

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Inese PARKOVA

**VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS
PILNVEIDOŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2014

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte

Dizaina tehnoloģiju institūts

Inese PARKOVA

Doktora studiju programmas „Apģērbu un tekstila tehnoloģija” doktorante

**VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS
PILNVEIDOŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr.sc.ing., profesore
A. VIĻUMSONE

Konsultants
Dr.sc.ing., vadošais pētnieks
A. VALIŠEVSKIS

Rīga 2014

UDK 677.4+621.38:687.1(043)
Pa548

Parkova I. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas pilnveidošana. Promocijas darba kopsavilkums. -R.:RTU, 2014. -33 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes „RTU P-11” (Šķiedru materiāli un tehnoloģijas) 2014.gada 5.februāra sēdes lēmumu, protokols Nr. 1.



ieguldījums Tavā nākotnē!

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

© Rīgas Tehniskā universitāte 2014
© Inese Parkova 2014

ISBN

978-9934-507-57-1

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
MATERIĀLZINĀTNES NOZARĒ TEKSTILA UN APĢĒRBU
TEHNOLOĢIJA APAKŠNOZARĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. g. 25. aprīlī Rīgas Tehniskās universitātes Dizaina Tehnoloģiju institūtā, Āzenes ielā 18, 117. auditorijā, plkst. 12:00.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Docente, Dr.sc.ing. Dana Beļakova
Rīgas Tehniskā Universitāte, Latvija

Profesore, Dr.sc.ing. Eugenija Strazdiene
Kaunas University of Technology, Lietuva

Vadošais pētnieks, Dr.phys.Juris Prikulis
Latvijas Universitāte, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Inese Parkova(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 106 zīmējumus un ilustrācijas, 24 tabulas, kopā pamattekstā 172 lappuses. Literatūras sarakstā ir 147 nosaukumi.

Saturs

IEVADS	5
1. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS TEORĒTISKIE PAMATI.....	10
2. MATERIĀLI UN METODES	11
3. PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU KOPSAVILKUMS.....	14
3.1. Viedapģerbu elektronisko kontaktu sistēmas uzlabošana	14
3.2. Elektroaktīvo tekstiliju projektēšana.....	15
3.3. Elektronikas sistēmas dizaina optimizēšana	20
4. VIEDAPĢĒRBA PROJEKTĒŠANAS PROCESA STRUKTŪRSHĒMA.....	21
4.1. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati	21
4.2. Viedapģerbu projektēšanas procesa modelis	22
SECINĀJUMI UN REZULTĀTI	25
LITERATŪRAS SARAKSTS.....	27

IEVADS

Viedā tekstilizstrādājuma uzdevums ir uzlabot tradicionālās apģērba/tekstilijas īpašības un papildināt to ar jaunām funkcionālām īpašībām. Pastāv dažādi viedo tekstilizstrādājumu veidi, taču promocijas darbā aplūkoti tikai tekstilizstrādājumi ar integrētu elektroniku.

Viedajos tekstilizstrādājumos integrētās elektronikas sistēmas un ierīces var pildīt dažādas funkcijas tādās jomās kā veselības uzraudzīšana, komunikācija, enerģijas uzkrāšana, aktīvā vai pasīvā siltuma vadāmība, aizsardzība, izklaide utt. Attīstot veselības aprūpes sfēru, sensori un komunikācijas ierīces var tikt integrētas apģērbā vai aksesuāros pacientu veselības, komforta un drošības uzraudzīšanai, ziņošanai un uzlabošanai. Tekstilijā integrētās elektriskās shēmas tiek izmantotas arī sporta apģērbos un funkcionālajos tekstilizstrādājumos. Tie spēj sazināties ar mobilajiem telefoniem, datoriem, interaktīvajām jakām, somām, tekstila tastatūru utt. [133].

Promocijas darba tēmas aktualitāte:

Nereti ar elektroniku aprīkoti izstrādājumi ir cieti, neelastīgi, līdz ar to arī neērti lietošanā, jo satur stīvus vadus, masīvas baterijas, lielus elektronikas blokus utt. Apģērbs kļūst par elektronikas sistēmu platformu un bieži vien nav komfortabls valkāšanā. Pilnveidojot viedās tekstilijas un viedapģērbus, viens no mērķiem ir iestrādāt elektronikas sistēmu tieši drānas struktūrā, būtiski nemainot materiāla vizuālās un fizikālās īpašības [59].

Tā kā nozare ir jauna un vēl attīstās, līdzšinējie apģērba risinājumi ar integrētu elektroniku ir grūti kopjami un īpaši saudzīgi lietojami. Svarīga ir viedapģērba augsta līmeņa tehnoloģisko funkciju pildīšanas efektivitāte, taču, ja apģērbs būs neērts, tas netiks lietots. Dotā tematika ir ļoti nozīmīga, praksē tiek pētīti vairāki šīs nišas virzieni, kuriem attīstoties var gūt gan sociālus, gan zinātniskus panākumus.

Promocijas darba mērķis:

- Pilnveidot viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesu to lietošanas īpašību uzlabošanai un precīzākai prognozēšanai.

Promocijas darba uzdevumi:

- Izpētīt viedo tekstilizstrādājumu veidus, elektronikas sistēmu konstrukcijas un to integrēšanas tehnoloģijas tekstilizstrādājumos;
- Izanalizēt viedo tekstilizstrādājumu materiālu veidus un apstrādes tehnoloģijas;
- Noteikt viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas prasības drošu un komfortablu izstrādājumu realizēšanai;
- Izpētīt elektrovadošo tekstilmateriālu īpašības un to izmaiņas dažādu apstākļu un faktoru ietekmē;
- Izstrādāt prototipus atšķirīgām viedapģērbu / viedtekstiliju konstrukcijām – šķiedru tehnoloģija, integrēšanas tehnoloģija un bloku tehnoloģija; izmantojot elektronikas sistēmu integrēšanas metodes un tehnikas, pārbaudīt paraugu izturību, drošību un sistēmas darbības efektivitāti;
- Adaptēt lēmuma pieņemšanas metodi viedo tekstilizstrādājumu sistēmu novērtēšanai un salīdzināšanai;
- Pamatojoties uz teorētisko materiālu analīzi un eksperimentāli pētniecisko darbu, izstrādāt viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa struktūrshēmu.

Metodoloģija un pētnieciskās metodes:

- Zinātniskās literatūras analīze un praktiskās pieredzes apzināšana, sistematizācija, rezultātu apkopošana blokshēmās un tabulās;

- Algoritmizācijas teorija, sarežģītu objektu struktūras sistēmiskā analīze;
- Daudzfaktoru eksperimentu plānošana pavedienu elektrisko īpašību, starpsavienojumu izturības un mitruma sensora ātrdarbības pētīšanai;
- Mērījumu reģistrēšana elektronikas sistēmu elektrisko īpašību raksturošanai – digitālais multimetrs elektriskās pretestības mērīšanai, apkārtējās vides mērītājs izstarotās gaismas mērīšanai, osciloskops elektriskā sprieguma mērīšanai;
- Statistiskās analīzes izmantošana – datu grafiskā analīze, aprakstošā statistika, pāru korelācija;
- Lēmumu pieņemšanas metožu lietošana eksperimentālo datu aprakstīšanai un algoritmu izveidošanai – *Electre I, Analytic Hierarchy Process (AHP)*;
- C programmēšanas valodas lietošana prototipu realizēšanai – tekstila displejs, mitruma sensors, mikroklimatu uzraugošā jaka;
- Programmatūras PicoScope 6 izmantošana elektriskā sprieguma datu ierakstīšanai;
- Datorgrafikas un datormodelēšanas programmu izmantošana prototipu projektēšanai – *Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, PC-Edit, WeavePoint, PE-Design*.

Promocijas darba zinātniskā novitāte:

- Izstrādāta viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas darbu struktūrshēma, izdalot tekstila, elektrotehnikas un elektrotekstiliju tehnoloģijas un raksturojot to mijiedarbību atbilstošu viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas risinājumu izvēlei;
- Noteikti viedo tekstilizstrādājumu sistēmas starpsavienojumu elektriskās īpašības ietekmējošie faktori (šuves parametri, ķēdes izolācijas veids un ekspluatācijas apstākļi) precīzākai sistēmas uzvedības prognozēšanai un atbilstošu materiālu izvēlei;
- Izstrādātas jaunas austu elektroaktīvo tekstiliju konstrukcijas un jauna tehnoloģija elektronikas elementu integrēšanai tekstilijā un elementu starpsavienojumu projektēšanai;
- Identificēti elektronisko sistēmu izvietojuma ierobežojumi un atlasīti sistēmas konfigurācijas novērtēšanas kritēriji viedapģērbim. Adaptēta lēmumu pieņemšanas metode *ELECTRE* viedapģērbu sistēmas elementu izvietojuma optimizācijai.

Promocijas darba praktiskā nozīme:

- Izstrādāti elektrovadošo tekstilmateriālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji, kas jāņem vērā, projektējot tekstila elektrisko shēmu;
- Apkopota un sistematizēta informācija par materiālu un tehnoloģiju veidiem ar elektronisko sistēmu aprīkoto tekstilizstrādājumu projektēšanai;
- Izveidota viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas struktūrshēma un ieteikumi tās praktiskai lietošanai;
- Izstrādāts un testēts tekstila mitruma sensors nakts enurēzes modinātājam, uzlabots terapeitiskā apģērba valkāšanas komforts;
- Izstrādāts auster tekstila displejs ar specifisku pinumu, kas ļauj izolēt vertikālos un horizontālos elektrovadošos kontaktus un integrēt elektronikas ierīci tekstilijas struktūrā bez drānas virsmas deformācijas;
- Izstrādāts auster tekstila displejs pinumu, kas ļauj variēt izstarotās gaismas intensitāti ar auduma struktūru.

Patenti:

- Darba praktiskā nozīme ir apstiprināta ar patentu – iegūts Latvijas Patents Nr. 14680 Elastīgs gaismu izstarojošs tekstila displejs ar pārstaipiem elektronikas ierīču noseģšanai (izdots 2013. gada 23. martā);

- Iesniegts Eiropas patenta pieteikums EP13193532.2 Flexible light-emitting textile display with floats for covering electronic devices (iesniegts 2013. gada 19. novembrī).

Promocijas darba aprobācija

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem ziņots 13 zinātniskās konferencēs ar 16 referātiem:

1. International Conference on Manufacturing, Industrial and Materials Engineering - ICMIME 2014. Lisabona, Portugāle: 2014. g. 17.-18. aprīlis.
2. The 22nd International Baltic Conference of Engineering Materials & Tribology – BALTMATTRIB 2013. Rīga, Latvija: 2013. g. 14.-15. novembris
3. RTU 54. starptautiskā zinātniskā konference. RTU, Rīga, Latvija: 2013. g. 11. oktobris
4. 6th International Conference on Computational Methods and Experiments in Materials Characterisation. Sjēna, Itālija: 2013. g. 4.-6. jūnijs.
5. 4th International Conference of Smart Materials, Structures and Systems. Montekatīni Terme, Itālija: 2012. g. 10.-14. jūnijs.
6. RTU 53. starptautiskā zinātniskā konference un 1. pasaules inženieru un RPI/RTU absolventu kongress. Rīga, Latvija: 2012. g. 10.-12. oktobris.
7. 14-th Romanian Textiles and Leather Conference - CORTEP'2012. Sinaia, Rumānija: 2012. g. 6.-8. septembris.
8. Apvienotais Pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress „Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte”. RTU, Rīga, Latvija: 2011. g. 24.-28. oktobris.
9. RTU 52. starptautiskā zinātniskā konference. RTU, Rīga, Latvija: 2011. g. 12. oktobris
10. 8th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources.” Rezekne Higher Education Institution, Rēzekne, Latvija: 2011. g. 20.-22. jūnijs
11. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference. RTU, Rīga, Latvija: 2010. g. 11.-15. oktobris
12. RTU 51. studentu zinātniskā un tehniskā konference. RTU, Rīga, Latvija: 2010. g. 16. aprīlis
13. 9th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2010. RTU, Rīga, Latvija: 2010. g. 9.-12. augusts.

Promocijas darba autore ir 20 zinātniski pētniecisko publikāciju autore un līdzautore, no kurām 6 iekļautas atzītās datu bāzēs (Scopus, ISI Web of Knowledge, SciFinder, Ebsco). Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti starptautisku konferenču rakstu krājumos, zinātniskos žurnālos un citos Latvijas Zinātnes padomes atzītos zinātniskos izdevumos.

1. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Viļumsone, A. Test of Moisture Sensor Activation Speed. No: Proceedings of ICMIME 2014, Lisabona, Portugāle, 17-18 aprīlis, 2014. World Academy of Science, Engineering and Technology, 1-5 lpp. Pieņemts publicēšanai.
2. **Parkova, I.** Woven Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm Treatment. Key Engineering Materials, 2014, Vol. 604, 146.-149. lpp. ISSN 1662-9795.
3. **Parkova, I.**, Viļumsone, A. Insulation of Flexible Light Emitting Display for Smart Clothing. No: Proceedings of International Conference on High Performance and Optimum Design of Structures and Materials: 6th International Conference on Computational Methods and Experiments in Materials Characterisation, Itālija, Sjēna,

- 4.-6. jūnijs, 2013. Southampton: Wessex Institute of Technology, 2014, 1.-12.lpp. Pieņemts publicēšanai.
4. **Parkova, I.**, Viļumsone, A. Functional and Aesthetic Design of Woven Electrotexile. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 2013, Vol.8, No.2 , 1.-9.lpp. ISSN 1533-0915. *Indeksēts Scopus un Ebsco host connection.*
 5. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Užāns, A., Viļumsone, A. Analysis and Improvement of Nocturnal Enuresis Alarm System. *Industria Textila Magazine* , 2013, Vol. 64., No.6, 355.-361.lpp. ISSN 1222-5347. *Indeksēts Scopus.*
 6. **Parkova, I.**, Parkovs, I., Viļumsone, A. Light-Emitting Textile Display with Floats for Electronics Covering. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2013, Vol., 1.-20.lpp. ISSN 0955-6222. Pieņemts publicēšanai
 7. **Parkova, I.** Woven Light Emitting Display. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.8, 2013, 60.-64.lpp. ISSN 16913132.
 8. **Parkova, I.** Austā mitruma sensora elektrodu savienojuma vietas un to izturība. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.8, 2013, 32.-37.lpp. ISSN 16913132.
 9. **Parkova, I.** Aušanas tehnoloģijas izmantošana elektrotekstila projektēšanā. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.8, 2013, 38.-44.lpp. ISSN 16913132.
 10. Grecka M., Valisevskis A., **Parkova I.**, Vilumsone A. Screen Printed Sensor for Enuresis Alarm System. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.8, 2013, 12.-15.lpp. ISSN 16913132.
 11. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Ziemele, I., Briedis, U., Viļumsone, A. Improvements of smart garment electronic contact system. *Advances in Science and Technology*, 2012, Vol 77, 90.-95.lpp. ISSN 1662-0356. *Indeksēts Web of Science un SciFinder*
 12. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Viļumsone, A. Modification of Microclimate Monitoring Jacket. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.7, 2012, 33.-37.lpp. ISSN 16913132.
 13. **Parkova, I.**, Ziemele, I., Viļumsone, A. Fabric Selection for Textile Moisture Sensor Design. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.7, 2012, 38.-43.lpp. ISSN 16913132.
 14. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Briedis, U., Viļumsone, A. Design of Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm System. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.7, 2012, 44.-49.lpp. ISSN 16913132.
 15. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Užāns, A., Viļumsone, A. Analysis and Improvement of Nocturnal Enuresis Alarm System. In: *Proceedings of 14th Romanian Textiles and Leather Conference, Romania, Sinaia, 6-8 September, 2012*. Sinaia: 2012, pp.256-264.
 16. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Ziemele, I., Viļumsone, A. Integration of Optical Fibres into Textile Products. *Advanced Materials Research* , 2011, Vol.222 , 162.-166.lpp. ISSN 1662-8985. *Indeksēts Scopus un Web of science. Citēts Scopus.*
 17. **Parkova, I.**, Viļumsone, A. Microclimate of Smart Garment. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.6, 2011, 99.-104.lpp. ISSN 16913132. *Indeksēts Ebsco host connection*
 18. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Kašurins, A., Viļumsone, A. Integration of Flexible Keypad into Clothing. No: *Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Latvija, Rēzekne, 20.-22. jūnijs, 2011*. Rēzekne: RA Izdevniecība, 2011, 2.sēj., 173.-180.lpp. ISBN 9789984440712.
 19. **Parkova, I.**, Kašurins, A., Vališevskis, A., Viļumsone, A. Making Decisions on Arrangement of Electronics in Smart Garment. No: *Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources."*: 8th International Scientific and Practical Conference "Environment.

Technology. Resources.”, Latvija, Rēzekne, 20.-22. jūnijs, 2011. Rēzekne, Latvija: RA Izdevniecība, 2011, 202.-210.lpp. ISBN 9789984440712.

20. **Parkova, I.**, Vališevskis, A., Ziemele, I., Viļumsone, A. Elektronisko mezglu izvietojums apģērbā. *Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija*. Nr.5, 2010, 27.-33.lpp. ISSN 16913132. *Indeksēts Ebsco host connection*

Kopsavilkums

Promocijas darba pētniecības mērķis ir pilnveidot viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesu to lietošanas īpašību uzlabošanai un precīzākai prognozēšanai, balstoties uz elektronikas sistēmu integrēšanas veidu analīzi un apģērba un tekstila tehnoloģiju adaptēšanu.

Ievadā pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, aprakstīta darba aprobācija.

Darba pirmajā nodaļā veikts viedo tekstilizstrādājumu apskats, aprakstīti viedo tekstilizstrādājumu projektēšanā izmantojamie elektronikas elementi, elektrovadoši tekstila materiāli un ilustrētas pašreizējās elektrotekstiliju projektēšanas tehnoloģijas.

Otrajā nodaļā aprakstīti pētījumos lietotie materiāli un metodes (datu analīzes metodes, testēšana metodes, mērījumu metodes).

Darba trešajā nodaļā prezentēti rezultāti. Veikta elektrovadošo tekstilmateriālu īpašību un to izmaiņu izpēte, kā arī projektētas un analizētas trīs prototipu grupas, kas raksturo atšķirīgus elektriskās sistēmas iestrādes veidus viedajos tekstilizstrādājumos - mitruma sensori (šķiedru tehnoloģija), tekstila displeji (integrēšanas tehnoloģija) un mikroklimatu uzraugošās jaka (bloku tehnoloģija).

Ceturtajā nodaļā uz apkopoto datu pamata izveidota viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa sākumdatu struktūra, kā arī, balstoties uz iegūto pieredzi tekstila viedsistēmu izgatavošanā, sastādīts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis, kurā atspoguļotas materiālu un tehnoloģiju izvēles kritēriji un procesa etapu saites.

Promocijas darba secinājumi apkopoti darba noslēguma nodaļā.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 106 zīmējumus un ilustrācijas, 24 tabulas, kopā pamattekstā 172 lappuses. Literatūras sarakstā ir 147 nosaukumi.

1. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS TEORĒTISKIE PAMATI

Literatūrā ir lietoti dažādi ar elektroniku aprīkoto tekstiliju un apģērbu termini. Standartā [117] definēts, ka funkcionālais tekstilmateriāls ir tekstilmateriāls, kura specifiskā funkcija ir nodrošināta ar materiāla, konstrukcijas, sastāva un/vai pārklājuma palīdzību. Tie var būt elektrību, gaismu vai siltumu vadoši tekstilmateriāli, fluorescējošie vai fosforescējošie tekstilmateriāli utt. Savukārt viedais jeb inteligēntais tekstilmateriāls ir funkcionālais tekstilmateriāls, kas mijiedarbojas ar apkārtējo vidi, t.i., tas reaģē uz vides izmaiņām un/vai pielāgojas tām. Tie var būt agregātstāvokli vai formu mainošie tekstilmateriāli, pjezoelektriskie, elektroluminiscējošie, termoelektriskie, kapacitatīvie tekstilmateriāli utt. Viedtekstiliju sistēma galvenokārt sastāv no sensoriem, izvades elementiem un informācijas vadīšanas ierīcēm. Informācija viedtekstiliju sistēmās tiek kontrolēta un/vai vadīta ar elektroniskajām ierīcēm. Šādas sistēmas tiek sauktas arī par elektroniskām tekstilijām jeb e-tekstilijām. Integrējot funkcionālos un/vai viedos tekstilmateriālus apģērbā, tiek iegūts viedapģērbs.

Lai sistematizētu informāciju par viedo tekstilizstrādājumu veidiem, tie tika raksturoti pēc trim kritērijiem: sistēmas darbības veidi, tehnoloģiskās konstrukcijas un pamatelementi. Aprakstīti un klasificēti viedo tekstilizstrādājumu projektēšanā izmantojamie elektronikas elementi, kas palīdz noteikt elementu specializāciju un izvēlēties konkrētam izstrādājumam piemērotāko elementu. Aplūkoti un klasificēti elektrovadošie tekstila materiāli un ilustrētas pašreizējās elektrotekstiliju projektēšanas tehnoloģijas. Atkarībā no pielietojuma veida, katrai tehnoloģijai ir savas priekšrocības un trūkumi.

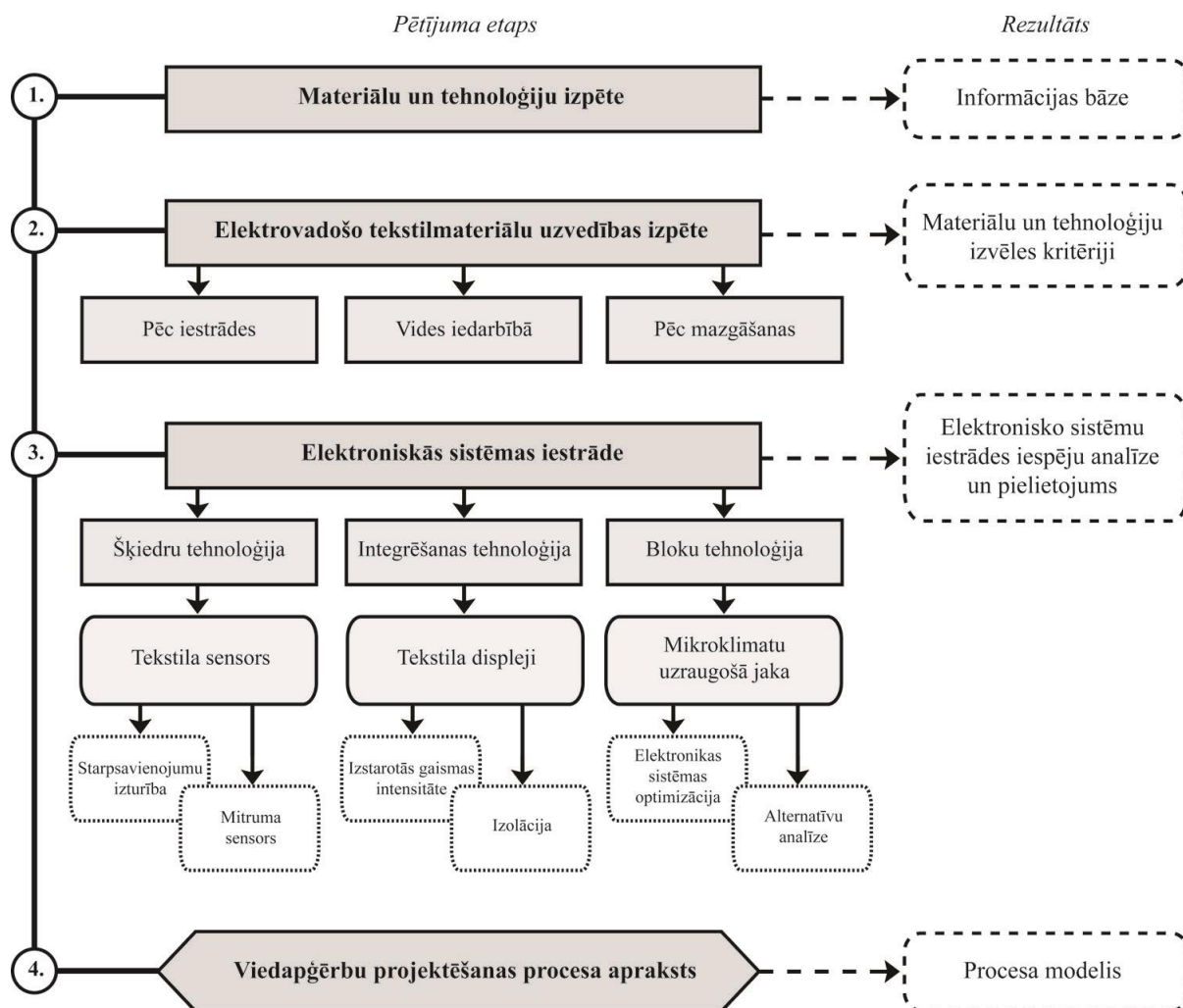
Pēdējās desmitgades laikā elektrotekstiliju izstrādē noticis manāms progress, taču joprojām pastāv lietas, kas jāattīsta un jāuzlabo. Piemēram, no elektrovadošajiem pavedieniem izgatavoto sensoru vai cita veida paraugu īpašības un veiktspēja ir atkarīga no pavediena un auduma struktūras, taču šīs struktūru īpatnības nav pilnvērtīgi izpētītas [51]. Kaut arī elektrovadošie pavedieni un drānas ir pētītas dažādos izstrādājumos (piemēram, analizētas izstrādātās tekstila saskarnes), nav pieejams pētījums, kur būtu sīki aprakstīta elektrovadošo pavedienu un drānu elektriskā uzvedība un to ietekmējošie faktori [132]. Līdz ar to ir nepieciešams izpētīt elektrovadošo pavedienu integrēšanu tekstiliju struktūrā, analizējot pavedienu vadītspēju dažādu faktoru un darbību ietekmē.

Svarīga ir arī elektroaktīvo tekstiliju pielietojuma definēšana. Tā kā elektroaktīvās tekstilijas joprojām attīstās, nepieciešams paplašināt to sortimentu, projektējot izstrādājumus ar jaunām īpašībām un dažādiem pielietojumiem.

