

# Austā mitruma sensora elektrodu savienojuma vietas un to izturība

Inese Parkova, *Riga Technical University, Institute of Textile Materials Technologies and Design*

**Kopsavilkums.** Rakstā aprakstīta austa tekstila mitruma sensora izgatavošanas gaita, kā arī testēti sensora elektrodu vertikālo un horizontālo celiņu savienošanas veidi. Kontakta ciešums tika novērtēts ar elektrovadītspēju (sīmensos) starp vertikāliem un horizontāliem elektroda kontaktiem. Lai salīdzinātu sensora mezgla un lodēto celiņu savienojumu izturību, veikts mazgāšanas tests. Pēc paraugu ekspluatācijas testa tika secināts, ka austa elektrotekstilā struktūra uzlabo gan lodēta, gan mezgla elektrovadošo pavadīšanu kontaktu izturību, kas uzlabo arī elektrotekstilā taustes sajūtu.

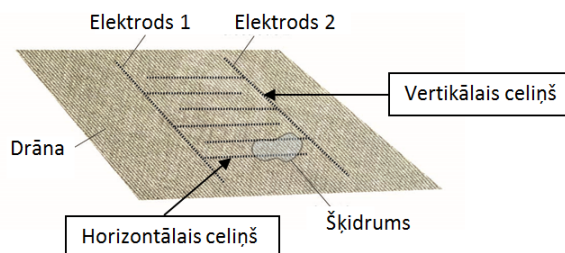
**Atslēgvārdi:** aušana, elektrotekstilijas, viedās tekstilijas, elektrovadošie pavadīšanas, mitruma sensors.

## I. IEVADS

Nakts enurēze jeb slapināšanās ir urīna nesaturēšana miegā bērniem, vecākiem par 5 gadiem [1]. Viena no bezmedikamentu ārstēšanas metodēm ir nakts enurēzes modinātājs. Esošās nakts enurēzes modinātāja sistēmas lielākoties ir cietas un neelastīgas, līdz ar to nav pietiekami ērtas lietošanā. Lai uzlabotu sistēmas komforta nosacījumus, modulārais mitruma sensors jāaizstāj ar tekstila sensoru, cietie elektronikas elementi jāaizstāj ar elastīgo elektronikas daļu un sistēmas savienojumi jāintegrē apģērbā. Literatūrā minētie mitruma sensori veidoti kā vairāku kārtu drāna [2], kas palielina materiāla biezumu vai arī veidoti vienkārtas sensori [3,4], kur elektrovadošais pavadīšanas parādās abās drānas pusēs. Šajā pētījumā izstrādāts austs mitruma sensora risinājums, kad elektrovadošie pavadīšanas neparādās auduma kreisajā pusē un ir daļēji izolēti auduma labajā pusē. Rakstā aprakstīta sensora izgatavošanas gaita, kā arī testēti dažādi sensora elektrodu vertikālo un horizontālo celiņu savienošanas veidi.

## II. TEKSTILA MITRUMA SENSORA DARBĪBAS PRINCIPS

Mitruma sensors sastāv no diviem atsevišķiem elektrodem, kas savā starpā nav savienoti. Uz sensora virsmas nokļuvušais šķidrums veido elektrisku savienojumu starp abiem elektrodem. Sensora darbības princips parādīts 1. attēlā.



1. att. Mitruma sensora darbības princips.

## III. MATERIĀLI UN METODES

Pēc esošo nakts enurēzes modinātāju analīzes [5] tika izstrādāts austs tekstila sensors, kas sastāv no izolējošiem un elektrovadošiem pavadīšanas. Paraugi izgatavoti uz industriālās žakarda aušanas mašīnas Vamatax SD 1701 ar 1344 aķiem, šķēru blīvumu 33 pav./cm un audu blīvumu 20 pav./cm. Pinuma projektēšanai izmantota programma PC-Edit. Audu un šķēru sistēmās izmantoti kokvilnas pavadīšanas, noteiktās tekstila daļās elektroniskajiem savienojumiem izmantoti vara pavadīšanas. Vara pavadīšanu rupjums ir 33 tex x 7, elektriskā pretestība ir 2,3 omi/m.

