos, ji turi patenkinti tvarumo poreikį, kaip ir visi kiti gaminiai. Kad išmanioji tekstilė būtų tvari, ji turi būti sukurta ir vystoma tokia. Atitinkami pakeitimai ir koregavimai bus taikomi kiekvienai gaminio daliai (verpalams ir elektroninėms dalims), bet taip pat turėtų būti taikomi per visą gyvavimo ciklą. Tai reiškia, kad tokie aspektai kaip energijos suvartojimas naudojimo etape turėtų būti kuo labiau sumažinti ir (arba) atsverti, pavyzdžiui, gaminant energiją iš pačios išmaniosios tekstilės.

Nuorodos

1. Saad, S.R., Mahmed, N., Abdullah, M.M.A.B., Sandu, A.V. Self-Cleaning Technology in Fabric: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, 133. doi:10.1088/1757-899x/133/1/012028
2. Self Cleaning Textile <https://www.technicaltextile.net/articles/self-cleaning-textile-an-overview-2646>
3. Cheung, T.W., Li, L. Sustainable development of smart textiles: a review of self-functioning abilities which makes textiles alive. *J Textile Eng. Fashion Technol*, 2018, 4(2), 151-156. DOI: 10.15406/jteft.2018.04.00133
4. Hu, R.; Liu, Y.; Shin, S.; Huang, S.; Ren, X.; Shu, W.; Cheng, J.; Tao, G.; Xu, W.; Chen, R.; Luo, X. Emerging Materials and Strategies for Personal Thermal Management. *Advanced Energy Materials*, 2020. doi:10.1002/aenm.201903921
5. Veske, P.; Ilän, E. Review of the end-of-life solutions in electronics-based smart textiles. *Journal of Textile Institute*, 2020, 1–14. doi:10.1080/00405000.2020.1825176
6. Chen, G.; Li, Y.; Bick, M.; Chen, J. Smart Textiles for Electricity Generation. *Chemical Reviews*, 2020. doi:10.1021/acs.chemrev.9b00821
7. Wilson, J.I.B, and Mather, R.R. Photovoltaic solar textiles. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2019, 32, 1-4.
8. Asim, M.; Abdan, K.; Jawaid, M.; Nasir, M.; Dashtizadeh, Zahra; Ishak, M.R.; Hoque, M. E. A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–16. doi:10.1155/2015/950567
9. Daria, M.; Lejcuã, K.; Misiewicz, J. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 268. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122129

21 Skyrius. IŠMANIOSIOS TEKSTILĖS TOKSIŠKUMAS

Olga Papadopoulou, Creative Thinking Development, Greece

21.1 Įvadas

Tekstilės pramonė yra visiškai išvystytas ir technologiškai pažangus pramonės sektorius, turintis didelį CO₂ pėdsaką ir prisidedantis prie vandens taršos, daugiausia dėl dažymo procesų. [1, 2]. Pramoniniuose tekstilės gaminių gamybos procesuose naudojami įvairūs cheminiai agentai, skirti glitavimui ir deglitavimui, balinimui, dažymui, apdailai ir minkštinimui. [3]. Taip pat reikėtų atsižvelgti į antipirenus ir paviršiaus apdorojimą sukonstruotomis nanomedžiagomis [1]. Daugumos šių cheminių medžiagų, naudojamų tradicinių audinių gamybos procesuose, toksiškumas yra gerai dokumentuotas, o poveikio ribos buvo nustatytos sistemingais tyrimais per pastaruosius dešimtmečius. [1, 3].

Be įprastų audinių tipų ir atitinkamų pavojų, didėjantis nanomedžiagų, baterijų cheminių medžiagų, sunkiųjų metalų, integruotų su audiniu išmaniosios tekstilės gaminiuose, naudojimas sukėlė papildomą susirūpinimą dėl galimo pavojaus sveikatai. Šis pavojus susijęs su tokių medžiagų naudojimu ir priežiūra, taip pat jų eksploatacijos pabaiga. Kai kuriuose naujausiuose tyrimuose pabrėžiamas nanomedžiagų poveikis aplinkai ir aprašomos būtinos procedūros [4-6]. Toksiškumo aspektai, susiję su išmaniosios tekstilės gyvavimo ciklu, turi didžiulį poveikį žmonių sveikatai ir saugai, aplinkai ir esamų atliekų tvarkymo procedūrų bei perdirbimo efektyvumui. [2, 6]. Yra esminis konfliktas tarp neribotų funkcijų ir bendro išmaniųjų tekstilės gaminių tvarumo [2,6,7].