Viedapģērba mērķis ir izpildīt konkrētas funkcijas, uzlabojot vai atvieglinot cilvēka dzīvesveida apstākļus. Lai nesamazinātu apģērba kvalitāti un lietošanas ērtumu, ar elektronikas sistēmu aprīkotam apģērbam jābūt ne tikai drošam, bet arī komfortablām. Valkāšanas komforts ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas mudinātu lietotājus pieņemt un valkāt šāda veida apģērbus. Lai pilnveidotu šo nosacījumu, viedapģērba sistēmai ir jābūt atbilstoši tekstilizstrādājumu īpašībām, kā arī jāievēro citi valkāšanas ērtumu ietekmējošie faktori. Līdz ar to darba teorētiskajā daļā analizēti arī valkāšanas komfortu ietekmējošie faktori.

2. MATERIĀLI UN METODEDES

Promocijas darbā veikta elektrovadošo tekstilmateriālu īpašību un to izmaiņu izpēte, kā arī projektētas un analizētas trīs prototipu grupas, kas raksturo atšķirīgus elektriskās sistēmas iestrādes veidus viedajos tekstilizstrādājumos – mitruma sensori (šķiedru tehnoloģija), tekstila displeji (integrēšanas tehnoloģija) un mikroklimatu uzraugošās jaka (bloku tehnoloģija). Pētījumu struktūra pa etapiem redzama 2.1. att.



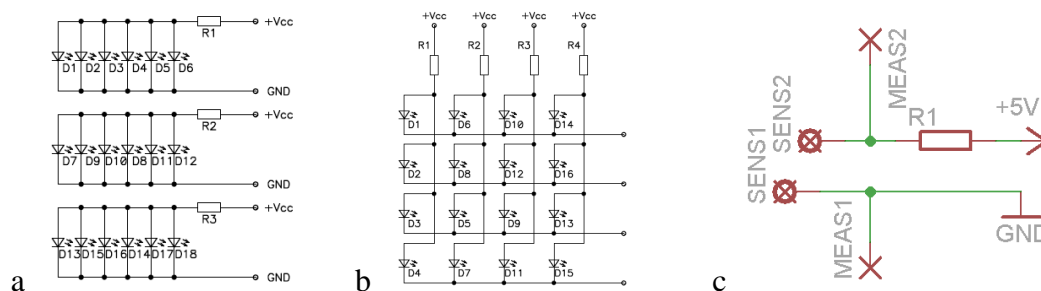
2.1. att. Eksperimentu struktūra

Eksperimentos izmantoto elektrovadošo pavedienu raksturojums apkopots 2.1. tabulā. Funkcionālo tekstiliju paraugu projektēšanai izmantotas dažādas tekstiltehnoloģijas – aušana, šūšana un izšūšana. Tā kā pētījums ir orientēts uz tehnoloģisko procesu attīstību, darbā ir detalizēti aprakstīta paraugu izgatavošanas gaita, kas veicina izpratni par elektroaktīvo tekstiliju projektēšanas īpatnībām. Uz iegūtās teorētiskās un eksperimentālās pieredzes pamata tika izstrādāts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis.

Elektrovadošo pavedienu raksturlielumi

Kods	Nosaukums	Lineārais blīvums, dtex	Struktūra un sastāvs
N1	<i>Elitex</i>	110/34	sagrodots, PA ar sudraba pārklājumu
N2	<i>Elitex</i>	110/34 x2	divkārtīgi šķeterēts, PA ar sudraba pārklājumu
N3	<i>Shieldex</i>	235/34 x4	četrkārtīgi šķeterēts, PA ar sudraba pārklājumu
N4	<i>Shieldex</i>	110/34 x2	divkārtīgi šķeterēts, PA ar sudraba pārklājumu
N5	<i>Karl Grimm</i>	330/34 x7	septiņkārtīgi šķeterēts, stiegroti PA un vara filamentu

Elektroaktīvo tekstiliju elektriskās ķēdes vadībai izmantota paralēlo portu elektriskā shēma (LED displejs II), matrices elektriskā shēma (LED displejs I un III) un divu elektrodu shēma (mitruma sensors). Shēmas redzamas 2.2. att.



2.2. att. Elektroaktīvo tekstiliju elektriskās ķēdes – a: paralēlo portu shēma; b: matrices shēma; c: divu elektrodu sensora shēma

Paraugu testēšanas metodes:

- Elektrovadītspējas noturība laika un gaismas iedarbībā. Veikti periodiski elektriskās pretestības mērījumi 5 mēnešu periodā (decembris - aprīlis), kuru laikā paraugi atradās iekštelpā ar vidējo gaisa temperatūru 19°C.
- Elektrovadītspējas noturība mazgāšanas iedarbībā. Mazgāšana ir visizplatītākais viedo tekstiliju tests. Mazgāšanas testi veikti, vadoties pēc standarta ISO 6330:2012 *Tekstilizstrādājumi. Mazgāšanas un žāvēšanas procedūras mājas apstākļos tekstilizstrādājumu testēšanai.*
- Nodilumizturība. Izolācijas eksperimentā izmantots nodilumizturības testeris *The Taber Rotary Platform Abraser*, novērtējot pārklājuma un elektrisko ierīču izturību pret berzi. Nodilumizturības testa disks: H18, slodze: 250 g, ātrums: 60 cikli/min.

Paraugu mērījumu metodes:

- Elektriskā pretestība un vadītspēja. Elektriskās pretestības mērījumiem izmantots divkontakta digitālais multimetrs. Pavediena elektriskā pretestība mērīta nepārtrauktā formā (taisna / vienkāršā šuve, mitruma sensors) vai saliktā formā (mitruma sensors). Elektriskā pretestība tika mērīta pirms un pēc pārbaudēm (mazgāšanas), kā arī atkarībā no vairākām pazīmēm (pavediena veids, šuves garums, paralēlo šuvju skaits, pakešu

skaits, integrēšanas tehnoloģija) vai dažādu faktoru ietekmē (izmaiņas laika un gaismas iedarbībā, izmaiņas zem slodzes).

- Gaismas intensitāte. Elektrotekstilijām izstarotās gaismas intensitāte mērīta ar digitālo vides apstākļu mērītāju *Velleman DVM401*, izmantojot luksametru funkciju. Mērījumi veikti tumšā telpā.
- Mitruma sensora ieslēgšanās ātrums. Eksperimentam sagatavots sālsūdens, kas no pilieneida piltuves pilināts uz sensoru, turot piltuvi 5 cm attālumā no horizontālās sensora virsmas. Sāls koncentrācija 0,2 moli /1 l. Reakcijas ātrums fiksēts ar oscilogrāfu, datu atspoguļošanai izmantota programmatūra *PicoScope 6*. Ar osciloskopu fiksētas sprieguma (U) izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas.

3. PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU KOPSAVILKUMS

Uzlabojot un attīstot valkājamās elektronikas īpašības, sistēmas savienojumiem jābūt gan kvalitatīviem un drošiem elektriskajiem vadītājiem, gan jāsauglabā tradicionālās tekstilizstrādājuma valkāšanas komforta īpašības, t.i., jābūt izturīgiem pret berzi, lieci, apģērba kopšanu u.c. ekspluatācijas rādītājiem, ka arī viedajam tekstilizstrādājumam jāsauglabā teicamas higiēniskās un taustuma īpašības. Apvienot visas šīs iezīmes ir sarežģīti dažādas elektronikas elementu un tekstiliju dabas dēļ.

3.1. Viedapģērba elektronisko kontaktu sistēmas analīze

Iepriekšējos pētījumos, veidojot viedapģērba prototipu [95], problēmas radīja elektronikas elementu savienojuma vietas, kas tika izpildītas ar elektrovadošajiem pavedieniem mašīnšūšanas tehnikā, tādēļ šajā pētījumā uzmanība pievērsta elektrovadošo pavedienu īpašību analīzei un savienojumu uzlabošanai. Darba gaitā tika studētas elektrovadošo pavedienu integrēšanas tehnoloģijas, vairākiem paraugiem mainot pavediena veidu, dūriena garumu, paralēlo šuvju skaitu, paketes kārtu skaitu, integrēšanas veidu, un tika analizēta pavedienu vadītspēja pirms un pēc iestrādes drānā. Šuvju ekspluatācijas testos tika novērotas elektriskās pretestības izmaiņas gaismas ietekmē 5 mēnešu periodā un elektriskās pretestības izmaiņas pēc mazgāšanas. Pētījuma rezultātā izstrādāti elektrovadošo tekstilmateriālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji / ieteikumi, kuri jāņem vērā, projektējot tekstila elektrisko shēmu:

- Elektrovadošā pavediena struktūra

Izturīgāki un piemērotāki šūšanai / izšūšanai ir šķeterēti elektrovadošie pavedieni, tie veido kvalitatīvāku šuvi par vienkārtīgu / sagrodotu pavedienu, kas šūšanas procesā trūkst un pūkojas. Mazgāšanas testā šķeterētiem pavedieniem bija labāki rezultāti - elektriskā pretestība tiem palielinājās mazāk. Pēc trešā mazgāšanas cikla šķeterēto pavedienu elektriskā pretestība palielinās vidēji par 92%, bet grodotiem – vidēji par 336%.

- Šūšanas process

Ja elektrovadošā pavediena elektrisko vadītspēju ietekmē stiepe, tad tā īpašību izmaiņas var iespaidot šūšanas process – iekārtas veids, diegu spriegojums, dūrienu garums.

- Izvietojums apģērbā

Elektrovadošus pavedienus nav vēlams izvietot stiepei pakļautās apģērba vietās, jo tie var īslaicīgi mainīt savu elektrisko pretestību vai pat pārtrūkt.

- Elektrisko īpašību izmaiņas vides faktoru ietekmes rezultātā

Izšūšanas un šūšanas metodes izmantošana elektriskās shēmas projektēšanai vairāk atbilst tekstilizstrādājuma valkāšanas komforta nosacījumiem salīdzinot ar vadu tehnoloģijām, taču no elektronikas viedokļa šādi shēmas savienojumi nav pietiekami droši. Savienojumi, kas izpildīti ar mainīgas elektrovadītspējas pavedienu, var radīt neparedzētas problēmas elektriskajā ķēdē. Tāpēc, izvēloties konkrētu pavedienu, nepieciešams izpētīt tā īpašības – kā mainās tā elektrovadītspēja laika gaitā un ārējās vides ietekmē (piemēram, mitruma iedarbībā), kā arī produkta mazgāšanas laikā. Dažādiem pavedieniem šīs īpašības ievērojami atšķiras – piemēram, pēc trīs mazgāšanas reizēm elektriskā pretestība palielinājās no 35% (pavediens N3) līdz 622% (pavediens N1). Turklāt arī viena veida pavediena elektrovadītspēju pēc mazgāšanas var ietekmēt dūriena garums šuvē. Elektriskās pretestības izmaiņas svārstījās no 23% (pavediens N3, salīdzinot šuves ar dūriena garumiem 1 mm un 2 mm) līdz 404% (pavediens N1, salīdzinot šuves ar dūriena garumiem 1 mm un 4 mm).

- Shēmas pielietojums

Projektējot elektrisko ķēdi, nepieciešams ņemt vērā elektrovadošā pavediena mainīgo dabu un izmantot noteiktam mērķim piemērotu pavedienu. Galvenie faktori ir ķēdes jutīgums

un maksimālais strāvas patēriņš. Maksimālo kopējo starpsavienojumu pretestību var noteikt pēc Oma likuma, ņemot vērā maksimālo strāvas patēriņu un barošanas spriegumu. Piemēram, ja tiek izmantots 3 V barošanas avots, divas LED ar optimālu sniegumu 20 mA un uztvērējs, kura maksimālais strāvas patēriņš ir 45 mA, tad starpsavienojumu un strāvas ierobežojošo rezistoru kopējai pretestībai nevajadzētu pārsniegt $3V/85 \text{ mA} = 35,3 \ \Omega$. Pieļaujamās elektrovadītspējas svārstības ir atkarīgas no pielietojuma veida. Pavedienus, kas vides ietekmē būtiski nemaina savas elektriskās īpašības, var izmantot ķēdē, piemēram, strāvu ierobežojošo rezistoru vietā LED shēmas starpsavienojumos. Taču nav racionāli izmantot pavedienu, kam pēc dažiem mazgāšanas cikliem elektriskā pretestība palielinās par 600% - var nepietikt strāvas, lai ieslēgtu LED. Šādus pavedienus ar mainīgu elektrisko pretestību var izmantot, piemēram, divstāvokļu sensoriem (spiediena, mitruma utt. sensori), kur ir nepieciešams diferencēt tikai augstāko un zemāko stāvokli. Cits šo pavedienu pielietojums var būt nekritiskās datu pārraides līnijās. Elektrovidošos pavedienus ar nestabilu (mainīgu) elektrisko pretestību nevajadzētu izmantot savienošanai ar analogajiem sensoriem (īpaši rezistīvajiem), kur pat nelielas elektriskās pretestības izmaiņas var izraisīt zīmīgu mērījumu kļūdu. Šādām sistēmām jāizvēlas digitālie sensori.

