

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

**PROMOCIJAS
DARBS**

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 darbs

Zinātniskais vadītājs
Dr.sc.ing., profesore
Ausma VIĻUMSONE

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

Rīga 2014



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

This work has been partly supported by the European Social Fund within the National Programme “Support for the carrying out doctoral study program’s and post – doctoral studies at Riga Technical University”.

PATEICĪBA

Autors izsaka pateicību promocijas darba vadītājai Dr.sc.ing Ausmai Viļumsonei un konsultantam Dr.sc.ing Aleksandram Vališevskim par sniegto atbalstu un palīdzību.

Autors izsaka pateicību arī Zviedru Tekstilskolai (*The Swedish School of Textile*) kolēģiem par iespēju strādāt *Smart Textile Design* laboratorijā Zviedrijā, Burosā. Īpašs paldies Dr.sc.ing Lindai Vorbinai (*Linda Worbin*) un Fredrikam Venerstenam (*Fredrik Wennersten*) par atbalstu un līdzdalību elektrotekstiliju izstrādē.

Īpašs paldies autora ģimenes locekļiem par palīdzību un morālo atbalstu promocijas darba izstrādes laikā – vecākiem Viktoram un Larisai, vīram Andrejam, tēvocim Ivaram un māsai Anetei.

ANOTĀCIJA

Promocijas darba galvenie pētniecības mērķi ir izanalizēt elektronikas sistēmu integrēšanas veidus un tehnoloģijas apgērbā un tekstilijās, pilnveidojot viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesu to lietošanas īpašību uzlabošanai un precīzākai prognozēšanai.

Ievadā pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, izklāstīta 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 pētījumu materiāli un metodes (datu analīzes metodes, testēšana metodes, mērījumu metodes).

Darba trešajā nodaļā prezentēti rezultāti. Veikta elektrovadošo tekstilmateriālu uzvedības 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 sākumdatu informācijas struktūra, kā arī, balstoties uz iegūto pieredzi tekstila viedsistēmu izgatavošanā, sastādīts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis

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.

ABSTRACT

The main research goal of this doctoral thesis was to analyze types and technologies of electronic systems integration into clothing and textiles, developing design process of smart textile products for improvement and more accurate prognostication of usage qualities.

In introduction part research topicality is outlined, research goal and objectives are defined, research approbation is stated.

In the first chapter review of smart textile products is performed, electronic elements for smart textile products design are described and electrotextile designing technologies are illustrated.

In the second chapter research materials and methods are described (data analyse methods, test methods, measurement methods).

In the third chapter results are presented. Behaviour of electro-conductive textile materials was studied as well as three prototype groups were designed and analysed, which describes different ways of electronic system attachment to smart textile products – moisture sensor (fiber technology), textile displays (integration technology), microclimate monitoring jacket (block technology).

In the fourth chapter structure of starting data information for smart textile products was formed and structural model of smart products design process was developed.

In the last chapter conclusions of the research are discussed.

Doctoral thesis includes introduction, 4 chapters, conclusions, list of literature with 147 sources, 4 appendices, 106 figures, 24 tables. Thesis contains 172 pages.

SATURS

IEVADS	9
1. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDĀJUMU PROJEKTĒŠANAS TEORĒTISKIE PAMATI	13
1.1. Elektronikas sistēmas elementi	15
1.2. Elektrovadoši tekstila materiāli	26
1.3. Viedo tekstilizstrādājumu komforts	47
2. EKSPERIMENTU MATERIĀLI UN METODES	54
2.1. Eksperimentu materiāli	55
2.2. Eksperimentu metodes	59
2.2.1. Datu analīze	59
2.2.2. Testēšana	61
2.2.3. Mērījumi	62
3. REZULTĀTI	65
3.1. Viedo tekstilizstrādājumu elektronisko kontaktu izpēte	65
3.1.1. Šuvju analīze mainīgo faktoru ietekmē	66
3.1.2. Šuvju ekspluatācijas pārbaudes	70
3.1.3. Materiālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji	73
3.2. Elektroaktīvo tekstiliju projektēšana	74
3.2.1. Tekstila sensors	75
3.2.2. Tekstila displejs	96
3.2.3. LED displeja izolācija	117
3.3. Elektronikas sistēmas dizaina optimizēšana	126
3.3.1. Mikroklimatu uzraugošā jaka un soma	126
3.3.2. Jakas elektronisko mezglu izvietojuma optimizācija	129
3.3.3. Lēmumu pieņemšanas metožu izmantošana sistēmas izvietojuma analīzē	133
4. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDAJUMU PROJEKTĒŠANAS PROCESA STRUKTŪRSHĒMA	140
4.1. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati	140
4.2. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis	141
SECINĀJUMI UN REZULTĀTI	146
PIELIKUMU SARAKSTS	149
LITERATŪRAS SARAKSTS	165

SKAIDROJUMI, SAĪSINĀJUMI

AHP – hierarhiju analīzes metode

LED – gaismu izstarojoša diode

SMD LED – uz virsmas lodējama gaismu izstarojoša diode bez izvadkontaktiem

PCB – spiestā plate

U – elektriskais spriegums

I – elektriskās strāvas stiprums

G – elektrovadītspēja

R – elektriskā pretestība

mA – miliampērs, strāvas stipruma mērvienība

V – volts, elektriskā sprieguma mērvienība

Ω – oms, elektriskās pretestības mērvienība

k Ω – kilooms, elektriskās pretestības mērvienība

S – sīmenss, elektriskās vadītspējas mērvienība

lx (lux) – lukss, virsmas apgaismojuma mērvienība

dtex – deciteksi, pavediena lineārais blīvums (masa gramos uz 10000 metriem)

IEVADS

Promocijas darba aktualitāte

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 uzraudzība, komunikācija, enerģijas uzkrāšana, aktīvā vai pasīvā siltuma vadāmība, aizsardzība, izklaide utt. 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].

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].

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;
- Izzināt 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 izvietošanas ierobežojumi un atlasīti sistēmas konfigurācijas novērtēšanas kritēriji viedapģērbim. Adaptēta lēmumu pieņemšanas metode ELECTRE viedapģērbu sistēmas elementu izvietošanas 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:

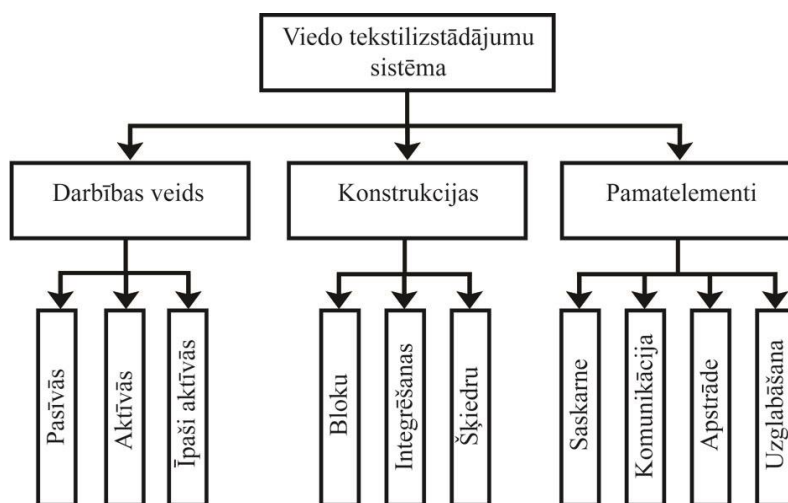
- Darba praktiskā nozīme ir apstiprināta ar patentu – iegūts Latvijas Patents Nr. 14680 Elastīgs gaismu izstarojošs tekstila displejs ar pārstaipiem elektronikas ierīču nosegšanai (izdots 2013. gada 23. martā);

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

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 inteligētais 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 sniegtu vispārēju priekšstatu par viedo tekstilizstrādājumu veidiem, tie tika aprakstīti pēc trim kritērijiem: sistēmas darbības veidi, tehnoloģiskās konstrukcijas un pamatelementi (1.1. att.).



1.1. att. Viedo tekstilizstrādājumu sistēma

Atkarībā no viedtekstiliju / viedapģērba darbības veida, viedsistēmas iedala šādās kategorijās:

- Pasīvās viedsistēmas – uztver apkārtējās vides stimulus;
- Aktīvās viedsistēmas – uztver apkārtējās vides stimulus un reaģē uz tiem;
- Īpaši aktīvās viedsistēmas – uztver apkārtējās vides stimulus, reaģē un pielāgojās tiem [24].

Viedsistēmai var būt dažādi stimuli un reakcijas. Apkārtējās vides stimuli ir redzami 1.2.att.



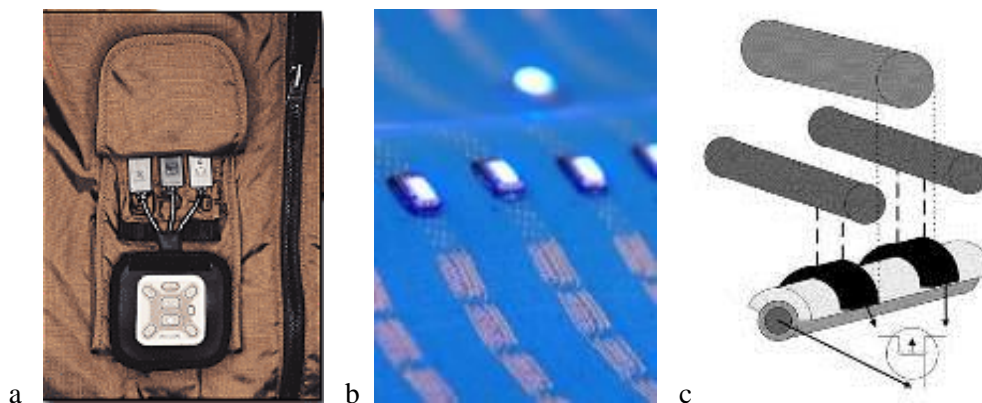
1.2. att. Apkārtējās vides stimuli [109]

Pēc viedapģērbu un viedtekstiliju sistēmu tehnoloģiskajām konstrukcijām tos var iedalīt vismaz trīs šādās grupās:

- Bloku tehnoloģija, kad elektronikas sistēma pie tekstilizstrādājuma pievienojas atsevišķi un ir atdalāma no tā;
- Integrēšanas tehnoloģija, kad elektronikas sistēma tiek integrēta apģērba vai tekstilijas struktūrā;
- Šķiedru tehnoloģija, kad visi izmantojamie elektronikas elementi ir šķiedru vai šķiedru sistēmas formā.

Bloku tehnoloģija tika izmantota viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas pirmsākumos, izmantojot materiālus un elementus, kas tika ievietoti, piemēram, apģērba kabatās. Viens no piemēriem ir muzikālā jaka *ICD+ Jacket*, kas tika izstrādāta 1999. / 2000.gadā. Jaku gan nevar nosaukt par viedapģērbu, taču tas bija viens no pirmajiem ar

elektroniku aprīkotajiem komerciāli realizētiem apģērbiem [77]. Integrējot elektrovadošos materiālus tekstiliju struktūrā, ir iegūstami viedie tekstilmateriāli, kas veido vienotu sistēmu. Savukārt uz šķiedru struktūru balstītās viedās tekstiliju sistēmas ir augstākā elektromateriālu integrēšanas klase. Piemēram, elektroenerģijas uzkrāšanai paredzētais kondensators šķiedras formā [69] vai lokanā baterija šķiedras formā [101]. Dažādas sistēmu tehnoloģiskās konstrukcijas redzamas 1.3.att.

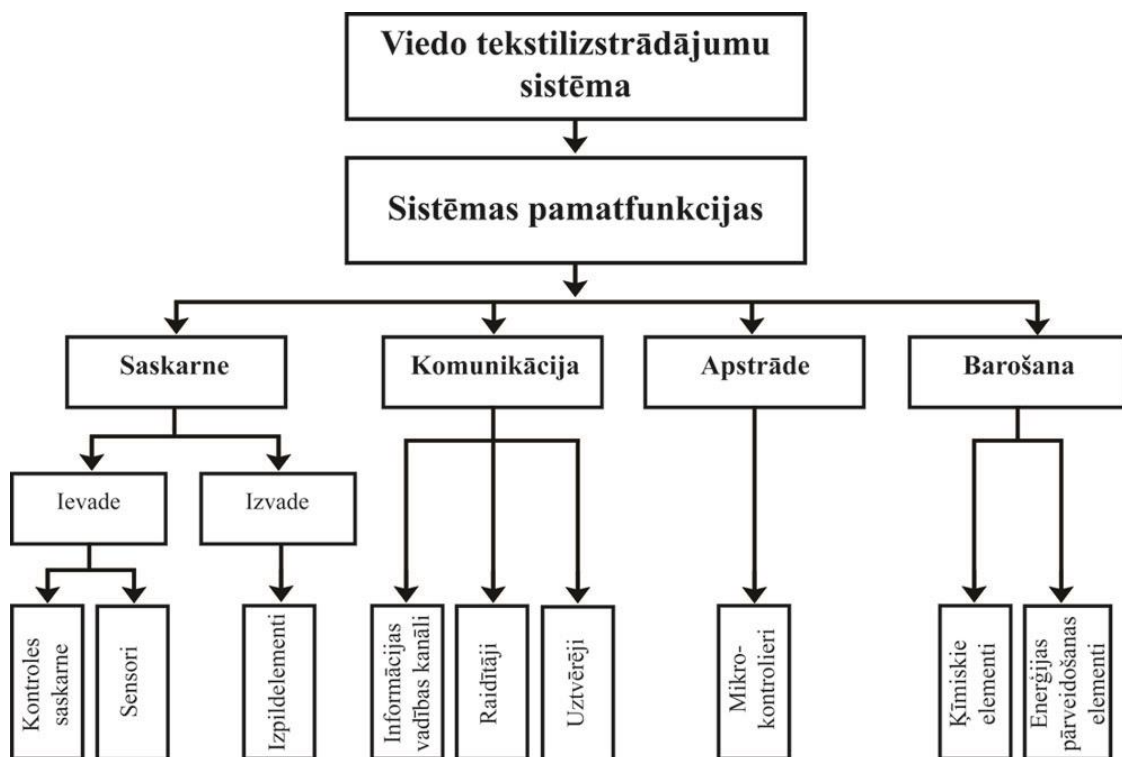


1.3. att. Sistēmu tehnoloģiskās konstrukcijas – a: bloku tehnoloģija [134]; b: integrēšanas tehnoloģija [121]; c: šķiedru tehnoloģija [69]

Viedo tekstilizstrādājumu sistēma sastāv no četriem galvenajiem pamatelementiem: saskarne, komunikācija, apstrāde un barošana. Sistēma ne vienmēr var nodrošināt visus minētos elementus. Piemēram, atkarībā no viedā tekstilizstrādājuma veida, tas var saturēt vai nesaturēt enerģijas avotu un komunikācijas elementus [117].

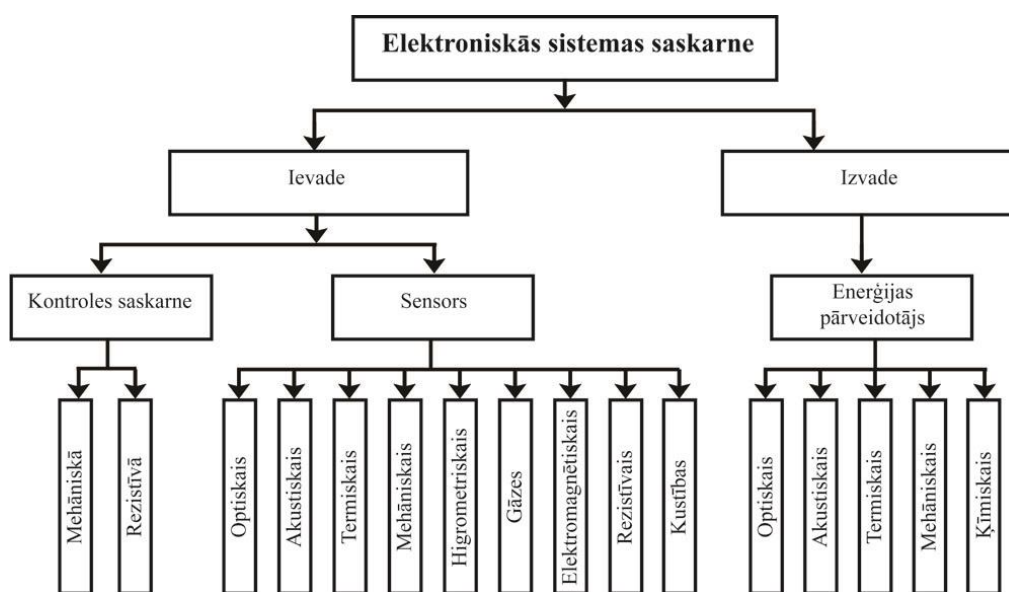
1.1. Elektronikas sistēmas elementi

Viedajos tekstilizstrādājumos integrējamo sistēmu sastāvdaļas var iedalīt vairākās grupās pēc to funkcionalizācijas. Viedo tekstilizstrādājumu sistēmas klasifikācija grafiskā veidā redzama 1.4.att. Nodaļā ir apskatītas sastāvdaļu grupas un tajās ietilpstošie elementi, kā arī katrai grupai ir piedāvāta kokveida klasifikācija, kas palīdz noteikt elementu specializāciju un izvēlēties konkrētam izstrādājumam piemērotāko elementu.



1.4. att. Viedo tekstilizstrādājumu sistēmas klasifikācija

Saskarne. Saskarne ir funkciju kopa, kas nodrošina datu apmaiņu starp divām ierīcēm, divām lietojumprogrammām vai starp lietotāju un lietojumprogrammu [120]. Informācijas vadīšanai parasti lieto gan ievades, gan izvades saskarni. Ievades un izvades saskarņu klasifikācija redzama 1.6.att.



1.5. att. Ievades un izvades elementu klasifikācija

Ievades saskarne. Datu ievades elementi ir nepieciešami signālu ievadīšanai sistēmā. Par ievades saskarni tiek uzskatīta gan kontroles saskarne, kas dod komandas sistēmai, gan sensori, kas uztver un ievada apkārtējās vides vai ķermeņa datus sistēmā. Valkātājs var ievadīt informācijas datus ierīcēs, piemēram, kontrolēt, kurš sensors tiek izmantots. Visvienkāršākā kontroles saskarne datu ievadīšanai ir slēdzis vai tastatūra, jo vienkāršas pogu saskarnes ir viegli apgūt un izmantot ar samērā mazu kļūdu skaitu. Savukārt, jo sarežģītāka ir viedā tekstilizstrādājuma elektroniskā sistēma, jo komplicētāka saskarne ir nepieciešama [120]. Ieintegrējot apgērbā ievades saskarni, to var izvietot tajā apgērba apgabalā, kas ir saistīts ar izpildāmo funkciju. Piemēram, ērtākai tastatūras izmantošanai to var iestrādāt jakas piedurknē [66]. Atsevišķos gadījumos jārikojās pretēji un kontroles saskarni jāiestrādā lietotājam nerasniedzamā vietā, piemēram, bērna apgērba mugurdaļā. Svarīgs ir arī ievades saskarnes ergonomiskais aspekts. Pretēji tendencei samazināt komunikācijas elektronikas ierīču gabarītus, apgērbam ir lielāks virsmas laukums, ko var izmantot funkcionāli. Piemēram, maza mobilā telefona tastatūra kļūst daudz labāk salasāma, ja tā tiek iestrādāta apgērba virsmā trīskārtīgā palielinājumā [66].

Tā kā apgērbs pāvada katru cilvēka ķermeņa kustību un uztur tiešu fiziku kontaktu ar cilvēku, tas ir labs līdzeklis, lai ar sensoru palīdzību pārveidot un interpretēt cilvēka aktivitātes un biosignālus. Sensors pārveido kādu fizisko īpašību (ķīmisks process, gaismas intensitāte, skaņas viļņi, mehāniskās izmaiņas) citā formā, ko var interpretēt ar elektrisko ķēdi. Pēc signālu uztveres (ievades saskarnes) sensorus var iedalīt divās lielās grupās: biomedicīniskie signāli un apkārtējās vides signāli [59]. Sensori pēc mērījuma veida un sensora tipa apkopoti 1.1. tabulā [59, 89, 130].

1.1. Tabula.

Sensori pēc mērījuma veida un sensora tipa

Mērījums	Sensora tips	Darbības princips
Biometriskie signāli		
Ķermeņa temperatūra	Termoelements	Potenciāla izmaiņas
	Termistors	Pretestības izmaiņas
	Pretestības izmaiņu detektors (RTD)	

Mērījums	Sensora tips	Darbības princips
Mitrums	Elektrods	Reaktīvās pretestības izmaiņas Elektrodu savienojums
Elpošana	Tenzometrs Elektrods Termoelements Akselerometrs Elektromagnētiskais	Pagarinājuma mērījums krūšu apkārtmēra tilpuma izmaiņu ietekmē; El.pretestības mērījums krūšu apkārtmēra tilpuma izmaiņu ietekmē; Temperatūras izmaiņas ieelpas un izelpas laikā; Nosaka elpošanas ciklu Induktivitātes izmaiņas elpošanas laikā
EKG, EMG, GSR, EEG*	Elektrods	Biopotenciāla izmaiņu mērīšana un pārvēršana elektriskajā strāvā
Kustība	Akselerometrs	2-asu vai 3-asu sensori
Pulss	Tenzometrs Infrasarkanais LED sensors	Pulsa spiediena izmaiņu mērījums uz ķermeņa virsmas Asins plūsmas tilpuma mērījums perifēriska vēnā, mērot gaismas absorbcijas izmaiņas
Asins skābekļa balanss (Blood gas)	Optiskais sensors	Mēra sarkanās un infrasarkanās gaismas absorbcijas attiecību (ratio) izmaiņas
Pozīcija	GPS sensors Ultraskaņas / infrasarkanais sensors	Absolūtā un relatīva pozicionēšana
Ārējās vides signāli		
Vides temperatūra	Termoelements Termistors	Potenciāla izmaiņas Pretestības izmaiņas
Mitrums	Higrometrs	Ārējās vides mērījums

Mērījums	Sensora tips	Darbības princips
Spiediens	Pjezorezistīvais	Maina elektrisko pretestību atbilstoši pieliktajam spiedienam
	Kapacitatīvais	Maina kapacitāti atbilstoši pieliktajam spiedienam
	Mehāniskais	Savienojumi ar lūzuma punktu
Gaismas intensitāte	Fotodiode	Strāva palielinās līdz ar gaismas intensitātes pieaugumu
	Fototranzistors	Elektriskā pretestība samazinās līdz ar gaismas intensitātes pieaugumu
	Fotorezistors	
Skaņa	Dinamiskais mikrofons	Mehāniskā spēka iedarbībā sensors ģenerē elektrisko lādiņu
	Kondensatora mikrofons	
	Pjezoelektriskais mikrofons	
Gāze, smaka, smarža	Ķīmiskais sensors	Ārējās vides mērījums
Saules stari	Elastīgā saules baterija	Gaismu pārveidošana enerģijas avotā

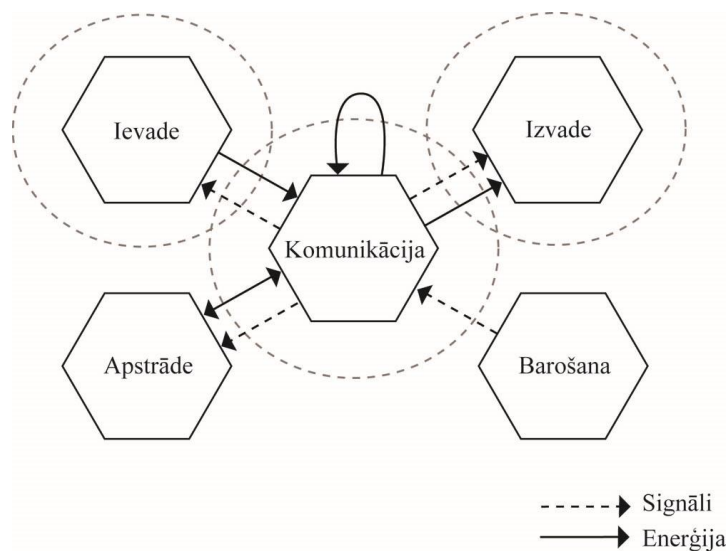
*EKG – elektrokardiogramma, EMG – elektromagnētogramma / elektromiogramma, GSR – ādas reakcija, EEG – elektroencefalogramma

Izvides saskarne. Sistēmā ienākošie dati tiek pārveidoti attiecīgā signālā ar izvides saskarnes palīdzību [66]. Izpildelementi reaģē uz sensoru uztvertajiem signāliem tiešā veidā jeb caur kontroles sistēmu [115]. Elektrotehnikā pastāv elektriskie, pneimatiskie un hidrauliskie izpildelementi [4], taču viedajās tekstilijās lielākoties tiek izmantoti elektriskie izpildelementi. Tabulā 1.2. ilustrēti daži piemēri ar reakcijām uz stimuliem un elektriskajiem izpildelementu veidiem (izvides saskarne).

Reakcijas uz stimuliem un izpildelementu veidi

Reakcija	Izpildelementi
Gaisma	Gaismu izstarojošā diode (LED) Organiskā LED (OLED) Polimēra LED (PLED) Infrasarkanā LED Šķidro kristālu displejs (LCD)
Skaņa	Skaļrunis Radioaustiņas (vadu vai bezvadu)
Vibrācija / Kustība	Zummers Formu mainošie maisījumi (SMA) Elektronisks motors Pneimatiskas ierīces
Siltums	Sildelements (elektriskā pretestība)
Krāsa	Fotohroma materiāla pārklājums / apdruka Fluorescējoša materiāla pārklājums / apdruka Termohroma materiāla pārklājums / apdruka

Komunikācija. Komunikācija ir informācijas un enerģijas vadīšana starp viedā tekstilizstrādājuma sistēmas elementiem. Signālu un enerģijas plūsma starp elementiem grafiski ir attēlota 1.6.att.



1.6. att. Signālu un enerģijas plūsma starp elementiem

Informācijas apmaiņu var klasificēt divās kategorijās:

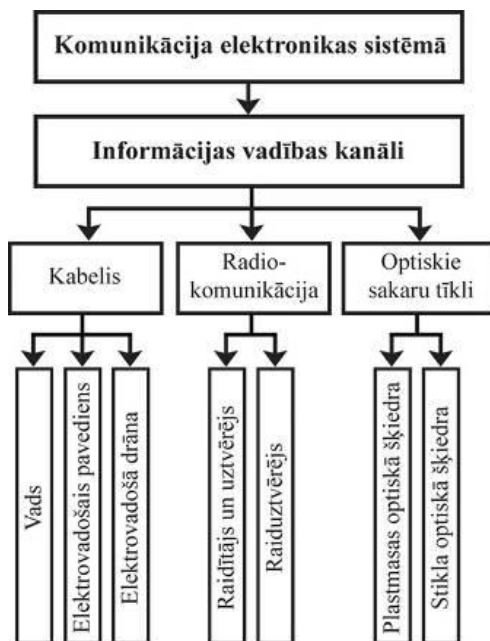
1. Tuvās darbības komunikācija, kas notiek vienā tekstilizstrādājumā integrētā elementā vai starp diviem vai vairākiem tekstilizstrādājuma iestrādātiem elementiem;
2. Tāldarbības komunikācija, kas notiek starp diviem vai vairākiem lietotājiem caur internetu vai sakaru tīkla protokolu [120].

Komunikāciju nodrošina savienojuma tehnoloģijas. Galvenais savienošanas tehnoloģiju risināmais jautājums ir – kā pārvadīt informāciju un enerģiju starp dažādiem elektriskās sistēmas komponentiem ar iespējami lielāku efektivitāti [66]. Datus var pārraidīt ar vadu vai ar bezvadu tehnoloģijām.

Vadu tehnoloģija ir praktisks un drošs risinājums datu pārraidīšanai. Plāni vadi, kas iestrādāti drānas struktūrā, ir lēti un darbojas kā piemērota vide informācijas un enerģijas vadībai. Taču vadu izmantošana viedajos tekstilizstrādājumos pasliktina tā valkāšanas ērtumu – dažos gadījumos vadi var radīt neelastīgas daļas apgērbā, it īpaši aukstā laikā, kad vadu izolācijas apvalki sala ietekmē kļūst vēl stīvāki. Vadu plaisāšana vai pārtrūkšana aukstos laika apstākļos arī ir viena no problēmām. Lai iegūtu tekstilīpašībām piemērotāku risinājumu, vadu vietā var izmantot elektrovadošos pavedienus. Taču to izmantošanā arī pastāv problēmas. Pavedieniem nav izolācijas apvalka, tāpēc saskaroties atsevišķiem pavedieniem vai arī mitruma iedarbībā var rasties neparedzēts īssavienojums. Līdz ar to elektrovadošo pavedienu savienojumi ir jāizolē [120]. Viedajos tekstilizstrādājumos izmanto arī optisko skaru kanālus [70].

Bezvadu tehnoloģija. Bezvadu tīklos informācija tiek vadīta, izmantojot elektromagnētiskos viļņus (radiofrekvence, mikroviļņi un infrasarkanais starojums). Tuvās darbības komunikācijai ir izmantojams lokālais tīkls kā *Wi-Fi* vai personālais tīkls, kā *Bluetooth* vai *ZigBee* [118]. Tāldarbības komunikācijai piemērota ir globālā mobilo sakaru sistēma (*GSM*) [59]. Bezvadu komunikācijai nepieciešams raidītājs un uztvērējs.

Informācijas vadības kanālu klasifikācija redzama 1.7.att.



1.7. att. Informācijas vadības kanālu klasifikācija

Apstrāde. Datu apstrāde nepieciešama aktīvās vai īpaši aktīvās viedsistēmas gadījumā. Datu apstrādes elementi nolasa un pārveido signālu, kā arī nosaka sistēmas reakciju. Datu apstrādei tiek izmantoti elektronikas elementi, piemēram, mikrokontrolieri, kas saņem un pārraida komandas vai stāvokļa informāciju. Mikrokontrolieris ir elektronisks čips ar ieejas un izejas kontaktiem, kas var uztvert un sūtīt elektriskus impulsus. Mikrokontroliera darbības procesu var raksturot trīs etapos ar šādu piemēru:

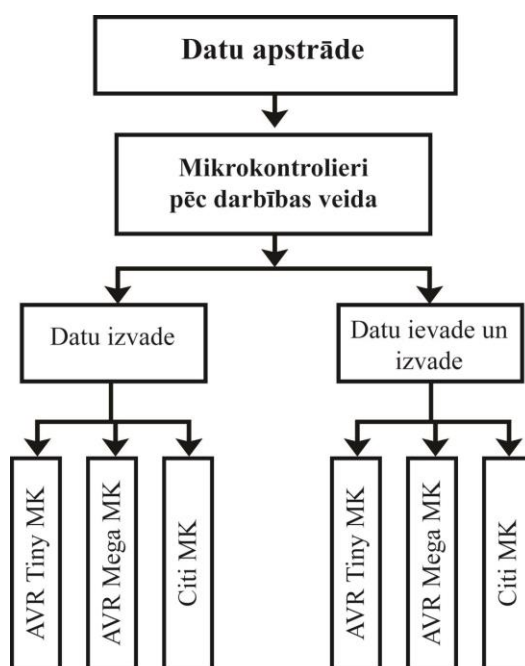
1. Pie mikrokontroliera kontaktiem tiek pievienoti ieejas elementi – piemēram, sensori, kas pārveido fizisko enerģiju (skaņa, kustība, siltums utt.) elektriskajā enerģijā.
2. Pie mikrokontroliera kontaktiem tiek pievienoti izejas elementi – piemēram, skaļrunis, gaismas diode, kas saņemto elektrisko enerģiju pārveido fiziskajā darbībā.
3. Tiek uzrakstīta programma, kas nosaka, kā ieejas signālu izmaiņas ietekmē izejas signālus [53].

Mikrokontrolieris tiek programmēts ar personālā datora palīdzību, abas ierīces savienojot ar programmatora palīdzību, parasti caur *USB* saskarni. Mikrokontrolieri var pārprogrammēt, lai tas veiktu dažādus uzdevumus, piemēram, var nomainīt ievades saskarni - sensora tipu (gaismas, skaņas, mitruma, temperatūras, spiediena), izmainīt izvades saskarni, kā arī var izmainīt izvades parametrus.

Var izšķirt divas sistēmas apstrādes kategorijas:

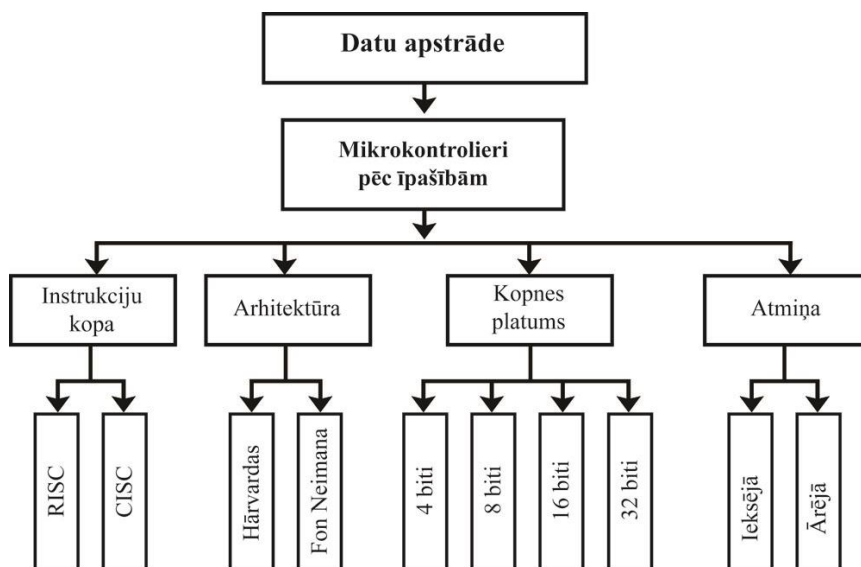
1. Sistēmas, kurām ir paredzēta tikai datu izvade. Tās ir sistēmas, kuru uzvedība ir iepriekš noteikta un nav atkarīga no signāliem no ārējās vides. Signālus visērtāk ir apstrādāt, izmantojot programmējamus mikrokontrolierus. Vienkāršākiem uzdevumiem var izmantot *AVR Tiny* sērijas mikrokontrolierus. Savukārt, ja ir nepieciešams plašāks funkciju klāsts (noteiktu interfeisu standartu atbalsts, vairākas analogas ieejas vai izejas u.c.), tad var tikt izmantoti *AVR Mega* sērijas mikrokontrolieri. Uz šo mikrofonu bāzes izveidotas arī citas platformas, piemēram, *Arduino* vai speciāli integrēšanai tekstilmateriālos paredzētie *LilyPad Arduino*, taču tie parasti ir lielāki pēc izmēra.
2. Sistēmas, kurām ir paredzēta gan datu ievade, gan izvade. Tās ir sistēmas, kas saņem signālu no ārējās vides un noteiktā veidā uz tiem reaģē. Norādījumi par mikrokontrolieru izvēli ir tie paši kā 1. punktā.

Mikrokontrolieru elementu klasifikācija ir redzama 1.8. att.



1.8. att. Datu apstrādes elementu klasifikācija

Mikrokontrolieru klasifikācija pēc to īpašībām ir redzama 1.9. att. Pēc instrukciju kopas procesoru var iedalīt divās kategorijās - samazinātas instrukciju kopas dators (*RISC*) un sarežģītas instrukciju kopas dators (*CISC*). Viedajos tekstilizstrādājumos tiek izmantoti *RISC* arhitektūras mikrokontrolieri, jo tie ir mazāki pēc izmēra un tiem ir zems enerģijas patēriņš. Mikrokontrolieru arhitektūras atšķiras pēc datu un programmu uzglabāšanas un piekļuves veida. Piemēram, *AVR* mikrokontrolieros ir izmantota *Harvardas* arhitektūra un *RISC* instrukciju kopa. Parasti tiek izmantotas standartizētās kopnes, ko veido trīs dažādu kopņu apvienojums. Pa tām tiek pārsūtīti dati (datu kopne), informācija par datu atrašanās vietu (adrešu kopne) un vadības informācija (vadības kopne). Kopnes galvenokārt raksturo ar bitu skaitu, ko vienlaicīgi var pārsūtīt pa kopni. Mikrokontrolieri var būt arī ar integrētu vai ārēju atmiņu [60].

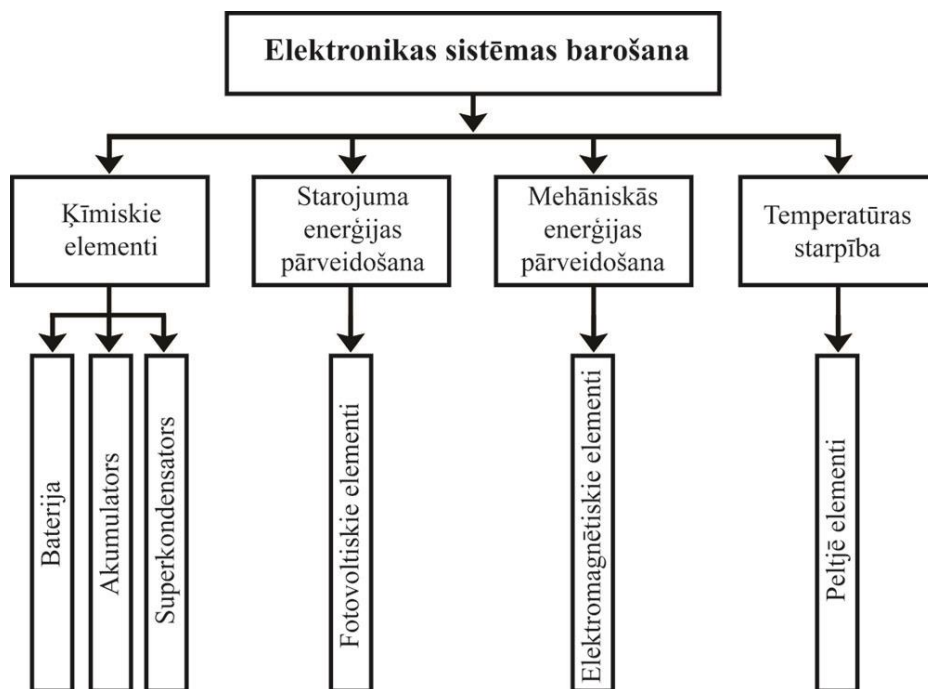


1.9. att. Mikrokontrolieru klasifikācija pēc to īpašībām

Barošana. Datu uztveršanai, vadīšanai, atspoguļošanai un komunikācijai parasti nepieciešama enerģija elektriskās strāvas veidā. Efektīgs enerģijas avots sastāv no enerģijas ģeneratora un enerģijas uzglabāšanas tilpuma. Apģērbā enerģija var tikt ģenerēta no ķermeņa siltuma, mehāniskajām kustībām, radiācijas (saules enerģijas) utt. [109]. Enerģiju var uzglabāt, piemēram, baterijā vai akumulatorā. Enerģijas avots viedajā tekstilizstrādājumā parasti ir visproblemātiskākā daļa, jo tradicionālie barošanas avoti ir cieti, neelastīgi, diezgan smagi un ar īsu dzīves ciklu. Tādēļ aktuāli ir pētījumi elastīgo bateriju izstrādē [101], taču lielākoties tie vēl ir eksperimentālā stadijā. Viedā tekstilizstrādājuma sistēmas barošanas

avotam ir jābūt vieglam un maz pamanāmam, kā arī ir jābūt iespējai to pievienot un atvienot no izstrādājuma. Šādai ierīcei jābūt ilgmūžīgai jeb periodiski uzlādējamai. Svarīga ir arī barošanas avota izturība valkāšanas un kopšanas procesā.

Barošanas elementu klasifikācija ir redzama 1.10. att.



1.10. att. Elektronikas sistēmas barošanas elementu klasifikācija

Barošanas elementus var izvēlēties atkarībā no elektroniskās sistēmas nominālās jaudas, integrēšanas vietas un paša izstrādājuma raksturojumiem (piemēram, vai ir iespējams izvietot elementus, kas elektrībā pārveido saules gaismu vai temperatūru starpību).

Ķīmiskie elementi ģenerē elektrību ķīmisko reakciju rezultātā. Šajā kategorijā ietilpst vienreizlietojamās baterijas, kā arī uzlādējami akumulatori. Akumulatorus var uzlādēt, fiziski pievienojot elektrisko shēmu pie ārējā enerģijas avota, piemēram, ar vadu – tā tiek nodrošināta kontakta uzlādēšana. Gadījumā, ja sistēma ir pilnībā slēgta vai iekapsulēta, var izmantot induktīvo savienojumu, radot bezkontakta savienojumu un nodrošinot enerģijas pārnesi starp ārējo enerģijas avotu un integrēto sistēmu.

Ja izstrādājumu ir paredzēts izmantot ārējā vidē un pastāv iespēja uz izstrādājuma ārējās virsmas izvietot papildu elementus, elektrības ģenerēšanai var izmantot saules enerģiju. Šajā gadījumā var izmantot fotovoltiskos elementus. Lai izstrādājums būtu lietojams arī

tumsā vai nepietiekoša apgaismojuma apstākļos, fotovoltaisko elementu ģenerēto enerģiju var uzkrāt, piemēram, buferakumulatoros.

Izmantojot cilvēka kustībās ģenerēto enerģiju, ir lietojams elektromagnētiskais kustību enerģijas pārveidotājs, kas sastāv no plakanās spoles un magnēta [17].

Peltjē elements ir elektrotermiskais pārveidotājs, kurš, pamatojoties uz Peltjē efektu, plūstot cauri strāvai uzrāda temperatūras starpību vai rodoties temperatūras starpībai, uzrāda strāvas plūsmu.

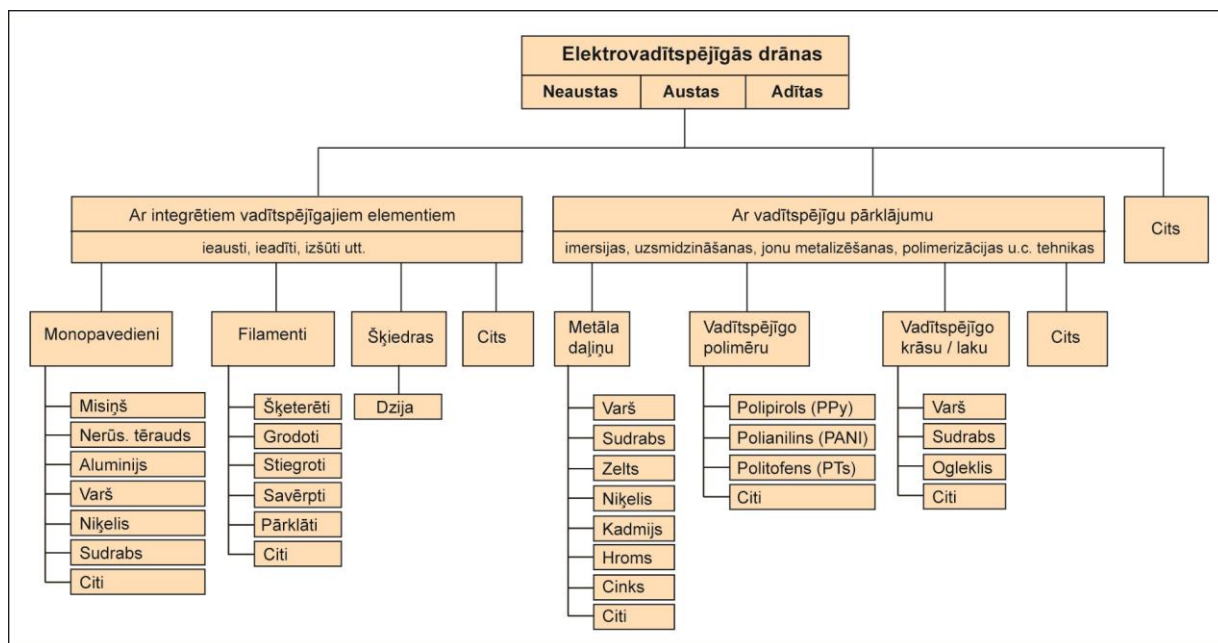
1.2. Elektrovadoši tekstila materiāli

Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanai ir pieejami dažādi elektrovadoši tekstilmateriāli, kas var atšķirties pēc savas struktūras, izejmateriāla, specapstrādes tehnoloģijas, elektrovadītspējas utt.

Elektrovadītspējīgās drānas un tekstilvadi

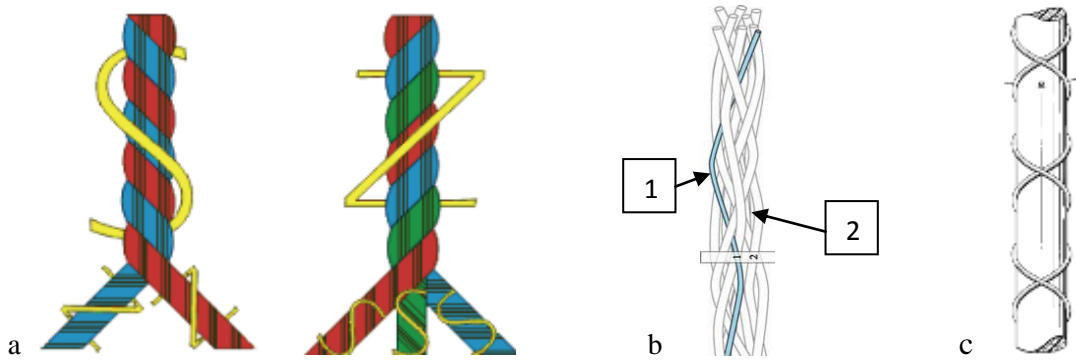
Jebkurā skaitļošanas sistēmā pastāv elektriskie savienojumi, kuriem parasti tiek izmantoti vadi (vai smalkiem savienojumiem izkodināti celiņi uz plates). Projektējot elektrovadītspējīgās drānas, vadus iespējams iestrādāt tekstilijā (piemēram, ieaūžot), taču vadu struktūras dēļ materiāls būs stīvs, līdz ar ko tas samazinās tekstila kvalitātes īpašības. Vadus iespējams aizstāt ar elektrovadošajiem tekstilpavedieniem – komerciāli pieejamajiem šāda veida pavedieniem parasti ir mazāka elektriskā vadītspēja, taču tie ir vairāk atbilstoši tekstila projektēšanas nosacījumiem [25]. Pavedieniem un drānām var būt dažāds elektrības vadīšanas līmenis atkarībā no pielietojuma. Piemēram, augstas vadītspējas pavedieni var tikt izmantoti tekstila elektriskās shēmas vai lietotāja saskarnes elementu izstrādē, kas ir alternatīva tradicionālajai spiestajai platei. Zemākas elektriskās vadītspējas tekstilijas var tikt izmantotas, piemēram, statiskās elektrības izkliedei [133].

Elektrovadošie pavedieni un tekstilijas sākotnēji tika izmantoti dažādiem rūpnieciskiem pielietojumiem, piemēram, elektromagnētisko traucējumu ekranēšanai. Vēlāk tos sāka izmantot arī viedapģērba un viedtekstiliju projektēšanai [25]. Elektrību vadošām drānām var būt dažāda struktūra un izgatavošanas tehnoloģija. Informācija par elektrovadošajām drānām apkopota shēmā (1.11. att.), klasificējot drānas pēc izgatavošanas tehnoloģijas. Klasifikācija attiecas uz neaustām, austām un adītām drānām.



1.11. att. Elektrovadošo drānu klasifikācija pēc izgatavošanas tehnoloģijas

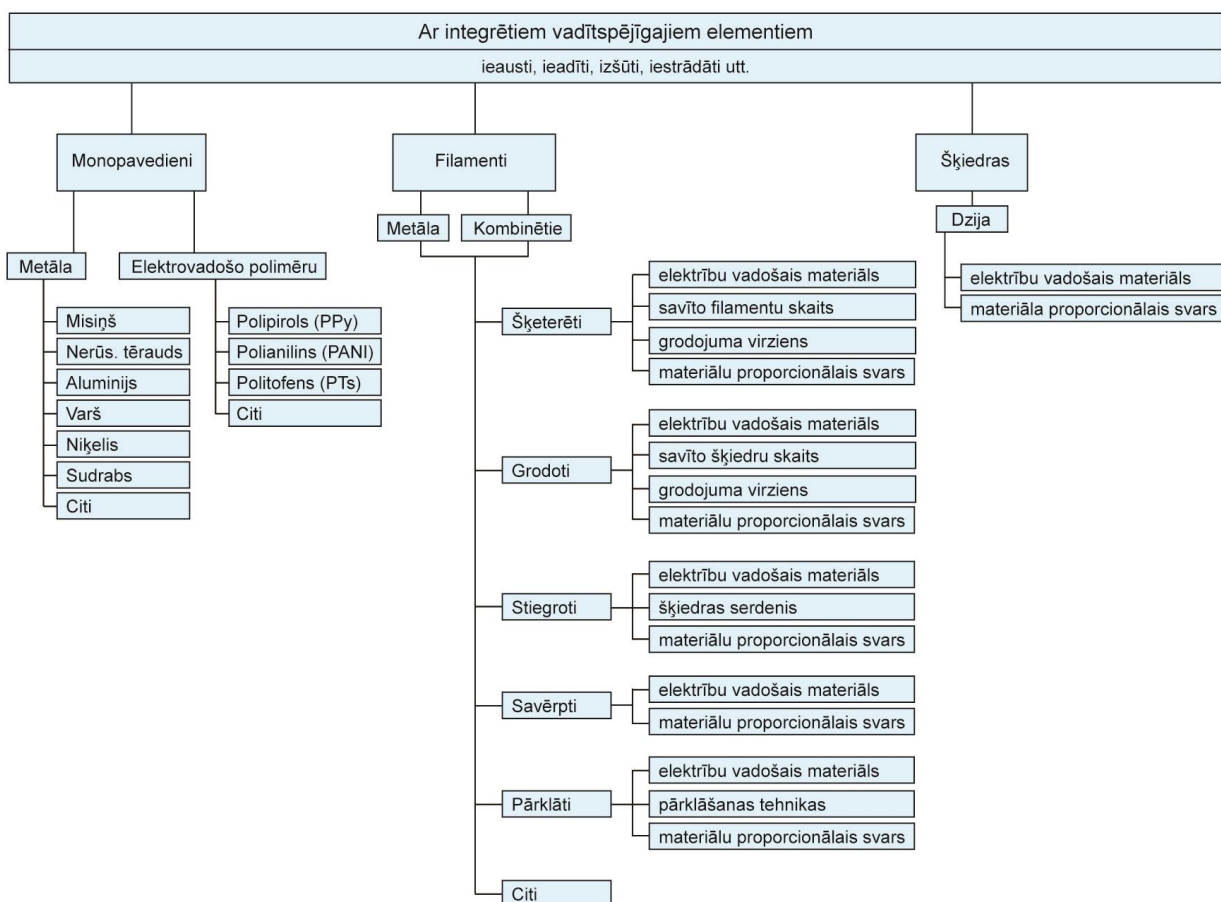
Elektrovadītspējīgām drānām var piemist dažādas īpašības atkarībā no to izgatavošanas tehnoloģijas (adīšana, aušana utt.). Drānu elektriskās īpašības ietekmē elektrovadošo pavedienu struktūra un elektriskie parametri, ko kuriem tās ir izgatavotas. Elektrovadošie pavedieni var būt elektrību vadoši jau sākotnēji (paši par sevi) jeb tie var būt speciāli apstrādāti (pārklāti). Sākotnēji elektrību vadoši pavedieni ir metāla vai metālu sakausējumu, kā arī elektrovadošo polimēru monofilamenti vai pavedieni [25]. Bieži elektroniskās tekstilijas izgatavošanai tiek izmantoti tādi metāla filamenti kā varš, misiņš, nerūsējošais tērauds, alumīnijs vai niķelis [133]. Metāla un metālu sakausējumu pavedienu priekšrocības ir to izturība, bioloģiskais inertums un pieejamība par nelielu cenu, kā arī tie nav jūtīgi pret mazgāšanu vai sviedriem. Taču savas struktūras dēļ tie var nelabvēlīgi ietekmēt vēršanas mašīnu laika gaitā, kā arī tiem ir lielāks svars par tradicionālajiem tekstila pavedieniem. Šādu pavedienu tekstilijas ir diezgan stīvas un neelastīgas – pēc deformācijas tās var neatgūt sākotnējo formu. Lai iegūtu tekstila īpašībām atbilstošākus pavedienus, metāla vadus vai pavedienus kombinē ar tekstila šķiedrām [25], iegūstot šķeterētus, grodotus, stiegrotus vai savērptus elektrovadošus pavedienus. Dažādu pavedienu struktūras redzamas 1.12. att.



1.12. att. Elektrovadošais pavadniens: a – divkārtīgi šķeterēts un trīskārtīgi šķeterēts pavadniens [114]; b – savērpts 1: ievērpts elektrovadošais filaments, 2: tekstilmateriāls [25]; c –stiegrots pavadniens ar tekstila serdeni un tam apkārt apvītiem metāla filamentiem [96]

Elektrovadošo pavadnienu iespējams iegūt arī, pievienojot metāla daļiņas pavadnienu vērpsanas procesā, taču šī metode nav tik efektīga, jo šajā gadījumā nepieciešams liels metāla daļiņu daudzums. Lietderīgāk ir apstrādāt tikai pavadnienu ārējo virsmu, izmantojot pārklāšanas metodes. Lielākoties tā ir metāla, elektrovadošo polimēru vai citu elektrovadošo materiālu (krāsu, laku) slāņa uzklāšana.