Tolesnėse dalyse apžvelgiamos pagrindinės žinios apie galimą išmaniosios tekstilės toksiškumą, siekiant informuoti inovacijų centrus ir šios srities tyrėjus, investuotojus, MVĮ ir pramonės gamintojus, galutinius vartotojus ir politikos formuotojus.

21.2 Pavojai žmonių sveikatai, susiję su išmaniaja tekstile

Pasak Rovira ir kt. [1] patvirtinto toksiškumo cheminių medžiagų kategorijos, plačiai naudojamos tekstilės pramonėje, apima:

(a) Aromatinius aminus, daugiausia naudojamus azodažikams gaminti. Daugelis šių junginių yra apibūdinami kaip alergenai ir, svarbiausia - kaip kancerogeniniai ir genotoksiški junginiai.

(b) Nuodingus metalus, pavyzdžiui, Co, Pb, Cr, Cu, Ni, Cd, Hg, As, Zn (metalo organinių kompleksų sudedamosios dalys arba neorganiniai pigmentai dažuose), nuodingus katalizatorius, pavyzdžiui, Sb_2O_3 metalų ir oksidų nanodaleles, dedamas į tekstilę, siekiant gauti norimas savybes.

(c) Ftalatus, dažnai sutinkamus PVC atspaudų pavidalu, kurie priskiriami galimų endokrininę sistemą ardančių medžiagų kategorijai.

(d) Formaldehido pagrindu pagamintas dervas, naudojamas tekstilės apdailai, kurios dirgina odą ir yra potencialiai kancerogeninės, jei išsiskiria didelis formaldehido kiekis.

(e) Polibromintus difenilo eterius (PBDE) ir heksabromciklodekano (HBCD) priedus, naudojamus kaip antipirenai. Šios cheminės medžiagos, nors ir nėra išsamiai ištirtos dėl tam tikrų apsinuodijimo mechanizmų, kaupiasi žmogaus audiniuose ir taip pat buvo aptiktos kaip pagrindiniai ekosistemų teršalai.

Sukurtos nanomedžiagos patenka į žmogaus organizmą daugiausia įkvėpus, absorbuojamos per odą ir nurijus, pirmieji du variantai yra dažniausiai pasitaikantys [3, 4].

Kalbant apie funkcionalizuotą tekstilę ir nešiojamus įrenginius, dažniausiai naudojami nanodalelių, nanopluoštų ir nanodangų tipai, kurie pasižymi įvairiomis savybėmis, pvz., elektros laidumu, savaiminiu išsivalymu ir antibakterinėmis savybėmis, padidintu mechaniniu stiprumu ir atsparumu dilimui, UV blokavimu, liepsnos sulaikymu, atsparumas vandeniui ir daug daugiau – tai metalo dalelėms (Ag, Cu, Au), įvairios anglies pagrindo dalelėms (CNT, suodžiai), nanomoliams ir neorganiniams oksidams (TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO), grafeno oksidui [2-4, 9, 8, 9]. Kai kurie tipiškai integruoti nano prietaisai ir lankstūs pluoštai, naudojami kaip baterijos, yra Al-NaOCl galvaniniai elementai ir (LiFePO₄/Li₄Ti₅O₁₀/ kietas polietileno oksidas/PVDF). Polimerų ir kopolimerų sluoksniai, polimerinės fotoninės juostos pluoštai, metalinės plėvelės, nusodintos dulkinant, ir kelių komponentų laidūs siūlai su superkondensatoriaus funkcija taip pat yra tipiškai išmaniosios tekstilės gaminių nanomatmenų komponentai. [2]. Visos aukščiau paminėtos cheminės medžiagos yra susijusios su įvairiais toksiškumo pavojais. 21.1 paveiksle pavaizduotas CNT įsiskverbimas į plaučių ląstelę.