3.2. Elektroaktīvo tekstiliju projektēšana

Darbā izstrādāti funkcionālo tekstiliju paraugi (tekstila sensori un pamatnes LED displejam) un analizētas aušanas tehnoloģiju iespējas tekstila shēmu projektēšanā.

Tekstila sensori un starpsavienojumu izturība

Lai padarītu viedapģērbu ērtāku lietošanā un atbilstošāku tekstilmateriālu īpašībām, daļu tradicionālo sensoru var aizstāt ar tekstila sensoriem. Darbā raksturota spiedienjutīgā un mitruma tekstila sensora izgatavošana, kas ar vienkāršu piemēru reprezentē šķiedru tehnoloģiju kā vienu no elektronikas sistēmas iestrādes veidiem (skat.2.1.att.).

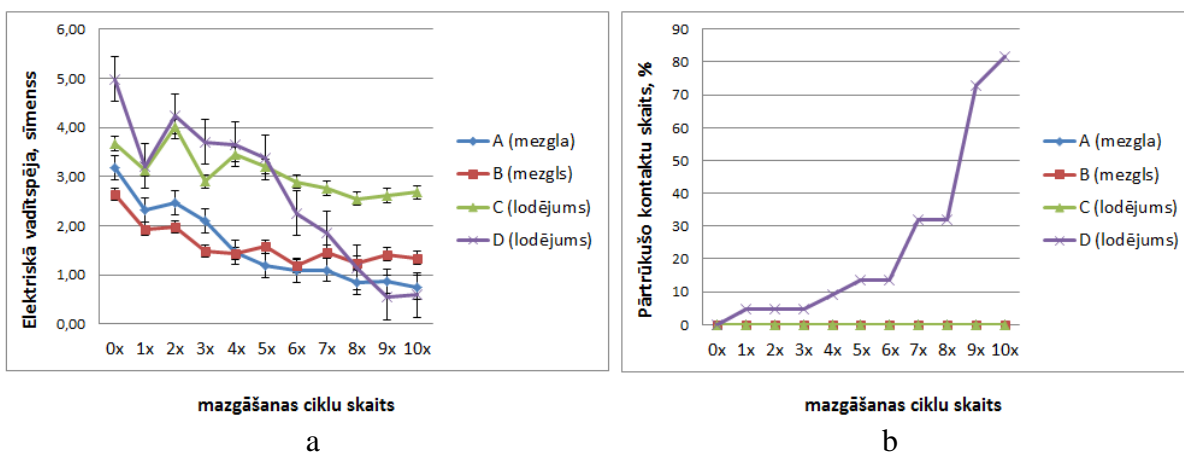
Pētījumā analizēti vairāki elektrovidošo pavedienu starpsavienojuma veidi un to izturība, izmantojot mitruma sensora konstrukcijas paraugus. Paraugu raksturojumi doti 3.1. tabulā. Elektrovadītāju savienojuma veids elektrotekstilijās var būtiski ietekmēt sistēmas kvalitāti un datu vadīšanas precizitāti.

3.1. Tabula

Paraugu raksturojums starpsavienojumu analīzei

Parauga kods	Elektrovidošo pavedienu integrēšanas veids tekstilā	Vertikālo un horizontālo elektroda kontaktu savienojuma veids
A	Austs / šūts	Siets mezgls
B	Austs	Siets mezgls
C	Austs	Lodēts
D	Austs / šūts	Lodēts

Sensora elektrodu kontaktu ciešums novērtēts ar elektriskās vadītspējas izmaiņām starp savienotajām kontaktvietām pirms mazgāšanas un pēc katras mazgāšanas reizes. Rezultāti redzami 3.1. att. Savienojumu izturība ir atkarīga gan no starpsavienojuma veida, gan no elektrovidošo pavedienu integrēšanas veida tekstilijā. Kontakta izturību ietekmē arī auduma sarukums pēc mazgāšanas.



3.1. att. Elektrovadītspēja pēc mazgāšanas (a) un pārtrūkušo kontaktu skaits pēc mazgāšanas, % (b)

Pētījumā secināts, ka lodēts savienojums nodrošina teicamu elektrisko kontaktu, taču tekstilijā integrētā sistēma ir pakļauta mehāniskām deformācijām, kā rezultātā kontakts var pārtrūkt. Savukārt mezgla savienojuma elektriskā vadītspēja pakāpeniski samazinās, jo mezgls ar laiku kļūst vaļīgāks. Pēc paraugu ekspluatācijas testa secināts, ka austas elektrotekstilijas struktūra uzlabo gan lodētu, gan mezgla elektrovadošo pavadīšanu kontaktu izturību, jo pavadīšanas kontaktvietas ir daļēji nosegtas ar tekstila pavadīšanām. Austa parauga gadījumā elektrovadošie pavadīšanas atrodas tekstilijas struktūrā un neveido papildus reljefu uz tekstilijas virsmas, tas uzlabo arī elektrotekstilijas taktīlās īpašības.

Mitruma sensora projektēšana un ieslēgšanās ātruma pārbaude

Veidojot tekstila sensoru šķidrums klātbūtnes uzraudzīšanai, īpaši svarīga ir pamatdrānas šķidrums absorbcijas spēja, no kuras ir atkarīgs sensora ieslēgšanās ātrums – cik ātri šķidrums pilieni iesūksies drānā un izplatīsies pa tekstilijas pamatni, veidojot kontaktu starp abiem elektrodiem. Integrējot sensoru apakšveļā, tas atrodas diezgan ciešā kontaktā ar cilvēka ķermeni. Lai ievērotu higiēnas un komforta prasības, ir nepieciešams nodrošināt pēc iespējas mazāku saskari starp elektrovadošajiem pavadīšanām un cilvēka ķermeni. Taču būtisks ir arī signāla uztveres ātrums – šķidrums saskares ātrums ar elektrovadošajiem pavadīšanām.

Sensora projektēšanas eksperimenta ietvaros ir izveidoti izšūti, šūti un austi sensora paraugi. Pirmajiem paraugiem izmantotas dažādas elektrodi konfigurācijas, elektrovadošo pavadīšanu veidi un attālums starp paralēlajām šuvēm. Paraugi un to projektēšanas parametri raksturoti 3.2.tabulā.

3.2. tabula

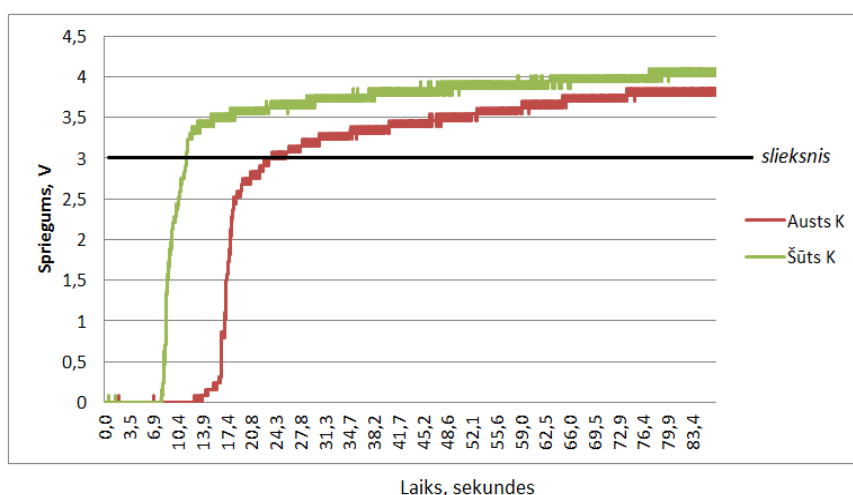
Paraugi un to projektēšanas parametri

Integrēšanas tehnoloģijas veids	Izšūts	Šūts	Austs
Pamatmateriāls	Kokvilnas drāna	Kokvilnas drāna	Kokvilnas pavadīšanas
Elektrovadošais pavadīšanas	N2, N3, N4	N5	N5
Sensora konfigurācija	A: spirālveida B: ķemmes veida	B: ķemmes veida	B: ķemmes veida
Attālums starp paralēlajām šuvēm, mm	0 2	-	-

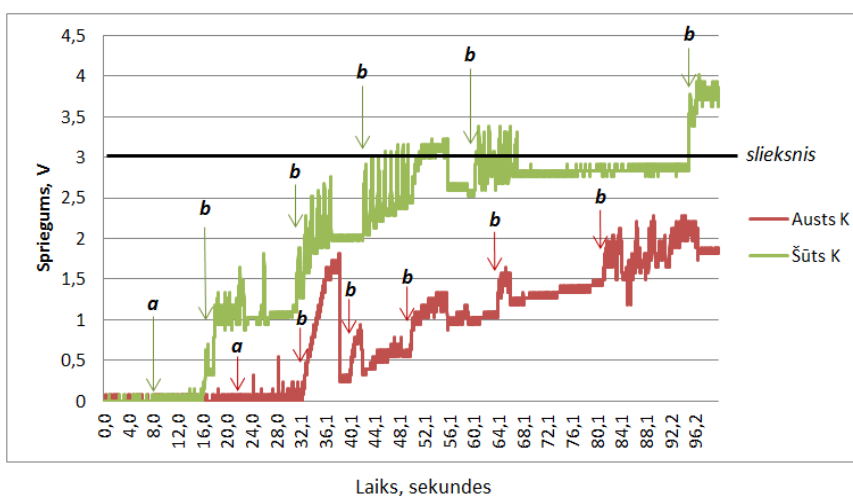
No visiem pārbaudītajiem elektrovadošo pavedienu veidiem vislabākā elektrovadītspēja bijis vara pavedieniem (N5, paraugu elektriskā pretestība 0,2 – 1,9 Ω /elektrods), tādēļ tie izmantoti nākamajiem paraugiem. Būtiskas atšķirības starp spirāles un ķemmes tipa konfigurācijas veidiem netika novērotas, un tā kā austiem paraugiem uz pieejamām iekārtām nav iespējams izveidot spirāles tipa konfigurāciju, nākamajiem paraugiem izmantota ķemmes veida konfigurācija.

Uz ieslēgšanās ātrumu testēti mazgāti un nemazgāti paraugi no labās un no kreisās sensora puses, fiksētas pievadītā sprieguma (V) izmaiņas pēc šķidruma uzpildināšanas. Atšķirīgs signāla uztveršanas ātrums ir austajos un šūtajos sensoros. Šūtajos paraugos signāls tika uztverts ātrāk – testējot sensorus no parauga labās puses (virspuses), signāls ieslēdzas pēc 8,7 sekundēm, no parauga kreisās puses (apakšpuses) signāls ieslēdzas pēc 12,5 sekundēm. Savukārt austajos paraugos, testējot sensorus no labās puses, signāls ieslēdzas pēc 15 sekundēm, no kreisās puses – pēc 17,7 sekundēm. Reālos apstākļos šķidruma iesūkšanās un sistēmas ieslēgšanās notiktu ātrāk. Minētā pārbaudes metode (pilotot 4 pilienus) izvēlēta eksperimentam objektīvai dažādu paraugu struktūru salīdzināšanai.

Mitruma sensoram ir izveidota sistēmas shēma un veiktas divas sensora pārbaudes: sistēmas ieslēgšanās tests un viltus trauksmes tests, lai noteiktu sistēmas jutīgumu un ieslēgšanās robežu. Rezultāti redzami 3.2.att. un 3.3. att.



3.2. att. Sistēmas ieslēgšanās tests



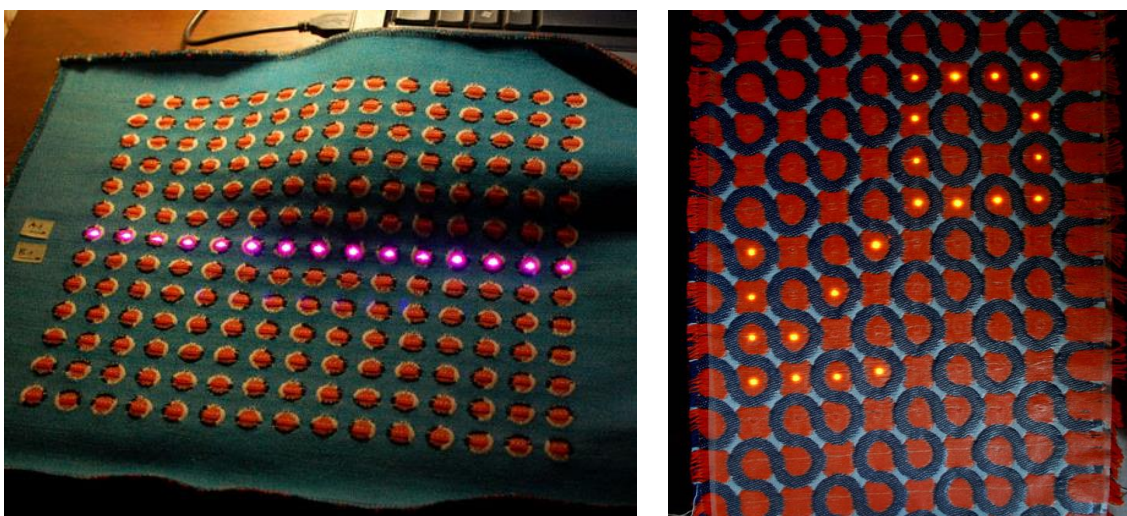
3.3. att. Viltus trauksmes tests – a: sprieguma izmaiņas vieglas berzēšanas laikā; b: sprieguma izmaiņas pēc nospiešanas

Viltus trauksmes tests veikts, lai noteiktu, kāda ir sensora reakcija svīšanas laikā. Svīšanas apstākļi tika simulēti, pieskaroties sensora virsmai ar nedaudz samitrinātu kokvilnas drānu. Grafikā 3.3.att. redzamas sprieguma izmaiņas sensoru viegli beržot (a) un veicot periodisku piespiešanu (b). Berzējot sprieguma vērtība praktiski nemainījās, tā pieauga tikai līdz ar piespiešanu. Ņemot vērā, ka spiediens uz sensoru ir iespējams valkātājam nakts laikā grozoties, kā sistēmas ieslēgšanās robežvērtība pieņemts 3V sliekšnis.