Shēmā (1.13. att.) attēloti strukturēti elektrovadošo filamentu / pavadnienu veidi un to izgatavošanas nianse.



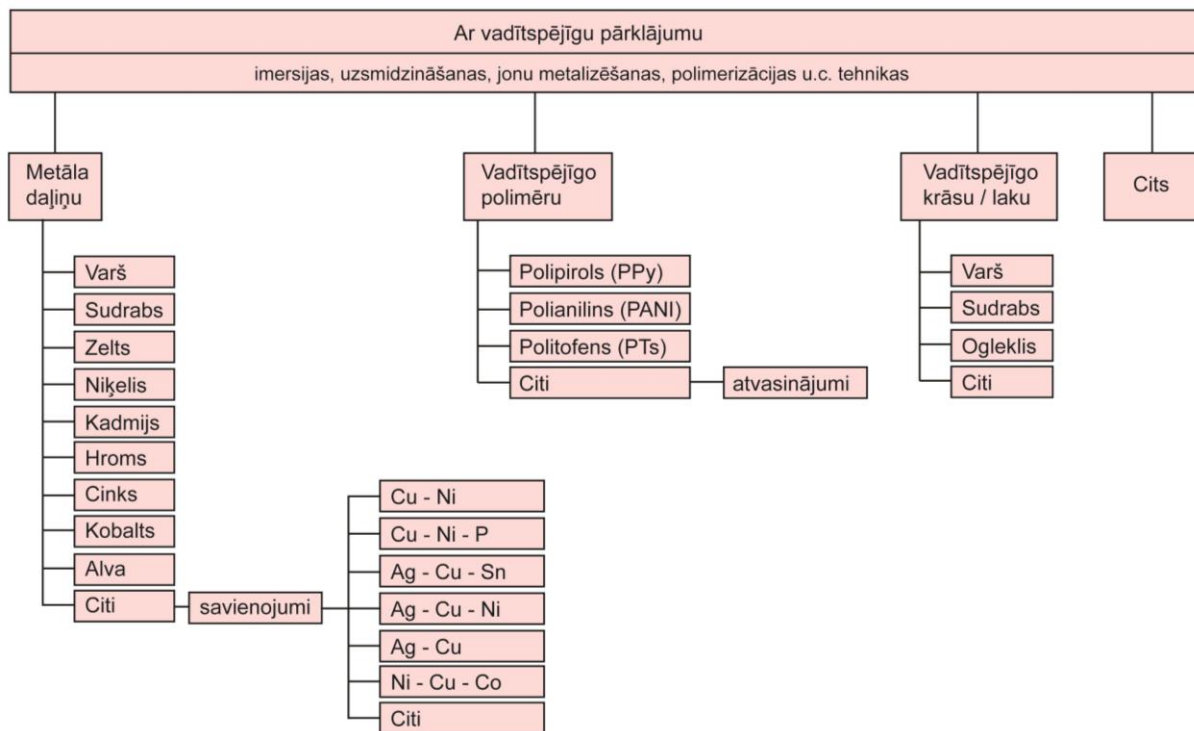
1.13. att. Drānas ar integrētiem vadītspējīgiem elementiem

Elektrovadošu pārklājumu var uzklāt arī drānai. Pielietojot dažādas tekstila metalizācijas tehnoloģijas (galvanizēšanas, uzsmidzināšanas, jonu metalizēšanas, polimerizācijas u.c.), metāla daļiņas tiek uzklātas uz tekstila virsmas, iegūstot elektrovadošu drānu. Drānu elektriskā pretestība ir atkarīga no pārklājuma biezuma, blīvuma un elektrovadošā materiāla veida. Lielākoties tiek izmantotas vara, sudraba, zelta, niķeļa, kadmija, hroma, cinka un to sakausējumu daļiņas. Elektrību vadošo drānu iegūšanai ir lietojams arī elektrovadītspējīgo polimēru pārklājums. Visbiežāk izmantojamie elektrovadošie polimēri ir polipirols (PPy), polianilīns (PANI), politiofēns (PTs) un to atvasinājumi.

Elektrovadošās drānas var izmantot statiskās elektrības izkliedei, elektromagnētisko traucējumu (EMI), radiofrekvences traucējumu (RFI) ekranēšanai un elektrības vadīšanai. Daži metāli ir izturīgi pret mikrobakteriālo iedarbību, līdz ar to tie ir izmantojami antibakteriālajiem pielietojumiem. Metalizētās drānas var izmantot arī aizsardzības apģērbos, pasargājot lietotāju no intensīvas siltuma radiācijas – piemēram, ar alumīniju pārklātā

tekstīlija atstaro lielu daļu siltuma. Elektrovadošas drānas ir piemērotas arī tekstīla elektrisko shēmu projektēšanai [133].

Shēmā (1.14. att.) ir strukturēti drānu elektrovadošo pārklājumu veidi.



1.14. att. Drānas ar elektrovadītspējīgu pārklājumu

Atkarībā no elektrovadošā pavadiena vai drānas veida un to īpašībām, tiem var būt dažādas lietošanas iespējas. Pavedieni ar dažādām īpašībām un daži no to pielietojumu piemēriem apkopoti 1.3. tabulā.

1.3.tabula

Elektrovadošie pavadieni un to pielietojumu piemēri

Elektriskās īpašības / struktūras īpašības	Pielietojums
Zema elektriskā pretestība	Elektriskie starsavienojumi Elektrodi / sensori Antenas

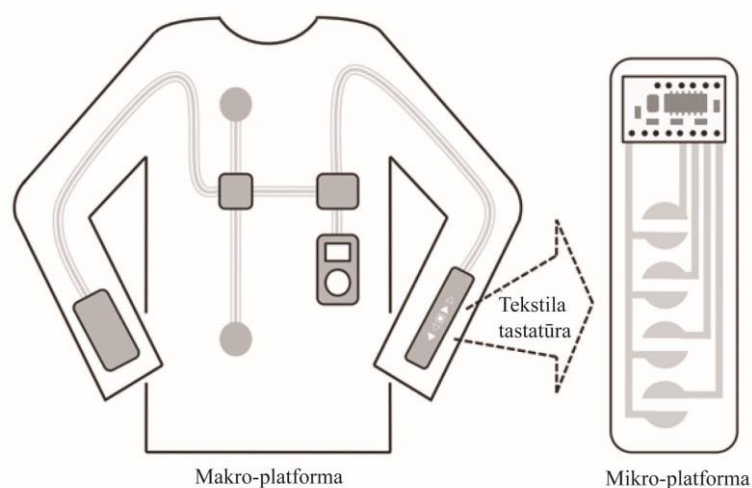
Elektriskās īpašības / struktūras īpašības	Pielietojums
Augsta elektriskā pretestība	Rezistori Sildelementi: <ul style="list-style-type: none"> - Krāsu maiņa termohromos* materiālos; - Sildīšanas funkcijas specapģērbos - Ar FAS** aprīkoto materiālu aktivizēšana
Elektriskās pretestības maiņa stiepes rezultātā	Stiepes sensors: <ul style="list-style-type: none"> - Ķermeņa kustību uzraudzība - Pagarinājuma mērīšana

*Termohromie materiāli: materiāls maina krāsu, sasilstot līdz noteiktai temperatūrai

**FAS (Formas atmiņas sakausējumi): noteiktā temperatūrā materiāls pieņem noteiktu formu

Tekstila elektriskās shēmas un to projektēšanas tehnoloģijas

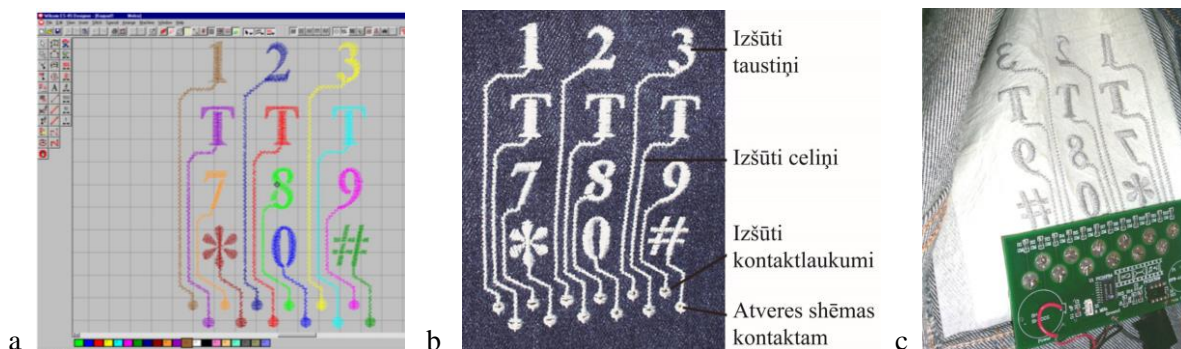
Elektriskās ķēdes uzdevums ir savienot elektriskos elementus, veidojot funkcionālu sistēmu. Elektronikas elementi var būt sensori, izpildelementi, tranzistori, barošanas avoti utt., kas ir integrējami viedajos tekstilizstrādājumos. Lai padarītu šos izstrādājumus ērtus lietošanā, cieta spiesto plašu, kā arī atsevišķu elektronikas elementu vietā ir izmantojamas elastīgas un daudzfunkcionālas elektroaktīvā tekstila struktūras jeb platformas dažādām elektriskām un elektroniskām sistēmām. Elektrotekstiliju platformas var iedalīt divās kategorijās: mikroplatforma (savienojumiem starp tuvu esošiem elektronikas elementiem) un makroplatforma (savienojumiem starp katru atsevišķu apakšsistēmu vienā vai vairākos izstrādājumā/-os) [59]. Elektrotekstilijas platformas redzamas 1.15. att.



1.15. att. Elektrotekstilijas platformas [59]

Elektrotekstilijām var piemist dažādas īpašības atkarībā no to izgatavošanas tehnoloģijas. Elektrovadošo tekstiliju platformu projektēšanai izmantotās metodes:

- Šūšana un izšūšana. Nošūtas vai izšūtas vadītspējīgā pavediena šuves bieži vien tiek izmantotas kā elektronikas elementus savienojošie celiņi. Parasti izšūšanai tiek izmantots ar elektrovadošo pārklājumu pārklāts tekstilpavediens, jo tīra metāla pavedieni ir stīvi un rada tehnoloģiskas problēmas šūšanas vai izšūšanas procesā. Pārklātu pavedienu ir vieglāk izmantot šūšanas un izšūšanas procesos, taču tā trūkums ir elektrovadītspējas pazemināšanās pēc mazgāšanas. Cits trūkums ir iespējamais īssavienojums celiņu starpā, ja tie atrodas pārāk tuvu viens otram vai krustojas [59]. Pastāv dažādas šūšanas un izšūšanas iekārtas, taču, ja salīdzina slēgdūriena šūšanas un slēgdūriena izšūšanas mašīnas, abās tehnoloģijās tiek izmantota slēgdūriena šuve ar dažādu konfigurāciju dūrieniem (taisnais, zigzaga dūriens utt.). Šūšana ir vienkāršāka metode, līdz ar to tai ir vienkāršāks darba sagatavošanas process. Izšūšanas metodei ir sarežģītāks darba sagatavošanas process (izšujamā objekta vairāku etapu datorapstrāde), taču ir iespējams precīzi izšūt jebkuru sarežģītu formu. Līdz ar to ar datorizēto izšūšanas metodi iespējams automatizēti izšūt tekstila mikroshēmu vai sarežģītas konfigurācijas elektronikas elementu savienošanas celiņus. Izmantojot atbilstošu celiņu izvietojumu, iespējams iegūt izšūtu tekstila shēmu uz vienkārtīgas tekstila pamatnes. Izšūta muzikālās jakas tastatūra [99] bija viens no pirmajiem (1997. gads) literatūrā publicētajām izšūtajiem elektrotekstiliju paraugiem. Jakas tastatūra redzama 1.16. att.



1.16. att. Izšūta muzikālās jakas tastatūra – a: tastatūra datorprogrammā; b: izšūta; c: pievienota pie shēmas [99]

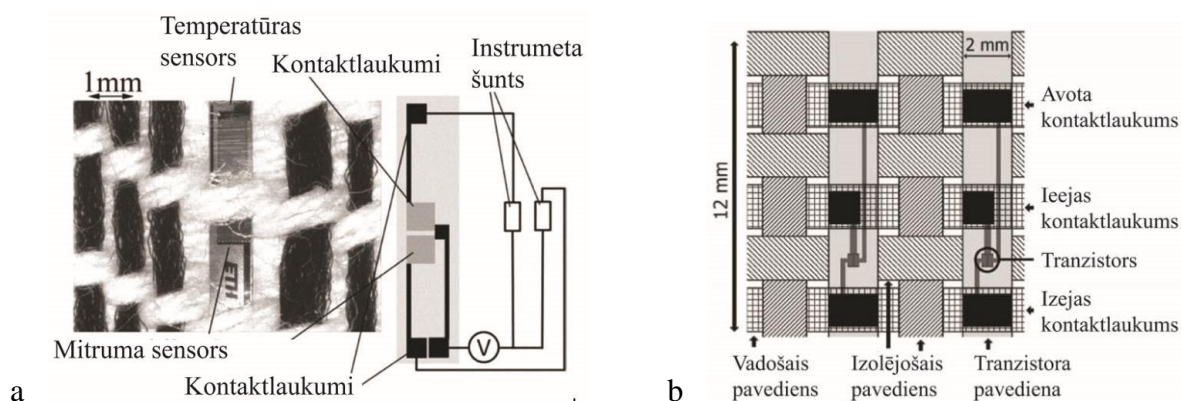
Šūšanas procesā izmantotais pavediens tiek pakļauts nospriegojumam un berzei, līdz ar to nepieciešams izmantot stingru, taču tajā pašā laikā elastīgu pavedienu. Nospriegojums un berze var radīt diega pārtrūkšanu – pārtrūkumi auduma ķēdēs nav vēlami, jo labojumi pārtrūkumu vietās var radīt nevēlamu papildus pretestību [59].

- Aušana. Audums tiek veidots no divām vai vairākām šķēru un audu pavedienu sistēmām, kas savstarpēji sapīti noteiktā secībā. Šķēri izvietoti auduma garumā, bet audi – tā platumā. Auduma struktūra ir atkarīga no šķēru un audu pavedienu izvietojuma un to savstarpējās ietekmes. Lai iegūtu audumu ar noteiktām īpašībām, jāizvēlas atbilstošs pinuma raksts ar attiecīgu šķēru un audu pavedienu izvietojumu [61]. Austajā elektrotekstilijā metāla pavedieni vai ar elektrovadošā materiāla daļiņām pārklāti pavedieni izmantoti kā elektrisko signālu vadītāji, ko var ieaust auduma struktūrā vienus pašus vai kopā ar nevadošajiem pavedieniem paralēli vienu otram audu vai šķēru virzienā, kā arī abos virzienos reizē. Viens no pielietojumiem ir lentes jeb tekstila kabeļa aušana, izvietojot audumā vairākus paralēlus elektrovadošos pavedienus, starp kuriem atrodas tekstila izolējošie pavedieni [59]. Tekstila kabelis ir izmantojams kā shēmu starpsavienojumi. Piemērs redzams 1.17. att.



1.17. att. Tekstila kabelis [33]

Austas drānas struktūrā var veidot sarežģītu tīklu, izmantojot to kā komplicētu elektrisko ķēdi ar vairākām elektrību vadošām un izolējošām sastāvdaļām un strukturējot to vairākos slāņos un nodalītās zonās attiecīgai elektronikas elementu izvietojšanai [25]. Piemēram, ieaūžot konkrētā auduma vietā 1 mm platas elastīgas sloksnes ar mitruma un temperatūras sensoriem, izveidota mitrumu un temperatūru kontrolējošā tekstila sensoru sistēma [64]. Citā pētījumā izveidota tekstila invertora ķēde, saaužot trīs dažādu pavadienu grupas: tekstila izolējošos padevienus, elektrovadošos padevienus un tranzistora padevienus ar kontaktvirsmas klājumu (2 mm plati) [18]. Piemēri redzami 1.18. att.



1.18. att. Austās elektriskās shēmas – a: mitrumu un temperatūru kontrolējošā tekstila sensoru sistēma [64]; b: tekstila invertora ķēde [18]

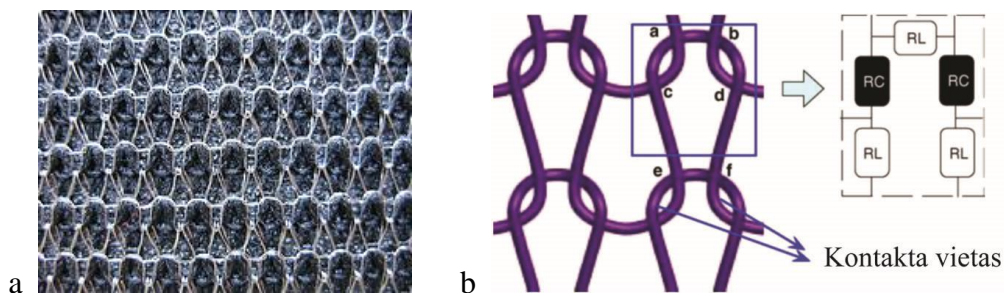
Izmantojot vairākslāņu drānu projektēšanas metodes, tiek iegūtas elektroaktīvās drānas ar ieaustiem elektrovadošajiem padevieniem audu un šķēru virzienos, kas krustošanās vietā ir izolēti viens no otra [7, 14, 128, 131]. Projektējot sarežģītāka raksta tekstilijas, elektrovadošo padevienu izvietojumu elektrotekstilijā var kontrolēt, izmantojot žakarda aušanas sistēmu, kas katru padevienu ļauj izvietot individuāli, nosakot padevienu sapinuma secību [44]. *Dhawan* u.c. savā publikācijā [31] apraksta austas elektrovadošas sistēmas projektēšanu ar elektrovadošo padevienu pārgriešanu attiecīgajās vietās. Pie šīs sistēmas tiek pievienoti elektronikas elementi, formējot elastīgu plati ar individuāliem kontaktceļiem.

Pēc līdzīgas metodes *Worbin* u.c. [136] izstrādāja žakarda elektrovadošu audumu ar individuāliem elektrovadošajiem laukumiem. Audumā ieaustie elektrovadošie padevienu veido audu pārsedes auduma kreisajā vai labajā pusē. Pārgriežot audu pārsedžu savienojumus auduma vienā vai otrā pusē, raksta laukumi auduma pretējā pusē var funkcionēt kā individuālas elektrovadošas virsmas. Audums redzams 1.19. att.



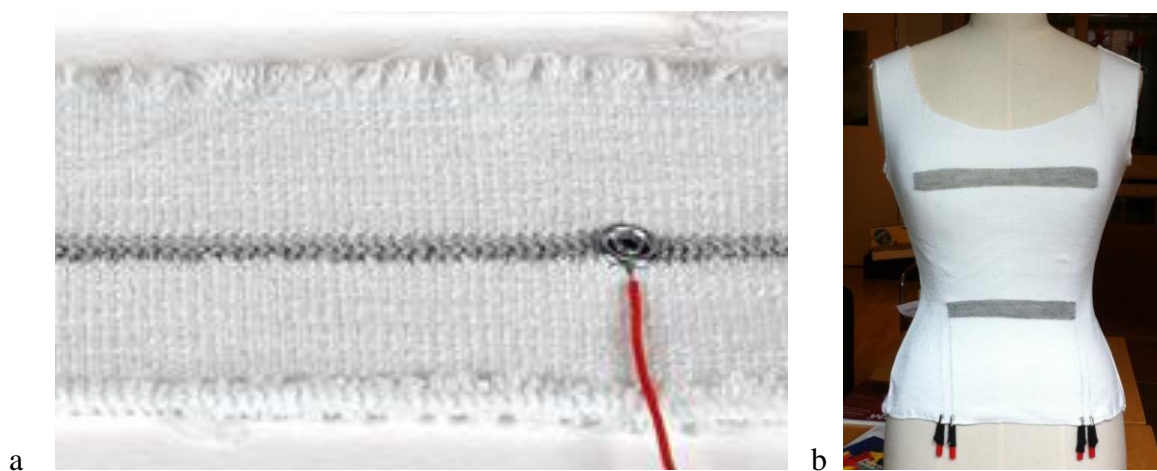
1.19. att. Elektrovadošais audumu ar individuāliem elektrovadošajiem laukumiem – a auduma labā puse; b: auduma kreisā puse ar nepārgrieztām pārsedzēm; c: auduma kreisā puse ar pārgrieztām pārsedzēm [55]

- Adīšana. Adījumu veido savā starpā savienotas cilpas. Atkarībā no adīšanas tehnikas izšķir šķērsadīšanas un garenadīšanas pinumus. Garenadīta drāna ar kopā saadītajiem elektrību vadošajiem un nevadošajiem pavedieniem ir redzama 1.20.att. a. Elektrovadošās drānas adījumā kopējo elektriskās pretestības vērtību veido divi elektriskās pretestības tipi: no garuma atkarīgā pretestība un cilpu kontakta pretestība. No garuma atkarīgā pretestība ir tieši proporcionāla pavediena garumam, savukārt kontakta pretestība ir pretēji proporcionāla sacilpoto elektrovadošo pavedienu kontakta spēkam [71]. Adījumam ir elastīga struktūra, līdz ar to adītas elektrovadošās drānas var izmantot mērījumu veikšanai, kas saistīti ar atgriezenisko deformāciju. Piemēram, sensora mērījumi, balstīti uz drānas elektriskās pretestības izmaiņām pēc stiepšanas. *Zhang* u.c. [142] izveidoja modeli, balstītu uz garenadītas drānas struktūru (120. att. a). Kad tiek padota elektriskā strāva, drāna darbojās kā elektriskais vadītājs, kas maina savu elektrisko pretestību, atkarībā no pieliktās slodzes lieluma. Elektriskās shēmas simulācija redzama 120. att. b, kas ietver divus kontakta rezistorus (RC) un trīs no garuma atkarīgus rezistorus (RL), kas ir attiecināmi uz sacilpoto pavedienu kontakta slodzi un uz pavedienam raksturīgo elektrisko pretestību.



1.20. att. Adīta struktūra – a: drāna ar kopā saadītajiem elektrību vadošajiem un nevadošajiem pavedieniem [27]; b: adījuma elektriskās shēmas simulācija [142]

Adītas drānas struktūra tiek izmantota tekstila stiepes vai deformācijas sensora projektēšanai veselības aprūpes sfērā dažādu fizioloģisko un biomehānisko signālu mērīšanai. Piemēram, adītais sensors var darboties kā elpošanas ātruma indikators, izsakot tā darbību ar elektriskās pretestības izmaiņām kā pagarinājuma funkciju [102]. Stiepes sensoru var izmantot kā sensoru ķermeņa kustību pozicionēšanai [40]. Cits adītas struktūras pielietošanas piemērs – tekstila elektrokardiogrāfijas (EKG) elektroda projektēšana sirds darbības kontrolei [82]. Stiepes sensors un elpošanas kontroles apģērbs redzams 1.21.att.

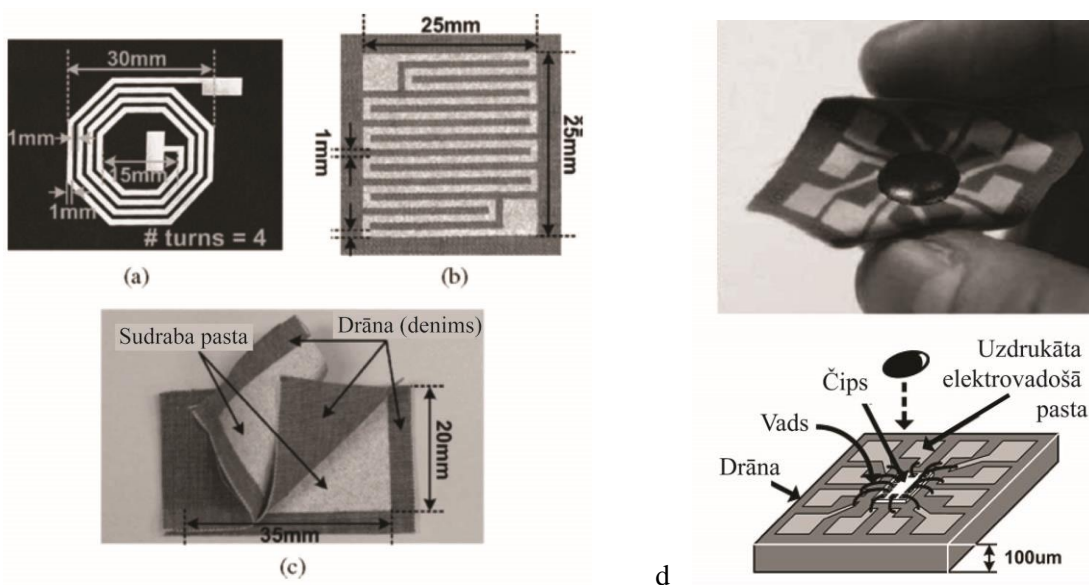


1.21. att. Adīti sensori – a: stiepes sensors; b: elpošanas kontroles apģērbs [102]

Tā kā adījumu veido cilpas un pavediens tiek locīts, šādai drānas struktūrai nav piemēroti trausli pavedieni, jo adīšanas procesā deformācijas dēļ tie var pārlūzt (pārtrūkt). Adīšanas procesā var rasties arī problēmas saistītas ar nodilumizturību vietās, kur pavediens ir pakļauts pastiprinātai berzei. Tādā gadījumā jāsamazina adīšanas ātrums [100].

- Drukāšana. Tekstila shēmu veidošanai tiek izmantotas dažādas drukas tehnikas, kā piemēram: sietspiede, dobspiede, tintes druka vai fleksogrāfija [80]. Elektriskās ķēdes veidošana ar vadītspējīgās tintes druku ir visvienkāršākais plates projektēšanas veids. To var piemērot arī plašražošanā. Elektrovadošā tinte vai pasta tiek iegūta, piejaucot metāla vai oglekļa daļiņas pie bāzes materiāla, taču bieži vien ir diezgan sarežģīti iegūt tinti vai pastu ar augstu elektrovadītspēju. Palielinot elektrovadošā materiāla daļiņu daudzumu maisījumā, pastu kļūst sarežģītāk sasaistīt ar audumu. Neskatoties uz to vairākos pētījumos iegūtas drukas ar labu elektrovadītspēju, piemēram, sudraba tintes drukas elektriskā pretestība pie kārtas biezuma 25 μm ir 0,01 – 0,04 Ω/m^2 [80], citā pētījumā drukas elektriskā pretestība pie kārtas biezuma 43 μm ir 2,1 – 6,8 $\Omega/6\text{cm}$ [63]. Diemžēl drukātās virsmas nav izturīgas pret

fizikālajām izmaiņām. Stiepes rezultātā apdrukātajā virsmā var parādīties plaisas, kas pārtrauc elektrības vadīšanu, līdz ar to drukātās plātes tehniku nav ieteicams izmantot elastīgām drānām. Plaisas var rasties arī tintes vai pastas struktūras dēļ – ja tā ir cieta, auduma lieces rezultātā tā var saplaisāt [59]. Vadītspējīgo tinti var izmantot mazjaudas vadības elementiem, mazsvarīgiem elementiem, kur neplūst liela strāva. Tos nevajadzētu izmantot savienojumos, kur nepieciešama liela precizitāte. Ar drukas tehniku izveidotie tekstila elektronikas elementu paraugi redzami 1.22. att.



1.22. att. Drukātie tekstila elektroniskie elementi – a: induktors; b: rezistors; c: kondensators; d: mikroshēma [140]

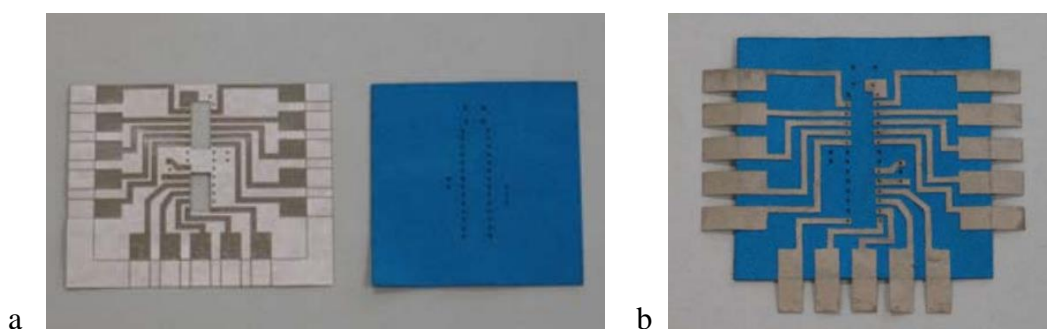
- Kodināšana. Kodināšana ir viena no tehnoloģijām, kas visbiežāk izmantota tradicionālo spiesto plašu (PCB) izgatavošanā. Parasti uz virsmas, kas pārklāta ar elektrovadošu materiālu (piemēram, varu), tiek uzklāta nepieciešamās shēmas konfigurācijas aizsargkārtā un izmantojot kodināšanas šķīdumu no nepārklātās virsmas tiek aizvadīts liekais varš. Shēmas maskas uzklāšanai var izmantot sietspiedes tehniku, taču šajā gadījumā ir sarežģīti precīzi iegūt smalkus elementus. Citā metodē shēmas izgatavošanai tiek izmantots fotorezists, kas ir gaismas jūtīgs (parasti- UV spektrā). Plātes izgatavošana ar fotorezista metodi notiek 4 etapos: plātes sagatavošana, izgaismošana, attīstīšana un kodināšana [38]. Tekstilmateriālam ir vāja izturība pret kodināšanas procesā izmantojamajām ķīmikālijām, tāpēc ir jāizvēlas citi plātes sagatavošanas un kodināšanas materiāli. Tekstila plašu

izgatavošanai kā shēmas attēla aizsargmateriālu var izmantot, piemēram, vazelīnu, bet kā kodināšanas šķīdumu – sāls un etiķa maisījumu. Jāņem vērā, ka uz tekstilijas shēmas attēla aizsargkārtā ir jānoklāj no abām pusēm [37]. Izkodināta tekstila shēma redzama 1.23. att.



1.23. att. Izkodināta tekstila shēma [37]

- Laminēšana. Laminēšana ir divu vai vairāku materiālu sasaistīšana, izmantojot līmi, termoapstrādi un spiedienu [111]. Shēmas veidošanai var izmantot elektrovadošu drānu, kurai no vienas puses pievienots līmes tīkls ar papīru. Pēc tam, kad shēma ir izgriezta, papīrs tiek noņemts no tām shēmas vietām, kuras ir jāpievieno pie tekstilijas virsmas un abas kārtas tiek savienotas, tās termiski apstrādājot (ar gludekli vai presi). Shēmu var izgriezt manuāli, taču ir problemātiski precīzi izgriezt smalku formu. Šim mērķim ir izmantojama lāzergriešana, ar ko var izveidot precīzu shēmas konfigurāciju. Piemērs redzams 1.24. att. Izmantojot izolācijas slāni, iespējams veidot vairāku kārtu shēmas, taču jāņem vērā, ka palielināsies shēmas biezums un samazināsies elastība. Lai shēma būtu izturīga, savienojuma vietas nepieciešams izolēt [19].

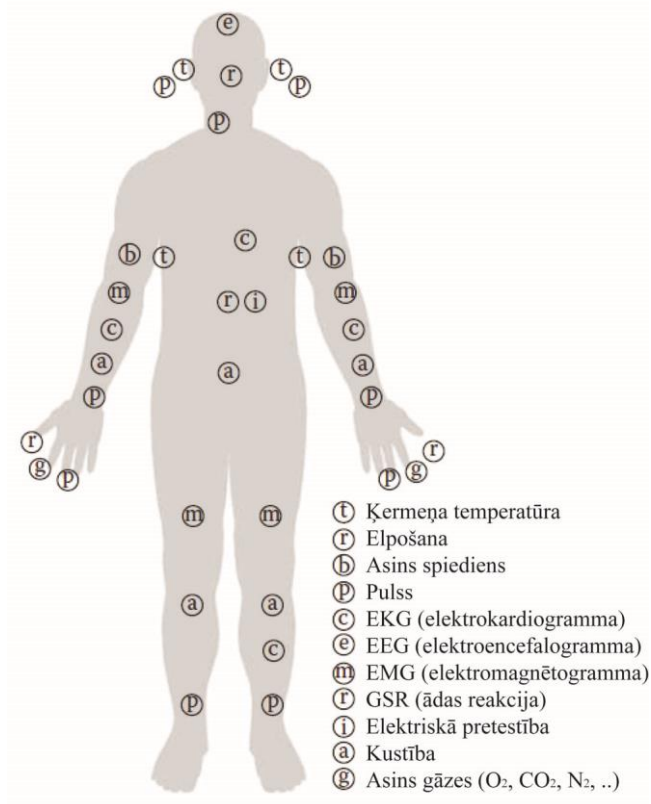


1.24. att. Laminētā shēma – a: izgriezta un attīrītā elektrovadošās drānas kārtā un pamatdrāna; b: abas kārtas savienotas [19]

Tekstila sensori un slēdži

Procesu pārveidot vienu enerģijas formu citā sauc par transdukciju. Sensors pārveido kādu fizisko īpašību citā formā, ko var interpretēt ar elektrisko ķēdi. Tekstila sensors sastāv no vairākām elektrību vadošā un nevadošā materiāla kārtām, kuras savā starpā var būt savienotas, izmantojot iepriekš aprakstītās tekstila elektrisko shēmu projektēšanas tehnoloģijas. Pēc signālu uztveres (ieejas saskarnes) viedajos tekstilizstrādājumos sensorus var iedalīt divās lielās grupās: biomedicīniskie signāli un apkārtējās vides signāli [59]. Daļu sensoru var veidot kā daudzistēmu drānu, izmantojot tikai elektrovadošus un nevadošus tekstila materiālus. Citus sensorus nevar pilnībā aizstāt ar tekstilmateriāliem, tāpēc svarīgi pārdomāt to integrēšanas veidu, lai tie būtu stabili piefiksēti pie drānas, nodrošinātu teicamas signālu vadīšanas īpašības, kā arī atbilstu izstrādājuma valkāšanas komfortam.

- Elektrodi biomedicīnisko signālu mērīšana. Tā kā apģērbs ir objekts, kas atrodas vistuvāk cilvēka ādai gandrīz 24 stundas diennaktī, tā ir vislabākā platforma, ar kuras palīdzību var mērīt biomedicīniskos signālu, netraucējot valkātāju. Signāla veidi un to mērīšanas vietas uz cilvēka ķermeņa parādīti 1.25. att.



1.25. att. Signāla veidi un to mērīšanas vietas uz cilvēka ķermeņa [59]

EMG, ECG, EEG un GSR ir visbiežāk izmantotie biomedicīniskie signāli, kas parasti tiek mērīti ar elektrodiem. Slimnīcās tiek izmantoti vienreizējās lietošanas elektrodi šo biomedicīnisko signālu mērīšanai. Starp elektrodiem tiek lietota želeja, lai tie turētos pie ādas un samazinātu elektrisko pretestību. Slapjie elektrodi var izraisīt ādas kairinājumu un diskomfortu. Pastāv arī sausie un kapacitatīvie saites (*capacitive-coupled*) elektrodi, kad nav nepieciešams izmantot želeju starp tiem.

Tekstila elektrodi var būt izgatavoti no dažāda veida elektrovadošajiem materiāliem: elektrovadoša gumija, polimēra putas ar sudraba pārklājumu, ar metāla elementu pārklājumu pārklātas drānas, drānas ar ieaustu vai ieadītiem elektrovadošajiem pavedieniem. Elektrodi var uztvert pat pavisam nelielu spriegumu dažādās ķermeņa daļās, piemēram – sirdi. Elektrodu materiāli, to priekšrocības un trūkumi apkopoti 1.4. tabulā.

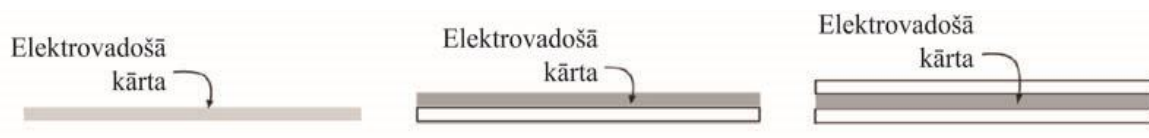
1.4. Tabula.

Elektrodu materiāli [59]

Materiāls	Priekšrocības	Trūkumi
Elektrovadošā gumija	Augsta vadītspēja Lēta, viegli pielāgot formu	Vidēja elastība Vāja gaisa un šķidruma caurlaidība
Polimēra putas ar metāla daļiņu pārklājumu	Augsta vadītspēja Viegli pielāgot formu, elastīga	Vāja izturība uz mazgāšanu, metāla oksidācija
Drānas ar metāla daļiņu pārklājumu	Tekstilmateriāls, augsta vadītspēja	Vāja izturība uz mazgāšanu, metāla oksidācija
Pavedieni ar metāla daļiņu pārklājumu	Tekstilmateriāls, augsta vadītspēja	Vāja izturība uz mazgāšanu, metāla oksidācija
Nerūsējošā tērauda pavedieni	Augsta vadītspēja	Sarežģīti piemērot šūšanas procesam, metāla oksidācija, ādas kairinājums
Elektrovadošā tinte	Augsta vadītspēja	Pie stiepes var plaisāt

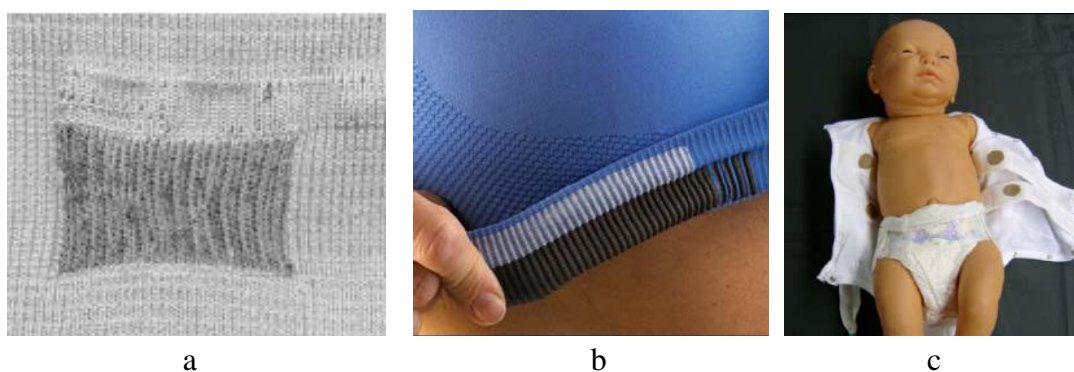
Daļai viedo tekstiliju piemīt daudzkārtu vai trīs dimensiju struktūra, kā piemērus var minēt datu raidīšanas struktūras, tekstila spiediena sensors vai biofizioloģisko mērījumu sistēmas. Vienkāršākie no šiem ir datu vadīšanas struktūras, 1.26. attēlā parādīti to principi.

Pirmajā gadījumā ir viena vadošā kārtā, neaizsargāta no abām pusēm; otrajā gadījumā ir divkārtu konstrukcija, kas materiāls ir vadītspējīgs no vienas puses, otra puse aizsargāta; trešajā gadījumā aizsardzība ir no abām pusēm [81].



1.26. att. Datu vadīšanas struktūras

Izstrādājot sensoru, kas atrodas cieši pie ādas, jāizvēlas pavedieni ar labu elektrovadītspēju, taču tiem jābūt arī pietiekami smalkiem un gludiem, lai neizraisītu ādas kairinājumu. Jānodrošina arī elektroda izolācija. Izmantojot cauruļveida intarsijas adīšanas tehniku var izveidot dubulto elektrodu, kam pret ādu vērsta materiāla iekšpuse veidota kā elektrovadošo pavedienu adījums, bet materiāla ārpusē adījums veidots no tradicionālajiem tekstila pavedieniem, kas kalpo kā elektroda izolators [81]. Daži tekstila elektrodi parādīti 1.27. att.



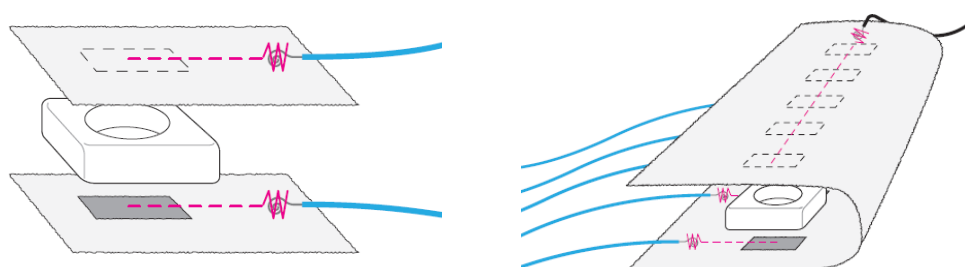
1.27. att. Tekstila elektrodi – a,b: adīti (elektrovadošais pavediens); c: drukāti (elektrovadošā gumija)

Elektrodi elpošanas ciklu uzraudzībai tiek integrēti krūšu jostā, cieši piegulošā apakškreklā, sejas maskā u.c. tekstilizstrādājumos vai aksesuāros. Daži elpošanas monitoringa sistēmu piemēri:

- Krūšu josta (apsējs) ar augstas izšķirtspējas akselerometriem (kapacitatīvie *MEMS*) un elektromehāniskiem spiediena sensoriem, kas nosaka diafragmas kustību;

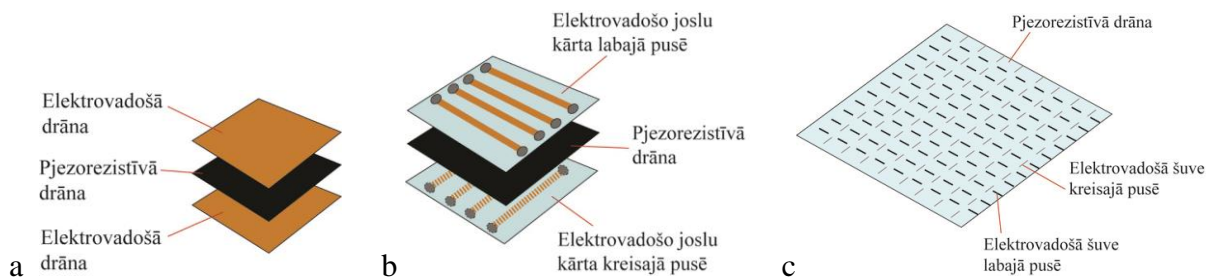
- Krūšu josta (apsējs) ar pjezoelektriskajiem vai tenzometra (*strain gauge*) sensoriem, kas mēra krūšu kustības elpošanas laikā, tādejādi noskatot elpošanas ciklu;
 - Sejas maska ar temperatūras sensoru, kas fiksē gaisa plūsmu [98].
- Spiedienjūtīgie sensori. Spiedienjūtīgie sensori atkarībā no sava veida bieži vien tiek izmantoti gan biometriskajos mērījumos, gan kā apkārtējās vides signāls. Sensori iedalās:
 - Mehāniskie;
 - Pjezorezistīvie;
 - Kapacitatīvie.

Mehāniskie spiedienjūtīgie sensori veidoti, projektējot shēmu ar lūzuma punktu. Lūzuma punkts ir vieta, kur iespējams vēlreiz savienot shēmu. Šāda metode bieži izmantota izgatavojot tekstila spiedslēdzus no trim drānu kārtām – 2 elektrovadošas kārtas, starp kurām atrodas izolācijas kārtā [53]. Piemērs (mīksts spiedslēdzis un elastīgā tastatūra) redzams 1.28. att.



1.28. att. Mīksts spiedslēdzis un elastīga tastatūra [53]

Pjezorezistīvie spiedienjūtīgie sensori, kas balstīti uz rezistīvo principu, sastāv no materiāliem, kas maina savu elektrisko pretestību atbilstoši pieliktajam spiedienam. Pjezorezistīvs materiāls var atrasties starp divām elektrovadošām materiāla kārtām jeb uz tā var veidot ortogonālu elektrovadītāju tīklu. Pirmajā gadījumā sensoru var veidot no divām elektrovadošām drānām (vai vairāku atsevišķu elektrovadošo joslu) kārtām, starp kurām izvietota pjezorezistīvā materiāla kārtā (1.29. att. a un b). Pēdējā gadījumā var izmantot pjezorezistīvo drānu, uz kuras ar elektrovadošajiem pavedieniem nošūts ortogonāls tīkls. Viena paralēlo līniju grupa tiek nošūta vienā drānas pusē, otra paralēlo līniju grupa – otrā drānas pusē (1.29. att. c). Lai pavedieni nekrustotos, šujmašīnas diegu nostiepums ir attiecīgi jānoregulē [103].



1.29. att. Pjezorezistīvie sensori – a: vairākkartu sensors ar elektrovadošo drānu; b: vairākkartu sensors ar elektrovadošo joslu kārtām; c: sensors ar ortogonālu elektrovadītāju tīklu

Šāda veida sensorus var pielietot, piemēram, ratiņkrēslos (spiediena sadalījums pa virsmu), kompresijas zeķēs (spiediena uzraudzīšana), muskuļu aktivitātes mērīšanai kāju un roku kustības analīzei utt. Pjezorezistīvā sensora principu var izmantot arī lieces sensorā. Tas darbojās uz spiediena izmaiņu pamata, kas tiek pielikts sensora lieces rezultātā. Integrējot sensoru apģērbā vai aksesuārā, iespējams mērīt ķermeņa locītavu saliekuma pakāpi.

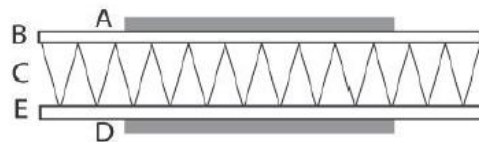
Kapacitatīvie sensori darbojas pēc plākšņu maiņkondensatora principa, kas maina savu pretestību atbilstoši elektrodu attālumam. Attālums ir atkarīgs no spiediena, kas izraisīts, izvietojot saspiežamu materiālu to starpā. Pielietojums līdzīgs kā pjezorezistīvajam sensoram. Princips tiek izmantots arī skārienjūtīgā sensora / paneļa izgatavošanā. Tas mēra kapacitātes izmaiņas, kad pirksts pieskaras elektrodam. Taču šajā gadījumā sensora trūkums ir tā pārlietu lielā jūtība, kas var izraisīt kļūdas aktivizāciju, kad tam pieskaras citi objekti. Neskatoties uz to, sensors bieži tiek izmantots viedapģērbos dēļ tā vienkāršas izgatavošanas un piemērotības apģērbam [59].

Kapacitatīvie sensori var būt veidoti arī kā atsevišķu elektrodu matricas. Viena sensora kārtā sastāv no vairākiem atsevišķiem elektrodiem, otra sensora kārtā – no kopēja elektroda, veidojot kondensatoru starp katru atsevišķu elektrodu un kopējo elektrodu. Sensors ar izšūtu 240 elektrodu matricu sēdēšanas pozīcijas mērīšanai parādīts 1.31. att. Atsevišķu elektrodu matricas sensors ir elastīgāks (pie <100 elektrodu matricas) par joslu sensoru, tas ir arī precīzāks [83].



1.31. att. Tekstila sensors ar 240 elektrodiem sēdēšanas pozīcijas mērīšanai. 1 – kopējais elektrods, 2 – starpkārta, 3 – jūtīgie elementi [83]

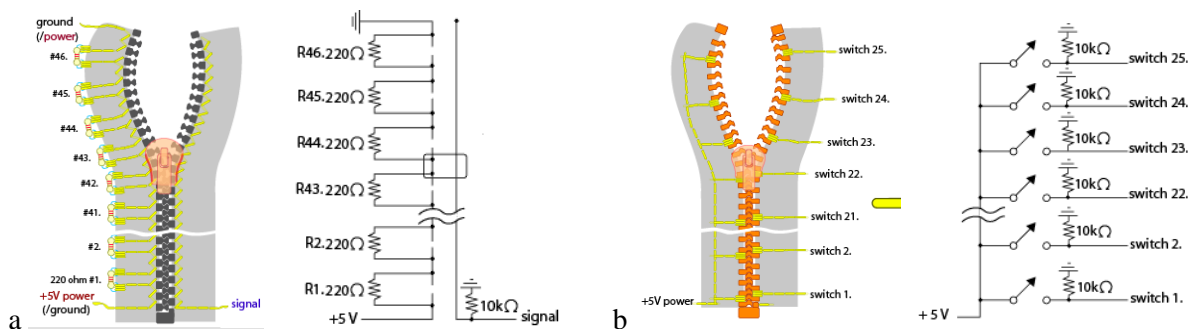
Spiedienjūtīgā sensora daudzkārtu struktūru iespējams izveidot, izmantojot trīs dimensiju aušanas procesu. Pielietojot tradicionālo aušanas tehnoloģiju ar steļļu modifikāciju (pārbūvi) var izveidot kapacitatīvo tekstila sensoru. Sensors redzams 1.32. att., tas sastāv no divām elektrovadošām kārtām (A un D), izolācijas un stabilizācijas kārtas (B un E) un starpkārtas (C) [36].



1.32. att. 3D austais sensors [36]

- Furnitūras izmantošana slēdžu veidošanai. Atvienojamajiem elektriskajiem savienojumiem var izmantot dažādus furnitūras elementus, ko parasti lieto tradicionāla apģērba izgatavošanai. Piemēram, metāla spiedpogas, kniedes, āķi, ar elektrovadošu pārklājumu pārklāts līpslēdzis utt. Elektronikas elements vai elektriskais savienojums tiek pielodēts, pielīmēts, piešūts vai kā savādāk piestiprināts pie furnitūras un var darboties kā slēdzis – atvērt un aizvērt elektrisko shēmu.

Slēdžu projektēšanai ir izmantojams arī rāvējslēdzējs. Plastmasas rāvējslēdzējam ar metāla kursoru un metāla stiprinājumiem rāvējslēdzēja augšpusē atvērs un aizvērs shēmu, kad tiks savienoti vai atvienoti metāla stiprinājumi, t.i., kad rāvējslēdzējs tiks atvērts vai aizvērts līdz galam. Iespējams izveidot arī analogo vai digitālo slēdzi. Rāvējslēdzēja slēdži shematiskā veidā parādīti 1.33. att.



1.33. att. Rāvējslēdzēja slēdži – a: analogais slēdzis; b: digitālais slēdzis [112]

Analogā slēdža gadījumā, pārvietojot rāvējslēdzēja kursoru shēmā, palielinās vai samazinās elektriskā pretestība (kopā tiek savienoti vairāk vai mazāk rezistori). Piemēram, gaismas diodes spožums pakāpeniski samazinās vai palielinās. Savukārt digitālā slēdža gadījumā katrs kontakts ir fiksēts un savienojot abus terminālus, tas darbojas kā atsevišķs slēdzis. Piemēram, tiek izslēgta konkrēta diode.

Elektronikas elementu sagatavošana un pievienošana pie elektrotekstilijas

Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesā svarīgi ne tikai izprast elektrovadošā pavadiena uzvedību, bet arī to, kādā veidā pavadiena kontaktceļu pievienot pie sistēmas elektronikas elementiem. Veidojot elektrisko kontaktu, svarīga ir mehāniskā savienojuma kvalitāte. Vadus vai tērauda pavadienus var pielodēt pie elementa – kontakts nodrošinās labu elektrovadīšanu, taču lieces ietekmē tas var pārlūzt. Elektrovadošie pavadieni ir elastīgi un lieces rezultātā deformēsies mazāk, taču problēmas sagādā to pievienošana pie elektronikas

elementiem. Kā piemērus var minēt mezgla veidošanu manuālā veidā vai reversšuves nošūšanas veidā. Izvēloties izšūšanas metodi, ceļiņu šūšanu un stiprināšanu pie elektronikas elementiem iespējams paveikt vienā nepārtrauktā darbībā. Pie tam individuālu elektrisko ķēdi vai dažādas formas savienojumus var ieprogrammēt datorsistēmā un precīzi izšūt ar elektrovadošajiem pavedieniem uz auduma, lietojot datorizēti vadāmu izšūšanas mašīnu. Īpaši tas ir lietderīgi, ja tiek izstrādāta sarežģīta elektroniskā shēma. Pētījumā [74] tiek izcelti divi veidi kā pievienot pavedienu pie individuāli projektētās plates – pirms tam elementā izurbt caurumus vai veidot caurumus šūšanas vai izšūšanas procesā, caurdurot elementu ar adatu (izmantojot plāna polimēra materiāla elementus). Cits pavedienu pievienošanas veids ir elektrovadošās līmes izmantošana, kura vienlaicīgi gan fiksē pavedienu pie elementa, gan veido elektrisko kontaktu. Līmi var izmantot arī mezgla savienojuma papildus nostiprināšanai.

Cits autors [99] elektrovadošo tekstiliju projektēšanu ar izšūšanas tehniku sauc par e-izšūšanu (*e-broidery*) jeb elektronisko izšūšanu. Viena no idejām, ko autori apraksta ir dažādu pretestību pavedienu izmantošana tekstila shēmā. Šāda veida šuvju kontrole ļauj aizstāt atsevišķus elementus (piemēram – kondensatorus, rezistorus, induktorus) ar noteiktas pretestības pavedienu kombināciju.

