



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Lina Stančikienė**

**IŠMANIŲJŲ MARŠKINĖLIŲ SU EKG TEKSTILINIAIS  
JUTIKLIAIS KŪRIMAS IR SAVYBIŲ VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Virginija Jankauskaitė

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**IŠMANIŲJŲ MARŠKINĖLIŲ SU EKG TEKSTILINIAIS  
JUTIKLIAIS KŪRIMAS IR SAVYBIŲ VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Aprangos mados inžinerija (kodas 621J40004)

**Vadovas**

(parašas) Prof. dr. Virginija

Jankauskaitė

(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Jurgita Domskienė

(data)

**Projektą atliko**

(parašas)MDM-4/1 Lina Stančikienė

(data)

**KAUNAS, 2016**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS  
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA**

## **BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

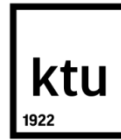
*Išduota studentei Linai Stančikienei*

1. Magistro baigiamojo projekto tema: „Išmaniųjų marškinėlių su EKG tekstiliniai jutikliais kūrimas ir savybių vertinimas“.
2. Užbaigto projekto atidavimo terminas 2015 m. birželio mėn. 6 d.
3. Darbo tikslas: sukurti ir ištirti elektrokardiogramos tekstilinius daugkartinio naudojimo jutiklius, skirtus širdies darbo stebėsenai, ir suprojektuoti išmaniuosius marškinėlius.
4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas turi būti originalus, atliktas pagal magistrantūros studijų baigiamųjų darbų reikalavimus ir jų regimo tvarką.
5. Pradiniai projekto duomenys: medžiagos (grafito veltinis, silikoniniai kaučiukai, didelio tamprumo mezginys), standartiniai elektrinių, mechaninių ir fizikinių savybių nustatymo metodai.
6. Projekto teksto struktūra: santrauka (lietuvių ir anglų kalbomis), įvadas; apžvalginė dalis; metodologinė dalis; tyrimo rezultatų dalis; išvados; literatūros šaltinių sąrašas, priedai.
7. Grafinės projekto dalies sudėtis: skaidrės.

Magistrantas: .....Lina Stančikiene 2016-06-06  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....prof. dr. Jankauskaitė Virginija 2016-06-06  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....doc. dr. Domskienė Jurgita 2016-06-06  
(vardas, pavardė, parašas, data)



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Lina Stančikienė

(Studento vardas, pavardė)

Aprangos mados inžinerija (621J40004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Išmaniųjų marškinėlių su EKG tekstilinais jutikliais kūrimas ir savybių vertinimas“

### AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Linos Stančikienės**, baigiamasis projektas tema „Išmaniųjų marškinėlių su EKG tekstilinais jutikliais kūrimas ir savybių vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

# TURINYS

<b>1. LITERATŪROS APŽVALGA .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Tekstiliniai jutikliai .....</b>	<b>9</b>
1.1.1. Elektroninė tekstilė.....	19
1.1.2. Išmaniosios aprangos kūrimo principai ir funkcijos .....	25
<b>2. MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI .....</b>	<b>37</b>
2.1. Naudotos medžiagos .....	37
2.2. Bandinių gavimo metodikos .....	40
2.2.1. Polidimetilsiloksano ir grafito pluošto kompozitų gavimo metodika .....	40
2.2.2. Elektrodo minkštosios dalies gavimo metodika.....	41
2.2.3. Audinių trynimo metodika .....	42
2.3. Medžiagų fizikinių savybių nustatymo metodikos .....	42
2.3.1. Elektrinių savybių nustatymo metodika .....	42
2.3.2. Mechaninių savybių nustatymo metodika.....	43
<b>3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS .....</b>	<b>45</b>
3.1. Išmaniosios aprangos kūrimo projekte „CareWare“ uždaviniai.....	45
3.2. AB „Audimas“ sukurtų tekstilinių elektrodų konstrukcija ir EKG signalo kokybė .....	47
3.3. EKG tekstilinių elektrodų elektrinių savybių pagerinimo galimybių tyrimas .....	48
3.3.1. Silikoninių pastų užpildytų Ag dalelėmis panaudojimas.....	48
3.3.2. Silikono ir grafito pluošto kompozito sukūrimas ir tyrimas .....	49
3.3.3. Įvairios sudėties sidabrą turinčių audinių panaudojimo elektrodų gamybai galimybių tyrimas.....	55
3.4. Elektrodų prispaudimo pagerinimo galimybių tyrimas .....	56
3.5. Megztinės medžiagos tampriųjų savybių tyrimas .....	57
3.6. Sidabro audinio varžos kitimo priklausomybė nuo trynimo ciklų skaičiaus.....	58
<b>4. IŠMANIŲJŲ MARŠKINĖLIŲ SU EKG ELEKTRODAIS KŪRIMAS IR TESTAVIMAS ...</b>	<b>60</b>
4.1. Išmaniųjų marškinėlių modeliavimas.....	60
<b>5. IŠVADOS .....</b>	<b>67</b>
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS.....</b>	<b>69</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>72</b>
<b>PRIEDAS 1. Informacija apie projektą „CareWare“ .....</b>	<b>73</b>
<b>PRIEDAS 3. Mezginių tamprumo testo rezultatai .....</b>	<b>76</b>
<b>PRIEDAS 4. Dizaino siūlymai.....</b>	<b>80</b>
<b>PRIEDAS 6. Lekalai ir vizualizacija ant manekeno.....</b>	<b>84</b>
<b>PRIEDAS 7. Dalyvavimas mokslinėje veikloje .....</b>	<b>85</b>

Stančikienė, Lina. Išmaniųjų marškinėlių su EKG tekstiliniai jutikliai kūrimas ir savybių vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Virginija Jankauskaitė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Polimerų ir tekstilės technologija

Reikšminiai žodžiai: *tekstilinis elektrodas, EKG, jutiklis*

Kaunas, 2016. 69 p.

## **SANTRAUKA**

Darbe nagrinėjama išmaniųjų marškinėlių su elektrokardiogramos tekstiliniai judesio jutikliai kūrimas ir savybių vertinimas.

Išmanieji marškinėliai pritaikyti pagyvenusių ar sportuojančių žmonių sveikatos priežiūros prevencijai. Buvo sukurta išmaniųjų marškinėlių kolekcija remiantis įkvėpimo šaltiniu „Hidros“. Marškinėlių vidiniame sluosknyje suprojektuoti tekstiliniai daugkartinio naudojimo jutikliai su sidabro siūlais medvilnės pagrindu, kurie reaguoja į žmogaus širdies darbą. Taip galima kontroliuoti žmogaus savijautą ir atkreipti dėmesį, į galutinius atliktus tyrimus veiklos metu. Gautus duomenis perduoti į registravimo įrenginį, ir juos analizuoti. Marškinėlių kolekcijoje naudojamos vandens spalvos, žemės spalvos ir augalų motyvai.

Magistrinio baigiamojo darbe buvo sukurtas iš elektrai nelaidaus biosuderinamo silikoninio kaučiuko ir elektrai laidaus grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto kompozitas, tinkamas bioelektrinių signalų registravimui stacionariomis sąlygomis. Atliktas EKG signalo kokybės tyrimas norint išsiaiškinti ar sukurtas tekstilinis elektrodas yra tinkamas naudoti.

Stančikienė, Lina. Development and Properties Evaluation of Smart T-shirt with EKG Textile Sensors. Master final project/ supervisor Prof. Virginija Jankaskaitė. The Faculty of Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Polymers and Textiles Technology

Key words: textile electrode, EKG, sensor

Kaunas, 2016. 69 p.

## **SUMMARY**

This paper deals with the design and performance assessment of a smart t-shirt containing electrocardiogram textile motion sensors. Smart t-shirts are aimed at preventing health care of elderly and sporting people. „Hidros“ served as a source of inspiration to design the collection of smart t-shirts. The inner layer of the t-shirt includes reusable textile sensors with silver thread on the cotton basis which react to the heart rate of a person. This allows to control person's feelings and pay attention to the final research during the activity. The received data is transferred to the recording device and analyzed. The t-shirt collection is based on water, earth coloring and plant motifs. This master's work presents the composite made of electrically non-conductive silicone rubber and electrically conductive graphitized polyacrylate fiber, which is suitable to record bioelectrical signals under fixed conditions. A research of EKG signal quality was performed with the aim of finding out if a designed textile electrode is suitable to be applied.

## Įvadas

Šiandieniniame pasaulyje technologijos užima vis svarbesnią vietą. Mūsų gyvenimas tampa neatsiejamas nuo technologijų. Kasdien pastebime vis naujas inovacijas, išradimus. Naujos technologijos lengvina mūsų gyvenimą. Nauji išradimai vis dažniau skverbiasi į aprangos pramonę, kurie palengvina įvairius procesus. Aprangos pramonėje inovacijos atveria plačias galimybes kurti ir atrasti kažką naujo.

Galimybė integruoti išmaniają elektroniką į aprangą ir tuo būdu sukurti naują „protingąją aprangą“ nulėmė magistrinio darbo temos aktualumą. Sukurti išmanieji marškinėliai su jutikliais leistų atlikti ankstyvąją ligos diagnostiką, padėtų išvengti ligų komplikacijų; galima būtų saugiai ir efektyviai sportuoti, o tai stiprintų žmogaus sveikatą. Didelis dėmesys skiriamas senjorams, kurie dėl netaisyklingų mitybos principų, padidėjusių stresinių situacijų, neigiamų gyvenimo faktorių turi problemų su širdies darbu, kraujotaka. Dėl to yra labai svarbu laiku pastebėti sveikatos pokyčius ir kuo anksčiau, be didelių pastangų juos pašalinti. Daug dėmesio skiriama išankstinei širdies ligų diagnostikai – elektrokardiogramai.

Pasaulinėje rinkoje kol kas yra menka pasiūla gaminių, skirtų sveikatos stebėsenai. t.y. išmaniųjų marškinėlių su EKG tekstiliniiais jutikliais.

Šio **darbo tikslas** – sukurti ir ištirti elektrokardiogramos tekstilinius daugkartinio naudojimo jutiklius, skirtus širdies darbo stebėsenai ir suprojektuoti išmaniuosius marškinėlius.

Tikslui pasiekti buvo išskelti šie uždaviniai:

- išanalizuoti tekstilinių jutiklių sukūrimo metodikas;
- sukurti elektrai nelaidžius ir laidžius polimerus ir tekstilinių medžiagų kompozitus, kurių savitoji elektrinė varža ne didesnė kaip  $15 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$  ;
- ištirti sukurtų medžiagų elektrinių savybių pokytį nuo eksploatacinių veiksnių;
- parinkti medžiagas, tinkamas lankstiems ir sausiems jutikliams;
- suprojektuoti išmaniuosius marškinėlius su EKG tekstiliniiais jutikliais.

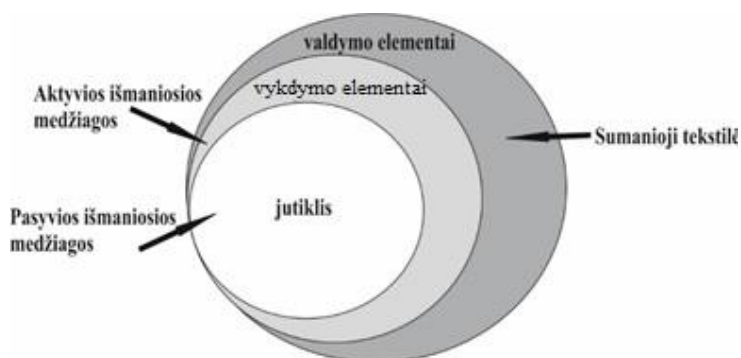


# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Tekstiliniai jutikliai

Sumanioji tekstilė – tai medžiagos, kurios keičia žmogaus gyvenimą iš esmės. Ši tekstilė sujungia polimerų technologijas, biotechnologijas ir mikroelektronikos naujoves kartu, kurios išplečia tradicinės tekstilės galimybes. Tekstilės gaminiai, kurie gali perduoti elektrinį, magnetinį, terminį ar cheminį poveikį yra vadinami jutikliais.

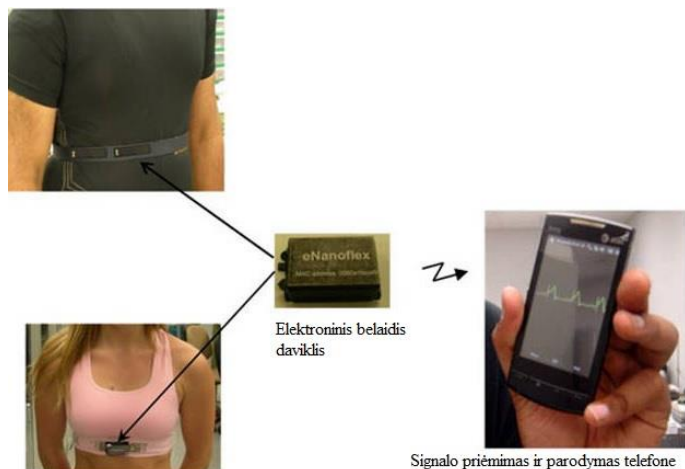
Sumaniojoje tekstilėje yra trys sudedamosios dalys: jutiklis (tai pagrindinis pasyviųjų medžiagų komponentas), vykdymo elementas (juos turi aktyvios medžiagos), ir valdymo elementai (juos turi sumanioji tekstilė).



1.1 pav. Svarbiausi elementai sumaniojoje tekstilėje [1]

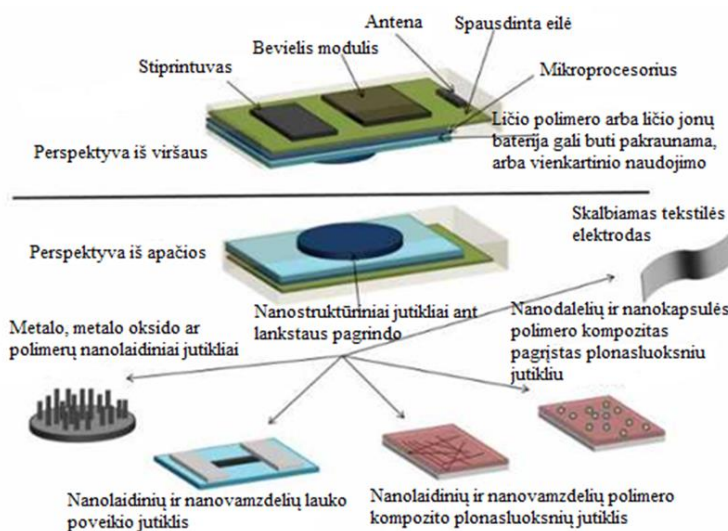
Jutiklis ir vykdymo elementas yra gaminamas iš šviesai ar šilumai jautrios medžiagos, optinių pluoštų, laidžių polimerų, nanomedžiagų, formą išimanančių medžiagų. Signalų sklidimas, apdorojimas, valdymas paremtas neuroniniais tinklais, gebėjimo pažinti sistemomis. Fazę keičiančių medžiagų funkcionavimas paremtas principu: kylant aplinkos temperatūrai, medžiaga sugeria šilumą, o temperatūrai palaipsniui krentant, medžiagoje sukaupia šiluma išsiskiria į aplinką. Temperatūrai pakilus ir viršijus fazę keičiančios medžiagos lydymosi temperatūrą, besilydanti medžiaga absorbuoja šilumą, sulaikydama šiluminės energijos srauto skverbimąsi pro medžiagą ir palaikydama pastovią jos temperatūrą. Pasikeitus išoriniams veiksniams, medžiaga ima vėsti ir kietėti. Dėl cheminių ryšių fazę keičiančios medžiagos sukaupia ir perduoda šilumą, tokiu būdu kontroliuodamos šilumos praleidimą pro tekstilės produktą. Dažniausiai fazę keičiančiose medžiagose šiluminės energijos perdavimas atsiranda perėjimo iš kietos fazės į skystą ir atvirkščiai. Taip pat gali pasireikšti pereinant iš skystos fazės į dujinę, iš kietos į dujinę ir iš skystos į skystą. Medžiagos gali absorbuoti ir atiduoti šilumą net esant nežymiems temperatūros pasikeitimams. Šiuo metu prie fazę keičiančių medžiagų prisikiriamos neorganinės druskos, angliavandeniliai, anhidridai, polihidridiniai alkoholiai, polimerai, parafinas, neriebios rūgštys ir kt. Plačiausiai tekstilės pramonėje naudojamų fazę keičiančių medžiagų sudėtyje dažniausiai yra linijinės grandinės angliavandeniliai. Jie nepasižymi toksiškumu, turi žemą lydymosi ir kristalizacijos temperatūrą [1].

Mokslininkų ir inžinierių komanda iš Arkanzaso universiteto sukūrė elektroninę E-Nanoflex jutiklių sistemą. Tai belaidžiai tekstilės pagrindu jutikliai, skirti sveikatos stebėsenai tirti ir gali būti integruoti į įprastą sportinę liemenėlę ar tiesiog į liemenę (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Elektroninė E-Nanoflex jutiklių sistema [2]

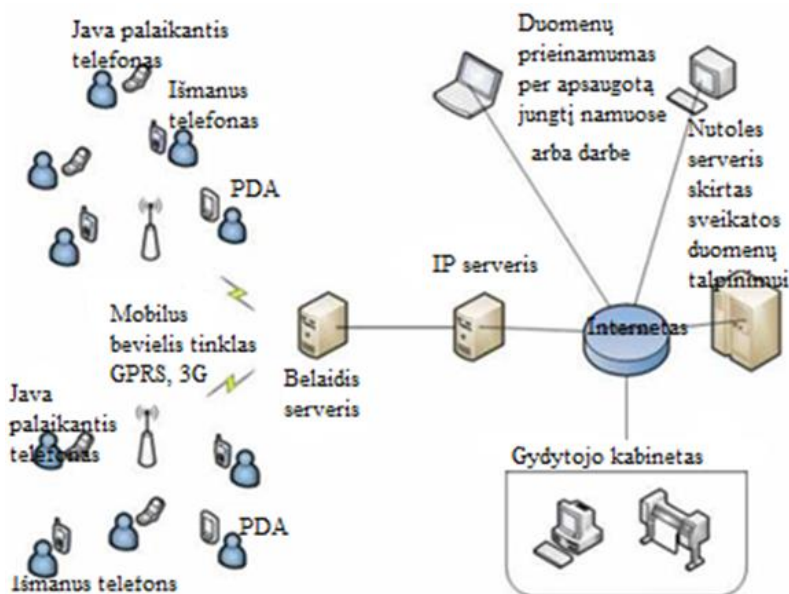
E-Nanoflex jutiklių sistema sudaryta iš serijos nanostruktūrinių, tekstilinių daviklių integruotų į įprastinę sportinę liemenėlę arba liemenę. Auksiniai nanolaidai yra ~ 1 mikrometro ilgio ir 20 – 200 nanometrų skersmens (žr. 1.3 pav.).



1.3 pav. E-Nanoflex jutiklių sistema [2]

Ši nanograndinės matrica priglunda prie odos, tokiu būdu sukuriamas dvigubai jautresnis pralaidumas, lyginant su plokščiu elektrodu. Ši jutiklių sistema leidžia lengviau atskirti širdies signalus iš judesio artefaktų, kai vaikštoma, dirbama ar sportuojama. Jutikliams nereikia lipnių elektrodų ar gelio, kurie yra naudojami įprastuose elektroduose. E-Nanoflex jutiklių sistema gali įvertinti įvairius fiziologinius duomenis tokius kaip kraujospūdis, kūno temperatūra, kvėpavimo dažnis, deguonies suvartojimas nervų sistemos veiklai bei galimybę jausti širdies ritmo sutrikimus.

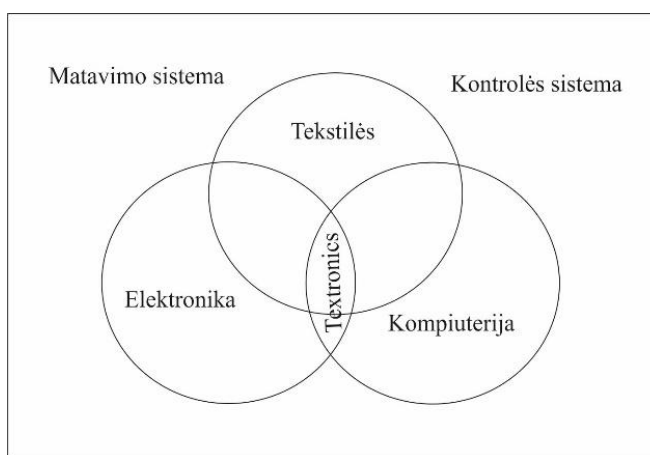
Surinkti duomenys yra siunčiami į suspaustą bevielį modulį, kuris įdėtas į plastikinę dėžutę. Modulis yra apdorojimo blokas, kurį sudaro stiprintuvas, antena, grandininė plokštė, mikroprocesorius, bluetooth modulis, baterija ir įvairūs davikliai (žr. 1.4 pav.).



1.4 pav. Gautų signalų apdorojimo sistema [2]

E-Nanoflex jutiklių sistema gali komunikuoti su sistemos programine įranga, kuri yra išmaniajame telefone, kompiuteryje ar serveryje. Tokiu būdu gautus duomenis galima stebėti bet kuriuo laiku.

Sumaniosios tekstilės jutikliai privalo būti patvarūs, lankstūs ir atsparūs vandeniui. Jutikliais gali būti optiniai pluoštai, atspindintys tam tikro bangos ilgio šviesą [3].



1.5 pav. Sinerginis ryšio schema [5, 6]

Terminas “textronics” reiškia tarpdisciplinį požiūrį į procesus projektuojant ir gaminant medžiagas, kurios atsirado apie 2000 metus [4]. Tai sinerginis ryšys (žr. 1.5 pav.) kuris apima tekstilės pramonę, elektronikos ir kompiuterių mokslą su automatikos elementais ir meteorologijos žiniomis [5, 6].

Tokiu būdu galima pasiekti mikroelektronikos su tekstile ir drabužių konstrukcijos integraciją. Pagrindinis uždavinys „textronics“ yra gaminti daugiafunkcinius, išmanius produktus. „Textronics“ gaminiai pasižymi šiomis savybėmis:

- lankstumas – tai galimybė modifikuoti konstrukciją projektavimo eigoje, gamybą ir eksplotavimą. Pavyzdžiui, modulinė konstrukcija;
- tekstilės išmanumas – orientuotas į automatinę savybių pasikeitimo galimybę veikiant išorės veiksniams ir net priimant sprendimus, o tai reiškia mokymąsi ir bendravimą su aplinka galimybę;
- daugiafunkciškumas – arba skirtingų funkcijų realizavimas vienu produktu.

Atsižvelgiama į tai, kad drabužiai turi tiesioginę sąlytį su žmogaus kūnu, svarbiausia funkcija „textronic“ drabužiuose yra padidinti žmogaus saugumą. Geriausias būdas tai pasiekti yra aptikti pavojų ir lengvai, ir efektyviai jį neutralizuoti [7-9].

Tokia veikla, orientuota į žmonių sveikatos apsaugą, yra vadinama e-medicina ar telemedicina. Telemedicina apima ne tik internetines medicinos paslaugas, prieigą prie specializuotų duomenų bazių, interneto bendradarbiavimą ligoninėse, virtualiose klinikose, užtikrina greitą nuotolinį ryšį tarp gydytojų ir pacientų, pateikia diagnostiką, EKG, galima stebėti biofizinius parametrus visą parą [10, 11]. Dėka šių naujų technologijų, įmanoma sukurti ypatingus ryšius tarp paciento ir gydytojo.

Reikia paminėti, kad elektros energijos tiekimas elektros sistemoms yra problema „textronics“ drabužiuose. Tradicinės baterijos, įkrovikliai per dideli ir sunkūs, todėl nebus naudojami ateityje. Šiuolaikinės energijos šaltiniai tokie kaip termogeneratoriai, pjezogeneratoriai ar fotoelektriniai elementai, pasižymi maža talpa ir maksimalia srove. Todėl būtina rasti naujus sprendimus elektros šaltinių sukūrimo tekstilės gaminiuose [5,6].

Optinių jutiklių taikymas „textronics“ drabužiuose yra labai svarbus. Aston universitetas ir British Aerospace skyrius sukūrė sistemą, kurios pagalba optinis audinys pritaikytas ne tik kaip jutiklis, bet kaip komunikacijos elementas tarp sistemų.

Gruzijos technologijos institutas - pirmoji įstaiga, kuri panaudojo audinius ir optinius jutiklius žmogaus sveikatos stebėsenai. Galutinis produktas buvo vadinamas „sensata linijinis“, kuris panaudotas stebėti kareivio gyvybinį pajėgumą mūšio metu. Ši sistema gali nustatyti ir surasti traumų vietas, jų dydį ir siųsti surinktus duomenis į medicinos centrą [12].

Lodzės technikos universitetas dalyvauja žmogaus sveikatos projekte, kurio pagrindinis tikslas - žmonių biofizinių parametrų matavimas. Viena iš užduočių yra stebėti žmogaus kvėpavimą naudojant tekstilinius jutiklius. „Textronics Tm“ sistema naudojama stebėti žmogaus biofizinius parametrus: kvėpavimą ir širdies ritmą [13]. „Brabeon“ kompanija pristatė kvėpavimo jutiklį, paremtą pjezoelektriniais kristalais, kurie kvėpavimo metu generuoja elektrinius krūvius. Signalas

yra siunčiamas į stiprintuvą be išorinio srovės šaltinio [14]. Tekstilės jutikliai matuojantys kvėpavimo dažnį ir ritmą, buvo sukurti „textronics“ principo pagrindu.

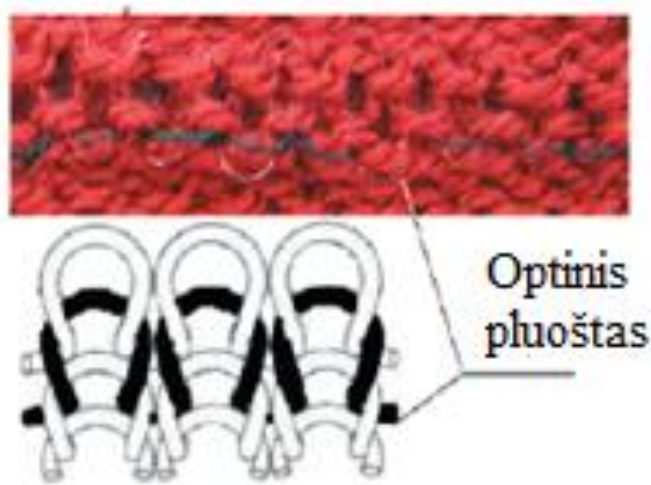
Toliau aptarsiu dviejų rūšių tekstilės jutiklius, kuriuos sukūrė „Janusz Zięba, Michał Frydrysiak“ kompanijos. Vienas sukurtas su elektromagnetiniais laidžiais siūlais, o antrasis iš šviesai laidaus pluošto. Jutikliai iš megzto ar austo audinio su elektrai laidžiu siūlais pateikti 1.6 paveiksle.