Testi veikti eksperimentālos apstākļos un, lai pārbaudītu un salīdzinātu to darbību reālos apstākļos, nepieciešams veikt testu ar lietotāju grupu.

Tekstila displeji

Izmantojot elektrovadošos pavedienus daļējai tradicionālo elektronikas materiālu aizstāšanai, izveidotas elektroniskā tekstila pamatnes, pie kurām vēlāk pievienoti elektronikas elementi. Projektētie tekstila displeji reprezentē elektronikas sistēmas iestrādi ar integrēšanas tehnoloģiju (skat.2.1.att.). Displeju prototipi redzami 3.4. att.



3.4. att. Tekstila displeji: LED displejs II, LED displejs III

Displeju izstrādes procesā izstrādāts auzs pinums (LED displejs II), kas ļauj variēt izstarotās gaismas intensitāti ar auduma struktūru. Otrs izstrādātais tekstila displeja pinums (LED displejs III) ļauj izolēt vertikālos un horizontālos elektrovadošos kontaktus un integrēt elektronikas ierīci tekstilijas struktūrā bez drānas virsmas deformācijas.

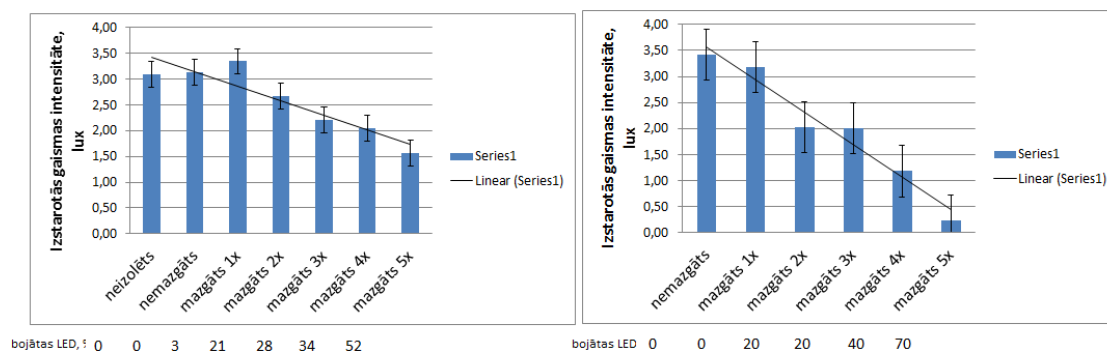
Tekstila displeji var tikt izmantoti kā izvades saskarnes dažādās elektronikas sistēmās, integrējot tās apģērbā, aksesuāros, telpu vai automašīnas interjerā utt. Lai nodrošinātu elektrotekstiliju sistēmas aizsardzību no apkārtējās vides (piemēram, no mitruma), displejs ir jāpārklāj ar izolācijas slāni.

LED displeja izolācija

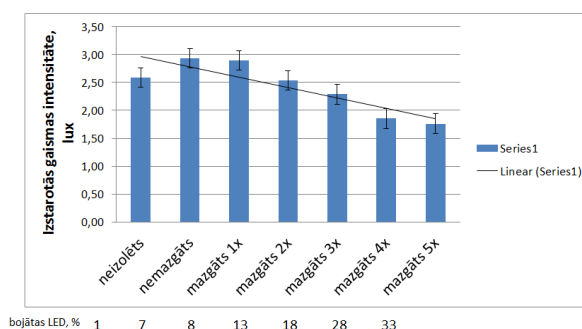
Tekstila shēmas izolācija ir svarīga sistēmas sastāvdaļa, kas nodrošina valkāšanas un funkcionēšanas drošību – aizsargā shēmu no īssavienojumiem, elementus no korozijas un ārējās vides iedarbības, kā arī valkātāju no pašas shēmas. Pētījuma ietvaros veikta tekstila elektrisko shēmu izolācija ar silikona gumijas materiāliem un poliuretāna plēvi, lai sniegtu ieteikumus par elektronikas elementu izolācijas iespējām uz tekstilijas virsmas.

Pēc mazgāšanas pārbaudes ir secināts, ka ūdeni necaurlaidīgais izolācijas slānis pasargā displeja paraugus no mitruma klātbūtnes, līdz ar to arī no īssavienojuma un kontaktu korozijas. Taču tas nenodrošina pilnīgu aizsardzību no mehāniskām iedarbībām – pēc mazgāšanas daļa kontaktu vairs nedarbojās. Kā redzams rezultātu grafikos (3.5.att. un

3.6.att.), izstarotās gaismas spožuma intensitāte un funkcionējošo diožu skaits samazinās abos gadījumos, taču neizolētajos paraugos vidējā gaismas intensitāte samazinās straujāk.



3.5. att. Gaismas intensitātes izmaiņas pēc mazgāšanas paraugu grupai N1: a – izolēti paraugi; b – neizolēti paraugi



3.6. att. Gaismas intensitātes izmaiņas pēc mazgāšanas paraugu grupai N2

Šķidra izolācijas materiāla (šajā gadījumā - silikona) pārklāšanas procesā nepieciešams saskaņot elektronikas elementus ar drānas struktūru, no kā būs atkarīgs pārklāšanas materiāla daudzums un pārklājuma biezums. Pārklāšanas procesā būtisks ir arī pamatnes veids zem parauga. Savukārt elektronikas elementa integrēšana tekstila struktūrā atvieglo pārklājuma uznesanu un ļauj izveidot vienmērīgāku un plānāku pārklājumu, izolējot visu laukumu.

Elektronikas izolācijai ir piemēroti abi lietotie materiāli. PU plēves pārklājums vairāk piemērots tekstila shēmām, kur nav vēlama deformācija (tajā skaitā LED displejam) - plēve nav elastīga, mehānisko iedarbību iespaidā tā neizstiepijas un nofiksē materiālu / elementus uz vietas. Savukārt silikona izolācija ir piemērota tekstila shēmām, kurās ir pieļaujama stiepes deformācija, piemēram, stiepes sensors, tekstila elektrodi utt.

Nodilumizturības testā izturīgākas bija ar silikonu pārklātas LEDs, taču mazgāšanas testā labāki rezultāti bija ar PU plēvi laminētiem paraugiem.

Textila displeju paraugiem izvēlēts elektrovadošais pavediens, kura vadītspēja praktiski nemainās pēc izolācijas un mazgāšanas. Līdz ar to paraugu elektriskās īpašības pēc izolācijas un mazgāšanas pārbaudēm būtiski nemainījās, vājais punkts bija savienojuma vietas, kas atsevišķos paraugos pārtrūka mehānisko iedarbību rezultātā. Paraugos SMD LEDs tika pievienotas pie elektrovadošajiem pavedieniem, veidojot lodētu kontaktu tiešā veidā uz diodes kontakta laukuma. Pievienotie elektrovadošie pavedieni mehānisko iedarbību iespaidā var atraut kontaktvirsmu klājumu, kā rezultātā diode vairs nestrādās. Lai izvairītos no šāda defekta, diodi nepieciešams pievienot pie PCB pamatvirsmas, pie kuras tiek pievienoti kontakti. Lai displejs nezaudētu savu elastību, cietā PCB vietā pamatnēm var izvēlēties lokanu PCB virsmu, kā arī izmantot mazāka izmēra diodes (piemēram, 0806 vai 0603 izmēra SMD LED).

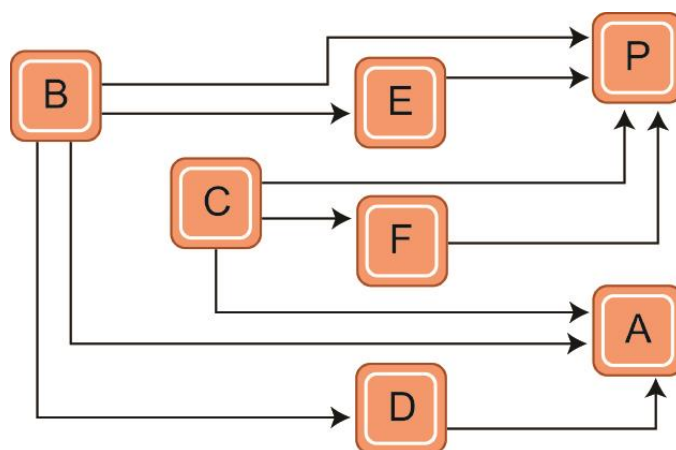
3.3. Elektronikas sistēmas dizaina optimizēšana

Darbā adaptēta lēmuma pieņemšanas metode viedo tekstilizstrādājumu sistēmu novērtēšanai un salīdzināšanai. Analizēts iepriekš izstrādātais jakas prototips, uzlabojot un pilnveidojot sistēmas dizainu. Pētījumā tika piedāvāti vairāki viedapģērba elektronikas elementu dizaina varianti un veikta daudzkritēriju analīze, izmantojot lēmuma pieņemšanas metodes. Analizētais prototips reprezentē bloku tehnoloģiju elektronikas sistēmas iestrādei (skat.2.1.att.).

Jakas prototips ar iestrādātās elektronikas palīdzību reaģē uz mikroklimate izmaiņām, signalizējot par temperatūras un relatīvā mitruma datiem. Elektronikas integrēšana paredzēta tā, lai pirms mazgāšanas to būtu iespējams atvienot no apģērba, tādēļ elektronikas mezgli izvietoti uz noņemamas starpkārtas.

Projektējot viedo apģērbu, nepieciešams pārdomāt elektronikas elementu dizainu un izvietojumu, lai rezultātā iegūtu funkcionējošu, ērtu un ergonomisku viedā apģērba konstrukciju. Tika analizēta jakas pirmā prototipa elektroniskās daļas konstrukcija, veikta tās optimizācija un projektēti vairāki alternatīvi elektronikas elementu dizaina un izvietojuma varianti. Kritēriju kopums tika rūpīgi atlasīts, lai pēc iespējas objektīvāk novērtētu un salīdzināt izvietojuma variantus, izmantojot lēmumu pieņemšanas metodes *ELECTRE* un *AHP*. Lēmumu analīzes mērķis ir palīdzēt lēmumu pieņemšanai personai labāk izprast vidi, kurā tiek pieņemts lēmums, un sekmēt informatīvāka lēmuma pieņemšanu. Analīzes rezultātus var izmantot, lai noskaidrotu dažādu alternatīvu lēmumu stabilitāti, jutīgumu pret nelielām izmaiņām, kā arī lai strukturētu lēmumu un padarītu to pārskatāmāku. Lēmumu pieņemšanas metode piedāvā algoritmisku pieeju lēmumu strukturēšanai un preferenču modelēšanai, un tā rezultātā – alternatīvu ranžējuma, kas izriet no lēmumu pieņemšanas personas sniegtās informācijas [94].

Variantu novērtēšanas analīzei tika pakļauta prototipa konstrukcija (P) un alternatīvie konstrukcijas varianti (A, B, C, D, E, F). Tika atlasīti 8 vērtēšanas kritēriji, un ikviens variants tika vērtēts atbilstoši katram kritērijam. Alternatīvu daļēja sakārtojuma shēmā (3.7. att.) redzams alternatīvu pārsvars vienai pāri otrai, tādējādi noskaidrojot vispiemērotāko risinājumu elektronikas elementu izvietošanai apģērbā. Dominējošie varianti ir B (pārsvars pāri 4 alternatīvām) un C (pārsvars pāri 3 alternatīvām).