Savienojuma veids ir atkarīgs no savienojamajiem elementiem, materiāla, fizikālām īpašībām un citiem raksturlielumiem. Parasti tiek izmantota piešūšanas, pielīmēšanas (ar elektrovadošo līmi), pielodēšanas vai kombinētā metode. Ja tekstila shēma sastāv no lodējamiem starpsavienojumiem, elektronikas elementu iespējams pielodēt tieši pie shēmas. Taču ne vienmēr tas ir izdarāms. Kā piemērs apskatītas gaismu izstarojošās diodes un to pievienošanas veidi, taču doto pieeju var izmantot arī citiem elektronikas elementiem.

Gaismu izstarojošās diodes ir pieejamas dažādos izmēros un korpusos. Bieži izmantojamas ir diodes cilindriskā korpusā (T1) ar diametru 3, 4 vai 5 mm – lietojot šo diožu veidu e-tekstiliju projektēšanas darbos, diožu kontaktkājas tiek sarullētas cilpā, aiz kuras tās ar elektrovadošo pavedienu ir piešujamas pie tekstilijas (kā tas ilustrēts 1.34. att.). Diodes ir ērti piešūt, taču diezgan augstā korpusa dēļ tās veido nevienmērīgu virsmu uz tekstilijas. Ir pieejamas diodes arī plakanākā korpusā, piemēram, diodes kvadrātveida korpusā ar četriem kontaktizvadiem. Kopā saladētās kontaktkājas veido cilpas, aiz kurām diodes iespējams piešūt pie tekstilijas, kā tas parādīts 134. att. c. Uz pamatnes lodējamās diodes (SMD LEDs) ir mazākas, piemēram, 0402 izmēra diodes parametri ir 1 x 0.5 x 0.5 mm. Šajā gadījumā pastāv problēma elementa un tekstilmateriāla savienošanā, jo diodēm nav kontaktkāju. Lai

pievienotu diodi pie tekstilmateriāla, pie diodes kontaktaukumiem iespējams pielodēt metāla furnitūru, kas tradicionāli ir izmantojama izšūšanā vai rotaslietu izgatavošanā.



1.34. att. Pievienošanai sagatavotās diodes – a: LED T1 korpusā [113]; b: 1206 izmēra SMD LEDs ar pielodētu metāla furnitūru; c: diodes ar salodētiem kontaktizvadiem

1.3. Viedo tekstilizstrādājumu komforts

Lai radītu ērtu un kvalitatīvu apģērbu, jāņem vērā ne tikai tērpa estētiskie un funkcionālie aspekti, bet arī jādomā par apģērba dizaina / konstrukcijas un cilvēka ķermeņa mijiedarbību, ievērojot anatomiskās, fizioloģiskās un psiholoģiskās prasības [77]. Apģērbs nodrošina normālu cilvēka dzīves procesa norisi, saglabā viņa veselību un darbaspēju dažādos klimatiskajos un vides apstākļos [145]. Viedapģērbs tiek izmantots kā vieta elektronisko tehnoloģiju integrēšanai. Šādiem izstrādājumiem ir specifiska konstrukcija – apģērba paketei tiek pievienota papildus elektronikas kārta. Elektronisko elementu gabarīti un īpašības, kā arī tās izvietojums var ietekmēt apģērba valkāšanas ērtumu.

Cilvēka komfortu ietekmē gan organisma iekšējie procesi, gan ķermeņa un apģērba mijiedarbība. Siltuma un mitruma vadītspēja ietekmē gan lietotāja valkāšanas komfortu, gan elektroniskās sistēmas drošību un viedapģērba funkciju izpildes precizitāti. Līdz ar to, projektējot viedapģērbu, nepieciešams domāt par zemģērba mikroklimatu, elektronikas sistēmas izvietošanu, amortizēšanu utt. Optimālu zemģērba mikroklimatu iespējams regulēt ar dažādiem apģērba konstruktīvajiem risinājumiem un atbilstošu materiālu izmantošanu, panākot labāku siltuma un mitruma cirkulāciju.

Cilvēka ķermeņa termoregulācija

Viena no apģērba svarīgākajām funkcijām ir siltuma komforta nodrošināšana, un to var sasniegt, uzturot atbilstošu siltuma bilanci, kas atkarīga no ķermeņa termoregulācijas

procesiem, kā arī atbilstoša apģērba valkāšanas [145]. Ķermeņa siltuma bilanci raksturo vienāds izdalītā siltuma un izvadītā siltuma daudzums [76].

Ādas virsmas temperatūra atšķiras dažādās ķermeņa vietās (28° - 36° C) [127], optimālā cilvēka ķermeņa ādas virsmas temperatūra miera stāvoklī ir 32.1° – 34.3° C. Ja temperatūra svārstās 1.5° – 3° C robežās, cilvēkam paliek nedaudz vēsi vai nedaudz par siltu; savukārt, ja temperatūra svārstās vairāk kā 4.5° C robežās, cilvēks sajūt diskomfortu [143]. Cilvēka ķermeņa kodola (core) temperatūra ir gandrīz nemainīga: 36.5° C. Tā svārstās tikai dažu grāda desmitdaļu robežās, atkarībā no ķermeņa vietas un diennakts laika [127]. Gaisa temperatūra zem apģērba nav tik viennozīmīga – noteikt optimālu gaisa temperatūru starp cilvēka ķermeni un apģērbu ir sarežģīti, jo jāņem vērā cilvēka fizisko aktivitāti. Apģērbs ap ķermeni rada noteiktu mikroklimatu, un tas ir atkarīgs gan no cilvēka siltuma stāvokļa, gan no ārējās vides metroloģiskajiem apstākļiem un apģērba īpašībām.

Ķermeņa pārkaršanas gadījumā pie nepietiekamas mitruma izvadīšanas notiek mitruma uzkrāšana uz apģērba, kas var radīt cilvēka ādas kairinājumu. Savukārt, ogļskābes izdalīšanos caur ādu palielina aktīvs fizisks darbs un vides sasilšana; ventilācijas intensitāte atkarīga no apģērba gaisa caurlaidības un tā konstrukcijas [145].

Cilvēka ķermeņa mijiedarbība ar apģērbu

Apģērba sistēmu var raksturot kā fizioloģisko sistēmu, kas mijiedarbojas ar ķermeni. Apģērbs pasargā cilvēka ķermeni no dažādiem ārējās vides apstākļiem (no aukstuma, karstuma, uguns, toksiskām vielām utt.). Taču tajā pašā laikā apģērbs var radīt nevēlamu siltuma izolāciju, kad tā nav nepieciešama, vai kavēt lieko sviedru iztvaikošanu no ādas virsmas.

Normālos apstākļos bez jebkādas aktivitātes cilvēka saražotais vielmaiņas siltums ir apmēram 80 vati (līdzīgi kā elektriskās gaismas spuldzei), savukārt augstas aktivitātes apstākļos cilvēks var saražot vairāk kā 1 kilovatu [145]. Ir zināmi vairāki pētījumi par cilvēka mehāniskās enerģijas pārveidošanu elektriskajā, piemēram, enerģiju uzkrājošo nanošķiedru radīšana, ko var ieaust tekstildrānā [9] vai elastīgā ģeneratora integrēšana apģērbā, kas pārveido valkātāja ķermeņa kustību enerģiju elektrībā [16]. Taču stabila mikroklimata nodrošināšanai ir nepieciešama efektīva dzesēšanas sistēma, un cilvēka fizioloģiskā sistēma nodrošina šo efektu. Pastāv vairāki cilvēka un apģērba siltumapmaiņas mehānismi, kas nodrošina vēlamās ķermeņa temperatūras uzturēšanu, svarīgākie no tiem ir:

- Saražotajam vielmaiņas siltumam jāpaliek uz ādas iekšējā slāņa, kas panākams ar efektīvu sviedru cirkulāciju;
- Ķermeņa dzesēšanai ādai jāsarāžo atbilstošs sviedru daudzums;
- Saražotajiem sviedriem (ūdens vai tvaika veidā) jāspēj tikt cauri apģērbu kārtām.

Pirmos divus faktorus nav iespējams kontrolēt (normālos apstākļos), savukārt trešo mehānismu iespējams kontrolēt, pielietojot atbilstošu apģērbu no īpašiem materiāliem un/vai ar specifisku konstrukciju [145].

Apģērba siltumvadītspēja

Siltuma un mitruma tvaiku vadīšana caur tekstila materiāliem ir viens no svarīgākajiem jautājumiem īpašuzdevumu apģērbu izstrādāšanā. Lai saglabātu ādas temperatūru cilvēkam komfortablos apstākļos, viņam nepieciešams uzvilkt vai noģērbt apģērbu atbilstoši apkārtējās vides apstākļiem. Ja apģērbs spētu automātiski mainīt siltuma pretestību atbilstoši temperatūrai, tas varētu kontrolēt siltuma izdalīšanās ātrumu un regulēt zemģērba temperatūru, tādējādi nodrošinot ķermeņa komfortu [143]. Diemžēl tā nenotiek.

Mikroklimatam ir svarīga nozīme siltuma un mitruma vadāmības procesā no ādas uz ārējo vidi, šo procesu ietekmē:

- auduma fizikālās un struktūras īpašības;
- šķiedru morfoloģiskās īpašības [29].

Starp cilvēka ādu un ārējo vidi atrodas apģērba kārtā(s), tāpēc ir svarīgi pārdomāt, kādi tekstilmateriāli tiek izmantoti apģērba izgatavošanā. Dažādiem šķiedrmateriāliem ir atšķirīga siltuma vadītspēja, kas jāņem vērā, domājot par zemģērbu mikroklimatu. Dažu tekstilmateriālu siltuma vadītspēja attēlota 1.5. tabulā [86].

1.5.tabula

Šķiedrmateriālu siltuma vadītspēja

Nr	Šķiedra	Siltuma vadītspēja (mW/mK)
1	Kokvilna	71
2	Vilna	54
3	Zīds	50
4	PVC	160
5	Celulozes acetāts	230
6	Neilons	250
7	Poliesters	140
8	Polietilēns	340
9	Polipropilēns	120

Tekstilmateriāli siltumu vada daudz labāk par gaisu (25 mW/mK), līdz ar to tie ir salīdzinoši slikti izolatori.

Tekstilmateriālu siltuma vadītspēja ir būtiski atkarīga no tajā esošā gaisa daudzuma un tikai pēc tam no šķiedru sastāva [143]. Tekstila drānu siltuma vadību ietekmē drānas porainība, ko nosaka gan šķiedru izkārtojums pavedienā, gan drānas pinums un struktūra [29], kā arī drānas beigu apdare.

Lai izvairītos no svīšanas, apģērba izgatavošanai ieteicams izmantot gaisu caurlaidīgas drānas. Taču šajā gadījumā lietus vai sniega apstākļos apģērbs var palikt mitrs – mitrums izplatās pa apģērbu un var nokļūt līdz cilvēka ādai. Pēc mitruma iztvaikošanas valkātājs sajūtīs aukstumu un diskomfortu. Izmantojot gaisu caurlaidīgu / ūdensnecaurlaidīgu drānu no šāda diskomforta iespējams izvairīties – materiāls laiž cauri tvaikus, taču nelaiž cauri ūdeni. Šāda īpašība izskaidrojama ar ūdens pilienu un tvaika molekulas izmēru atšķirībām – ūdens molekulas diametrs ir 100 μm, savukārt tvaika molekulas - 0.0004 μm, atšķirība starp abiem ir apmēram 250 000 reizes.

Tvaiku caurlaidīgās/ūdensnecaurlaidīgās drānas iedala 3 kategorijās:

1. Drānas ar pārklājumiem: tiek izmantoti ūdens necaurlaidīgi pārklājumi un plēves, caur kuru poru struktūru drāna spēj laist cauri gaisu. Tie var būt mikroporu vai hidrofilā materiāla pārklājumi.
2. Laminētās drānas (membrāndrānas): starp iekšējo un ārējo pamatdrānas slāni atrodas mikroporu membrāna vai hidrofilā membrāna [92]. Pastāv trīs kārtu konstrukcija, kad membrāndrāna ielaminēta starp ārējo pamatdrānas slāni un iekšējo odes slāni, un divu kārtu konstrukcija, kad membrāndrāna pievienota pie pamatdrānas.
3. Ļoti blīvi austās drānas: blīva pinuma (auduma) mikrošķiedru drānas – pavedieni var būt mazāki par 10 mikroniem diametrā, līdz ar to poras to starpā ir ļoti mazas. Uz drānas virsmas nokļūstot ūdenim, šķiedras uzbriest, spiediens starp tām palielinās, neļaujot ūdenim izkļūt tām cauri [22].

Tvaiku caurlaidīgās/ūdensnecaurlaidīgās drānas atgrūž lietu un vēju, un spēj izvadīt sviedru tvaikus, kas nepieciešams projektējot viedapģērbu – zemģērba mikroklimata uzturēšanai un elektronikas elementu, kā arī paša valkātāja pasargāšanai no ārvides apstākļiem. Tvaiku caurlaidīgās/ūdensnecaurlaidīgās drānas ir dažādas pēc savām īpašībām, tādēļ to izvēlei ir skaidri jādefinē lietošanas apstākļi.

Apģērba konstrukcijas ietekme uz izstrādājuma siltumaizsradzības īpašībām

Apģērba konstrukcija un materiālu slāņu tehniskie parametri ietekmē mikroklimate parametrus vidē starp apģērbu un cilvēka ķermeni.

- Apģērba veids. Apģērba siltumizolējošās īpašības ir atkarīgas no tajā esošās gaisa plūsmas, līdz ar to cilvēka siltuma komforts atkarīgs no apģērba konstrukcijas, kas regulē ārējā gaisa iekļūšanu zemģērba telpā.

- Siluets (apjoms). Siltuma izolāciju ietekmē izstrādājuma piekļāvīgums – maza apjoma apģērbam, salīdzinājumā ar brīvāka silueta apģērbu ar identisku materiālu paketes biezumu, piemīt vājāki siltuma izolācijas rādītāji [145]. Viedā apģērba siluets atkarīgs no izstrādājuma veida un funkcijas. Piemēram, paredzot viedapģērbu ar integrētiem elektrodiem, kas mēra sirds darbību, ir nepieciešams ciešs apģērbs. Šādā gadījumā kā pamatdrānu būtu lietderīgi izmantot elastīgu materiālu. Konstruējot cita veida viedapģērbus, kas neprasa tiešu kontaktu ar ādu, piemēram, mikroklimate uzraugošu jaku, ieteicams izvēlēties mazāk piekļāvīgu formu, kas veicinās atbilstoša mikroklimate uzturēšanu, elektronikas elementi būs mazāk jūtami saskarsmē ar ķermeni, kā arī elektronikas sistēma mazāk tiks pakļauta berzei u.c. nolietojšanas faktoriem.

- Materiālu paketes ventilācija. Apģērba siltuma izolācijas īpašības atkarīgas no apģērbu paketes: drānas materiāla un gaisa slāņu daudzuma starp dažādām apģērba kārtām un starp ādu un iekšējo apģērba kārtu [145]. Apģērba materiāla siltuma zudumu lielākoties ietekmē materiāla siltuma pretestība, bet mitruma vadāmību – drānas pinums. Siltuma un mitruma izplatīšanās nav tikai difūzijas process, to ietekmē arī gaisa kustība un ventilācija caur apģērbu. Cilvēka ķermeņa kustību laikā gaisa slāņu biezums starp apģērba kārtām mainās atkarībā no fiziskās aktivitātes un apkārtējās vides ietekmes (piemēram, sēdēšana, vējš). Palielinoties gaisa slāņa biezumam, paaugstinās apģērba izolācija. Taču, gaisa slānim sasniedzot 1 cm biezumu, gaisa slāņa radītā izolācija sāk samazināties siltuma konvekcijas (starp ādu un apģērba kārtu) dēļ [92].

Ja siltuma izolācijas pazemināšana nav pietiekama, ķermeņa pārkaršanu var samazināt, izmantojot piemērotu apģērba dizainu un konstrukciju, t.i., paredzot apģērbā papildus ventilāciju. To var panākt vairākos konstruktīvos veidos:

- Izveidot atvērumus apģērbā pie dažādām ķermeņa daļām – kakls, plaukstas locītavas, potītes, viduklis, ļaujot konvekcijai notikt dabiskā veidā;
- Veidot brīva silueta apģērbu, lai nodrošinātu brīvu gaisa plūsmu un konvekciju;

- Paredzēt rāvējslēdzējus vīles (griezummalas) garumā apģērbam ar specifiskām vajadzībām. Piemēram, iestrādāts rāvējslēdzējs paduses zonā;
- Pastiprinātās svīšanas zonās veidot perforāciju efektīgākai ventilācijai;
- Pastiprinātās svīšanas zonās izvietot atbilstošu drānu ielaidumus labākai mitruma izvadīšanai [29]. Piemēram, alpīnistu apģērbā aktīvās svīšanas zonās izvietots vieglāks, mitrumu aizvadošs materiāls (poliestera tīkliņš), savukārt kā pamatmateriāls izmantots siltumu saglabājoša drāna (merīnvilnas/poliestera adījums) [135].
- Materiālu paketes biezums. Lai uzturētu komfortablu zemģērba mikroklimatu, speciāla pielietojuma apģērbos tiek lietota daudzkārtu apģērbu sistēma. Visbiežāk specapģērbi sastāv no vairākām kārtām, katrai no kurām ir sava specifiskā funkcija. Izdala trīs kārtas: iekšējā kārta, vidējā kārta un ārējā kārta.
 - Pirmā kārta (iekšējais slānis), kas absorbē sviedrus, veic ādas atdzesēšanas un mitruma izvadīšanas funkcijas [29];
 - Otrā kārta (vidējais slānis), kas izolē ķermeņa siltumu, novada mitrumu uz ārējo kārtu un ātri žūst;
 - Trešā kārta (aizsargkārtā), kas aizsargā no nelabvēlīgiem ārējās vides apstākļiem, atbrīvo no ķermeņa mitruma, kā arī aizsargā no mehāniskiem bojājumiem [22].

Viedapģērbos materiālu paketi papildus ietekmē arī elektronikas kārta, kuras īpašības ir atkarīgas no vairākiem faktoriem:

 - Elektronikas elementi. Atkarībā no elektronikas elementu veida tie var būt dažādi gabarītos, pēc svara, elastības utt.;
 - Elektronikas elementu izvietojums un sadalījums apģērbā. Izvēloties izvietojuma vietu apģērbā, jāņem vērā ķermeņa zonas – svarīgi, lai elektronika neatrastos vietās, kur ir pastiprināta berze, liece utt.;
 - Sistēmas izolācijas veids un tehnoloģija. Izolējot elektronikas ķēdi, var izmantot dažādas izolācijas metodes, veidot dažāda biezuma un dažādas elastības aizsargkārtas;
 - Sistēmas amortizācijas veids un tehnoloģija. Veidojot sistēmas amortizējošo slāni var izmantot dažādus materiālus un tehnoloģijas – veidot pārklājumu, izšuvumu, laminēšanu utt.;
 - Sistēmas integrēšanas veids. Elektronikas sistēmas pievienošanas tehnoloģija ietekmē paketes īpašības, piemēram, elektronikas izvietošana kabatās, shēmas uzdrukāšana uz drānas, vadu un elektronikas piešūšana vai uzšūšana, shēmas izšūšana vai ieaušana drānā utt.

Kopsavilkums

Nodaļā parādīta un īsumā aprakstīta viedo tekstilizstrādājumu klasifikācija pēc trim kritērijiem (sistēmas darbības veidi, tehnoloģiskās konstrukcijas un pamatfunkcijas), lai sniegtu vispārēju priekšstatu par viedo tekstilizstrādājumu veidiem.

Aprakstīti un klasificēti viedo tekstilizstrādājumu projektēšanā izmantojamie elektronikas elementi, kas palīdz noteikt elementu specializāciju un izvēlēties konkrētam izstrādājumam piemērotāko. Aplūkoti un klasificēti arī elektrovadoši tekstila materiāli un ilustrētas pašreizējās elektrotekstiliju projektēšanas tehnoloģijas. Atkarībā no pielietojuma veida, katrai tehnoloģijai ir savas priekšrocības un trūkumi.

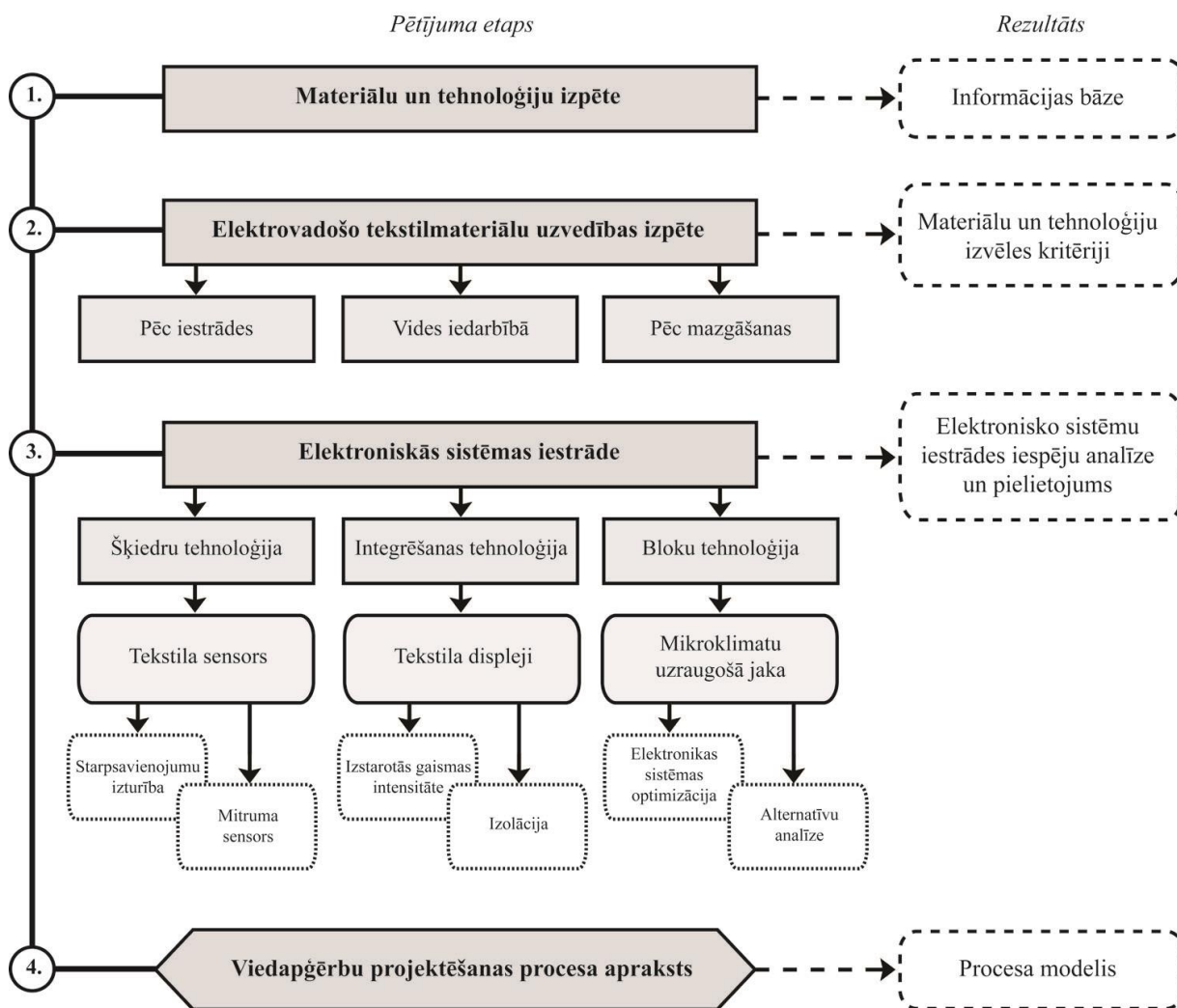
Pēdējās desmitgades laikā elektrotekstiliju izstrādē noticis manāms progress, taču joprojām pastāv lietas, kas jāattīsta un jāuzlabo. Piemēram, no elektrovadošajiem pavedieniem izgatavoto sensoru vai cita veida paraugu īpašības un veiktspēja ir atkarīga no pavediena un auduma struktūras, taču šīs struktūru 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 apģērbu. Lai pilnveidotu šo nosacījumu, viedapģērba sistēmai ir jābūt atbilstošai tekstilizstrādājumu īpašībām, kā arī jāievēro citi valkāšanas ērtumu ietekmējošie faktori. Līdz ar to darba teorētiskajā daļā analizēti arī valkāšanas komfortu ietekmējošie faktori.

2. EKSPERIMENTU MATERIĀLI UN METODEDES

Promocijas darba eksperimentālajā daļā pētīta elektrovadošo tekstilmateriālu uzvedība (A), kā arī izveidotas un analizētas trīs prototipu grupas (B, C, D), kuras raksturo viedos tekstilizstrādājumus pēc konstrukcijas klasifikācijas. Pētījumu struktūra pa etapiem redzama 2.1. att.



2.1. att. Eksperimentu struktūra

Materiālu un tehnoloģiju izpēte izmantota viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa informācijas bāzes izveidei. Elektrovadošo tekstilmateriālu uzvedības izpētes rezultātā tika piedāvāti materiālu izvēles kritēriji. Promocijas darba ietvaros izstrādāti un analizēti funkcionālo tekstiliju paraugi, kuru projektēšanai izmantoti trīs elektronikas sistēmas iestrādes paņēmieni:

1. šķiedru tehnoloģija (B);
2. integrēšanas tehnoloģija (C);
3. bloku tehnoloģija (D).

Elektroniskās sistēmas iestrāde šķiedru tehnoloģijā tiek raksturota ar vienkāršu šīs kategorijas struktūras paraugu – mitruma sensora izveidošanu, integrēšanas tehnoloģija raksturota ar tekstila displeju projektēšanu, savukārt bloku tehnoloģija reprezentēta ar mikroklīmatu uzraugošās jakas piemēru. 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.

2.1. Eksperimentu materiāli

A: Studēta elektrovadošo pavedienu integrēšana tekstila struktūrā, analizējot pavedienu vadītspēju pirms un pēc iestrādes drānā. Eksperimentos izmantoti divu firmu poliamīda (PA) pavedieni ar sudraba pārklājumu (N1-N4 no tabulas 2.1.). Paraugi šūti uz kokvilnas drānas (lineārais blīvums: 140 g/m²), atsevišķos paraugos izmantots neausts dublieris (lineārais blīvums: 50 g/m²).

B: Projektēti vairāki elektroaktīvā tekstila prototipi: mitruma sensors un pamatnes LED displejam. Paraugos kā elektrības vadītāji izmantoti šķeterēti elektrovadošie pavedieni no PA šķiedru un vara foliju savijuma (N5 no tabulas 2.1.) ar elektrisko pretestību 2,3 Ω/m. Pie noaustajiem paraugiem tika pievienotas 1206 izmēra (3 x 1.5 mm) uz virsmas lodējamās gaismu izstarojošās diodes bez izvadkontaktiem (SMD LEDs).

2.1. tabula

Elektrovadošo pavadieņu raksturlielumi

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

Pirmajā eksperimentu sērijā (A), atlasot elektrovadošos pavadieņus, tika izvēlēti dažādu firmu ražojumi un pavadieņi ar atšķirīgām elektriskām un struktūras īpašībām ar mērķi salīdzināt dažādus pavadieņu veidus. Otrajā eksperimentu sērijā (B) izvēlēts elektrovadošais pavadieņš ar nemainīgu elektrisko pretestību, kas ir arī lodējams (N5).

Elektroaktīvo tekstiliju izgatavošanai tika izmantotas dažādas tekstiltehnoloģijas. Paraugu tekstilmateriāli un izmantojamās iekārtas apkopotas 2.2. tabulā, bet projektēšanas datorprogrammas raksturotas 2.3. tabulā.

2.2. tabula

Elektrotekstiliju materiālu un projektēšanas iekārtu raksturojums

El.tekstiliju veids	Iekārta	Iekārtas parametri	Izolējošais tekstila materiāls
Austs mitruma sensors	Industriālās žakarda stelles	Šķēru blīvums: 330pav./10cm Audu blīvums: 200pav./10cm	Kokvilna
Izšūts mitruma sensors	Slēgdūriena izšūšanas mašīna	Dūriena garums: 3 mm	Poliesters (paved.) Kokvilna (drāna)
Šūts mitruma sensors	Slēgdūriena universālā šujmašīna	Dūriena garums: 3 mm	Poliesters (paved.) Kokvilna (drāna)

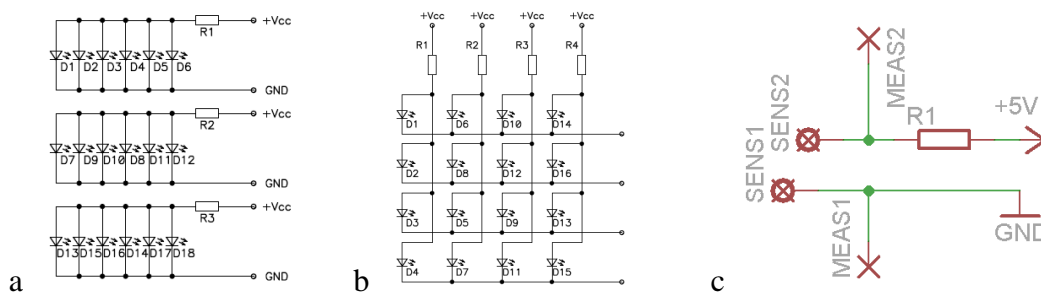
El.tekstiliju veids	Iekārta	Iekārtas parametri	Izolējošais tekstila materiāls
LED displejs I	Digitālās rokas stelles	Šķēru blīvums: 380pav./10cm Audu blīvums: 400pav./10cm	Kokvilna
LED displejs II	Industriālās žakarda stelles	Šķēru blīvums: 330pav./10cm Audu blīvums: 420pav./10cm	Kokvilna
LED displejs III	Industriālās žakarda stelles	Šķēru blīvums: 330pav./10cm Audu blīvums: 200pav./10cm	Kokvilna (audi) Poliesters (šķēri)

2.3. tabula

Elektrotekstiliju projektēšanas datorprogrammas

Elektrotekstilijas veids	Datorprogrammas
Austs mitruma sensors	<i>Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, PC-Edit</i>
Izšūts mitruma sensors	<i>Adobe Illustrator, PE-Design</i>
LED displejs I	<i>Weavepoint</i>
LED displejs II un III	<i>Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, PC-Edit</i>

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

Elektrotekstiliju izolācijai izmantoti trīs silikona gumijas materiāli un poliuretāna plēve. Visi materiāli ir caurspīdīgi. Materiālu tehniskie parametri apkopoti 2.4. tabulā.

2.4.tabula

Izolācijas materiālu tehniskie parametri

Kods	Produkta informācija	Sagatavošanas un vulkanizēšanas nosacījumi
A	Divu komponentu silikons Blīvums: 1,01 g/cm ³ Viskozitāte: 90000 mPa.s	Maisījuma proporcijas: 1:1 Termoapstrāde: 2 min pie 120°
B	Vienkomponenta silikons Blīvums: 1,01 g/cm ³ Viskozitāte: 85000 mPa.s	Vulkanizēšanas istabas temperatūrā vai krāsnī Vulkanizācijas laiks pie 23 °C: 12 h/mm Vulkanizācijas laiks krāsnī: 3 min pie 120°
C	Vienkomponenta silikons Blīvums: 1,01 g/cm ³ Viskozitāte: 85000 mPa.s	Vulkanizēšanas istabas temperatūrā Vulkanizācijas laiks pie 23 °C: 12 h/mm
D	PU plēve Blīvums: 144 g/m ²	Laminējams ar līmes plēvi (86 g/m ²) Termopreses temp. un laiks: 135°C, 20 s

C: Sensora projektēšanas eksperimenta ietvaros izveidoti izšūti, šūti un austi mitruma sensori. Pirmajiem sensora paraugiem izmantotas dažādas elektrodu konfigurācijas, elektrovadošo pavadīnu veidi un attālums starp paralēlajām šuvēm. Paraugi un to projektēšanas procesi raksturoti 2.5. tabulā.

Paraugi un to projektēšanas procesi

Integrēšanas tehnoloģijas veids	Izšūts	Šūts	Austs
Pamatmateriāls	Kokvilnas drāna	Kokvilnas drāna	Kokvilnas pavedieni
Elektrovadošais pavediens	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	-	-

Piloteksperimenta mitruma sensoru paraugi (elektrovadošie pavedieni N2, N3, N4) izšūti uz kokvilnas drānas (140 g/m^2), izmantojot datorizēto izšūšanas mašīnu. Paraugi ar elektrovadošo pavedienu N5 tika nošūti ar slēgdūriena šujmašīnu. Austie paraugi izgatavoti uz industriālām žakarda stellēm, izmantojot elektrovadošo pavedienu N5.

D: Mikroklimatu uzraugošā apģērba sistēmas pilnveidošanas pētījuma ietvaros iepriekš izveidotais jakas paraugs [93] tika pieņemts par prototipu. Jaka ar iestrādātās elektronikas palīdzību reaģē uz mikroklimata izmaiņām, signalizējot par temperatūras un relatīvā mitruma datiem.

2.2. Eksperimentu metodes

2.2.1. Datu analīze

Eksperimentu plānošana. Veikta daudzfaktoru eksperimenta plānošana pavedienu elektrisko īpašību, starpsavienojumu izturības un mitruma sensora ātrdarbības pētīšanai. Statistiskai analīzei izmantota datu grafiskā analīze, aprakstošā statistika, pāru korelācija;

Kritēriju kvantitatīvā novērtēšana. Lietotas kritēriju kvantitatīvās novērtēšanas metodes eksperimentālo datu aprakstīšanai un algoritmu izveidošanai mikroklimatu uzraugošā apģērba sistēmas analīze. Izmantotas lēmumu pieņemšanas metodes *ELECTRE* un *AHP*.

- *ELECTRE* metodes raksturojums

ELECTRE metodoloģija balstīta uz konkordances (atbilstības) un diskordances (neatbilstības) indeksiem. Tās pamatā ir tabula ar kritēriju vērtībām un rezultātā tiek iegūts alternatīvu sakārtojums [105]. Pieņemsim, ka katram kritērijam ir noteikts svarīguma koeficients un visu kritēriju visu svarīguma koeficientu summa ir vienāda ar 1. Tad konkordances indekss (c) tiek rēķināts pēc formulas:

$$c_{jk} = \sum_{i: a_{ij} \geq a_{ik}} w_i, \quad j, k = 1, \dots, n, \quad j \neq k \quad (1)$$

Konkordances indekss atrodas starp 0 un 1. Diskordances indeksa d_{jk} aprēķins ir šāds: $d_{jk}=0$ ja $a_{ij} > a_{ik}$, $i=1, \dots, m$, tas ir, diskordances indekss ir nulle, ja A_j pārspēj A_k pēc visiem kritērijiem. Citādi:

$$d_{jk} = \max_{i=1, \dots, m} \frac{a_{ik} - a_{ij}}{\max_{j=1, \dots, n} a_{ij} - \min_{j=1, \dots, n} a_{ij}}, \quad j, k = 1, \dots, n, \quad j \neq k \quad (2)$$

Tas ir, katram kritērijam, kur A_j pārspēj A_k , tiek aprēķināta savstarpējā attiecība starp starpību pārspēšanas līmenī starp A_k un A_j un maksimālo kritēriju vērtību starpību starp jebkuru alternatīvu pāri. Šo attiecību maksimums ir diskordances indekss (tam jābūt starp 0 un 1).

Konkordances sliekšnis c^* un diskordances sliekšnis d^* tiek noteikts kā $0 < d^* < c^* < 1$. Tad A_j pārspēj A_k , ja $c_{jk} > c^*$ un $d_{jk} < d^*$, t.i., konkordances indekss pārsniedz sliekšni un diskordances indekss attiecīgi ir zem sliekšņa [42].

Šāda pārspēšana nosaka alternatīvu kopas daļēju ranžēšanu. Dotajā gadījumā, lai izveidotu daļēju ranžēšanu un izvēlētos alternatīvu kopu, tika izmantota metode *ELECTRE I*, aprēķini veikti datorprogrammā *Electre Pro*. Uzdevuma risināšanai ar *ELECTRE I* metodi ir nepieciešami iepriekš novērtētie kritēriji. Metodei nav kritēriju vērtēšanas mehānisma, tāpēc praktiskā uzdevuma risināšanai ir izmantoti kritēriju svarīguma vērtējumi, kas iegūti ar *AHP* metodi [104].

- *AHP (Analytic Hierarchy Process) metodes raksturojums*

Galvenais *AHP* uzdevums ir pārvērst relatīvas nozīmes subjektīvos vērtējumus par vispārēju svarīguma kopu [41]. *AHP* ir kvantitatīvās salīdzināšanas metode, ko izmanto, lai

izvēlētos atbilstošo alternatīvu, lietojot alternatīvu pāru salīdzināšanu [10]. Salīdzinot alternatīvas un kritērijus vispirms ir jānosaka kāda alternatīva vai kritērijs ir svarīgāks un pēc tam – cik lielā mērā tas ir svarīgāks [126]. Lai noteiktu priekšrokas intensitāti, izmantota vērtējumu skala no 1 līdz 3 ar ekspertu vērtējumiem, kur 1 nozīmē vienādu priekšroku un 3 nozīmē ļoti stingru priekšroku. Ja pāru salīdzināšanas novērtējums ir:

$$f(C_i, C_j) = x, \quad (3)$$

tad novērtējums

$$f(C_j, C_i) = 1/x, \quad (4)$$

kur $x > 0$.

Alternatīvu svarīguma kritēriji [43] aprēķināti pēc formulas:

$$w_i = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

2.2.2. Testēšana

Izturība uz gaismas un laika iedarbību. Veiktit periodiski elektriskās pretestības mērījumi 5 mēnešu periodā (decembris - aprīlis). Mērījumu periodā paraugi atradās iekštelpā ar vidējo gaisa temperatūru 19°C.

Izturība uz mazgāšanu. Mazgāšana ir visizplatītākais viedo tekstiliju tests. Mazgāšanas testi veikti, vadoties pēc standarta *ISO 6330:2012 Tekstilizstrādājumi. Mazgāšanas un žāvēšanas procedūras mājas apstākļos tekstilizstrādājumu testēšanai*. Visi testi veikti A veida veļas mašīnā, izmantojot 20 g veļas pulvera (*Bonux Active Fresh, Color, Automat*). Pārējie apstākļi atšķiras (2.6. tabula).

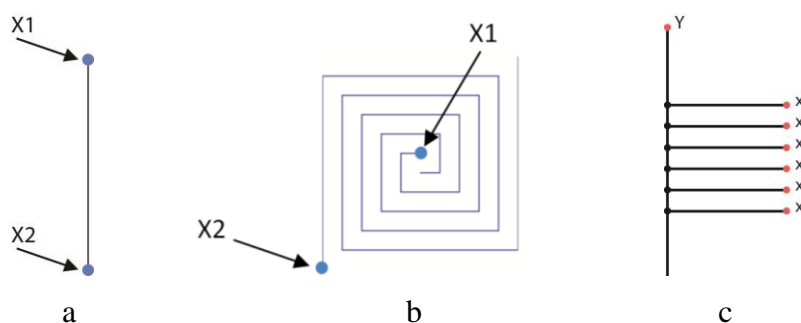
Mazgāšanas testa apstākļi

Eksperiments	Apstākļi
Viedapģerbu elektronisko kontaktu sistēmas uzlabošana; Mitruma sensors	Mazgāšanas cikli: 10 Temperatūra: $40 \pm 3^\circ \text{C}$ Rotācijas ātrums: 400 apgr./min. Cikla ilgums (mazgāšana un žāvēšana): 31 min
LED displejs II;	Mazgāšanas cikli: 1 Temperatūra: $60 \pm 3^\circ \text{C}$ Rotācijas ātrums: 1000 apgr./min. Cikla ilgums (mazgāšana un žāvēšana): 1,4 h

Nodilumizturība. Izolācijas eksperimentā veikts nodilumizturības tests ar mērķi pārbaudīt izolācijas pārklājuma izturību un elektronisko elementu darbības ilgumu ekspluatācijas laikā. Nodilumizturības pārbaudei 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.

2.2.3. Mērījumi

Elektriskā pretestība un vadītspēja. Elektriskās pretestības mērījumiem izmantots divkontakta digitālais multimetrs. Pavediena elektriskā pretestība mērīta nepārtrauktā formā (elektriskajā celiņā nav savstarpējie savienojumi) vai saliktā formā (elektriskajā celiņā ir divu vai vairāku atsevišķu celiņu savienojumi).



2.3. att. Elektriskās pretestības mērīšana – a, b: nepārtrauktās līnijas forma; c: saliktās līnijas formas

Elektriskās pretestības mērījumi ir viens no veidiem kā novērtēt elektrotekstiliju elektriskās īpašības. Elektriskā pretestība tika mērīta pirms un pēc pārbaudēm (mazgāšana), kā arī atkarībā no dažādām pazīmēm (pavediena veids, šuves garums, paralēlo šuvju skaits, pakešu skaits, integrēšanas tehnoloģija) vai dažādu faktoru ietekmē (izmaiņas laika gaitā, izmaiņas slodzes ietekmē).

Šuves vadītspējas kvalitātes izmaiņas vairāklīniju šuvēs salīdzinājumā ar vienlīnijas šuvi (R_p) tiek aprēķinātas pēc formulas:

$$R_p = (P_0 - P_c) / P_0 \times 100 (\%), \quad (6)$$

kur: P_0 – izšūtā šuve 1 līnijā

P_c – izšūtā šuve x līnijas

Elektrisko īpašību aprakstīšanai izmantota Oma likuma sakarība:

$$R = U/I, \quad (7)$$

kur R – elektriskā pretestība

U – spriegums

I – strāva

Pielietojot formulu (8), elektriskā pretestība pārrēķināta elektrovadītspējas mērvienībā sīmenss (s):

$$G = 1 / R, \quad (8)$$

kur: G – elektrovadītspēja

R – elektriskā pretestība

Gaismas intensitāte. Elektrotekstiliju izstarotās gaismas intensitāte mērīta ar digitālo vides apstākļu mērītāju *Velleman DVM401*, izmantojot luksametra funkciju. Mērījumi veikti tumšā telpā. Papildus izmantota melna matēta kartona caurule ar atvērumiem abos galos luksametra novietošanai un laukuma fiksēšanai. Atvērumu diametrs 5 cm un 2 cm, caurules garums 8,5 cm.

Mitruma sensora ieslēgšanās ātrums. Izveidots naksts enurēzes (slapināšanās gultā) modinātāja sistēmas prototips un testēts tekstila mitruma sensors. Eksperimentam sagatavots atbilstošas koncentrācijas sālsūdens, kas no pilieneida piltuves pilināts uz sensoru, turot piltuvi 5 cm attālumā no horizontālās sensora virsmas. Eksperimentam izvēlēta sāls koncentrācija 0,2 moli /1 l, jo šāda ir vidējā urīna elektriskās vadītspējas vērtība [1]. Reakcijas ātrums fiksēts ar oscilogrāfu, datu atspoguļošanai izmantota programmatūra *PicoScope 6*. Ar osciloskopu fiksēta padotā sprieguma (U) izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas.

Pirmajam eksperimentam izveidota vienkārša sprieguma dalītāja ķēde (2.4.att. a), lai noteiktu sensora pretestības faktisko vērtību omos, izmantojot vienādojumu:

$$R_{sens}=U_{out} * R_{res} / (U_{in} - U_{out}), \quad (9)$$

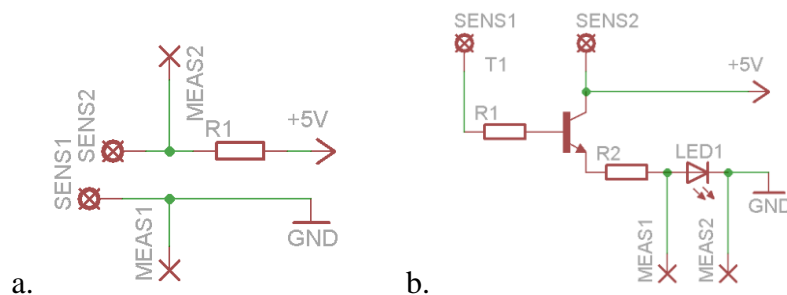
kur: R_{sens} - sensora pretestība

R_{res} - ķēdes rezistora pretestība (4,6 k Ω)

U_{in} - ieejas spriegums (5V)

U_{out} - izejas spriegums

Pirmajā sensora testā izmantota elektriskā shēma ar ķēdes rezistora pretestību 4,6 k Ω (2.4. att. a). Otrajam eksperimentam izveidota vienkārša uz tranzistora pastiprinātāju balstīta ķēde (2.4. att. b), kas pastiprina no sensora izejošo signālu, signalizējot par signālu ar LED indikatoru.



2.4. att. Sensora testa elektriskā shēma – a: pirmajam eksperimentam; b: otrajam eksperimentam

3. REZULTĀTI

Promocijas darba eksperimentālais pētījums sastāv no elektrovadošo tekstilmateriālu uzvedības izpētes, kā arī no trīs prototipu grupu izveides un analīzes.

3.1. Viedo tekstilizstrādājumu elektronisko kontaktu izpēte

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

Iepriekšējos pētījumos, veidojot viedapģērba prototipu [95], problēmas radīja elektronikas elementu savienojuma vietas, kas tika izpildītas ar elektrovadošajiem pavedieniem mašīnšūšanas tehnikā. Līdz ar to šajā pētījumā uzmanība pievērsta elektrovadošo pavedienu uzvedības analīzei un savienojuma vietu uzlabošanai. Tika testēti četri komerciāli pieejamie elektrovadošie pavedieni, nosakot to piemērotību konkrētiem pielietojumiem, kā arī pētītas elektrovadošo pavedienu un elektronikas elementu savienošanas iespējas tekstilizstrādājumam piemērotā veidā.

Vairāki pētījumi [99, 44, 65, 75] apraksta elektronikas ierīču integrēšanas veidus un tehnoloģijas, kas būtu piemēroti tekstila struktūrai un valkāšanas komfortam. Elektrovadošie kontakti vai shēmas tekstila struktūrā var būt integrēti izmantojot vairākas netradicionālas tehnoloģijas, kas jau tika aprakstītas iepriekš: elektrovadošo materiālu drukāšana vai laminēšana, elektrovadošo diegu ieaušana, ieadīšana, iešūšana vai izšūšana utt. Šajā pētījumā apskatīti un analizēti šūšanas un izšūšanas paņēmieni elektrovadošo tekstila celiņu veidošanai.

Šobrīd ir komerciāli pieejami dažādi elektrovadošie pavedieni, taču tikai daļa no tiem ir piemērota mašīnšūšanai to struktūras dēļ. Svarīga ir pavediena elektriskā vadītspēja, šī īpašība tiek raksturota ar pavediena elektrisko pretestību omos (Ω). Diemžēl bieži vien jo lielāks ir elektrovadošā materiāla daudzums pavedienā, jo grūtāk tas ir šujams [74]. No elektrovadošajiem pavedieniem izgatavoto sensoru īpašības un veiktspēja ir atkarīga no pavediena un drānas struktūras. Taču šo struktūru īpatnības nav pilnvērtīgi izpētītas [51]. Elektrovadošie pavedieni var būt izgatavoti dažādos veidos un tiem var piemist dažādas īpašības attiecībā uz elektrovadītspēju, tausti, stiprību, elastību utt. [108]. Kaut arī

elektrovadošie pavadieni un drānas ir pētītas dažādiem pielietojumiem, nav pieejams pētījums, kur būtu sīki aprakstīta elektrovadošo pavadieņu un drānu elektriskā uzvedība un to ietekmējošie faktori [132]. Pētījumā [108] analizēta stiegru elektrovadošo pavadieņu (elektrovadoši pavadieni ap elastīgu nevadošu serdeni) uzvedība pēc atkārtotas noslodzes un mazgāšanas, taču nav pieejams pētījums, kur ir vērota elektrovadošā pavadieņa uzvedība pēc iestrādes drānā.

Pētījumā studēta elektrovadošo pavadieņu integrēšana tekstiliju struktūrā, analizējot pavadieņu vadītspēju pirms un pēc iestrādes drānā. Eksperimentos izmantoti divu firmu PA pavadieņi ar sudraba pārklājumu. Eksperimenta mainīgie faktori un to variēšanas līmeņi attēloti 3.1.tabulā.

3.1. tabula

Eksperimenta mainīgie faktori un to variēšanas līmeņi

Mainīgie faktori	Faktoru variēšanas līmeņi			
Pavadieņa veids, Nr.	N1	N2	N3	N4
Dūriena garums, mm	1	2	3	4
Paralēlās šuves, skaits	1	2		10
Paketes kārtas, skaits	1		2	
Integrēšanas veids, iekārta	slēgdūriena šūšanas mašīna		slēgdūriena izšūšanas mašīna	

Veikti šuvju ekspluatācijas testi, novērojot:

- Elektriskās pretestības izmaiņas laika gaitā (5 mēnešu periodā)
- Elektriskās pretestības izmaiņas pēc mazgāšanas

3.1.1. Šuvju analīze mainīgo faktoru ietekmē

Līdzīgi elektrovadošajiem vadiem arī elektrovadošo pavadieņu pretestība ir atkarīga no celiņa/šuves garuma – jo garāks celiņš/šuve, jo lielāka pretestība. Eksperimentos izmantotas 50 cm garas šuves. Tabulā 3.2. apkopoti iešūto un neiešūto pavadieņu pretestības mērījumu vidējās vērtības (Σ – paraugu skaits; V – variācijas koeficients). Pašsvara ietekmē brīvā pozīcijā esošo pavadieņu pretestības variācijas koeficients ir liels (3,5 – 12,8%), kas liecina par to, ka elektrovadošais pārklājums nav homogēns dažādos pavadieņa posmos. Tas palielina dispersiju, līdz ar to arī nenoteiktību, kas sarežģī pavadieņu salīdzināšanu.

Iešūto un neiešūto pavedienu elektriskās pretestības vidējās vērtības

Pavediena veids (rupjums)	Brīvā pozīcijā	Nostiepts (slodze 4,6 g)	Šūts (bez līmdrānas)	Šūts (ar līmdrānu)	Izšūts x1 (ar līmdrānu)	Izšūts x2 (ar līmdrānu)	Izšūts x10 (ar līmdrānu)
N1 (110/34 dtex, vienkārtas)	39,58 $\Sigma=10$; V=8,6%	29,32 $\Sigma=10$; V=4,9%	25,05 $\Sigma=12$; V=21,4%	19,63 $\Sigma=12$; V=12,4%	21,4 $\Sigma=3$; V=8,2%	14,8 $\Sigma=3$; V=13,2%	4,6 $\Sigma=2$; V=19,7%
N2 (110/34 dtex, divkārtu)	21,99 $\Sigma=10$; V=6,9%	15,25 $\Sigma=10$; V=4,7%	15,22 $\Sigma=12$; V=12,7%	12,77 $\Sigma=12$; V=6,5%	15,8 $\Sigma=3$; V=8,2%	8,7 $\Sigma=3$; V=3,5%	2,1 $\Sigma=2$; V=3,1%
N3 (235/34 dtex, četru kārtu)	19,08 $\Sigma=10$; V=3,5%	18,22 $\Sigma=10$; V=3,4%	19,76 $\Sigma=12$; V=2,6%	19,07 $\Sigma=12$; V=2,4%	18,7 $\Sigma=3$; V=4,4%	-	-
N4 (110/34 dtex, divkārtu)	310,77 $\Sigma=10$; V=12,8%	183,80 $\Sigma=10$; V=7,5%	155,31 $\Sigma=12$; V=7,1%	-	218,2 $\Sigma=3$; V=9,9%	27,96 $\Sigma=3$; V=5,7%	2,24 $\Sigma=3$; V=6,1%

Elektrovadošiem pavedieniem ir dažāda uzvedība brīvā un nostieptā stāvoklī, to elektriskā pretestība izstieptā stāvoklī pieaug dažādi, atkarībā no pavediena veida. Savas elektriskās īpašības stiepes laikā gandrīz nemaina pavediens N3, kura pretestības pieaugumu (4.5%) ir daļēji saistīts ar šķiedru materiāla samazinājumu mērāmajā posmā, pavedienam atrodoties izstieptā stāvoklī. Smalkākiem pavedieniem (110/34 dtex) pretestība pieaug par 25.9 – 40.8 % pie nelielas 4,6 g slodzes, palielinot slodzi pretestība pieaug vairāk. Pastāv arī elektrovadošie pavedieni, kuru elektriskā pretestība palielinās stiepes ietekmē, taču šāda veida pavedieni pētījumā netika apskatīti.