Pēc tekstila noaušanas horizontālos un vertikālos sensora elektrodu kontaktus ir jāsavieno. Tika sagatavoti paraugi ar diviem savienojuma veidiem – lodētu un sieta mezgla savienojumu. Lai novērtētu austas struktūras efektivitāti, sagatavoti arī paraugi ar nošūtajiem vertikālajiem kontaktiem austo elektrovadošo šķēru pavadīšanu vietā. Paraugu raksturojumi doti 1. tabulā.

Lai pārbaudītu elektriskā savienojuma ciešumu, paraugiem mērīta elektriskā pretestība (omi,  $\Omega$ ), izmantojot divkontakta digitālo multimetru. Pielietojot formulu 1, dati pārrēķināti elektrovadītspējas mērvienībā sīmenss (S):

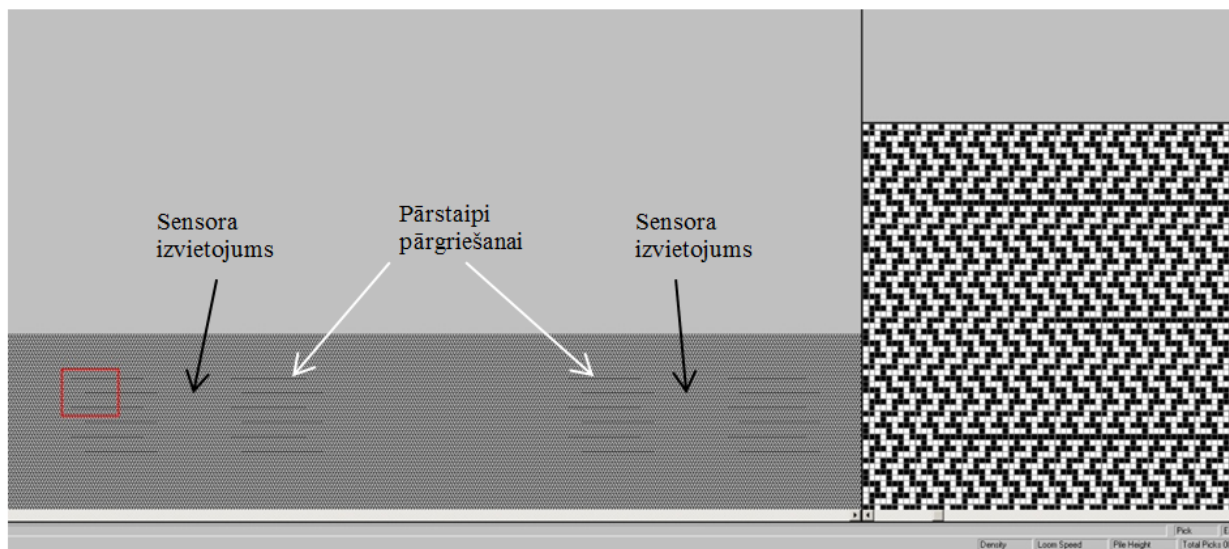
$$G = 1 / R, \quad (1)$$

kur G – elektrovadītspēja,  
R – elektriskā pretestība

## 1. TABULA

### PARAUGU RAKSTUROJUMI

Parauga kods	Elektrovadošo pavadīšanu 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



2. att.. Sensora pinuma projekts programmā PC-Edit.

Kontaktvietu izturības pārbaudei pielietots mazgāšanas tests, vadoties pēc standarta ISO 6330:2012.