**1.6 pav.** Tekstiliniai jutikliai su elektrai laidžiais siūlais: *a)* megztas jutiklis, *b)* austas jutiklis

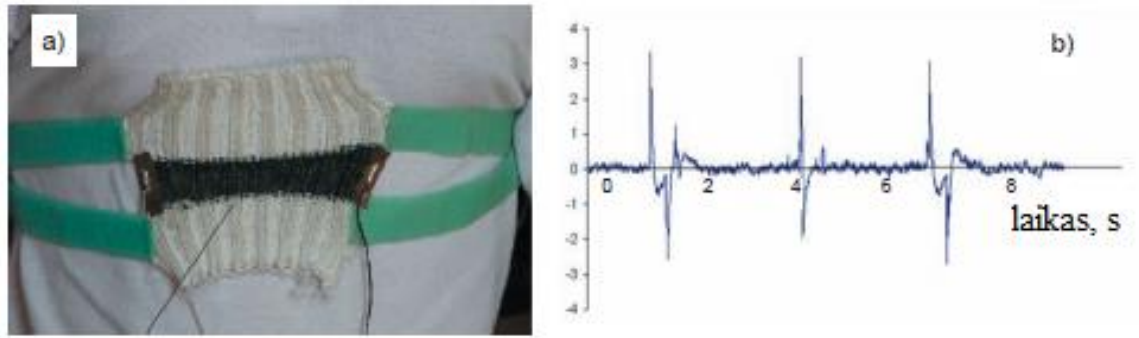
Laidžios medžiagos yra vario sulfidai (tamsiai žalia spalva), o likusi dalis yra iš medvilnės siūlo (balta spalva). Austas audinys sudarytas iš 48 % medvilnės, 50 % poliesterio ir 2 % elektrai laidžių siūlų.

Kita tekstilės jutiklių grupė yra audiniai su įmegztu optiniu pluoštu (žr. 1.7 pav.).

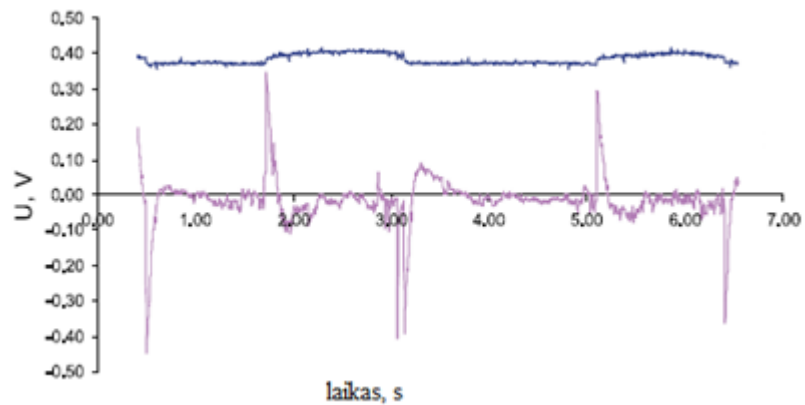


**1.7 pav.** Megzti su optiniu pluoštu tekstiliniai jutikliai [15]

Sukurtas prototipas tekstilinio jutiklio, turintis diržo imitaciją, kuris juosia paciento krūtinės ląstą. Jutiklis pateiktas 1.8 paveiksle ir yra skirtas kvėpavimo ritmo matavimui. Žmonių, gyvenančių pagal pasyvų ar aktyvų gyvenimo tempą, kvėpavimo ritmas skiriasi. Rezultatai pateikti 1.9 paveiksle.

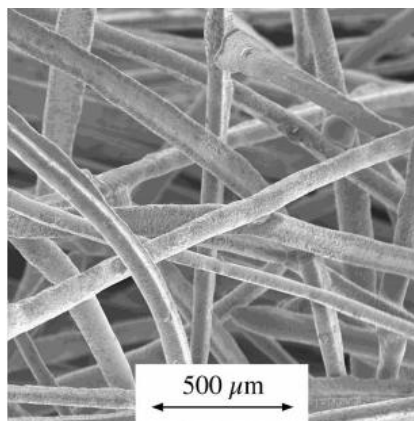


**1.8 pav.** Tekstilinis jutiklis, skirtas nustatyti žmogaus kvėpavimo ritmą [15]. Žmogaus kvėpavimo įrašas; a) tekstilės jutiklis diržo forma pritvirtintas apie paciento krūtinę, b) kvėpavimo ritmo įrašas



**1.9 pav.** Kvėpavimo ritmo įrašas [15]

Šiuo metu labiausiai domimasi medžiagomis gautomis tekstilinių jutiklių gamybai iš plono metalo lakšto. Tai gali būti pluoštai, laidai, strypai, juostos ir t.t. Metalo pluošto struktūra yra pateikta 1.10 paveiksle.

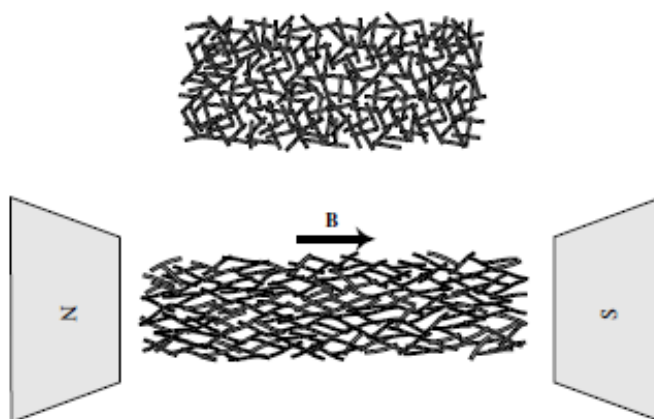


**1.10 pav.** Metalo pluošto struktūros su feritiniais plieno pluoštais vaizdas, gautas naudojant skenuojantį elektroninį mikroskopą [16]

Feromagnetiniai pluoštai veikiami magnetinio lauko turėtų deformuotis, nes atskiri pluoštai yra linkę taikytis prie lauko. Buvo pasiūlyta tokį poveikį pritaikyti kaulų auginime, kadangi kaulinis audinys auga į pakankamai akytą masyvą. Veikiant magnetiniu lauku jis pakankamai ištempiamas. Analitinis



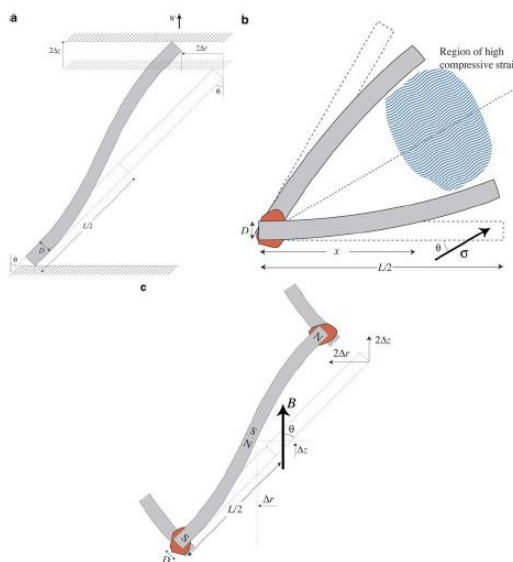
modelis buvo pristatytas prognozuoti deformacijoms, kartu išbandant tyrimus su pavieniais pluoštais ir keturių pluoštų mazgais. Toliau pateiksiu feromagnetinio pluošto charakteristikas.



**1.11 pav.** Magnetinio lauko poveikis atsitiktinai orientuotų feromagnetinių pluoštų sujungtame tinkle [17, 18]

Šis analitinis modelis buvo tobulinamas tyrėjų Markakio ir Clyno [17,18].

Elastinis ir mechaninis pakrovimas. Pakrovimo proceso schema pateikta 1.12 paveiksle. Pagrindinis dėmesys sutelkiamas į elastingą deformaciją, kuri yra perteikia vieno pluoštinio segmento, kurio centrinė ašis kampe  $Q$  būtų nukreipta į pakrovimo kryptį. Kai yra taikomas vienašis spaudimas,  $W$  jėga veikia link krovimo krypties, generuodama lenkimo momentą. Taikant standartinę konsolės lenkimo mechaniką atsiranda ašinių ir skersinių deformacijų, kurios tampa spaudimo  $r$  funkcija.

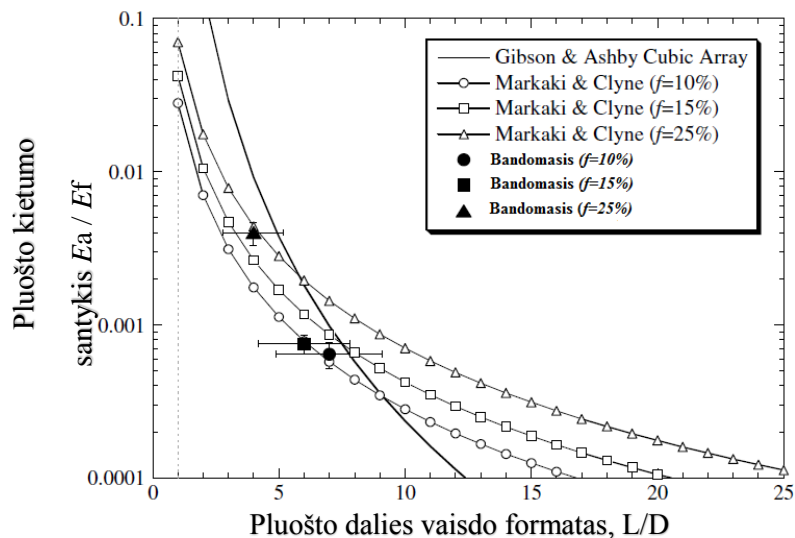


**1.12 pav.** Pluošto segmento tinkle nuokrypio schema (naudojant jėgą ir aplinkos poveikį) [17,18]

Magnetinė apkrova gaunama pridėdant vienašį magnetinį lauką. Tai turės polinkį generuoti ašinių pluoštinio tinklo įtempimą, per visą jų ilgį įmagnetinami ir individualūs pluoštai, kurie dėl to linksta į lygiagrečią liniją. Pridėtasis laukas matyti 1.11 paveiksle.

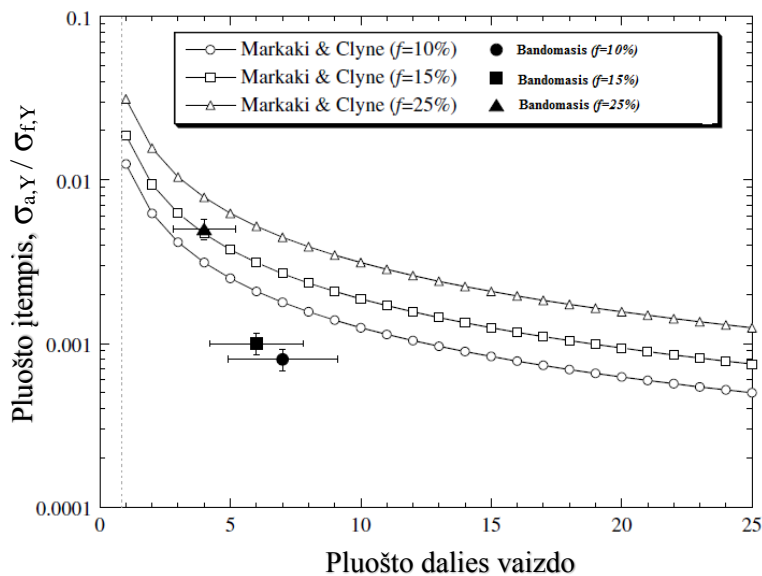
Elastinės konstantos. Prognozuojama santykinė deformacija yra parodyta 1.13 paveiksle. Ji kaip pluošto segmento kraštinių santykio funkcija (Gibsono ir Ashbai modelis bei izotropinis pluošto

tinklo modelis) su trimomis pluošto tūrio frakcijomis. Taip pat parodoma išmatuota standumo reikšmė, kai sujungtos pluošto plokštės stovi ramiai. Skirtingos ir jų  $F$  bei  $L/D$  savybės. Tokie rezultatai, t.y. pluošto segmento santykiai sujungtuose pluoštose parodyti 1.10 paveiksle.



**1.13 pav.** Teorijos ir eksperimento palyginimas (skirtingas pluošto tinklų įtempimas) [16]

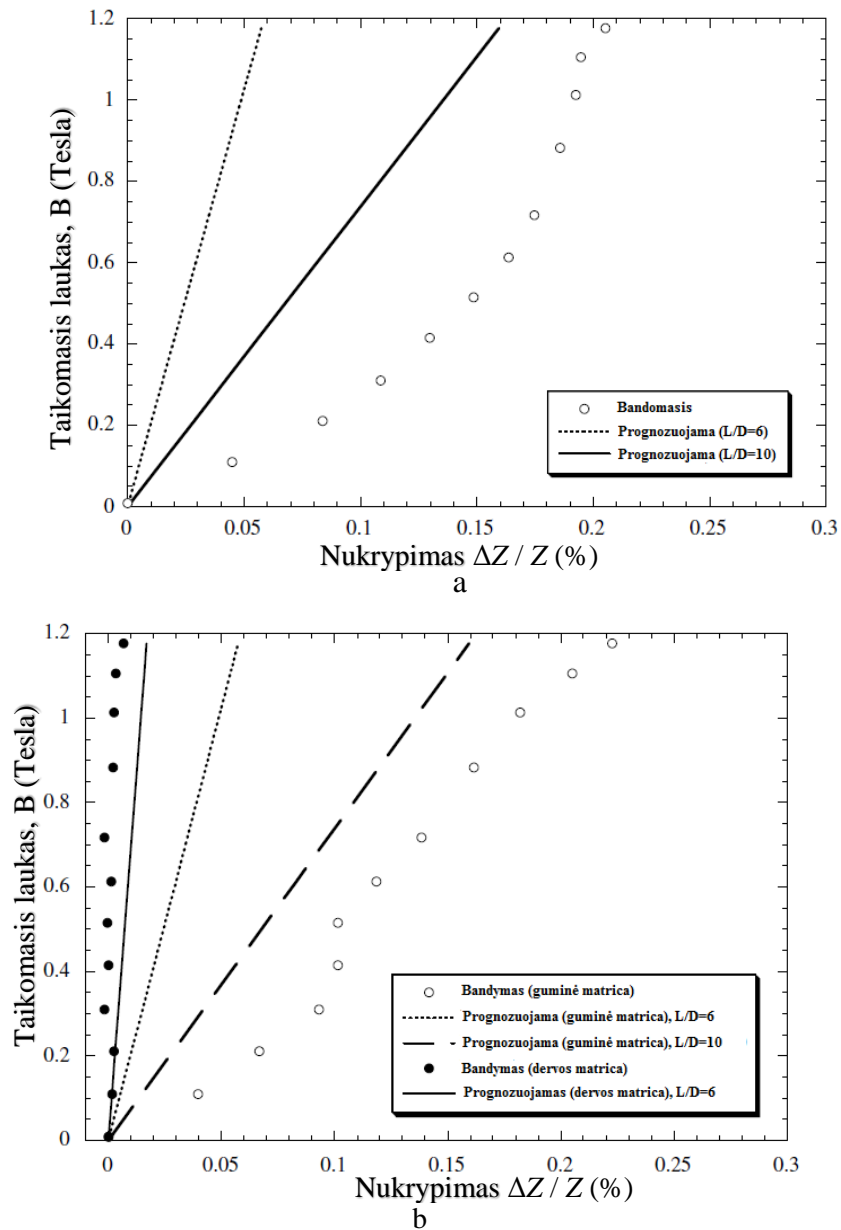
Lankstumas. Lankstumo linkio spėjimas įtempimo pradžioje parodytas 1.14 paveiksle, kaip  $L/D$  funkcija.



**1.14 pav.** Lankstumo linkio spėjimas įtempimo pradžioje [16]

Magnetinės ir mechaninės charakteristikos. Atsakas į magnetinio lauko taikymą tiek stovinčiuose tiek infiltruotuose pluošto tinkluose pavaizduodas 1.15 paveiksle. Todėl matomi atitinkami ilgio pokyčiai, kurie yra rodomi kaip pritaikyto magnetinio lauko funkcija. Laukas buvo perstatomas aukštyn ir žemyn (siekiant didžiausią 1,2 Teslos vertę). Ilgio pokyčiai siekė apie 0,2%. Buvo tirtas ir stovinčio pluošto masivas.





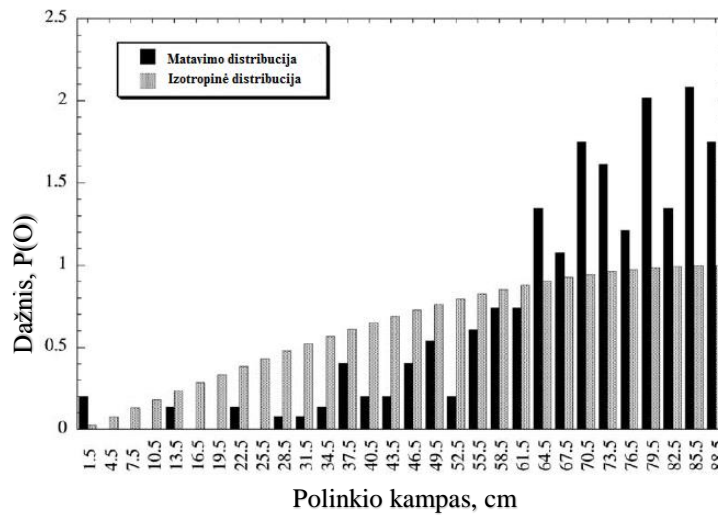
**1.15 pav.** Teorinės ir bandomosios informacijos pritaikymas tiriant lankstumo pokyčius (lankstumas čia yra magnetinio lauko jėgos funkcija) [16]

Tyrimai, kurie buvo pristatyti ankščiau, yra pakankamai nauji šioje srityje. Pluošto segmento ilgis įvertinamas mikroskopo pagalba. Tokių charakteristikų nustatymas ir tyrimai yra dabar atliekami naudojant kompiuterinės rentgeno tomografijos techniką. Yra prieinami ir standartinės programinės įrangos paketai, kurie iš tomografinės informacijos sukuria vizualią struktūrą. 1.16 paveiksle ir rodoma tokia vizualizacija.



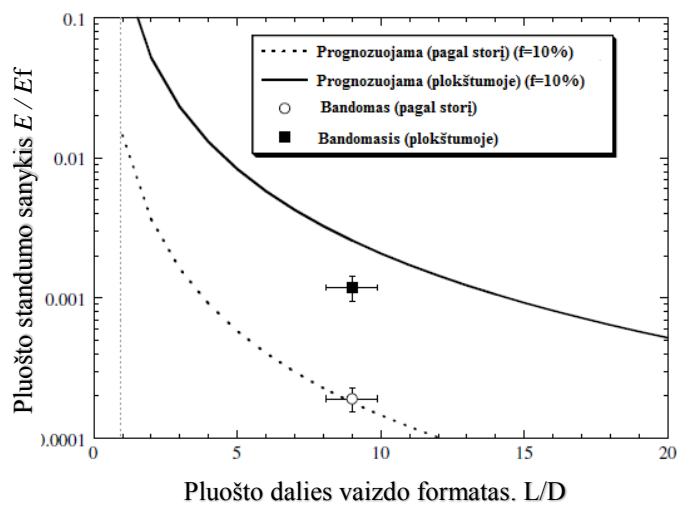
1.16 pav. Vizualinė pluošto tinklo struktūra

Dauguma tokių pluoštų profilių yra šiek tiek suploti arba pusrėmelio formos. Visa tai galima matyti vizualizacijoje. Pluošto išlinkimo charakteristikos pateiktos 1.17 paveiksle.



1.17 pav. Polinkio kampas centimetrais

1.18 paveiksle pateiktas palyginimas pluošto medžiagos standumo reikšmės ir paskaičiuotos vertės iš  $L/D$ .

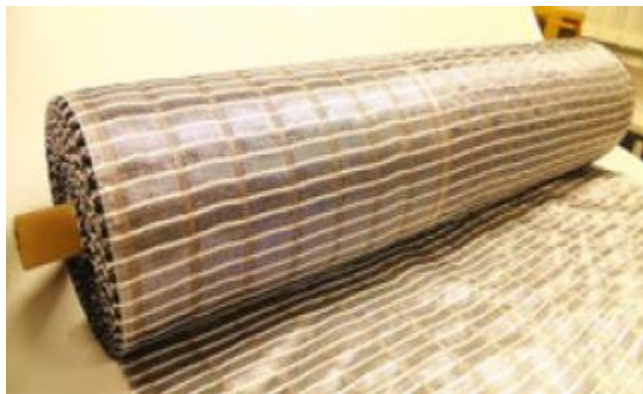


1.18 pav. Pluošto polinkio kampo pokytis [16]

### 1.1.1. Elektroninė tekstilė

XXI amžiaus sumaniosios tekstilinės medžiagos su jų viduje beveik nematomai integruotais elektronikos komponentais, tai - elektroninė tekstilė. Elektroninė tekstilė apibrėžiama kaip tekstilė, kuri gali jausti ir reaguoti į aplinkos sąlygas, dirgiklius. Ji gali pajusti ir reaguoti į išorinių sąlygų stimulus iš anksto nustatytu būdu [19]. Tokiems protingiems tekstilės pavydžiams priskiriami išmanieji audiniai, gebantys sutepti odą kremu ar vaistais; audiniai, kurie padeda kontroliuoti raumenų vibraciją sportuojant ir medžiagos, kurios reguliuoja kūno temperatūrą [20].

Elektrai laidži tekstilė yra naudojama pramonėje, žemdirbystėje dėl statiško ir elektomagnetinio lauko. Elektrai laidžios tekstilės pavyzdys pateiktas 1.19 paveiksle, kuri gali būti panaudota kaip elektrodai [21].



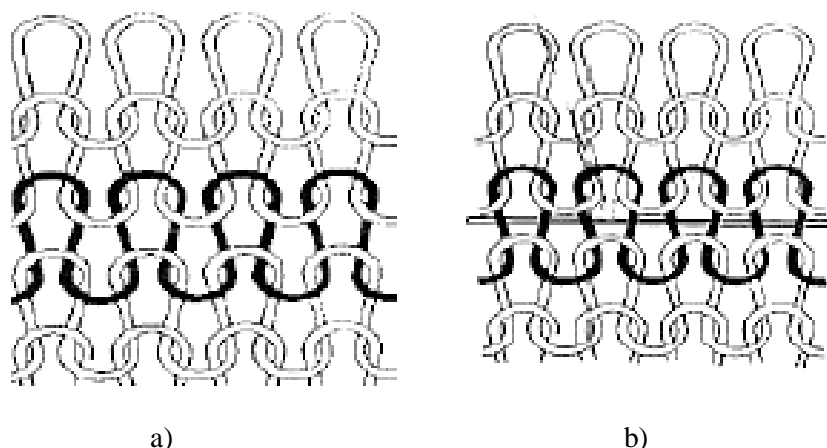
1.19 pav. Elektrai laidžios tekstilės pavyzdys [21]

Elektroninėje tekstilėje naudojamos tokios netradicinės elektrai laidžios medžiagos, kaip: metaliniai ir optiniai siūlai, dangos ir dažai, natūralios kilmės specialiai apdoroti siūlai. Siūlai, kurie yra sukurti iš metalų, t.y. iš geležies lydinių, nikelio, nerūdijančio plieno, titano, aliuminio, vario ir kitų medžiagų priskiriami natūraliai kilmei. Jų gijų skersmuo siekia 1 – 80 mikronų. Jų trūkumas yra tas, kad: brangūs ir norint gauti gerą laidumą, būtina padengti metalų druskomis. Šiandien elektrai laidus pluoštas yra gaminamas iš metalų, polimerų. Iš labai plonų pluoštų arba plaušelių pagaminti plieno ar variu- sidabru padengti nailono siūlai turi tokias pat savybes kaip tekstiliniai siūlai [22].

T.W. Clyne ir kiti mokslininkai gamina polimerinius siūlus su elektrai laidžia šerdimi, saulės elementų ir baterijų pluoštus. Pluoštuose elektroniniai prietaisai yra juostos pavidalo, todėl labai svarbi jų orientacija medžiagoje. Elektroaustinės struktūros reikalauja aukštos kokybės, tikslaus erdvinio išpildymo.

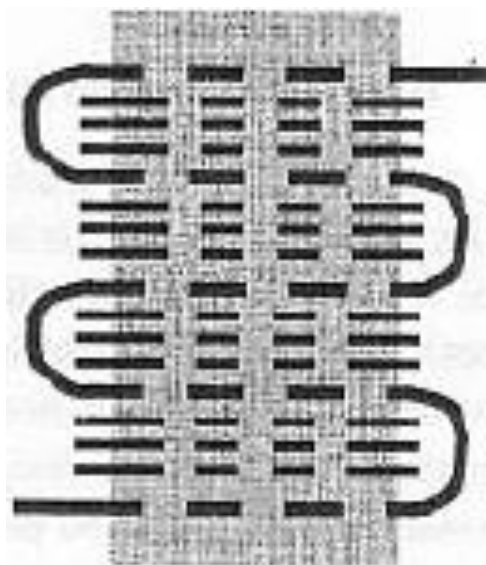
Žmogaus sveikatos būklei kontroliuoti naudojami optiniai siūlai, kurių skersmuo yra 120 mikronų. Tai labai stiprūs siūlai, atsparūs saulės šviesai. Jų minusas, kad jie labai standūs, todėl sunkiai lankstosi ir audiniai su tokiais siūlais pasižymi blogu kritimu, nėra atsparūs trinčiams. Protingoji

tekstilė sukuriama įvedant į jos struktūrą elektrai laidžius, optinius siūlus. Medžiagos gali būti austos ar megztos.



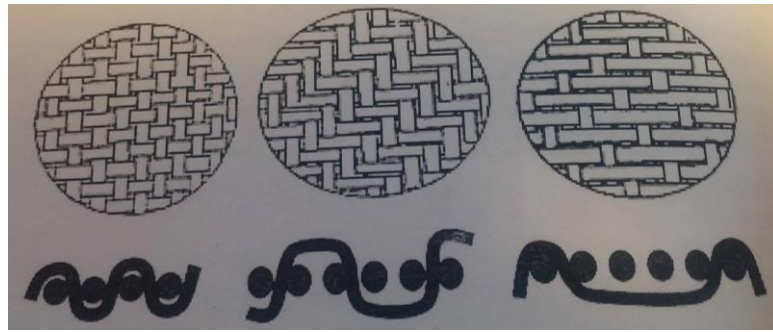
**1.20 pav.** Protingosios tekstilės pavyzdys: *a)*- megzta struktūra; *b)*- megzta struktūra su optiniu siūlu [22]

Megztoje medžiagoje siūlas įgauna stipriai išlankstytų kilpų eilutės pavidalą, todėl vienos iš eilučių pakeisti optiniu siūlu negalima, nes dėl staigių siūlo linkių bus prarandama dalis optinių signalų, o patys siūlai gali nutrūkti (1.20 a pav.). Optiniai siūlai į megztą struktūrą paprastai įvedami tiesūs, tik vietomis supinami su pagrindinės medžiagos siūlais (1.20 b pav.). Konstruojant optinių siūlų tinklą tekstilinėje struktūroje, optiniai siūlai turi būti įvedami ne suskaidyti, o ištisiniai (1.21 pav) [22].