Šūtie paraugi izpildīti ar 301. klases šuvi, izmantojot slēgdūriena šūšanas mašīnu un slēgdūriena izšūšanas mašīnu. Šuvju pretestības variācijas koeficients svārstās no 2,4% līdz 21,7%, īpaši tas ir izteikts pavedienam N1, mazāk izteikts pavedienam N3. Šūšanas un izšūšanas procesos slodze ir lielāka uz adatas diegu, uz kuģīša diegu slodze ir mazāka [74]. Tas ietekmē arī pavediena elektrovadītspēju – izmantojot elektrovadošo pavedienu adatas diegā, pretestība pieaug. Savukārt izmantojot elektrovadošo diegu gan adatā, gan kuģītī (dubultā šuve), pretestība būtiski samazinās. Turklāt palielinot paralēlo nošuvju skaitu, pretestība samazinās attiecīgi šuvju skaitam. Šajā gadījumā šuves krustojas vairākas reizes, rezultātā radot paralēlo pretestību, kas palielina savienojuma vadītspēju [99]. Paraugi izšūti ar dažādu paralēlo nošuvju skaitu (attālums starp šuvēm ~ 0): elektrovadošais pavediens kuģītī, viena nošuve (1 elektrovadošais pavediens), elektrovadošais pavediens adatā un kuģītī, 1 nošuve (2 elektrovadošie pavedieni), elektrovadošais pavediens adatā un kuģītī, 5 nošuves (10

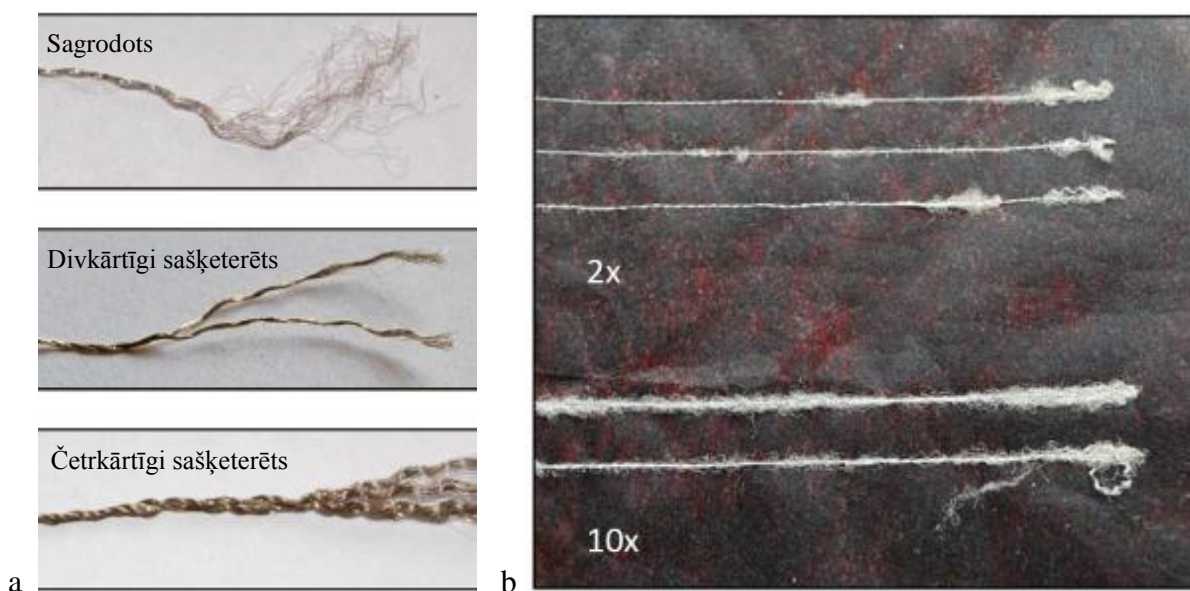
elektrovadošie pavedieni). Šuves vadītspējas kvalitātes izmaiņas vairāklīniju šuvēs salīdzinājumā ar vienlīnijas šuvi (R_p) aprēķinātas pēc formulas:

$$R_p = (P_0 - P_c) / P_0 \times 100 (\%), \quad (3)$$

kur: P_0 – izšūtā šuve 1 līnijā
 P_c – izšūtā šuve x līnijas

Īpaši izteikts pretestības samazinājums vairāklīniju šuvēs ir pavedienam N4 (87-99%), mazāks pretestības samazinājums ir paraugiem N1 (31-79%) un N2 (45-87%).

Izšūšanas eksperimentā problēmas sagādāja pavediens N1, kas slikti padevās izšūšanai. Pavediens nav šķeterēts, tas ir vienkārtīgs un sastāv no 34 sagrodotiem filamentiem. Šūšanas procesā tas neiztur slodzi, kā rezultātā filamentu trūkst un pūkojas, īpaši tas ir izteikts vairāklīniju šuvēs. Pavediens un šuves redzamas 3.1.att. Šis defekts iespaido gan šuves kvalitāti, gan savienojuma drošību, jo notrūkušie pavedieni izplatās pa virsmu un var radīt īssavienojumu blakus esošās šuvēs. Divkārtīgi šķeterētiem (N2, N4) un četrkārtīgi šķeterētiem (N3) pavedieniem šāds defekts netika novērots, šuves kvalitāte ir labāka. Lielā raupjuma (235/34 dtex) dēļ pavedienu N3 izšūšanā var izmantot tikai kā kuģīša diegu.



3.1. att. Pavedieni – a: pavedienu struktūra, b: izšūts pavediens N1 vairāklīniju šuvēs.

Šūšanas eksperimentā pretestības izmaiņas atkarībā no dūriena garuma konstatētas smalkākiem pavedieniem (110/34 dtex). Kā jau minēts iepriekš, pavedieni neiešūtā veidā ir jutīgi uz stiepi – slodzes ietekmē pretestība samazinās. Līdzīgi arī šuvēs – īsāka dūriena (1mm) šuvē pavedienam ir lielāks nospriegojums, līdz ar to mazāka pretestība. Pavedienu N1, N2, N4 paraugu korelācijas koeficients starp dūrienu garumu un elektrisko pretestību ir ciešs: 0.94 – 0.99. Savukārt rupjākais diegs N3 (235/34 dtex), kā tas minēts iepriekš, stiepes ietekmē savas elektriskās īpašības praktiski nemaina, kā rezultātā nav arī dūriena garumu sakarības (funkcionāli negatīvs korelācijas koeficients (- 0,43)). Tabulā 3.3. ir redzama paraugu vidējo vērtību elektriskā pretestība atkarībā no dūriena garuma un abu mainīgo korelācijas koeficients.

3.3. tabula

Iešūto pavedienu elektriskās pretestības vidējās vērtības

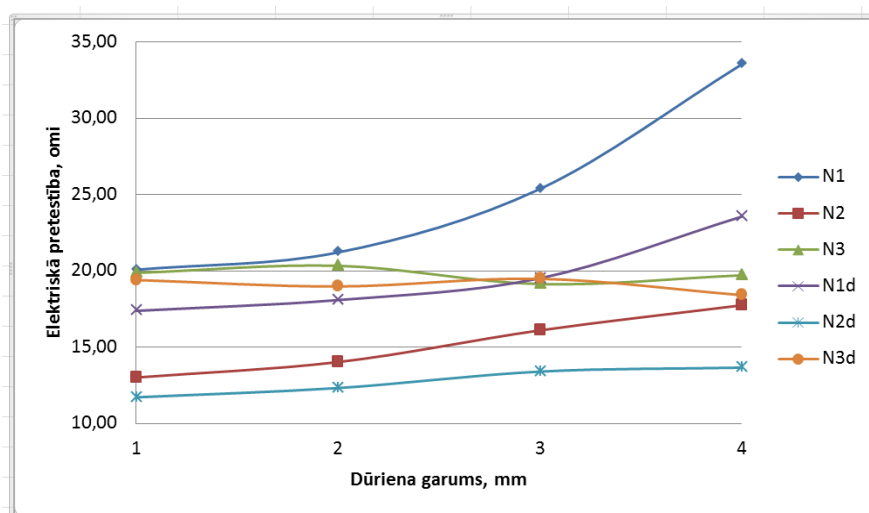
Elektriskā pretestība, Ω / 50 cm				
Dūriena garums, mm	Pavediena veids, nr. (rupjums)			
	N1 (110/34)	N2 (110/34 x 2)	N3 (235/34 x 4)	N4 (110/34 x 2)
1	20,08	13,01	19,87	143,01
2	21,21	14,02	20,33	152,10
3	25,37	16,10	19,13	157,89
4	33,53	17,74	19,71	168,24
Pāru korelācijas koeficients	0,94	0,99	- 0,43	0,99

Pavediena pretestību ietekmē arī sašujamā drānu pakete. Veidojot šuves uz dažāda sastāva (kokvilna, lins, poliesters, poliamīds) vienkārtas drānas, būtiskas izmaiņas netika novērotas. Taču, izmantojot paraugos līmdrānu (izšūšanā lietotais flizelīns), pretestības mērījumi bija par 3,5 - 21,6 % mazāki paraugiem uz dublētās drānas. Tas iespējams saistīts ar to, ka dublieris nodrošina labāku pavediena nostiepumu šuvē. Tā kā paraugu drāna ir diezgan plāna (0,4 mm), pēc nošūšanas bez dubliera pa šuves līniju drāna ir nedaudz saīsinājusies (sakrokojusies), kas rada mazāku pavediena nostiepumu, līdz ar to lielāku pavediena pretestību. Šuve uz nedublētās un dublētās kokvilnas drānas redzama 3.2.att.



3.2. att. Šuve – a: uz nedublētas drānas; b: un dublētas drānas

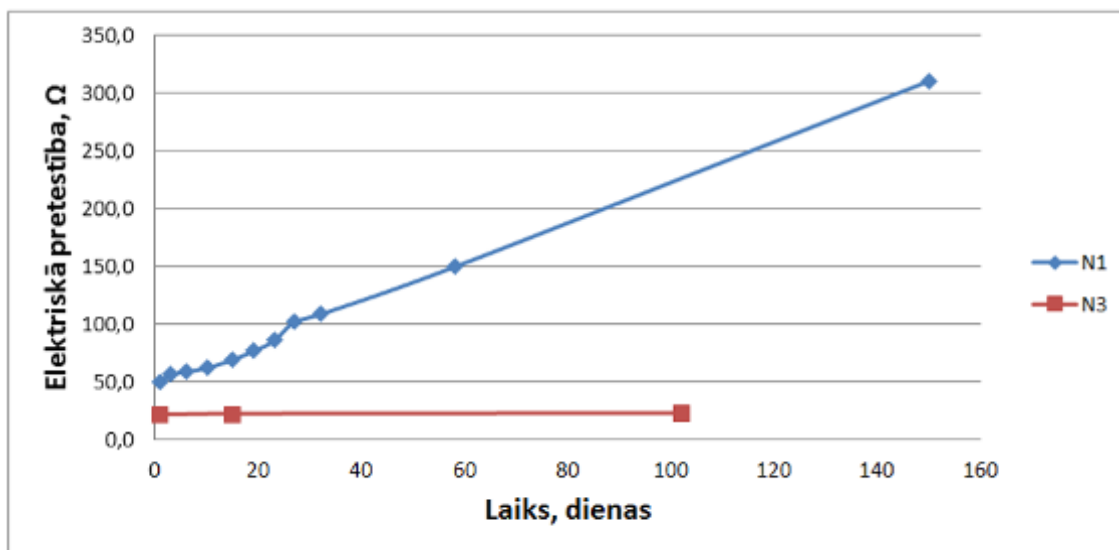
Grafikā 3.3.attēlā ir attēloti nedublēto paraugu (N1, N2, N3) un dublēto paraugu (N1d, N2d, N3d) elektriskā pretestība atkarībā no dūriena garuma.



3.3. att. Nedublēto (N1, N2, N2) un dublēto (N1d, N2d, N2d) paraugu vidējā elektriskā pretestība atkarībā no dūriena garuma

3.1.2. Šuvju ekspluatācijas pārbaudes

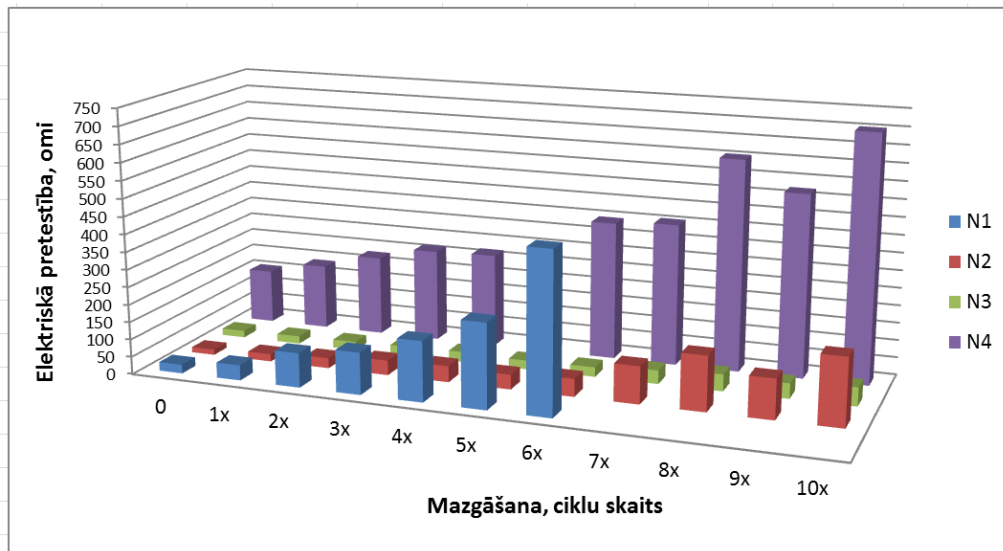
Novērots elektrovadošo pavadieņu šuvju pretestības pieaugums pēc šūšanas gaismas-laika iedarbībā (5 mēneši), kas izskaidrojams ar sudraba oksidāciju [49]. Tā kā pavadienam ir sudraba pārklājums, tas ar laiku tiek pakļauts oksidācijai un pārklājuma kārtā paliek mazāka, kā rezultātā pavadiena pārklājuma virsmas pretestība pieaug. Elektrovadošo pavadieņu N1 un N3 šuvju vidējais elektriskās pretestības pieaugums gaismas-laika iedarbībā grafiski parādīts 3.4.att.



3.4. att. Pavedienu N1 un N3 šuvju elektriskās pretestības pieaugums

Pavedienu paraugiem ir dažāds oksidēšanās ātrums – paraugu grupas N1 pretestības pieaugums pēc 150 dienām svārstās no 121 – 588 %, savukārt paraugu grupas N3 pretestība pieaug daudz lēnāk – pēc 102 dienām pretestība palielinājās tikai par 12 – 20 %.

Pavediena elektrisko pretestību ekspluatācijas laikā ietekmē dažādi ārējās vides faktori. To var iespaidot mazgāšanas ciklu skaits, stiepe, nodilums, temperatūras izmaiņas utt. Atbilstoši *ISO 6330:2012* standartam veikti 10 mazgāšanas cikli A veida veļas mašīnā pie 40 ± 3 ° C temperatūras, 400 rpm, izmantojot 20 g veļas pulvera. Katrs cikls (mazgāšana un žāvēšana) ilga 31 minūti. Pēc pirmās mazgāšanas nedublēto paraugu pretestība palielinājās par 10,7 – 74,2 % atkarībā no pavediena veida, dublēto drānu pretestība pieauga vairāk – par 12,75 – 141,9 %. Nedublēto drānu paraugu rezultāti apkopoti 3.5.att. (visu dūrienu vidējās vērtības).



3.5. att. Elektriskās pretestības izmaiņas pēc mazgāšanas

Elektriskās pretestības procentuālais samazinājums, salīdzinot ar nemazgātu paraugu redzams 3.4.tabulā (attēloti dati par pirmajiem četriem mazgāšanas cikliem). Pavedieniem ir dažāda rezultātu tendence. Pavediena N1 paraugiem pretestības palielināšanās mazgāšanas laikā saistīta ar dūriena garumu šuvē – pēc pirmā mazgāšanas cikla blīvāku dūrienu (1 mm un 2 mm) šuves pretestība samazinās mazāk (par 37% un 52%), garāku dūrienu (3 mm un 4mm) šuvē – vairāk (par 86% un 101%). Šāda tendence saglabājās visu mazgāšanas ciklu laikā. Tas iespējams saistīts ar to, ka īsāko dūrienu šuvēs elektrovadošais pavediens tiek blīvāk nosepts ar elektriski nevadošo pavedienu, tādā veidā to daļēji izolējot. Pārējiem pavedieniem nav izteiktas šāda veida tendences.

3.4.tabula.

Elektriskās pretestības samazinājums, salīdzinot ar nemazgātu paraugu

Mazg. Reizes	Elektriskās pretestības samazinājums, %															
	N1				N2				N3				N4			
	Dūriena garums, mm				Dūriena garums, mm				Dūriena garums, mm				Dūriena garums, mm			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1x	37	52	86	101	26	38	48	45	11	12	10	10	14,7	25	23	20
2x	93	144	290	503	55	74	109	118	22	16	21	20	37	52	50	51
3x	123	188	412	622	96	146	216	225	35	43	35	32	50	80	73	79
4x	190	274	496	1079	104	167	225	286	40	57	50	48	52	87	76	77

Kā tas redzams 3.5.att. visstabilākā (ar vismazākām izmaiņām) elektrovadītspēja ir pavedienam N3 – elektriskā pretestība pēc mazgāšanas palielinās no 11% (pirmajā mazgāšanas ciklā) līdz 171 % (desmitais mazgāšanas cikls). Visvājākie rezultāti bija pavedienam N1, kas izturēja tikai 6 mazgāšanas ciklus, pēc tam zuda elektriskais kontakts. Pavediena N2 elektriskā pretestība palielinās no 40% līdz 1166%, N4 – no 21% līdz 352%.

3.1.3. Materiālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji

Pētījuma rezultātā izstrādāti elektrovadošo tekstilmateriālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji / ieteikumi, kuri jāņem vērā, projektējot tekstila elektrisko shēmu:

- Elektrovadošā pavediena struktūra

Izturīgāki un vairāk šūšanai / izšūšanai piemēroti ir šķeterēti elektrovadošie pavedieni, kas veido kvalitatīvāku šuvi par vienkārtīgu / sagrodotu pavedienu, kas šūšanas procesā trūkst un pūkojas. Mazgāšanas testā šķeterēto pavedienu elektriskā pretestība palielinājās mazāk – pēc trešā mazgāšanas cikla šķeterēto pavedienu elektriskā pretestība palielinās vidēji par 92%, bet grodotam – vidēji par 336%.

- Šūšanas process

Ja elektrovadošā pavediena vadītspēju ietekmē stiepe, tad tā uzvedību var iespaido šūšanas process – iekārtas veids, diegu spriegojums, dūrienu garums.

- Izvietojums apģērbā

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

- Elektriskā uzvedība vides ietekmē

Izšūšanas un šūšanas metodes izmantošana elektriskās shēmas projektēšanai vairāk atbilst tekstilizstrādājuma valkāšanas komforta nosacījumiem, taču no elektronikas viedokļa attiecīgie shēmas savienojumi nav pietiekami droši. Savienojumi, kas izpildīti ar elektrovadītspēju mainošu 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. Dažādu pavedienu starpā šīs īpašības ievērojami atšķiras – piemēram, pēc trīs mazgāšanas reizēm elektriskā pretestība palielinājās no 32% (pavediens N3) līdz 622% (pavediens N1). Turklāt pat viena veida pavediena mazgāšanas rezultātus var ietekmēt šuves dūriena garums. 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 (uzvedību) un izmantot noteiktam mērķim piemērotu pavedienu. Galvenie faktori ir ķēdes jūtīgums un maksimālais strāvas patēriņš. Izmantojot Oma likumu, var noteikt maksimālo kopējo starpsavienojumu pretestību, ņemot vērā maksimālo strāvas patēriņu un barošanas spriegumu. Piemēram, ja tiek izmantots 3 V barošanas avots, divas LED ar optimālu sniegumu pie 20 mA un uztvērējs, kuram 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 ar elektrisko pretestību, 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% - strāvas var kļūt nepietiekami, lai ieslēgtu LED. Šādus pavedienus ar mainīgu elektrisko pretestību var izmantot, piemēram, divstāvokļu sensoriem (spiediena, mitruma utt. sensori), kur ir nepieciešams diferencēt tikai augsto un zemo stāvokli. Cits pielietojums var būt nekritiskas datu pārraides līnijas. Elektrovadošos 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. Līdz ar to šādām sistēmām jāizvēlas digitālie sensori.

3.2. Elektroaktīvo tekstiliju projektēšana

Elektroaktīvo tekstiliju attīstība dod iespēju radīt jaunus un pilnveidot esošus inovatīvus un daudzfunkcionālus produktus dažādās sfērās, kas saistītas ar viedapģērbiem un viedtekstilijām [65]. Elektrotekstilijas struktūra veido sensoru, elastīgu elektrodu, elastīgu enerģijas avotu, sildošo tekstila elementu u.c. elektrisko shēmu izstrādes bāzi [58, 21, 8, 154, 45]. Aizstājot tradicionālos elektroniskos materiālus ar elektrovadošajiem tekstilmateriāliem, iespējams izveidot elastīgas elektrotekstilijas pamatnes, izmantojot dažādas audumu projektēšanas metodes, piemēram – aušanu [138, 139].

Promocijas darba ietvaros izstrādāti vairāki austi funkcionālo tekstiliju paraugi, analizējot aušanas tehnoloģijas iespējas tekstila shēmu projektēšanā. Atsevišķos eksperimentos papildus izveidoti arī šūti elektrotekstiliju paraugi.

3.2.1. Tekstila sensors

Lai padarītu viedo tekstilizstrādājumu ērtāku lietošanā un atbilstošāku tekstilmateriālu īpašībām, daļu tradicionālo sensoru var aizstāt ar tekstila sensoriem. Pēc signālu uztveres sensorus viedajos tekstilizstrādājumos var iedalīt divās lielās grupās: biomedicīniskie signāli un apkārtējās vides signāli [59]. Tekstila sensori un slēdži aprakstīti apakšnodaļā 1.2. *Elektrovadoši tekstila materiāli*.

Darbā raksturota mitruma tekstila sensora izgatavošana un testēšana, kas ar vienkāršu piemēru parāda elektronikas sistēmas iestrādi šķiedru tehnoloģijā.

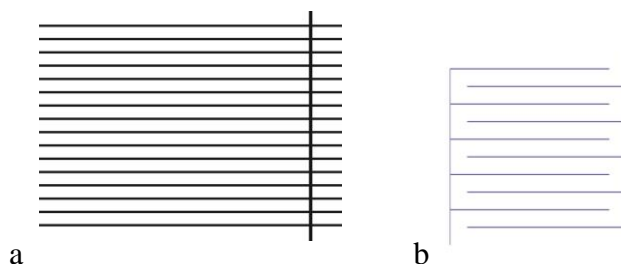
Austs mitruma sensors

Piemērā aprakstīts austs mitruma sensors un tā darbības princips, kas darbā izmantots nakts enurēzes sistēmas prototipa izstrādē.

Tekstila mitruma sensoru var projektēt pēc diviem darbības principiem: reaktīvās pretestības izmaiņas un divu elektrodu savienojums.

- Reaktīvās pretestības izmaiņas

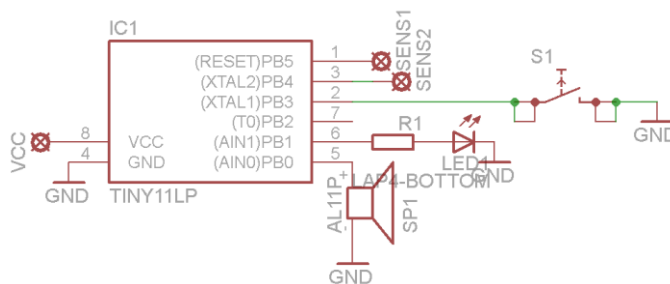
Sensors mēra izmaiņas elektriskajā pretestībā, kad tas kļūst mitrs. Elektriskās pretestības signāls ir proporcionāls faktiskajam mitrumam [119]. Mitruma sensoram ir režģveida struktūra, viena no iespējamajām sensora konfigurācijām parādīta 3.6. att. a. Šajā gadījumā ir svarīga pavediena elektriskās pretestības stabilitāte, jo ir nepieciešams konstatēt reaktīvās pretestības izmaiņas, kas pie noteiktas vērtības ieslēdz signālu. Kā parāda iepriekšējie eksperimenti, pētot elektrovadošo pavedienu elektrisko uzvedību [94], pavedieni kā elektrovadi ir diezgan nestabili (ar mainīgu elektrisko pretestību), līdz ar to pastāv kļūdas iespējamība.



3.6. att. Mitruma sensora veidi – a: reaktīvās pretestības izmaiņu princips; b: divu elektrodu savienojuma princips

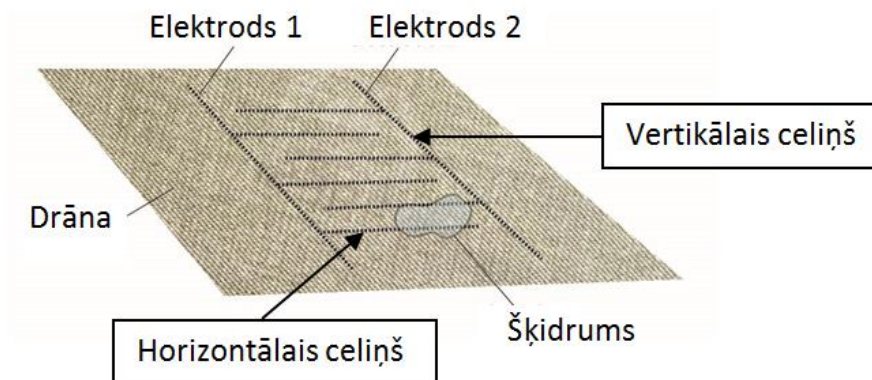
- Divu elektrodu savienojums

Sensors sastāv no diviem atsevišķiem elektrodziem, kas savā starpā nav savienoti. Šķidrums nokļūšana uz sensora virsmas veido elektrisku savienojumu starp abiem elektrodziem. Divu elektrodu sensora elektriskā ķēde ir parādīta 3.7.att.



3.7. att. Divu elektrodu sensora elektriskā ķēde

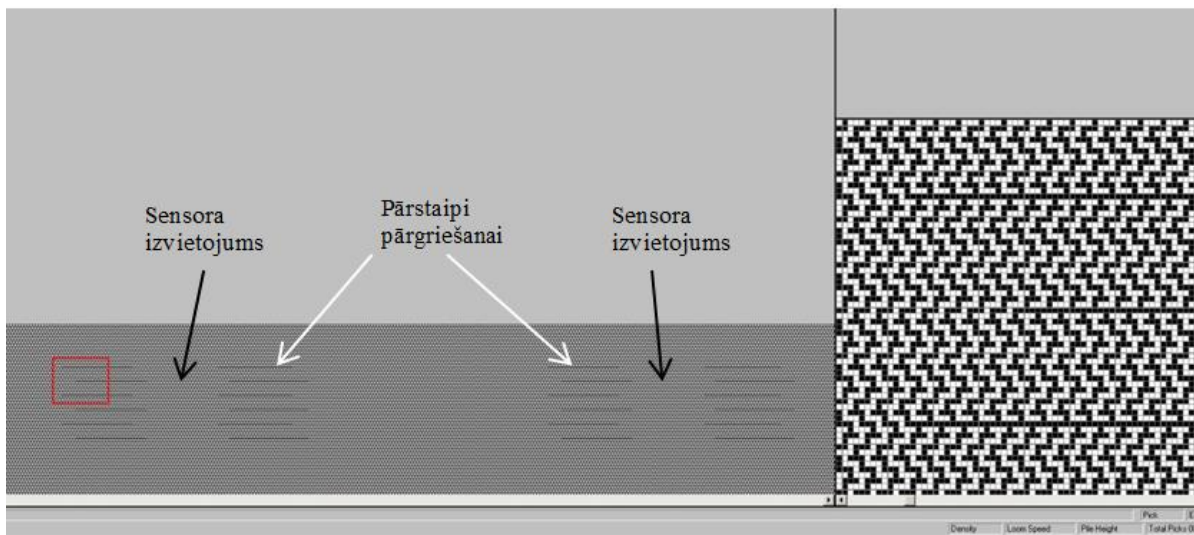
Sensora izgatavošanai izvēlēta otrā – divu elektrodu metode, kas ir precīzāka par pirmo (reaktīvās pretestības izmaiņu metodi), īpaši izmantojot elektrovadošo pavedienus. Sensora darbības princips grafiskā veidā parādīts 3.8. attēlā.



3.8. att. Mitruma sensora darbības princips

Sensora pamatdrāna veidota no kokvilnas pavedieniem, atsevišķās vietās projektējot elektrovadošus pavedienus audu un šķēru virzienā. Elektrovadošie pavedieni pinumā izkārtoti tādā veidā, ka pēc noaušanas elektrovadošo audu un šķēru pavedienu nepieciešamajās vietās var savienot, veidojot nepieciešamo sensora konstrukciju. Starp sensoriem projektētas garas audu pārsedzes, ko var pārgriezt un tādejādi ērtāk pievienot pie šķēru pavedieniem. Sensora

pinuma projekts programmā *PC-edit* ir redzams 3.9. attēlā. Tā kā tika izmantots abpusējais no sarža atvasinātais pinums, elektrovadošie audu pavedieni nav redzami no auduma kreisās puses – sensors ir izolēts ar tekstila pavedienu pārsedzēm. Par parauga labo pusi pieņemta tā puse, kur (vai kurai tuvāk) atrodas elektrovadošais pavediens.



3.9. att. Mitruma sensora projekts datorprogrammā PC-Edit

Starpsavienojumu izturība

Elektrovadītāju savienojuma veids elektroteksstilijās var būtiski ietekmēt sistēmas kvalitāti un datu vadīšanas precizitāti. Pētījumā analizēti vairāki elektrovadošo pavedienu starpsavienojuma veidi un to izturība, izmantojot mitruma sensora konstrukcijas paraugus.

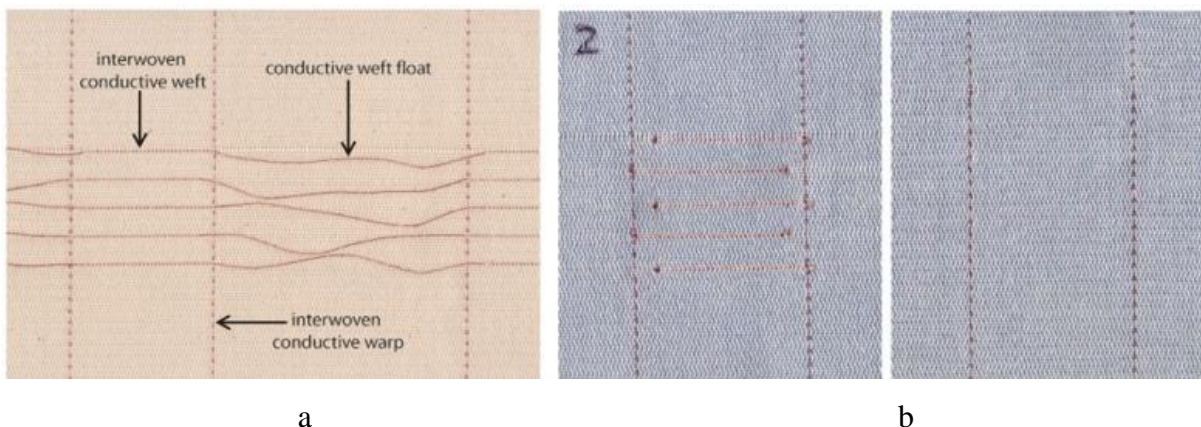
Elektrodu savienojuma vietas

Noaužot materiālu sensora elektrodu vertikālie un horizontālie celiņi ir atbilstoši jāsavieno. Veidojot tekstila elektrisko shēmu, svarīgi izprast ne tikai elektrovadošā pavediena elektrisko īpašību uzvedību, bet jādoma arī par elektrovadošo celiņu savienojuma vietu un veidu. No iepriekšējiem pētījumiem [94] secināts, ka elektrovadošā tekstila pavediena uzvedība var būt mainīga dažādu apstākļu / faktoru ietekmē (dūrienu garums šuvē, pamatmateriāla veids, stiepe utt.). Līdz ar to šim pētījumam izvēlēts vara pavediens ar stabilu elektrovadītspēju, lai elektriskās pretestības izmaiņas būtu saistītas tikai ar kontakta ciešumu nevis elektrovadošā pavediena īpašībām. Pavediens ir arī lodējams, kas ļauj realizēt dažādus

pavedienu savienošanas veidus – lodētu un mezgla savienojumu. Savienojuma veidi redzami 3.10.att. Sensora kopskats ar nesavienotiem un savienotiem elektrodiem redzams 3.11.att.



3.10. att. Elektroda kontaktu savienojuma veidi – a: mezgla savienojums austajā sensorā; b: mezgla savienojums austajā / šūtajā sensorā; c: lodēts savienojums austajā sensorā.



3.11. att. Sensora kopskats – a: sensors ar nesavienotiem elektrodiem no labās puses; b: ar sensors ar savienotiem elektrodiem no labās un kreisās puses

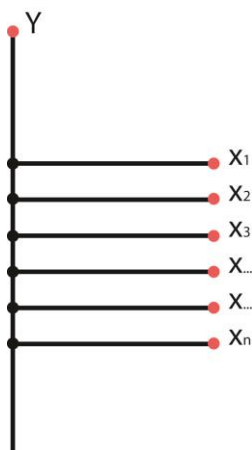
Mazgāšanas tests

Sensora mezgla un lodēto celiņu savienojumu uzvedības un izturības salīdzināšanai veikts mazgāšanas tests. Elektrisko kontaktu ciešums novērtēts ar elektrovadītspēju (sīmensos) starp vertikāliem un horizontāliem elektroda kontaktiem. Austas struktūras efektivitātes novērtēšanai, sagatavoti arī paraugi ar nošūtajiem vertikālajiem kontaktiem austo elektrovadošo šķēru pavedienu vietā. Paraugu raksturojumi doti 3.5. tabulā.

Paraugu raksturojums

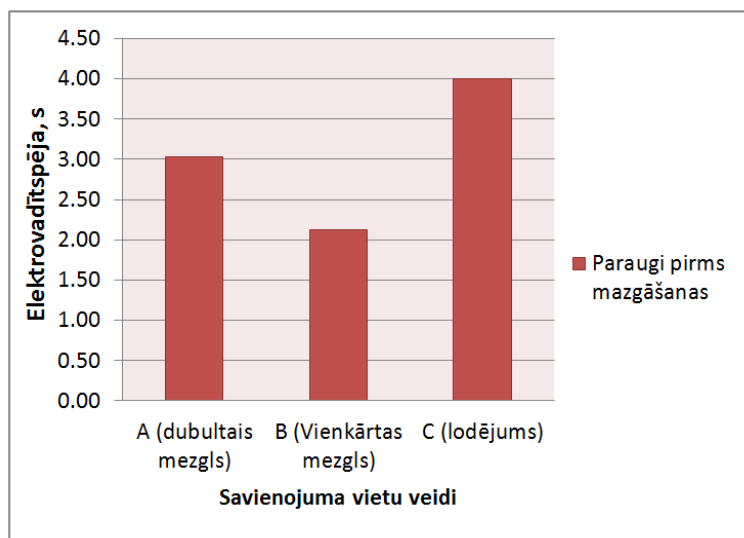
Parauga kods	Elektrovadošo pavedienu integrēšanas veids tekstilā	Vertikālo un horizontālo elektroda kontaktu savienojuma veids
A	Austs / šūts	Siets mezgls
B	Austs	Siets mezgls
C	Austs	Lodēts
D	Austs / šūts	Lodēts

Elektriskā savienojuma ciešuma pārbaudei mērīta paraugu elektriskā pretestība (Ω), izmantojot divkontakta digitālo multimetru. Sensora elektrodu kontaktu ciešums novērtēts ar elektriskās pretestības izmaiņām starp savienotajām kontaktvietām pirms mazgāšanas un pēc katras mazgāšanas reizes (kopā 10 mazgāšanas cikli). Mērījumu vietu shēma parādīta 3.12. attēlā – elektriskā pretestība mērīta starp punktiem Y un $X_{(1...n)}$. Izmantojot formulu (5), dati pārrēķināti elektrovadītspējas mērvienībā sīmenss (s).



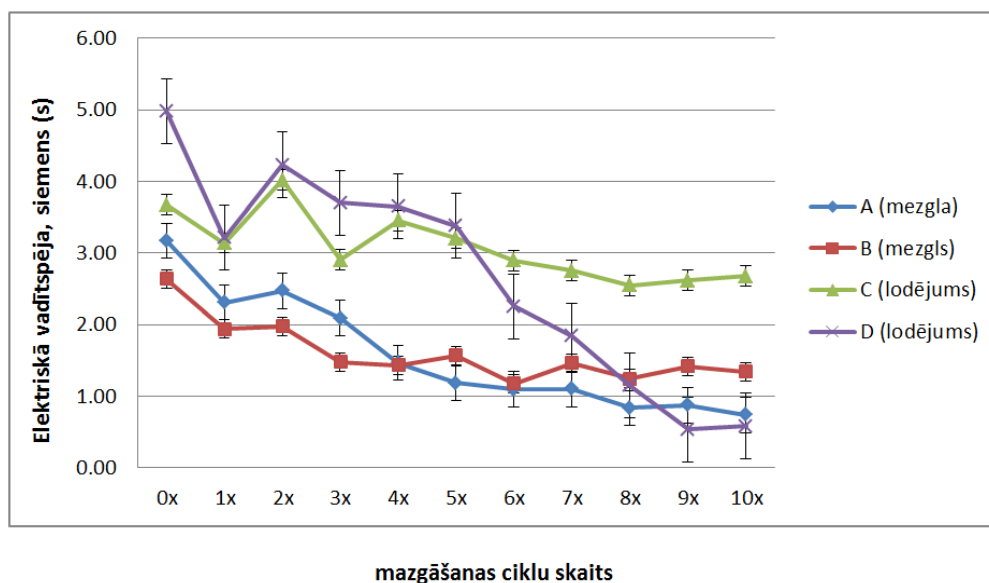
3.12. att. Mērījumu vietu shēma

Visaugstākā elektrovadītspēja pirms mazgāšanas konstatēta starp lodētiem savienojumiem – vidēji 4 sīmensi, savukārt starp dubultā mezgla savienojumiem – vidēji 3,04 sīmensi, starp vienkārtējā mezgla savienojumiem – vidēji 2,12 sīmensi. Elektrovadītspēja starp savienotajiem kontaktiem pirms mazgāšanas parādīta grafikā 3.13. attēlā.



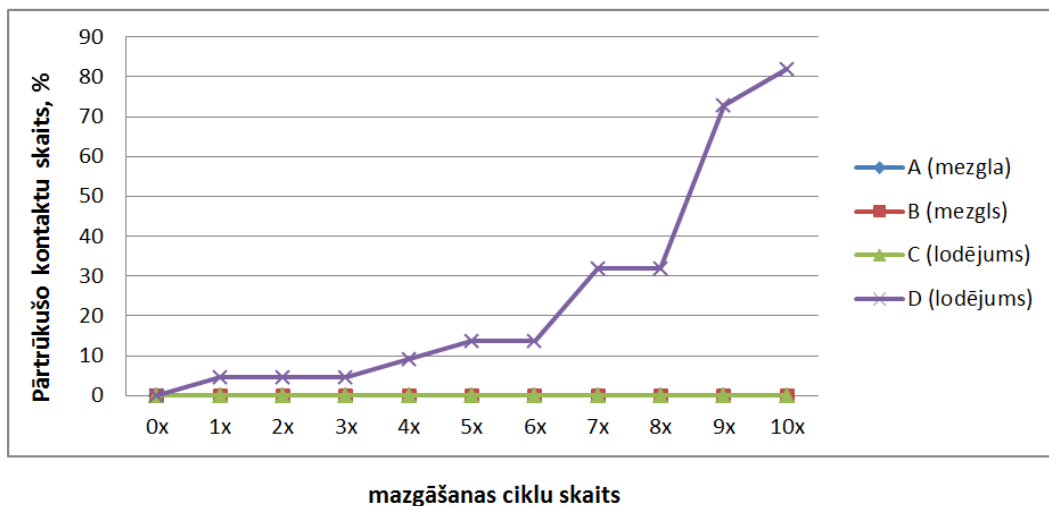
3.13. att. Elektrovadītspēja starp savienotajiem kontaktiem pirms mazgāšanas

Pēc mazgāšanas testa paraugi analizēti, sadalot tos arī pēc elektrovadošo šķēru pavedienu integrēšanas veida, jo kontaktu izturība atkarīga arī no elektrovadošā pavediena sasaistes ar tekstilijas pamatni. Kopā analizētas 4 paraugu grupas, katrā grupā mērīti 20 - 24 paraugi, katram paraugam veikti 3 atkārtoti mērījumi. Mazgāšanas testa rezultāti redzami 3.14. attēlā.



3.14. att. Elektrovadītspēja pēc mazgāšanas

Pēc mazgāšanas mezglu kontaktu savienojumu ciešums samazinājās, tomēr pārtrūkuši kontakti netika novēroti. Savukārt lodēto savienojumu elektrovadītspējas izmaiņa saistīta ar kontakta pārtrūkšanu, veseliem kontaktiem līdz 7. mazgāšanas reizei netika novērotas būtiskas pretestības izmaiņas. Grafikā (3.15.att.) ir redzams pārtrūkušo kontaktu skaits procentos visām paraugu grupām.

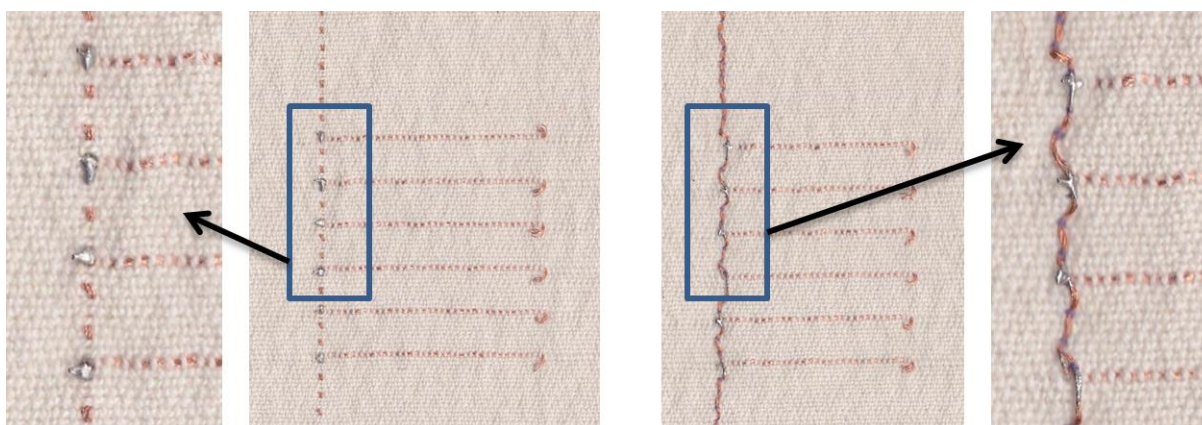


3.15. att. Pārtrūkušo kontaktu skaits pēc mazgāšanas, %

Savienojumu izturība ir atkarīga arī no elektrovadošo pavedienu integrēšanas veida tekstilijā. Kā redzams 3.14.attēla grafikā, visvājākā elektrovadītspēja pēc 10 mazgāšanas cikliem ir paraugu grupai A (mezglis) un D (lodēts), kur vertikālais elektrovadošais pavediens ir nošūts ar šujmašīnu. Tā kā šūtajos paraugos elektrovadošais pavediens atrodas uz tekstilijas virsmas nevis iestrādāts tekstilijas struktūrā (kā austajā paraugā), tas ir vairāk pakļauts ārējām mehāniskajām iedarbībām.

Kontakta izturību ietekmē arī auduma sarukums pēc mazgāšanas. Kokvilnas audums pēc pirmās mazgāšanas reizes saruka par 12% šķēru virzienā un par 5% audu virzienā, savukārt vara pavedieni nesaruka. Šuvē, kad pavediens nav iestrādāts auduma struktūrā un veido izlocītu formu pamatauduma sarukuma dēļ, elektrovadošais pavediens var deformēties lodējuma vietā mehānisko iedarbību (piemēram, lieces, berzes) rezultātā. Austajā struktūrā pavediena savienojuma vieta ir daļēji nosepta, līdz ar to tā ir vairāk pasargāta. Kā redzams 3.25. grafikā, visstraujākais vadītspējas kritums ir paraugu grupai D – no 4,98 s uz 0,59 s, kas saistīts ar pavediena deformāciju lodējuma vietā. Piemēram, vienā no grupas D paraugiem,

viena kontakta bojājuma rezultātā pārtrūkst signāls arī zemāk esošajos kontaktos. Paraugu horizontālie celiņi shēmā ir saslēgti virknē, līdz ar vertikālā celiņa bojājumu pārtrūkst kontakts ar zemāk esošajiem celiņiem. Tā kā lodējums pavedienu krustošanās punktā veido cietu vietu, pavediens šajā vietā ir pakļauts berzei un pēc kāda laika tas var notrūkt no lodējuma. Ieaustajā pavedienā daļa lodētā savienojuma ir nosepta ar audu pavedienu pārse dzēm. Austs un šūts / auster paraugs ar lodētiem savienojumiem pēc 10 mazgāšanas reizēm ir parādīts 3.16. attēlā.



3.16. att. Austs un šūts / auster paraugs ar lodētiem savienojumiem pēc 10 mazgāšanas reizēm

Rezultātā var secināt, ka lodēts savienojums nodrošina teicamu elektrisko kontaktu, taču, integrējot sistēmu tekstilijā, tā ir pakļauta mehāniskām deformācijām (piemēram, liecei), kā rezultātā kontakts pārtrūkst. Savukārt mezgla savienojuma elektriskā vadītspēja samazinās pakāpeniski, kas saistīts ar to, ka mezgls ar laiku kļūst vaļīgāks. Pēc paraugu ekspluatācijas testa var secināt, ka austas elektrotekstilijas struktūra uzlabo gan lodētu, gan mezgla elektrovadošo pavedienu kontaktu izturību, jo pavediena kontaktvietas ir daļēji noseptas ar tekstila pavedieniem. Austajos paraugos elektrovadošie pavedini atrodas tekstilijas struktūrā un neveido papildus reljefu uz tekstilijas virsmas, kas uzlabo arī elektrotekstilijas taktilumu.

Prasības ērtai tekstila sensora sistēmai

Integrējot sensorus tekstilizstrādājumā, jāievēro komforta nosacījumi, lai izstrādājums pildītu savas funkcijas un nemazinātu valkātāja labsajūtu. Zemāk aprakstīti viedo tekstilizstrādājumu sistēmas komfortu un drošību ietekmējošie faktori, kā arī izstrādātas

rekomendācijas sistēmas projektēšanas uzlabošanai. Analīze veikta uz mitruma sensora piemēra nakts enurēzes (urīna nesaturēšanas) modinātāja sistēmai. Nakts enurēze, problēmas apraksts, esošie risinājumi un to nepilnības ir apkopotas 1.pielikumā. Darbā piedāvātās rekomendācijas var piemērot projektējot arī citu sensoru veidu sistēmas.

Viedā tekstilizstrādājuma sistēmas komforta nosacījumi

Tekstilizstrādājuma valkāšanas komfortu ietekmējošie faktori ir atkarīgi no vairākiem aspektiem: sensoriālais jeb taustes, higiēniskais, kustības, estētiskais [141] utt., kurus jāievēro, izvēloties produkta materiālus, projektēšanas tehnoloģijas un sistēmas izvietošanu izstrādājumā. Zemāk aprakstīti sensoru sistēmas komfortu un drošību ietekmējošie aspekti:

- *Sensoriālais jeb taustes aspekts.* Vadi pārsvarā ir stīvi un neelastīgi, līdz ar to tie samazina izstrādājuma lietošanas ērtumu. Vadu esamība naktsveļā vai pidžamā var psiholoģiski ietekmēt pacientu, radot nepatiku pret izstrādājumu. Tas var samazināt ārstēšanas efektivitāti, jo svarīga ir pacienta vēlme piedalīties terapijā. Līdz ar to savienojumi jāintegrē izstrādājuma struktūrā, lai tie būtu pēc iespējas mazāk jūtami. Jāievēro arī izmantotās drānas taustuma īpašības: mīkstums, stīvums, gludums, raupjums, asums, utt., kas ietekmēs izstrādājuma valkāšanas ērtumu.

- *Higiēniskais aspekts.* Palielināta svīšana miega laikā var radīt sistēmas kļūdu, piemēram, radot viltus trauksmi tekstila sensoru sistēmās, kuras reaģē uz mitrumu / šķidrumiem. Citās sistēmās pastiprināta svīšana var izraisīt īssavienojumu blakus esošajos neizolētajos savienojumos. Laba mitruma vadāmība ir svarīga tekstilmateriāla īpašība – no ķermeņa tiek aizvadīts liekais mitrums. Sporta apģērba un apakšveļas izstrādei ir piemērotas modificēto šķiedru drānas, kas uzsūc lieko mitrumu – sviedrus [141]. Līdz ar to sviedri iztvaiko ātrāk un mazāk uzkrājas uz apģērba virsmas – tādejādi samazinās viltus trauksmes / īssavienojuma iespējamība.

- *Kustības aspekts.* Ja pie naktsveļas pievienotie elementi ir cieti un neelastīgi, pasliktinās tā valkātāja miega kvalitāte, it īpaši kustību laikā. Kustība ietekmē arī sistēmas darbības drošību – ja miegs ir nemierīgs, ieliekamie vai piespraužamie moduļi var atdalīties un pazust gultā, sistēmas savienojumi var pārtrūkt, sensora sistēmas ierīce var atvienoties utt.

- *Estētiskais aspekts.* Vizuāli sistēmai jābūt iespēji neuzkrītošai, novēršot valkātāja psiholoģisko diskomfortu. Izstrādājumam jābūt arī ar pārdomātu dizainu, radot valkātājā vēlmi to lietot.

- *Drošības aspekts.* Drošu apģērbu izstrādei ieteicams neizmantot garas auklas, kas var radīt nopietnus negadījumus, ja aukla iesprūst apkārtesošajos objektos [30]. Piemēram, esošajās nakts enurēzes modinātāja sistēmās apakšbikšu un kreklu savienojošie vadi atrodas kakla zonā un nemierīga miega laikā var radīt drošības risku [125]. Savukārt bezvadu sensori ir lielāki pēc izmēra (jo ir nepieciešams barošanas avots un papildus elektronika), kas samazina sensora lietošanas ērtumu. Bīstamas ir arī modinātāja ierīces, kas pievienotas pie apģērba ar drošības adatu – adatas atvienošanās gadījumā valkātājs var gūt nopietnas traumas.

Pēc esošo modinātāja sistēmu analīzes (1.pielikums) un komforta nosacījumu izpētes tika doti sekojoši tekstila sensoru sistēmas projektēšanas ieteikumi:

1. Enurēzes modinātāja sensora projektēšanas ieteikumi.

Svarīgi izvēlēties atbilstoša izmēra sensoru – ja sensors ir pārāk mazs, tas var neuztvert urinēšanas sākumu, savukārt, ja tas ir pārāk liels, tas var radīt diskomfortu tā lietošanas laikā [91]. Sensors ir jāizvieto tajā zonā, kas visvairāk ir pakļauta saskarei ar pirmajiem urīna pilieniem. Piemērots risinājums ir sensora integrēšana apakšbikšu staklē, izmantojot elektrovadošo materiālu, kas būtu piemērots iestrādāšanai tekstilijā. Elektrovadošos kontaktus vai elektrisko ķēdi iespējams integrēt tekstilijā, izmantojot dažādas tehnikas: elektrovadošā materiāla drukāšana vai laminēšana, elektrovadošo pavedienu ieadīšana, ieaušana, nošūšana, izšūšana u.c.

Izmantojot tekstilijai piemērotus elektrovadošos materiālus (elektrovadošo pārklājumu vai pavedienus), jāņem vērā arī to īpašības – tiem jābūt pietiekami plāniem un izturīgiem, ar labām elektrovadīšanas īpašībām, kā arī jābūt izturīgiem pret dažādiem vides faktoriem (mitrums, berze, liece, stiepe, utt.). Kā tika konstatēts iepriekšējā pētījumā [94], elektrovadošo pavedienu elektrovadītspējas uzvedība var būt atšķirīga dažādās šuvēs, tāpēc pirms to izmantošanas tekstila elektriskajās shēmā ir svarīgi noskaidrot pavediena īpašības un tā uzvedību. Elektrovadošā pavediena elektriskā pretestība var būt atkarīga no dažādiem mainīgiem faktoriem: diegu veids, dūriena garums, paketes slāņu skaits, integrēšanas metode utt.

2. Enurēzes modinātāja ierīces projektēšanas ieteikumi.

Enurēzes modinātāja ierīce ir ievietota plastmasas korpusā – daži korpusi ir lielāki, daži mazāki, taču visi ir cieti un neelastīgi. Attīstoties viedtekstiliju un viedapģērba nozarei, šobrīd pastāv dažādi risinājumi elastīgu elektronisko shēmu projektēšanai, ko var izmantot

modinātāja izstrādei, uzlabojot sistēmu. Enurēzes modinātāja sistēmas uzlabošanai ir jāveic šādi uzdevumi: izstrādāt elastīgu modinātāja ierīces moduli, cietos vadus aizstāt ar elektrovadošajiem pavedieniem, integrēt konektorus un elektrovadošos celiņus tekstilmateriālā. Kaut arī daži sistēmas elektronikas elementi joprojām paliks cieti (piemēram, skaļrunis, vadības shēmas elements u.c.), moduli var padarīt elastīgāku, izvietojot šos elementus uz elastīgās PCB plates vai uz shēmas, kas uzdrukāta ar elektrovadošo tinti uz elastīgas pamatnes. Lai nodrošinātu sistēmas aizsardzību no ārējās vides nesamazinot moduļa elastīgumu, moduli var iekapsulēt elastomērā, piemēram, silikonā.

Mitruma sensora projektēšana

Veidojot tekstila sensoru šķidrums uzraudzīšanai, īpaši svarīga ir pamatdrānas šķidrums absorbcijas spēja, no kā ir atkarīgs sensora ieslēgšanās ātrums – cik ātri šķidrums pilieni iesūksies drānā un izplatīsies pa tekstilijas pamatni, veidojot kontaktu starp abiem elektrodiem. Šķidrums absorbciju ietekmē divas materiāla īpašības: materiāla absorbcijas spēja neatkarīgi no laika un ūdens uzsūkšanas ātrums [107]. Mitruma sensora izstrādei svarīgs ir otrais aspekts.