#### IV. SENSORA IZGATAVOŠANA

Sensora pamatdrāna veidota no kokvilnas pavedieniem, izmantojot no sarža atvasināto pinumu. Atsevišķās vietās tika projektēti elektrovadošie pavedieni audu un šķēru virzienā, izkārtotot tos pinumā tādā veidā, lai pēc noaušanas elektrovadošos audu un šķēru pavedienu nepieciešamajās vietās varētu savienot, veidojot attiecīgo sensora konstrukciju. Starp sensoriem projektēti gari audu pārstaipi, ko var pārgriezt un tādējādi ērtāk pievienot tos pie šķēru pavedieniem. Sensora pinuma projekts programmā PC-edit ir redzams 2. attēlā.

Tā kā tika izmantots divpusējais sarža pinums pusotra slāņa drānā, elektrovadošie audu pavedieni nav redzami no auduma kreisās puses, līdz ar to sensors ir daļēji izolēts ar tekstila pavedienu pārstaipiem.

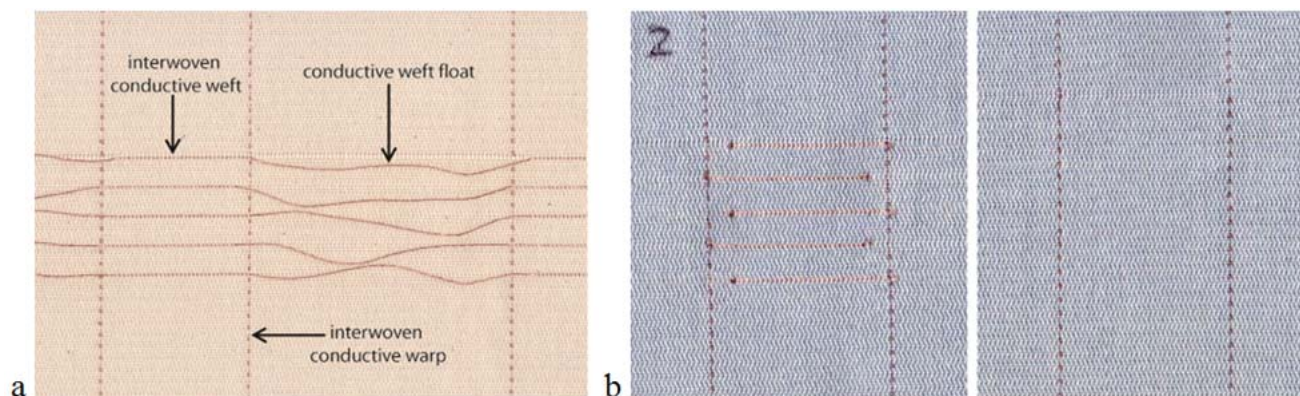
#### V. ELEKTRODU SAVIENOJUMA VIETAS

Pēc materiāla noaušanas sensora elektrodu vertikālie un horizontālie celiņi ir atbilstoši jāsavieno. Kontakta ciešums tika novērtēts ar elektrovadītspēju (sīmensos) starp vertikāliem un horizontāliem elektroda kontaktiem.

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 [6] 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.attēlā.



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



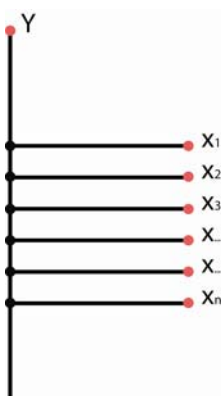
4. att. Sensora kopskats - a) sensors ar nesavienotiem elektrodiem; b) sensors ar savienotiem elektrodiem no labās un kreisās puses.

Sensora kopskats ar nesavienotiem un savienotiem elektrodiem redzams 4.attēlā.

## VI. MAZGĀŠANAS TESTS

Mazgāšanas pārbaude ir viens no veidiem kā pārbaudīt materiāla izturību ekspluatācijā, jo šajā testā paraugs ir pakļauts dažādām mehāniskām deformācijām. Mazgāšanas tests veikts, vadoties pēc standarta ISO 6330:2012 Tekstilizstrādājumi. Mazgāšanas un žāvēšanas procedūras mājas apstākļos tekstilizstrādājumu testēšanai. Veikti 10 mazgāšanas cikli A veida veļas mašīnā pie  $40 \pm 3$  ° C temperatūras, 400 rpm, izmantojot 20 g veļas pulvera. Katrs cikls (mazgāšana un žāvēšana) ilga 31 minūti.