3.7. att. Alternatīvu daļējs sakārtojums

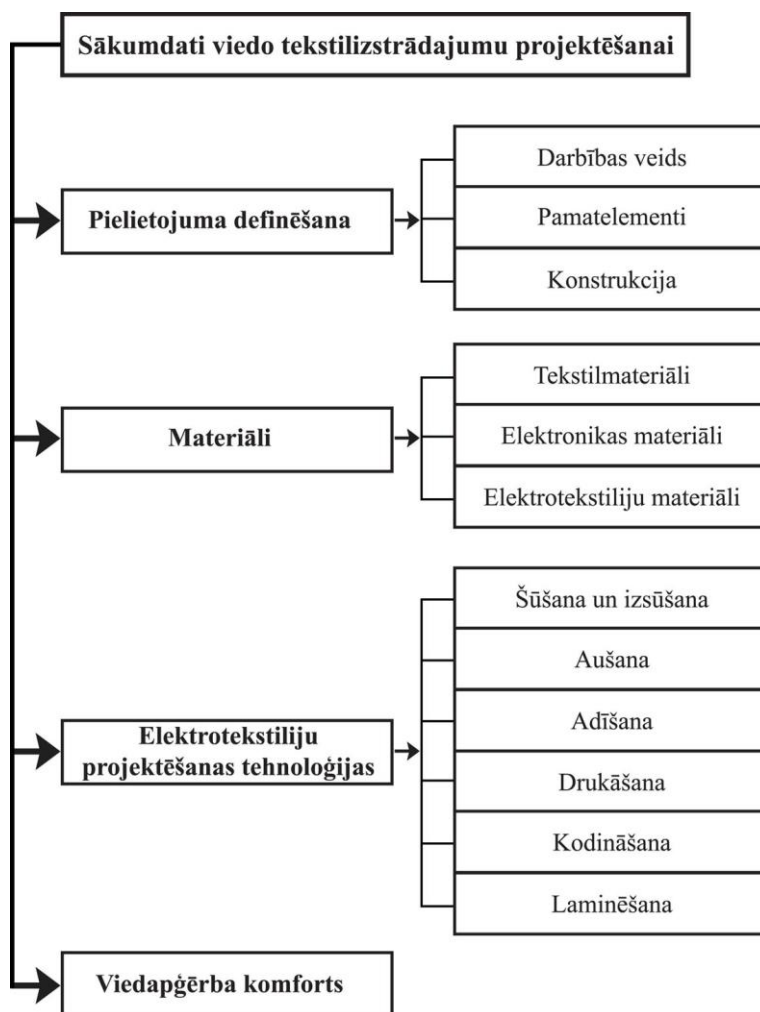
4. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS PROCESA STRUKTŪRSHĒMA

Viedā tekstilizstrādājuma projektēšanas procesā apvienojas dažādas cilvēku darbības jomas, tāpēc šajā gadījumā ir jāveic starpdisciplinārs darbs. Strādājot pie viedo tekstilizstrādājumu radīšanas, dizaineram jāapsver daudzpusīgi projektēšanas procesa faktori, jo viedā tekstilizstrādājuma projektēšanas process būtiski atšķiras no tradicionālo apģērbu projektēšanas [68]. Apģērba/tekstiliju dizainera informēšanai par minēto specifisko procesu pētījumā izstrādāta projektēšanas procesa struktūrshēma, kas ļauj plānot un realizēt viedo tekstilizstrādājumu izgatavošanas procesu.

Darba ietvaros, balstoties uz apkopotajiem datiem, izveidota viedo tekstilizstrādājumu sākumdatu struktūra, kā arī, balstoties uz iegūto pieredzi tekstila viedsistēmu izgatavošanā, sastādīts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis.

4.1. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati

Atbilstoši viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas teorētiskajiem pamatiem (1.nodaļa), izveidota viedo tekstilizstrādājumu sākumdatu informācijas struktūra, kas ietver informāciju par pielietojumu, lietojamiem materiāliem, elektrotekstiliju projektēšanas tehnoloģijām un viedapģērba komfortu. Informācijas bāzes struktūra redzama 4.1.att.



4.1. att. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati

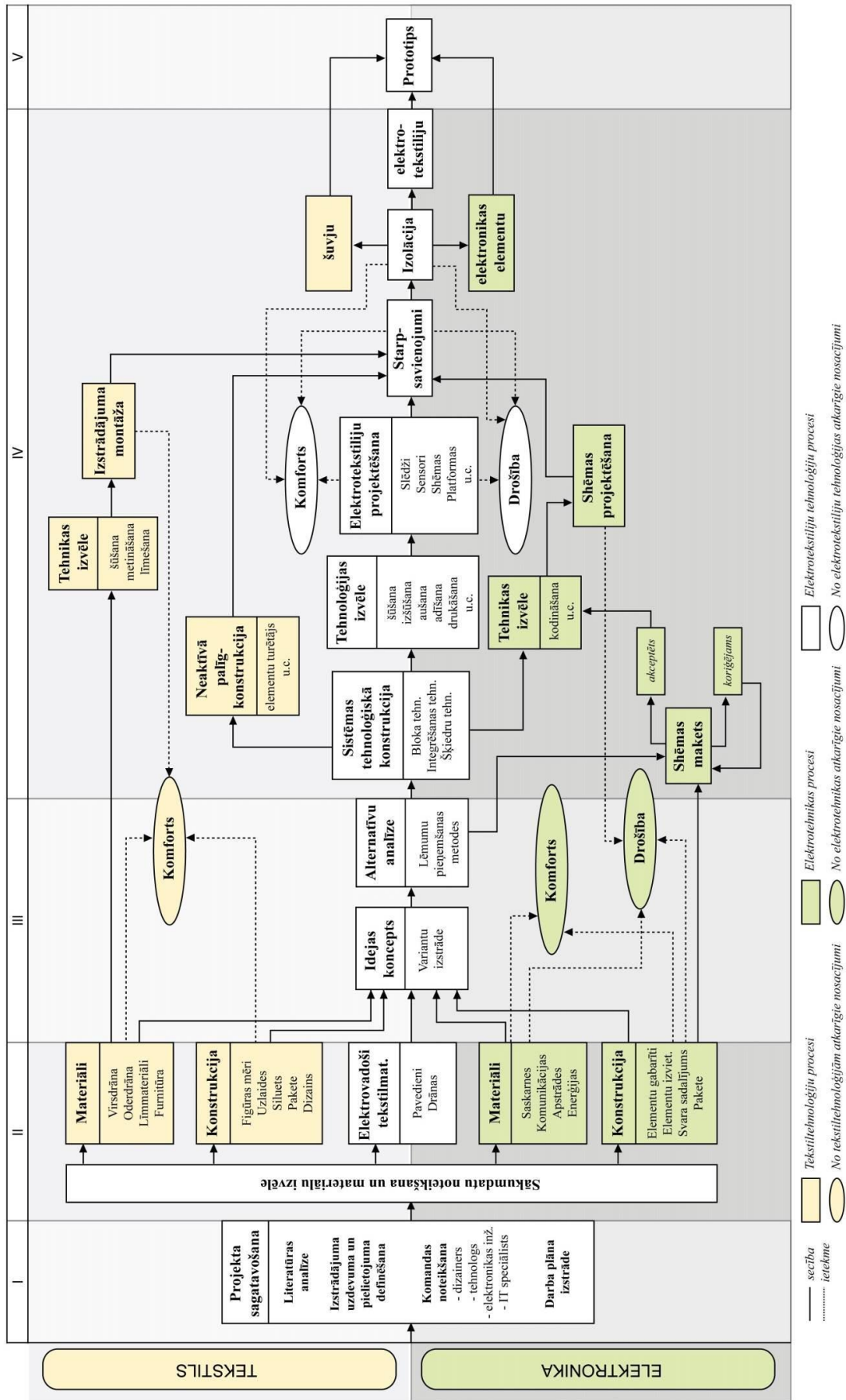
4.2. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis

Darbā izstrādāts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis, kas iedalīts divās daļās – tekstils un elektronika, aprakstot modeli ar trīs darbības veidiem – tekstiltehnoloģiju procesi, elektrotehnikas procesi un elektrotekstiliju tehnoloģiju procesi. Elektrotekstiliju tehnoloģija apvieno tekstila un elektronikas projektēšanas procesus, un ir sarežģītākā viedo tekstilizstrādājumu izstrādes daļa, jo tajā jāsavieno pēc struktūras īpašībām pavisam atšķirīgus materiālus. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa struktūrshēma redzama 4.2.att.

Struktūrshēmas elementu saites raksturo viedo tekstiliju materiālu un tehnoloģiju izvēles un procesu plānošanas etapus. Atkarībā no projektējamā viedā tekstilizstrādājuma veida, modeļa struktūra var mainīties; atbilstoši izstrādājuma specifikai modeli var saīsināt vai izvērst.

Nosacīti projektēšanas procesa modeli var iedalīt 5 posmos:

- I Projekta sagatavošana
- II Sākumdatu noteikšana un materiālu izvēle
- III Konceptijas analīze
- IV Eksperimentālā tehnoloģija
- V Prototipa novērtēšana



4.2. att. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis

SECINĀJUMI UN REZULTĀTI

Viedo tekstilizstrādājumu izgatavošana ir jauna nozare, kas uzlabo tradicionālās apģērba/tekstilijas īpašības un papildina tās ar jaunām funkcionālām īpašībām. Šādi izstrādājumi tiek izmantoti dažādās jomās - sports, medicīna, izklaide utt. Uzlabojot ar elektroniku aprīkoto tekstilizstrādājumu īpašības, sistēmas savienojumiem jābūt gan kvalitatīviem un drošiem elektriskajiem vadītājiem, gan jā saglabā tradicionālās tekstilizstrādājumu lietošanas komforta īpašības. Apvienot šīs īpašības ir grūti dažādās elektronikas elementu un tekstilizstrādājumu dabas dēļ.

Pēdējās desmitgades laikā viedo tekstilizstrādājumu izstrādē noticis manāms progress, taču joprojām pastāv risināmas problēmas. Nepieciešams pilnveidot viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesu to lietošanas īpašību uzlabošanai un precīzākai prognozēšanai.

Darba eksperimentālā daļa sastāv no četriem pētījumu etapiem, uz kuru pamata tiek analizētas iespējas integrēt elektroniskās sistēmas apģērbā, paraugu īpašību izmaiņas dažādu procesu ietekmē, kā arī viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa īpatnības.

Pētot elektrovadošo tekstilmateriālu īpašības un to izmaiņas, noskaidrots, ka tās iespaido gan šūšanas process, gan ārējās vides faktori un mazgāšana. Šīs īpašības ievērojami atšķiras dažādiem pavedieniem – piemēram, pēc trīs mazgāšanas reizēm elektriskā pretestība var palielināties no 35% (pavediens N3) līdz 622% (pavediens N1). Līdz ar to, projektējot elektrisko ķēdi, nepieciešams ņemt vērā elektrovadošā pavediena mainīgo dabu un izmantot konkrētam mērķim piemērotu pavedienu. Galvenie kritēriji šajā gadījumā ir ķēdes jutīgums un maksimālais strāvas patēriņš. Izturīgāki un šūšanai un izšūšanai vairāk piemēroti ir šķeterēti elektrovadošie pavedieni, kas veido gludāku šuvi par sagrodotu (vienkārīgo) pavedienu, kurš šūšanas procesā trūkst un pūkojas, radot sistēmas īssavienojuma risku. Sagrodotais pavediens (N1) uzrāda vājākus rezultātus arī mazgāšanas testā – tas izturēja tikai 6 mazgāšanas ciklus, pēc tam zuda elektriskais kontakts.

Pētījuma ietvaros izveidoti austi, šūti un izšūti elektrotekstiliju paraugi, analizēta to struktūras ietekme uz materiāla elektriskajām īpašībām un starpsavienojumu izturību. Konstatēts, ka kontaktu izturība atkarīga gan no savienojuma veida, gan no elektrovadošā pavediena sasaistes ar tekstilijas pamatni, kā arī no drānas sarukuma. Piemēram, pēc mazgāšanas testa mezgla kontakti dažās vietās veido vājāku savienojumu (vadītspējas samazinājums par 24-63% pēc 1-10 mazgāšanas cikliem), taču pārtrūkuši kontakti nav novēroti. Savukārt, lodēto savienojumu elektrovadītspējas maiņa (vadītspējas samazinājums par 3-59% pēc 1-10 mazgāšanas cikliem) saistīta ar kontakta pārtrūkšanu, veseliem kontaktiem novērotas būtiskas vadītspējas izmaiņas.

Pētījuma ietvaros projektēti vairāki elektrotekstiliju paraugi konkrētam pielietojumam – gaismu izstarojoši displeji un mitruma sensors, aprakstītas paraugu projektēšanas īpatnības. Izveidotas jaunas tekstila displeju konstrukcijas, kombinējot estētisko un funkcionālo dizainu. Izstrādāts pinums, kas ļauj integrēt tekstilijas struktūrā elektronikas elementus bez drānas virsmas deformācijas un izolēt vertikālos un horizontālos elektrovadošos kontaktus, un pinums izstarotās gaismas intensitātes variēšanai ar auduma struktūru. Displejs elektrovadošo kontaktu izolēšanai tika patentēts.

Veikti elektrotekstiliju izolācijas testi ar trim dažādiem silikona pārklājumiem un poliuretāna plēves pārklājumu. Kaut arī izolācija aizsargā elektrisko shēmu no mitruma, netiek nodrošināta pietiekami cieša un stabila kontakta fiksēšana. Pēc mazgāšanas pārbaudes izstarotās gaismas spožuma intensitāte un funkcionējošo diožu skaits samazinās gan izolētos,

gan neizolētos paraugos, taču neizolētajos paraugos vidējā gaismas intensitāte samazinās straujāk.