Sensors paredzēts integrēšanai palagā vai apakšbiksēs, līdz ar to jāizvēlas pielietojumam atbilstošs pamatmateriāls. Visbiežāk gultasveļā izmanto 100% kokvilnas un lina šķiedras. To galvenokārt nosaka šķiedru īpašības: laba ūdens un ūdens tvaiku uzsūkšanas spēja, laba gaisa caurlaidība, laba siltumvadāmība un ir pieļaujama augstas temperatūras iedarbība mazgājot un gludinot [11].

Tekstila sensora projektēšanai izmantota kokvilnas drāna (šūšanai / izšūšanai) un kokvilnas pavedieni (aušanai), jo kokvilnai ir labas mitruma uzsūkšanas īpašības un tā ir piemērota gultas veļas un apakšveļas izgatavošanai. Elektriskajiem kontaktiem izmantoti elektrovadošie pavedieni (N2-N5 no 2.1.tabulas).

Integrējot sensoru apakšveļā, tas atrodas ciešā kontaktā ar cilvēka ķermeni, līdz ar to, higiēnas un komforta prasību ievērošanai nepieciešams nodrošināt pēc iespējas mazāku saskari starp elektrovadošajiem pavedieniem un cilvēka ķermeni. Taču tajā pašā laikā būtisks ir arī signāla uztveres ātrums – šķidrums saskares ātrums ar elektrovadošajiem pavedieniem.

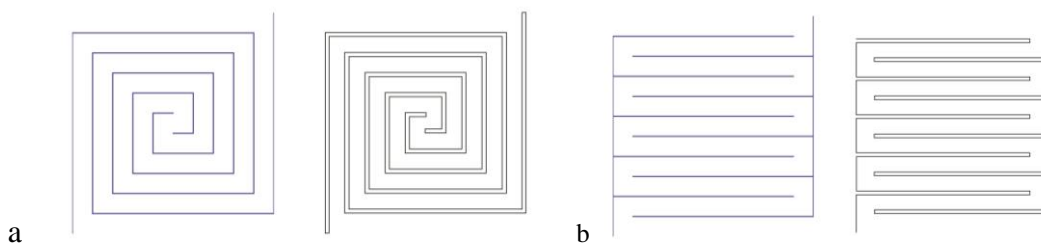
Sensora paraugi

Sensora projektēšanas eksperimenta ietvaros izveidoti izšūti, šūti un austi sensora paraugi. Pirmajiem paraugiem izmantotas dažādas elektrodu konfigurācijas (A un B, 3.17.att.), elektrovadošo pavadīnu veidi (N2-N5) un attālums starp paralēlajām šuvēm (0 un 2 mm). Paraugi un to projektēšanas procesi raksturoti 3.6.tabulā.

3.6. tabula

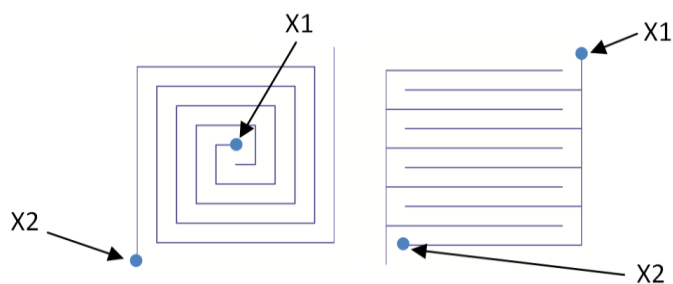
Paraugi un to projektēšanas procesi

Integrēšanas tehnoloģijas veids	Izšūts	Šūts	Austs
Pamatmateriāls	Kokvilnas drāna	Kokvilnas drāna	Kokvilnas pavedieni
Elektrovadošais pavediens	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	-	-



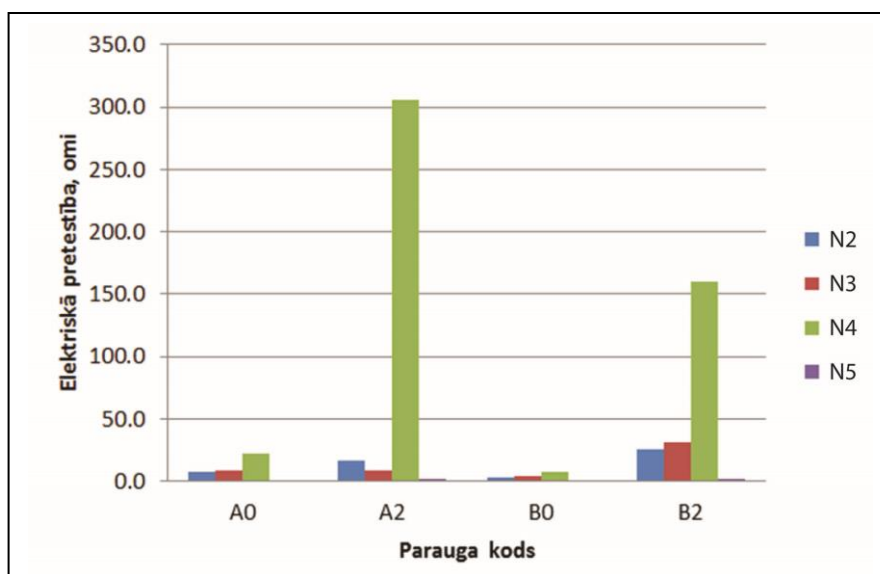
3.17. att. Sensora konfigurāciju tehniskie zīmējumi: a – spirāles veida; b – ķemmes veida

Mērīta paraugu elektriskā pretestība no elektroda sākuma punkta (X1) līdz beigu punktam (X2), kā attēlots 3.18.att.



3.18. att. Paraugu elektriskās pretestības mērījumu vietas

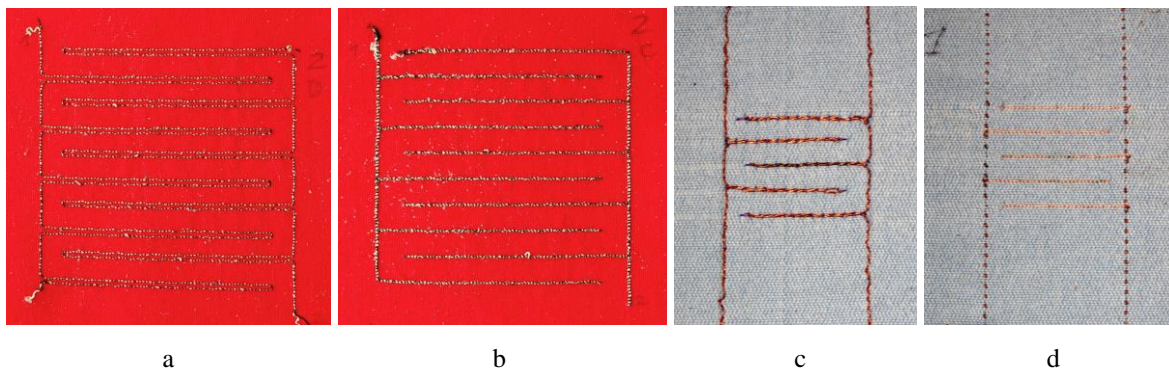
Attēlā 3.19. redzams, ka elektriskā pretestība atšķiras ne tikai pēc pavedienu veida, bet arī pēc attāluma starp paralēlām šuvēm. Iepriekš minēts (3.1. nodaļa: *Viedo tekstilizstrādājumu elektronisko kontaktu izpēte*), ka cieši blakus paralēli nošūtas šuves samazina kontakta elektrisko pretestību, līdz ar to paraugiem A0 un B0 elektriskā vadītspēja ir augstāka.



3.19.att. Paraugu elektriskā pretestība. N2, N3, N4, N5 – pavedienu veids; A0, A2, B0, B2 – parauga kombinācija

No visiem elektrovadošo pavedienu veidiem vislabākā elektrovadītspēja ir vara pavedieniem (N5, paraugu elektriskā pretestība 0,2 – 1,9 Ω /elektrods), tādēļ tie izmantoti nākošajiem paraugiem. Būtiskas atšķirības starp abiem konfigurācijas veidiem (spirāles un ķemmes tipa) netika novērotas, kā arī, tā kā austiem paraugiem uz pieejamām iekārtām nav

iespējams izveidot spirāles tipa konfigurāciju, nākošajiem paraugiem izmantota ķemmes veida konfigurācija. Daži no izgatavotajiem paraugiem attēloti 3.20.att.



3.20. att. Mitruma sensora paraugi: a, b – izšūts; c – šūts; d - austs

Mitruma sensoru ieslēgšanās ātruma pārbaude

Testējot senora ieslēgšanās ātrumu, izmantoti mazgāti un nemazgāti paraugi testējot tos no labās un no kreisās sensora puses un fiksējot pievadītā sprieguma (V) izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas. Datu atspoguļošanai spriegums pārveidots elektriskajā pretestībā (Ω). Paraugi raksturoti 3.7.tabulā. Paraugiem S1-S9 izmantots elektrovadošais pavediens N5, paraugam S10 - elektrovadošais pavediens N2. Par parauga labo pusi pieņemta tā puse, kur (vai kurai tuvāk) atrodas elektrovadošais pavediens.

3.7.tabula

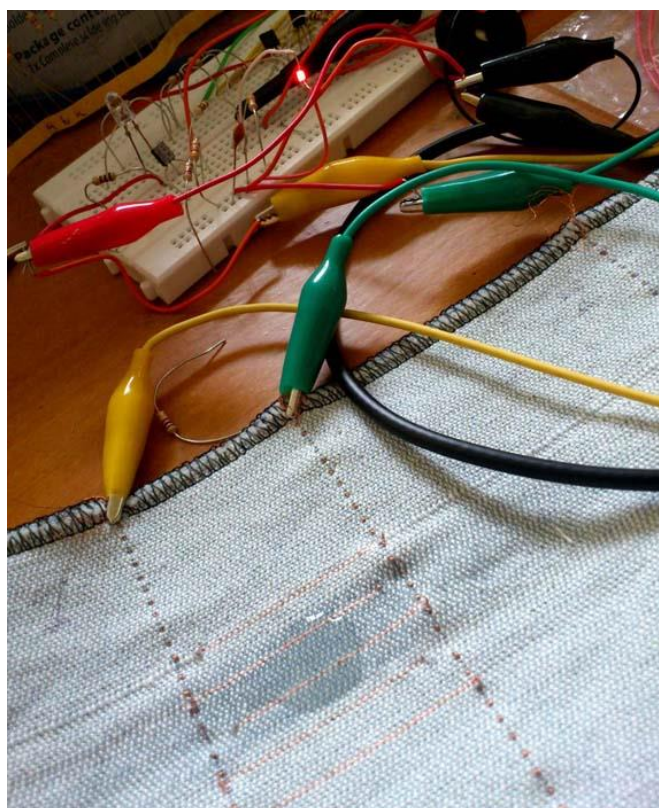
Paraugu raksturojums

Nr	Veids	Pamatmateriāls	Testējamā puse		Stāvoklis	
			Labā	Kreisā	Mazgāts	Nemazgāts
S1	Austs	k/v 300 dtex x2	X		X	
S2	Austs	k/v 300 dtex x2		X	X	
S3	Austs	k/v 300 dtex x2		X		X
S4	Austs	k/v 300 dtex x2	X			X

Nr	Veids	Pamatmateriāls	Testējamā puse		Stāvoklis	
			Labā	Kreisā	Mazgāts	Nemazgāts
S5	Austs	k/v 280 dtex x 2	X		X	
S6	Šūts	k/v 300 dtex x2		X	X	
S7	Šūts	k/v 300 dtex x2		X	X	
S8	Šūts	k/v 300 dtex x2		X	X	
S9	Šūts	k/v 300 dtex x2	X		X	
S10	Šūts	k/v 300 dtex x2		X		X

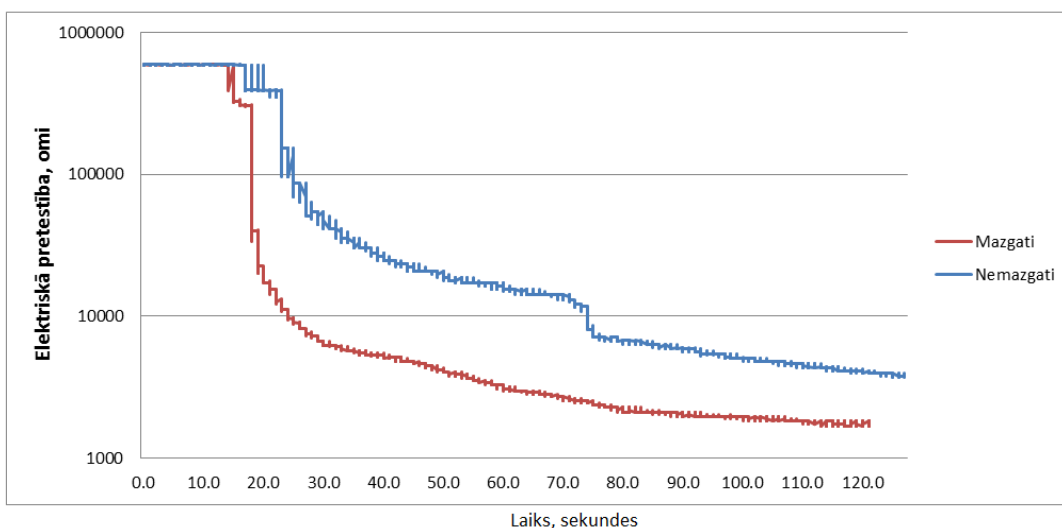
Sensora pārbaudes eksperiments redzams 3.21.att. Izveidojoties elektriskajam savienojumam, ieslēdzas LED indikators.

Būtiski zināt, kāda ir slapja sensora faktiskā elektriskā pretestība – tas ļauj izstrādāt atbilstošu elektrisko ķēdi, kas kontrolē sensoru stāvokli.



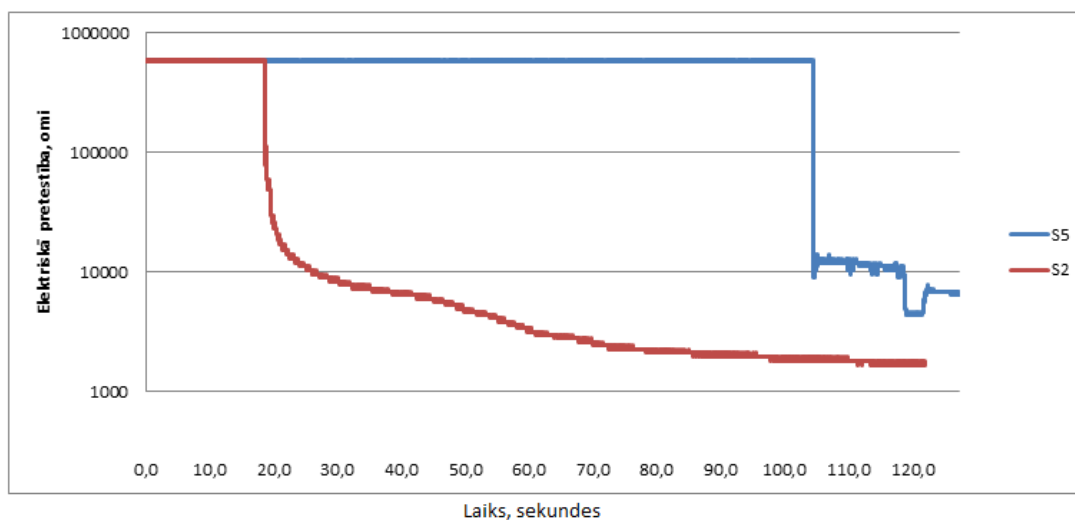
3.21. att. Sensora pārbaudes eksperiments

Sensora elektriskās pretestības izmaiņas pēc šķidruma uzpilināšanas redzamas 3.22. grafikā. No iepriekšējā pieredzes secināts, ka mitruma uzsūkšanos un izplatīšanos pa tekstila virsmu var ietekmēt parauga mazgāšana pēc noaušanas (atbrīvojoties no tehnoloģiskajā procesā izmantotajām vielām, piemēram, eļļas), kas lielākoties palielināja mitruma iesūkšanās ātrumu. Taču, kā tas redzams 3.22. grafikā, fiksējot signāla ieslēgšanos austiem mazgātiem (15 sekundes) un nemazgātiem paraugiem (18 sekundes), ieslēgšanās ātruma atšķirība ir neliela – 3 sekundes. Sākotnējais posms, kurā pretestība ir ļoti augsta un nemainīga faktiski atbilst atslēgtam stāvoklim, kad pretestība ir bezgalīga. Pēc signāla ieslēgšanas elektriskā pretestība straujāk pazeminājās mazgātajiem paraugiem.



3.22. att. Pretestības izmaiņas pēc šķidruma uzpilināšanas, pirmais eksperiments

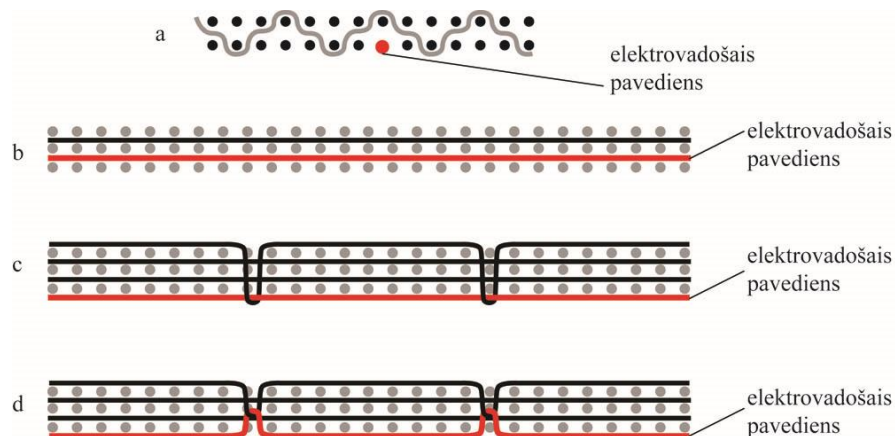
Šķidruma iesūkšanās un izplatīšanās ātrumu uz tekstila virsmas būtiski ietekmē šķiedras veids. Ir iespējams iegūt dažādus rezultātus, izmantojot arī vienāda sastāva šķiedras. Austie sensori izgatavoti divās pamatmateriāla pavedienu variācijās (sensora elektrību nevadošai pamatnei), izmantojot kokvilnas pavedienus ar līdzīgu struktūru: 300 dtex x2 un 280 dtex x 2. Kā redzams grafikā (3.23.att) sensoriem ir dažāds signāla uztveršanas ātrums - paraugs S2 (kokvilna 300 dtex x2) uzsūc šķidrumu ātri – signāla uztveršanas ātrums ir 18 sekundes, savukārt parauga S5 (kokvilna 280 dtex x 2) šķidruma uzsūkšanas ātrums ir lēns - signāla uztveršanas ātrums ir 105 sekundes.



3.23. att. Pretestības izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas dažādos k/v pavedienu paraugos

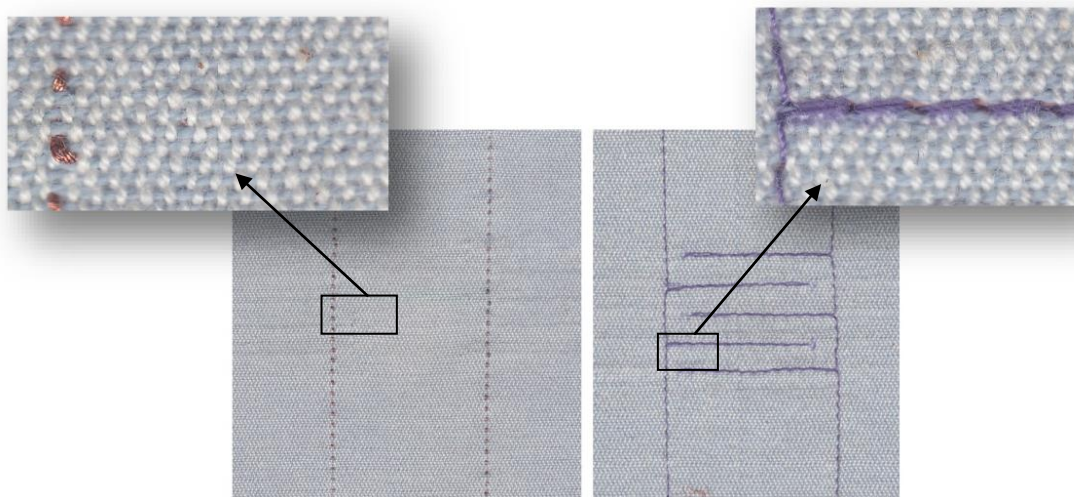
Atšķirīgs signāla uztveršanas ātrums ir arī austajos un šūtajos sensoros. Šūtajos paraugos ir lielāks signāla uztveršanas ātrums – testējot sensorus no parauga labās puses, signāls ieslēdzas pēc 8,7 sekundēm, no parauga kreisās puses signāls ieslēdzas pēc 12,5 sekundēm. Savukārt austajos paraugos testējot sensorus no labās puses signāls ieslēdzas pēc 15 sekundēm, no kreisās puses – pēc 17,7 sekundēm. Pretestības izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas šūtajos un austajos paraugam redzamas 3.27.att. (L – no parauga labās puses, K – no parauga kreisās puses). Reālos apstākļos šķidrums iesūksnās un sistēmas ieslēgšanās notiktu krietni ātrāk. Minētā pārbaudes metode (pilinot 4 pilienus) izvēlēta eksperimentam objektīvai dažādu paraugu struktūru salīdzināšanai. Iegūtās sensora elektriskās pretestības izmaiņas un vērtības tiks izmantotas tālākajai sensora shēmas projektēšanai – ja ir zināms, pie kādas pretestības ķēde ieslēdzas, iegūtos datus var izmantot mitruma sensora sistēmas ieslēgšanas ķēdē.

Pavediena integrēšana tekstilijā ar slēgdūriena šuvi (iešūšanu un izšūšanu) un ar ieašanu grafiskā veidā attēlota 3.24.att. Kā redzams, drānu struktūra ir dažāda un pavedienam izvietojums atšķirīgs. Austajā paraugā izmantots abpusējais sarža pinums un elektrovadošie audu pavedieni nav redzami auduma kreisajā pusē, līdz ar to viena sensora puse ir izolēta ar tekstila pavedienu pārsedzēm. Audumam ir raksturīga devītā fāze, kad šķēru pavedieni apvij neizliktos audu pavedienus, līdz ar to elektrovadošais pavediens atrodas starp šķēru sistēmām un veido vienmērīgu virsmu. Slēgdūriena šuvē elektrovadošā pavediena (apakšējais diegs) izvietojums atkarīgs no šuves balansa. To var ietekmēt diegu nostiepums šujmašīnā vai diegu rupjums.



3.24. att. Paraugu drānas struktūra - a: austā sensora šķērsgriezums šķēru virzienā; b: austā sensora šķērsgriezums audu virzienā; c: šūtā sensora šķērsgriezums ar nebalansētu šuvi; d: šūtā sensora šķērsgriezums ar balansētu šuvi

Paraugi no kreisās puses un to fragmenti palielinājumā ir attēloti 3.25.att. Kā redzams, austajā paraugā elektrovadošais pavediens neparādās drānas kreisajā pusē, bet šūtajā paraugā no kreisās puses parādās elektrovadošā pavediena cilpas, līdz ar to mitrums ātrāk to var sasniegt.

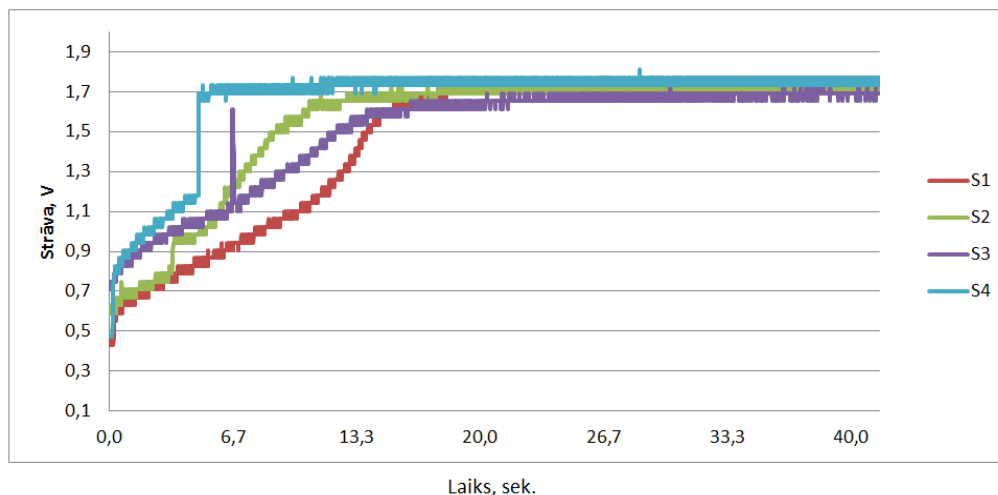


3.25. att. Paraugi no kreisās puses – a: austs sensors; b: šūts sensors

Pēc šķīduma uzpilināšanas austajos sensoros tas vairāk izplatās Y ass virzienā, līdz ar to sākotnēji savienojas vertikālie šķēru elektrovadošie pavedieni, pēc tam šķīdums pamazām izplatās arī X ass virzienā, savienojot horizontālos elektroda kontaktus. Projektējot mitruma

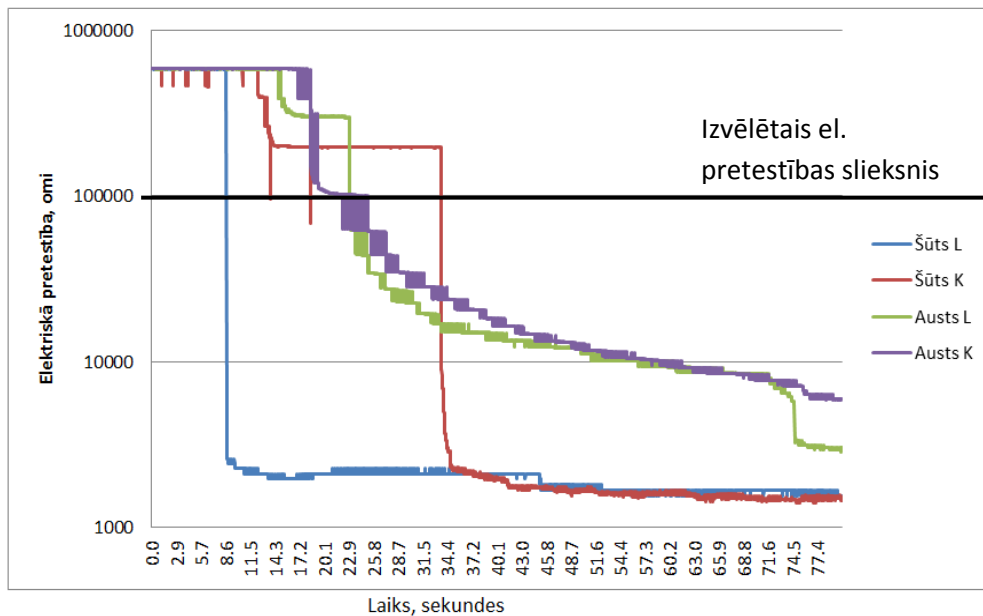
sensoru, ir jāņem vērā elektrodu izvietojums atkarībā no tā konfigurācijas un tekstila mitruma uzsūkšanas un vadīšanas īpašībām. Šajā gadījumā, lai paātrinātu signāla uztveršanu, būtu nepieciešams mainīt sensora elektrodu audu un šķēru kontaktu izvietojumu, jo šķīdums ātrāk izplatās audu virzienā.

Otrajam sensora ieslēgšanās ātruma eksperimentam izveidota ķēde ar tranzistora pastiprinātāju, kas pastiprina no sensora izejošo signālu, signalizējot par signālu ar LED indikatoru. Signāls tika fiksēts ar osciloskopu, dati attēloti 3.26. att. Kā redzams, pastiprinājums palielina sistēmu jutību – tā ātrāk reaģē uz sensora elektriskās pretestības izmaiņām. Kaut arī ar šo ķēdi signāls tiek uztverts ātrāk, ar šādu uzvedību būs grūti noteikt viltus trauksmi, piemēram – svīšanu. Līdz ar to tika nolemts tranzistoru neizmantot, lai vieglāk būtu atšķirt signālus par svīšanu un urinēšanu.



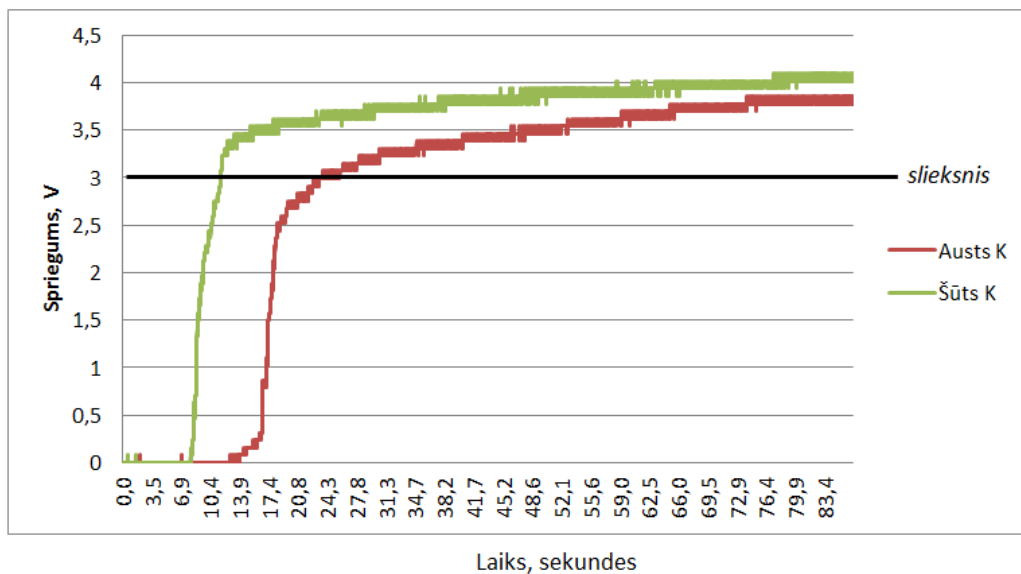
3.26. att. Sprieguma izmaiņas pēc šķīduma uzpilināšanas

Pēc pirmā eksperimenta izvēlēts elektriskās pretestības līmenis (3.27.att.) un sistēmas shēmai tiks izmantots 100 K Ω rezistors. Rezistors nosaka diapazona mērogu – sprieguma vērtību, kas tiek padota mikrokontrolierim, kad sensora elektriskā pretestība ir 100 k Ω . Ievietojot shēmā sprieguma dalītāju, kur vienam no rezistoriem pretestība ir 100 k Ω , panākts, ka ieejas spriegums samazināsies uz pusi, kad sensora pretestība sasniegs 100 k Ω , kas atvieglos sistēmas aktivizācijas smalkāku regulēšanu ar mērķi izvairīties no viltus trauksmes svīšanas rezultātā.

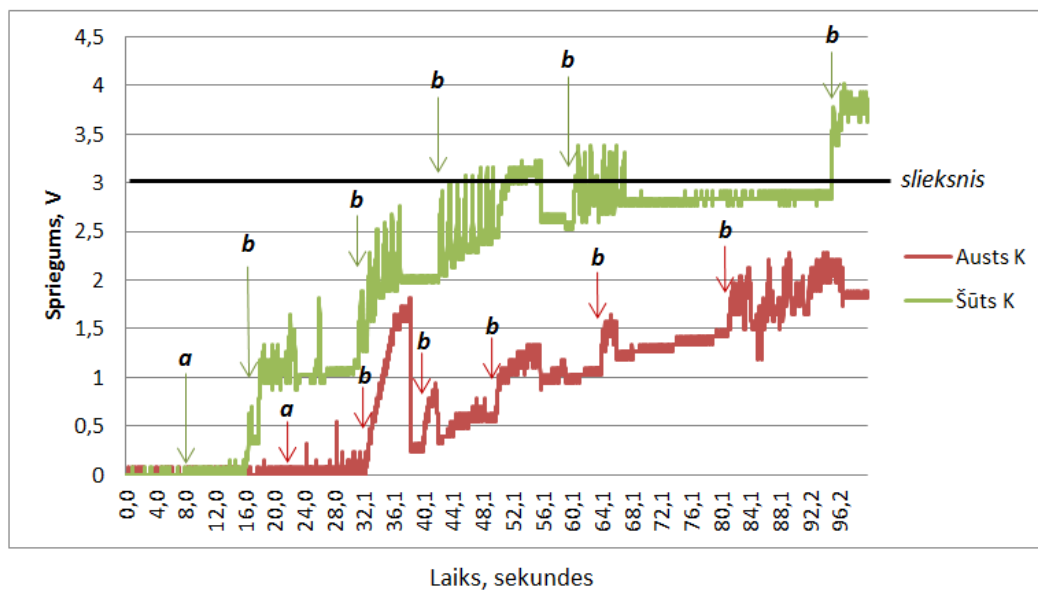


3.27. att. Pretestības izmaiņas pēc ūdens uzpildināšanas šūtajiem un austajiem paraugiem

Izveidota sensora sistēmas shēma un veiktas divas sensora pārbaudes: sistēmas ieslēgšanas tests un viltus trauksmes tests ar mērķi noteikt sistēmas jūtīgumu un ieslēgšanās robežu. Rezultāti redzami 3.28.att. un 3.29.att.



3.28.att. Sistēmas ieslēgšanas tests

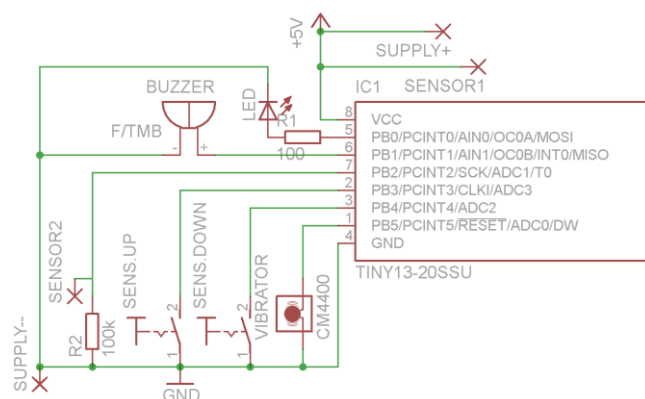


3.29.att. Viltus trauksmes tests – a: sprieguma izmaiņas vieglas berzēšanas laikā; b: sprieguma izmaiņas pēc nospiešanas

Viltus trauksmes tests veikts, lai noteiktu, kāda ir sensora reakcija svīšanas laikā. Svīšanas apstākļi simulēti, pieskaroties sensora virsmai ar nedaudz samitrinātu kokvilnas drānu. Grafikā 3.29.att. redzamas sensora sprieguma izmaiņas sensoru viegli beržot (a) un veicot periodisku piespiešanu (b). Berzējot sprieguma vērtība praktiski nemainījās, tā pieaug tikai līdz ar piespiešanu. Ņemot vērā, ka spiediens uz sensoru ir iespējams valkātājam nakts laikā grozīties, kā sistēmas ieslēgšanās robežvērtība pieņemts 3V sliekšnis. Programmā ir atstāta iespēja regulēt sliekšni – sensora sistēmā ir divas pogas, ar kurām jūtīguma sliekšni var mainīt no 1V līdz 4,5V ar soli 0,5V. Līdz ar to lietotājam ir iespēja pielāgot sensora darbības principu atbilstoši savām fizioloģiskajām īpatnībām.

Pēc trauksmes aktivizēšanās ieslēdzas skaņas signāls, LED indikators un vibrators. Pēc slapja sensora atvienošanas signāli izslēdzas.

Nakts enurēzes modinātāja sistēmas shēma ar LED, zummeri, vibratoru, pogām jūtīguma regulēšanai, 2 kontakti sensora pieslēgšanai un 2 kontakti barošanas bloka pieslēgšanai ir redzama 3.30.att.



3.30. att. Nakts enurēzes modinātāja sistēmas shēma

Sistēma tiek barota no 5V sprieguma avota. Sistēmas ieejā ir izveidots sprieguma dalītājs, kas pieskaņots tā, lai eksperimentāli noteiktajā sensora ieslēgšanas diapazona vidusdaļā spriegums tiktu sadalīts uz pusi, kas atvieglotu sistēmas turpmāku pieskaņošanu.

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

3.2.2. Tekstila displejs

Izmantojot elektrovadošos pavedienus daļēji aizstājot tradicionālos elektronikas materiālus, izveidota elektroniskās tekstilijas pamatne, pie kuras vēlāk pievienoti elektronikas elementi. Projektētie tekstila displeji reprezentē elektronikas sistēmas iestrādi ar integrēšanas tehnoloģiju.

LED displejs I

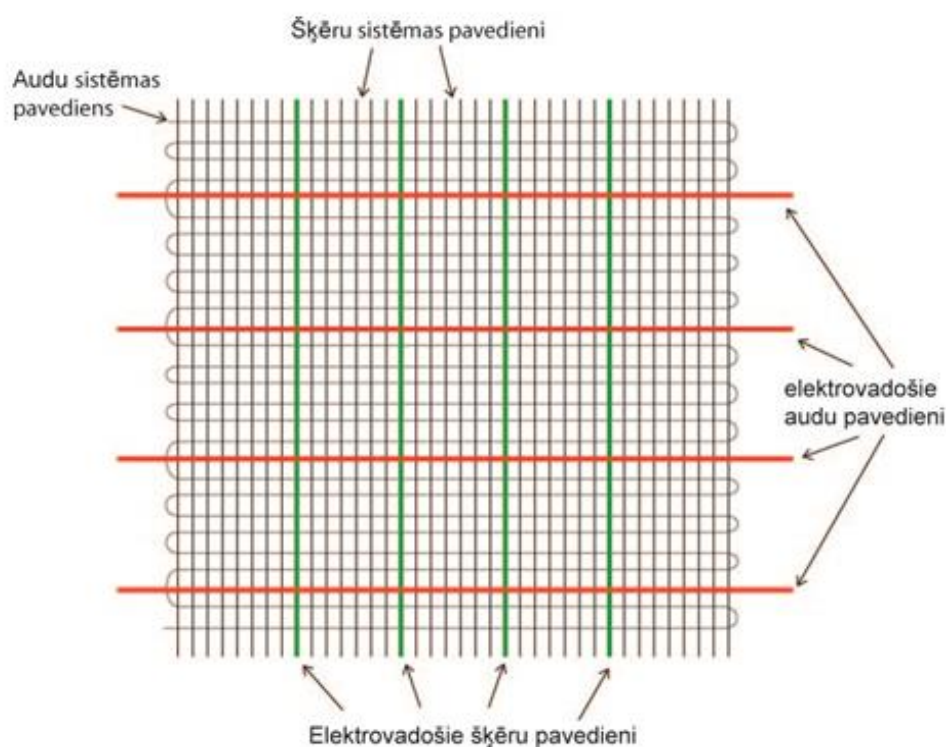
Pirmajiem paraugiem (LED displejs I) elektrotekstilijas aušanai izmantotas digitālās rokas stelles. Elektrotekstilija aušanas procesā attēlota 3.31.att. – šķēros izvietoti 4 elektrovadošie pavedieni.



3.31. att. Elektrotekstilija stellēs aušanas procesā

Displejam izmantota matrices konstrukcija, līdz ar to elektrovadošos pavedienus nepieciešams izvietot audu (pieņemts kā anods) un šķēru (pieņemts kā katods) pavedienu sistēmās (3.32.att.). Lai abas polaritātes savā starpā nesaskartos krustošanās vietās, elektrotekstilija veidota kā divkārtu audums. Veidojot divkārtu audumu LED displeja pamatnei, kad abas kārtas ir savā starpā saaukstas, bija svarīgi izvēlēties atbilstošu:

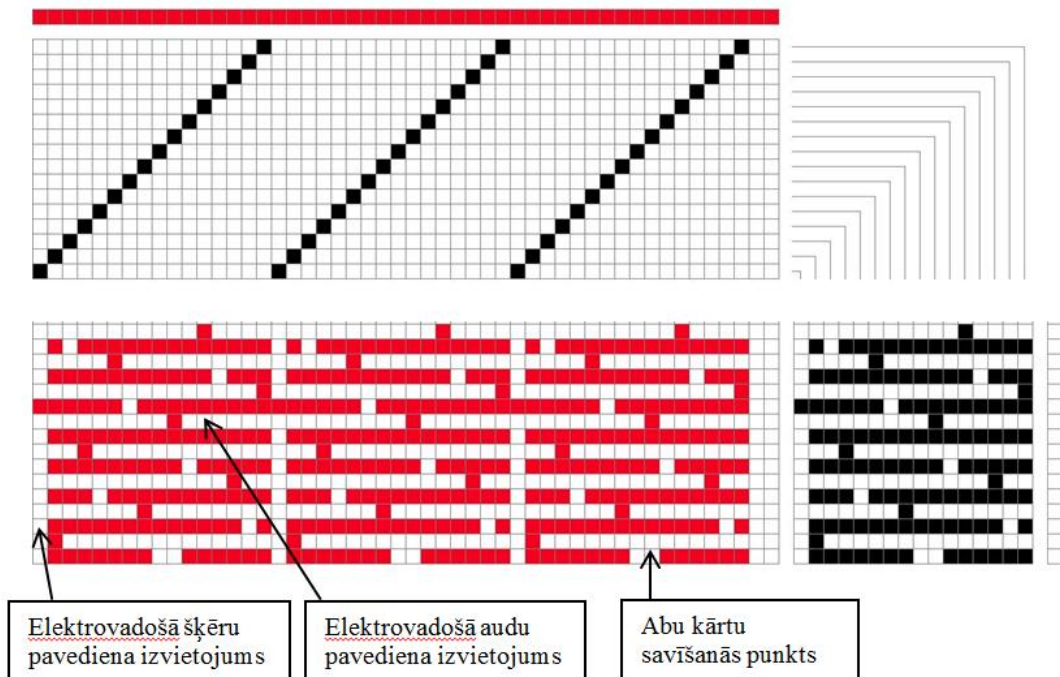
- pinuma veidu;
- šķēru un audu elektrovadošo pavedienu izvietojumu;
- augšējās un apakšējās kārtas savīšanās vietu.



3.32. att. Elektrovadošo pavedienu izvietojums tekstilā

Elektrotekstilijai izmantots divslāņu audums satīna pinumā ar papildus šķēru sasaisti. Satīna pinums nodrošina pietiekami lielu audu pavedienu (pārsedžu) kontaktvirsmu abās auduma ārējās pusēs, savukārt šķēru pavedieniem atrodies auduma iekšpusē tiek nodrošināta papildus izolācija starp audu un šķēru elektrovadošajiem kontaktiem.

Lai šķēru elektrovadošos pavedienus vairāk izceltu auduma kreisās kārtas ārpusē, katra raporta pirmais apakšējās kārtas šķēru sistēmas pavediens tika aizķerts tikai ar vienu apakšējās kārtas audu. Lai augšējās un apakšējās sistēmas elektrovadošie pavedieni nesaskartos abu kārtu savīšanās vietās, bija attiecīgi jāizvēlas audu rinda, kurā var ieaust elektrovadošo audu pavedienu. Tika izvēlēta ceturta rinda, kurā augšējās kārtas šķēru pārsedze atrodas pietiekami tālu no apakšējās kārtas elektrovadošā šķēra pavediena savīšanās vietas ar apakšējās kārtas audu pavedienu. Pinuma projekts attēlots 3.33.att.

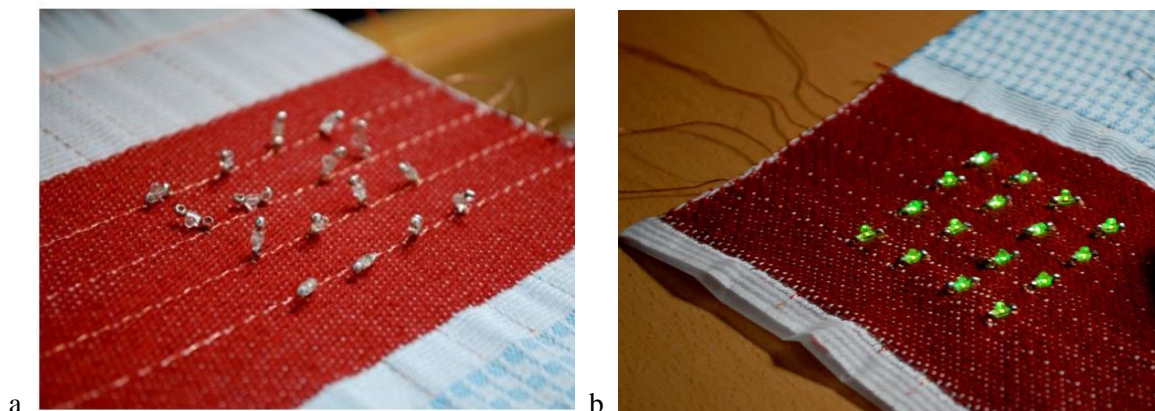


3.33. att. Pinuma projekts datorprogrammā *Weavepoint*

Noaustas displeja pamatnes ar divu veidu LED pievienošanas veidiem:

1. LED anoda un katoda kontakti piešūti pie pamatnes pēc aušanas;
2. Vienas polaritātes kontakts integrēts audumā aušanas procesā, otras polaritātes kontakts piešūts pie pamatnes pēc aušanas.

Otrajā variantā diodes pievienotas pie elektrovadošā pavidiena pirms aušanas un tas tiek ieausts audumā kopā ar diodēm. Diodes var piestiprināt, pielīmējot tās ar elektrovadošo līmi, iesienot tās mezglā vai pielodējot pie elektrovadošā pavidiena. Paraugs ar LED anoda un katoda kontaktu pievienošanu pie pamatnes pēc aušanas ir parādīts 3.34.att. Tika izmēģināta dažāda izmēra furnitūra, taču lietderīgi izmantot pēc iespējas smalkāku furnitūru, lai iegūtu pietiekami ciešu elektrisko savienojumu starp pavidienu un furnitūru stabilam elektriskajam kontaktam. Turpmāk displeja parauga izstrādei izmantotas 1206 izmēra (3 x 1.5) uz virsmas lodējamās gaismu izstarojošas diodes bez izvadkontaktiem (SMD LEDs) un 1,5 mm furnitūra.



3.34. att. Pie displeja pievienotās diodes – a: pievienots vienas polaritātes kontakts; b: pievienoti abu polaritātāšu kontakti, visas diodes ieslēgtas

Uz šādi projektētajiem elektrotekstiljiem, kā arī citiem literatūrā [7, 14, 128] aprakstītajiem divu un trīs kārtu tekstiljiem ar ieaustiem elektrovadošajiem pavedieniem audos un šķēros, elektronikas elementi (piemēram, LED) lielākoties tiek pievienoti tādā veidā, ka tie atrodas auduma plaknes virspusē – tie ir atsegti un redzami. Lai iegūtu tekstila prasībām atbilstošu vizuālo izskatu un taustes sajūtu, elektronikas elementu noseģšanai jāizmanto papildus materiāla kārtas, ko izvieto pa virsu displejam [6]. Esošajos elektronisko tekstila displeju piemēros risināts tikai displeju konstruktīvais dizains (piemēram, elektrovadošo pavedienu izvietojums tekstilā). Rezultātā ir iegūti displeji, kuri izvietoti zem papildus materiāla kārtas, kas veido attiecīgo estētisko dizainu. Līdz ar to sortimenta paplašināšanai nepieciešams izstrādāt tekstila displeju, kas, saglabājot tekstila ģeometriskās un fizikāli mehāniskās īpašības (piemēram, biezumu un elastību), vienlaikus var noseģt elektronikas ierīces un nodrošināt iespēju risināt arī displeja estētisko dizainu materiāla viengabala konstrukcijā.

Projektētas elektrotekstilijas ar divām dažādām displeja kontaktu konstrukcijām – paralēlo portu displeja konstrukcija un matricas displeja konstrukcija. Displeji sastāv no kopā saaustiem elektrovadošajiem pavedieniem (N5), izolējošiem pavedieniem (kokvilna un poliesters) un gaismu izstarojošām diodēm (LEDs), kas pievienotas pie elektrovadošajiem pavedieniem. Displejs var saturēt arī vienu vai vairākas citas elektronikas ierīces.

LED displejs II

Pētījuma mērķis bija izstrādāt gaismu izstarojošu elektrotekstiliju ar apvienotu estētisku un funkcionālu dizainu, pielietojot dažāda materiāla un krāsu pavedienus, kā arī dažāda pinuma un blīvuma tekstila konstrukcijas. Izstrādāts auster tekstila LED displejs ar dažādu pinumu kombināciju un integrētiem elektronikas elementiem (elektrovadošie pavedieni un gaismu izstarojošās diodes) variējamu tekstila īpašību iegūšanai.

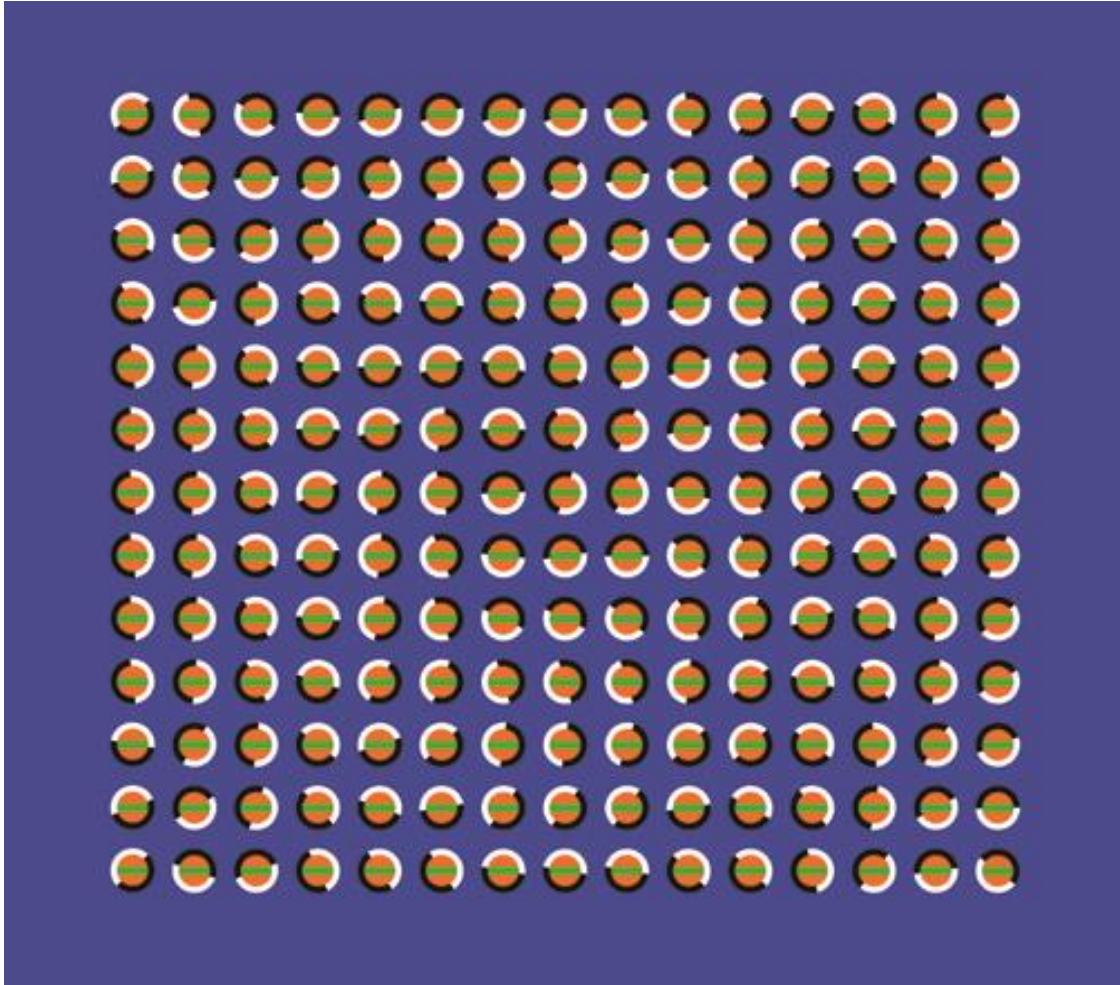
Gaismas izstarošana veido interaktīvā (funkcionālā) dizaina opciju, savukārt optisko ilūziju motīvs auduma rakstā veido estētisko dizainu. Apvienojot abas funkcijas vienā audumā, elektrotekstils izslēgtā veidā darbojās kā optisko ilūziju audums, bet ieslēgtā veidā – kā gaismu izstarojošs displejs. Atkarībā no apgaismojuma intensitātes un displeja gaismu izstarojošo diožu spožuma, cilvēka acs var uztvert arī abas displeja funkcijas reizē.