Sensora elektrodu kontaktu ciešums tika novērtēts ar elektriskās pretestības izmaiņām starp savienotajām kontaktvietām. Mērījumu vietu shēma parādīta 5. attēlā – elektriskā pretestība mērīta starp punktiem Y un  $X_{(1-n)}$ . Pēc mērījumiem elektriskā pretestība (omi) pārrēķināta elektriskajā vadītspējā (sīmensi).

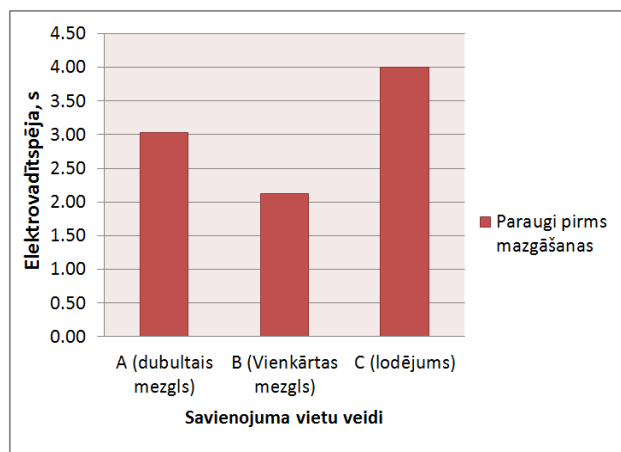


5. att. Elektriskās pretestības mērījumu vietu shēma.

## VII. REZULTĀTI

Pirms mazgāšanas visaugstākā elektrovadītspēja 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 (s) starp savienotajiem kontaktiem pirms mazgāšanas parādīta grafikā 6. attēlā.

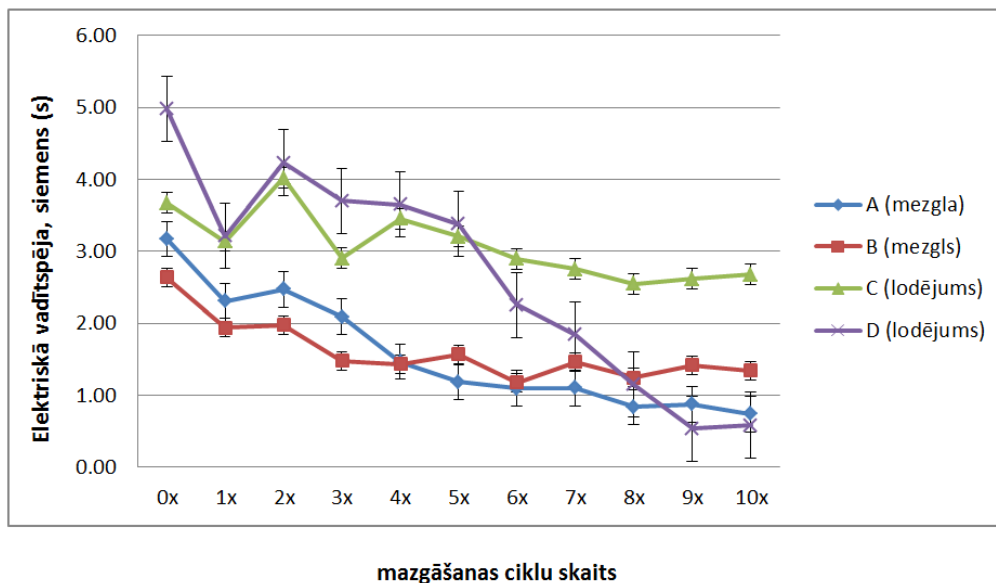


6. att.. Elektrovadītspēja (s) starp savienotajiem kontaktiem pirms mazgāšanas.