Analizēta nakts enurēzes modinātāja sistēma, izstrādāti ieteikumi sistēmas uzlabošanai, kā arī izveidots mitruma sensors un noteikta sistēmas ieslēgšanās robežvērtība, lai novērstu viltus trauksmes gadījumus. Eksperimenta ietvaros tika apskatīti divi sensoru veidi – šūts un austs sensors. Šūtais sensors uzrādīja labāku rezultātu sistēmas ieslēgšanās testā – ātrāka reakcija, savukārt austam sensoram bija labāks rādītājs viltus trauksmes testā – mazāk jutīgs simulējot svīšanu.

Darbā adaptēta lēmuma pieņemšanas metode viedo tekstilizstrādājumu sistēmu novērtēšanai un salīdzināšanai. Analizēts iepriekš veidotais viedās jakas prototips, un no sešiem alternatīvajiem jakas elektronikas konstrukcijas variantiem izvēlēts dominējošais variants, kuru tālāk var izmantot nākamā prototipa izstrādē. Analīzes rezultātus var izmantot, lai noskaidrotu dažādu alternatīvu lēmumu stabilitāti, jutīgumu pret nelielām izmaiņām, kā arī lai strukturētu lēmumu un padarītu to pārskatāmāku.

Balstoties uz teorētisko materiālu analīzi un eksperimentāli pētniecisko darbu, izstrādāta viedapģērbu projektēšanas procesa struktūrshēma, kas palīdz plānot un realizēt viedapģērbu izgatavošanas procesu. Struktūrshēma sadalīta divās daļās – tekstils un elektronika, aprakstot modeli ar trīs darbības veidiem – tekstiltehnoloģiju procesi, elektrotehnikas procesi un elektrotekstiliju tehnoloģiju procesi. Modelim ir 5 produkta realizēšanas etapi – projekta sagatavošana, sākumdatu noteikšana un materiālu izvēle, koncepcijas analīze, eksperimentālā tehnoloģija un prototipa novērtēšana. Struktūrshēmas elementu saites raksturo viedo tekstiliju materiālu un tehnoloģiju izvēles un procesu plānošanas etapus.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Acton Q. A. Issues in Genitourinary Medicine. - Georgia: Scholarly Editions, 2011. - 1477 p.
2. Aizsargapģērbs motobraucējiem profesionāļiem — Jakas, bikses un viengabala vai dalītie uzvalki — 1.daļa: Vispārīgās prasības. Standarts LVS EN 13595-1 : 2002
3. Akiyoshi's illusion pages. Internets. - <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>
4. Ali W.G. Automatic control. Analog controllers and Actuators. Ain Shams University, 2002
5. Alvino W.M. Plastic for electronics. Materials properties and design applications. - New York: McGraw-Hill, 1994. - 363 p.
6. Asvadi S., Jacob D.T.M.J., Martijn, K. et.al. Light-source with fabric diffusing layer [Patent]. - Netherlands, 2006.
7. Asvadi S., Van Pieteron L., Velzen M.M. Multi-layer woven fabric display [Patent]. - Netherlands, 2010.
8. Ataman C., Kinkeldei T., Vasquez-Quintero A. et.al. Humidity and Temperature Sensors on Plastic Foil for Textile Integration// Procedia Engineering. - 2011. - Vol. 25. - 136-139 p.
9. Bai, P., Zhu, G., Lin, Z.-H., Jing, Q., Chen, J., Zhang, G., Ma, J., Wang, Z.L. Integrated multilayered triboelectric nanogenerator for harvesting biomechanical energy from human motions // ACS Nano. - 2013, - Vol. 7, Iss. 4, - 3713-3719 p.
10. Baker D., Bridges D., Hunter R. et.al. Guidebook to decision-making methods. - 2001. -40 p.
11. Baltiņa I., Ozoliņa N. Gultasveļas audumu kvalitāte// Scientific Journal of RTU. Materiālzinātne. - 9. series. 1. vol. - 2006. - 62-66 lpp.
12. Bed-Mat Sensor, Internets. - <http://www.malemmedical.com/ultimate-bed-side-alarm>
13. Bedwetting (Nocturnal Enuresis), Internets. - <http://www.patient.co.uk/health/Bedwetting.htm>
14. Bhattacharya R. Electronic textile and method for determining a functional area of an electronic textile [Patent]. - Netherlands, 2011
15. Biswas J., Wai A.A.P., Foo V.S.F. plus et.al: Design of a Smart Continence Management System Based on Initial User Requirement Assessment. Smart homes and health telematics, Vol 5120 (2008), pp. 62-72, ISBN 978-3-540-69916-3
16. Blūms J., Terļeckā G. and Viļumsone A. The Electrodynamical Human Motion Energy Converter with Planar Structure// - Advanced Materials Research, - 2011, - Vol. 222. - 36-39 p.
17. Blūms J., Terļeckā G., Gorņevs I. et.al. A. Flat Inductors for Human Motion Energy Harvesting// SPIE Proceedings. France, Grenoble, 2013. - Vol.8763. - 876311.-876318 p.
18. Bonderover E., Wagner S. A Woven Inverter Circuit for e-Textile Applications// IEEE Electron device letters. - 2004. - Vol.25, Iss.5. - 295-297 p.
19. Buechley L., Eisenberg M. Fabric PCBs, electronic sequins, and socket buttons: techniques for e-textile craft// Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 13, Iss. 2. - London: Springer-Verlag, 2007. - 133-150 p.

20. Build turn signal biking jacket. Internets. - http://web.media.mit.edu/~leah/LilyPad/build/turn_signal_jacket.html
21. Catrysse M. , Puers R., Hertleer C., Van Langenhoveb L. et.al. Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit// Sensors and Actuators. - 2014 . Vol. A 114. -302–311 p.
22. Chaudhari S., Chitnis R., Ramkrishnan. R. Waterproof breathable active sportswear fabricēs// - Man-Made Textiles in India. - 2004. Vol. 47, Iss. 5. - 166-174 p.
23. Children’s nightwear and paper patterns for children’s nightwear. Internets. - <http://www.accc.gov.au/publications/childrens-nightwear-and-paper-patterns-supplier-guide>
24. Cho G., Lee S., Cho J. Review and Reappraisal of Smart Clothing [Book section]/ Smart Clothing. Technology and applications. - Florida: Taylor and Francis Group and CRC Press LLC, 2010. –1-35 p.
25. Clevertex. Report on Intelligent Textiles: Development of a strategic Master Plan for the transformation of the traditional textile and clothing into a knowledge driven industrial sector by 2015. - 2009. - 11 p.
26. Clinical Guideline Centre: Nocturnal enuresis - The management of bed-wetting in children and young people. London: National Clinical Guideline Centre. 2010. Internets. - <http://www.nice.org.uk/nicemedia/live/13246/51367/51367.pdf>
27. Conductive Materials. Internets. - <http://www.kobakant.at/DIY/?p=376>
28. Conway B.R., Kitaoka A., Yazdanbakhsh A. et.atl. Neural basis for a powerful static motion illusion// Journal of Neuroscience. - 2005. - Vol. 25, Iss. 23. - 5651-5656 p.
29. Das A., Alagirusamy R. Science in clothing comfort. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. - 250 p.
30. Das S. Quality characterisation of apparel. - India: Woodhead Publishing, 2009. - 200 p.
31. Dhawana A., Ghosha T.K., Seyama A.M. et.al. Development of Woven Fabric-based Electrical Circuits// Materials Research Society Symposium Proceedings. - 2002. - Vol. 736. - 67-72 p.
32. Dr Page A. PhD.: The Bedwetting Report. Internets. - <http://www.dri-sleeper.com/thereport.htm>
33. Electric ribbon. Internets. - <http://www.scisci.org/danriley/>
34. El-Sherif M. Integration of fibre optic sensors and sensing networks into textile structures [Book Section]/ Wearable electronics and photonics. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. - 105-135 p.
35. Enuresis moisture alarms. Internets. - <http://wetbuster.com/alarms.htm>
36. Eriksson S., Berglin L., Gunnarsson E. et.al. Three-dimensional multilayer fabric structures for interactive textiles// Proceedings of the 3rd World Conference on 3D Fabrics and Their Applications. - China, 2010. - 63-67 p.
37. Etched Traces. Internets. - <http://web.media.mit.edu/~plusea/?p=38>
38. Etching Your Own PC boards. Internets. - http://www.jaycar.com.au/images_uploaded/pcboards.pdf
39. Fangueiro1 R., Filgueiras A., Soutinho F. et.al. Wicking Behavior and Drying Capability of Functional Knitted Fabrics// Textile Research Journal. - 2010. – Vol.80, Iss.15. - 1522-1530 p.

40. Farrington J., Moore A. J., Tilbury N. et.al. Wearable sensor badge and sensor jacket for context awareness// Proceedings of ISWC. - San Francisco, 1999. - 107–113 p.
41. Figueira J., Mousseau V., Roy B., "ELECTRE methods" [Book section]/ Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. - New York: Springer, 2005. - 33-162 p.
42. Fülöp J. Introduction to Decision Making Methods. Internets. - <http://academic.evergreen.edu/projects/bdei/documents/decisionmakingmethods.pdf>
43. Gao, S., Zhang, Z., Cao, C. New Methods of Estimating Weights in AHP// Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing. - 2009. - 201-204 p.
44. Ghosh T.K., Dhawan A., Muth J.F Formation of electrical circuits in textile structures [Book Section]/ Intelligent textiles and clothing. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. - 239-282 p.
45. Gordon P., Torah R., Beeby S., Tudor J. The development of screen printed conductive networks on textiles for biopotential monitoring applications// Sensors and Actuators. - 2014. - Vol. A 206. – 35-41 p.
46. Gorgutsa S. Smart textiles for tactile sensing and energy storage/ Thesis. Canada, Montréal: Department of Engineering Physics, 2012. - 70 p.
47. Grén S., Kaappa E., Vanhala J. The use of elastomeric materials to encapsulate LEDs into the wearable electronics// Proceedings of 12th World Textile Conference AUTEX, Section I – Smart Textiles. - 2012. - 1443-1448 p.
48. Hemani A, Huang J., Jayaprakash G. plus et.al: Disposable Mattress Cover That Detects When the Sheets Are Wet. ECE 4884/4007 Senior Design Project, 2007.
49. Hindin B.S. Silver corrosion rates measured by resistivity techniques in flowing mixed gas environments// Tri-Service corrosion conference. - 2005.
50. Horrocks A.R., Anand S.C. Handbook of technical textiles. - Cambridge: Woodhead Publishing - 2000. - 576 p.
51. Huang C.-T., Shen, C.-L., Tang, C.-F., et.al. A wearable yarn-based piezo-resistive sensor// Sensors and Actuators, A: Physical. - 2008. - Vol. 141, Iss. 2, - 396-403 p.
52. Humphries M. Fabric Reference. 4th ed. - Institute of Textile Science, Prentice Hall, 2008. - 384 p.
53. Igoe T. Making Things Talk. - USA: Make Books, 2007. - pp 426
54. Integration of fibre optic sensors and sensing networks into textile structures [Book section]/ Wearable electronics and photonics. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited. - 2000. - 105-135 p.
55. ITM collection. Internets. - <http://www.kobakant.at/?p=432>
56. Jahn M., Wilhaus M., Von Riedheim plus et.al: Knit good with moisture sensor. Patent pub. No.: US 2011/0132040 A1.
57. Jan S. Facts About Fabric flammability// North Central Regional Extension Publication. - 2003. - 7 p.
58. Janietz S., Gruber B., Schattauer S., Schulze K. Integration of OLEDs in Textiles// Journal Advances in Science and Technology - 2012. - Vol 80. - 14-21 p.
59. Jeong K.S., Yoo S.K. Electro-Textile Interfaces Textile-Based Sensors and Actuators [Book section]/ Smart Clothing. Technology and applications. - Boca Raton: Taylor and Francis Group and CRC Press LLC, 2010. - 89-113 p.