**1.21 pav.** Protingosios tekstilės su ištisiniais optiniais siūlais pavyzdys [22]

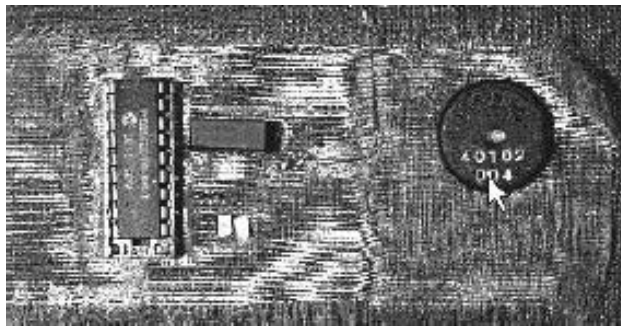
Protingoje aprangoje galima naudoti trijų pynimų audinius: drobinio, ruoželinio ir satininio. Šie pynimai skiriasi ataudų siūlų išlankstymo lygiu (1.22 pav). Skirtingai nei megztoje medžiagoje, optiniai siūlai gali būti įvedami iškart dviem skirtingomis kryptimis – metmenų ir ataudų. Šių siūlų įvedimas į austą struktūrą buvo pritaikytas kuriant SmartShirt liemenę (1.32 pav.).



a) drobinis pynimas    b) ruoželinis pynimas    c) satininis pynimas

**1.22 pav.** Austų struktūrų pavyzdžiai [1]

Laidūs metaliniai siūlai gali būti gaunami apvijant elektrai nelaidų verpalą metaline vario, sidabro arba aukso folija. Kaip pavyzdys gali būti organza, kurios ataudų siūlas apvytas vario folija. Šilko siūlas suteikia medžiagai stiprumo ir atsparumo aukštomis temperatūroms, o pačią metalinę organzą galima siūti ir siuvinėti pramoninėmis siuvimo mašinomis. Prie tokios medžiagos nesunku prilituoti įvairius elektroninius komponentus ir gauti lanksčią plokštelę, kurią galima pritvirtinti bet kurioje drabužio vietoje (1.23 pav.) [22].



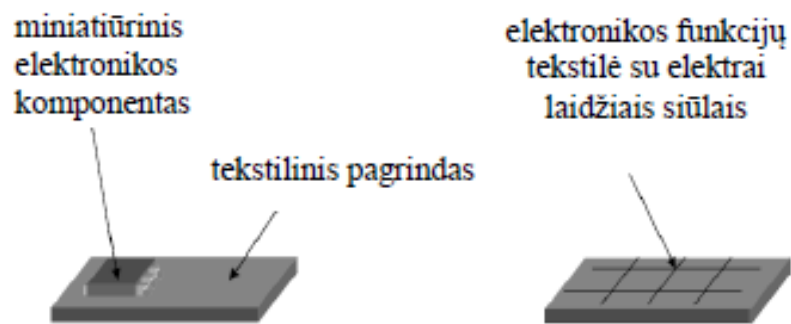
**1.23 pav.** Tekstilinės elektrinės grandinės pavyzdys [22]

Metalo siūlai (1.24 pav.) yra gaunami nuskustant metalą nuo plono lakštinio metalo briaunos. Tokie metalo siūlai būti sumegzti ar įauti į tekstilę bei panaudoti kaip elektrodai.



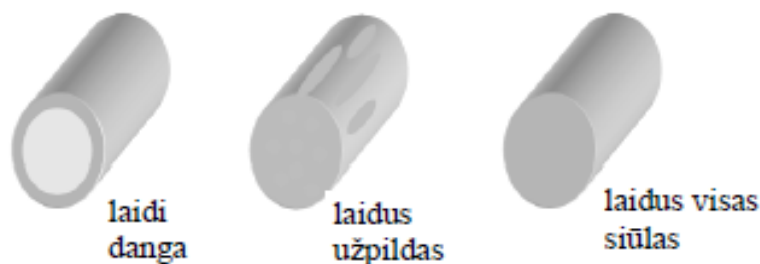
**1.24 pav.** Metaliniai siūlai

Elektroninė tekstilė gali būti gaunama dviem būdais: minimizuojant elektroniką ir ją prijungiant prie tekstilės arba kuriant elektronikos funkcijų tekstilę (1.25 pav.).



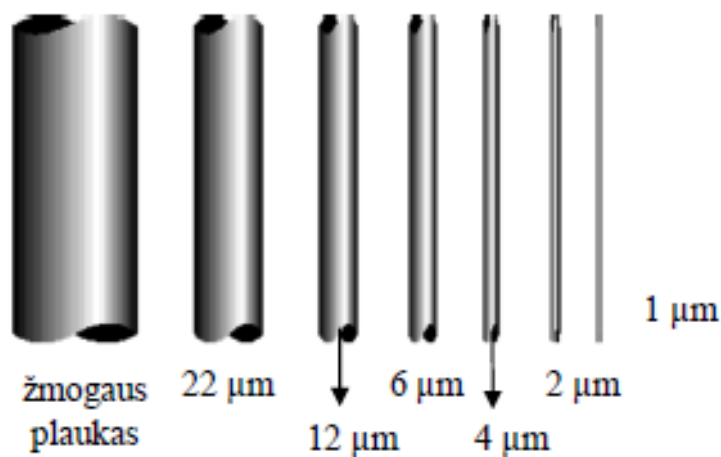
1.25 pav. Elektroninės tekstilės formavimo būdai [22]

Elektrai laidūs siūlai šioje tekstilėje gali būti: su laidžia danga, su laidžiu užpildu ir visas laidus. Laidūs siūlai gaminami iš plieno, anglies, elektrai laidžių polimerų (1.26 pav.) [1].



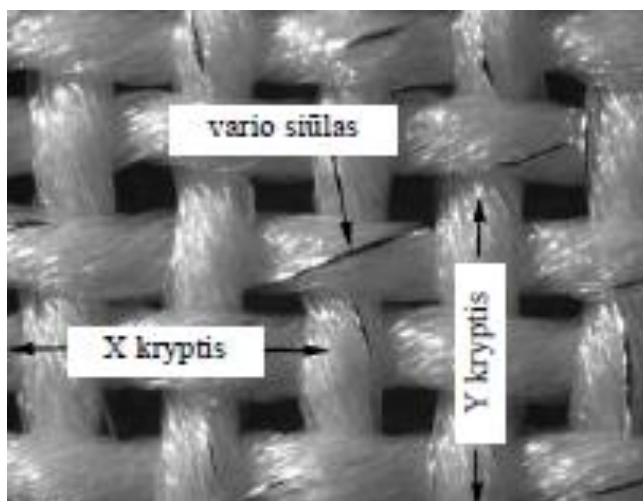
1.26 pav. Elektrai laidžių siūlų tipai [22]

Tarp elektrai laidžių siūlų ir tekstilės gamintojų pasaulyje yra gerai žinomi *Bekaert* kompanijos nerūdijančio plieno Bekaert Bekinox® siūlai ir poliesteriniai siūlai su 20% nerūdijančio plieno priedu. Metalinių siūlų skersmuo gali būti nuo 1 iki 80  $\mu\text{m}$ . Tuo tarpu žmogaus plauko skersmuo yra 70 - 100 mikronų (1.27 pav.).



1.27 pav. Palyginimas žmogaus plauko ir metalinių siūlų [22]

Elektroninės tekstilės pavyzdžiu gali būti audinys, sukurtas Wearable Computing Lab. laboratorijoje, Šveicarijoje. Audinio pagrindas – poliesteriniai siūlai, apvyti 40  $\mu\text{m}$  skersmens vario siūlais (1.28 pav.).



1.28 pav. Elektroninė tekstilė sukurta Wearable Computing laboratorijoje [22]

Elektrai laidū tekstilė gali būti naudojama ne tik elektromagnetiniam ekranavimui ar energijos tiekimui, bet ir protingojoje aprangoje ( žr. 1.1 lentelę) [22].

1.1 lentelė. Patentuoti išmanieji marškinėliai

El. Nr.	Patento numeris	Pavadinimas	Trumpa anotacija	Modelis
1	US 20110004088 A1	„EKG marškinėliai“	<p>EKG marškinėliai yra sukurti iš elastingo audinio. Jie nesielektrina. EKG švino elektrodas kliniškai yra patikrintas, o jo vieta marškinėliuose parinkta pagal tarptautinius standartus.</p> <p>Elektrodai yra prijungti prie kiekvieno iš keturių kūno galūnių. Šeši elektrodai tvirtinami krūtinės širdies plote. Šie marškinėliai leidžia sekti širdies veiklą.</p>	<p>ECG SHIRT ELASTIC BAND AND LABEL STITCHED UNDER EACH APERTURE</p> <p>THE LABEL WILL EITHER BE "AFIB", "ECG", OR A NUMBER.</p> <p>ELASTIC</p> <p>ELASTIC</p> <p>LABEL THE SPECIFIC LEAD LOCATION</p>



2	WO2014108109 (A2)	„Išmanieji marškinėliai“	<p>Tai marškinėliai, kurie leidžia analizuoti ir stebėti širdies ir kraujagyslių veikimą, informuoja žmogų apie jo sveikatos būklę, jo širdies darbą ir kraujagysles. Fiziologiniai duomenys: marškinėliai yra analizuojami ir papildomi, lyginant su referencine duomenų baze, kurioje ne tik stebimi, bet ir tvarkomi duomenys. Valdymo sistema susideda iš marškinėlių su integruotais tekstilės elektrodais, prijungtais prie vietos matavimo ir kontrolės vieneto per Micro USB mygtuko sąsają ir perduoda ryšį per mobiliojo telefono tinklą.</p>	
3	WO 2011/0949819 A1,	„Išmanieji marškinėliai“	<p>10 – marškinėliai, 11 – slėgio jutikliai, 12 – širdies ritmo jutiklis, 13 – temperatūros jutiklis, 14 – įtempimo matuoklis, 15 – siūstuvai.</p>	



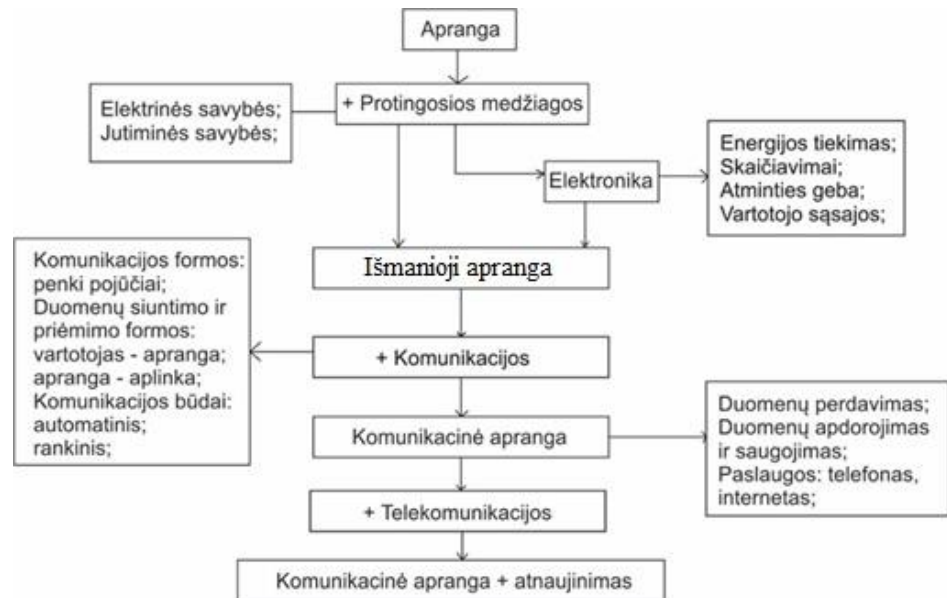
			<p>Tokie marškinėliai yra skirti stebėti vidaus organų, širdies, kraujo spaudimo, plaučių veiklą. Gauti rezultatai siunčiami bevieliu ryšiu į išmaniuosius telefonus ir kompiuterius.</p>	
--	--	--	---	--

### 1.1.2. Išmaniosios aprangos kūrimo principai ir funkcijos

Šiuolaikinė išmanioji apranga – tradicinė apranga, turinti aktyvių funkcijų, kurias suteikia tekstilinės medžiagos ir elektronikos prietaisai, arba jų abiejų derinys. Ši apranga skirstoma [1]:

- apranga „padėjėja“, atmintyje sauganti surinktą informaciją ir atliekanti duomenų apdorojimą;
- apranga „stebėtoja“, registruojanti žmogaus sveikatos būklę ir elgesį;
- apranga „reguliuotoja“, pagal susidariusią situaciją pritaikanti tam tikrus parametrus, pvz., temperatūrą, drabužio sandarumą ir kita.

1.29 paveiksle pateiktos išmaniosios aprangos kūrimo principai ir funkcijos. Yra išskiriama protingoji ir komunikacinė apranga. Išmanioji apranga gali veikti rankiniu būdu arba automatinio režimu. Rankinio valdymo pagalba žmogus gali keisti aprangos funkcijas, o automatinio režimo apranga savaimė reaguoja į aplinkos sąlygų pasikeitimą, pvz.: apšvietimą, temperatūrą, drėgnumą. Dėvint tokią aprangą, atsiranda komunikavimas tarp aprangos ir išorinės aplinkos; tarp aprangos ir dėvėtojo. Tokiais atvejais ryšys atsiranda dėl aprangos ar tekstilėje esančio įmontuoto elemento, kuris gauna informaciją arba ją pats siunčia. Komunikacinė apranga laikoma naujos kartos išmaniaja apranga [1].



1.29 pav. Protingosios aprangos kūrimo stadijos [1]

1.2 lentelėje pateiktos išmaniosios aprangos kūrimo stadijos. Medžiagų sistemos, kurios gali jausti pokyčius, yra dar vadinamos protingosiomis. Protingosios medžiagos ir technologijos yra dalis interaktyvių technologijų, kurios apima jutiklių ir vykdymo įtaisų technologijas, gamtos reiškinių atkartojimo technologijas, nanotechnologijas [1].

1.2. lentelė. Protingųjų medžiagų klasės

Atsakas Poveikis	Elektrinis	Magnetinis	Optinis	Šiluminis	Mechaninis
Elektrinis	-	-	Elektrochrominės, elektroliuminescentinės ir elektrooptinės medžiagos	Termoelektrinės medžiagos	Pjezoelektrinės ir Elektoreologiniai skysčiai
Magnetinis	-	-	Magnetoopinės medžiagos	-	Magnetoreologiniai skysčiai
Optinis	Fotolaidininkai	-	Fotochrominės medžiagos	-	-
Šiluminis	-	-	Termochrominės ir termoluminescentinės medžiagos	-	Formos „atmintį“ turinčios medžiagos

Mechaninis	Pjezoelektrinės ir medžiagos	-	Mechanochrominės medžiagos	-	-
------------	------------------------------	---	----------------------------	---	---

Išmaniojoje aprangoje ypač išsiskiria tekstilinės medžiagos savo optimalia drėgmėkaita, geru šilumos perdavimu ir gera šilumos izoliacija. Jos turi „kvėpuoti“, apsaugoti nuo gamtos užterštumo ir pačios neteršti aplinkos, privalo pasižymėti lengva priežiūra, estetinė išvaizda bei maloniu polyčiu.

Išmanioji tekstilė kuriama norint atkartoti ar imituoti gamtos reiškinius. Apranga dėl savo ypatingos apsauginės funkcijos dažnai yra vadinama „antrąja oda“. Šioje tekstilėje veikia trys pagrindiniai procesai: pajautimas, apdorojimas ir įvertinimas bei sužadinimas. Medžiagoje jie visi veikia atskirai, bet kartu turi būti ir kontroliuojami. Medžiagos reakcija yra numanoma ar kontroliuojama atsižvelgiant į reakcijos lygį:

- išmanioji pasyvi – tokia, kuri pajunta aplinkos sąlygų pokytį ar dirgiklį;
- išmanioji aktyvi – tokia, kuri jaučia aplinkos dirgiklius ir į juos reaguoja;
- sumanioji (ypač protinga) tekstilė – ne tik jaučia ir reaguoja į dirgiklius, bet ir geba prisitaikyti prie pasikeitusių aplinkos sąlygų;
- inteligentiškoji – gali reaguoti arba suaktyvėti iš anksto numatytu būdu.

Išmanioji apranga gaunama mikrokapsulėmis padengiant audinį arba poroloną, mikrokapsules sumaišant su poliuretano porolonu ir gautu mišiniu laminuojant audinį, taip pat sujungiant mikrokapsules su akriliniu pluoštu šlapio verpimo būdu [1].

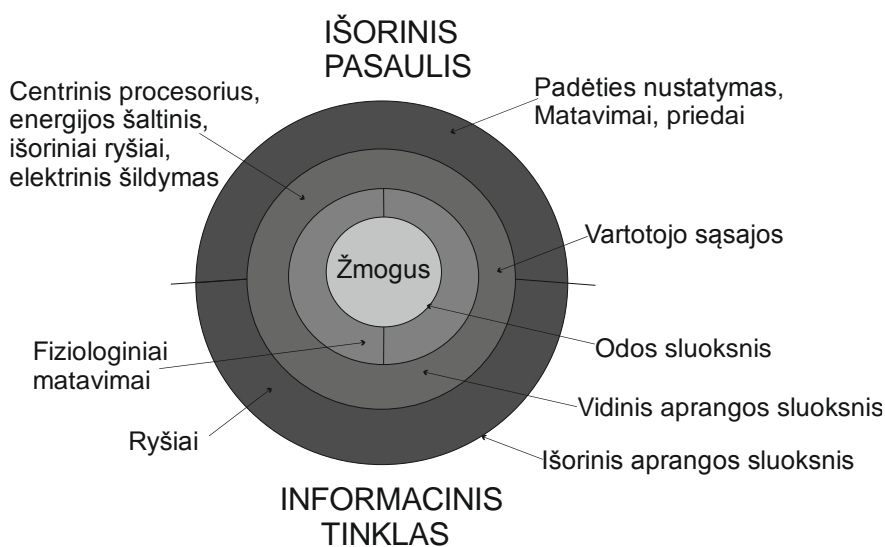
Formą įsimenančios medžiagos (shape memory materials) – yra veikiamos išorinių veiksnių, gali keisti savo pavidalą, o po to sugeba atgauti ankstesnę formą. Priežastis, sąlygojanti medžiagos deformaciją yra aplinkos temperatūros pasikeitimas. Tačiau kai kurioms medžiagoms įtaką daro slėgis, elektriniai, magnetiniai laukai, ultravioletiniai spinduliai, pH lygis ir net vanduo. Plačiausiai žinomos šiai grupei priskiriamos medžiagos yra formą įsimenantys metalo lydiniai pvz., Ni ir polimerai, termoplastiniai PU-elastomerai, polietilenas. Formą įsimenantiems metalų lydiniams būdinga tai, kad priklausomai nuo temperatūros vyksta kieto būvio pakitimai, t.y. molekuliname lygyje galimas molekulių persitvarkymas, tačiau medžiaga nepereina į kitą agregatinę būseną, molekulių ryšiai nenutrūkinėja, jos išlieka arti viena kitos[1].

Protingosios aprangos struktūrinio modelio ašis yra žmogus (1.30 pav.) [1]. Pagrindiniai sluoksniai, susiję su protingąja apranga, yra žmogaus oda ir du aprangos sluoksniai. Arčiau dėvėtojo yra apatinių drabužių sluoksnis, kur prakaitas pasklinda tolyn nuo odos ir taip užtikrinamas aprangos dėvimasis komfortas. Antrąjį, vidurinį sluoksnį, sudaro drabužiai tarp apatinių ir viršutinių drabužių. Šio sluoksnio tikslas – sukurti šiluminę izoliaciją ir neleisti žmogaus kūnui atšalti. Išorinis sluoksnis, viršutiniai drabužiai, turi saugoti dėvėtoją nuo kenksmingo išorinės aplinkos poveikio.

Apatinių drabužių sluoksnyje, t.y arčiausiai žmogaus kūno, paprastai integruojami įvairūs vartotojo sąsajos įtaisai ir fiziologinių matavimų jutikliai, tačiau skirtingų komponentų skaičių šiame sluoksnyje riboja lengva apatinių drabužių struktūra.

Antrajame – viduriniame sluoksnyje – integruojami elektroniniai komponentai, kuriems nereikia liestis su oda ir kurie neturi kontaktuoti su išorine aplinka. Jie gali būti sunkesni ir didesni už pirmo sluoksnio. Paprastai tai įvairūs jutikliai, centrinis procesorius ir ryšio palaikymo priemonės. Šildančios aprangos atveju šiame sluoksnyje integruojami energijos šaltiniai (baterijos) ir šilumos reguliavimo priemonės.

Išoriniame protingosios aprangos sluoksnyje integruojami aplinkos parametrų nustatymo jutikliai, padėties nustatymo priemonės ir daugybė kitų priedų. Apibendrinant galima teigti, kad protingąją aprangą sudaro du pasauliai (1.30 pav.): reali aplinka – tai fizinė aplinka, kurios rodikliai nustatomi aprangoje integruotais komponentais ir informacinis tinklas arba virtuali aplinka pasiekiami ryšio priemonėmis [1].

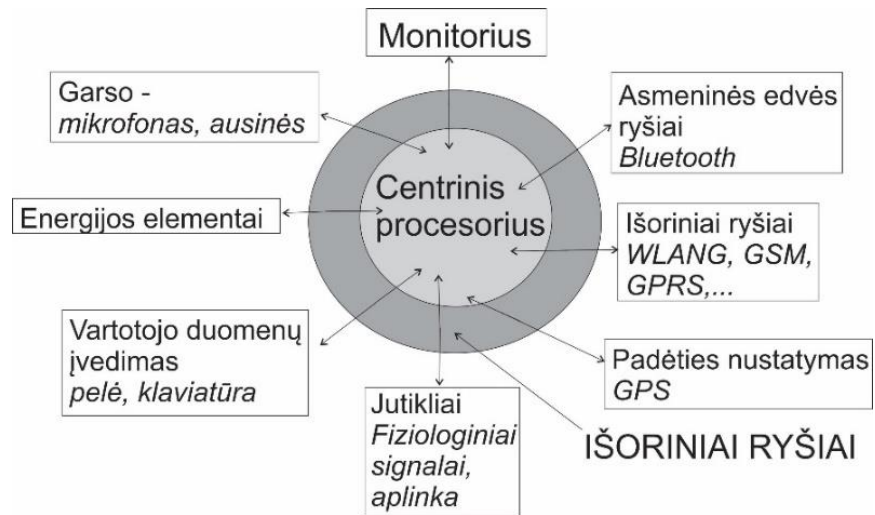


**1.30 pav.** Protingosios aprangos koncepcinis modelis [1]

Bendroji protingosios aprangos struktūra pateikta 1.31 paveiksle [1]. Būtinai komponentai yra centrinis procesorius, įvairūs vartotojo sąsajos įtaisai (UI), energijos šaltiniai ir duomenų perdavimo priemonės.

Centrinio procesoriaus (CPU) geba protingoje aprangoje priklauso nuo jo paskirties. Dažniausiai naudojami maži, nuo 8 iki 16 bitų – mikro-procesorių, kurių greitis gali siekti iki 1 GHz.

Duomenų išvedimo įrenginiai protingoje aprangoje yra įrenginiai, suteikiantys grįžtamąjį ryšį dėl aprangos atiekamų funkcijų arba išorinių veiksmų poveikio. Tai: monitoriai, garsiakalbiai, šviesos šaltiniai ir pan. Jei aprangos sudėtyje yra šalmas, tada monitoriai tvirtinami dažniausiai prie šalmo [1].



**1.31 pav.** Protingosios aprangos konstrukcinis modelis [1]

Ryšio perdavimas protingoje aprangoje atliekamas naudojant tris duomenų perdavimo tipus. Pirmasis - vidinis ryšys, jame duomenys perduodami tarp skirtingų aprangos komponentų. Antrojo tipo - išorinio ryšio, reikalingas palaikyti duomenų perdavimą tarp protingosios aprangos išorinio informacinio tinklo. Trečiasis apibūdinamas kaip ryšys asmeninėje erdvėje, jis palaikomas tada, kai išorinio ryšio komponentai inicijuoja duomenų perdavimą be centrinio prieigos taško.

Laidinis duomenų perdavimas daugeliu atvejų yra praktiškiausias ir paprasčiausias. Ant tekstilės medžiagos išvedžioti ploni nebrangūs laidai. Dažnas laidų junginėjimas gerokai sumažina dėvimos aprangos komfortą. Galimi du nešiojamosios kompiuterinės įrangos integravimo į drabužius metodai:

- elektroninių komponentų minimizavimas ir jų prijungimas prie tekstilinės medžiagos;
- tekstilės medžiagos su elektroninėmis savybėmis sukūrimas (elektroninė tekstilė).

Sensatex kompanija sukūrė „SmartShirt“ liemenę skirtą informacijos apie sveikatos būklę fiksavimui, priežiūrai ir interpretavimui. Tai naujos kartos elektrooptinis drabužis. Liemenei pagaminti naudojamos minkštos, lengvai skalbiamos medžiagos su jausmais optiniais ir elektra laidžiais siūlais. Ją dėvint registruojamas širdies ritmo ir prakaitavimo lygis, kūno temperatūra ir sudegintos kalorijos. Duomenys perduodami belaidžiu ryšiu. Informaciją apie sveikatos būklę gauna gydytojas, asmeninis treneris ir pats žmogus. Šios technologijos pagrindu kompanija kuria ir kitą drabužį, liemenę, galinčią informuoti žaizdos lygį [1].



**1.32 pav.** „SmartShirt“ liemenė skirta žaizdos lygiui indentifikuoti [23]

Italų firmos „Smartex“ komanda į drabužius įmontavo belaidžius jutiklius, kurie sukauptus duomenis siunčia mobiliojo ryšio tinklu ir visa ligo būklė yra rodoma kompiuterio ekrane. Jutikliai fiksuoja juos dėvinčio žmogaus širdies darbą ir kvėpavimą. Šie marškinėliai ypač pasitarnauja sergantiems širdies ligomis ar po širdies operacijos [24].

„First Warning Systems“ Nevados komanda kuria sportines liemenėles, kurias dėvint skenuojamos krūtys vėžiniams navikams aptikti [25]. Liemenėlėje įmontuotos mikrobangų antenos, fiksuojančios minimalius temperatūros pokyčius vėžio apimtoje krūtyje.



**1.33 pav.** Išmanioji sportinė liemenėlė, atliekanti krūties vėžio diagnostiką [25]

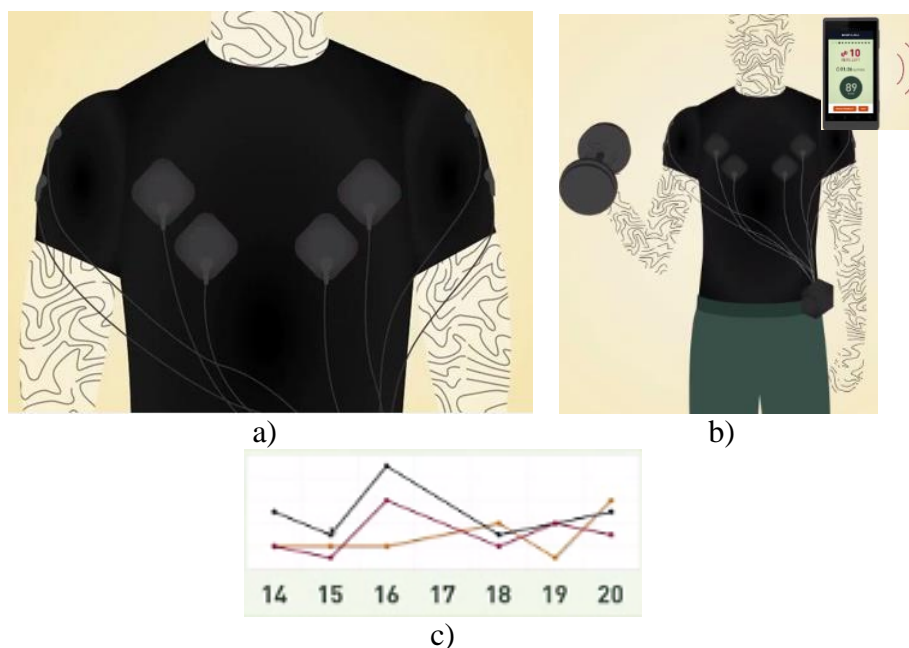
Dar viena naujovė - tai išmanūs drabužiai, kurie stebi žmogaus psichologinę būseną. Tokius drabužius sukūrė Barbara Layne iš Kanados ir Janis Jefferies iš Goldsmiths koledžo skaitmeninės studijos. Šiuose drabužiuose įrengti belaidžiai jutikliai, šviesos diodų (LED) ekranai, grotuve įmontuoti garsiakalbiai. Surinkti duomenys siunčiami į interneto duomenų bazę. Apranga prie

interneto prisijungia per išmanųjį telefoną. Nustačius žmogaus emocinę būseną, duomenų bazė siunčia muziką bei vaizdus, galinčius pakeisti žmogaus nuotaiką.