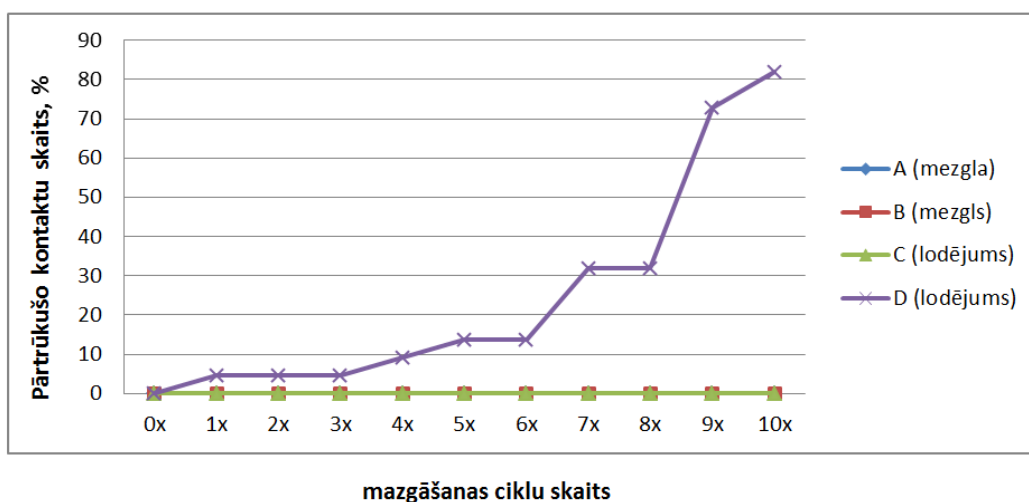
Pēc mazgāšanas testa paraugi analizēti, sadalot tos arī pēc elektrovadošo šķēru pavedienu integrēšanas veida, jo kontaktu izturība atkarīga arī no elektrovadošā pavediena sasaistes ar tekstila pamatni. Kopā analizētas 4 paraugu grupas, katrā grupā mērīti 20 - 24 paraugi, katram paraugam veikti 3 atkārtoti mērījumi. Paraugu grupas raksturotas 1. tabulā. Mazgāšanas testa rezultāti redzami 7. attēlā.

Pēc mazgāšanas mezgla kontakti dažās vietās veidoja mazāk ciešu savienojumu, taču pārtrūkuši kontakti netika novēroti. Savukārt lodētiem savienojumiem elektrovadītspējas maiņa saistīta ar kontakta pārtrūkšanu, veselīgiem kontaktiem līdz 7. mazgāšanas reizei netika novērotas būtiskas pretestības izmaiņas. Grafikā (8.att.) ir redzams pārtrūkušo kontaktu skaits procentos visām paraugu grupām.

Savienojumu izturība ir atkarīga arī no elektrovadošo pavedienu integrēšanas veida tekstilā. Kā tas redzams 7.attēla grafikā, visvājākā elektrovadītspēja pēc 10 mazgāšanas cikliem ir paraugu grupai A (mezgls) un D (lodēts), kur vertikālais elektrovadošais pavediens ir nošūts ar šujmašīnu.



7. att. Elektrovadītspēja pēc mazgāšanas.