60. Kamal R. Microcontrollers: Architecture, Programming, Interfacing and System Design. - India: Pearson Education, 2009. - 624 p.
61. Kanceviča V. Audumu struktūra un projektēšana. - Rīga: RTU izdevniecība, 2003. - 27-28 lpp.
62. Kannaian T., Neelaveni R., Thilagavathi G. Design and development of embroidered textile electrodes for continuous measurement of electrocardiogram signals// Journal of Industrial Textiles. - 2013. Vol.42, Iss.3. - 303-318 p.
63. Karaguzel B. Printing Conductive Inks on Nonwovens: Challenges and Opportunities/ PhD thesis. - North Carolina: ProQuest, 2006. - 182 p
64. Kinkeldei T., Zysset C., Cherenack, K.H. et.al. A textile integrated sensor system for monitoring humidity and temperature// Proceedings of 16th International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference. - 2011. - 1156-1159 p.
65. Kirstein T., Cottet D., Grzyb J., et.al. Wearable computing systems – electronic textiles [Book Section]/ Wearable Electronics and Photonics. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. - 177-197 p.
66. Koncar V., Deflin E., Weill A. Communication apparel and optical fibre fabric display Introduction [Book Section]/ Wearable electronics and photonics. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. - 155-176 p.
67. Laing R. M., Webster J. Stitches and seams. - Manchester: The Textile Institute, 1992. - 96 pp.
68. Lee J., Cho H., Lee Y. et.al. Designing Technology for Smart Clothing [Book section]/ Smart Clothing. Technology and applications. - Boca Raton: Taylor and Francis Group and CRC Press LLC, 2010. - 37-58 p.
69. Lee J.B., Subramanian V. Organic transistors on fiber: A first step towards electronic textiles.// Technical Digest - International Electron Devices Meeting. - Washington, 2003, 199-202 p.
70. Lee, M.S., Park, E.J., Kim, M.S. Integration of Plastic Optical Fiber into Textile Structures [Book section]/ Smart Clothing. Technology and applications. - Boca Raton: Taylor and Francis Group and CRC Press LLC, 2010. - 115-134 p.
71. Li. L., Au W.M., Wan, K.M. et.al. A Resistive Network Model for Conductive Knitting Stitches// Textile Research Journal. - 2010. - vol.80 Iss.10. - 935-947 p.
72. LilyPad Arduino 328 specifikācija. Internets. - <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLilyPad>
73. LilyPad XBee plates specifikācija. Internets. - <http://lilypadxbec.katehartman.com/about-board/>
74. Linz T. Analysis of Failure Mechanisms of Machine Embroidered Electrical Contacts and Solutions for Improved Reliability/ PhD thesis. - Ghent: Ghent University, 2011. - 188 p.
75. Locher I. Technologies for System-on-Textile Integration/ PhD thesis. - Zurich: Swiss Federal Institute Of Technology Zurich, 2006. - 164 p.
76. Mäkinen M. Introduction to phase change materials [Book section]/ Intelligent textiles and clothing - Cambridge : Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2006. - 21-33 p.
77. Malmivaara M. The emergence of wearable computing [Book section]/ Smart clothes and wearable technology. - Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009. - 3-24 p.

78. Maw C., Igoe T. Serial to Parallel Shifting-Out with a 74HC595. Internets. - <http://arduino.cc/en/Tutorial/ShiftOut>
79. Mazloompour M., Ansari N., Hemmatinejad N.. Wetting behavior of raw and water-repellent cotton fabrics// In: Indian Journal of fibre & Textile Research. - 2007. - Vol.32. -93-98 p.
80. Merilampi S., Laine-Ma T., Ruuskanen P. The characterization of electrically conductive silver ink patterns on flexible substrates// Microelectronics Reliability. - 2009. - Vol.49. - 782–790 p.
81. Merritt C.R. Electronic Textile-Based Sensors and Systems for Long-Term Health Monitoring/ PhD thesis. North Carolina: ProQuest, 2008. - 175 p.
82. Mestrovic M.A. Characterisation and Biomedical application of Fabric Sensors/ Master thesis. Australia: RMIT University, 2007. - 184 p.
83. Meyer J. Textile Pressure Sensor: Design, Error Modeling and Evaluation/ PhD thesis. Zurich, Switzerland: ETH, 2008. - 120 p.
84. Mhetre S.K. Effect of fabric structure on liquid transport, ink jet drop spreading and printing quality/ PhD thesis. Georgia: Georgia Institute of Technology, 2009. - 152 p.
85. Minges M. L., Electronic Materials Handbook: Packaging. Vol.1. - Ohio: ASM International, 1989. - 224 p.
86. Morton W. E., Hearle J. W. S. Physical Properties of Textile Fibres. 3rd ed. - Manchester: Textile institute, 1993. - 725 p.
87. Neveus T, Eggart P, Evans J et al: Evaluation of and Treatment for Monosymptomatic Enuresis: A Standardization Document From the International Children's Continence Society. Internets. - <http://i-c-c-s.org/pdfs/standardisation-documents/Monosympt-Enuresis.pdf>
88. Neveus T. Nocturnal enuresis: theoretic background and practical guidelines// Pediatr. Nefrol, Vol.26. pp. 1207-1214
89. Olsson T., Gaetano D., Odhner J. et.al. Open Softwear: Fashionable prototyping and wearable computing using the Arduino. - 2008. - 538 p.
90. Page A.: The sensor is the key. Internets. - <http://www.dri-sleeper.com/bedwetting-alarm-sensor.htm>
91. Page A.E. Device and apparatus for detecting moisture [Patent]. – 2005
92. Pan N. and Gibson P. Thermal and moisture transport in fibrous materials. - Cambridge : Woodhead Publishing, 2006. - 632 p.
93. Parkova I. Optisko šķiedru integrēšana tekstilapģērbos/ Maģistra darbs. - Rīga, 2010. - 92 lpp
94. Parkova I., Vališevskis A., Viļumsone A. et.al. Improvements of smart garment electronic contact system// Advances in Science and Technology. - 2012. - Vol. 80. - 90-95 p.
95. Parkova I., Vališevskis A., Ziemele I., Viļumsone A. Integration of optical fibers into textile products// Advanced Materials Research. - 2011. - Vol. 222. - 162-165 p.
96. Patents US 5927060 A. Electrically conductive yarn. D.L.Vatsons, 1997.
97. Petruyte S., Baltakyte R. Liquid Sorption and Transport in Woven Structures// Fibres & Textiles in Eastern Europe. - 2009. - Vol. 17, Iss. 2 (73). - 39-45 p.
98. Ponmozhi J., Frias C., Marques T., et.al. Smart sensors/actuators for biomedical applications: Review// Measurement. - 2012. - Vol.45, Iss.7. - 1675-1688 p.

99. Post E. R., Orth, M., Russo, P. R., Gershenfeld, N. E-broidery: design and fabrication of textile-based computing // IBM Systems Journal. - IBM Corporation. - 2000. - Vol. 39. Iss. 3&4. - 840-860 p.
100. Power J., Dias T. Knitting of electroconductive yarns// IEE Eurowearable Conference Proceedings. - Birmingham, 2003. - 55-60 p.
101. Qu. H., Bourgeois J.P., Rolland J. et.al. Flexible fiber batteries for applications in smart textiles// MRS Online Proceedings Library. - 2013. - Vol.1489. - 1-10 p.
102. Qureshi W., Guo L., Peterson J., Berglin L., Mehrjerdi, A.K., Skrifvars, M. Knitted Wearable Stretch Sensor for Breathing Monitoring Application. Proceedings of Ambience'11. - Borås, 2011. 1-5 p.
103. Roh J.S., Freed A., Mann Y. et.al. Robust and Reliable Fabric, Piezoresistive Multitouch Sensing Surfaces for Musical Controllers// Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression. Norway, 2011. - 393-398 p.
104. Romānovs A. Daudzkritēriju analīzes metožu pielietošana tūrisma informācijas sistēmas izstrādāšanā/ Promocijas darba kopsavilkums. - RTU, 2006. - 39 lpp.
105. Roy B. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods// Theory and Decision. - 1991. - Vol.31. - 49-73 p.
106. Saaty T.L. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process// European Journal of Operational Research. - 1990. - Vol.48. - 9-26 p.
107. Saville B. P. Physical Testing of Textiles. Manchester, England: Woodhead Publishing, 1999. - 310 p.
108. Schwarz A., Kazani, I., Cuny, L. et al. Electro-conductive and elastic hybrid yarns – The effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties// Materials and Design. - 2011, - Vol.32, Iss. 8-9, - 4247-4256 p.
109. Schwarza A., Langenhovea L., Guermonprezb P. et.al. A roadmap on smart textiles// Textile Progress. - 2010. - Vol.42, Iss.2. - 99–180 p.
110. Sempik J., Ward H., Darker J: Emotional and behavioural difficulties of children and young people at entry into care, Clin Child Psych Psychiatry. Vol 13, No. 2, pp: 221-33, ISSN 1461-7021
111. Sen A.K., Tech M. Coated Textiles. Principles and applications. Pennsylvania: Technomic Publishing Co., Inc., 2001 - 248 p.
112. Sensor Workshop at ITP. Internets. - <http://itp.nyu.edu/physcomp/sensors/Reports/ZipperSensor>
113. Sewable surface mount LEDs. Internets. - <http://www.kobakant.at/DIY/?p=3124>
114. Shieldex conductive yarns. Internets. - <http://www.shieldextrading.net/>
115. Smart & intelligent textiles. Internets. - <http://www.indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=852>
116. Smith C.J., Havenith, G. Body mapping of sweating patterns in male athletes in mild exercise-induced hyperthermia// European Journal of Applied Physiology. - 2011. - Vol. 111, Iss. 7. - 1391-1404 p.
117. Standard CEN/TR 16298:2011. Textiles and textile products — Smart textiles — Definitions, categorisation, applications and standardization needs. Internets. - <http://www.cen.eu>

118. Suh M. Development of Wireless Transmission between Inductively Coupled Layers in Smart Clothing/ PhD thesis. - North Carolina: North Carolina State University, 2011. - 122 p.
119. Swaminathan A., Khan M.B. Electrical Characterization of a Textile Sensor for Moisture Detection. Borås: University of Borås, 2011. - 35 p.
120. Tao X. Introduction [Book Section]/ Wearable electronics and photonics. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. - 1-12 p.
121. Textile-integrated Electronics. Internets. - <http://www.izm.fraunhofer.de/>
122. Thiedke C.: Nocturnal Enuresis. American family physicians. Vol. 67 (2003), number 7, pp. 1499-1506.
123. Tietze U., Schenk C. Electronic circuits. Handbook of design and applications. 2nd ed. - Springer, 2008. - 1544 p.
124. Uddin F., Lomas M. Wettability of Easy-Care Finished Cotton// Fibres & Textiles in Eastern Europe. - 2010. - Vol.18, Iss.4(81). - 56- 60 p.
125. UK Bedwetting Alarm Supplier. Internets. - <http://bedwettingalarm.co.uk/aboutrodger.html>
126. Vališevskis A. Lēmumu pieņemšana varbūtiskās nenoteiktības un izplūduma apstākļos/ Promocijas darbs. - Rīga: RTU, 2006. - 160 lpp.
127. Valtneris A. Cilvēka fizioloģija. - Rīga : Zvaigzne ABC, 1995. - 208 lpp.
128. Van Bruggen M.P.B., Krans M., Asvadi S. et.al. Fully Textile Electrode Lay-out Allowing Passive and Active Matrix Addressing [Patent]. - Netherlands, 2008.
129. Van Langenhove L., Hertleer C. Smart clothing: A new life// International Journal of Clothing Science and Technology. - 2004. - Vol.16 (1/2). - 63–72 p.
130. Van Langenhove L., Hertleer C., Schwarz, A. Smart Textiles: an Overview [Book section]/ Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection. Netherlands: Springer, 2012. - 119-137 p.
131. Van Pieteron L., Bouten P., Kriege K. et.al. Robust Fabric Substrates for Photonic Textile Applications// Research Journal of Textile & Apparel. - 2010. - Vol.14 Iss.4. - 54-62 p.
132. Wade E.R. A body area networking for wearable health monitoring: conductive fabric garment utilizing DC-power-line carrier communication/ PhD thesis. - Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2007. -116 p.
133. Wang L., Wang X., Lin T. Conductive coatings for textiles [Book section]/ Smart textile coatings and laminates. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2010 - 155-187 p.
134. Wearables Reaches its 10th Year. Internets. - <http://fibretronic.com/news/Wearables%20Review>
135. Women's Integral Pro. Internets. - <http://www.mountainhardwear.com>
136. Worbin L, Satomi M., Perner-Wilson H. Making-of: involving the machines. Internets. - <http://www.kobakant.at/?p=241>
137. XBee 1mW raidītāja specifikācija. Internets. - <http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#overview>

138. Yamashitaa T., Takamatsua S., Miyakea K., Itoh T. Fabrication and evaluation of a conductive polymer coated elastomer contact structure for woven electronic textile// Sensors and Actuators. - 2013. - Vol. A 195. - 213–218 p.
139. Yi W., Huaiyu Z., Jian, H., Yun L., Shushu Z. Wet-laid non-woven fabric for separator of lithium-ion battery// Journal of Power Sources. - 2009. - Vol. 189. - 616–619 p.
140. Yoo J., Yan L., Lee S. et.al. Wearable ECG Acquisition System With Compact Planar-Fashionable Circuit Board-Based Shirt// IEEE Transactions on information technology in biomedicine. - 2009. - Vol. 13, Iss. 6. - 897-902 p.
141. Yu W. Achieving comfort in intimate apparel [Book section]/ Improving comfort in clothing. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. - 427-448 p.
142. Zhang H., Tao X., Yu T. et.al. Conductive knitted fabric as large-strain gauge under high temperature// Sensors and Actuators. - 2006. - Vol.126, Iss.1. - 129-140 p.
143. Zhang X. Heat-storage and thermo-regulated textiles and clothing [Book section]/ Smart fibres, fabrics and clothing. - Cambridge: Woodhead Publishing, 2000. - 34-57 p.
144. Бузов Б. А., Модестова Т. А., Алыменкова Н. Д. Материаловедение швейного производства. Москва: Легкая индустрия, 1978. - 478 с.
145. Дель Р. А., Афанасьева Р. Ф. Гигиена одежды - Москва: Лёгкая индустрия, 1979. - 143 с.
146. Куренова С. В., Савельева Н. Ю. Конструирование одежды. - Издательство Феникс, 2003. - 480 с.
147. Шершнева Л. П., Ларькина Л. В. Конструирование одежды (теория и практика), - Москва: Издательство Форум-Инфрф-М, 2006. - 285 с.