21.1 paveikslas. *Skenuojančio elektroninio mikroskopo vaizdas, vaizduojantis anglies nanovamzdelius (CNTs) besiskverbiančius į plaučių ląstelę (šaltinis: Robert R. Mercer, Ann F. Hubbs, James F. Scabilloni, Liying Wang, Lori A. Battelli, Diane Schwegler-Berry, Vincent Castranova and Dale W. Porter / NIOSH; CCO Public Domain).*

Rizika sveikatai ir saugai yra susijusi su visais gaminio gyvavimo ciklo etapais – žaliavų gamyba, nanomedžiagų ir elektronikos integravimu su audiniais gamybos metu, naudojimo faze ir atliekų apdorojimu bei šalinimu. Su didžiausia poveikio rizika tekstilės pramonės darbuotojai susiduria gamybos etape [3, 4]. Labiausiai paplitę išmaniųjų tekstilės komponentų integravimo metodai yra šie: i) audimas, mezgimas, laminavimas arba laidžių siūlų siuvimas ant tekstilės, ii) audimas ir mezgimas gaminant dvimačius ir trimačius tekstilės gaminius, iii). elektronikos įterpimas į audinį, sukuriant elektrinius kontaktus [10].

Potencialiai toksiškų sudedamųjų dalių išsiskyrimas iš galutinių išmaniųjų tekstilės gaminių gali atsirasti dėl trinties, prakaito, temperatūros svyravimų, švitinimo poveikio, plovimo metu [9]. Įgertis per odą yra laikomas pagrindiniu išmaniosios tekstilės galutinių vartotojų sveikatos rūpesčiu, tačiau šis poveikis nėra gerai ištirtas. [4]. Daugelis tyrimų praneša apie galimus nanodalelių, nanoagregatų ir nanoaglomeratų adsorbcijos ir kaupimosi žmogaus organuose mechanizmus. [4]. Mažesnės nei 100 nm dalelės prasiskverbia pro ląstelių membranas ir sukelia įvairius sutrikimus, įskaitant oksidacinį stresą, uždegimą, apoptozę, mitochondrijų ir lizosomų disfunkciją bei genotoksiškumą. [15]. Konkretūs pavojai priklauso nuo dalelių fizikinių ir cheminių savybių (dydžio, cheminės sudėties, paviršiaus energijos, krūvio ir kt.). [4, 6] ir dvi pagrindinės pasekmės yra toksinis poveikis ir DNR pažeidimai, sukeliantys neurologines ligas ir vėžį [4]. Periyasamy [3] išsamioje apžvalgoje apie tekstilės mikropluošto išsiskyrimo pasekmes aptaria tyrimus, kurių metu mikropluoštai aptikti žmogaus placentos mėginiuose. [3]. Tas pats autorius išvardija visus sunkiuosius metalus, dedamus į polimerinius audinius, jų funkcionalumą ir su tuo susijusią grėsmę žmonių sveikatai – nuo alergijos iki įvairių rūšių vėžio ir organų nepakankamumo. 21.2 paveiksle apibendrintos dažniausiai pasitaikančios sveikatos problemos ir ligos, kurias sukelia intensyvus ar ilgalaikis žmonių poveikis nanomedžiagomis.

21.2 paveikslas. *Ligos ir sveikatos būklės, susijusios su nanodalelių poveikiu ir kaupimusi žmogaus organizme (šaltinis: Cristina Buzea; CCO Public Domain).*

Almeida ir kt. rašo apie EN ISO standartus, kurie buvo sukurti arba pritaikyti sąlyčio su oda poveikiui įvertinti, kai vyksta kontaktas su tipiškomis tekstilėje esančiomis nanomedžiagomis. Dauguma šių bandymo metodų yra sukurti kaip panardinimo į dirbtinio prakaito tirpalus bandymai [9]. Išmaniuosiuose tekstilės gaminiuose integruota elektronika reikalauja kitokio požiūrio.