Izstrādes procesā bija nepieciešams domāt gan par austā raksta dizainu, gan par sistēmas funkcionālo pusi, līdz ar to displeja projektēšanai tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- Izstrādāt audumu ar optiskās ilūzijas rakstu;
- Paslēpt LEDs zem auduma (auduma kreisajā pusē);
- Variēt LED izstarotās gaismas intensitāti ar tekstila struktūru

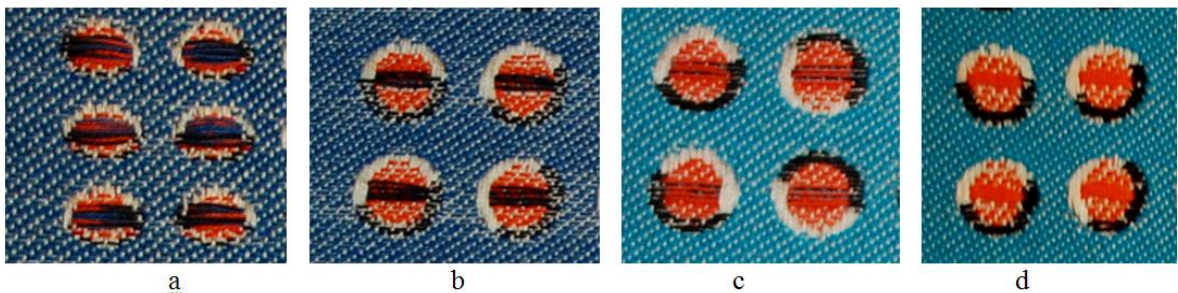
Optiskās ilūzijas raksta projektēšana

Raksta motīvs tika veidots, ietekmējoties no Akiyoshi Kitaoka [3] veidotajiem optisko ilūziju attēliem. Izstrādātā raksta digitālā versija redzama 3.35.att. Kustības plūsma optisko ilūziju rakstā ir atkarīga no objektu melno un balto kontūru izvietošanas, kas katram objektam ir atšķirīgs. Svarīga nozīme optiskās kustības radīšanai ir statisko elementu spilgtuma attiecībai [28]. Līdz ar to, lai panāktu attēla optisko kustību audumā, ir nepieciešams iegūt kontrastainu un skaidru krāsu laukumus austajā struktūrā.



3.35. att. Optisko ilūziju raksta digitālā versija

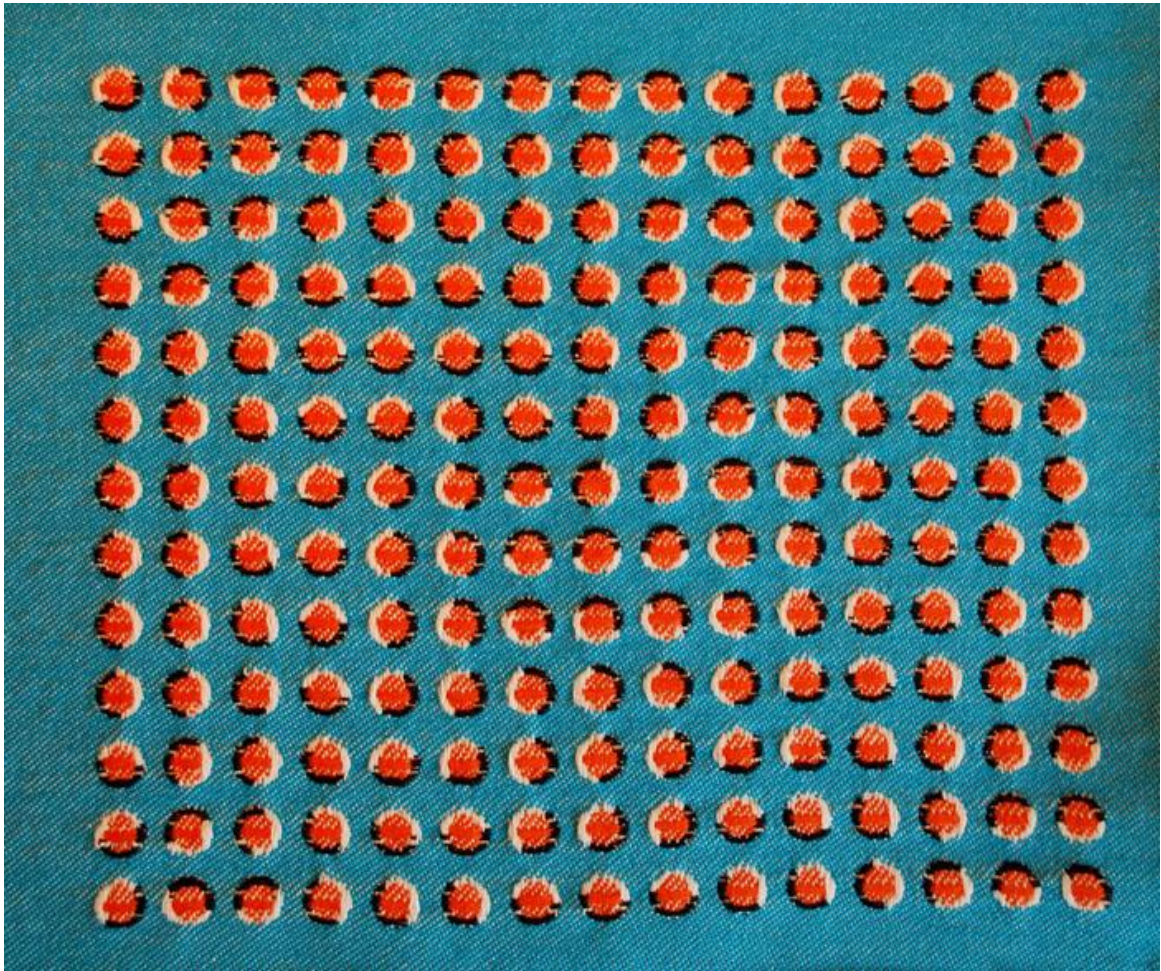
Raksta kvalitāti un spilgtumu ietekmē pinuma veids un blīvums, kā arī raksta elementu izmērs. Auduma raksta izstrādes process parādīts 3.36.att.



3.36. att. Auduma raksts izstrādes procesā: a – objekti satīna pinumā; b – palielināti objekti satīna pinumā; c – objekti satīna pinumā un ar garām pārsedzēm kontūras laukumos; d – mazgāti objekti satīna pinumā un ar garām pārsedzēm kontūras laukumos.

Displeja pamatne veidota kā pusotra slāņa audums ar divām audu sistēmām. Lai iegūtu lielāku audu pavedienu kontaktvirsmu (krāsu kontrastam) auduma labajā pusē, izmantots satīna pinums. Tā kā pielietojamajā aušanas mašīnā ir iespējams izmantot līdz 4 krāsām, bet raksta dizainā paredzētas 5 krāsas (4 krāsas + elektrovadošais pavediens), elementa baltajai kontūrai izmantotas šķēru pārsedzes. Raksta elementi (aplī) ar diametru 10 mm bija pārāk mazi un ar pārāk plānu kontūru (1mm), lai veidotu izteiktu iluzorisku kustību (3.36.att. a). Līdz ar to elementi tika palielināti līdz 13 mm, kontūra palielināta līdz 2 mm (3.36.att. b). Melnā kontūra joprojām saplūda ar fonu, tāpēc satīna pinums tika nomainīts uz audu pārsedzēm. Lai iegūtu lielāku kontrastu, arī fona tonis tika nomainīts uz gaišāku toni (3.36.att. c).

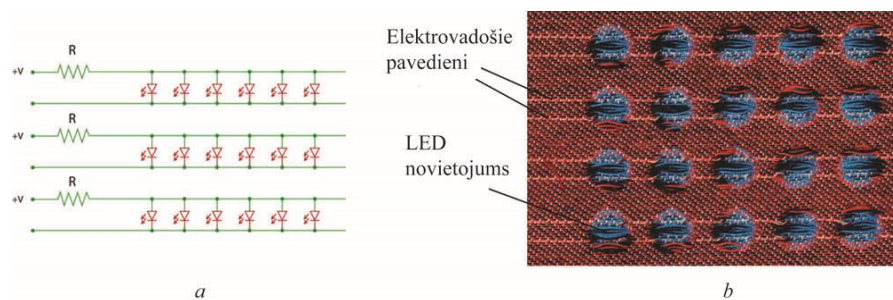
Aušanas procesā kā audu pavedieni tika izmantoti kokvilnas pavedieni, līdz ar to paraugs tika mazgāts, lai tas saruktu un iegūtu blīvāku austā raksta struktūru. Šķēru sistēmā izmantoti poliestera pavedieni. Mazgāts tekstila displeja paraugs redzams 3.37.att. Pēc mazgāšanas audums vidēji saruka par 8,2% audu virzienā un 3,2% šķēru virzienā. Mazgātajā paraugā krāsu kontrasts kļuva lielāks un kustības ilūzija kļuva izteiktāka, taču efekts nebija tik liels kā digitālajā versijā. Lai uzlabotu kustības efektu iespējams nepieciešams vairāk palielināt elementu un kopējā raksta izmērus.



3.37. att. Optisko ilūziju raksta austā versija

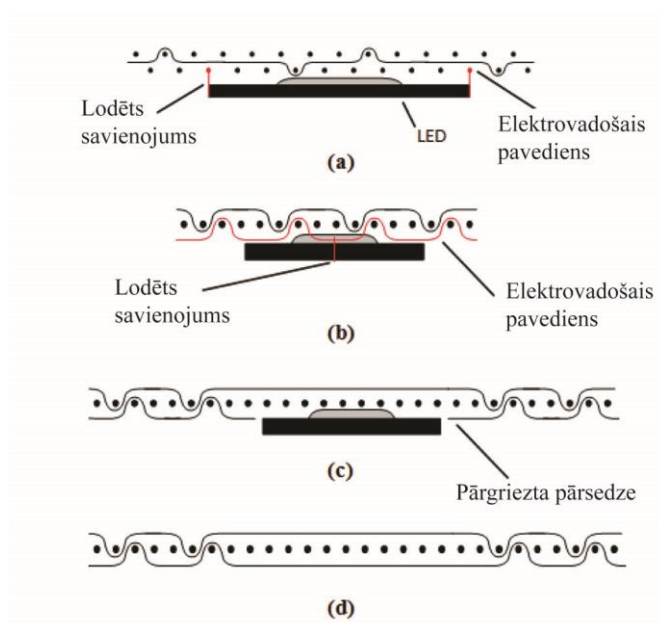
Elektrotekstila projektēšana

Paraugā izmantota paralēlo portu kontrolētā LED displeja konstrukcija, līdz ar to gaismas diodes var kontrolēt tikai pa kolonām vai tikai pa rindām (atkarībā no auduma izvietojuma). LED displeja elektriskā shēma, kas raksturo displeja darbības principu, ir parādīta 3.38.att.a. Pēc šī darbības principa tika izgatavota elektrotekstilija (3.38.att.b).



3.38. att. LED displejs: a – displeja elektriskā shēma; b – ieauti elektrovadošie pavadieni

Elektrovadošie pavedieni izvietoti paralēli viens otram audu pavedienu sistēmā auduma kreisajā pusē (3.39.att. b), izmantojot satīna pinumu, šķēriem sapinoties ar apakšējās sistēmas audiem. LED pie auduma elektroceļiem tiek pievienoti no kreisās puses, līdz ar to auduma labajā pusē elektroniskā sistēma nav redzama. LED var tikt izvietota katrā raksta aplī. Elektrovadošo pavedienu un LED kontakti veikti ar lodētu savienojumu. Grafiskie attēli ar šķērs griezumumiem dažādās auduma vietās, kā arī elektrovadošo pavedienu izvietojumu un savienojuma vietas ar LED parādīti 3.39.att.

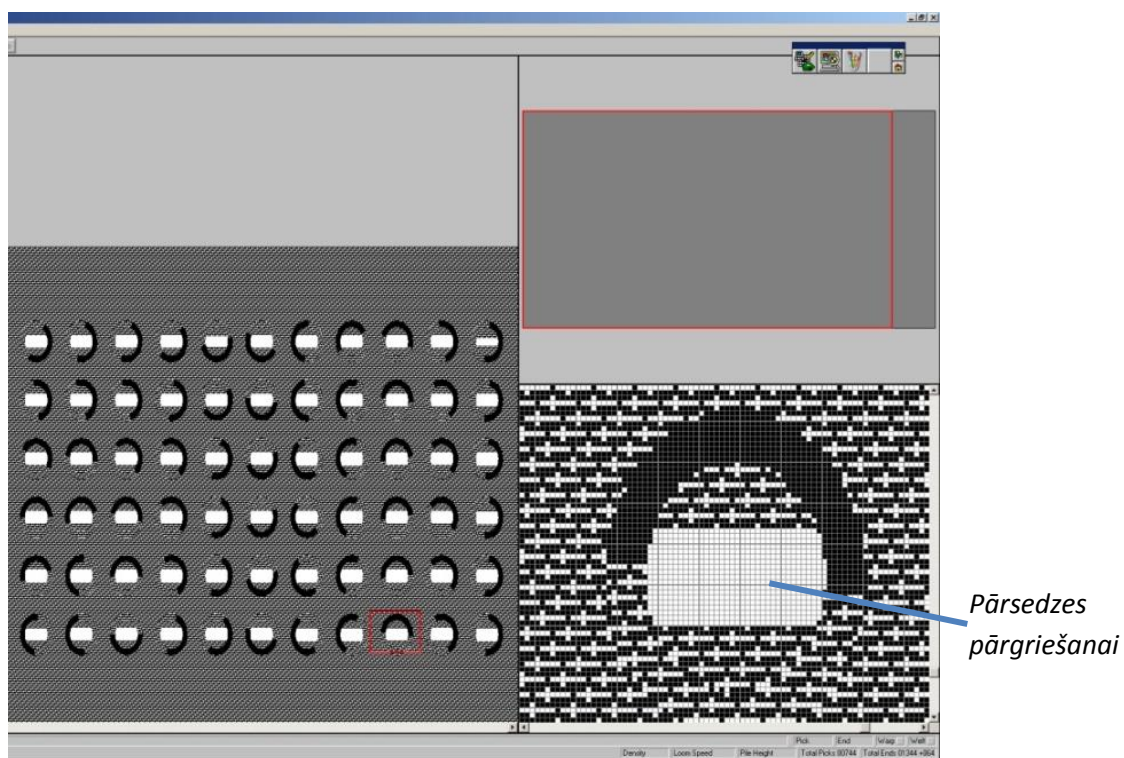


3.39. att. Auduma šķērs griezumumu shēmas: a – šķērs griezumums šķēru virzienā auduma vietā, kur ir pievienota LED; b – šķērs griezumums audu virzienā auduma vietā, kur ir pievienota LED; c – šķērs griezumums audu virzienā auduma vietā, kur projektētas pārgriešanai paredzētās garās audu pārsedzes ar pārgrieztu apakšējo audu pārsedzi; d – šķērs griezumums audu virzienā auduma vietā, kur projektētas pārgriešanai paredzētās garās audu pārsedzes (nepārgrieztas, bez LED).

Elektrotekstiliju projektēšanas procesā jāņem vērā pavedienu sarukums attiecībā pret elektrovadošo pavedienu sarukumu, it īpaši, ja pinumā ir paredzētas garākas elektrovadošo pavedienu pārsedzes. Pēc mazgāšanas testa elektrovadošie pavedieni nesaruka, veidojot cilpas vietās, kur izvietotas garākas pārsedzes. Pārsedžu / cilpu garums ir atkarīgs no raksta elementa rotācijas, tāpēc visiem elementiem tas nav vienāds. Attālums starp elektrovadošo ceļiņu katoda un anoda kontaktiem ir 5mm. Šajā gadījumā 5mm attālums ir pietiekams, lai novērstu

abu kontaktu saskaršanos, kas izraisītu īssavienojumu. Ja attālumš ir mazāks un pārsedzes garākas, tas var radīt kontaktu īssavienojuma risku.

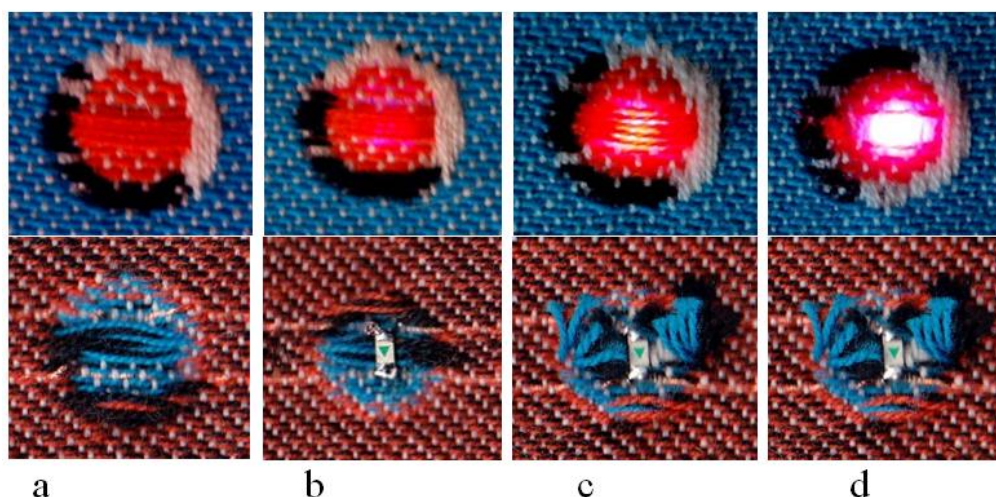
Audums projektēts ar iespēju kontrolēt LED izstarotās gaismas intensitāti ar tekstila struktūru. Katra apļa vidusdaļā paredzētas pārsedzes visā apļa platumā – vietā, kur tiks izvietota LED. Raksta projekts programmā *PC-Edit* ir redzams 3.40.att.



3.40. att. Raksta projekts programmā *PC-Edit*

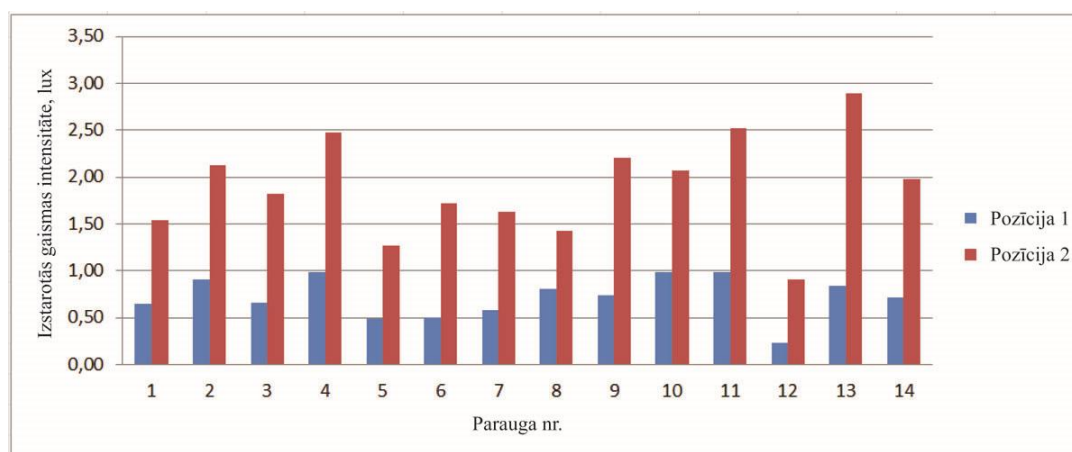
Displeja interaktīva darbība

Pārsedzes izvietotas gan auduma labajā pusē, gan auduma kreisajā pusē. Pārgriežot pārsedzes auduma kreisajā pusē, labajā pusē vai abās pusēs, audums kļūst caurspīdīgāks LED gaismas izstarošanai. Gaismas izstarošana cauri dažādām tekstila struktūrām redzama 3.41.att.



3.41. att. Gaismas izstarošana cauri dažādām tekstila struktūrām: a – tekstils ar pārsedzēm auduma labajā un kreisajā pusē, bez LED; b – tekstils ar pārsedzēm auduma labajā un kreisajā pusē, ar LED; c – tekstils ar pārsedzēm auduma labajā pusē un pārgrieztām pārsedzēm kreisajā pusē, ar LED; d – tekstils ar pārgrieztām pārsedzēm labajā un kreisajā pusē, ar LED.

Lai raksturotu displeja gaismas izstarošanu dažādās pozīcijās, displeja LED izstarotās gaismas intensitāte katrā pozīcijā tika mērīta ar apkārtējās vides mērītāju, izmantojot luksametra funkciju. Izstarotās gaismas intensitāte 1. pozīcijā (c) un 2. pozīcijā (d) redzama 3.42.att.

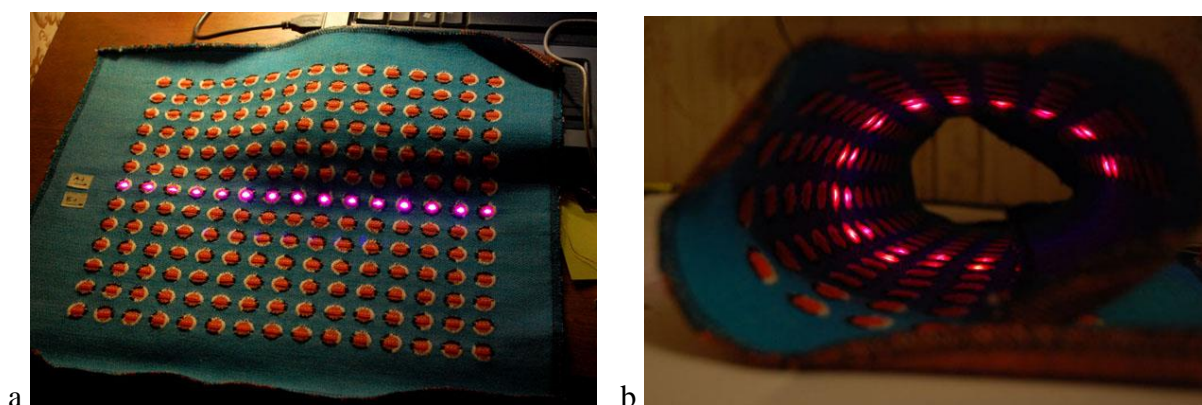


3.42. att. Izstarotās gaismas intensitāte dažādās pozīcijās

Tekstila LED displejs izslēgtā režīmā parādīts 3.37.att. Displeja vizuālā saskarne veidota kā optisko ilūziju raksts, kas tekstilā rada kustības vīziju. Iedarbinot tekstila displeju, tas pilda arī interaktīvu funkciju, izstarojot gaismu.

Izstarotās gaismas mērījumiem displeja diožu rinda (14 LED / rindā) tika pieslēgta pie 5V strāvas, izmantojot 10 omu rezistoru. Eksperimentam izmantotas vidēji spožas LED (350 mcd), līdz ar to ar nepārgrieztām pārsedzēm auduma labajā un kreisajā pusē LED gaismas intensitāte ir vāja. Ar pārgrieztām pārsedzēm kreisajā pusē izstarotās gaismas intensitāte vidēji ir 0,72 lux. Ar pārgrieztām pārsedzēm auduma kreisajā un labajā pusē izstarotās gaismas intensitāte vidēji ir 1,90 lux jeb par 163% spožāks gaismas izstarojums.

Displeja elektroniskā sistēma tekstila labajā pusē nav manāma un tekstils saglabā nelielu biezumu (bez LED – 1,7 mm, ar LED – 1,94 mm) un svaru (ar 28 pievienotām LEDs – 480 g/m²), kā arī teicamu elastību, kas ir nozīmīgs aspekts apģērba projektēšanā. Displejs ar vienu un divām ieslēgtām LED rindām attēlots 3.43. att.



3.43. att. Tekstila LED displejs – a: ar vienu ieslēgtu LED rindu; b) ar divām ieslēgtām LED rindām

Tekstila displeju var izmantot kā izvades saskarni dažādās elektronikas sistēmās, integrējot to apģērbā, aksesuāros, telpu vai automašīnas interjerā utt. Lai nodrošinātu elektrotekstiliju sistēmas aizsardzību no apkārtējās vides (piemēram, no mitruma), displejs ir jāizolē. Šim mērķim var veikt, piemēram, laminēšanu poliuretāna plēvi vai pārklāšanu ar elastomēru. Tekstila elektrisko shēmu izolācija aprakstīta darba 3.2.3. nodaļā: *LED displeja izolācija*.

LED displejs III

Izstrādāts elastīgs gaismu izstarojošs tekstila displejs ar pārsedzēm elektronikas ierīču noseģšanai un elektronisko kontaktu izolācijai. Displejs sastāv no kopā saauštiem elektrovadošajiem pavedieniem, izolējošiem pavedieniem un gaismu izstarojošām diodēm, kas pievienotas pie elektrovadošajiem pavedieniem. Displeja shēma var saturēt arī vienu vai vairākas citas elektronikas ierīces.

Elektrotekstila projektēšana

Displeja projektēšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- Izstrādāt austu elektrotekstiliju ar estētisku rakstu;
- Paslēpt LEDs auduma struktūrā;
- Izolēt elektrisko kontaktu krustošanās vietas.

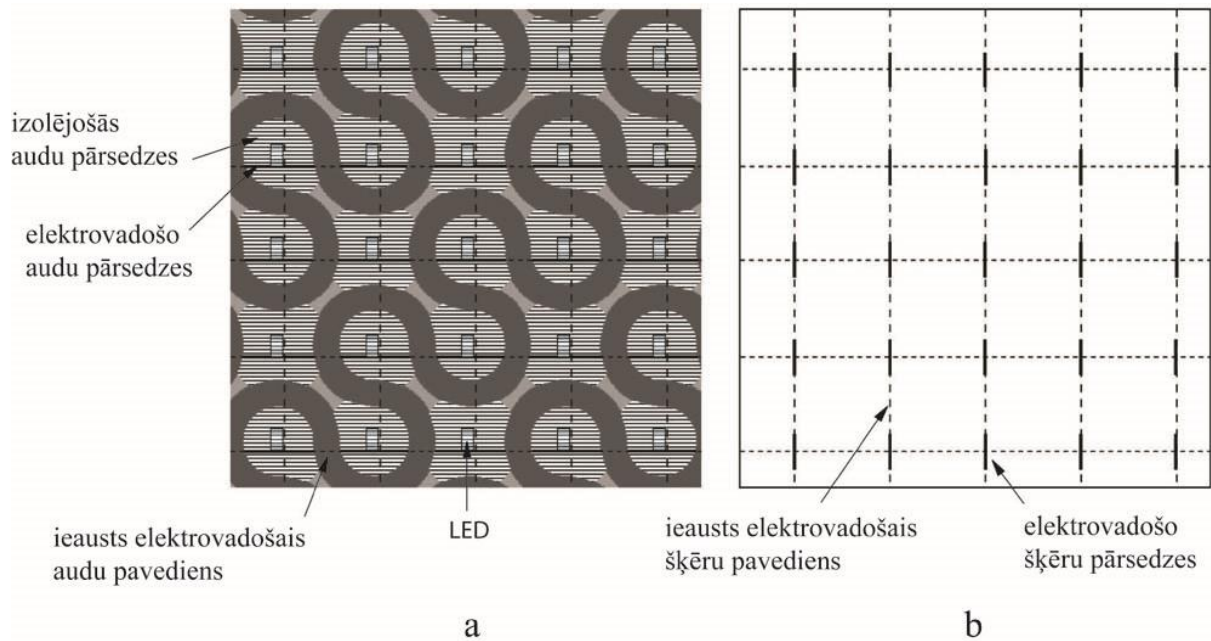
LED displeja elektriskajiem kontaktiem izmantota matricas konstrukcija. LED matricas displejā katru gaismas diodi iespējams kontrolēt individuāli un, pateicoties rindu un kolonnu konstrukcijai, savienojumu skaits ir mazāks par diožu skaitu. Piemēram, 16 diožu kontrolei ir nepieciešami tikai 8 kontakti savienojumam ar mikrokontrolieri.

Lai izveidotu austu elektrotekstiliju LED matricas displejam, elektrovadošos pavedienus jāizvieto šķēru (rindu) un audu (kolonnu) sistēmās. Katoda un anoda savienojuma pavedieni nedrīkst krustoties savā starpā, pretējā gadījumā shēmā radīsies īssavienojums. Līdz ar to starp katoda un anoda savienojumiem ir nepieciešams izolācijas slānis. Lai neveidotu kontaktu starp elektrovadošajiem audu un šķēru pavedieniem, attiecīgās tekstila zonās projektētas garas audu un šķēru pārsedzes, saskaņojot tās ar auduma rakstu.

Izmantojot lielāku LEDs skaitu, uz displeja iespējams attēlot statiskus un animētus grafiskos attēlus vai tekstu, kas var kalpot kā sistēmas izvades saskarne.

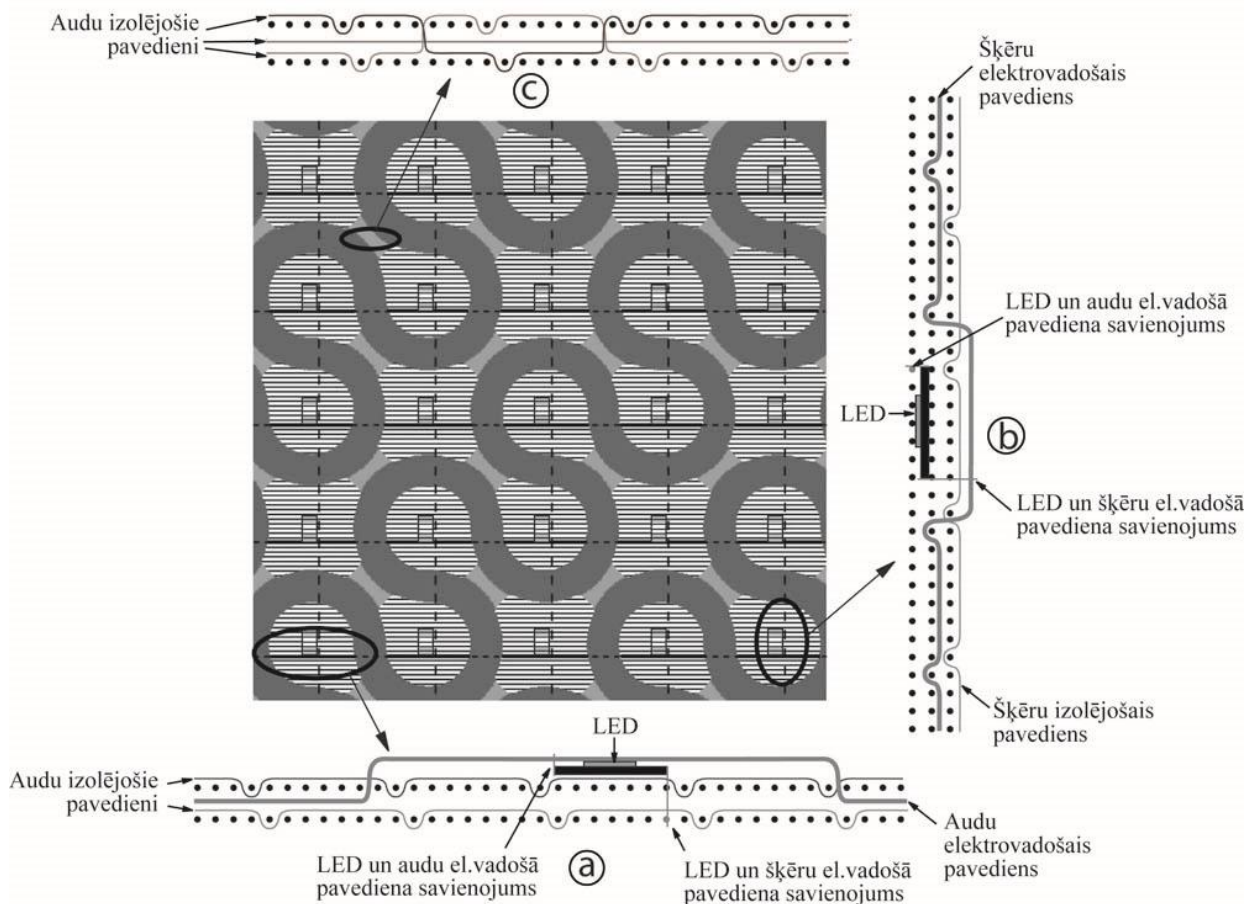
Displeja aktivizēšanai nepieciešams barošanas avots, kura voltāža atkarīga no izmantojamo gaismu izstarojošo ierīču daudzuma, to tehniskajiem parametriem, kā arī no datu apstrādes metodes.

Izstrādātā displeja funkcionālais dizains ir saskaņots ar tekstila vizuālo dizainu, tāpēc matricas displeja konstrukcijas izmēri un attālumi ir pielāgoti auduma rakstam. Piemēram, elektrovadošo audu un šķēru pavedienu krustpunkts ir izvietots katras auduma raksta figūras iekšpusē, kur atrodas pavedienu pārsedžu laukums (3.44.att.).



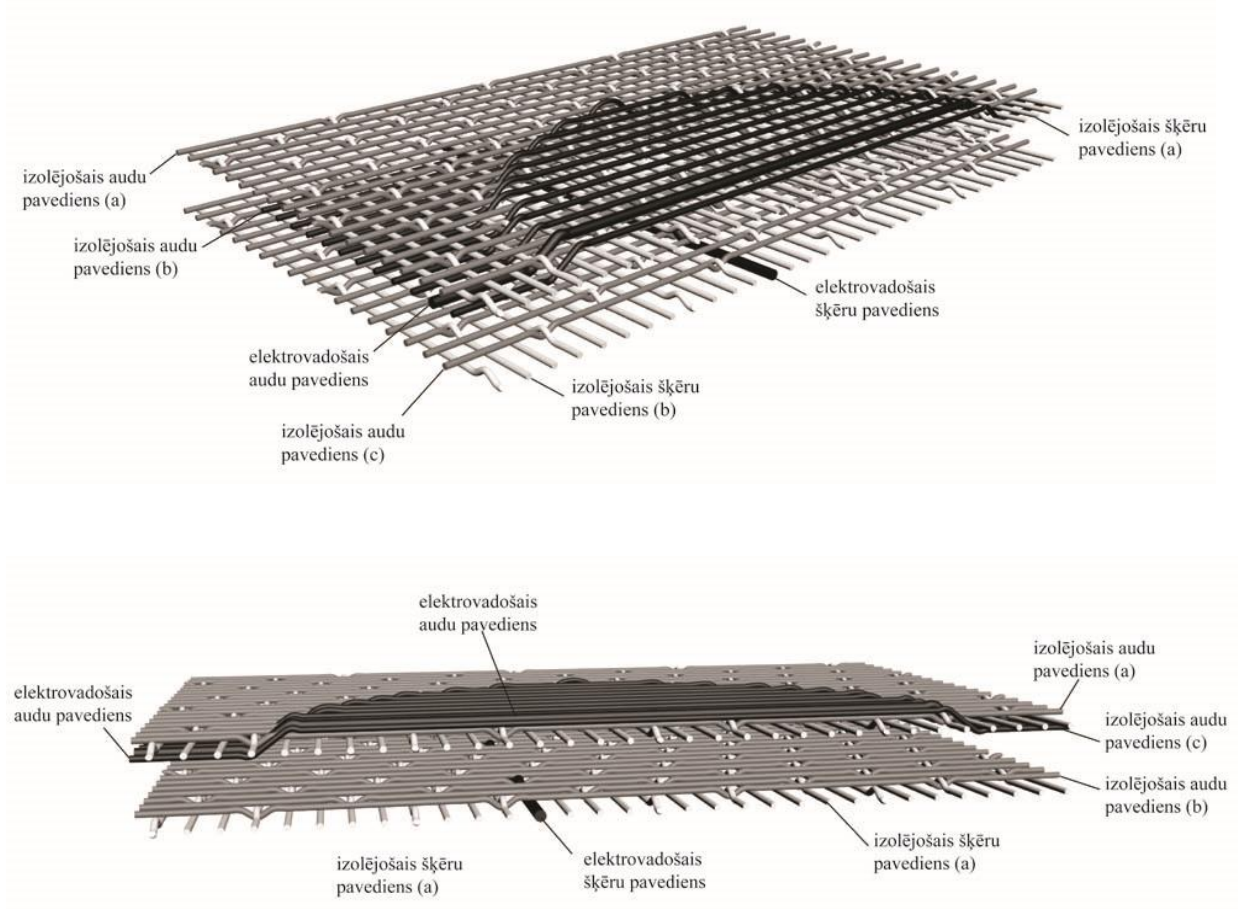
3.44. att. Tekstila displeja shematiskais attēlojums: a – displeja labā pusē; b – displeja kreisā pusē

Tekstilija ir veidota kā $2 \frac{1}{2}$ slāņu audums, kas atsevišķās vietās ir saauستا kopā (3.45.att. c) un atsevišķās vietās slāņi kopā nav sasaistīti (3.45.att. a,b). Auduma zonā, kur iēplānots kontakam paredzētais audu elektrovadošais paviens, projektētas pavienu pārsedzes auduma labajā pusē, tādā veidā nodrošinot lielāku elektrisko izolāciju ar šķēru elektrovadošo pavienu, kas šajā posmā projektēta kā elektrovadošā šķēru pārsedze auduma kreisajā pusē. Izolējošās audu un šķēru pārsedzes novērš īssavienojuma rašanos sistēmā. Lai iegūtu lielāku elektrisko izolāciju, slāņi noteiktās vietās nav sasaistīti kopā. Starp elektrovadošo audu pārsedzēm esošajos posmos, kur auduma kreisajā pusē nav izvietots elektrovadošais šķēru paviens, elektrovadošais audu paviens ir ieausts auduma virsējā kārtā vai atrodas starp pirmo un otro šķēru pavienu kārtu. Starp šķēru pārsedzēm esošajos posmos, kur auduma labajā pusē nav izvietots elektrovadošais audu paviens, elektrovadošais šķēru paviens ir ieausts audumā.



3.45. att. Displeja pinuma shematiskais attēlojums: a – šķērsriezums elektrovadošo audu virzienā (kopā nesaausti slāņi); b – šķērsriezums elektrovadošo šķēru virzienā (kopā nesaausti slāņi); c – šķērsriezums izolējošo audu virzienā (kopā saaausti slāņi)

Izolējošo audu pārsedzes un elektrovadošo audu pārsedzes izvietotas auduma labajā pusē konkrētos laukumos atkarībā no auduma estētiskā un interaktīvā dizaina. Pārsedzes garums var būt dažāda garuma, atkarībā no auduma dizaina. Katrā šādā laukumā auduma labajā pusē ir vismaz viena elektrovadošā audu pārsedze, kam no abām pusēm atrodas izolējošo pavidienu pārsedzes, kas nodrošina izolāciju starp audu elektrovadošajiem pavidieniem. Displeja pinuma 3D attēlojumā redzams 3.46.att.

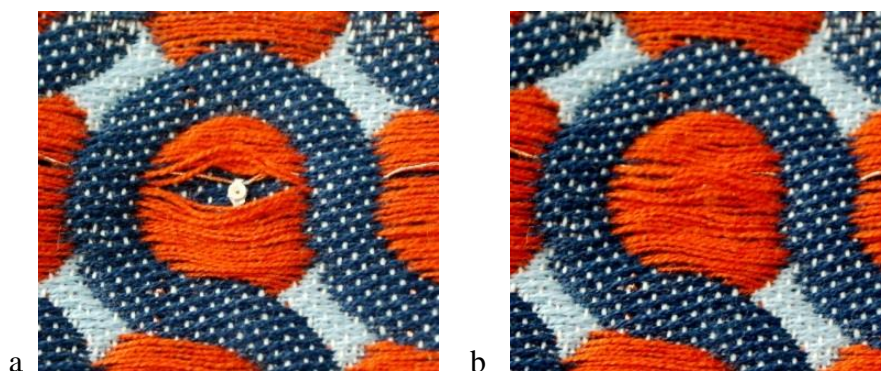


3.46. att. Displeja pinuma 3D attēlojums

LED pievienošana pie tekstila displeja

Pievienojot gaismu izstarojošo ierīci pie elektroaktīvā auduma, tā tiek piestiprināta pie audu elektrovadošās pārsedzes no labās puses un pie šķēru elektrovadošās pārsedzes no kreisās puses. Elektrovadošā paveliena un ierīces kontakta savienojumu var realizēt dažādos veidos, piemēram, veidojot lodētu vai mezgla savienojumu.

Atbilstoši displeja konstrukcijai elektronikas ierīci iespējams izvietot auduma struktūras iekšpusē bez tekstila deformācijas. Izolējošo pavelienu pārsedžu klājums attiecīgajās tekstila displeja vietās ļauj paslēpt gaismu izstarojošo diodi zem tiem, kā rezultātā ierīce nav vizuāli redzama un atrodas tekstilmateriāla iekšpusē. Nosedzošā kārtā ir tekstila struktūras sastāvdaļa un tā netiek pievienota kā atsevišķs slānis. Kā tekstila pārsegs izmantotas tikai audu pārsedzes, līdz ar to kārtā ir mazāk blīva un spēj vairāk laist cauri gaismu. LED pievienošana pie tekstila displeja parādīta 3.47.att.



3.47. att. LED pievienošana pie displeja: a – atklāta LED; b – paslēpta LED

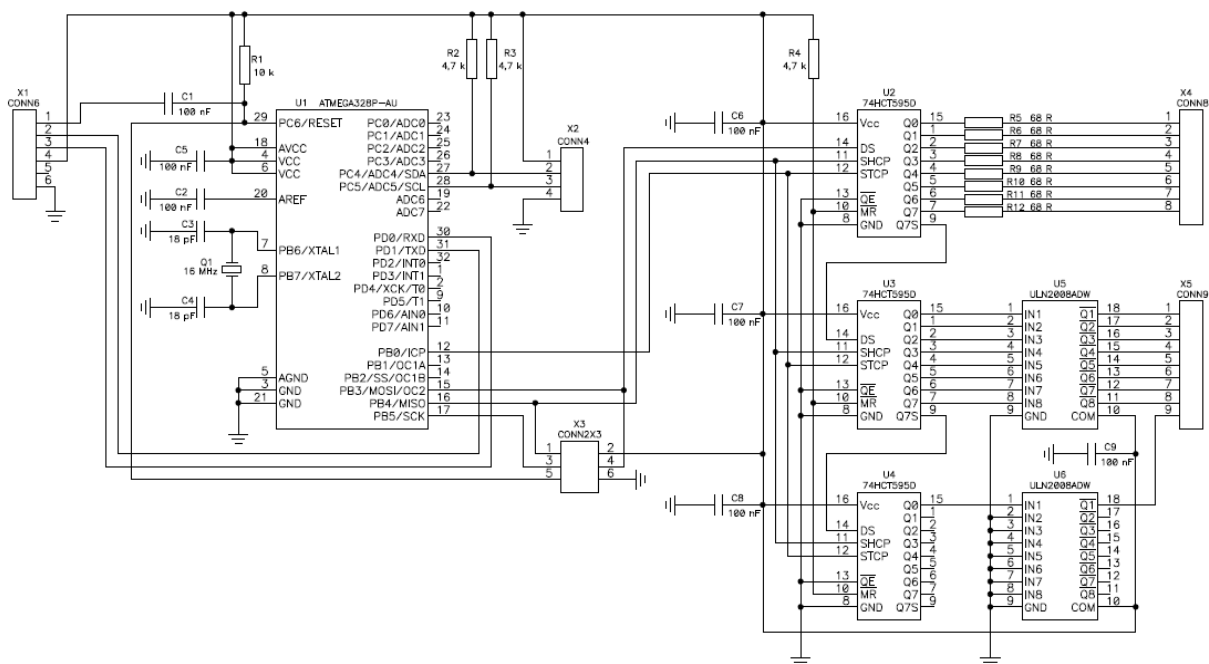
Displeja prototipam tika izmantotas SMD LEDs 1206, kas ir pietiekami mazas un būtiski neietekmē tekstila ģeometriskās un mehāniskās īpašības. Materiāla biezums vidēji palielinājās tikai par 2,5%.

Sistēmas dizains un interaktīvā darbība

Displeju var izmantot dažādu datu prezentēšanai, attēlojot statiskus vai dinamiskus attēlus vai tekstu. Izmantojot 35-punktu (5x7) matrices displeju, iespējams aptuveni attēlot visas iespējamās zīmes [123].

Izstrādātais prototips satur 72 punktus (LEDs). Līdz ar lielo LED skaitu displejā, diodes elektroniski tiek savienotas matrices veidā – virkne diožu ir savienotas kopā pa rindām un pa kolonām. Tādā veidā samazinās displeja kontroles izvadu skaits. Tātad, LED matricē 8x9 ir nepieciešami 72 izejas izvadi – katram LED pikselim viens izvads. Savienojot tos matrices veidā, izejas izvadu skaits samazinās līdz 17 (8 + 9).

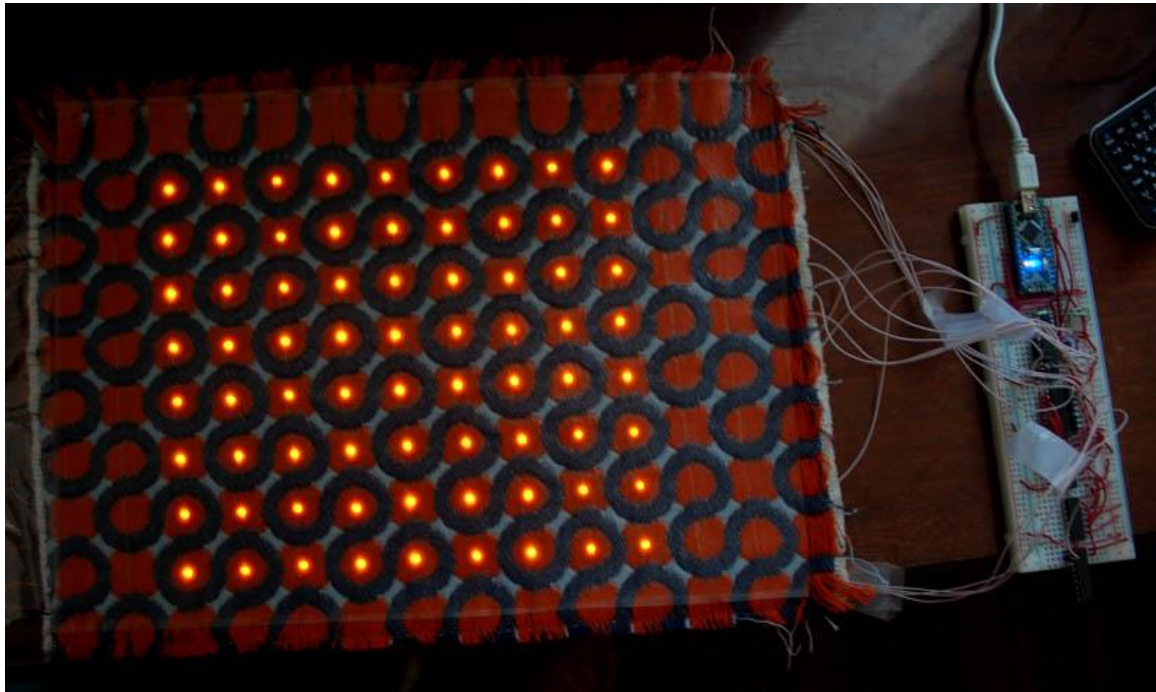
Izveidotās sistēmas ķēde ir parādīta 3.48. attēlā. LED matricē izveidošanai shēmā izmantots ATmega328P mikrokontrolieris ar 23 izejas/ieejas izvadiem.



3.48. att. Displeja sistēmas elektriskā shēma

Nobīdes reģistru izmantošana ļauj kontrolēt 8 izejas vienlaicīgi, aizņemot tikai dažas digitālās izejas mikrokontrolierī [78]. Punktu matricas LED displejs ir pievienots pie mikrokontroliera caur trijiem savstarpēji savienotiem nobīdes reģistriem. Tas ļauj minimizēt izmantojamo kontroliera izvadu skaitu – 17 izvadu vietā (gadījumā bez nobīdes reģistriem) tikai trīs signāla līnijas savieno nobīdes reģistrus un mikrokontrolieri. Sistēmā izmantoti arī divi *Dārlingtona* tranzistoru bloki, caur kuriem strāva tiek aizvadīta, shēmā samazinot nobīdes reģistru izejas ķēžu strāvu. Tas ļauj nepārslogot mikrokontroliera izejas ķēdes.

3.49. att. redzams LED matricas funkcionēšanas tests, kad ieslēgtas visas diodes.



3.49. att. Displeja prototipa makets: funkcionēšanas tests

LED displeja vadībai izmantota multipleksēšanas metode – atgriezenisks process vairāku atsevišķu avotu signālu apvienošanai vienā kompleksā signālā, lai tos pārraidītu kopējā pārraides kanālā. Multipleksēšanas metode ir diezgan efektīva, kontrolējot virknē / matricā savienotus elektronikas elementus. Tā kā matricas konstrukcijā nav iespējams ieslēgt visas LEDs vienlaicīgi, displejs tiek vadīts pēc laiksadales multipleksēšanas principa, izvēloties rindu pēc rindas un katru reizi aktivizējot vajadzīgo kombināciju ar kolonnu. Ja progresija ir pietiekami ātra, skatītājam ir iespaids, ka visi adresētie punkti ir aktivizēti vienlaicīgi. Ja cikla frekvence ir lielāka par 50...100 Hz, cilvēka acs uztver displeju bez mirgošanas [78].

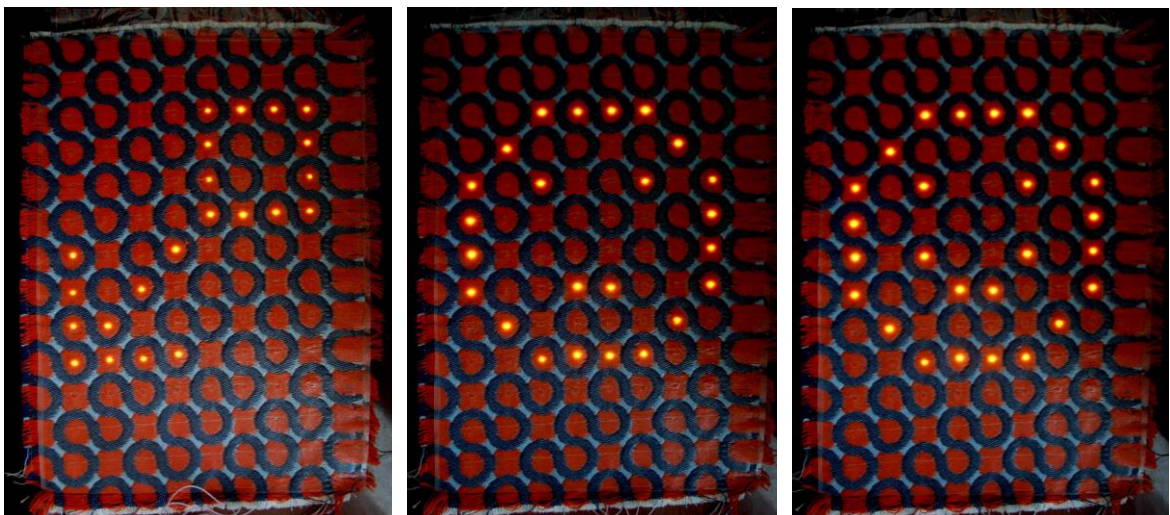
Izstrādātajam austajam elektrotekstilijas prototipam pievienotas 72 SMD LEDs un displejs pārklāts ar PU plēvi sistēmas izolācijai. Displeja izmērs ir 34 x 25 cm, tā lineārā masa 740 g/m². Kā tas redzams 3.50.att., pēc izolācijas displejs joprojām ir elastīgs un lokans.



3.50. att. Displeja prototips

Uz LED displeja var attēlot dažādas zīmes, kas ir izveidojamas ar komerciāli pieejamajiem zīmju ģeneratoriem (fontu projektēšanas programmas) vai tās var izveidot manuāli programmēšanas kodā.

Statiskā attēlā katras LED matricas kolonnas diode ir ieslēgta atbilstoši kolonnas kārtas numura binārajam kodam. Savukārt kustīgos attēlus veido statisko zīmju secīgs attēlojums LED matricā. Daži piemēri parādīti attēlos zemāk.

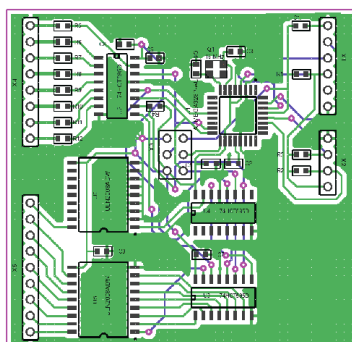


3.51. att. Statiskā dinamiskā indikācija



3.52. att. Animētā dinamiskā indikācija: skrejošā diagonāle

Minimizējot sistēmas dizainu, shēmai var izmantot elementus SMD korpusā (uz virsmas lodējamie elementi), kas samazina shēmas gabarītus. Viens no iespējamajiem SMD elementu izvietojuma un savienojuma variantiem uz plates redzams 3.53.att. Sistēmas loģikas bloka izmērs 56 x 53 mm.



3.53. att. SMD elementu izvietojums un savienojumi uz plates

3.2.3. LED displeja izolācija

Ir svarīgi izgatavot drošu tekstila gaismu izstarojošo displeju, lai bez funkcionālās īpašības tam būtu arī droša elektroniskās shēmas konstrukcija. Viens no viedtekstiliju pilnveidošanas mērķiem ir iestrādāt elektronikas sistēmu tieši auduma struktūrā. Tā kā viedapgērbis / viedtekstilijas joprojām ir izstrādes stadijā un šobrīd nav pieejamas šo izstrādājumu grupas tehnoloģiju standartizācijas, pastāv daudzas projektēšanas problēmas. Tekstila / apģērba funkcionālās īpašības vajadzētu pārbaudīt pēc specifiskiem tekstilmateriālu testa standartiem. Elektronikas elementus vajadzētu vērtēt pēc to izturības pēc izstrādājuma kopšanas (tīrīšanas), kā arī tos būtu nepieciešams testēt uz elektrisko drošību [117].