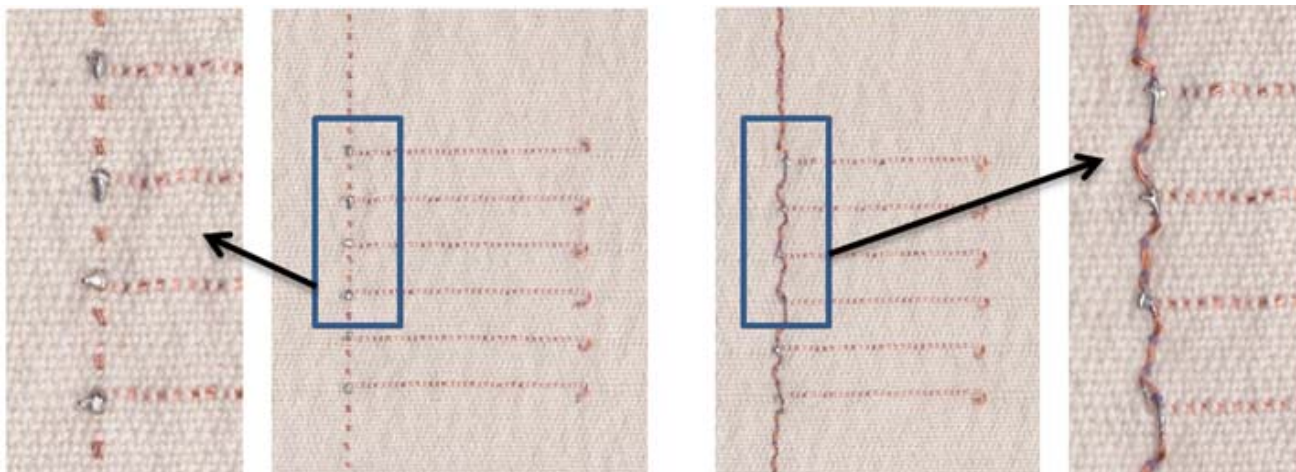


8. att. Pārtrūkušo kontaktu procentuālais skaits pēc mazgāšanas.

Tā kā šūtajā variantā elektrovadošais pavediens atrodas uz tekstila virsmas, nevis ir iestrādāts tekstila struktūrā (kā tas ir austajā veidā), tas ir vairāk pakļauts ārējām mehāniskām iedarbībām.

Kontakta izturību ietekmē arī auduma sarukums. Kokvilnas audums pēc pirmās mazgāšanas reizes sarāvās par 12% šķēru virzienā un par 5% audu virzienā, savukārt vara pavedieni nesarāvās. Šūtajā gadījumā, 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 tas redzams 7.attēla grafikā, visstraujākais vadītspējas kritums ir

paraugu grupai D – no 4,98 s uz 0,59 s, kas saistīts ar pavediena deformāciju lodējuma vietā. Piemēram, vienam no grupas D paraugiem pēc viena kontakta bojājuma pārtrūkst signāls arī zemāk esošajiem kontaktiem. 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 var noplīst no lodējuma. Ieaustajā pavedienā daļa lodētā savienojuma ir nosepta ar audu pavedienu pārstaipiem. Austs un šūts / austs paraugs ar lodētiem savienojumiem pēc 10 mazgāšanas reizēm ir parādīts 9. attēlā.



9. att. Austs un šūts / austa paraugs ar lodētiem savienojumiem pēc 10 mazgāšanas reizēm

### VIII. SECINĀJUMI

Pētījuma ietvaros tika realizēti vairāki elektrovadošo pavadieņu integrēšanas un savstarpējas savienošanas veidi, lai noteiktu izturīgāko variantu.

Lodēts savienojums nodrošina teicamu elektrisko kontaktu, taču, integrējot sistēmu tekstilā, 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 paliek vaļīgāks. Pēc paraugu ekspluatācijas testa var secināt, ka austa elektrotekstila struktūra uzlabo gan lodēta, gan sieta mezgla elektrovadošo pavadieņu kontaktu izturību, jo pavadieņa kontaktvietas ir daļēji nosegtas ar tekstila pavadieņiem. Austa parauga gadījumā elektrovadošie pavadieņi atrodas tekstila struktūrā un neveido papildus reljefu uz tekstila virsmas, kas uzlabo arī elektrotekstila taustumu.

Šo piemēru apskatīja uz tekstila mitruma sensora parauga, taču šādu savienojumu principu var izmantot arī citās tekstila shēmās, kur pastāv vairāki starpsavienojumi.