Spartus technologijų tobulėjimas vis labiau įsilieja į žmonių gyvenimą. Tenka tik laukti, kol Lietuvoje šie drabužiai atsiras prekyboje. Greičiausiai sveikatos tikrinimui nereiks kreiptis į gydytojus, nes užteks turėti tik keletą išmaniųjų drabužių, kurie diagnozuos ligas, sutrikimus ar net pagerins savijautą. Mums patiems lieka spręsti ar ateityje atsidosime į dirbtinio intelekto rankas, ar vis dar rinksimės gydytojų paslaugas.

Mokslininkai: Dalius Miežinis, Laimutis Telksnys nagrinėja elektrokardiogramų ir ritmogramų signalų perdavimo nedideliu atstumu į mobiliuosius „Android“ tipo įrenginius problemas. Perduodant elektrokardiogramas, duomenų perdavimo kiekis yra apie 2000 kartų didesnis nei perduodant ritmogramas [26].

Sukurti marškinėliai, skirti sporto rezultatų progreso stebėjimui (1.34 pav.). Marškinėliai turi elektromiografinius (EMG) jutiklius. Jie priklijuoti prie kūno ir sujungti su dėžute, kuri siunčia treniruočių rodmenis į išmaniojo telefono aplikaciją. EMG jutikliai įrašinėja raumenų elektrinių impulsų aktyvumą. Šie signalai yra verčiami į vizualius duomenis realiu laiku aplikacijos pagalba, kuri veikia Android sistemoje. Mobili aplikacija praneša apie širdies ritmą ir parodo bendrą statistiką [27].



**1.34 pav.** Išmanieji marškinėliai su EMG jutikliais: *a* – EMG jutikliai raumenų aktyvumui registruoti; *b* – duomenų pateikimas išmaniajame telefone; *c* – per internetą perduotų duomenų analizė [27]

Išmanieji marškinėliai paciento gyvybinėms funkcijoms stebėti nuotoliniu būdu gali registruoti asmens temperatūrą, širdies ritmą, aktyvumo lygį, padėtį ir vietą [28]. Pagamintas marškinėlių prototipas (1.35 pav.) gali būti skalbiamas. Marškinėliai taip pat turi nuimamą prietaisą,

į kurį įeina termometras ir akselerimetras. Šis prietaisas registruoja paciento kūno temperatūrą ir fizinio lygio aktyvumą. Kitas prietaisas, integruotas į marškinėlius, priims signalus iš internetinių siųstuvų, pastatytų ligoninėse ir bevieliu būdu siųs informaciją apie marškinėlių dėvėtojo vietą ligoninės pastate. Tokie marškinėliai gali būti nešiojami ne tik ligoninėse, bet ir namuose, nes praneš apie naudotojų sveikatos būklę [28].



**1.35 pav.** Skalbiami išmanieji marškinėliai, registruojantys paciento gyvybines funkcijas [28]

Anthony Wood apžvelgia naują išmaniosios biometrinės aprangos linijos produktą – išmaniuosius marškinėlius su galimybe sekti gyvybines funkcijas realiu laiku ir pateikti vartotojui informaciją apie maksimalų apkrovimą treniruotės metu. Šie marškinėliai turi integruotą akselerometrą ir elektrokardiogramos jutiklį, kuris registruoja širdies ritmo kitimą treniruotės metu. Kiti jutikliai veikia kartu, skaičiuodami sudegintas kalorijas. Audinys yra tamprus ir gali būti skalbiamas skalbimo mašina. Aprangoje įmontuota vandeniui atspari duomenų kaupimo dėžutė su pakrauta baterija gali veikti ~ 30 h intensyvių treniruočių arba 3 iki 4 dienas esant nedideliems krūviams (žr. 1.36 pav.) [29].



**1.36 pav.** Atspari vandeniui duomenų kaupimo dėžutė [29]

Vieno didžiausio mobiliojo ryšio operatoriaus "NTT DoCoMo" bendradarbiavimo su pažangių audinių kūrėju „TORAY“ tikslas – sukurti išmaniuosius rūbus „Hitoe“, kas japoniškai

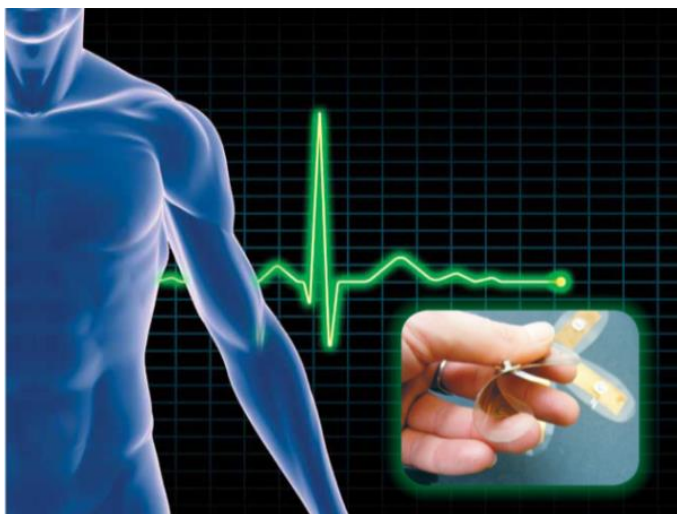


reiškia *vientisas*. Tai yra naujo tipo medžiaga, veikianti kaip kūno . Medžiaga turi nanopluoštą (Toray) ir yra padengta sklindančiu (transmitteriniu) sluoksniu, bet nėra susieta su išmaniojo telefono aplikacija (žr. 1.37 pav.). Todėl mobiliojo ryšio operatoriaus partnerystė yra labai svarbi, nes susijungus telefoną ir marškinėlius, šie gali tapti kaip elektrodai, galintys matuoti vartotojo širdies ritmą ir pateikti duomenis, analogiškus gaunamiems iš kardiogramos. Pagal šią technologiją planuojama kurti ne tik sportinę aprangą, bet ir miego rūbus, kasdieninius rūbus bei kepure [30].



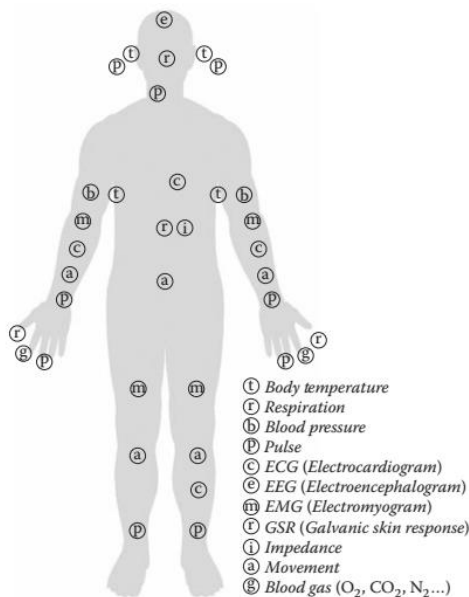
**1.37 pav.** „Hitoe“ išmanieji marškinėliai [30]

Straipsnyje „Dry Electrodes Facilitate Remote Health Monitoring“ apžvelgiami NASA marškinėliai [31]. Astronautai susiduria su krūtinės ląštos skausmais ir sutrikusiu širdies ritmu. Šiuos sutrikimus fiksuoja EKG technologijos. Pagrindinė problema, su kuria susiduria astronautai naudojant EKG technologiją, yra nepatogumas dėl gausybės laidų. Kompanija NANOSONIC išrado technologiją, pavadinimu „Metal rubber“, kuri pakeitė EKG technologijas. Privalumai yra tokie, kad išmanieji marškinėliai yra daugkartinio naudojimo, skalbiami, prigludantys prie kūno, EKG gerenaudoja išorės laidų ar želė, nevaržo dėvinčiojo judesį, nedirgina odos.



**1.38 pav.** EKG gerjutiklis [31]

Palaikyti žmogaus kūno temperatūrą pastovią (1.39 pav.) yra viena svarbiausių drabužių funkcijų. Temperatūros reguliavimas išmaniojoje aprangoje vertinamas dvipusiškai. Viena yra rasti medžiagą, kuri spinduliuotų šilumą ir ją išsaugotų, o kita – kaip dėvėtojui neperkaisti ir reguliuoti drabužių skleidžiamą šilumą.



**1.39 pav.** Biomedicininiai signalai, kurie gali būti išmatuojami žmogaus kūne [32]

Šviesą atspindinčios ir spalvą keičiančios medžiagos apima šias sritis:

- saugumas: nuovargio drabužiai, specialios uniformos policininkams ir gaisrininkams, kelio ženklai, saugumo produktai;
- sportas: bėgimo kostiumai, apranga dviratininkams, alpinistų drabužiai ir t.t.;
- pramonės: vaikiški drabužiai, vakarėlių suknelės ir t.t.;
- medicina: emocinis rengimasis, sterilizuoti drabužiai, šviesos terapija ir t.t.;
- vidaus apdaila: užuolaidos, tapetai, staltiesės ir t.t..

Izraelio įmonė „Healthwatch“ kartu su medikais sukūrė išmanius marškinėlius, kurie fiksuoja širdies darbą ir siunčia pacientams bei gydytojams pranešimus apie užfiksuotus sutrikimus [33]. „Healthwatch“ sukurtas drabužis yra unikalus, nes tai medžiaginiai marškinėliai, fiksuojantys širdies siunčiamus signalus, galintys nustatyti bet kokią sutrikimą ir nedelsiant duomenis persiųsti į kardiologo išmanųjį telefoną. Šiuos marškinėlius galima dėvėti kasdien ir skalbti skalbimo mašinoje. Trūkumas šių marškinėlių tas, kad naudojamas vieno kanalo kardiografas, kuris surenka ne visus duomenis. Šiuos marškinėlius gali dėvėti ir didelę rizikos grupę turinčios nėščios moterys (žr. 1.40 pav.).



**1. 40 pav.** Įmonės „Healthwatch“ sukurti išmanieji marškinėliai [33]

Atlikus literatūros apžvalgą pastebėta, kad dėvimieji tekstiliniai jutikliai leidžia atlikti nuotolinį sveikatos stebėjimą, todėl sulaukia vis didesnio susidomėjimo dėvimųjų sveikatos technologijų sektoriuje. Galimybė nuolat stebėti fiziologinius signalus svarbi tiek ligų diagnostikai, tiek ir gydymui. Pagrindinė šių jutiklių taikymo sritis – asmens sveikatos monitoringas sporte, armijos ar ekstremalių situacijų ir gelbėjimo tarnybų reikmėms.

Jutiklių pagalba kūno biometriniai duomenys, tokie kaip kūno skysčių (prakaito, šlapimo) cheminė sudėtis, širdies ar kvėpavimo dažnis konvertuojami į elektrinius signalus. Jutikliai gali būti integruojami tiek tiesiogiai ant odos, tiek ir aprangos medžiagose. Siekiama, kad jutikliai būtų kuo mažiau pastebimi, lengvi, lankstūs, aprangos gaminiai patogūs ir atsparūs dėvėjimui, nesukeltų alerginės reakcijos [34].

Šiuo metu pasaulyje yra sukurta daugybė su išmaniaja apranga susijusių technologijų: elektroninė tekstilė, sprendimų priėmimo realiu laiku algoritmai, duomenų ir sprendimų priėmimo vizualizavimo programos, išmanieji jutikliai. Jutiklio, skirto registruoti bioelektrinius signalus, vienu pagrindinių komponentų yra elektrodas, tiesiogiai besiliečiantis su žmogaus oda. Šio darbo pagrindinis tikslas yra: sukurti ir iširti elektrokardiogramos tekstilinius daugkartinio naudojimo jutiklius, skirtus širdies darbo stebėsenai; suprojektuoti išmaniuosius marškinėlius. Magistrinio darbo tikslui pasiekti buvo sukurtas sausasis elektrodas iš elektrai laidžios medžiagos tekstilės pagrindu. Ypač geru elektriniu laidumu pasižymi tekstilė iš natūralaus pluošto su įmegztais plonais metaliniais (nerūdijančio plieno, nikelio ir jo lydinių, vario, titano, aliuminio) siūlais arba iš metalinių siūlelių, įmegztų į sintetinius pluoštus. Buvo tirta eksplotacinių veiksnių įtaka sukurto elektrodo elektrinėms savybėms. Sukurti išmanieji marškinėliai, turintys priekinėje marškinėlių dalyje 6 jutiklius, o nugaros pusėje 4 jutiklius ir galintys išmatuoti širdies dažnį bei pulsą.

Elektrokardiograma (EKG) – širdies veiklą atspindintis elektrinis signalas. Gydytojas, analizuodamas EKG rezultatus, gali nustatyti paciento ligos diagnozę. Tam tikslui puikiai tinka sukurti išmanieji marškinėliai su elektrodais. Jutiklių pagalba kūno biometriniai duomenys, tokie kaip širdies dažnis, konvertuojami į elektrinius signalus. Per Bluetooth ryšį informacija perduodama į išmanųjį telefoną ar nešiojamą kompiuterį, kur specialiai sukurta sistema analizuoja duomenis, atlieka detalę EKG ir fizinio aktyvumo analizę, kaupia ir saugoja juos. Pacientas turi galimybę telefone pamatyti pirminę EKG ir fizinio aktyvumo būklę.

Pateikta literatūros analizė parodė, kad kad išmaniosios aprangos produktai jau yra galimi dėka inovatyvių elektronikos įtaisų, sukurtų netekstilinių ir tekstilinių medžiagų pagrindu. Tokie gaminiai jau yra rinkoje, tačiau atskiras išmaniosios aprangos rinkos segmentas dar nėra susiformavęs. Šio darbo tikslas sukurti ir ištirti elektrokardiogramos tekstilinius daugkartinio naudojimo jutiklius, skirtus širdies darbo stebėsenai ir suprojektuoti išmaniuosius marškinėlius buvo atliktas.

## 2. MEDŽIAGOS IR TYRIMŲ METODAI

### 2.1. Naudotos medžiagos

Elektrai laidžių bandinių gaminimui buvo panaudotas mažo terminio laidumo poliakrilnitrilo grafitizuotas pluoštas (veltinis) PGF CM001010 (Graphtek LLC, JAV), kurio savybės pateiktos 2.1 lentelėje.

**2.1 lentelė.** PAN grafitizuoto pluošto pagrindinės charakteristikos

Savybė	Vertė
Tankis	0,12 g/cm <sup>3</sup>
Anglies kiekis	99 %
Terminis laidis	0,0834 W/(m <sup>2</sup> ΩK/m)
Elektrinė varža	0,14 – 0,18 ·/cm
Stipris tempiant	0,25 MPa
Gamybos temperatūra	2000 °C

Eksperimentiniams tyrimams buvo pasirinktas linijinės struktūros RTV tipo polidimetilsiloksanai (PDMS) Endeavour T-1006, T-616 ir S-7026 (Endeavour Enterprise Co.,Ltd, Taivanis), kurių pagrindinės savybės pateiktos 2.2 lentelėje.

**2.2 lentelė.** PDMS Endeavour T-1006 pagrindinės charakteristikos

Savybė	Silikoninio kaučiuko markė		
	T-1006	T-616	S-7026
Tankis	1,05 g/cm <sup>3</sup>	-	-
Klampa (25°C)	7000 cP	3500	650
Sutinklinimo trukmė, esant 130°C 180°C	120 s 12 s	975 s 1350 s	1950 s 2700 s
Ilgalaikiškumas (po A ir B sumaišymo)	5 h	25 h	-
Stipris tempiant	6,5 MPa	1,4 (195)	-
Pailgėjimas trūkimo metu	7500 %	-	-
Atsparumas plėšimui	25 kN/m	8 (45) kN/m	-
Atsparumas gniuždymui (150°C/24h)	15 %	-	-
Kietumas	20 Šoro A vnt.	45	-
Linijinė santrauka	2,1 %	0,1 %	-
Tūrinė varža	10 TΩ/m	-	-

Audinių tyrimams buvo parinktos trys skirtingos sudėties megztos medžiagos, kurių pagrindinės charakteristikos pateiktos 2.3 lentelėje. Tiriami mezginiai prieš bandymą pagal standarto LST EN ISO 139: 2006. *Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka* reikalavimus 24 h buvo išlaikyti kondicinėse sąlygose:  $\varphi=65 \pm 2 \%$  ir  $T=20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**2.3 lentelė. Mezginių, naudotų cikliniam tempimui, pagrindinės charakteristikos**

Savybė	Mezginio tipas		
	A	B	C
Artikulas	Art.5998	Art.5701	Art.5345
Medžiagos sudėtis, %	PES-87% / EI-13 % (PES:EI=87:13%)	PES-94% / EI-6 % (PES:EI=84:6%)	PES-96% / EI-4 % (PES:EI=96:4%)
Medžiagos svoris (gr, m <sup>2</sup> )	240 ± 5	220 ± 11	215 ± 11
Medžiagos plotis (cm)	123 ± 3	150 ± 3	166 ± 3
*Spalvos atsparumas			
Atsparumas skalbimui (ISO 105-C06)	4 balai	4-5 balai	4-5 balai
Atsparumas sausai trinčiai (ISO 105-X12)	4 balai	4 balai	4 balai
Atsparumas šlapiam trinčiai (ISO 105-X12)	4 balai	3-4 balai	3-4 balai
Atsparumas vandeniui (ISO 105-E01)	4 balai	4 balai	4-5 balai
Spalvos atsparumas po temp. apdorojimo	-	4 balai	4 balai
Spalvos atsparumas prakaitavimui (ISO 105-E04)	-	4 balai	4 balai
Spalvos atsparumas dirbtinai šviesai (ISO 105-B02)	4 balai	4-5 balai	4-5 balai
Spalvos atsparumas sausam valymui	4 balai	4 balai	4 balai
Susitraukimas po skalbimo ir džiovavimo (ISO 5077; ISO 6330) (%)	+/-5 balai	+/-5 balai	+/-5 balai
Susitraukimas po temp. apdorojimo (%)	-	+/-5 balai	+/-5 balai
Sukimo, arba asimetrijos po temp. apdorojimo pokytis (16322-2), (%)	+/-3 balai	+/-5 balai	+/-3 balai
Susitraukimas po garų, (%)	-	+/-2 balai	+/-2 balai

Sukimo, arba asimetrijos po skalbimo pokytis (16322-2), (%)	-	+/-3 balai	+/-3 balai
Pilingo atsparumas (ISO 12945-2)	4 balai	3-4 balai	3-4 balai

Elektrodų gamybai buvo naudoti sidabro audiniai, kurių charakteristikos pateikiamos 2.4 lentelėje.

**2.4 lentelė.** Naudotų sidabro audinių charakteristikos

Charakteristika	Vertė
<b>Argen mesh</b>	
Ekranavimo našumas	50 dB nuo 100 MHz iki >3GHz
Paviršiaus laidumas	<1 Omo/kv
Sudėtis	55% sidabras ir 45% nailonas
Spalva	Sidabro
Šviesos skvarba	Nuo -30 ° C iki 90 ° C 59 colio pločio
<b>SaniSilver</b>	
Vienos pusės sudėtis	Grynas sidabras <1 Omo/kv
Kitos pusės sudėtis	Gryna medvilnė ~100 Omo/kv
Ekranavimas bendriems radio bangų dažniams	55 Db ekranavimas bendriems radio bangų dažniams
Lengva pjaustyti ir siūti	
Spalva vienos pusės	Pilka / sidabrinė
Spalva kitos pusės	Šviesiai rusva
Masė	164 g/M <sup>2</sup>
<b>Soft&amp;Safe</b>	
Aukštas paviršiaus pralaidumas	<1 Omo/kv
Sudėtis	70% bambukas, 30% sidabras
Ekranavimas	50Db
Lengva pjaustyti ir siūti	
Spalva	Šviesiai rožinė

Elektrodo elektrinių savybių pagerinimui buvo panaudotos sidabro dalelės, t.y. silikono pagrindu gauti elektrai laidūs dažai EXP 2647-5 (Creative Materials, JAV) bei elektrai laidus, kambario temperatūroje drėgme sutinklinamas, vienos dalies silikonas SS-27S. Šių medžiagų pagrindinės savybės pateiktos 2.5 lentelėje.

**2.5 lentelė.** Naudotų elektrai laidžių silikoninių medžiagų pagrindinės charakteristikos

Charakteristika	Vertė
<b>EXP 2647-5 (Creative Materials, JAV)</b>	
Klampumas, cps	20 000 – 25 000
Užpildas	Sidabras Ag / Sidabro chloridas (AgCl)
Ag kiekis, %	78

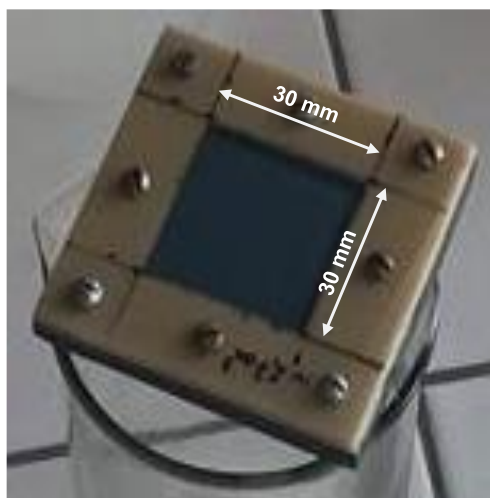
Ag:AgCl santykis	4:1
Raukšlėjimosi atsparumas	Puikus
Tūrinė varža, $\Omega/\text{mm}^2$ , max	2,4
Darbinės temperatūros intervalas, $^{\circ}\text{C}$	-70 – 260
Terminis stabilumas, $^{\circ}\text{C}$	Geras iki 325
<b>SS-27S (Silicone Solutions, JAV)</b>	
Klampumas (cps)	50 000
Laidus užpildas	Sidabras/Aliuminis (Ag/Al)
Tankis, $\text{kg}/\text{m}^3$	1,86
Darbingumo trukmė, min	15
Atvira išlaikymo trukmė, min	30
Sutinklinimo trukmė, h	24
Kietumas, Šoro A vnt.	50
Tūrinė varža, $\Omega\text{ cm}$	2,4
Terminis laidis, $\text{W}/\text{m}/\text{K}$	> 2,5

## 2.2. Bandinių gavimo metodikos

### 2.2.1. Polidimetilsiloksano ir grafito pluošto kompozitų gavimo metodika

Stačiakampės formos bandiniams gauti pirmiausia iš politetrafluoretileno buvo pagaminta forma (2.1 pav.), esant  $30\ \Omega$   $30\ \text{mm}$  darbinės zonos plotui ir  $3\ \text{mm}$  bandinio storiui.

PDMS T-1006 bandiniai buvo gauti sumaišant A ir B dalis santykiu 1:1. Kompozicija buvo praskiedžiama nedideliu chloroformo kiekiu ( $\times 1\ \text{g}$ ). Mišinys gerai išmaišomas, stengiantis kad nesusidarytų daug oro burbuliukų. Visa gauta masė supilama į formą ir  $30\ \text{min}$  paliekama nusistovėti. Tada užpildyta forma dedama į termokamerą, kurioje palaikoma  $70^{\circ}\text{C}$  temperatūra, ir joje silikonas kietinamas  $30\ \text{min}$ . Išėmus bandinį iš termokameros, jis  $5\ \text{min}$  išlaikomas kambario temperatūroje ir po to atsargiai išimamas iš formos.



**2.1 pav.** Silikono kompozito bandinių gavimo forma

Darbe buvo gauti įvairios sudėties silikono ir PAN grafitizuoto pluošto (GpF) kompozitai. Kompozito sudedamosios dalys ir jų kiekiai pateikti 2.6 lentelėje.

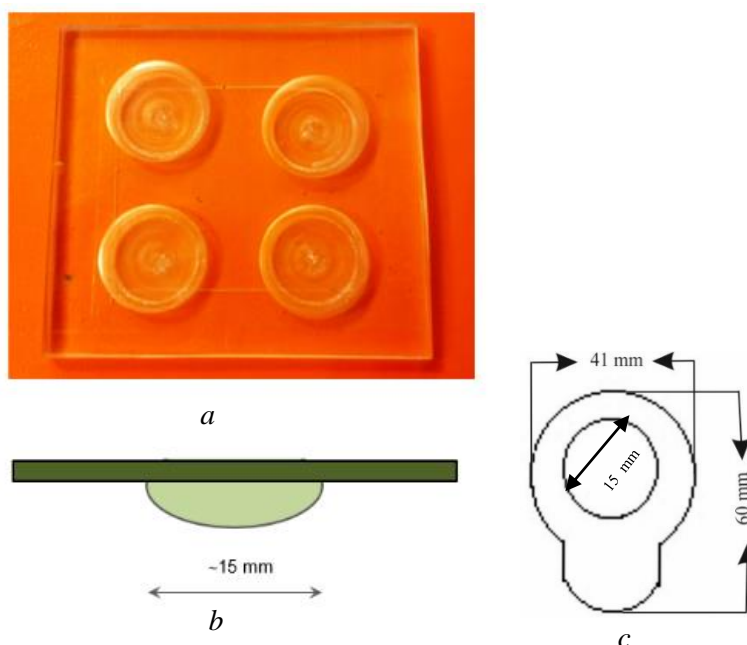


**2.6 lentelė.** Naudotas kompozito komponento kiekis

Silikono A:B dalių kiekis, %		Grafito pluošto kiekis, %	Bandinio masė, g
A	B		
50,00	50,00	0,0	2,9
48,75	48,75	2,5	3,28
47,5	47,5	5,0	2,68
46,25	46,25	7,5	3,04
45,00	45,00	10,0	2,60
43,75	43,75	12,5	<i>Nesukietėjo</i>

Gauminant kompozitą į indą švirkšto pagalba įpilamas reikiamas kiekis A ir B silikono dalių, o tada įmaišomas reikiamas kiekis GpF. Pradžioje GpF buvo smulkiai sukarpomas ir sutrinamas keramikinėje grūstuvėje, siekiant gauti kuo didesnio dispersiškumo pluošto daleles. Norint palengvinti formavimą, buvo sumažinama kompozicijos klampa, įmaišant nedidelį kiekį chloroformo (apie 2 g). Kompozicija gerai išmaišoma, stengiantis kad nesimatytų oro burbuliukų. Visa gauta masė supilama į pasigamintą formą ir 30 min paliekama nusistovėti. Tada užpildyta forma dedama į termokamerą, kurioje palaikoma 70<sup>0</sup> C temperatūra, ir joje silikonas kietinamas 30 min. Išėmus bandinį iš termokameros, jis 5 min buvo išlaikomas kambario temperatūroje ir po to atsargiai išimamas iš formos ir pasveriamas.

### 2.2.2. Elektrodo minkštosios dalies gavimo metodika



**2.2 pav.** Elektrodo įliiejimo forma: *a* – forma, *b* - elektrodo minkštosios dalies schema; *c* - elektrodo schema

Siekiant padidinti elektrodo kontaktą su žmogaus kūnu, buvo pakeista minkštosios dalies forma, dydis ir elastingumas.