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. Viedtekstiliju izpētes jomā minēti vairāki elektroniskās tekstila shēmas izolācijas paņēmieni, piemēram – pa virsu elektrovadošajam celiņam šūta vai izšūta nosedzošā zigzaga šuve, izolējoša auduma uzlīmēšana vai uzšūšana, pārklājumu uzklāšana (latekss, akrila gēls, auduma krāsas utt.) uz tekstila shēmas [19] utt. Šīs metodes ir lietojamas daļējai vai pilnīgai elektrisko kontaktu izolācijai, taču nav piemērotas gaismu izstarojošā displeja izolācijai. Šajā gadījumā izolācijai jāizvēlas caurspīdīgi materiāli. Autors [47] piedāvā izmantot caurspīdīgus elastomēru materiālus, lai iekapsulētu elektronikas elementus, izolējot tikai savienojuma vietas pie elementa kontaktiem. Ja ir jāpārklāj lielāku laukumu ar elektronikas elementu kopu, nepieciešamas citas izolācijas materiālu uzklāšanas metodes. Ja displejs ir paredzēts izmantošanai kā izstrādājuma vizuālā daļa, ir svarīgs gan izolācijas pārklājuma caurspīdīgums, gan viendabīgums.

Darba gaitā veikta tekstila elektrisko shēmu izolācija ar 3 dažādiem silikona gumijas materiāliem un poliuretāna plēvi. Pētījuma mērķis ir sniegt ieteikumus un informāciju attiecībā uz elektronikas elementu izolācijas iespējām uz tekstilijas virsmas, veicinot elektrisko tekstilshēmu izolācijas metodes attīstību.

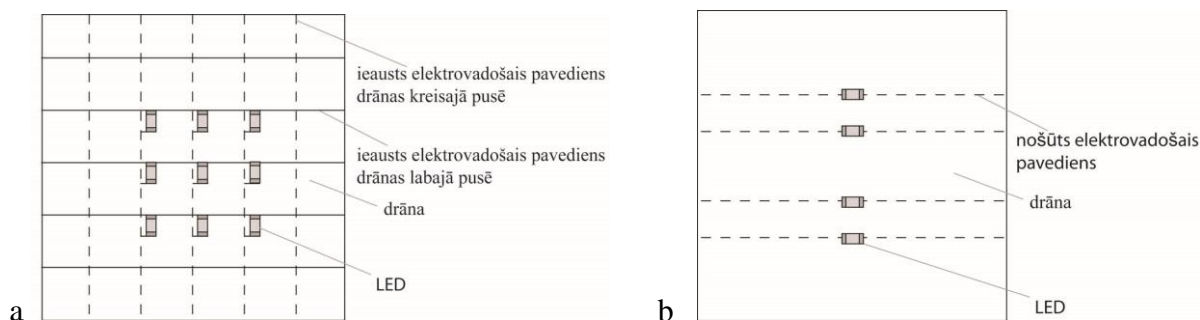
Testiem izmantoti trīs veidu paraugi. Paraugu drānu sastāvs un elektrovadošā pavidiena integrēšanas veids attēlots 3.8. tabulā.

3.8. tabula

Paraugu drānu sastāvs un elektrovadošā pavidiena integrēšanas veids

Kods	Sastāvs	Elektrovadošā pavidiena integrēšana	g / m²	Biezums, mm	Struktūra
N1	Kokvilna	Iešūšana	140	0,39	Austs: Audekla pinums
N2	Kokvilna	Ieaušana	464	2,31	Austs: Kombinēts satīna pinums
N3	Poliesters	Iešūšana	295	2,85	Adījums – flīss

Paraugiem izmantotas elektrotekstiliju pamatnes ar SMD LED, kas pievienotas pie tekstilijā integrētajiem elektrovadošajiem pavedieniem. Testiem izmantoti trīs veidu paraugi. Paraugu grupā N1 un N3 elektronikas elements atrodas uz drānas virsmas (uzšūts), paraugu grupā N2 elektronikas elements integrēts auduma struktūrā (ieausts). Elektrisko tekstila shēmu konstrukcijas parādītas 3.54.att.



3.54. att. Paraugu shēmas - a: LED matrices displeja konstrukcija; b: paralēlo portu LED displeja konstrukcija

Pārklājumam lietotas divas metodes: šķidrāis pārklājums ar naža pārseguma uzklāšanu un cietvielas pārklājums ar laminēšanu. Tā kā tika izolētas LED, bija svarīgi iegūt caurspīdīgu virsmu, kam izvēlēti atbilstoši materiāli.

Elektriskās īpašības novērtētas ar izstarotās gaismas intensitātes un elektriskās pretestības mērījumu izmaiņām pirms izolācijas, pēc izolācijas, kā arī pēc mazgāšanas testa. Katras diodes ieslēgšanai izmantots konstants 5V strāvas avots (PC) un 100 omu rezistors.

Izolācijas kārtas uzklāšana

Pārklājums veido barjeru pret mitrumu, fizikālo, mehānisko un ķīmisko iedarbību, koroziju un ārējās vides laika apstākļiem. Pastāv dažādi pārklājumu veidi, zemāk ir aprakstīti divi veidi, kas izmantoti eksperimentā.

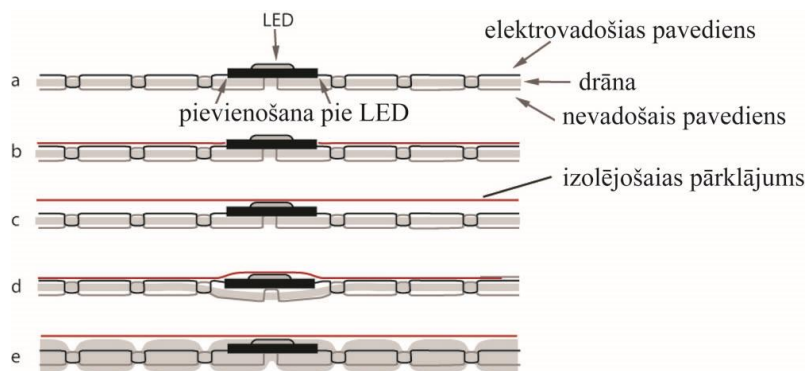
1. Silikongumijas pārklājums.

Silikonus raksturo kā polimērus, kas ir izturīgi pret ārējās vides laika apstākļiem, dzirksteļošānu, triecieniem, ķīmiskām vielām, tiem ir laba nodilumizturība [5], kā arī tiem piemīt laba elastība, ir zema mitruma uzsūkšana, termiskā stabilitāte, kas dara tos īpaši piemērotus pusvadītāju ierīču aizsardzībai [85].

Izolācijai izmantots tekstilam paredzētais silikons, lai iegūtu elastīgu un uz tekstila virsmas noturīgu pārklājumu. Silikongumijas pārklājumi uz paraugiem uzklāti ar manuālo naža pārseguma uzklāšanu metodi, izmantojot šablonus. Integrētie elektronikas elementi veido nevienmērīgu virsmu, kas rada sarežģījumus vienmērīga un plāna pārklājuma uzklāšanā.

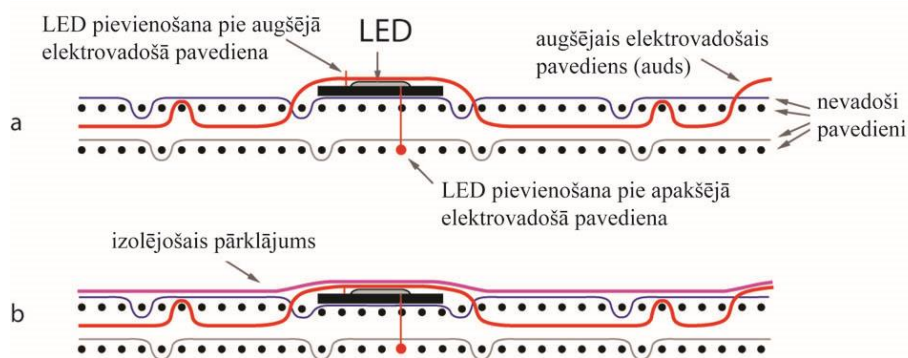
Pirmajiem paraugiem izmantots plāns audekla pinuma audums (N1 no 3.9.tabulas), kur elektrovadošais pavadīens ir uzšūts uz auduma. Paraugam ir dažāds biezumu atsevišķās vietās: pamatmateriāla biezums – 0,39 mm, biezums elektrovadošā pavadīena šuves vietā – 0,62 mm, biezums pie pavadīeniem pievienotās diodes vietā – 1,44 mm. Šāda struktūra sarežģīt vienmērīga pārklājuma uzklāšanu. Šajā gadījumā, lai iegūtu vienmērīgu un pilnībā izolētu virsmu, pārklājuma kārtas biezumam jābūt lielākam par diega diametru. Ja tiek izmantoti elektronikas elementi, pārklājuma biezumam jābūt lielākam par elementa augstumu. Pretējā gadījumā pārklājums neizolē pilnībā attiecīgo materiālu (3.55.att. b), kā arī var bojāt savienojumu (piemēram, elements atvienojas no celiņa). Izmantojot mīkstu pamatni zem parauga pārklāšanas procesā (3.55.att. d), pārklājumu iespējams izveidot plānāku – pārklāšanas procesā notiek auduma virsmas deformācija, elementiem iegrimstot pamatnē, tādējādi ļaujot klāšanas nazim vieglāk slīdēt pāri virmai. Pārklājuma materiāla daudzums ir atkarīgs no pamatnes struktūras un nostiepuma vai no naža spiediena [111].

Svarīga ir arī pamatmateriāla izvēle – nepieciešams saskaņot elektronikas elementus ar drānas struktūru, no kā būs atkarīgs pārklāšanas materiāla daudzums un pārklājuma biezums. Izmantojot mīkstu un biezu audumu shēmas pamatnei (piemēram, flīsu – paraugu grupa N3 no 3.9. tabulas), veidojas virsmas deformācija, pavadīeni iegrimst audumā un tiek pilnīgi izolēti arī ar plānu izolācijas kārtu (3.55.att. e). Līdz ar to ir mazāks parauga svara un biezuma pieaugums.



3.55. att. Pārklāto un nepārklāto šūto paraugu shēmas – a: neizolēts paraugs; b: paraugs no plāna auduma izolēts ar plānu kārtu uz cietas virsmas (N1); c: paraugs no plāna auduma izolēts ar biezu kārtu (kārtas biezums > izolējamā elementa augstums) uz cietas virsmas (N1); d: paraugs no plāna auduma izolēts ar plānu kārtu uz mīkstas virsmas (N1); e: paraugs no bieza auduma izolēts ar plānu kārtu uz mīkstas vai cietas virsmas (N3).

Elektronikas elementa integrēšana tekstilijas struktūrā atvieglo pārklājuma uznešanu un ļauj izveidot vienmērīgāku un plānāku pārklājumu, noizolējot visu laukumu. Līdz ar to izolācijas eksperimentiem izmantots elektrotekstilijas paraugs, kurā gaismu izstarojošā diode integrēta displeja struktūrā. Elektrotekstilijas shēma ar tās struktūrā integrētu LED (paraugu grupa N2) parādīta 3.56.att. Izolējošo pavadnienu pārsedžu klājums attiecīgajās tekstila displeja vietās ļauj paslēpt gaismu izstarojošo diodi zem tiem, kā rezultātā ierīce atrodas tekstilmateriāla iekšpusē. Tā ka audumam ir lielāks biezums, pārklāšanas procesā veidojas virsmas deformācija, diodei iegrimstot dziļāk audumā (3.56.att. b). Tas atvieglo pārklājuma uznešanas procesu un ļauj iegūt plānāku pārklājumu.



3.56. att. Pārklāto un nepārklāto austo paraugu shēmas (N2) – a: neizolēts paraugs; b – izolēts paraugs

2. Poliuretāna (PU) plēves pārklājums.

Paraugi tika laminēti ar PU plēvi, pievienojot to pie tekstila ar līmes plēves palīdzību, izmantojot karstuma presi. Eksperimentā laminēšanai izmantota nepārtrauktas darbības prese, taču šai sasaistei var pielietot arī pārtrauktās darbības presi. Abos gadījumos vēlams zem parauga izvietot mīkstu pamatni, lai laminētā virsma pielīmētos vienmērīgāk.

3. Citi pārklāšanas veidi.

Tika izmēģināti arī citi materiāli un metodes ūdeni necaurlaidīga pārklājuma iegūšanai: mitrumaizsardzības aerosols tekstilam un aprete ar ūdeni saturošā silikona emulsiju. Iegūti plāni pārklājumi, kas nodrošina tekstilijas ūdens izturību, taču netiek izolēti elektrovadošie kontakti un elementi. Līdz ar to šie materiāli neder elektrisko tekstilshēmu izolācijai un tālāk pētījumā netiek izmantoti.

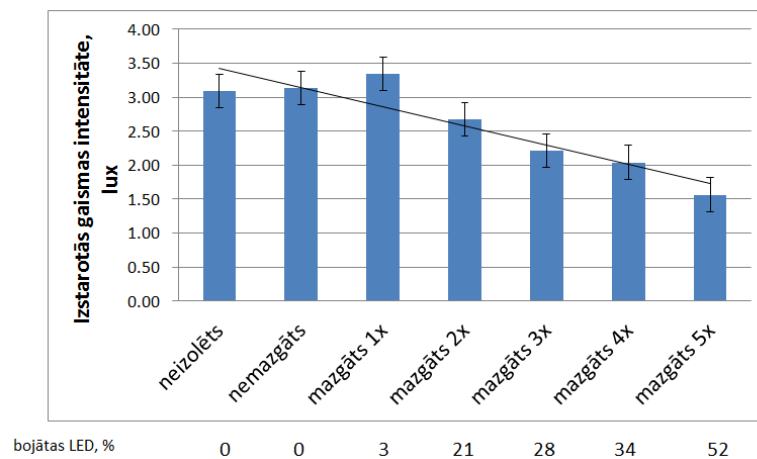
Pēc pārklājuma uznešanas novērtētas paraugu elektriskās īpašības, izmantojot ekspluatācijas testus.

Mazgāšanas pārbaude

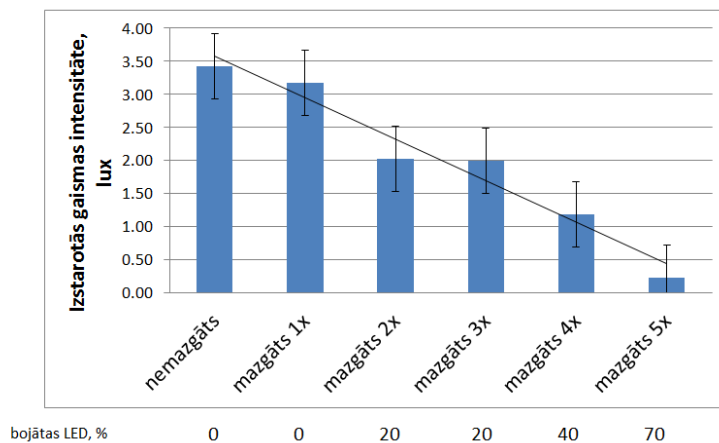
Mazgāšanas pārbaudē paraugu grupā N1 testēti 19 paraugi (kopā integrētas 38 LED), paraugu grupā N2 testēti 8 paraugi (kopā integrētas 72 LED).

Paraugi pēc mazgāšanas var gan palielināt, gan samazināt izstarotās gaismas intensitāti. Kaut arī korelācijas koeficients starp rādītāju grupām (nemazgāti paraugi un paraugi ar dažādu mazgāšanas ciklu skaitu) ir no 0,55 (vidēji cieša sakarība) līdz 0,91 (cieša sakarība), tiem nepiemīt izteiktas izmaiņu tendences. Kopējais gaismas intensitātes samazinājums vairāk saistīts ar bojātām LED, kurām piešķirta vērtība 0.

Ūdeni necaurlaidīgais izolācijas slānis pasargā displeja paraugus no mitruma, līdz ar to arī no īssavienojuma un kontaktu korozijas. Taču tas nenodrošina pilnīgu aizsardzību no mehāniskām iedarbībām – pēc mazgāšanas daļa kontaktu vairs nedarbojās. Kā tas redzams rezultātu grafikos (3.57.att. un 3.58.att.), izstarotās gaismas spožuma intensitāte un funkcionējošo diožu skaits samazinās abos gadījumos, taču tendences taisne norāda, ka neizolētajos paraugos vidējā gaismas intensitāte samazinās straujāk.

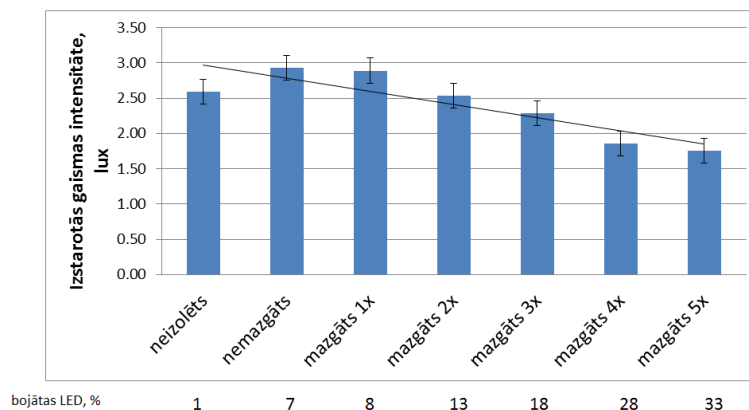


a



b

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



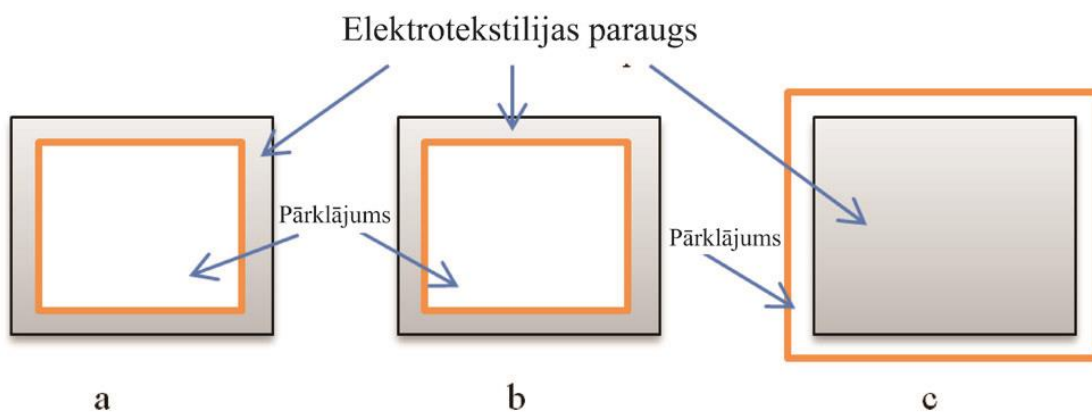
3.58. att. Gaismas intensitātes izmaiņas pēc mazgāšanas paraugu grupai N2.

Pēc mazgāšanas labāka izturība bija ar PU plēvi laminētajiem paraugiem - paraugu grupā N2 pēc 5 mazgāšanas reizēm nestrādāja 22 – 56 % ar silikonu izolētās LED (atkarībā no materiāla veida) un 11% laminētās LED. Tā kā silikons ir elastīgs materiāls, mehānisko iedarbību iespaidā pārklājums materiālu nenofiksē, bet gan stiepjas līdz ar pašu materiālu. Laminētajos paraugos plēve nav elastīga - tā neizstiepjas kopā ar materiālu un nofiksē materiāla pavedienus uz vietas.

Elektrovadošo tekstilmateriālu un elektronikas elementu savienošanas veids joprojām ir atklāts jautājums. Lodēts savienojums nodrošina teicamu elektrisko kontaktu, taču integrējot sistēmu tekstilijā, tā ir pakļauta mehāniskām deformācijām (piemēram, liecei), kā rezultātā kontakts pārtrūkst. Diemžēl izolācijas pārklājums testētajos paraugos nenodrošina pietiekami ciešu un stabilu kontakta nofiksēšanu.

Daļa paraugu pēc izolācijas uzrādīja spožāku izstarotās gaismas intensitāti (3.57.att. a un 3.58.att.). Pārklājums darbojas kā lēca, līdz ar to gaismas diodes izstarotais stars var mainīt savu leņķi. Diode pārklāšanas procesā var tikt nedaudz nobīdīta, kas arī var ietekmēt izstarotās gaismas uztveri.

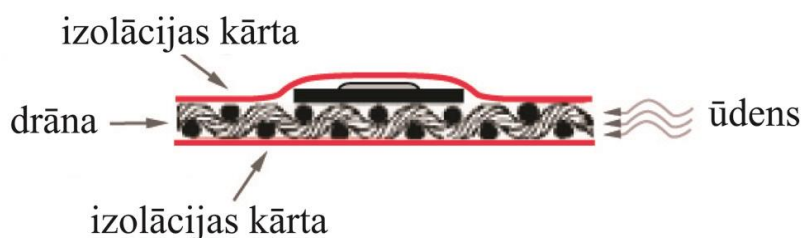
Eksperimentālajā paraugu pārklāšanas procesā pielietoti dažādi izolācijas veidi: izolācijas pārklājums no vienas puses, izolācijas pārklājums no abām pusēm un iekapsulēšana (3.59.att.).



3.59. att. Paraugu izolācijas veidi: a - izolācijas pārklājums no vienas puses; b - izolācijas pārklājums no abām pusēm; c - iekapsulēšana

Jāņem vērā, ka jebkuram audumam piemīt 3 dimensionāla struktūra – garums, platums un biezums. Paraugi, kas izolēti gan no vienas gan no divām pusēm (3.59.att. a un b), pēc mazgāšanas kļuva mitri arī zem izolētās kārtas, jo ūdens izplatās pa noizolēto virsmu no

tekstila iekšpusēs caur auduma biezumu (3.60.att.). Tas paildzina paraugu žūšanu – īpaši izteikts paraugos ar lielāku biezumu. Ūdens klātesamība var ietekmēt elektronikas elementu ilgdarbību un kvalitāti. Iekapsulējot paraugu pilnībā (3.59.att. c), ūdens paraugā netiek, taču palielinās tā svārs. Lai lietotu pirmās divas metodes, ir nepieciešams nodrošināt izolāciju gar izolētā parauga malām. Piemēram, ja displejs tiek integrēts apģērbā, ir jāizmanto ūdeni necaurlaidīgs pamatmateriāls, jāveido metināti savienojumi, ja veidoti šūtie savienojumi – vīles jāapstrādā ar izolācijas lentu.



3.60. att. Uz tekstilijasa virsmas no abām pusēm izolēts elektronikas elements

Nodilumizturības pārbaude

Lai simulētu parauga valkāšanas apstākļus, veikts nodilumizturības tests. Rezultāti apkopoti 3.9.tabulā.

3.9. tabula

Nodilumizturības testa rezultāti

Paraugu grupa	LED nodilumizturība, cikli	
	Izolācijas materiāls	
	Silikons	PU plēve
N1	1300	150
N2	13250	2050

Paraugu grupai N1 ir vāja nodilumizturība – laminētais paraugs iztur 150 ciklus, ar silikonu pārklātie paraugi - 1300 ciklus. Nevienmērīgās struktūras dēļ pārklājums tiek uzreiz noberzts, LED tiek bojāta. Paraugu grupai N2 ir labāka nodilumizturība, jo diode atrodas tekstilmateriāla struktūrā un ir papildus izolēta ar tekstila pavedieniem, kā arī materiāla

biezums krasi neatšķiras dažādās parauga vietās. Laminētiem paraugiem jau pēc pirmajiem 100 cikliem parādās putekļu nogulsnes, pie 300 parādās neliels iepļūsums laminētajā plēvē. Laminētie paraugi vidēji iztur 2050 berzes ciklus līdz plēve ir noberzta un LED tiek bojāta.

Ar silikonu pārklātajiem paraugiem ir labāka nodilumizturība – pie 2000 cikla silikons noberžas virs diodes, taču diode vēl strādā. Vidēji ar silikonu pārklātie paraugi iztur 10250 ciklus, līdz diodes vai kontakts pie tās tiek bojāts.

3.3. Elektronikas sistēmas dizaina optimizēšana

Analizēts iepriekš izstrādātais viedapģērba prototips [93], uzlabojot un pilnveidojot sistēmas dizainu. Piedāvāti vairāki elektronikas elementu dizaina varianti viedapģērbā un veikta daudzkritēriju analīze, izmantojot kritēriju kvantitatīvās novērtēšanas metodes. Metodes pielietojums var palīdzēt piemērotākas elektronikas sistēmas konstrukcijas izvēlē arī citu viedo apģērbu projektēšanas procesā.

Analizētais prototips raksturo elektronikas sistēmas iestrādi bloku tehnoloģijā.

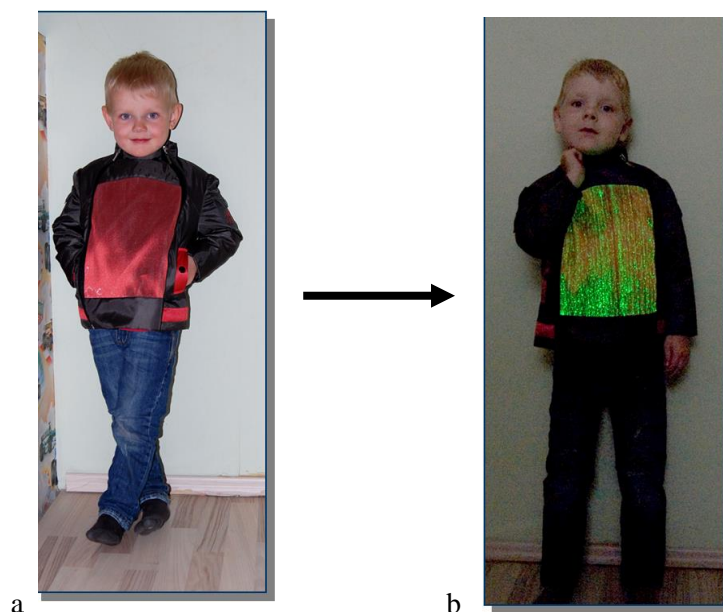
3.3.1. Mikroklimatu uzraugošā jaka un soma

Jakas prototips ar iestrādātās elektronikas palīdzību reaģē uz mikroklimata izmaiņām, signalizējot par temperatūras un relatīvā mitruma datiem. Dati tiek pārraidīti un attēloti divos veidos:

1. ar apģērbā iestrādātā optisko šķiedru auduma palīdzību, kad mikroklimata datu izmaiņu gadījumā audums izgaismojas;

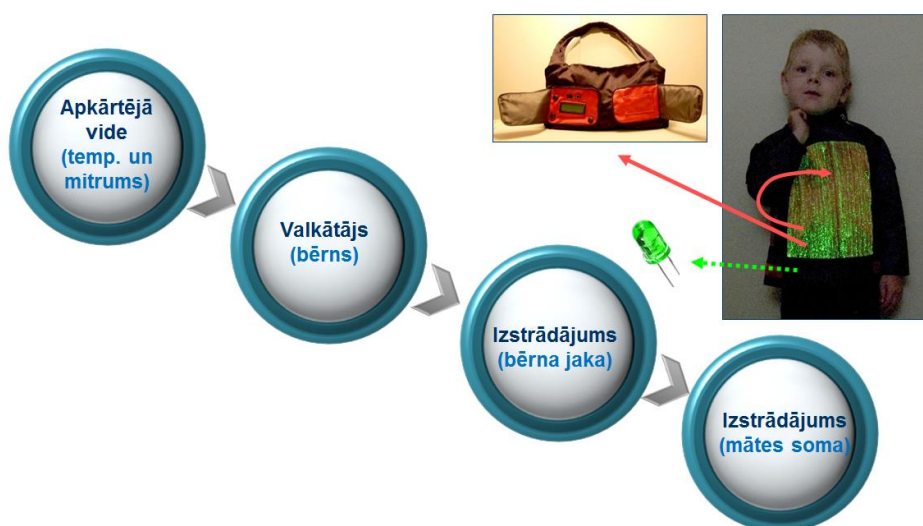
2. ar LCD ekrāna (šķidro kristālu displeja) palīdzību, kas iestrādāts somā un bezvadu veidā atspoguļo bērna ķermeņa temperatūras un relatīvā mitruma datus. Mātes somas un bērna jakas uztveršanas maksimālais attālums ir ap 30 m [93].

Jaka izslēgtā un ieslēgtā režīmā parādīta 3.61.att.



3.61. att. Jaka izslēgtā (a) un ieslēgtā (b) režīmā

Informācija cirkulē no ārējās vides uz valkātāju – tālāk no valkātāja uz apģērbu un no apģērba uz aksesuāru. Jakas un somas darbības princips shematiskā veidā parādīts 3.62.att.

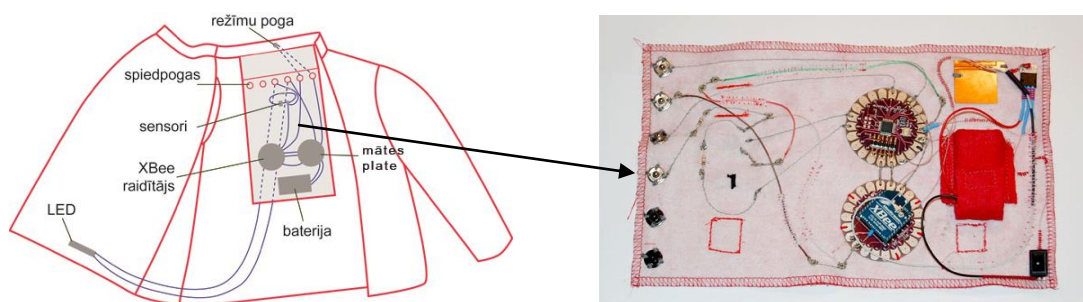


3.62. att. Jakas un somas darbības princips

Jakas prototipa elektronikas elementu izvietojums

Elektroniskā sistēma integrēta izstrādājumā ar iespēju to atvienot no apģērba. Gaismu izstarojošā diode (LED) un režīmu poga nav paredzēti noņemšanai, visi pārējie elektronikas

elementi izvietoti uz atdalāmās apģērba starpkārtas, kas izvietota apģērba mugurdaļā. Atdalāmā starpkārta pie apģērbā paliekošās starpkārtas pievienota ar 6 spiedpogām, no kurām 4 spiedpogas veido vadītspējīgus kontaktus, kas savieno LED un režīmpogu ar pārējo elektronikas bloku. Viedās jakas prototipa konstrukcija un noņemamā starpkārta redzama 3.63. att. Tajā nav attēloti pilnīgi visi elementi un kontakti, parādīta tikai principiālā savienošanas ideja.



3.63. att. Viedās jakas prototipa konstrukcija un noņemamā starpkārta

- Noņemamā starpkārta. Uz starpslāņa ir izvietoti šādi elektronikas elementi:
 - *LilyPad Arduino 328* mātes plate [72];
 - *XBee* raidītājs [137] uz *LilyPad XBee* plates [73];
 - Antena;
 - *PP3* 9V baterija;
 - Baterijas turētājs;
 - Sprieguma regulators;
 - Diode;
 - Divpozīciju slēdzis barošanas ieslēgšanai/izslēgšanai;
 - Mitruma sensors;
 - Temperatūras sensors;
 - 2 rezistori.

Starpkārtas labajā pusē (uz ķermeņa pusi) ir izvietoti temperatūras un relatīvā mitruma sensori, kreisajā pusē (uz virsdrānas pusi) pārējie elementi. Visi elementi savienoti elektriskajā ķēdē, izmantojot vadītspējīgos pavedienus un vadus. Lai iegūtu lielāku elastību, vadu un atsevišķu elektronisko elementu izvadiem un pievadiem veidotas cilpas, pie kurām vadi ar vadītspējīgo pavedienu piešūti pie noteikta elementa.

- Apģērbā iešūtā starpkārta. Atvienojamā starpkārta ar metāla spiedpogu palīdzību pievienojas pie kaklē iešūtās apģērbā paliekošās starpkārtas, pie kuras spiedpogām ir pievienotas šādas izejas:

- Gaismas diodes kontakts;
- Pogas kontakts.

- Izvides saskarne. Jakas priekšpusē iešūts optisko šķiedru audums, ko izgaismo LED. LED ir izvietota zem optisko šķiedru auduma, un ar vadiem ir pievienota pie apģērbā paliekošās starpkārtas spiedpogām. LED var pakļaut ūdens iedarbībai, tāpēc tas ir jakā paliekošais elements.

- Ievades saskarne. Uz jakas mugurdaļas apkakles ir izvietota vienpozīciju poga, kas savienota ar kaklē iešūtās apģērbā paliekošās starpkārtas spiedpogu. Tā regulē:

- Gaidīšanas režīma ieslēgšanu un izslēgšanu;
- Režīma veidu.

Jakai ir trīs aktīvie režīmi:

1. normālais režīms, kad tiek sūtīta informācija par temperatūras un mitruma datiem (no mātes plates uz LED). LED mirgošanas frekvence ir atkarīga no temperatūras un mitruma. Ja temperatūra pārsniedz 33° C vai mitrums lielāks par 40%, LED mirgo biežāk;

2. mirgošanas režīms, kad temperatūras un mitruma datu informācija tiek sūtīta, LED neatkarīgi no datiem tiek vienmērīgi ieslēgta un izslēgta ar nemainīgu biežumu;

3. nepārtrauktais režīms, kad temperatūras un mitruma datu informācija tiek sūtīta, LED ir nepārtraukti ieslēgta.

Kā šīs sistēmas trūkumu var minēt iespējamo risku, kas varētu rasties, bērnam nokrītot uz muguras tieši uz vietu, kur izvietota baterija vai *XBee* raidītājs, kas ir gabarītos lielāki par pārējiem elementiem un izvietoti mugurkaula zonā. Kā šīs problēmas risinājums konkrētajā konstrukcijā piedāvāta papildus amortizējošā slāņa izveidošana un sintepona kārtas iestrāde elektronikas elementu apgabalā. Lai novērstu minēto apdraudējumu, tika izstrādāti alternatīvi elektronikas elementu sadalījuma un izvietojuma varianti apģērbā.

3.3.2. Jakas elektronisko mezglu izvietojuma optimizācija

Projektējot viedo apģērbu, nepieciešams pārdomāt elektronikas elementu dizainu un izvietojumu, lai rezultātā iegūtu funkcionējošu, ērtu un ergonomisku viedā apģērba elektroniskās daļas konstrukciju. Analizēta jakas pirmā prototipa elektroniskās daļas

konstrukcija, veikta tās optimizācija un projektēti vairāki alternatīvi elektronikas elementu dizaina un izvietojuma varianti. Pētījuma mērķis ir piedāvāt vairākus elektronikas elementu dizaina variantus apgērbā, rūpīgi atlasīt kritēriju kopumu, kas ļautu pēc iespējas objektīvāk novērtēt izvietojuma variantus un salīdzināt tos, izmantojot lēmumu pieņemšanas metodi *ELECTRE*.

Apģērba ergonomika

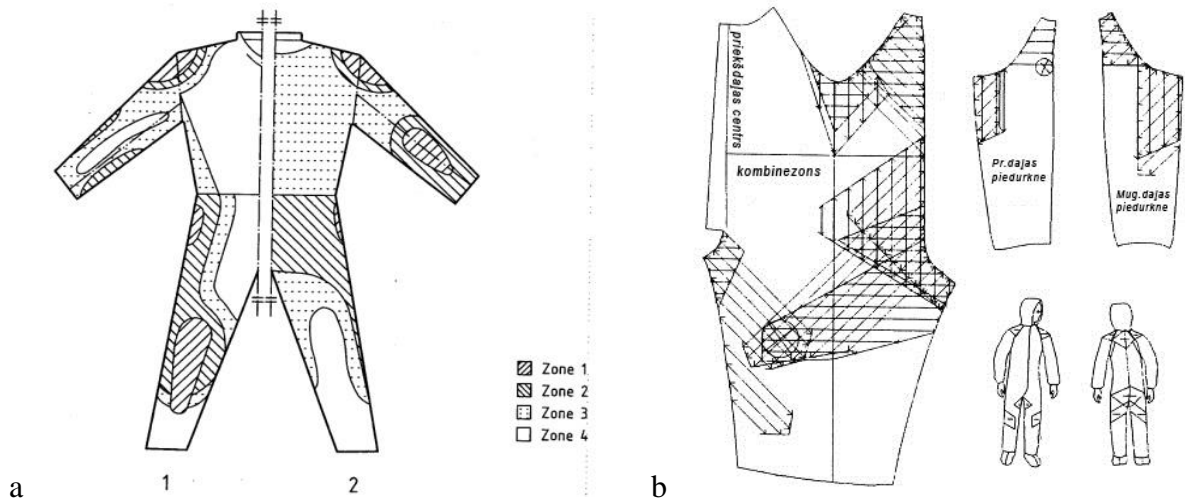
Optimizējot jakas konstrukciju, viens no mērķiem ir panākt, lai tā atbilstu apģērba ergonomiskām prasībām. Veidojot komunikācijas tehnoloģiju viedajos izstrādājumos, svarīgi ņemt vērā elektronisko elementu izvietojumu, svara sadalījumu un atbilstošu apģērba zonu izvēli. Pētījumu gaitā analizēti ārējās iedarbības un iekšējās iedarbības zonēšanas principi apģērbā.

Pētot ārējās iedarbības faktorus, izmantots un analizēts standarts LVS EN 13595-1:2003 *Aizsargapģērbs motobraucējiem profesionāļiem - Jakas, bikses un viengabala vai dalītie uzvalki - 1.daļa: Vispārīgās prasības*, kas ir atbilstošākais informācijas avots par ārējās iedarbības ietekmi uz apģērbu. Standarts ir vērsts uz motociklistu individuālo aizsarglīdzekļu izstrādājuma dažādu riska kategoriju zonu noteikšanu attiecībā uz iegūtajām traumām [2]. Standartā ir noteikti apģērba zonēšanas principi – virsma tiek dalīta, izmantojot četru risku kategoriju sistēmu:

- 1. zona – augsta triecienu riska zonas;
- 1. zona un 2. zona – augsta nobrāzuma riska zonas;
- 3. zona – mērena nobrāzuma riska zona;
- 4. zona – zema nobrāzuma riska zona.

2. – 4. zonu laukums motociklistu apģērbos ir noteikts attiecībā uz izstrādājuma izmēriem. 1. zonas laukums ir noteikts saskaņā ar EN 1621-1 *Motociklistu aizsargapģērbs pret mehāniskajiem triecieniem. 1. daļa: Motociklistu ekstremitāšu locītavu trieciena aizsargi. Prasības un testēšanas metodes*. Izmantojot šo informācijas avotu, ņemts vērā tikai aptuvenais zonu sadalījums drošākajai elektronikas elementu izvietošanai, nevis nobrāzumu stiprības pakāpe. Zonu izvietojumi parādīti 3.64.att. a.

Pētot iekšējās iedarbības faktorus, svarīga ir spēka iedarbība uz vīli apģērbā, kas atkarīga no ķermeņa kustībām un apģērba piegriezuma. Pētījumā [67] definētas slodzei pakļautās zonas apģērbā; iezīmētās zonas ir attēlotas 3.64.att. b.



3.64. att. Zonēšanas principi apģērbā – a: ārējā zonēšana (1 – izstrādājuma priekšdaļa; 2 – izstrādājuma mugurdaļa); b – Spriedzes iedarbība uz vīlēm apģērbā – zonas

Pēc ārējiem zonēšanas principiem un spriedzes iedarbības uz vīlēm apģērbā var spriest, ka atbilstošākās elektronikas elementu izvietojuma zonas jābūt priekšdaļai un mugurdaļai līdz viduklim sānu daļā, kā arī neliela zona uz piedurknes starp plecu un elkonī. Protams, jāņem vērā arī faktors, ka apģērbs paredzēts bērnam un var būt zināmas novirzes no noteiktajām apģērba zonām.

Bez zonēšanas principiem tika izvirzītas arī citas ergonomiskās prasības:

- Nepieciešams nodrošināt vienmērīgu elektronikas elementu svara un gabarītu sadalījumu apģērbā;
- Elektronikas elementi jāizvieto tā, lai bērns tiem nevarētu piekļūt un bojāt elektroniku;
- Jāizvēlas elektronikas elementi, kas ir pēc iespējas mazāki pēc gabarītiem un svara.

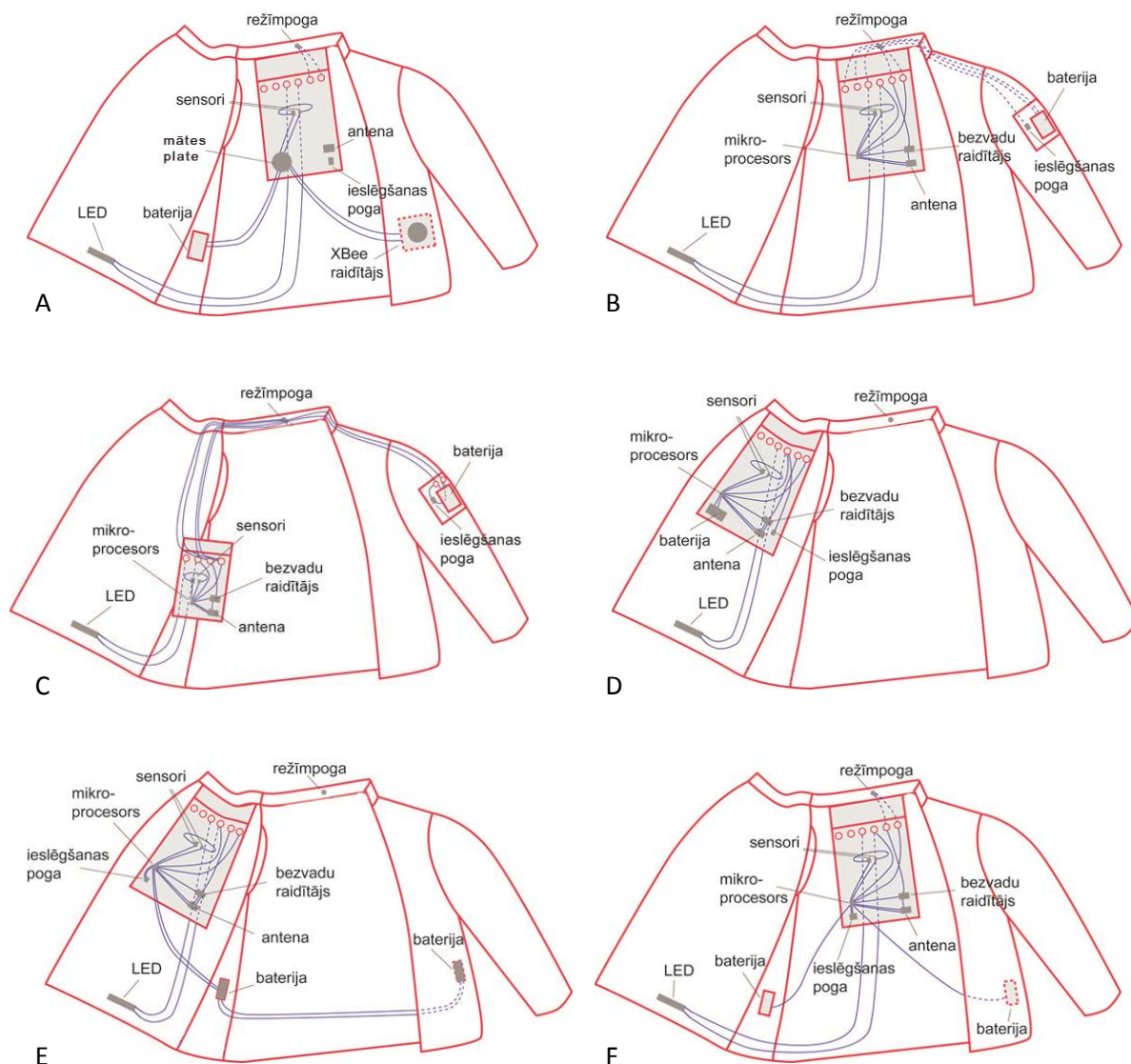
Elektronikas elementu izvietojuma varianti

Analizējot iepriekšminētās prasības un uzlabojot jakas konstrukciju, projektēti vairāki alternatīvi elektronikas elementu izvietojuma varianti bērna jakā. Izstrādātie varianti aprakstīti 3.10.tabulā.

Alternatīvi elektronikas elementu izvietojanas varianti viedajā apģērbā

Var	Nosaukums	Apraksts	Priekšrocības un trūkumi
A	Atdalāma starpkārta mugurdaļā un iekšējās kabatas elektronikas mezgla izvietojšanai	Izmantojot esošos elektronikas elementus – apģērbā kā paliekošie elektroniskie elementi ir LED un režīmu poga, daļa elektronisko elementu ir izvietoti uz atdalāmās starpkārtas mugurdaļā, bet daļa izvietota sānu daļā virs vidukļa līmeņa oderes iekšpusē izveidotajās kabatās. Sānu daļā izvietoti elementi, kas pēc gabarītiem ir salīdzinoši lieli, lai neradītu diskomfortu nospriegojot mugurdaļu. Panākts vienmērīgāks svara sadalījums.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> vienmērīgs svara sadalījums, ērta baterijas maiņa. <u>Shēmas trūkumi:</u> liela pašizmaksa, lieli elektronikas gabarīti, sarežģīta elektronikas elementu noņemšana.
B	Noņemama starpkārta mugurdaļā un ārējā kabata elektronikas mezgla izvietojšanai	Izmantoti alternatīvi elektronikas elementi, mazāki pēc gabarītiem un svara. Kā problemātisks elements paliek baterija (9V), kas ir relatīvi liela izmēra. Elektronikas elementi izvietoti uz starpkārtas mugurdaļā, kas aizņem mazāk vietas un starpkārta ir kompaktāka, baterija izvietota jakas ārpuses kabatā uz piedurknes.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> Zemāka pašizmaksa, minimizēti elektronikas elementu gabarīti, ērta baterijas maiņa. <u>Shēmas trūkumi:</u> sarežģīta elektronikas elementu noņemšana
C	Noņemama starpkārta sānu daļā un ārējā kabata elektronikas mezgla izvietojšanai	Līdzīgi iepriekšējam variantam - elektronikas elementi izvietoti uz starpkārtas sānu daļā, baterija izvietota jakas ārpuses kabatā uz piedurknes. Šāds starpkārtas izvietojums sānos nodrošina labāku mikroklimata uztveri, kā arī ar aizklājošās rokas palīdzību shēma tiek pasargāta no ārējiem triecieniem.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> laba mikroklimatu datu uztveršana, starpkārtas pasargāšana no triecieniem <u>Shēmas trūkumi:</u> sarežģītāka bloku savienošana, garāki kontaktu celiņi, berze sānu daļā.
D	Noņemama starpkārta priekšdaļā elektronikas mezgla izvietojšanai	Ņemot vērā analizētos zonēšanas principus, drošākā elektronikas elementu izvietojšanas zonas jakā ir priekšdaļas vidus, līdz ar to paredzēts elektronikas elementu izvietojšanas variants jakas priekšdaļā zem optisko šķiedru auduma. Apģērbā kā paliekošie elektroniskie elementi ir iestrādāta LED un režīmu poga, visi pārējie elektroniskie elementi izvietoti uz atdalāmās starpkārtas jakas priekšdaļā.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> zemāka pašizmaksa, kompakts izvietojums, zonēšanas princips, elektronikas bloka noņemšanas ērtums. <u>Shēmas trūkumi:</u> Vājāka mikroklimata datu uztveršana sensoru izvietojuma dēļ, sarežģīta baterijas maiņa.
E	Noņemama starpkārta priekšdaļā un iekšējā kabata elektronikas mezgla izvietojšanai	Šis variants ir līdzīgs iepriekšējam, taču šajā gadījumā ir uzlabots svara sadalījums, pārceļot bateriju no starpkārtas uz iekšējām kabatām, kas izvietotas sānu daļā virs vidukļa līmeņa oderes iekšpusē un atrodas pa vienai simetriski abos sānos. Paredzēts lietot 2 AA baterijas.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> zemāka pašizmaksa, zonēšanas princips, vienmērīgs svara sadalījums. <u>Shēmas trūkumi:</u> Ilgāka sadalītā elektronikas bloka izņemšana no apģērba.
F	Noņemama starpkārta mugurdaļā un ārējās kabatas noņemamo barošanas avotu izvietojšanai	Šādu simetrisku bateriju izvietojšanas variantu ir lietderīgi paredzēt arī gadījumā, kad elektronikas elementi atrodas uz noņemamās starpkārtas mugurdaļā. Paredzētas 2 AA baterijas.	<u>Shēmas priekšrocības:</u> zemāka pašizmaksa, zonēšanas princips, vienmērīgs svara sadalījums. <u>Shēmas trūkumi:</u> Ilgāka sadalītā elektronikas bloka izņemšana no apģērba.

Zemāk esošajā attēlā parādītas piedāvāto alternatīvo variantu elektronikas elementu izvietojuma shēmas jakas konstrukcijā.



3.65. att. Elektronikas elementu izvietojuma shēmas un jakas konstrukcijas variācijas

3.3.3. Lēmumu pieņemšanas metožu izmantošana sistēmas izvietojuma analīzē

Lēmumu analīzes mērķis ir palīdzēt lēmumu pieņemošai 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. Īpaši tas attiecas uz problēmām ar vairākām alternatīvām un kritērijiem. Lēmumu pieņemšanas metode piedāvā algoritmisku pieeju lēmumu strukturēšanai un preferenču modelēšanai, un tā rezultātā – alternatīvu ranžējuma iegūšanai, kas ir atkarīgs no lēmumu pieņemošas personas sniegtās informācijas [126].

Veicot daudzkritēriju analīzi, jāizmanto metodes no kritēriju kvantitatīvās novērtēšanas metožu grupas. Šīs metodes ļauj ievērot informācijas daudzkritēriju raksturu un veikt izvēli no vairākām alternatīvām, izmantojot kritērijus ar vērtēšanas skalu [104]. Viena no izvēlētajām metodēm ir *ELECTRE* – izmantojot konkordances un diskordances vērtības, tiek noteiktas dominējošās alternatīvas. Otrā metode ir *AHP* jeb *Analītiskās hierarhijas process*, kuras pamatā ir kritēriju hierarhijas izveidošana un viena līmeņa kritēriju bināra salīdzināšana [106]. Metodes izvēlētas, jo tās orientētas uz cilvēku un ir pietuvinātas cilvēku intuitīvajam domāšanas veidam pieņemot lēmumus.

Elektronikas elementu izvietojuma kritēriju apraksts un analīze

Pilnveidojot mikroklimatu uzraugošā apgērba sistēmu, analīzei piedāvāti vairāki elektronikas elementu dizaina varianti apgērbā un rūpīgi atlasīts kritēriju kopums, kas ļautu iespējami objektīvāk novērtēt izvietojuma variantus un salīdzināt tos, izmantojot lēmumu pieņemšanas metodi. Kritērijiem jābūt:

- Atšķirīgiem alternatīvu starpā un spējīgiem nodrošināt alternatīvu uzdevuma salīdzināšanu;
- Pilnīgiem, iekļaujot visus mērķus;
- Operatīviem un nozīmīgiem;
- Bez liekvārdības;
- Nelielā skaitā [41].

Analīzei izmantoti 8 kritēriji, kas aprakstīti zemāk.

1. Elektronikas gabarīti. Viedapgērba valkāšanas ērtuma nodrošināšanai vēlams izvēlēties elektronikas elementus, kuru gabarīti un svars ir nelieli;

2. Elektronikas bloka noņemšanas ērtums. Svarīgi nodrošināt ērtu bloka atvienošanas iespēju pirms mazgāšanas. Tiek ņemta vērā pievienošanas tehnoloģija, atvienošanas ciklu skaits utt. Visērtākais ir kompakts izvietojums - visa bloka atvienošana uzreiz;

3. Baterijas maiņas ērtums. Jāparedz ērts baterijas maiņas veids – viegli atrast, vienkārši atvienot un pievienot bateriju;

4. Pašizmaksa. Ņemtas vērā elektronikas elementu izmaksas;

5. Mikroklimate datu uztveršana. Sensorus lietderīgi izvietot vietā, kur svīšana notiek pastiprināti, nodrošinot, ka uztvērēji ātrāk un precīzāk nolasa mikroklimate datu informāciju;

6. Svara sadalījums. Svarīgs ir nosacīti proporcionāls svara sadalījums, kas ir būtisks, raugoties no ergonomiskā aspekta, turklāt tas ietekmē apģērba stabilitāti uz ķermeņa;

7. Nepieejamība bērnam. Jaka paredzēta mazbērnu vecuma bērnu grupai, tāpēc svarīgi, ka bērns netiek klāt elektronikas blokam, nevar to deformēt, kā arī nevar traumēt sevi, piemēram, aizriņoties ar mazām detaļām;

8. Ergonomika. Analizējot ārējās un iekšējās iedarbības zonēšanas principus apģērbā, secināts, ka optimālākās elektronikas elementu izvietošanas zonas jakā ir priekšdaļa un mugurdaļa līdz viduklim sānu daļā, kā arī neliela zona uz piedurknes starp plecu un elkoni.

Izmantojot *AHP* metodi, aprēķināti kritēriju svarīguma koeficienti, nosakot cik nozīmīgs ir kritērijs C_i (rinda) attiecībā pret kritēriju C_j (kolonna). Lai noteiktu priekšrokas intensitāti, izmantota skala no 1 līdz 3 ar ekspertu vērtējumiem, kur 1 nozīmē vienādu priekšroku un 3 nozīmē ļoti stingru priekšroku. Ja pāru salīdzināšanas novērtējums $f(C_i, C_j) = x$, tad novērtējums $f(C_j, C_i) = 1/x$, kur $x > 0$. Kritēriju pāru salīdzināšanas matrica redzama 3.11. tabulā.