### KOPSAVILKUMS

Nakts enurēzes modinātāja esošās sistēmas lielākoties ir cietas un neelastīgas, līdz ar to nav pietiekami ērtas lietošanā. Sistēmas komforta nosacījumu uzlabošanai modulārais mitruma sensors jāaizstāj ar tekstila sensoru. Pētījuma ietvaros izgatavots austa tekstila mitruma sensors, kas sastāv no izolējošiem un elektrovadošiem pavadieņiem. Lai novērtētu austa struktūras efektivitāti, sagatavoti arī paraugi ar nošūtajiem vertikālajiem kontaktiem austo elektrovadošo šķēru pavadieņu vietā. Pēc paraugu izgatavošanas horizontālie un vertikālie sensora elektrodu kontakti ir jāsavieno. Rakstā aprakstīta austa tekstila mitruma sensora izgatavošanas gaita,

kā arī testēti sensora elektrodu vertikālo un horizontālo celiņu savienošanas veidi – lodēts un mezgla savienojums. Kontakta ciešums tika novērtēts ar elektrovadītspēju (sīmensos) starp vertikāliem un horizontāliem elektroda kontaktiem. Lai salīdzinātu sensora mezgla un lodēto celiņu savienojumu izturību, veikts mazgāšanas tests, vadoties pēc ISO 6330:2012 standarta. Paraugiem mērīta elektriskā pretestība pirms mazgāšanas, kā arī pēc katras mazgāšanas reizes (kopā veikti 10 mazgāšanas cikli). Pēc testa tika secināts, ka austa elektrotekstila struktūra uzlabo gan lodēta, gan mezgla elektrovadošo pavadieņu kontaktu izturību, kas uzlabo arī elektrotekstila taustes sajūtu. Šis piemērs tika risināts uz tekstila mitruma sensora parauga, taču šo pielietojumu var izmantot arī citās tekstila shēmās, kur pastāv vairāki elektriskie starpsavienojumi.

### PATEICĪBA

Autore izsaka pateicību zinātniskajai vadītājai Ausmai Viļumsonai.

Darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

Tekstila sensors izstrādāts Smart Textiles Design laboratorijā Zviedru Tekstilskolā (Burosa, Zviedrija).

### LITERATŪRAS SARAKSTS

1. 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, *The Journal of Urology*. 2010, vol. 183, Issue 2, pp. 441–447. <http://dx.doi.org/10.1016/j.juro.2009.10.043>
2. Neveus T. *Nocturnal enuresis: theoretic background and practical guidelines*, *Pediatr Nefrol*. Vol. (26), pp. 1207-1214. ISSN 1432-198X
3. *Clinical Guideline Centre: Nocturnal enuresis - The management of bed-wetting in children and young people* [online]. London: National Clinical Guideline Centre, 2010. Available fro: [www.nice.org.uk](http://www.nice.org.uk) accessed: 2012.04.04.
4. Pereira, T., Silva, P. Textile moisture sensor matrix for monitoring of disabled and bed-rest patients. In: *EUROCON*, 2011, p 1-4.
5. Bedek, G. et.al. An Explorative Study To Design A Textile Sensor By A Flowmetric Method. In: *12th World Textile Conference Autex*, 2012.

6. Jahn M., Wilhaus M., Von Riedheim et.al: *Knit good with moisture sensor*. Patent pub. No.: US 2011/0132040 A1.
7. Parkova I, Vališevskis A., Užāns A., Viļumsone A. Analysis and improvement of nocturnal enuresis alarm system. In: *14-th Romanian Textiles and Leather Conference*, 2012., pp. 256. – 264.
8. LVS NE ISO 6330:2012 Tekstilzstrādājumi. Mazgāšanas un žāvēšanas procedūras mājas apstākļos tekstilizstrādājumu testēšanai. Pieejams: [www.lvs.lv](http://www.lvs.lv)
9. Parkova I, Vališevskis A., Ziemele I., Briedis U., Viļumsone A. Improvements of electronic contact system in a smart garment. *Advances in Science and Technology*. 2012, vol 80, p 90-95. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AST.80.90>
10. Schwarza, A., Kazania, I., Cunyb, L., Hertleera, C., 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, (32), p 4247-4256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.04.021>



**Inese Parkova.** Riga Technical University, Institute of Textile Materials Technologies and Design, Mg.sc.ing, 2010. Fields of study: optical fibre fabric integration into textile products.