Elektrodo minkštosios dalies gavimui buvo naudoti mažo kietumo dvikomponenčių (A:B) RTV silikoninių kaučiukų T-6016 ir S-7026 mišinys. Silikono A dalis buvo gauta sumaišius kaučiukus santykiu S-7026:T-616 = 40:60 mas.%, o B dalis – santykiu S-7026:T-616 = 50:50 mas.%. Tada buvo paruošta kompozicija A:B = 1:1.

Elektrodo minkštajai daliai gauti naudota iš PET pagaminta forma (2.2 pav. a). Minkštosios dalies formos ir elektrodo schema vaizdai pateikti 2.2 pav. b ir c.

### **2.2.3. Audinių trynimo metodika**

Tiriamasis objektas (audinys) buvo trinamas Stainingtester FD-17/A prietaisu šlapiu trynimo audiniu, atitinkančiu ISO 105-F09 : 2009 standarto reikalavimus, naudojant  $16 \pm 0,1$  mm skersmens cilindrinį strypą, kurio svorio jėga į objektą 9 N. Bandinys spaustuvais įtvirtinamas bandymų prietaiso staleyje taip, kad bandinio išilginė kryptis sutaptų su bandymo prietaiso vėžėmis. Ant strypo galo dedamas ištiesintas kondicionuotas trynimo audinys. Šlapias bandinys trinamas vieno ciklo per sekundę dažniu 100 - 400 ciklų, pakartotinai įmirkant audinį kas 10 ciklų.

Tyrimo bandymas atliekamas pagal standarto LST EN ISO 105-X12 : 2004 reikalavimus, tik trynimo audinys įmirkomas rūgštinio prakaito tirpalu, paruoštu pagal standarto LST EN ISO 105-E04:2013 reikalavimus.

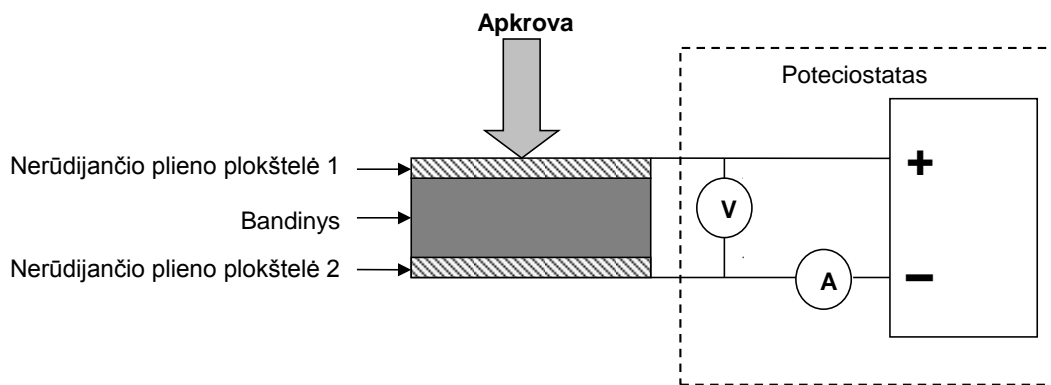
*Prakaito tirpalo receptūra:* 0,5 g/l L-histidino monohidrochlorid-1-hidrato, 5 g/l natrio chlorido ir 2,2 g/l natrio hidrofodfat-2-hidrato. Šio tirpalo pH 5,5, jis sureguliuojamas 0,1 mol/l NaOH tirpalu.

Tiriamasis objektas ir trynimo audinys prieš bandymą buvo kondicionuoti 24 h standartinėje oro aplinkoje ( $T = 20 \pm 2$  °C ir  $\phi = 65 \pm 4$  %).

## **2.3. Medžiagų fizikinių savybių nustatymo metodikos**

### **2.3.1. Elektrinių savybių nustatymo metodika**

Bandinių elektrinės savybės buvo nustatomos išmatuojant elektrinę varžą potenciostatu. Tuo tikslu bandinys dedamas tarp dviejų metalinių plokštelių, kurių bendra masė 185 g ir suspaudžiamas papildoma apkrova, uždedant ant plokštelės įvairaus dydžio apkrovas (svarelius). Plokštelės laidais prijungiamos prie elektros srovės matavimo prietaiso, ir  $dI/dE$  matavimai atlikti pagal schemą, pavaizduotą 2.3 pav. Matavimų metu bandinį veikiančios apkrovos buvo keičiamos 200-600 g ribose (viršutinės nerūdijančio plieno plokštelės masė).



a



b

**2.3 pav.** Elektros srovės matavimo įrenginys: *a* – matavimo schema, *b* – savitosios varžos  $R$  matavimo bendras įrangos vaizdas

$I = f(U)$  grafikams paviršinės savitosios varžos apskaičiavimui naudota (2.1) lygtis [35].

$$\rho s = \frac{U}{\frac{L}{TS}} \quad (2.1)$$

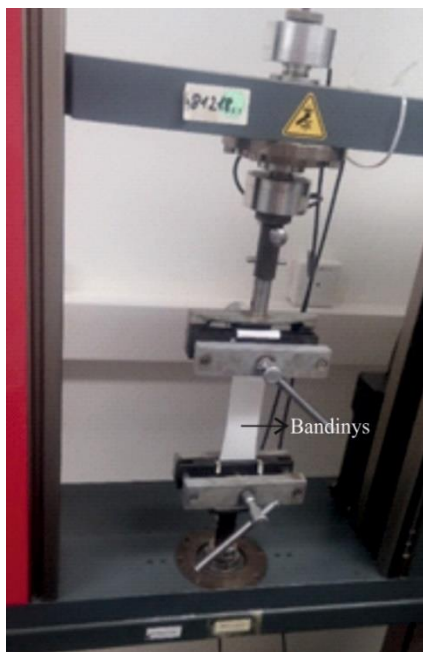
$I$  ir  $U$  vertės buvo surandamos iš tiesių  $I = f(U)$  polinkio.  $L$  ir  $D$  buvo lygūs 1 cm (specialiai taip sukonstruotas matavimo zondas).

### 2.3.2. Mechaninių savybių nustatymo metodika

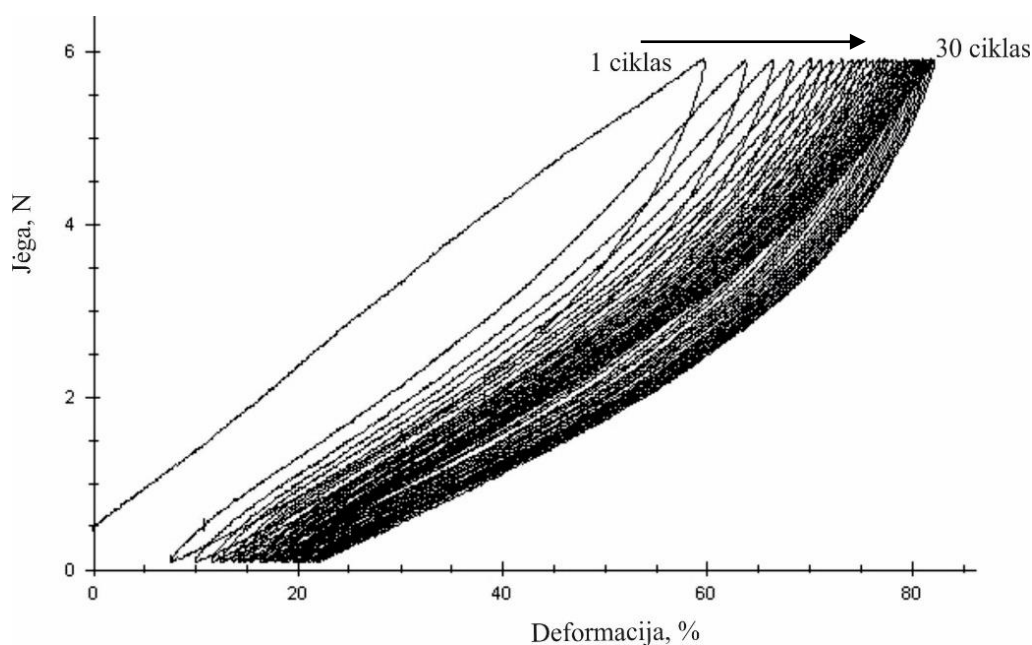
Mechaninės savybės tempiant buvo nustatomos polimero – silikoninio kaučiuko (PDMS) laisvosioms plėvelėms ir mezginiams.

**Polimero mechaninių savybių nustatymo metodika.** Bandinių mechaninės savybės buvo nustatomos vienašio tempimo būdu universalio tempimo mašina H 10KT („Tinius Olsen“, Anglija), bandant stačiakampio formos bandinius su darbinės zonos plotu 10 mm % 10 mm pagal standartą ISO 37 *Silikonas*. Buvo matuojama 250 N vertės S/T serijos jėgos jutikliu, leidžiančiu užtikrinti 0,5% tikslumą 0,5 N – 250 N intervale ir 1% tikslumą 0,25N – 0,5N intervale. Mašinos apatinio veržtuvo judėjimo greitis buvo 50 mm/min. Bandymų metu programinės įrangos *Horizon* pagalba buvo užrašoma *jėgos-deformacijos* priklausomybės kreivė.

**Mezginių ciklinio tempimo savybių nustatymo metodika.** Mezginių ciklinis tempimo bandymas atliekamas naudojant Zwick/Roell z010 tempimo mašiną. Bandymai atlikti pagal standarto BS 4952 reikalavimus. Eilučių ir ir stulpelių kryptimis buvo iškirpta po 5 vnt. bandinių, kurių matmenys buvo  $50 \times 200$  mm, o darbinės zonos dydis – 190 mm. Ciklinis tempimas buvo atliekamas 100 mm/min greičiu, bandinį veikiant  $F_{max} = 6$  N jėga 30 ciklų (2.4 pav.). Cikliniu tempimo buvo įvertintos medžiagos tamprumo savybės.



a



b

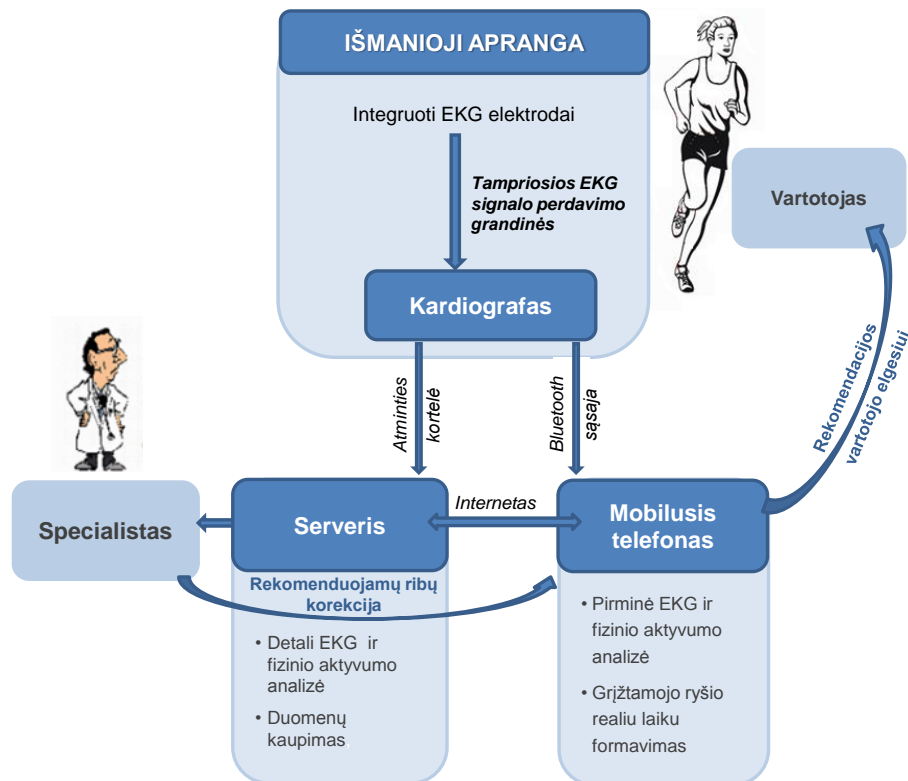
**2.4 pav.** Mezginių ciklinis tempimo bandymas: a – universalios tempimo mašinos Zwick/Roell z010 vaizdas, b – jėgos-deformacijos kreivės, esant cikliniam mezginių tempimui

### 3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

#### 3.1. Išmaniosios aprangos kūrimo projekte „CareWare“ uždaviniai

Šio projekto vieni iš uždavinių:

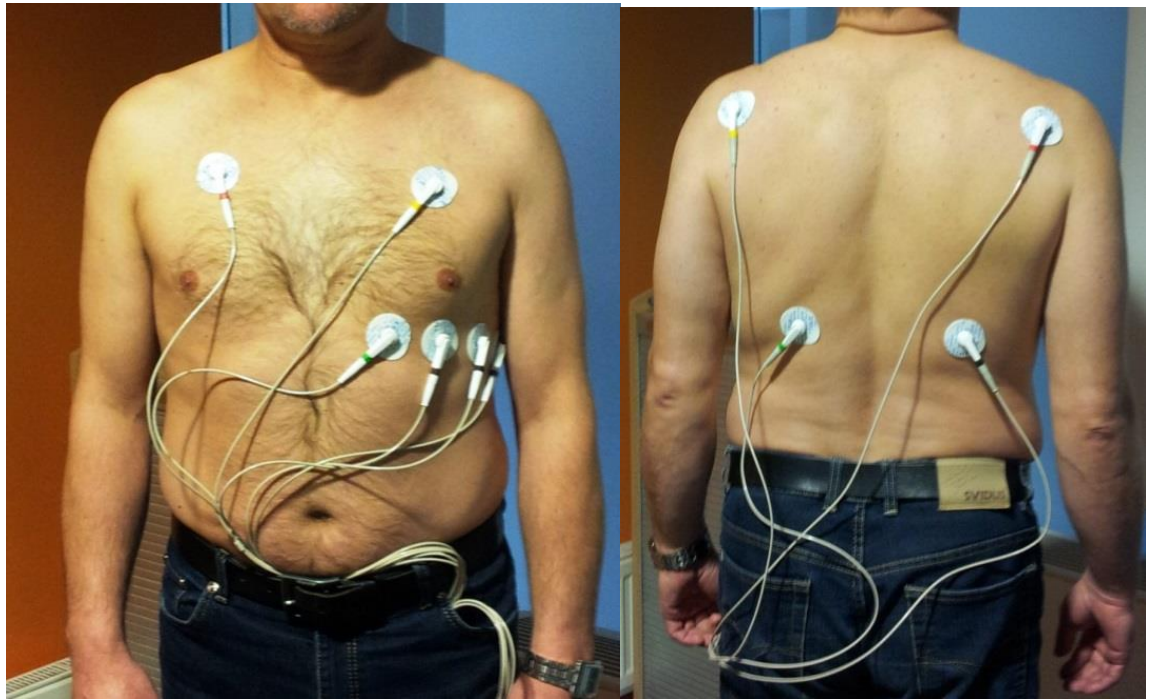
1. Numatyti integruojamas į aprangą sistemas, skirtas sportui ir sveikatos priežiūrai;
2. Apjungti ir patobulinti esamas jautiklių technologijas ir integruoti jas į tekstilę



3.1 pav. Išmanioji širdies funkcinės būklės ir fizinio aktyvumo stebėsenos sistema

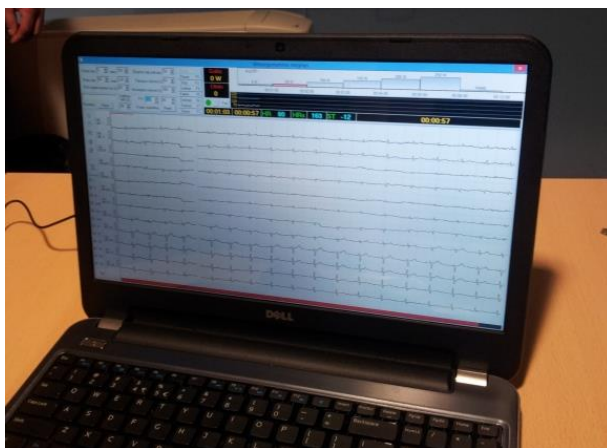
Projekto metu buvo orientuojamasi į senjorų amžiaus grupės žmones, norint pagerinti jų širdies funkcijas ir fizinį aktyvumą. 3.2 paveiksle pateiktas vaizdas širdies dažnio matavimas vienkartiniais elektrodais su gelio sluoksniu. Priekinėje dalyje naudojami 6 elektrodai, o nugaros dalyje naudojami 4 elektrodai su tampriosiomis EKG perdavimo grandinėmis, kurie registruoja odos potencialo skirtumą ir siunčia signalus į kardiografą, kuriame yra atminties kortelė ir bluetooth sąsaja. Kardiografo dėka užregistruoti signalai nusiunčiami į išmanųjį mobilųjį telefoną ar nešiojamą kompiuterį (žr., 3.3 pav.). Sukurta speciali programinė įranga išanalizuoja ir susistemina duomenis. Serverio viduje vyksta rekomenduojamų ribų korekcija, detali EKG ir fizinio aktyvumo analizė, duomenų kaupimas. Specialistas iš mobiliojo telefono ar kompiuterio mato pirminę EKG ir fizinio aktyvumo analizę, grįžtamojo ryšio realiu laiku formavimąsi. Tuomet specialistas gali duoti rekomendacijas apie sveikatą vartotojui.





**3.2 pav.** Vienkartiniai elektrodai su gelio sluoksniu *a* – elektrodų išdėstymas priekinėje pusėje, *b* elektrodų išdėstymas nugarinėje pusėje

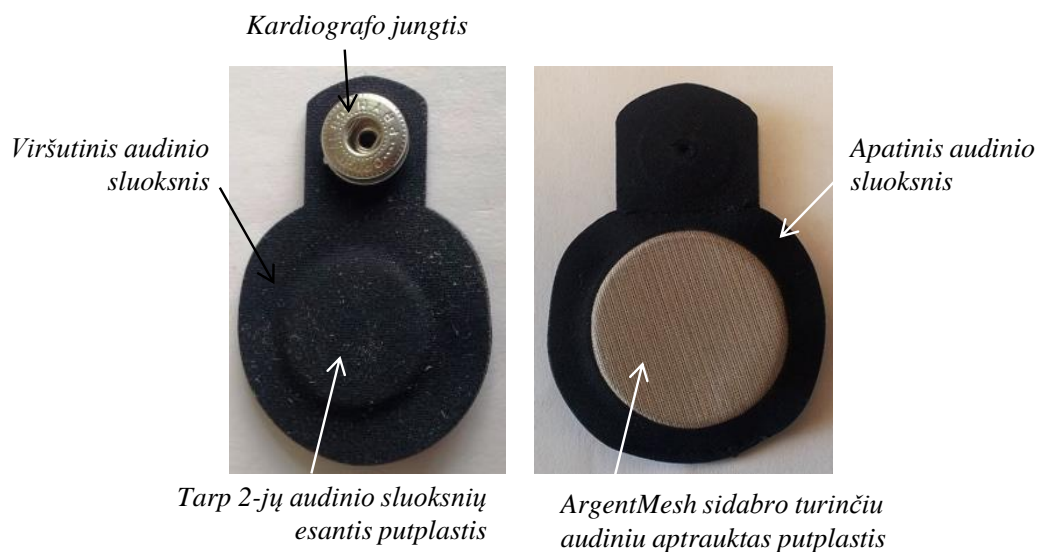
Jutiklių išdėstymas ant žmogaus kūno priklauso nuo gaunamo signalo kokybės tam tikroje kūno vietoje ir ergonominių reikalavimų. Iš 3.3 paveikslo matyti naudojama įranga *a* - nešiojamasis kompiuteris su kompiuterine programa. Specialiai sukurta ir parašyta programa kompiuteriui, kuri atspindi išanalizuotą signalą grafiškai ir išsaugoja duomenis. Esant reikalui galima duomenis filtruoti ir analizuoti atskirai.



**3.3 pav.** Naudojama įranga *a* – nešiomasis kompiuteris su kompiuterine programa, *b* - kardiografas

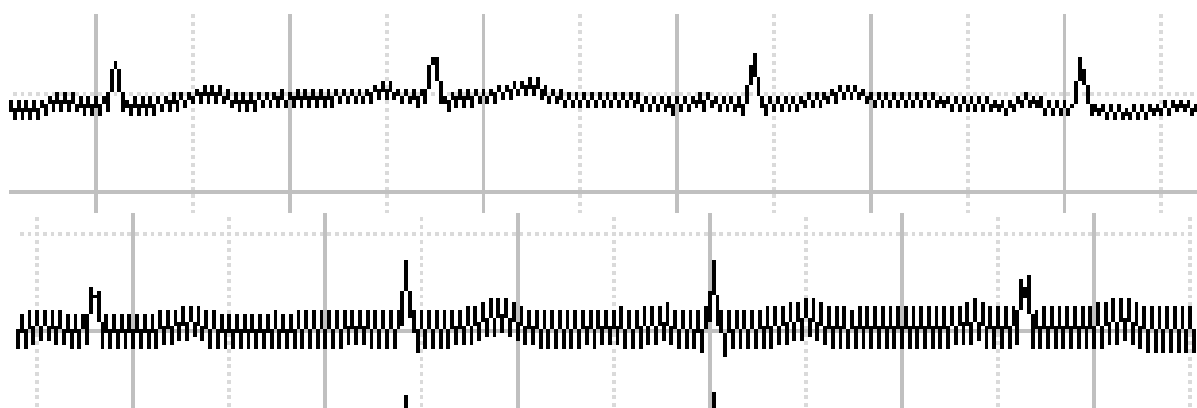
### 3.2. AB „Audimas“ sukurtų tekstilinių elektrodų konstrukcija ir EKG signalo kokybė

UAB „Audimas“ yra sukūręs tekstilinius elektrodus širdies darbo monitoringui, prijungiant juos prie elektrokardiografo. Elektrodų vaizdas pateikiamas 3.4 paveiksle. Viršutinė tekstilinio elektrodo pusė sudaryta iš dviejų audinio sluoksnio putplasčio ir kardiografo jungties. Apatinėje tekstilinio elektrodo pusėje veikliosios zonos putplastis aptrauktas 15 mm skersmens ArgentMesh sidabro turinčiu audiniu. Tekstilinio elektrodo konstrukcija pateikta 3.4 paveiksle.

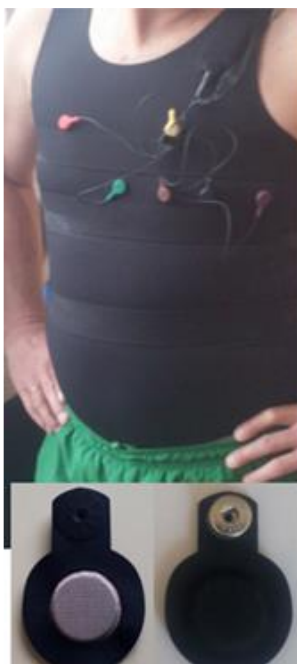


3.4 pav. UAB „Audimas“ tekstilinių elektrodų sudedamosios dalys

3.5 paveiksle pateikiamas tekstilinio elektrodo EKG signalo kokybės vaizdas. EKG signalas parodo širdies dūžio ataskaitą, aptiktą kraujo spaudimo signalu, taikant pasirinktą kraujo spaudimo signalų periodiškumą aptikimo algoritmas pateiktas 3.5 paveiksle. Iš eksperimento rezultatų matyti, kad elektrodo kokybės signalas švarus.



3.5 pav. EKG signalo kokybės vaizdas



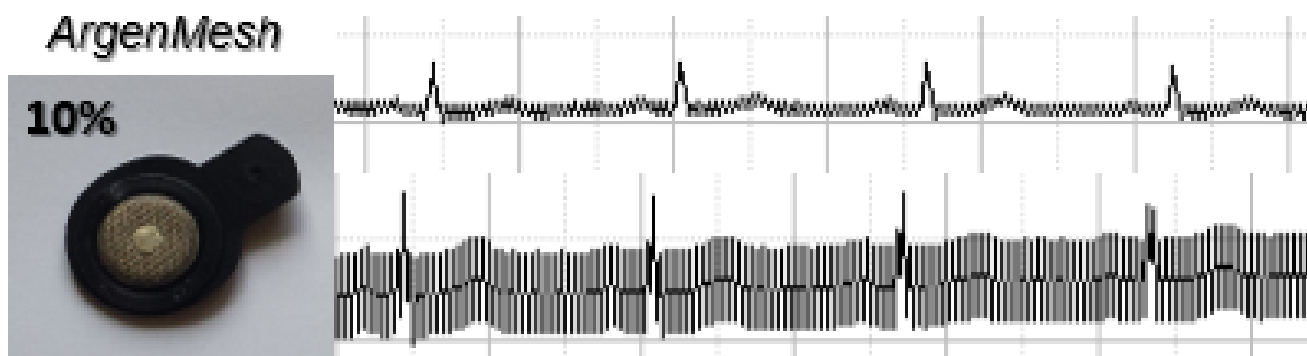
**3.6 pav.** Marškinėliai su EKG tekstilinais jutikliais

3.6 paveiksle pateiktas išmaniųjų marškinėlių su AB „Audimas“ EKG tekstilinais jutikliais dėvint senjorui vaizdas. Jutikliai marškinėlių vidinėje dalyje išdėstyti taip, kad kontaktuotų su žmogaus kūnu ir siųstų kokybiškus, atitinkančius ergonominius reikalavimus signalus.

### **3.3. EKG tekstilinių elektrodų elektrinių savybių pagerinimo galimybių tyrimas**

#### **3.3.1. Silikoninių pastų užpildytų Ag dalelėmis panaudojimas**

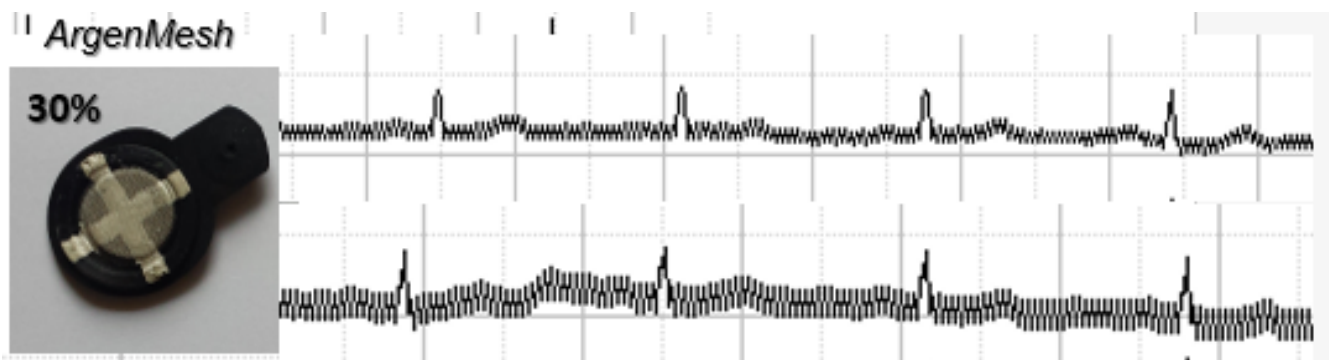
Elektrodo elektrinėms savybės gerinti buvo naudota silikoninė pasta su sidabro dalelėmis. 3.7 paveiksle pateiktas elektrodo vaizdas su lankščia, elektrai laidžia RTV silikonine pasta. Pasta užtepama ant ArgenMesh sidabro turinčio audinio ir tuo būdu pagerina elektrodo elektrinį laidumą. Naudojant tokį elektrodą matyti, kad švaraus signalo laikas tik 10 %.