21.3 Išmaniosios tekstilės toksiškų ingredientų poveikis aplinkai



Toksiškų medžiagų išmetimo skalbimo procesų metu ir išmaniųjų tekstilės gaminių šalinimo (baigus juos eksploatuoti) metu kylanti rizika aplinkai ir ekotoksiškumas yra atskira sritis, kurią reikia stebėti ir kontroliuoti, kad ateityje vykdoma masinė kelių komponentų tekstilės, drabužių ir nešiojamų gaminių gamyba nesukeltų plačiai plintančios taršos, kaip tai buvo mikroplastiko atveju [5, 7].

Galbūt dažniausiai skelbiami duomenys yra tekstilės gaminių, turinčių kvapą ir (arba) pasižyminčių antimikrobinėmis savybėmis, skalbimo bandymų rezultatai. Keli tyrimai praneša apie platų sidabro nanodalelių išplovimą [2,4] – tai rizika, kuri tikriausiai buvo neįvertinta kuriant šiuos gaminius. Iki šiol yra tik viena standartinė skalbimo procedūra pagal ISO 6330 ir nėra specialių tinkamo perdirbimo gairių ar tarptautinių taisyklių, kurios sumažintų poveikį aplinkai. [10]. Tinkama perdirbimo praktika yra papildoma problema, kurią reikia spręsti. Tradicinio tekstilės perdirbimo efektyvumas (siekia 100%) netaikytinas išmaniosioms tekstilės atliekoms [6, 8]. Dolez ir kt. savo apžvalginiame darbe [11] paminėjo kai kuriuos patobulinimus, susijusius su tam tikrų kategorijų pluoštų, naudojamų asmeninių apsaugos priemonių gamyboje, pvz., labai besitęsiančio elastomerinio pluošto, celiuliozės pluošto ir prekinų sintetinių pluoštų, perdirbimumu. Kai kurie teigiami rezultatai, susiję su metalinių komponentų daliniu perdirbimu (po metalurginio regeneravimo arba mechaninio atskyrimo nuo polimerinių medžiagų), gauti laidžių elektroninių tekstilės gaminių atveju. [6]. Tačiau tai nėra bendra tendencija ir nėra sistemingos praktikos, kuria naudojantis galima būtų suardyti / išskirti ir atskirti substrato audinius nuo nanodalelių, elektronikos ar kitų komponentų.

Kaip pažymėjo Köhler [7], išmaniosios tekstilės gaminiai su elektronika ir jutikliais, kurių eksploatavimo laikas baigiasi, turėtų būti surenkami ir laikomi elektroniniais prietaisais. Iki šiol nėra konkrečių teisės aktų ir reglamentų, reglamentuojančių nešiojamų elektroninių įrenginių ekologinį projektavimą ir atliekų tvarkymą [5]. Sistemingas kietųjų atliekų perdirbimo sistemų, sąvartynų ir deginimo aikštelių užteršimas, nuotekų valymas nanodalelėmis ir kitomis toksinėmis bei cheminėmis medžiagomis neišvengiamai sukeltų ekosistemos taršą – būtų užterštas vanduo, dirvožemis ir oras. [3, 7].

21.4 Toksiškumo ir ekotoksiškumo vertinimo metodai – būtini reglamentai ir politika

Tyrimai, skirti nanomedžiagų toksiškumui žmonėms, yra gana riboti ir daugiausia remiasi poveikio gyvūnams modelių ekstrapoliacija žmonėms. Norėdami tai pasiekti, mokslininkai panaudojo keletą gyvūnų ir mikroorganizmų rūšių eksperimentams in vivo, kad įvertintų įvairių tipų nanodalelių poveikį. Tačiau nėra sistemingų protokolų, susiejančių šių medžiagų fizikines ir chemines savybes ir apsinuodijimo mechanizmus, todėl eksperimentiniai rezultatai dažnai neleidžia daryti tvirtos išvados. [4]. Remiantis Saleem ir kt. apžvalginiu straipsniu. [4], naujausia toksikologinių tyrimų tendencija yra pirmiausia in vitro metodų naudojimas, pasitelkiant epitelio ląstelių linijas arba 3D kultūras. Šio tipo eksperimentų įvertinimas galėtų suteikti informacijos apie galimą DNR pažeidimą (sunaikinimą ar oksidaciją), genų mutacijas ir chromosomų sunaikinimą. [4]. Bet kuriuo atveju tinkamo tyrimo metodo pasirinkimas priklauso nuo nanomedžiagų unikalios savybių ir tiriamos biologinės sistemos toksikokinetinio faktoriaus. [12].