3.11.tabula

Kritēriju pāru salīdzināšanas matrica

Krit. N.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1.5	1.5	3	1.5	2.5	3	2.5
2	0.67	1	0.67	2.5	1	2.5	3	2.5
3	0.67	1.5	1	2	1	2.5	3	2.5
4	0.33	0.4	0.5	1	0.5	0.5	0.5	1
5	0.67	1	1	2	1	2	2	2
6	0.4	0.4	0.4	2	0.5	1	1	2
7	0.33	0.33	0.33	2	0.5	1	1	1
8	0.4	0.4	0.4	1	0.5	0.5	1	1

Elektronikas elementu izvietojuma variantu salīdzinājums

Variantu novērtēšanas analīzei pakļauta prototipa konstrukcija (P) un alternatīvie konstrukcijas varianti (A, B, C, D, E, F). Ikviens variants vērtēts atbilstoši katram kritērijam, novērtējot tā vērtību 10 ballu sistēmā, kur: 1 – viszemākais vērtējums, 10 – visaugstākais vērtējums. Vērtējumi piešķirti vienai alternatīvai attiecībā pret pārējām analīzē ietvertajām alternatīvām, nevis vispārīgi attiecībā pret visiem iespējamajiem variantiem. 3.12. tabulā redzami alternatīvu novērtējumi un aprēķinātie svarīguma koeficienti. Alternatīvu svarīguma koeficientus aprēķina pēc formulas (5).

3.12. tabula

Alternatīvu novērtējumi un aprēķinātie svarīguma koeficienti

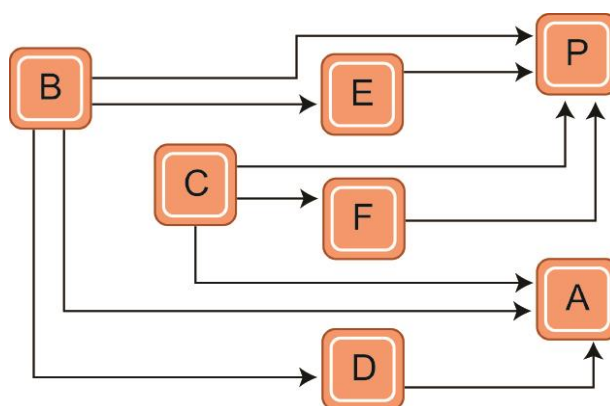
N.	Kritēriji	Alternatīvu novērtējumi						Svar. koef.	
		P	A	B	C	D	E		F
1	Elektronikas gabarīti	4	4	10	10	10	10	10	0.21
2	Elektronikas bloka noņemšanas ērtums	10	7	9	9	10	7	7	0.16
3	Baterijas maiņas ērtums	8	9	10	10	8	7	7	0.18
4	Pašizmaksa	5	5	10	10	10	10	10	0.06
5	Mikroklimata datu uztveršana	9	9	9	10	7	7	9	0.15
6	Nepieejamība bērnam	10	10	10	7	7	7	10	0.09
7	Svara sadalījums	8	10	9	9	8	10	10	0.08
8	Zonēšanas princips	4	8	8	9	10	10	8	0.07

Izveidota objekta pārsvara atbilstības (konkordances) indeksu matrica un objekta pārsvara neatbilstības (diskordances) indeksu matrica. Matricas attēlotas 3.13. tabulā. Diskordances indeksi matricā var mainīties robežās no 0 līdz 1 un izsaka neatbilstības, neuzticības pakāpi vienas alternatīvas pārsvaram attiecībā pret otru.

Konkordances un diskordances indeksu matricas

Konkordances matrica								Diskordances matrica							
	P	A	B	C	D	E	F		P	A	B	C	D	E	F
P	-	0.12	0.12	0.25	0.25	0.5	0.25	P	-	0.11	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
A	0.38	-	0.12	0.25	0.5	0.38	0.12	A	0	-	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
B	0.62	0.5	-	0.12	0.5	0.5	0.25	B	0	0	-	0	0.1	0	0
C	0.75	0.75	0.25	-	0.38	0.38	0.5	C	0	0	0	-	0.1	0	0.3
D	0.38	0.5	0.25	0.25	-	0.25	0.38	D	0	0	0	0	-	0	0.3
E	0.5	0.38	0.25	0.25	0.12	-	0.12	E	0	0	0	0	0	-	0
F	0.5	0.25	0.12	0.25	0.38	0.25	-	F	0	0	0	0	0	0	-

Saskaņā ar konkordances un diskordances indeksu nosacījumiem kā robežvērtības pieņemtas: $c_l = 0,45$ un $d_l = 0,4$, tādā veidā atrodot vienas alternatīvas pārsvaru pāri citai. Alternatīvu daļējs sakārtojums attēlots 3.66.att.



3.66. att. Alternatīvu daļējs sakārtojums

Alternatīvu daļēja sakārtojuma shēmā redzams alternatīvu pārsvars vienai pāri otru, tādējādi noskaidrojot vispiemērotāko risinājumu elektronikas elementu izvietojšanai apgērbā. Dominējošie varianti ir B (pārsvars pāri 4 alternatīvām) un C (pārsvars pāri 3 alternatīvām).

Salīdzinot vairākus elektronikas elementu dizaina variantus apgērbā, izmantojot lēmumu pieņemšanas metodes *AHP* un *ELECTRE*, pētījuma rezultāti rāda, ka piemērotākie varianti atbilstoši izvirzītajiem kritērijiem ir B, kur paredzēta noņemama starpkārta mugurdaļā un ārējā kabata elektronikas mezgla izvietojšanai, un C, kur paredzēta noņemama starpkārta

sānu daļā un ārējā kabata elektronikas mezgla izvietojumam. Viens no pētījuma mērķiem bija rūpīgi atlasīt kritēriju kopumu, kas ļautu pēc iespējas objektīvāk novērtēt elektronikas sistēmu izvietojuma alternatīvas viedajā apģērbā. Kritēriju atlase un to vērtību analīze var palīdzēt piemērotākas elektronikas sistēmas konstrukcijas izvēlē arī citu viedo apģērbu projektēšanas procesā. Metode ir īpaši noderīga, ja tiek analizēts liels alternatīvu skaits.

Kopsavilkums

Nodaļā veikta elektrovadošo tekstilmateriālu uzvedības 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 mikroklīmatu uzraugošās jaka (bloku tehnoloģija).

Pētītas elektrovadošo tekstilmateriālu īpašības un to izmaiņas dažādu apstākļu un faktoru ietekmē. Rezultātā izstrādāti elektrovadošo tekstilmateriālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji / ieteikumi, kuri jāņem vērā, projektējot tekstila elektrisko shēmu: elektrovadošā pavadiena struktūra, šūšanas process, izvietojums apģērbā, elektriskā uzvedība vides ietekmē un shēmas pielietojums.

Analizēti atšķirīgi elektrovadošo pavadīumu starpsavienojuma veidi un to izturība. Secināts, ka lodēts savienojums nodrošina teicamu elektrisko kontaktu, taču, integrējot sistēmu tekstilijā, tā ir pakļauta mehāniskām deformācijām, kā rezultātā kontakts pārtrūkst. Savukārt mezgla savienojuma elektriskā vadītspēja samazinās pakāpeniski, kas saistīts ar to, ka mezgls ar laiku kļūst vaļīgāks. Pēc paraugu ekspluatācijas testa secināts, ka austas elektrotekstilijas struktūra uzlabo gan lodētu, gan mezgla elektrovadošo pavadīumu kontaktu izturību, jo pavadīena kontaktvietas ir daļēji nosegtas ar tekstila pavadīeniem.

Salīdzinātas šūta un austa sensora struktūras, veicot sistēmas ieslēgšanas testu un viltus trausmes testu ar mērķi noteikt sistēmas jutīgumu un ieslēgšanās robežu. Šūtais sensors uzrādīja labākus rezultātus sistēmas ieslēgšanās testā – ātrāka reakcija, taču austa sensors bija labāks viltus trausmes testā – tas bija mazāk jutīgs uz svīšanas simulāciju. Konstatēts, ka optimāls ieslēgšanās sliekšnis ir 3V, kas nodrošina aizsardzību pret viltus trausmēm (piemēram, svīšanu).

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

Darbā adaptēta lēmuma pieņemšanas metode viedo tekstilizstrādājumu sistēmu novērtēšanai un salīdzināšanai. Analizēts iepriekš izstrādātais jakas prototips, uzlabojot un pilnveidojot sistēmas dizainu. Piedāvāti vairāki elektronikas elementu dizaina varianti viedapģērbā un veikta daudzkritēriju analīze, izmantojot lēmuma pieņemšanas metodes. Analīzes rezultātus var izmantot, lai noskaidrotu dažādu alternatīvu lēmumu stabilitāti, jutīgumu pret nelielām izmaiņām, kā arī lai strukturētu lēmumu un padarītu to pārskatāmāku.

4. VIEDO TEKSTILIZSTRĀDAJUMU PROJEKTĒŠANAS PROCESA STRUKTŪRSHĒMA

Viedā tekstilizstrādājuma izstrāde tā projektēšanas procesā apvieno dažādas jomas, tāpēc jāveic starpdisciplinārs darbs. Tādejādi strādājot pie viedo tekstilizstrādājumu izstrādes, dizainerim jāapsver daudzpusīgi projektēšanas procesa faktori, jo viedā tekstilizstrādājuma projektēšanas process būtiski atšķiras no tradicionālo apģērbu projektēšanas. Apģērba/tekstila dizainera izpratnei par minēto specifisko procesu izstrādāta viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa struktūrshēma, kas ļauj plānot un realizēt viedo tekstilizstrādājumu izgatavošanas procesu.

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

4.1. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati

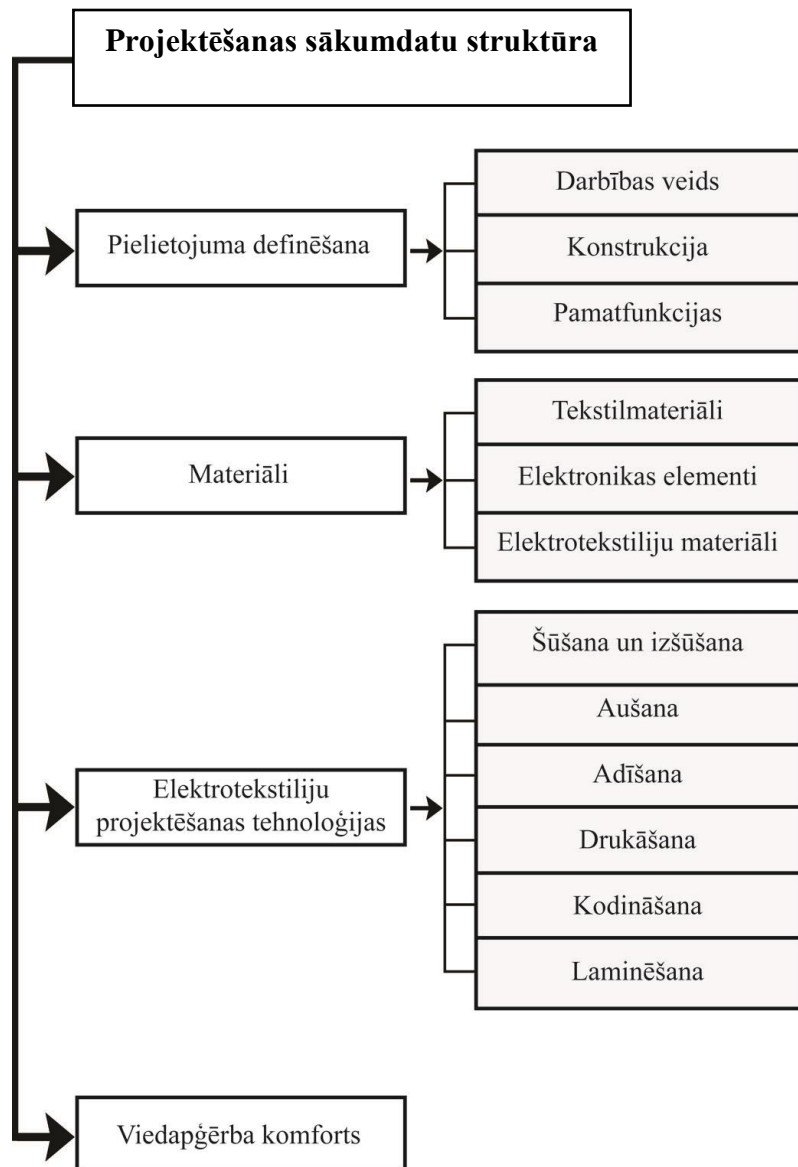
Atbilstoši viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas teorētiskajiem pamatiem (1.nodaļa), izveidota viedo tekstilizstrādājumu sākumdatu informācijas struktūra, kas ietver informāciju par pielietojumu, lietojamiem materiāliem, elektrotekstiliju projektēšanas tehnoloģijām un viedapģērba komfortu. Informācijas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

Definējot viedapģērba pielietojumu, jānosaka tā darbības veids, sistēmas konstrukcija un pamatelementi.

Materiālu blokā apkopota informācija par piemērotiem tekstilmateriāliem, elektronikas elementiem un elektrotekstiliju materiāliem. Elektronikas elementu klasifikācija palīdz noteikt elementu specializāciju un izvēlēties konkrētam izstrādājumam piemērotāko elementu. Elektrovadošo drānu klasifikācija apraksta drānas pēc to izgatavošanas tehnoloģijas un ļauj izvēlēties elektrovadošo materiālu atbilstošam pielietojumam.

Informācija par tekstila shēmu izgatavošanas tehnoloģijām ļauj izvēlēties tehniku atbilstoši pielietojumam un iespējām.

Viedapģērba komforta bloks sniedz informāciju par viedo apģērba valkāšanas komfortu ietekmējošajiem faktoriem, ņemot vērā apģērba dizaina / konstrukcijas un cilvēka ķermeņa mijiedarbību un ievērojot anatomiskās, fizioloģiskās un psiholoģiskās prasības.



4.1. att. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas sākumdati

4.2. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa modelis

Darbā izstrādāts viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas modelis, kas dalīts 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 jāsavieno pēc struktūras īpašībām pavisam atšķirīgus materiālus. Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanas procesa struktūrshēma redzama 4.2.att.

Modelis atspoguļo eksperimentālo viedapģērbu projektēšanas procesu. Atkarībā no projektējamā viedā tekstilizstrādājuma veida modeļa struktūra var mainīties, piemērojoties izstrādājuma specifikai, pēc nepieciešamības modeli saīsinot vai izvēršot.

Nosacīti modeli var sadalīt 5 posmos – projekta sagatavošana, sākumdatu noteikšana un materiālu izvēle, koncepcijas analīze, eksperimentālā tehnoloģija un prototipa novērtēšana.

I Projekta sagatavošana

Tā kā viedapģērba izstrādes procesā apvienotas dažādas jomas, rodas vajadzība veikt starpdisciplīnu darbu, iesaistot tādus speciālistus kā tekstila un apģērba tehnologs un dizainers, elektronikas inženieris un informācoijas tehnoloģiju speciālists. Atkarībā no izstrādājuma uzdevuma un specifikas var rasties nepieciešamība piesaistīt arī citu nozaru speciālistus (piemēram, medicīnas, ķīmijas, fizikas uc.).

Projekta sagatavošanas posmā izstrādā projektēšanas darba plānu, kuru darba procesā var precizēt.

II Sākumdatu noteikšana un materiālu izvēle

Viedapģērbs tiek izmantots kā vietne elektronisko tehnoloģiju integrēšanai, līdz ar to apģērba paketei var pievienot papildus elektronikas kārtu. Tas jāņem vērā konstruējot izstrādājumu. Elektronisko elementu gabarīti un īpašības, kā arī to izvietojums var ietekmēt apģērba valkāšanas ērtumu. Optimālu zemģērba mikroklimatu iespējams regulēt ar dažādiem apģērba konstruktīvajiem risinājumiem un atbilstošu materiālu izmantošanu, panākot labāku siltuma un mitruma cirkulāciju. Materiālu īpašībām jāatbilst izstrādājuma veidam. Piemēram, projektējot virsdrēbes ieteicama membrāndrāna – tā atgrūž lietu un vēju, bet spēj izvadīt sviedru tvaikus, kas arī ir nepieciešams zemģērba mikroklimata uzturēšanai un elektronikas elementu, kā arī paša valkātāja pasargāšanai no ārvides apstākļiem. Savukārt projektējot viedtekstiliju, piemēram, terapeitiskos tekstilizstrādājumus mitruma uzraudzīšanai, jāizvēlas materiāls ar labām mitruma uzsūkšanas spējām.

Viedapģērba sistēmas elektronikas materiālus izvēlas atkarībā no izstrādājuma darbības veida un tā pamatelementiem – saskarni, komunikāciju, apstrādi un enerģiju. Sistēma ne vienmēr var ietvert visus minētos elementus, piemēram, tā var saturēt vai nesaturēt enerģijas avotu un komunikācijas elementus. Atkarībā no uzdevuma specializācijas, konkrētam izstrādājumam ir jāizvēlas piemērotākie elementi.

Viedo tekstilizstrādājumu projektēšanai ir pieejami dažādi elektrovadoši tekstilmateriāli, kas var atšķirties pēc struktūras, izejmateriāla, specapstrādes tehnoloģijas, elektrovadītspējas utt.

III Konceptijas analīze

Pēc sākumdatu noteikšanas un materiālu izvēles tiek izstrādāta idejas koncepcija un piedāvāts viens vai (ja nepieciešams) vairāki sistēmas dizaina varianti. Piemērotākas elektronikas sistēmas konstrukcijas izvēlei jāveic daudzkritēriju analīze, izmantojot kritēriju kvantitatīvās novērtēšanas metodes (piemēram, ELECTRE un AHP). Analīzes rezultātus var izmantot, lai noskaidrotu dažādu alternatīvu lēmumu stabilitāti, jutīgumu pret nelielām izmaiņām, kā arī lai strukturētu lēmumu un padarītu to pārskatāmāku. Īpaši tas attiecas uz problēmām ar vairākām alternatīvām un kritērijiem.

IV Eksperimentālā tehnoloģija

Daļu elektronikas elementu (piemēram, sensorus) var veidot kā daudzistēmu drānu, izmantojot elektrovadošus un nevadošus tekstila materiālus. Citus elementus nevar pilnībā aizstāt ar tekstilmateriāliem, tāpēc svarīgi pārdomāt to integrēšanas veidu, lai tie būtu stabili piefiksēti pie drānas, nodrošinātu teicamas signālu vadīšanas īpašības, kā arī atbilstu izstrādājuma komfortam.

Elektrotekstilijām var piemist dažādas īpašības un kvalitāte, atkarībā no to izgatavošanas tehnoloģijas. Tekstiltehnoloģija ir jāizvēlas atbilstoši viedtekstilijas pielietojumam. Piemēram:

- Aušana ļauj izveidot daudzkārtu struktūras, daļēji izolējot elektrovadošos pavedienus;
- Adīšana ļauj izveidot elastīgas drānas, kas ir piemērotas piekļāvīga apģērba izstrādei;
- Izšūšana ļauj veidot sarežģītu formu shēmas.

Viedapģērbu projektēšanas procesā būtiska nozīme ir elektriskajiem starpsavienojumiem, kas ietekmē datu un enerģijas vadīšanas kvalitāti un precizitāti. Veidojot elektrisko kontaktu, svarīga ir mehāniskā savienojuma kvalitāte. Savienojuma veids ir atkarīgs no savienojamajiem elementiem, elektrovadošā materiāla, materiālu fizikālām īpašībām (lokans/ciets, trausls/izturīgs utt.) un citiem raksturlielumiem. Parasti tiek izmantota piešūšanas, pielīmēšanas (ar elektrovadošo līmi), pielodēšanas vai kombinētā metode. Kontakta elektriskā izturība ir atkarīga gan no savienojuma veida, gan no iestrādes tehnoloģijas.

Projektējot elektrisko ķēdi apģērbā, jāņem vērā elektrovadošo tekstilmateriālu un iestrādes tehnoloģiju izvēles kritēriji:

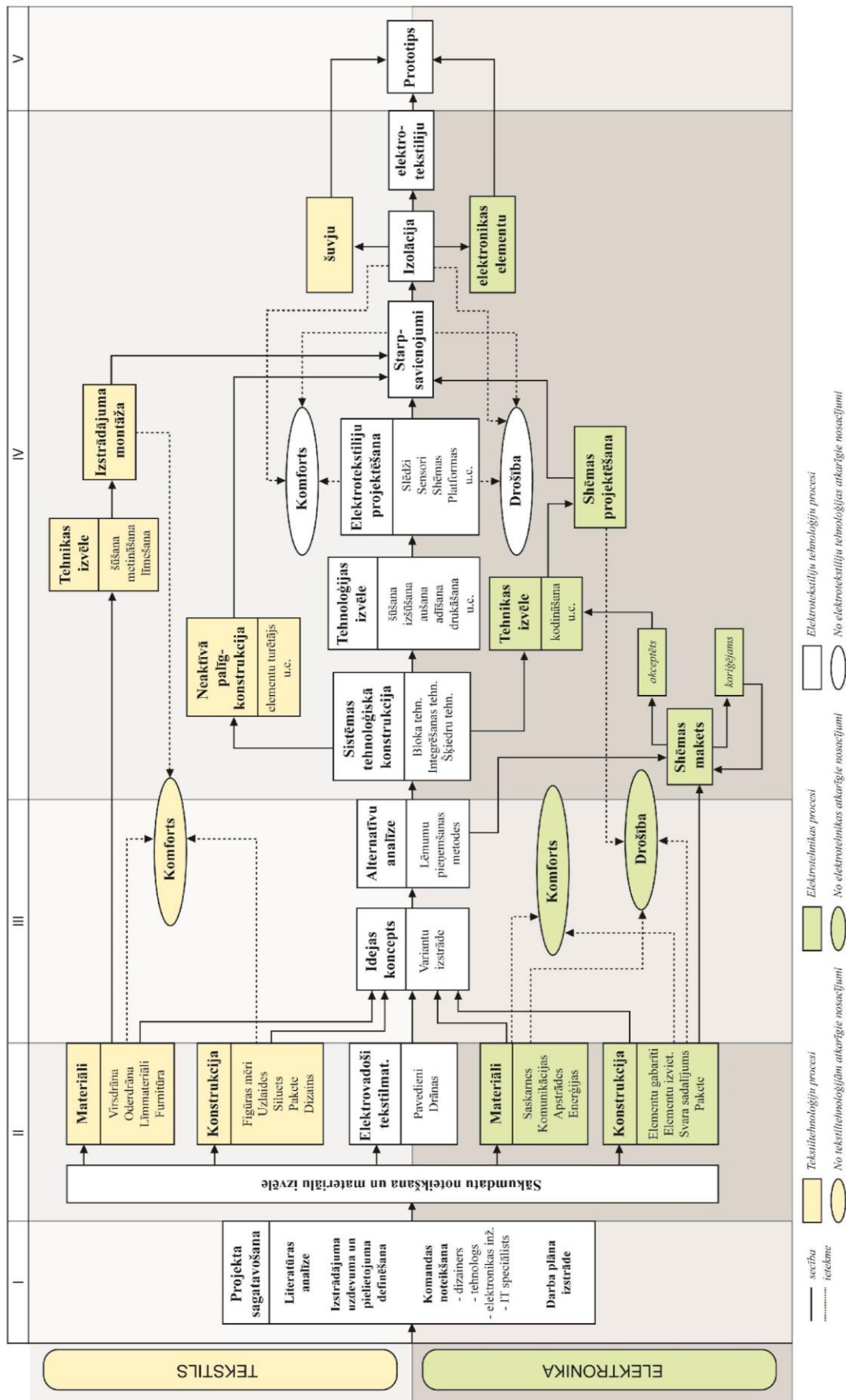
- Elektrovadošā pavadiena struktūra;
- Iestrādes process;
- Izvietojums apģērbā;
- Elektriskā uzvedība vides ietekmē;
- Ķēdes pielietojums.

Apģērba (elektronikas sistēmas vietnes) montāžas kvalitāte var ietekmēt elektronikas sistēmas drošību. Piemēram, atsevišķos gadījumos nepieciešams izolēt izstrādājuma vīles, veidojot metinātu šuvi vai izmantojot izolācijas lenti uz šuves vietām, tādā veidā pasargājot elektronikas sistēmu no ārējās vides mitruma iedarbības.

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 elektroniskās sistēmas. Izolācijai ir izmantojams, piemēram, poliuretāna (PU) plēves vai silikona gumijas pārklājums. PU plēves pārklājums vairāk piemērots tekstila shēmām, kur nav vēlama stiepe (piemēram, LED displejs). Savukārt silikona izolācija ir piemērota tekstila shēmām, kurās ir pieļaujams elastīgais pagarinājums (piemēram, stiepes sensors, tekstila elektrodi utt.).

V Prototipa novērtēšana

Jāveic prototipa ekspluatācijas pārbaudes atbilstoši izstrādājuma pielietojumam un specifikai. Tekstila / apģērba funkcionālās īpašības jāpārbauda pēc tekstilmateriālu testa standartiem – esošajiem vai viedā tekstilmateriāla īpatnībām pieskaņotajiem (pārveidotajiem). Viedo tekstiliju izturība visbiežāk tiek pārbaudīta vadoties pēc mazgāšanas testa standarta (LVS EN ISO 6330:2012) un nodilumizturības testa standarta (LVS EN ISO 12947-1:2001).



4.2. att. Viedapģērba projektēšanas procesa struktūrschéma

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 (vienkārīgu) 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 izturība. 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, veselīgiem 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 viedapģērba 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.

PIELIKUMU SARAKSTS

1. pielikums. Nakts enurēze: problēmas apraksts, esošie risinājumi un to nepilnības _____	150
2. pielikums. Zinātnisko publikāciju saraksts _____	157
3. pielikums. Zinātnisko konferenču saraksts _____	162
4. pielikums. Patentu saraksts _____	164

Nakts enurēze: problēmas apraksts, esošie risinājumi un to nepilnības

Nakts enurēze jeb slapināšanās gultā ir izplatīta problēma, no kuras cieš ievērojams skaits bērnu un jauniešu. Medicīnas nozarē tiek pētītas dažādas nakts enurēzes ārstēšanas pieejas – metodes ar un bez medicīniskajiem preparātiem, kā arī kombinētās terapijas, analizējot to efektivitāti un slapināšanās biežuma samazināšanos [26].

Nakts enurēzes izraisīšanās iemesli un ārstēšanas metodes

Nakts enurēze jeb slapināšanās gultā ir neregulāra urīna nesaturēšana miega laikā bērniem pēc 5 gadu vecumam [87]. Šī problēma skar aptuveni 15% - 20% piecus gadus vecus bērnus un procentuālais gadījumu skaits samazinās bērnam pieaugot: septiņu gadu vecumā šī problēma saglabājas 5-10% bērnu, bet astoņpadsmit gadu vecumā – 2 % jauniešu [88].

Nakts enurēzes stāvoklis ir saistīts ar psihosociālajām sekām un var radīt bērna uzvedības un attīstības problēmas, samazinot viņa dzīves kvalitāti. Psihosociālās problēmas tika konstatētas 40% bērnu. Kā sekas novērotas emocionālās un uzvedības problēmas, sociālās atšķirības un sarežģījumi attiecībās ar vienaudžiem [110].

Pastāv vairākas pieejas kā samazināt slapināšanos gultā, piemēram, mazāk dzert šķidruma dienas otrajā pusē un nedzert to pirms gulētiešanas, apmeklēt tualeti pirms gulētiešanas, modināt bērnu naktī atkārtotai urinēšanai utt. Tas var samazināt slapināšanās gadījumu skaitu, taču tas nenovērsīs problēmu pilnībā.

Nakts enurēzi iespējams ārstēt ar dažādām metodēm:

1. Izmantojot medicīniskos preparātus. Enurēze var ārstēt, regulāri lietojot medicīniskos preparātus, taču efekts būs tikai tik ilgi, kamēr medikaments tiek lietots. Zāles var arī negatīvi ietekmēt bērna veselību, jo preparāti, ko parasti izmanto ārstēšanā, ir vai nu antidepressants (lielās devās ir kaitīgs) vai sintētiskie hormoni, kas samazina urīna daudzumu nierēs miega laikā (var izraisīt blakusparādības) [32, 13].

2. Neizmantojot medicīniskos preparātus. Viena no metodēm ir nakts enurēzes modinātāja sistēmas izmantošana. Praksē šī terapija tiek lietota gan kā monoterapija, gan kombinācijā ar farmakoloģiskām metodēm. Modinātājs pamodina bērnu, kad viņš sāk slapināties miegā – bērns pieceļas un pabeidz urinēšanu tualetē. Ar laiku sekmīgas terapijas rezultātā bērns iemācās pamosties patstāvīgi, kad viņa urīnpūslis ir pilns. Veiksmīgai terapijai

nepieciešama bērna līdzdalība un vēlme risināt šo jautājumu. Līdz ar to ir svarīgi, lai sistēma būtu ērta, tās izmantošana netraucētu bērnam un neradītu psiholoģisku barjeru.

Pastāv vairāki nakts enurēzes modinātāja sistēmas veidi:

- Paklāja veida modinātājs
- Valkājams modinātājs ar vadu sistēmu
- Valkājams modinātājs ar bezvadu sistēmu

Paklāja veida modinātāja sistēmas darbības princips un konstrukcija

Paklāja veida modinātājs ir paklājs jeb palags ar integrētu elektronisko sistēmu, kas tiek izmantots ka bērna gultasveļa. Kad urīns nokļūst uz elektriskās ķēdes, sistēma izdod trauksmes signālu. Parasti šādi paklāji izgatavoti no ūdeni necaurlaidīga plastmasas materiāla, kurā iestrādāts elektrovadošs materiāls (piemēram, varš) ķemmes veida konfigurācijā. Mitrums tiek uztverts līdz ar elektriskās pretestības izmaiņām sistēmā, kad virsma kļūst mitra [48]. Daži komerciāli pieejamie piemēri ir apkopoti 1.tabulā.

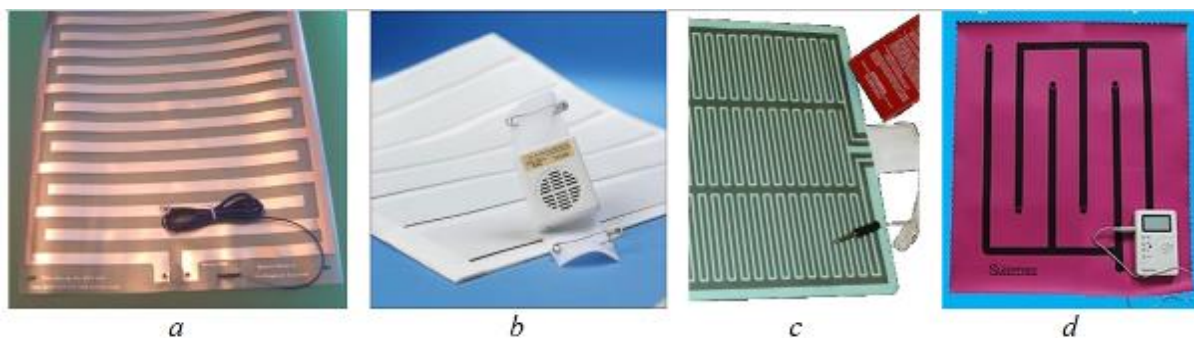
1. tabula

Komerčiāli pieejamie paklāja veida modinātāji

N	Produkta nosaukums	Paklāja parametri, cm	Paklāja materiāls	Sensora materiāls
1	Malem Bed-Mat	54 x 42	Plastmasa	Foliija
2	Tunstall Enuresis Sensor	9.5 x 16 x 3.5	Plastmasa	Foliija
3	Wet Call Bed-Side Bed wetting Alarm	47 x 62	Polietilēna putuplasts	Elektrovadošā vinila loksnes
4	Sleep-free Digital Childcare system	-	Gaisu caurlaidīgs un ūdens izturīgs materiāls	-

Paklājs tiek novietots starp matraci un palagu. Lai mitrums ātrāk sasniegtu sensoru, iespējams lietot perforētu virsējo palagu. Paklājs ar vadiem ir pievienots pie modinātāja

ierīces un, tiklīdz urīns nokļūst uz elektrovadošās virsmas, modinātājs par to signalizē. Kā signāls var tikt izmantots vibrācijas elements, novietojot to zem spilvena vai skaļrunis, novietojot to gultas tuvumā. Dažos modeļos iespējams ierakstīt personalizētus ziņojumus vai skaņas [12]. Paklāja piemēri parādīti 1.att.



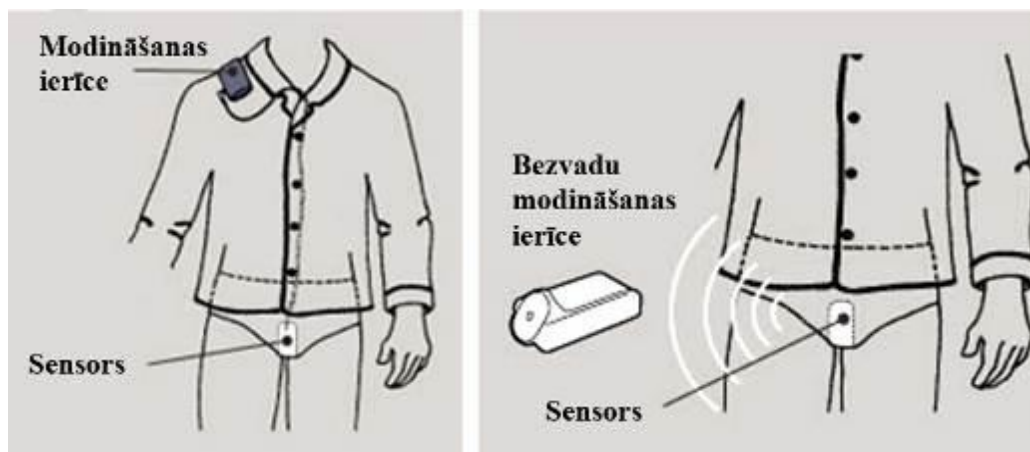
1.att. Komerčiāli pieejamie paklāja veida modinātāji: a - Malem; b - Wet Call Bed-Side; c - Astric Dry-Bed; d - Crazeal Sleep Free

Pētījumā [48] aprakstīts mitruma sensors, kas sastāv no elektrovadošajiem pavedieniem, uzšūtiem uz absorbējošā papīra, kas pārklāts ar plānu polietilēna slāni. Taču šis risinājums paredzēts tikai vienreizējai lietošanai.

Valkājamā modinātāja sistēmas darbības princips un konstrukcija

Valkājamais modinātājs ar vadu sistēmu sastāv no neliela sensora, kas ir piestiprināms pie bērna apakšveļas vai biksēm, un no modinātāja ierīces, kas stiprinās pie pidzamas virsdaļas. Sensors atrodas tuvāk ķermenim nekā tas ir paklāja veida modinātāja gadījumā, līdz ar to tas var ātrāk uztvert slapināšanās sākumu. Bezvadu sistēmas versijā sensors komunicē ar modinātāja ierīci caur radio viļņu signālu. Šajā gadījumā sensora izmēri ir lielāki, jo sensora sistēma ietver raidītāju un enerģijas avotu. Līdz ar to sensoram jābūt izolētam, kas dod tam papildu stīvumu un palielina tā gabarītus [90].

Pastāv dažādi valkājamās nakts enurēze modinātāja sistēmas varianti. Darbības princips visām sistēmām ir līdzīgs, tomēr tās var atšķirties pēc elementu pievienošanas veida un izmēriem, materiāliem, savienojuma tehnoloģijas, sensoru un modinātāja ierīces komunikācijas un signalizācijas veida, komforta līmeņa utt. Vadu un bezvadu sistēmu darbības princips ir parādīts 2.att.



2.att. Vadu un bezvadu sistēmu darbības princips

Modināšanas ierīces izvietojums un pievienošanas veids

Nakts enurēzes sistēmas modinātāja ierīces elektroniskie elementi ir ievietoti nelielā plastmasas korpusā, kas tiek pievienots pie bērna pidzamas un signalizē ar skaņas, gaismas un/vai vibrācijas signālu. Bezvadu sistēmas gadījumā modinātāja ierīce var būt novietota uz galda. Ja sistēmai ir vibrācijas signāls, modulis var būt novietots zem spilvena vai zem palaga. Vibrācijas modulis ir piemērots bērniem, kuri nereaģē uz modinātāja skaņas signālu, kā arī, ja bērna vecāki nevēlās traucēt citu cilvēku miegu [122]. Dažas no komerciāli pieejamajām modinātāja ierīcēm apkopotas 2. tabulā

2. tabula

Komerciāli pieejamajās nakts enurēzes modinātāja ierīces

N	Produkta nosaukums	Parametri, mm	Korpusa tips	Pievienošanas veids	Komunikācijas veids	Barošanas avots
1	DRI Sleeper (a: vadu; b: bezvadu)	a) 60 x 40 x 15 b) 80 x 40 x 20	Plastmasas bloks	Līplente	Vadu Bezvadu	4 x 1.5 V pulksteņa baterija
2	Chummie	65x50x17	Plastmasas bloks	Klipsis	Vadu	2 x 1.5 V AAA

N	Produkta nosaukums	Parametri, mm	Korpusa tips	Pievienošanas veids	Komunikācijas veids	Barošanas avots
3	Malem (a:vadu; b: bezvadu)	a) 49 x 39 x 18 b) <i>raidītājs</i> : 46 x 45 x 22 <i>uztvērējs</i> : 76 x 74 x 25	Plastmasas bloks (2 bloki bezvadu versijā)	Drošības adata / klipsis	Vadu Bezvadu	a) 3 x 1.5 V pulksteņa baterija b) 2 x AAA + 1 x A23
4	Nite Train-r	64 x 51 x 20	Plastmasas bloks	Drošības adata	Vadu	1 x 9V PP3
5	Wet-Stop3	60 x 48 x 13	Plastmasas bloks	Magnēta klipsis	Vadu	2 x 1.5 V AAA
6	Enurad 400	-	Pulkstenis	-	Bezvadu	A 9V DC adapteris

Modinātāja ierīces izvietojums var būt dažāds – modulis var būt pievienots pie apkakles, pie bikšu gumijas viduklī, ielikts kabatā vai citur, atkarībā no pievienošanas veida. Visbiežāk ierīce tiek piestiprināta uz apģērba netālu no auss zonas, lai skaņas signāls būtu labāk dzirdams. Pastāv arī variants, kad tiek izmantotas austiņas [35], lai saglabātu privātumu un labāk dzirdētu signālu, taču ilgstoša austiņu lietošana var radīt diskomfortu. Dažos gadījumos modinātāja ierīce tiek valkāta uz rokas kā rokas pulkstenis. Modinātāja ierīce pie apģērba tiek pievienota ar magnētisko vai mehānisko klipsi, līplenti, spiedpogu vai drošības adatu. Ir svarīgi, lai bērns pieliek zināmas pūles modinātāja atslēgšanā – tādejādi viņš varēs pamosties. Šajā ziņā bezvadu modinātāji ir efektīvāki, jo modinātāja ierīci var novietot tālāk no gultas.

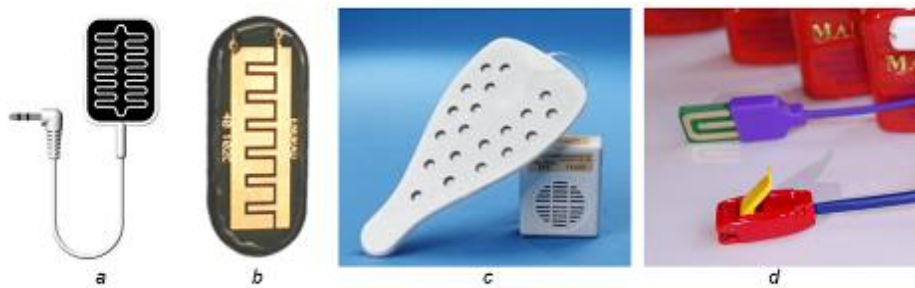
Sensora tips un konstrukcija

Valkājamā modināšanas sistēmas sensors darbojās pēc tāda paša principa kā paklāja veida modinātājs: sensors uztver mitrumu, mērot elektriskās pretestības izmaiņas, kad sensora virsma kļūst mitra [48]. Ir pieejami divu veidu sensori: elektrodi iekapsulēti silikona gumijā vai plastmasas korpusā. Daži komerciāli pieejamie modinātāja sistēmas piemēri ir apkopoti 3. tabulā.

Modinātāja sistēmas sensoru raksturojumi

N	Produkta nosaukums	Parametri, mm	Materiāls	Sensora veids un tā pievienošanas veids	Komunik. veids	Elastība
1	DRI Sleeper	a) 40x20x3.5 b) -	a) gumijā iekapsulēti elektrodi b) elektrodi plastmasas korpusā	Ievietojams modulis: ielikams stakles oderē vai ieliknī	a) Vadu b) Bezvadu	a) elastīgs b) neelastīgs
2	Chummie	50 x 34 x 3	gumijā iekapsulēti elektrodi	Ievietojams modulis: ielikams stakles oderē vai ieliknī	Vadu	elastīgs
3	Malem	a) 18 x 21 b) 32	a) plakans PCB b) elektrodi plastmasas korpusā	a) Ievietojams modulis: ielikams stakles oderē vai ieliknī b) Piespraužams modulis: piespraužas pie apgērba	a) Vadu b) Bezvadu	neelastīgs
4	Nite Train-r (a: zēniem; b: meitenēm)	a) 168x94x3 b) 168x74x3	elektrodi plastmasas korpusā	Ievietojams modulis: ielik starp divām cieši piegulošām apakšbiksēm	Vadu	neelastīgs
5	Wet-Stop3	-	elektrodi plastmasas korpusā	Piespraužams modulis: piespraužas pie apgērba	Vadu	neelastīgs
6	Enurad 400	60 x 25 x 7	-	Ievietojams modulis: ielikams stakles oderē vai ieliknī	Bezvadu	-

Ievietojamo moduļu sensori ir diezgan lieli un neērti valkāšanā, it īpaši plastmasas korpusā ievietotie. Silikona gumijā iekapsulētie sensori ir elastīgāki, taču tie joprojām ir jūtami, it īpaši, ja sensors ievietots starp divām cieši piegulošām apakšbiksēm. Tas ir viens no galvenajiem iemesliem, kāpēc bērns atsakās izmantot modinātāju [125]. Daži sensoru piemēri parādīti 3.attēlā.



3.att. Modinātāja sistēmas sensori: a – Chummie; b – Enurad; c – Nite Train-r; d – Malem

Sensora pievienošanas tehnoloģija

Sensora piestiprināšana pie apģērba ir atkarīga no sensora tipa. Moduļu sensori tiek ievietoti ieliktnī, stakles oderē vai ārējā stakles kabatā. To var ievietot arī autiņbikšītēs, taču tajās ir granulas, kas absorbē šķidrumu, līdz ar to mitrums var nenonākt līdz sensoram. Sensors var tikt novietots arī starp divām cieši piegulošām apakšbikšēm. Citos variantos sensors ir iestiprināts modulī ar magnētisku / mehānisku pievienošanas konstrukciju, kas piestiprinās pie apģērba. Šāds pievienošanas veids ir mazāk drošs, jo sensors var atvienoties nemierīga miega laikā.

Vadu izmantošana šāda veida produktā samazina gan lietotāja drošību, gan viņa komfortu [15]. Vienā no nakts enurēzes modinātāju produktiem [125] vadi tiek piešūti pie izstrādājuma ar zigzaga šuvi un pievienoti pie bezvadu raidītāja, kas piestiprināts pie jostas. Savukārt patentā [56] ir aprakstītas apakšbikses, kur mitruma sensors ir integrēts tieši tekstila struktūrā, izmantojot adīšanas tehniku. Elektrovadošie pavedieni izmantoti kā sensora materiāls, kas ieadīti apakšbikšu stakles daļā. Sensors pie modinātāja ierīces pievienots ar vadiem. Tekstila sensori ir redzami 4.att.



4.att. Tekstila sensori: a - Rodger bezvadu modinātājs; b – apakšbikses ar sensoru no elektrovadošajiem pavedieniem

Zinātnisko publikāciju saraksts**Žurnāli:**

1. Parkova, I. Woven Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm Treatment. Key Engineering Materials, 2014, Vol. 604, 146.-149.lpp. ISSN 1662-9795.
2. 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.
3. 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
4. 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
5. Parkova, I. Woven Light Emitting Display. Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija. Nr.8, 2013, 60.-64.lpp. ISSN 16913132.
6. Parkova, I. Austā mitruma sensora elektrodu savienojuma vietas un to izturība. Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija. Nr.8, 2013, 32.-37.lpp. ISSN 16913132.
7. Parkova, I. Aušanas tehnoloģijas izmantošana elektrotekstila projektēšanā. Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija. Nr.8, 2013, 38.-44.lpp. ISSN 16913132.
8. 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.
9. 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
10. Parkova, I., Vališevskis, A., Viļumsone, A. Modification of Microclimate Monitoring Jacket. Materiālzinātne. Tekstila un apģērbu tehnoloģija. Nr.7, 2012, 33.-37.lpp. ISSN 16913132.

11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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
15. 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

Rakstu krājumi:

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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

5. 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.

Tēzes:

1. Parkova, I., Viļumsone, A. Insulation of Flexible Light Emitting Display for Smart Clothing. No: Abstract Book 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. lpp.
2. Parkova, I., Vališevskis, A., Grecka, M., Viļumsone, A. Woven Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm System. No: Book of Abstracts of Baltmattrib 2013, 22nd International Baltic Conference of Engineering Materials & Tribology, Latvija, Rīga, 14.-15. novembris, 2013, 53. lpp. ISBN 978-9984-49-987-1
3. Parkova, I. Connection Points of Woven Moisture Sensor Electrodes and Its Durability. No: Abstract Book of the 54th International Scientific Conference of Riga Technical University, Latvija, Rīga, 14.-16. oktobris, 2013. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte, 2013, 1. lpp.
4. Parkova, I. Weave as a Tool for Electrotextile Design. No: Abstract Book of the 54th International Scientific Conference of Riga Technical University, Latvija, Rīga, 14.-16. oktobris, 2013. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte, 2013, 1. lpp.
5. Parkova, I. Woven Light Emitting Display. No: Abstract Book of the 54th International Scientific Conference of Riga Technical University, Latvija, Rīga, 14.-16. oktobris, 2013. Rīga: RTU, 2013, 1. lpp.
6. Parkova, I., Vališevskis, A., Viļumsone, A. Improvements of electronic contact system in a smart garment. No: Abstracts of CIMTEC 2012: The 4th International Conference "Smart Materials, Structures and Systems, Itālija, Montekatini Terme, 10.-15. jūnijs, 2012. Montekatini Terme: CIMTEC 2012, 2012, 94. lpp.
7. Parkova, I., Vališevskis, A., Viļumsone, A. Modification of Microclimate Monitoring Jacket. No: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference :

- Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Latvija, Rīga, 10.-12. oktobris, 2012. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte, 2012, 301. lpp. ISBN 9789934103605.
8. Parkova, I., Vališevskis, A., Viļumsone, A. Classification of Textile-Based Sensors for Smart Garment Application. No: Riga Technical University 53rd International Scientific Conference : Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni : Digest, Latvija, Rīga, 10.-12. oktobris, 2012. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte, 2012, 299.-299.lpp. ISBN 9789934103605.
 9. Parkova, I., Vališevskis, A., Ziemele, I., Viļumsone, A. Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm System. No:Riga Technical University 53rd International Scientific Conference : Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest, Latvija, Rīga, 10.-12. oktobris, 2012. Rīga: Rīgas Tehniskā Universitāte, 2012, 300.-300.lpp. ISBN 9789934103605.
 10. Parkova, I., Vališevskis, A., Ziemele, I., Viļumsone, A. Communicating Child's Jacket and Mother's Purse. No:Smart Textile Salon: Prototypes on Stage, Beļģija, Ģente, 21.-21. aprīlis, 2011. Ģente: 2011, 34.-35.lpp.
 11. Parkova, I., Viļumsone, A. Microclimate of smart garments. No: Abstracts of the 52nd International Scientific Conference of Riga Technical University: RTU 52. Starptautiskā zinātniskā konference, Latvija, Rīga, 13.-15. oktobris, 2011. Rīga: RTU, 2011, 111. lpp.
 12. Parkova, I., Vališevskis, A., Ziemele, I., Viļumsone, A. Mikroklimatu uzraugošā jaka un soma. No: Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress "Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte": sekcija "Tehniskās zinātnes": tēžu krājums, Latvija, Rīga, 24.-27. oktobris, 2011. Rīga: RTU Izdevniecība, 2011, 27. lpp. ISBN 9789934102271.
 13. Viļumsone, A., Blūms, J., Vališevskis, A., Baltiņa, I., Krieviņš, I., Ziemele, I., Šitvjenkins, I., Terļecka, G., Parkova, I., Šahta, I., Ābele, I., Dāboliņa, I., Grecka, M. Viedie apģērbi cilvēka drošībai un veselībai. No: Apvienotais pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress "Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte": tēžu krājums, Latvija, Rīga, 24.-27. oktobris, 2011. Rīga: RTU Izdevniecība, 2011, 25. lpp. ISBN 9789934102271.

14. Parkova I., Vališevskis A., Ziemele I., Viļumsone A. Integration of Optical Fibers into Textile Products // 9th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2010 Digest, Latvija, Rīga, 9.-12. augusts, 2010. - 136.-137. lpp.
15. Parkova I., Vališevskis A., Ziemele I., Viļumsone A. Optisko šķiedru integrēšana tekstila izstrādājumos. No: 51. RTU student zinātniskās un tehniskās konferences materiāli, Latvija, Rīga, aprīlis, 2010. Rīga: RTU Izdevniecība 2010, 195 lpp.

Zinātnisko konferenču saraksts

1. The 22nd International Baltic Conference of Engineering Materials & Tribology“ – BALTMATTRIB 2013. Woven Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm Treatment. Rīgā: 2013. g 14-15. novembris
2. RTU 54. starptautiskā zinātniskā konference. Austā mitruma sensora elektrodu savienojuma vietas un to izturība. RTU, Rīgā: 2013. g. 11. oktobris
3. 6th International Conference on Computational Methods and Experiments in Materials Characterisation. Insulation of Flexible Light Emitting Display for Smart Clothing. Siena: Italy, June 4th – 6th, 2013
4. 4th International Conference of Smart Materials, Structures and Systems. Improvements of smart garment electronic contact system. Montecatini Terme, Italy: 13th June 2012
5. RTU 53. starptautiskā zinātniskā konference un 1. pasaules inženieru un RPI/RTU absolventu kongress. Modification of Microclimate Monitoring Jacket. Rīga, Latvija, 2012. gada 10.–12. Oktobris.
6. RTU 53. starptautiskā zinātniskā konference un 1. pasaules inženieru un RPI/RTU absolventu kongress. Substrate Selection for Textile Moisture Sensor Design. Rīga, Latvija, 2012. gada 10.–12. Oktobris.
7. RTU 53. starptautiskā zinātniskā konference un 1. pasaules inženieru un RPI/RTU absolventu kongress. Design of Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm System. Rīga, Latvija, 2012. gada 10.–12. Oktobris.
8. 14-th Romanian Textiles and Leather Conference (CORTEP'2012). Analysis and improvement of nocturnal enuresis alarm system. Sinaia, Romania, September 6th-8th, 2012.
9. Apvienotais Pasaules latviešu zinātnieku III kongress un Letonikas IV kongress „Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte”. Mikroklimatu uzraugošā jaka un soma. RTU, Rīgā: 2011. g. 25. oktobris
10. RTU 52. starptautiskā zinātniskā konference. Microclimate of smart garments. RTU, Rīgā: 2011. g. 12. oktobris

11. 8th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources.” Making Decisions on Arrangement of Electronics in Smart Garment. Rezekne Higher Education Institution, Rēzekne: 2011.g. 22. jūnijs
12. 8th International Scientific and Practical Conference “Environment. Technology. Resources.” Integration of Flexible Keypad into Clothing. Rezekne Higher Education Institution, Rēzekne: 2011.g. 22. jūnijs
13. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference. Elektronisko mezglu izvietojums apģērbā. RTU, Rīga: 2010.g. 11-15.oktobris
14. RTU 51. studentu zinātniskā un tehniskā konference. Optisko šķiedru ieintegrēšana tekstila izstrādājumos. RTU, Rīga: 2010.g. 16.aprīlis
15. 9th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2010. Integration of Optical Fibres into Textile Products. RTU, Rīga: 9.08.10 – 12.08.10

Patentu saraksts

1. Parkova I. Elastīgs gaismu izstarojošs tekstila displejs ar pārstaipiem elektronikas ierīču noseģšanai. Latvijas patents Nr. 14680 no 25.03.2013.
2. Parkova I. Flexible light-emitting textile display with floats for covering electronic devices. Eiropas patents. Pieteikuma numurs EP13193532.2. Iesniegts publicēšanai 19.11.2013.

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 dalītīte 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 Pieterse 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 Electrodynamic 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. Fangueirol 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://lilypadxbbe.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. Petruolyte 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. Schwarz A., Langenhovea L., Guermontprezb 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 Pieterse L., Bouten P., Krieger 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 raiditāja specifikācija. Internets. - <http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#overview>
138. Yamashita T., Takamatsua S., Miyake 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. Делль 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.