**3.7 pav.** Tekstilinio elektrodo su elektrai laidžia RTV silikonine pasta vaizdas ir signalas



3.8 paveiksle pateiktas elektrodo vaizdas su EXP 2647-5 elektrai laidžiu silikonu. Užtepus ši silikoną ant elektrodo, elektrinis laidumas padidėja suformuojant papildomą paviršių iš elektrai laidaus silikono, užpildyto sidabro ir sidabro chlorido dalelėmis. Naudojant tokį elektrodą matyti, kad švaraus signalo laikas 30 %.



3.8 pav. Tekstilinio elektrodo su EXP 2647-5 elektrai laidžiu silikonu vaizdas ir signalas

Šie elektrodai pasižymi nedideliu trinties koeficientu su žmogaus oda. Judant elektrodas gerai neprispaudžia prie odos, todėl EKG registravimo signalas prastėja. Siekiant padidinti tokių elektrodų sąkybę su oda, elektrodus reikia tobulinti.

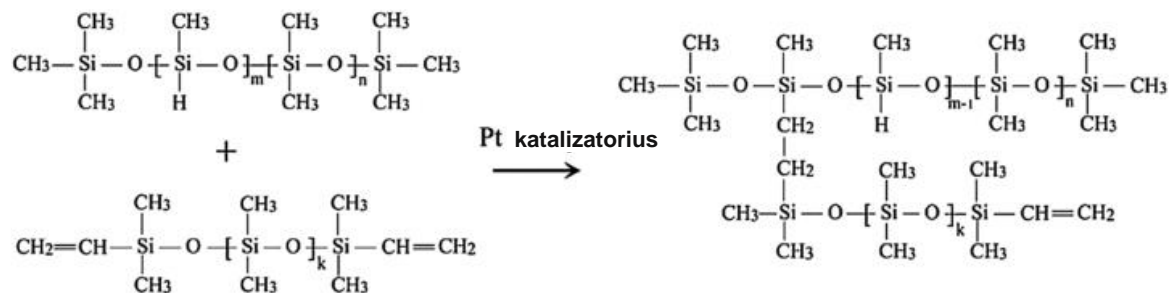
### 3.3.2. Silikono ir grafito pluošto kompozito sukūrimas ir tyrimas

Bioelektrinių signalų perdavimui elektrodų trūkumų pašalinimui / minimizavimui yra paaudojatas poliakrilnitrilas (PAN) gaminamas grafito veltinis. Geros tiek nemodifikuoto, tiek modifikuoto sidabru grafito pluošto veltinio elektrinio laidžio, cheminio ir elektrocheminio patvarumo, laidumo dujoms ir skysčiams savybės.

Grafito pluoštas yra labai lengvas ir lankstus, o taip pat pasižymi dideliu savituoju paviršiumi, terminiu, cheminiu ir elektrocheminiu atsparumu, geru elektriniu laidžiu. Todėl galima manyti, kad jis tiktų tekstilinių-polimerinių kompozitų, skirtų integruojamiems į aprangą bioelektrinių signalų registravimo elektrodų gamybai. PAN grafitizuotam pluoštui impregnuoti buvo pasirinktas silikoninis kaučiukas. Silikonai dėl jų biologinio suderinamumo ir bioilgalaikiškumo plačiai taikomi ortopedijos ir medicinos srityse [36-38]. Silikonai arba kitaip polisiloksanai, yra neorganinių-organinių polimerų junginys. Jo cheminės formulė yra  $[RR'SiO]_n$ , kur R ir R' yra organinės grupės. Šios medžiagos sudarytos iš neorganinės silicio-deguonies pagrindinės grandinės (Si-O-Si-O-Si-O) su organinėmis šoninėmis grupėmis, kaip antai metilas, etilas, arba fenilas, prijungtomis prie keturvalenčių silicio atomų. Keičiant -Si-O- grandinės ilgį, šonines grupes ir sutiklinimo būdą, galima gauti įvairių savybių ir kompozicijų silikonų. Jie gali būti skysčio, gelio, kaučiuko ir kieto plastiko pavidale. Plačiausiai iš siloksanų naudojamas polidimetilsiloksanas (PDMS), kai abu R ir R' radikalai yra metilo grupės. Platų PDMS panaudojimą lemia jo unikalios savybės dėka siloksano ryšio

(Si-O) [42-44]. Tai labai maža stiklėjimo temperatūra (-123 °C), nedidelė paviršiaus energija, geros izoliacinės savybės, didelis laidumas dujoms ir labai didelis cheminis ir šiluminis atsparumas [38].

Darbo tikslui pasiekti pasirinktas didelio elastingumo linijinės struktūros su galinėmis vinilo grupėmis PDMS, kuris yra dviejų dalių (A ir B komponentai), sukietinamas kambario temperatūroje (RTV) platinos kompleksu pagal mechanizmą, pateiktą 3.9 pav. Sutinklinimo reakcijos išdavoje susidaro etilo tilteliai.



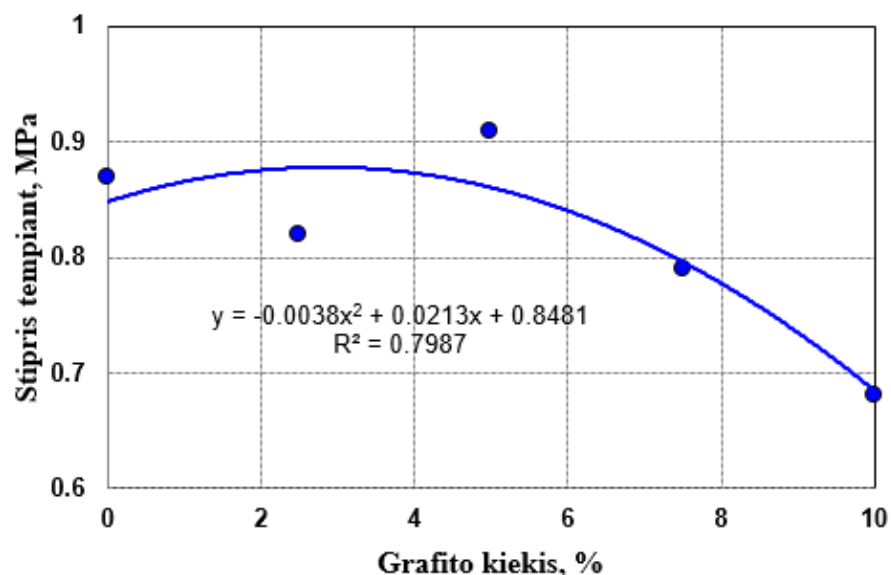
**3.9 pav.** RTV tipo PDMS sukietinimo platinos katalizatoriumi mechanizmas [39]

Sukūrus įvairios sudėties silikono ir grafitizuoto pluošto kompozitus buvo atliekas mechaninių savybių tyrimas. Grafito pluošto kompozito mechaninių savybių tempiant priklausomybė nuo kompozicijos sudėties pateikta 4.1 pav.

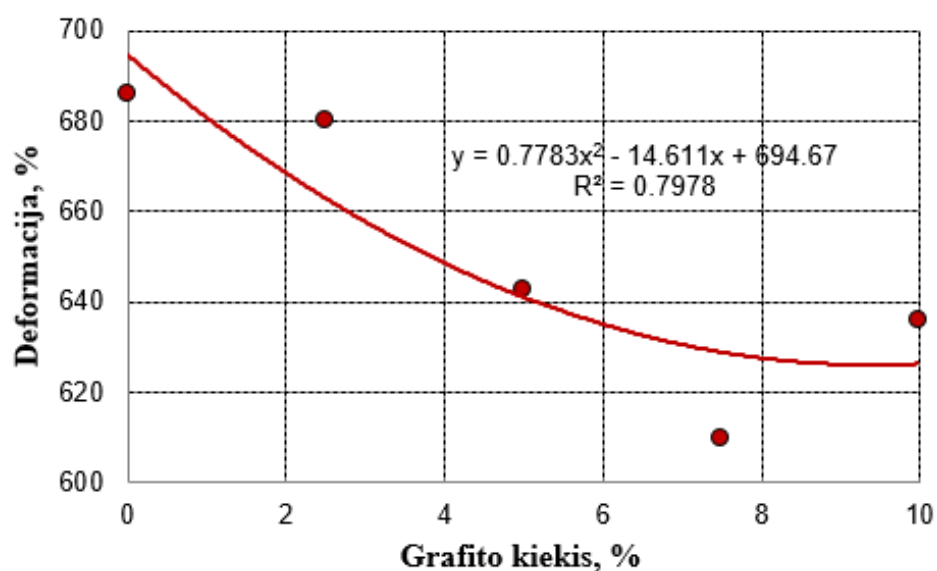
Didinant GpF pluošto kiekį iki 5 % GpF/PDMS kompozito stipris beveik nepriklauso nuo kompozicijos sudėties (3.10 pav., a). Šiuo atveju jo stipris siekia 0,85×0,06 MPa. Tačiau toliau didinant grafitizuoto PAN kiekį iki 7,5 % ir daugiau, stipris tempiant pradeda mažėti. Pavyzdžiui, didžiausio GpF kiekio atveju jis sumažėja iki ±0,68 MPa, t. y. apie 25 %. Matomai, tai susiję su GpF įtaka silikoninio kaučiuko PDMS sutinklinimo procesui – didėjant pluošto kiekiui kaučiuko tinklinės struktūros tankis mažėja, tuo pačiu mažėja PDMS standumas ir kietumas. Kaip matyti iš 2.1 lentelės, esant GpF>10 %, PDMS sutinklinimo procesas nevyksta.

GpF/PDMS kompozito ištisos trūkimo metu priklausomybės nuo kompozicijos kitimo pobūdis yra gana panašus (3.10 pav., b). Nedidelis kiekis GpF (2,5 %) beveik neturi įtakos kompozito deformacinėms savybėms. Ištisos trūkimo metu vertės sumažėja gana nežymiai (6-8 %) netgi didinant GpF kiekį iki 10 %.

Tokiu būdu gauti mechaninių savybių tyrimo rezultatai netikėtai parodė, kad GpF ir PDMS pasižymi gana gera adhezines sąveika komponentų tarpfazinėje riboje. Nors ir mažina tinklinės struktūros tankį, bet 2,5 % - 5% GpF nepablogina PDMS kompozito mechaninių savybių.



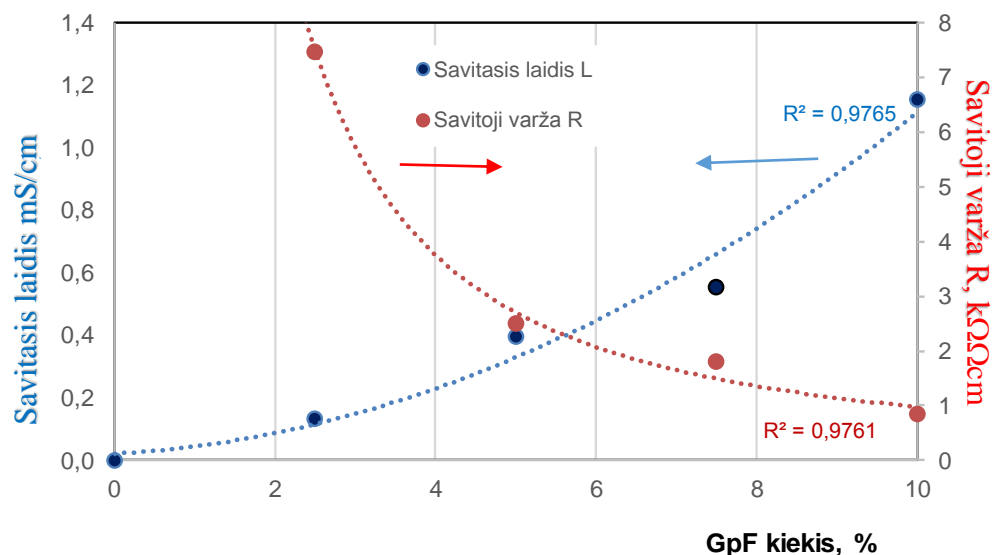
a



**3.10 pav.** GpF/PDMS kompozito savybių tempiant priklausomybė nuo kompozicijos sudėties: *a* – stipris tempiant; *b* – pailgėjimas trūkimo metu

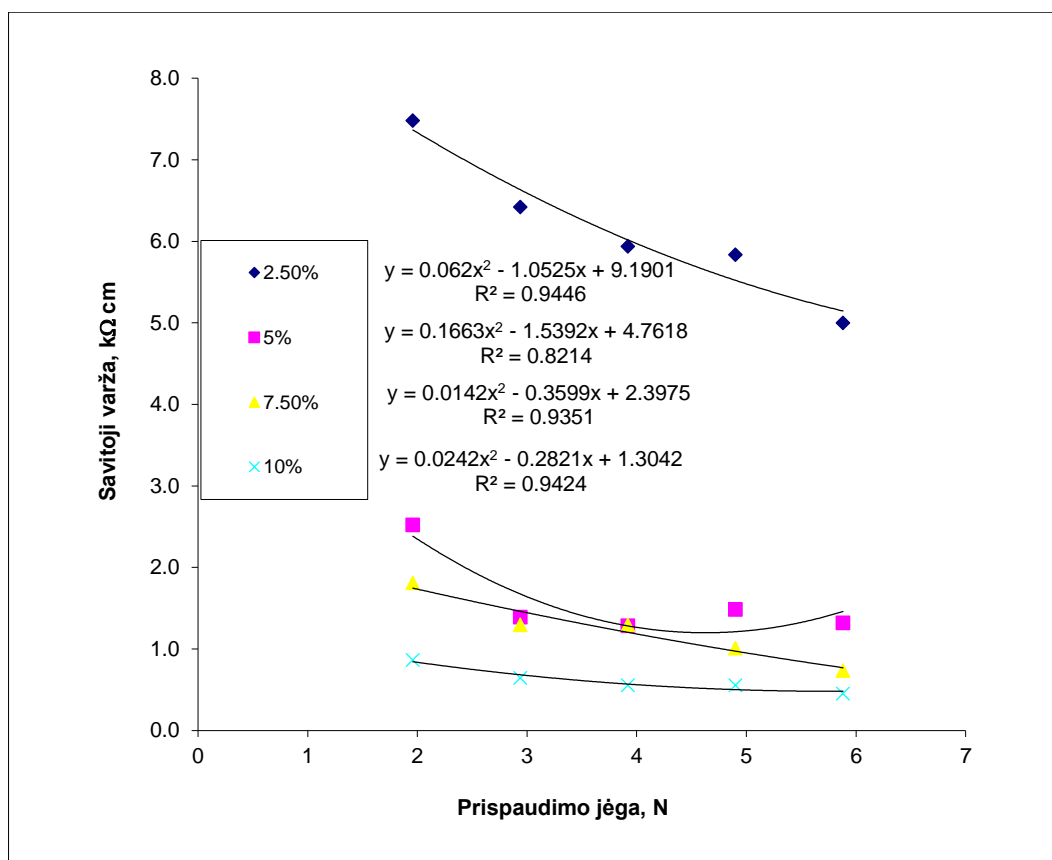
Taigi, iš elektra nelaidaus biosuderinamo silikoninio kaučiuko ir elektra laidaus grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto sukurtas kompozitas, tinkamas bioelektrinių signalų registravimui stacionariomis sąlygomis. Iš šio kompozito pagaminti elektrodai būtų lengvai integruojami į aprangą ir tinkami ilgalaikiam naudojimui (atsparūs dėvėjimuisi ir daugkartiniam skalbimui).

Grafitizuoto PAN pluošto (GpF) kiekio įtaka kompozito savitojo laidžio ir savitosios varžos kitimui pateikta 3.11 pav. Įmaišius 10 % GpF savitoji varža sumažėja daugiau kaip 8 kartus (nuo 7,5~k·cm iki 0,9Ωk·cm). Mažėjant savitajai varžai, didėja savitasis laidis. Jei 2,5 % GpF kiekio atveju *L* siekia 0,13 mS/cm, tai padidinus pluošto kiekį iki 10 % – *L* išauga iki 1,16 mS/cm.



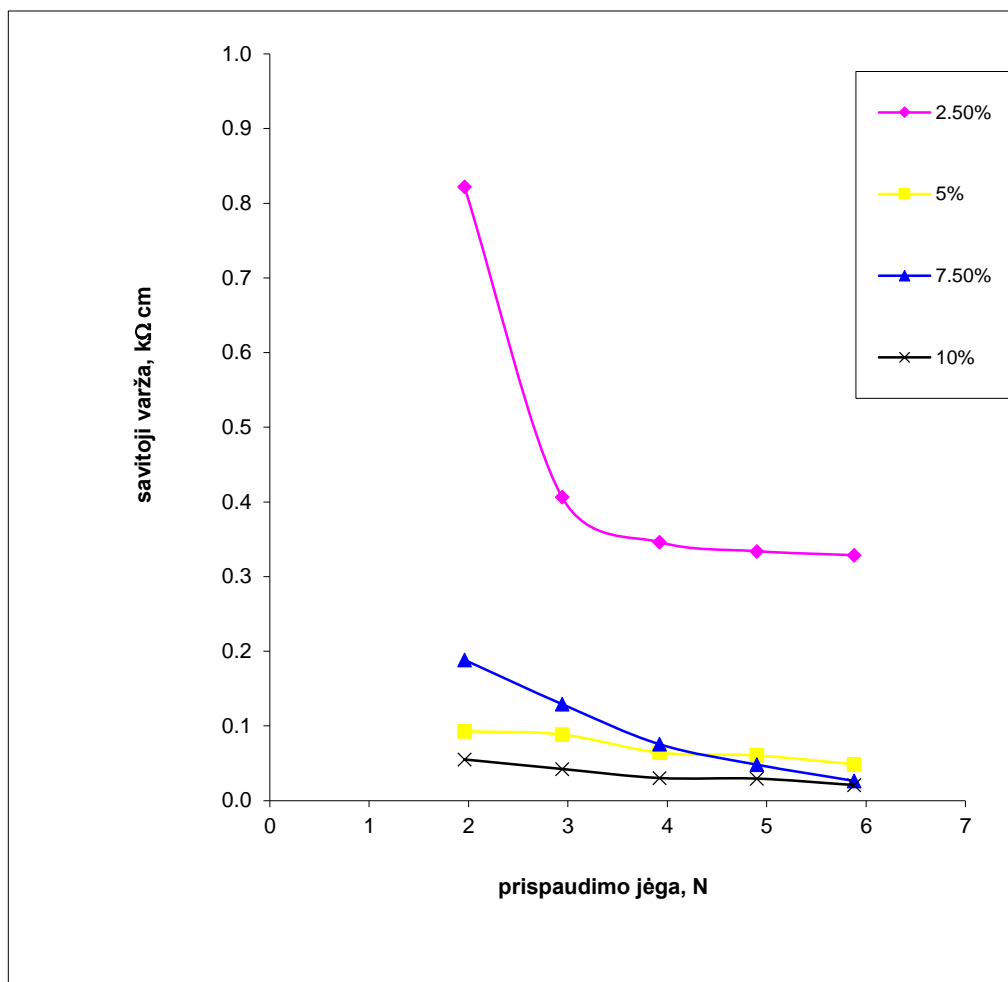
**3.11 pav.** Grafitizuoto pluošto kiekio įtaka savitojo laidžio ir savitosios varžos kitimui  
( $F_{\text{prispaudimo}}=2 \text{ N}$ )

Iš 3.12 paveikslo matyti, kad GpF/PDMS elektrinės savybės priklauso ir nuo tiriamo bandinio prispaudimo jėgos. Tai matoma esant nedideliam GpF kiekiui (< 2,5 %). Darbe prispaudimo jėga buvo keičiama nuo 1,96 N iki 5,88 N, keičiant apkrovos masę nuo 200 g iki 600 g.



**3.12 pav.** Savitosios varžos priklausomybė nuo GpF/PDMS kompozito prispaudimo jėgos, esant skirtingam GpF kiekiui

3.13 paveiksle matyti dar labiau intensyvesnis savitosios varžos kitimas pastebimas GpF/PDMS kompozituose, kurie buvo paveikti dirbtiniu prakaitu (druskų tirpalu). Druskų tirpalas buvo lašinamas ant silikono paviršiaus, ir vėliau nuvalomas vatos tamponėliu. Tai susiję su paviršiaus pH vertės kitimu, kintant paviršiaus cheminei kompozicijai.

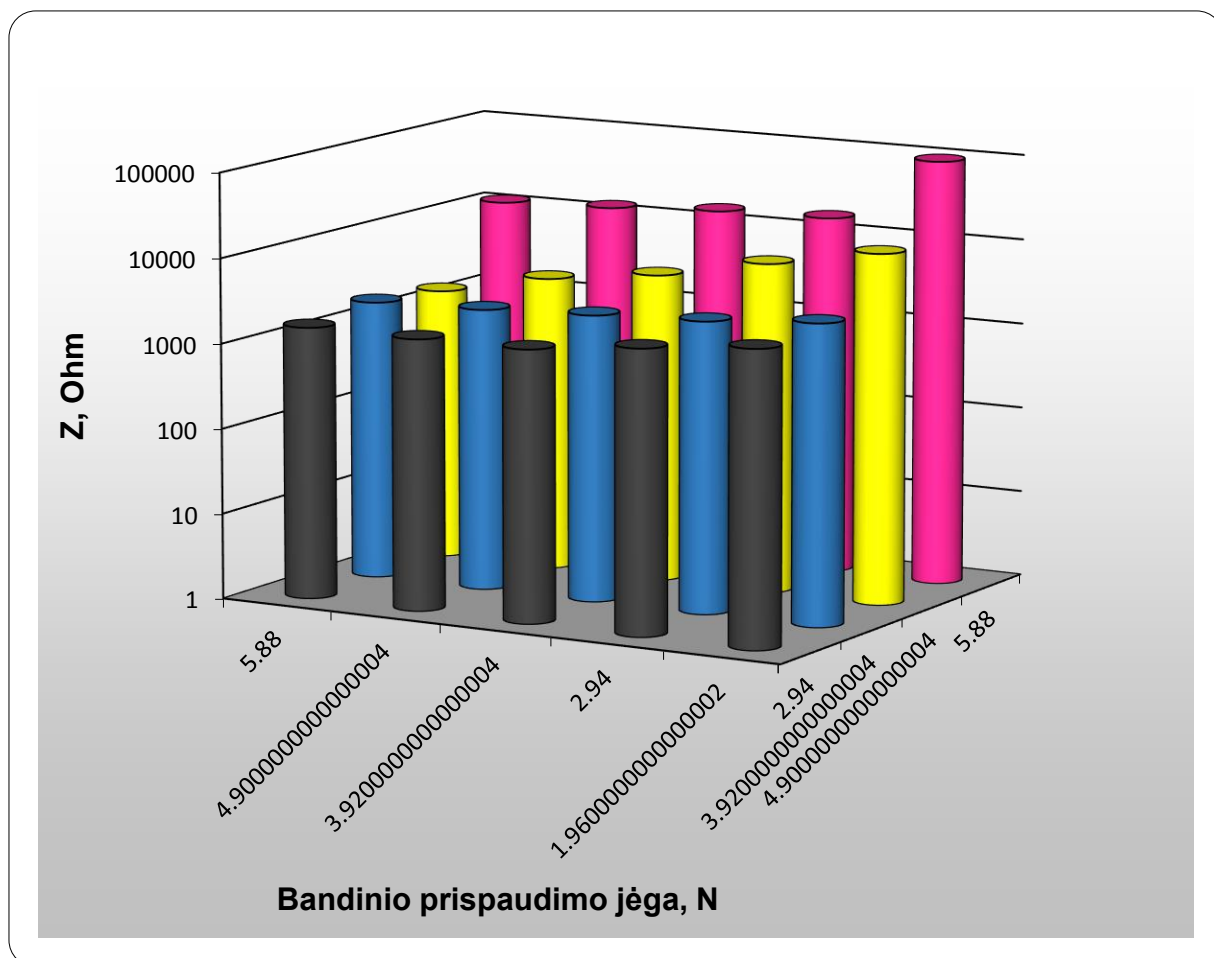


**3.13 pav.** Savitosios varžos priklausomybė nuo dirbtiniu prakaitu paveikto GpF/PDMS kompozito prispaudimo jėgos, esant skirtingam GpF kiekiui

Pastebėta, kad esant 5 % ir 7,5 % GpF kiekiui kompozito elektrinės savybės mažai skiriasi. Jei 4,9 N prispaudimo jėgos atveju prakaitu nepaveiktų bandinių savitoji varža lygi, atitinkamai 1,5 k·Ωcm ir 1,1 k·Ωcm, tai prakaitu paveiktų bandinių atveju 0,1 k·Ωcm ir 0,12 k·Ωcm. Todėl GpF/PDMS kompozito, skirto bioelektrinių signalų registravimo elektrodams gavimui, nebūtina įmaišyti didžiausio GpF kiekio. Tuo labiau, kad kuo didesnis pluošto kiekis, tuo ilgiau vyksta PDMS kaučiuko sutinklinimo reakcija. Be to, didėjant pluošto kiekiui, PDMS minkštėja, nes grafitizuotas pluoštas apsunkina platininio komplekso veikimą.

Pastebėta, kad elektrinis impedansas  $Z$  (kompleksinė grandinės varža) nusako pasipriešinimą kintamajai srovei (kai grandinė yra prijungta prie nuolatinės srovės, nėra jokios skirtumo tarp varžos ir impedanso). Elektrinis impedansas apibūdina ne tik santykius tarp įtampos ir srovės amplitudžių,


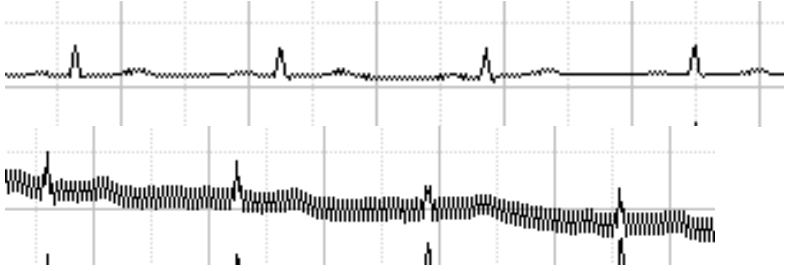

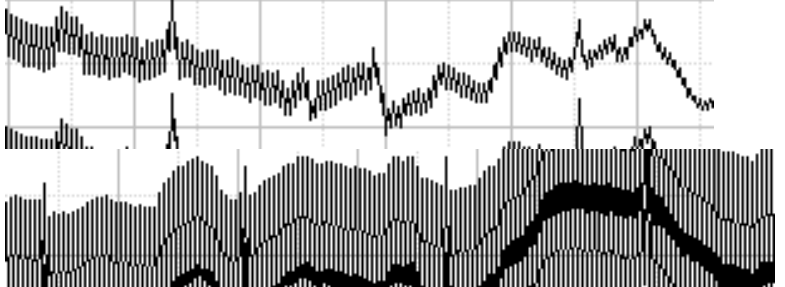
bet ir tarpusavyje susijusias fazes. Elektrinio impedanso matavimai buvo atlikti spektroskopijos pagalba, esant sinusoidinės įtampos amplitudės  $\pm 10$  mV vertei. Iš 3.14 pav. matyti, kad elektrinio impedanso  $Z$  vertės mažėja, didėjant apkrovos dydžiui ir laidaus grafitizuoto PAN pluošto kiekiui.