Scientific Assistant, Institute of Textile Materials Technology and Design, RTU, Azenes 14, Riga, Latvia. garment technologist, LLC *Solution*. assistant of project leader, Institute of Transport Vehicle Technologies, RTU. Werner von Siemens Excellence Award 2011; Inclusion into RTU Zelta fonds 2010 best student list; Current Doctoral research:

electronic systems integration into clothing, innovative textile materials, smart clothing.

Address: Riga Technical University, Institute of Textile Materials Technologies and Design, Azenes Str. 18, Riga, LV-1048, Latvia  
E-mail: [inese.parkova@rtu.lv](mailto:inese.parkova@rtu.lv)

#### **Inese Parkova. Connection Points of Woven Electrodes and its Durability.**

Existing nocturnal enuresis alarm systems are mostly rigid and inflexible, therefore they are not comfortable enough to use. To improve comfort conditions of the system, modular humidity sensor should be replaced by textile sensor that can be designed of conductive and insulating (non-conductive) yarns. In order to evaluate suitability of woven structures for sensors, another kind of samples was prepared as well where instead of conductive warp yarns conductive seams were sewn. In the samples fabrication horizontal and vertical contacts of sensor electrodes should be interconnected. In the paper fabrication process woven moisture sensor was described as well as durability of different connections (soldered and knot) of sensor electrodes vertical and horizontal contacts were tested. Contact tightness was evaluated with conductivity (in siemens) between vertical and horizontal contacts of electrodes. To compare durability of knot and soldered connections, wash test was performed using standard ISO 6330:2012. Electrical resistance was measured in samples before washing and after each washing cycle (in total 10 wash cycles were done). After test it was concluded that woven electrotexile structure improves durability of both soldered and knot conductive yarn connections that enhances sensorial feeling in textile as well. This example was developed using textile moisture sensors, however such kind of application can be used for other textile circuits as well where a number of electrical interconnections are realized.

#### **Инесе Паркова. Места соединений тканых электродов и их прочность.**

Существующие системы будильника ночного энуреза в основном твердые и негибкие, и поэтому недостаточно удобны в использовании. Для улучшения условий комфорта системы модульный датчик влажности следует заменить текстильным датчиком, который может быть разработан из электропроводящих и изолирующих (электронепроводящих) нитей. В рамках исследования изготовлен текстильный тканый сенсор влажности, состоящий из изолирующих и электропроводящих нитей. Для того, чтобы оценить эффективность тканой структуры, подготовлены образцы с вшитыми вертикальными контактами вместо тканых электропроводящих нитей в системе основы. После изготовления образца горизонтальные и вертикальные контакты электродов сенсора надо соединить. В статье описан процесс изготовления тканого сенсора влажности, а также протестированы разные виды соединений (паяное и узловое) горизонтальных и вертикальных контактов электрода. Плотность контактов оценивается с помощью электропроводимости (в сименсах) между вертикальными и горизонтальными контактами электрода. Для того чтобы сравнить прочность узловых и паяных соединений сенсора, был проведен стиральный тест в соответствии со стандартом ISO 6330:2012. В образцах измерено электрическое сопротивление до мытья и после каждого цикла мытья (вместе 10 циклов стирки). После испытаний был сделан вывод о том, что структура тканного электротекстиля повышает прочность паяного и узлового контакта, а также улучшает тактильные ощущения электротекстиля. Этот подход показан на примере текстильного сенсора влажности, но данное применение может быть также использовано в других текстильных схемах, где имеется множество электрических соединений.