Poveikis aplinkai daugiausia vertinamas naudojant rizikos vertinimo metodikas (gyvavimo ciklo vertinimus, skirtus numatyti toksišką apkrovą, atsirandančią dėl skalbimo procesų arba atliekų šalinimo), kartu su ekotoksiškumo tyrimais, kai nagrinėjami eksploatacinių pabaigos atvejai. [3- 7]. Pastaroji kategorija apima toksinių teršalų kaupimosi vandens šaltiniuose, nuosėdose, augaluose, dirvožemio bakterijose ir kituose gyvuose organizmuose analizę [4]. Pavyzdžiui, mikropluoštai, išsiskiriantys iš funkcionalizuotų tekstilės gaminių, buvo aptikti daržoviuose, vaisiuose ir žuvies mėginiuose kelių tyrimų metu. [3].

Išmaniosios tekstilės gaminių toksiškumo ir ekotoksiškumo įvertinimas ir skalbimo bei perdirbimo problemų sprendimas yra iššūkiai, tiesiogiai susiję su bendru šių naujoviškų gaminių tvarumu. [2, 4, 7, 10]. 2011 m. dviejų ekspertų, apklaususių kelių Europos mokslinių tyrimų institutų ir MVĮ, dirbančių su išmaniosiomis tekstilės technologijomis, mokslininkus ir vadovus, atliktos tikslinės apklausos atskleidė nežinojimą apie šalutinį poveikį, atsirandantį dėl atliekų šalinimo, netinkamo gyvavimo ciklo įvertinimo ir ribotą atliekų prevencijos strategijų pritaikymą pagal ES politiką [7].

Schischke ir kt. [5] 2020 m. paskelbtame tyrime mini, kad literatūros šaltinių su gyvavimo ciklo analizės duomenimis apie nešiojamą elektroniką ir išmaniąją tekstilę, yra labai nedaug. Nors manoma, kad per pastarąjį dešimtmetį buvo padaryta didelė pažanga, galima daryti išvadą, kad konkrečių saugos ir aplinkos inžinerijos standartų ir tarptautinių reglamentų kūrimas gerokai atsilieka nuo taikomųjų tyrimų ir inovacijų, gaminių projektavimo ir gamybos bei technologijų pažangos bei pramoninio masto gamybos [5, 7, 10].

Paskelbta sukurtų [13] ir kuriamų [14] ISO nanotechnologijų standartų serija yra teigiami žingsniai link glaudtos terminijos, medžiagų apibūdinimo, rizikos analizės, toksiškumo bandymų ir keleto kitų sričių. Kai kurios būsimos išmaniųjų tekstilės gaminių standartizacijos gairės įtrauktos į ISO/TR 23383:2020(en). [15].

Šios srities ekspertai pabrėžia investuotojų ir gamintojų atsakomybę laikytis galiojančių sveikatos ir saugos bei aplinkosaugos taisyklių, atlikti rizikos vertinimo analizę visais išmaniųjų tekstilės gaminių gyvavimo ciklo etapais ir teikti aiškią informaciją vartotojams apie saugų naudojimą ir tai, kaip tinkamai išmesti panaudotus gaminius [2, 5]. Glisovičius ir kt. [6] praneša apie bendrąsias inžinerijos būdu sukurtų nanomedžiagų gyvavimo ciklo analizės metodikas, kurios gali būti taikomos išmaniosios tekstilės ir nešiojamų įrenginių pramonėje.