**3.14 pav.** GpF/PDMS kompozito elektrinio impedanso priklausomybė nuo kompozicijos sudėties ir apkrovos dydžio

Siekiant ištirti GpF/PDMS kompozitų elektrinio signalo kokybę, buvo pagaminti jutikliai, o jų pagalba gaunamas signalo kokybė palyginama su kitais kurtais jutiklių signalais. Grafitizuoto PAN pluošto pagrindu gautų jutiklių EKG signalų intensyvumas ir jų švarumas pateikti 3.1 lentelėje. Matyti, kad grafitizuotas PAN jutiklis pasižymi geromis elektrinio signalo generavimo galimybėmis. GpF jutinklio EKG švaraus signalo kokybė siekia net 24 %. Tuo tarpu GpF/PDMS kompozito jutinklio gebėjimas dėl santykinai mažo elektrai laidaus pluošto kiekio nėra geras, o signalas švarus signalas siekia tiktais 8 %. Todėl tokio tipo jutiklius galima naudoti tik vartotojo širdies darbo monitoringo statinėmis sąlygomis atveju.

**3. 1lentelė.** Jutiklių generuojami EKG signalai

Elektrodai	Švaraus signalo trukmė	EKG signalo pobūdis
<p data-bbox="371 259 596 320">Grafitizuotas PAN veltinis</p> 	<p data-bbox="683 412 742 441">24%</p>	
<p data-bbox="308 602 584 631">GpF/PDMS kompozito</p> 	<p data-bbox="687 741 737 770">8 %</p>	

### 3.3.3. Įvairios sudėties sidabrą turinčių audinių panaudojimo elektrodų gamybai galimybių tyrimas


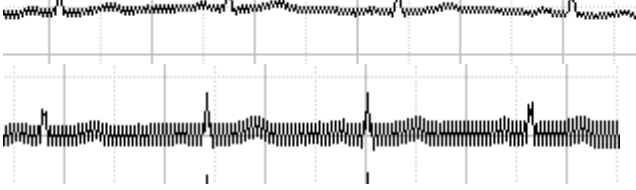

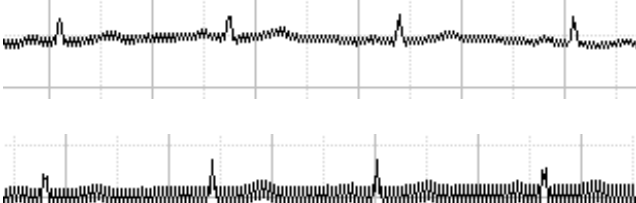

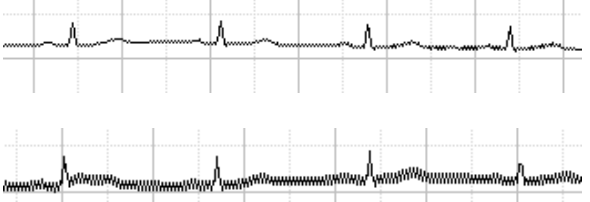
Tyrimo tikslas – ištirti įvairios sudėties sidabro turinčių audinių panaudojimo galimybes tekstiliniu elektrodu gamybai.

3.2 lentelėje pateiktas tekstilinio elektrodo apatinės dalies vaizdas, elektrai laidus audinio sudėtis, EKG signalo pobūdis.

Švariausias signalo laikas siekia 28 %, kaip tyrimams naudojami EKG elektrodas sudarytas 45 % poliamido ir 55 % gryno sidabro. 24 % švaraus signalo laikas gautas, naudojant EKG elektrodą sudarytą iš 100 % gryno sidabro (viena pusė); 100 % grynos medvilnės (kita pusė). Pats blogiausias švaraus signalo laikas 15 %, buvo gautas naudojant EKG elektrodą pagamintą naudojant audinį iš 70 % bambuko pluošto 30 % gryno sidabro. Geriausias signalas švaraus laiko buvo gautas naudojant EKG elektrodą su 55 % gryno sidabro, tad galima sakyti, kad sidabro kiekis elektrode įtakoja švaraus signalo lauką.

Tolimesniems tyrimams buvo pasirinktas elektrodas sudarytas iš 100% gryno sidabro (viena pusė) ir 100% grynos medvilnės (kita pusė). Elektrodas pasirinktas dėl EKG signalo kokybės, sudėties, didelės ekranavimo bendriems radio bangų dažniams sklandos, galimybės lengvai susiūti ar suklijuoti medžiagas. Mezginys nesukelia alerginės reakcijos.

**3.2 lentelė.** Tekstilinių judesio jutiklių rezultatai po bandymo


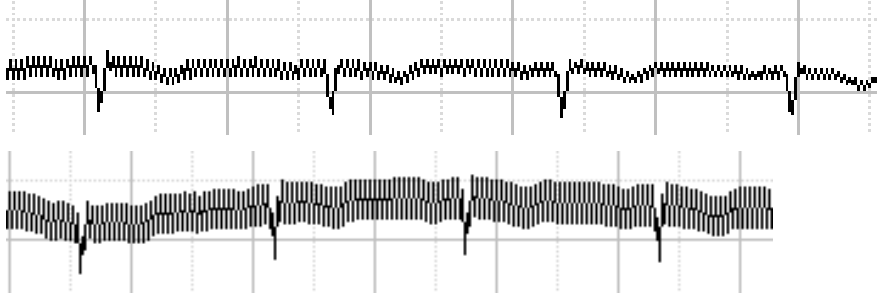
Elektrodai	Nuotrauka	Švaraus signalo laikas	EKG
EKG elektrodas sudarytas iš: 70% bambuko pluošto; 30% gryno sidabro.	 $R < 1 \cdot / kv.$	15%	
EKG elektrodas sudarytas iš: 45% poliamido; 55% gryno sidabro.	 $R < 1 \Omega / kv.$	28%	
EKG elektrodas sudarytas iš: 100% gryno sidabro (viena pusė); 100% grynos medvilnės (kita pusė).	 $R \Omega 100 \sim / kv.$ medvilnė $R < 1 \Omega / kv.$ sidabras	24%	

### 3.4. Elektrodo prispaudimo pagerinimo galimybių tyrimas

Norint pagerinti elektrodo elektrines savybes, reikia gerinti elektrodo prispaudimą prie odos. Tekstilinio elektrodo apatinė dalis buvo patobulinta: aplink SaniSilver sidabro turintį audinį aptrauktą putplastį suformuojamas polidimetilsiloksano (PDMS) iškilus žiedas. Dėl suformuoto žiedo buvo pagerintas prispaudimas elektrodo prie žmogaus odos ir tai padidino elektrinio laidumo zoną, pagerino EKG signalą. Sukurtas tekstilinis elektrodas pateiktas 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. SaniSilver su silikonu signalas

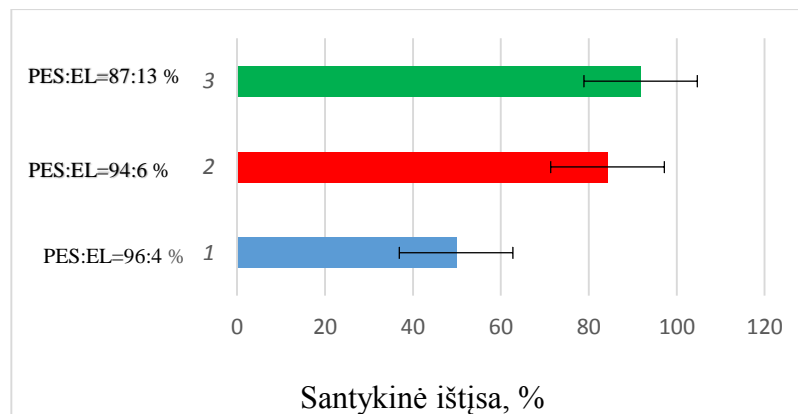


Elektrodai	Švaraus signalo trukmė	EKG signalo pobūdis
SaniSilver su silikono apvadu 	24%	

### 3.5 Megztinės medžiagos tampriųjų savybių tyrimas

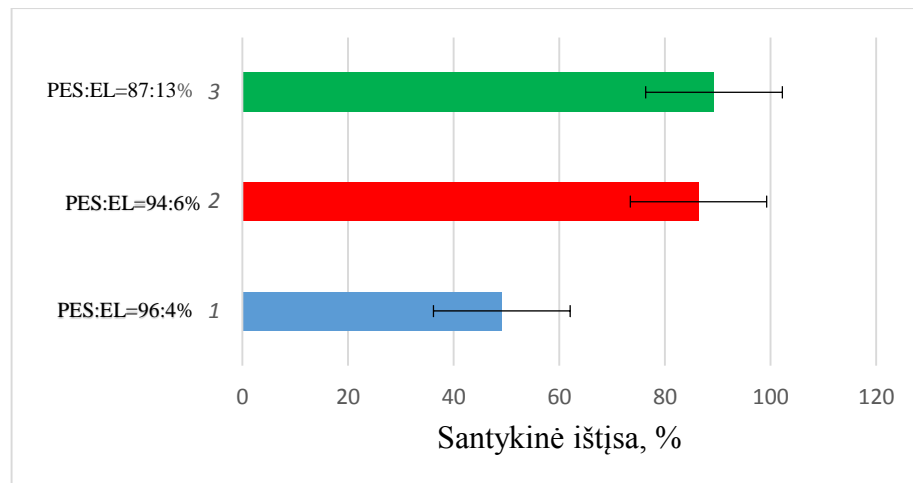
Norint įvertinti, kuris iš turimų megztinių medžiagų yra labiausiai tinkamas išmaniesiems marškinėliams pasiūti, buvo atliktas mezginių tamprumo testas. Rezultatai pateikti 3.15 – 3.16 paveiksluose.

Medžiagos stipris tempiant yra didžiausias tempimo įtempis, kurį prieš suplyšdama atlaiko medžiaga. Eilučių kryptimi stipris tempiant siekia 5,91 N, o stulpelių kryptimi siekia 5,90 N.



**3.15 pav.** Mezginių eilučių kryptimi santykinės ištįsos tyrimo rezultatų palyginimas. 1 – PES: EL = 96 : 4 %, 2 – PES : EL = 94 : 6 %, 3 – PES : EL = 87 : 13 %

Santykinė ištįsa eilučių kryptimi yra didžiausia, PES : EL = 87 : 13 % bandinių atveju, santykinė ištįsa siekia  $91,79 \pm 0,04$  %. Mažinant mezginyje elastano kiekį santykinė ištįsa mažėja. 2 bandinyje PES : EL  $84,27 \pm 0,06$  %, o 1 bandinyje PES : EL –  $49,84 \pm 0,13$  %. Gauti rezultatai parodė kiek procentų pailgėja audinys jį tempiant.



**3.16 pav.** Mezginių eilučių kryptimi santykinės ištįsos tyrimo rezultatų palyginimas. 1 – PES: EL = 96 : 4 %, 2 – PES : EL = 94 : 6 %, 3 – PES : EL = 87 : 13 %

Santykinė ištįsa stulpelių kryptimi yra didžiausi, kuomet testuojamas 3 bandinys ir siekia  $89,30 \pm 0,10$  %. Mažinant mezginyje elastano kiekį santykinė ištįsa mažėja. 2 bandinyje santykinė ištįsa siekia  $86,35 \pm 0,13$  %, o 1 bandinyje –  $49,10 \pm 0,03$  %. Atlikus santykinės ištįsos tyrimą, gauti rezultatai parodė, kiek procentų pailgėja mezginys jį tempiant. Išmaniųjų marškinėlių gaminimui rekomenduoja naudoti mezginį stulpelių kryptimi, kurio ištįsa yra mažiausia. Šiuo atveju PES: EL = 94 : 4 %.

Sportiniuose gaminiuose ištįsa gali siekti ir 35 % -55 %. Mezginiai, kurių ištįsa 30 % -50 %, priskiriami aktyvių grupei, o kurie ištįsta 15 % - 30%, priskiriami – komforto grupei. Šiuo atveju parinktas mezginys telpa į leistinas ribas ištįsos sportiniuose gaminiuose.

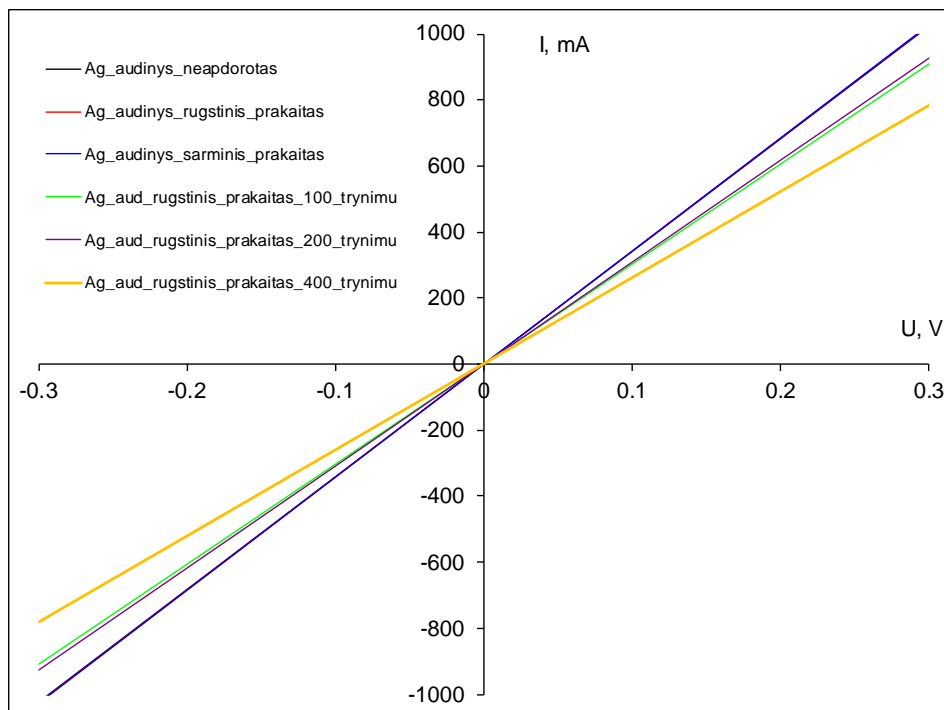
### 3.6 Sidabro audinio varžos kitimo priklausomybė nuo trynimo ciklų skaičiaus

Lentelėje pateiktos vidutinės savitosios varžos vertės ir pasikliautinieji intervalai.

**3.2 lentelė.** Vidutinės savitosios varžos vertės ir pasikliautinieji intervalai

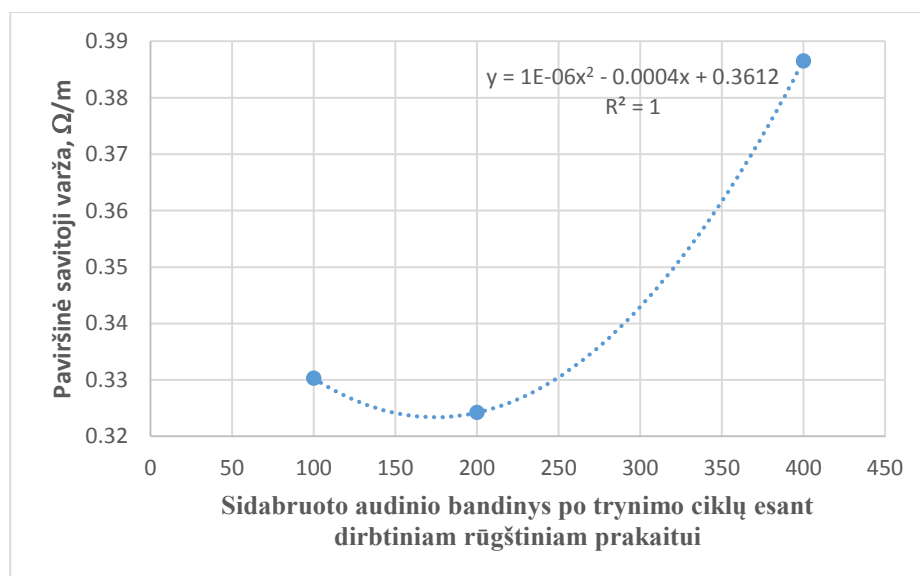
Sidabruoto audinio bandinys	Paviršinė savitoji varža, $\Omega/m$
Neapdorotas	$0,2936 \pm 0,0125$
Apdorotas dirbtiniu rūgštiniu prakaitu	$0,2928 \pm 0,0070$
Apdorotas dirbtiniu šarminiu prakaitu	$0,2922 \pm 0,0027$
po 100 trynimo ciklų esant dirbtiniam rūgštiniam prakaitui	$0,3303 \pm 0,0098$

po 200 trynimo ciklų esant dirbtiniam rūgštiniam prakaitui	0,3242±0,0100
po 400 trynimo ciklų esant dirbtiniam rūgštiniam prakaitui	0,3865±0,432



5.1 pav. Sidabro audinio paviršinė savitoji varža

Iš 5.1 paveikslo matyti, kad srovė yra didžiausia apdorojant sidabro audinį rūgštiniu prakaitu po 200 trynimų, o pati mažiausia apdorojant sidabro audinį su rūgštiniu prakaitu po 400 trynimų. Galima daryti išvadą, kad trynimai keičia sidabro audinio struktūrą.



5.2 pav. Sidabro audinio paviršinė savitoji varža nuo trynimo ciklų

5.2 paveiksle pateikta kaip kinta sidabro audinio paviršinė savitoji varža nuo trynimo tyrimo. Didžiausią įtaką sidabrinio audinio paviršiniai savitajai varžai turėjo 400 trynimo ciklą esant dirbtiniam rūgštiniam prakaitui, o mažiausia įtaka buvo padaryta sidabro audinio bandiniui po 100 trynimų.

## **4. IŠMANIŪJŲ MARŠKINĖLIŲ SU EKG ELEKTRODAIS KŪRIMAS IR TESTAVIMAS**

### **4.1. Išmaniųjų marškinėlių modeliavimas**

Sukurti išmanieji „Unisex“ marškinėliai tinka tiek moterims, tiek ir vyrams. Konstrukciniais sprendimais siekiama kardiografą integruoti į išmaniuosius marškinėlius, projektuojant elektrodų prisijungimą prie kardiografo. Išmanieji marškinėliai sudaryti iš 10 vnt. elektrodų. Priekinėje marškinėlių dalyje suprojektuoti 6 elektrodai, o nugarinėje dalyje 4 elektrodai.

Projektavimo pagrindimas – išmanieji marškinėliai prisideda prie sveikatos būklės stebėjimo, ir pagerinimo. Jie leidžia stebėti širdies darbą, pulsą, kvėpavimo dažnį ir analizuoti duomenis. Tiklas – EKG ir jungčių estetiškas įterpimas į marškinėlius. Kuriamiems marškinėliams keliami reikalavimai pateikiami 4.1 lentelėje.

**4.1 lentelė.** Išmaniųjų marškinėlių parametrai

<b>Eil. Nr</b>	<b>Reikalavimas</b>	<b>Reikalavimo apibūdinimas</b>
<b>1</b>	Mezginiai	Išmanieji marškinėliai turi būti pagaminti iš kokybiškų sintetinių medžiagų, kurios puikiai sugertų drėgmę ir ją išgarintų.
<b>2</b>	Išskirtinė konstrukcija	Įprasta, tačiau pabrėžianti žmogaus privalumus, bei paslėpanti trūkumus. Gebanti patogiai išdėstyti EKG elektrodus, kardiografą ir Bluetooth siųstuvą.
<b>3</b>	Mados tendencijų atitikimas	Naujas gaminytis turi būti madingas ir patrauklus
<b>4</b>	Dekoras	Išmanieji marškinėliai dedoruojami nepaprastu medžiagos printu.
<b>5</b>	Elektrodai	Elektrodai turi būti pagaminti iš: 100% gryno sidabro (viena pusė); 100% grynos medvilnės (kita pusė)., pritaikyti žmogaus prakaitui, elektos srovei ir varžai.

Siekiant tikslingų ir efektyvių marškinėlių vartojimo tam reikalingas prognozuojamo vartotojo profilis, kuris suteiks informacijos gaires marškinėlių projektavimui. Labai svarbi pasirinkto vartotojo socialinė ir šeimyninė padėtis, jo amžius, fizinis pasirengimas, pomėgiai, požiūris į sveiką gyvenimą. Apibrėžtas kuriamo vartotojo profilis leidžia tikslingai kurti marškinėlius ir parinkti marškinėlių dizainą pagal vartotojo požiūrį, kultūrą (4.2 lentelė).

**4.2 lentelė.** Vartotojo profilio lentelė

Vartotojo profilis					
Demografija		Pirkimas		Patinka/Nepatinka	
<b>Profesija/ Užsiėminas</b>	Sporto klubų tinklo valdytojai	<b>Kur/ Miegama parduotuvė</b>	Audimas, Adiddas, Nike, Sportland, Izod, Lotto	<b>Dizaineriai favoritai</b>	Denis Dekovic, Mark Miner
<b>Amžius</b>	51 m. moteris ir 67 m. vyras	<b>Elgsena parduotuvėje</b>	Impulsyvi / impulsyvus	<b>Skaitomi žurnalai</b>	Sportas, Sporto mokslas, Baltic Journal of Sports & Health Sciences
<b>Šeimyninė padėtis</b>	Senjorai	<b>Ar yra mados auka?</b>	Neabejinga/ neabejingas	<b>Skaitomi laikraščiai</b>	Lietuvos Rytas, Kauno diena
<b>Vaikai</b>	1	<b>Lojalumas prekiniam ženklui</b>	Nėra	<b>Kokiomis išimybėmis žavisi?</b>	Victoria Bechkem, Algirdas Šocikas, Virgilijus Alekna
<b>Nuolatinės pajamos</b>	3000 eur	<b>Prioritetinė funkcija</b>	Casual, bet dėl darbo pobūdžio dažnai sportinio tipo drabužiai	<b>Ko nemegsta/nekenčia madoje</b>	Masinės psichozės, analogų
<b>Gyvenamoji vieta</b>	Kaunas/Vilnius	<b>Požiūris į kūną</b>	Atviras privalumams, uždaras trūkumams.		
<b>Laisvalaikis</b>	Aktyvus sportas, sveika gyvensena	<b>Perkamoji galia</b>	Sezonai, išpardavimai, proga		
<b>Atostogų metuose</b>	1 mėn.				
<b>Drabužių dydis</b>	S/M moters M/L vyro				

Kolekcija „H2COR“ – idėja konceptualus išmaniųjų marškinėlių pritaikymas kasdieniam vartojimui, sveikatos priežiūros prevencijai, aktyvaus sporto pasiekimo analizei.

Išmaniųjų marškinėlių kolekcija sukurta remiantis įkvėpimo šaltiniu – „hidros“. Kolekcijos koncepcija – išmanumas. Kolekciją įkvėpė mitologinė jūrų pabaisa. Jos kūnas yra sudarytas iš dviejų ląstelių sluoksnių – ektodermos ir endodermos. Išoriniame sluoksnyje yra daug dilgiųjų ląstelių, kuriomis hidra paveikia savo auką. Hidrai būdinga regeneracija ir regavimas į dirgiklius [40]. Tuo įkvėpta sukūriau marškinėlius, kurių vidiniame sluoksnyje suprojektuoti tekstiliniai daugkartinio naudojimo jutikliai.

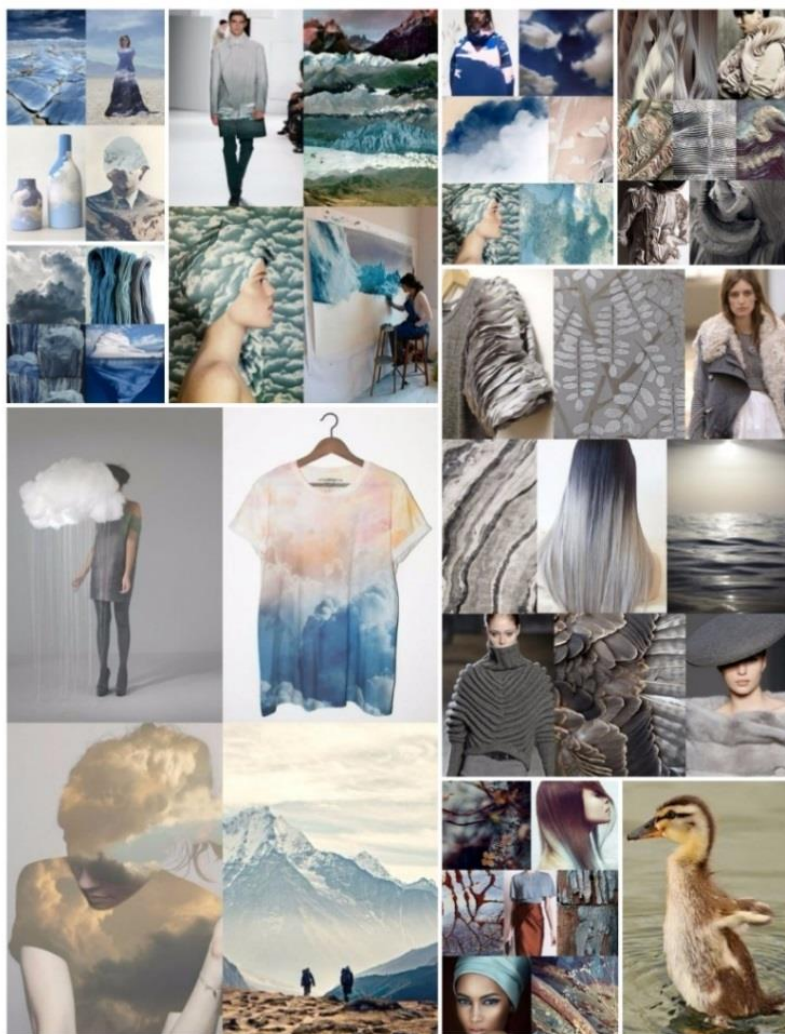
Svarbiausia, kad išmanieji marškinėlių jutikliai reguoja į žmogaus vidaus organų darbą.

Kolekcijoje naudojamos klasikinės detalės, kurios susijungia ne tik su naujausiomis mados tendencijomis, bet ir vandens, žemės, gamtos motyvais. Kiekvienas marškinėlių modelis, detalės

apgalvotos ir kruopščiai užbaigtos. Sportuojantiems žmonėms šie marškinėliai padeda rasti pusiausvyrą tarp aprangos ir sportuojančio organizmo (kūno).

Kolekcijoje naudojamos vandens spalvos atspindi ramybę, žemės spalvos – saugumą, viltį, augalų motyvai – pajvairina spalvingumą ir dizainą.

Atėjus į sporto salę, gaunate išmaniuosius marškinėlius, juos apsivelkat, vyksta treniruotė, planšetiniame kompiuteryje ar išmaniajame telefone įvedate savo pagrindinius duomenis: ūgį, svorį, amžių ir lytį. Treniruotės metu, jūs ir treneris matote savo širdies darbą, kokia jūsų organizmo būklė. Matydamas šiuos rodiklius, treneris gali sumažinti ar padidinti krūvius, nes tik taip galima kontroliuoti žmogaus savijautą, atkreipti dėmesį, kad sportas būtų saugus ir efektyvus. Duomenis galima lyginti su ankstesniais, nes jie užregistruoti kompiuteryje ar telefone, todėl labai svarbi analizė, kas tinka vienu ar kitu atveju. Svarbu nepakenkti sportuojančiojo sveikatai.