Tarpdisciplininis požiūris siekiant įvairių sričių – inžinerijos, chemijos, medžiagų ir tekstilės mokslo, drabužių dizaino, medicinos, toksikologijos, saugos, aplinkos mokslų – ekspertų sinergijos laikomas būtina sąlyga ne tik kuriant išmaniają tekstilę, bet ir sudarant tarptautines sveikatos ir saugos bei aplinkos apsaugos kontrolės sistemas, taisykles ir politikas bei siekiant tvaraus eksploatuoti netinkamų atliekų tvarkymo [6, 9, 11].

Išvados

Pateikiamos dažniausiai pasitaikančios toksiškos cheminės medžiagos, su kuriomis susiduriama dėvint išmaniosios tekstilės gaminius ir nešiojamų įrenginius, taip pat randamomis ant tradicinių audinių pagrindų. Kartu pateikiami pavojai sveikatai ir ligos, apie kurias pranešta žmonėms įvairiais gaminio gyvavimo ciklo etapais. Trumpai aptariamas poveikis aplinkai ir ekotoksiškumas, susijęs su gaminio gyvavimo ciklo pabaiga. Skyriuje pateikiama bendra toksiškumo vertinimo metodikų ir galiojančių teisės aktų bei politikos apžvalga, atkreipiant dėmesį į silpnus išmaniųjų tekstilės gaminių tvarumo aspektus, kuriuos reikia spręsti artimiausiu metu.

Nuorodos

1. J. Rovira, J. L. Domingo (2019), Human health risks due to exposure to inorganic and organic chemicals from textiles: A review, *Environmental Research*, 168, pp.62-69, doi:10.1016/j.envres.2018.09.027
2. M. A. Shah, B. M. Pirzada, G. Price, A. L. Shibiru, A. Qurashi (2022), Applications of nanotechnology in smart textile industry: A critical review, *Journal of Advanced Research*, 38, pp. 55-75, doi: 10.1016/j.jare.2022.01.008
3. P. Periyasamy (2023), Microfiber emissions from functionalized textiles: Potential threat for human health and environmental risks, *Toxics*, 11, 406, doi: 10.3390/toxics11050406.



4. H. Saleem, S. J. Zaidi (2020), Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact, *Materials*, 13, 5134, doi:10.3390/ma13225134
5. K. Schischke, N. F. Nilsen, M. Schneider-Ramelow (2023), *MRS Communications*, 10(1), pp.69-82, doi: 10.1557/mrc.2019.157.
6. S. Glisovic, D. Pesic, E. Stojiljovic, T. Golubovic, D. Krstic, M. Prascovic, Z. Jankovic (2017), Emerging technologies and safety concerns: a condensed review of environmental life cycle risks in the nano-world, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, pp.2301-2320, doi:10.1007/s13762-017-1367-2
7. A. R. Köhler, C. Som (2014), Risk preventive innovation strategies for emerging technologies the case of nano-textiles and smart textiles, *Technovation*, 34, pp. 420-430,
8. B.S. Hassan, G. M.N. Islam, A. N. M. A. Haque (2019), Applications of Nanotechnology in Textiles: A review, *Advance Research in Textile Engineering*, 4(2), 1038, ISSN: 2572-9373
9. L. Almeida, D. Ramos (2017), Health and safety concerns of textiles with nanomaterials, 17th World Textile Conference AUTEX 2017- Textiles - Shaping the Future, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 254, 102002, doi:10.1088/1757-899X/254/10/102002.
10. H. L. O. Junior, R. M. Neves, F. M. Monticelli, L. Dall Agnol (2022), Smart fabric textiles: Recent advances and challenges, *Textiles*, 2, pp.582-605, doi:10.3390/textiles2040034.
11. P. I. Dolez, S. Marsha, R. H. McQueen (2022), Fibers and Textiles for personal protective equipment: Review of recent progress and perspectives on future developments, *Textiles*, 2, pp.349-381, doi:10.3390/textiles2020020.
12. https://www.oecd.org/env/ehs/testing/Draft_GD_nano_and_genotox_rev2.pdf
13. <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0>
14. <https://www.iso.org/committee/381983/x/catalogue/p/0/u/1/w/0/d/0>
15. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:23383:ed-1:v1:en>