4.1 pav. Įkvėpimo šaltiniai

Atsižvelgus į kolekcijos temą, koncepciją, įkvėpimo šaltinius, buvo sukurta kolekcija, kurią sudaro 6 išmaniųjų marškinėlių modeliai. Kolekcija skirta moterims ir vyrams, kurie gyvena aktyvų, sveiką gyvenimą. Kolekcijai buvo sukurta 20 modelių iš kurių atrinkti 6 kolekciniai modeliai.

Kolekcijoje vyrauja estetiškas vaizdas, harmonija, emocijos. Pagrindinės šios kolekcijos mintys „pabėgti“ nuo sveikatos problemų. Kolekcijos marškinėliai su EKG grandinėmis, trumpomis rankovėmis. Marškinėliai nevaržo judesių, bet informuoja apie sveikatos sutrikimus. Lengva, plona sintetinė medžiaga puikiai priglunda prie kūno ir sudaro estetišką vaizdą. Ne tik marškinėlių konstrukcija traukia akį, bet ir spalvos. Remiantis mados tendencijų prognozėmis parinkti juodos spalvos marškinėliai su ryškiu piešiniu. Spalvos derinamos tarpusavyje ir kiekviename marškinėlių modelyje vyrauja harmonija. Sukurtuose piešiniuose aiškiai matosi vaizdų motyvai: dangus, žemė ar žolė. Naudojant tokį dekorą metodą, pabėgame nuo karoliukų, aplikacijų, siuvinėjimų, dekoracijų stereotipų.

Kolekcijos pagrindinis tikslas pabėgti nuo stereotipų, sukurti išmaniuosius marškinėlius su integruotomis signalų grandinėmis. Kolekcijos marškinėliai sumodeliuoti taip, kad kuo labiau pabrėžtų marškinėlių piešinius, bet paslėptų laidus. Šie marškinėliai leis jaustis gražiam ir patraukliam. Moterys ir vyrai paslėpia savo trūkumus, nugalė save, įgauna didesnio pasitikėjimo ir daugiau jėgų, žino savo sveikatos būklę. Atsižvelgus į šiuos kolekcijos pagrindinius tikslus bei išskirtinumus, sukurtos kolekcijos devizas – „H2COR“, tai reiškia - kvėpuok širdimi. Kolekcijos devizas aiškiai apibūdina kolekcijos tikslus.

Toliau pateikti visi kolekciniai modeliai, kurie pateikti 4.2 pav. Kuriant modelio eskizus buvo atsižvelgiama į marškinėlių paskirtį, drabužio erdvinę formą, marškinėlių sandarą, kompozicijos elementus. Marškinėlių kompozicijos elementai: siluetas, linijos, proporcijos, medžiaga, medžiagos raštas, apdaila, spalva. Marškinėlių dekoravimui naudojama skaitmeninė spausdinimo technologija. Šios technologijos dėka, galima į drabužį perkelti bet kokį norimą vaizdą.

Visi modeliai (4.2 pav.) yra pagaminti iš megztinės medžiagos, kurios sudėtyje yra daug elastabo. Modeliai išsiskiria savo funkcionalumu. Prie marškinėlių yra pritvirtinami EKG elektronai, padėties jutiklis, kiti jutikliai, duomenų saugojimo ir registravimo įtaisas. Matomi krūtinės ląstos apimties pokyčiai kvėpuojant, pilvo apimties pokyčiai kvėpuojant, širdies darbas ir visa žmogaus sveikata. Išmanieji marškinėliai skiriasi piešinių motyvais. Signalo perdavimo grandinės yra priklijuotos, kad išorėje jų nesimatytų ir atrodytų estetiškai. Kaip alternatyva į ateitį gali būti naudojama šilkografija ir dekoratyvinis apsiuvimas.





**4.2 pav.** Kolekcijos modeliai

Parenkant marškinėlių dizainą, vartotojas galės rinktis jam labiau patikusį dizainą t.y. bus siūlomi dangaus motyvai, suskilinėjusios žemės motyvo dizainas, primenantis žolę piešinys.

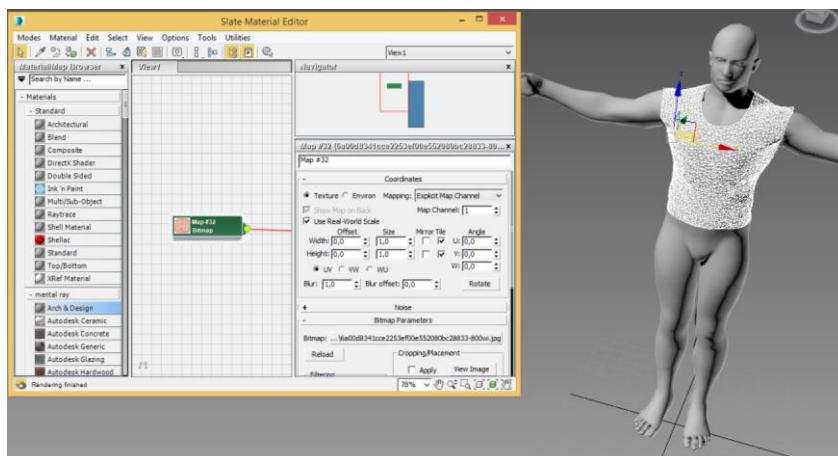
4.3 paveiksle pateikti suprojektuoti virtualūs marškinėliai su programa 3D Max (autodesk) pagrindu. Marškinėliai suprojektuoti berankovių marškinėlių principu ir virtualiai primatuoti ant vyriškos skenuotos figūros 3D Max programiniu paketu. Marškinėliams priskirtas audinys ir parinktas tinkamas raporto mastelis. Audinys parinktas iš internetinių paveiksliukų.

Programoje sukuriama gaminio detalės. Naudojantis programos įrankiais nubrėžiamos marškinėlių linijos. Pirmiausia sukuriama priekio detalė, o po to nugaros detalė. Sutvarkomos priekio, nugaros detalės ir sujungiamos. Sugeneruojami lekalai ir bandoma virtualiai susiūti. Taip sugeneruoti ir virtualiai jau susiūti marškinėliai, susimuliuojami marškinėliai yra pateikti 4.3 pav., o dizaino siulomas variantas 4.4 pav.

Programa 3D Max pmatyti viena iš galimybių kurti išmaniųjų marškinėlių dizainą. Svarbus marškinėlių estetiškas vaizdas, patogumas ir tiksliai išdėstyti elektrodai. Būtina, kad marškinėliuose nebūtų kietų, storų siūlų, siūlgalių ar neapmėtytų palaidų medžiagos kraštų. Svarbu, kad marškinėliai pasižymėtų ilgaamžiškumu, būtų patvarūs ir atliktų jiems skirtą funkciją. Dėl to marškinėliuose esantys elektrodai ir kitos reikalingos detalės turi būti tvirtai sujungtos, kad galėtų atlaikyti



daugkartines intensyvumo apkrovas. Toliau pateikiami marškinėlių siūlomi dizainai nupiešti su programa Coreldraw (žr. 4.5 pav.).



a

4.3 pav. Priskiriamas audinys virtualiam manekenui ir simuluoti marškinėliai



b



c

4.4 pav. Priskirtas audinys virtualiams manekenui



4.5 pav. Marškinėlių vizualizacija su elektrodais ir EKG kardiografu

Su programa Coreldraw (žr. 4.5 pav.) nupiešti marškinėliai su elektrodais ir EKG kardiografu. Pateikti keli skirtingi marškinėlių dizaino variantai, kad vyrai ir moterys atrastų jiems tinkamą marškinėlių dizainą.

## 5. IŠVADOS

1. Buvo sukurtas iš elektrai nelaidaus biosuderinamo silikoninio kaučiuko ir elektrai laidaus grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto sukurtas kompozitas, tinkamas bioelektrinių signalų registravimui stacionariomis sąlygomis. Iš šio kompozito pagaminti elektrodai lengvai integruojami į aprangą ir tinkami ilgalaikiam naudojimui. Nustatyta, kad:
  - didėjant grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto kiekiui iki 5%, stipris tempiant  $0,85 \pm 0,06$  MPa, o pailgėjimas trūkimo metu 642,7 %;
  - didėjant grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto kiekiui nuo 2,5 % iki 10 % savitoji varža sumažėja 88 %, o savtasis laidis padidėja 22,31%;
  - didėjant prispaudimo jėgai silikoninio kaučiuko ir grafitizuoto poliakrilnitrilo pluošto kompozito savitoji varža mažėja. Jos kritimo intensyvumas priklauso nuo kompozito sudėties – didėjant grafitizuoto pluošto kiekiui, apkrovos įtaka mažėja;
  - elektrinio impedanso vertės mažėja, didėjant apkrovos dydžiui ir laidaus grafitizuoto pluošto kiekiui.
2. EKG elektrodo gebėjimas registruoti signalą priklauso nuo jutiklio medžiagos sudėties. Nustatyta, kad didinant sidabro kiekį jutiklio sudėtyje, gaunamo EKG signalo kokybė gerėja.
3. Buvo iširta sidabro audinio varžos kitimo priklausomybė nuo trynimo ciklų ir nustatyta, kad:
  - sidabro audinio, kuris neapdorotas rūgštiniu dirbtiniu prakaitu, paviršinė savitoji varža yra  $0,2936 \pm 0,0125 \pm /m$ ;
  - sidabro audinio, kuris apdorotas dirbtiniu rūgštiniu prakaitu, po 100 trynimų ciklų savitoji varža  $0,3303 \pm 0,0098 \Omega/m$ ;
  - sidabro audinio, kuris apdorotas dirbtiniu rūgštiniu prakaitu, po 200 trynimų ciklų savitoji varža  $0,3242 \pm 0,0100 \Omega/m$ ;
  - sidabro audinio, kuris apdorotas dirbtiniu rūgštiniu prakaitu, po 400 trynimų ciklų savitoji varža  $0,3865 \pm 0,432 \Omega/m$ ;
4. Mezginių tamriųjų savybių tyrimu nustatyta didžiausia santykinė ištįsa stulpelių ir eilučių kryptimis. Medžiagos sudėtyje kuo daugiau elatano, tuo didesnė santykinė ištįsa. Didžiausia santykinė ištįsa eilučių kryptimi  $91,79 \pm 0,04$  %, o mažiausia  $49,84 \pm 0,13$  %. Stulpelių kryptimi santykinė ištįsa didžiausia  $89,30 \pm 0,10$  % ir mažiausia  $49,10 \pm 0,03$  %.
5. Suprojektuoti išmaniųjų marškinėlių dizaino siūlymai vartotojui, renkantis įkvėpimo šaltinio analize „H2COR“. Marškinėlių idėjos sugeneruotos orientuojantis į vyresnio amžiaus žmones.

6. Išmanieji marškinėliai buvo testuojami Lietuvo sporto universitete. Bandymo metu buvo nustatyta, kad EKG signalo kokybė ir tinkamiausias sidabro / medvilnės elektrodas naudoti išmaniųjų marškinėlių projektavime. Taip pat pats mežginys alerginės reakcijos nesukėlė.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. E. Strazdienė ir V. Dobilaitė. Techninės tekstilės gaminiai ir protingoji apranga. Šiaulių universiteto leidykla. – 2007 m. 32 psl.
2. Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine: “e-Nanoflex Sensor System: Smartphone-Based Roaming Health Monitor”. [Žiūrėta 2016 m. Balandžio 18 d.];
3. Prieiga per internetą: <http://www.mokslasirtechnika.lt/mokslo-naujienos/sumanioji-tekstil-siandiena-ir-ateitis.html>;
4. Textronics – Electrical and Electronic Textiles. Sensors for Breathing Frequency Measurement. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
5. K. Gniotek, Z. Stempień, J. Zięba: ‘Textronics, a new field of knowledge’ (in Polish), Przegląd Włókienniczy, no. 2, 2003. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
6. K. Gniotek, I. Krucińska: ‘The Basic Problem of Textronics’, Fibres & Textiles in Eastern Europe January/March 2004. Vol. 12 No. 1(45). [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
7. X. Tao: ‘Smart fibres, fabric and clothing’, Woodhead Publishing Limited, 2001. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
8. Mazzoldi A., De Rossi D., ‘Smart textiles for wearable motion capture systems’, Proceedings, World Textile Conference, 1-3 July 2002, p. 65-71. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
9. Vanhala J., ‘Wearable Technology Development in Finland’, Tampere University of Technology, ‘Wearable electronic and smart textiles’, Leeds, UK 11, 07, 2004. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
10. A. Marsh: ‘3G Medicine – Removing the wires from telemedicine’, [www.e-care-ist.net](http://www.e-care-ist.net) 2004. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
11. Rossi D. De, Carpi F., Lorussi F., Mazzoldi A., Paradiso R., Scilingo E. P., Tognetti A. ‘Electroactive fabrics and wearable biomonitoring device’, Autex Research Journal, Vol. 3, No 4, December 2003, pp.180-185. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
12. Sensatex Inc.. Jav. [Žiūrėta 2015 m. Sausio 18 d.]; Prieiga per internetą: <http://www.sensatex.com>;
13. [www.braebon.com](http://www.braebon.com). [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
14. [www.textronics.com](http://www.textronics.com). [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 9 d.];
15. Textronics. T.W. Clyne, A.E. Markaki, J.C. Tan. Mechanical and magnetic properties of metal fibre networks, with and without a polymeric matrix. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];
16. T.W. Clyne \*, A.E. Markaki, J.C. Tan. Mechanical and magnetic properties of metal fibre networks, with and without a polymeric matrix. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];
17. Markaki AE, Clyne TW. Magneto-mechanical stimulation of bone growth in a bonded array of ferromagnetic fibres. Biomaterials 2004;25(19):4805–15. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];

18. Markaki AE, Clyne TW. Magneto-mechanical stimulation of bone growth in a bonded array of ferromagnetic fibres. *Biomaterials* 2004;25(19):4805–15. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];
19. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/4/335/smart-textile3.asp>. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];
20. <http://www.ask.com/beauty-fashion/smart-textiles-d7ff8fb58a817a26>. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 15 d.];
21. Md. Syduzzaman1, Sarif Ullah Patwary, Kaniz Farhana, Sharif Ahmed. Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview. [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.];
22. [http://www.esparama.lt/documents/10157/490675/2014\\_Tyrimo\\_1\\_dalis.pdf/](http://www.esparama.lt/documents/10157/490675/2014_Tyrimo_1_dalis.pdf/);
23. SmartShirt System. Prieiga per internetą. <http://www.sensatex.com/index.php/smartshirt-system>;
24. Elektrokardiogramų ir ritmogramų signalų perdavimas nedideliu atstumu į mobiliuosius Android tipo įrenginius, taupant energijos ir duomenų srauto perdavimo sąnaudas. [Žiūrėta 2014m. lapkričio 10d.] Prieiga per internetą: [http://www.slideshare.net/Kompiuterininku\\_dienos/mieinis-elektrokardiogram-ir-ritmogram-signal-perdavimas-nedideliu-atstumu20130919](http://www.slideshare.net/Kompiuterininku_dienos/mieinis-elektrokardiogram-ir-ritmogram-signal-perdavimas-nedideliu-atstumu20130919);
25. First warning systems changes name to cyrcadia health to better reflect core competency and goals of company. [Žiūrėta 2014m. lapkričio 10d.] Prieiga per internetą: <http://cycradiahealth.com/first-warning-systems-changes-name-to-cycradia-health/>;
26. Elektrokardiogramų ir ritmogramų signalų perdavimas nedideliu atstumu į mobiliuosius Android tipo įrenginius, taupant energijos ir duomenų srauto perdavimo sąnaudas. [Žiūrėta 2014m. lapkričio 10d.] Prieiga per internetą: [http://www.slideshare.net/Kompiuterininku\\_dienos/mieinis-elektrokardiogram-ir-ritmogram-signal-perdavimas-nedideliu-atstumu20130919](http://www.slideshare.net/Kompiuterininku_dienos/mieinis-elektrokardiogram-ir-ritmogram-signal-perdavimas-nedideliu-atstumu20130919);
27. Squid fitness monitoring shirt keeps track of your gym progress. Jan Belizina 2012 m. [Žiūrėta 2014m. lapkričio 10d.]; Prieiga per internetą: <http://www.gizmag.com/squid-emg-fitness-shirt/21386/>;
28. Intelligent T-shirt' could remotely monitor patients. Vital signs By Ben Coxworth 2011 m. [Žiūrėta 2014 m. lapkričio 10 d.]; Prieiga per internetą: <http://www.gizmag.com/intelligent-t-shirt-monitors-vital-signs/19903/>;
29. OMSignal's Biometric Smartwear offers a next gen workout. Anthony Wood 2014 m. [Žiūrėta 2014 m. lapkričio 10 d.]; Prieiga per internetą: <http://www.gizmag.com/omsignal-smartwear-biometric-fitness-smart-shirt/31992/>;
30. Japan's NTT Docomo develops 'smart clothing', nanofibers monitor wearer's heart rate. John Hofilena 2014 m. sausio 31d. [žiūrėta 2014 m. lapkričio 11 d.]; Prieiga per internetą: <http://japandailynews.com/japans-ntt-docomo-develops-smart-clothing-nanofibers-monitor-wearers-heart-rate-3143407/>;
31. Dry Electrodes Facilitate Remote Health Monitoring. [Žiūrėta 2015m. Sausio 18 d.]; Prieiga per internetą: [http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012/hm\\_4.html](http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012/hm_4.html);

32. Dr. Gilsoo Cho. Smart Clothing Technology and Applications. Leidykla: Taylor and Francis Group, LLC - 2010 m. 89 psl
33. Video pranešimas. [Žiūrėta 2015 m. Sausio 18 d.]; Prieiga per internetą: <http://m.delfi.lt/video/article.php?id=66828488>;
34. Vervust T., Buyle G., Bossuyt F., Vanfleteren J. Integration of stretchable and washable electronic modules for smart textile applications, *Journal of The Textile Institute*, 2012, 103(10): 1127-1138
35. William A. Maryniak, Toshio Uehara, Maciej A. Noras. Surface Resistivity and Surface Resistance Measurements Using a Concentric Ring Probe Technique.
36. Hron P. Hydrophilisation of Silicone Rubber for Medical Applications // *Polymer International*, 2003, 52(9): 1531–1539.
37. Colas A. Curtis J. Silicone Biomaterials: History, Chemistry and Medical Applications of Silicones. In: *Biomaterials Science*, 2nd ed., Ratner B. D., Ed.; Elsevier, London, 2004: 80–86, 697–707
38. Chen Q., Liang Sh., Thouas G. A. Elastomeric Biomaterials for Tissue Engineering, *Progress in Polymer Science*, 2013, 38(3 – 4): 584–671.
39. Paradiso R, Alonso A, Cianflone D, Milsis A, Vavouras T, Malliopoulou C, “Remote monitoring with Wearable Non Invasive Mobile System: The Healthwear Project”, *Proceedings of the 30th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, August 20-24, 2008. Vancouver, BC Canada: 1699-1702.
40. Prieiga per internetą: [https://lt.wikipedia.org/wiki/Hidra\\_\(gentis\)](https://lt.wikipedia.org/wiki/Hidra_(gentis)). [Žiūrėta 2016 m. Gegužės 13 d.].

## **PRIEDAI**



Projekto „CareWare: Electronic Wearable Sport and Health Solutions (Išmanioji apranga)“ kuriamos išmaniosios širdies funkcinės būklės ir fizinio aktyvumo stebėsenos sistemos kūrimo trumpas apibūdinimas



# CareWare

## Electronic Wearable Sport and Health Solutions

### PROJECT SUMMARY

Who cares most for your health? You! Pervasive electronic wearable solutions for health self-monitoring are rarely integrated together as an interoperable, innovative, user driven go-to-market solution. The CareWare project aims to develop an innovative solution for integrated unobtrusive cyber physical system aiming at monitoring and improving personal health and wellbeing. It draws on the results from researches in body area networks (BAN), wearable sensors, care technologies, electronic textiles, physiological measurements and personal health service development.

### OBJECTIVES

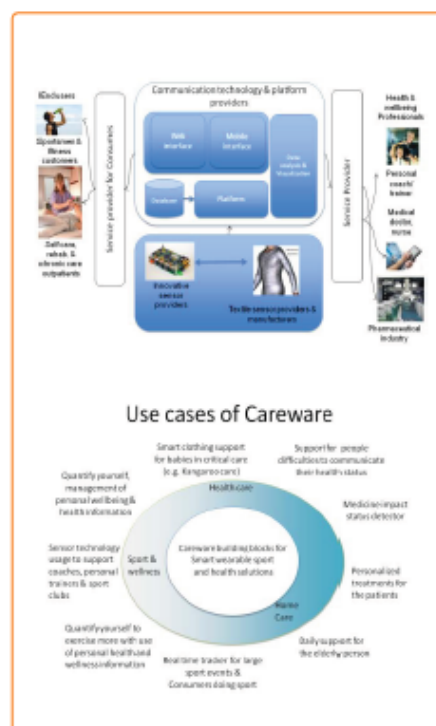
- Providing unobtrusive health monitoring solutions
- Improving and combining existing solutions
- Creating new business ecosystems in sport and health

### UNIQUE SELLING POINTS / BUSINESS VALUE

- Making health monitoring as easy as checking your watch
- More treatment options, and solutions for lifestyle monitoring to support a healthier society
- Reducing overall healthcare costs
- Bridging the gap between the electronic textile technologies, sensor technologies and application platforms
- New promising business model and ecosystem for digital services in health and sport

### (EXPECTED) RESULTS

- Improved, durable and accurate sensor technology
- Wearable sensors integrated in textiles
- Ready-to-use platforms for data communications
- Adaptable framework for data collection, visualization and interpretation
- Variety of validated services / proof of concepts



**Project leader**  
Golnaz Karbaschi - EOLANE, France

**Email address project leader**  
careware.coordinator@eolane.com

**Project website**  
<https://itea3.org/project/careware.html>



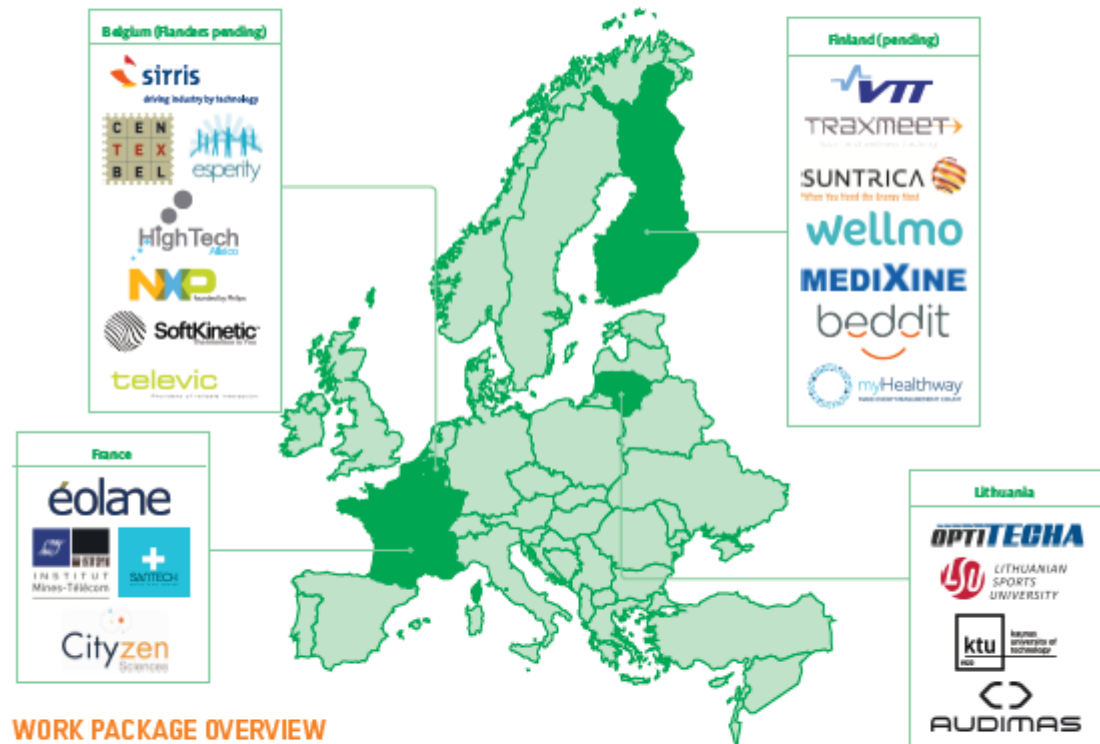
# CareWare

Electronic Wearable Sport and Health Solutions

**PROJECT CONSORTIUM**

**START DATE** JANUARY 2015

**END DATE** DECEMBER 2017



**WORK PACKAGE OVERVIEW**



**CareWare PROJECT PARTNERS**

- Large companies (4)
- SMEs (12)
- Universities (3)
- Research institutes (3)



**Project leader**  
Golnaz Karbaschi - EOLANE, France

**Email address project leader**  
careware.coordinator@eolane.com

**Project website**  
<https://itea3.org/project/careware.html>

## PRIEDAS 2. Elektrinių savybių tyrimo duomenys

### Elektrinio laidumo tyrimo duomenys

A+B+GV\_ savitoji varža nuo apkrovos \_ nesveistas 3cmx3cm 0,3 storis

	differential conductance dI/dE (mA/V)					savitasis laidis S/cm					savitoji varža Ω·cm				
	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88
0%	0	0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	∞	∞	∞	∞	∞
2.50%	4.009	4.671	5.052	5.14	5.998	0.133633	0.155700	0.168400	0.171333	0.199933	7.5	6.4	5.9	5.8	5.0
5%	11.89	21.52	23.34	20.15	22.7	0.396333	0.717333	0.778000	0.671667	0.756667	2.5	1.4	1.3	1.5	1.3
7.50%	16.56	23.07	23.12	29.68	40.72	0.552000	0.769000	0.770667	0.989333	1.357333	1.8	1.3	1.3	1.0	0.7
10%	34.68	46.48	53.76	54.02	65.82	1.156000	1.549333	1.792000	1.800667	2.194000	0.9	0.6	0.6	0.6	0.5

A+B+GV savitoji varža nuo apkrovos pasveistas

	differential conductance dI/dE (mA/V)					savitasis laidis mS/cm					savitoji varža kW·cm				
	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88
0%	0	0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	∞	∞	∞	∞	∞
2.50%	0.0365	0.07376	0.08668	0.08986	0.09133	0.001217	0.002459	0.002889	0.002995	0.003044	821.9	406.7	346.1	333.9	328.5
5%	0.323	0.3386	0.4655	0.4951	0.6134	0.010767	0.011287	0.015517	0.016503	0.020447	92.9	88.6	64.4	60.6	48.9
7.50%	0.1592	0.232	0.397	0.6229	1.137	0.005307	0.007733	0.013233	0.020763	0.037900	188.4	129.3	75.6	48.2	26.4
10%	0.5431	0.7057	0.9864	1.013	1.43	0.018103	0.023523	0.032880	0.033767	0.047667	55.2	42.5	30.4	29.6	21.0

A+B+GV savitoji varža nuo apkrovos pasveistas dirbtiniu + dirbtinis prakaitas

	differential conductance dI/dE (mA/V)					savitasis laidis mS/cm					savitoji varža kW·cm				
	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600	200	300	400	500	600
	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88	1.96	2.94	3.92	4.9	5.88
0%	0	0	0	0	0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	∞	∞	∞	∞	∞
2.50%	0.0192	0.08668	0.03322	0.1237	0.03514	0.000640	0.002889	0.001107	0.004123	0.001171	1562.5	346.1	903.1	242.5	853.7
5%	0.352	0.3115	0.3767	0.3961	0.4894	0.011733	0.010383	0.012557	0.013203	0.016313	85.2	96.3	79.6	75.7	61.3
7.50%	0.175	0.1162	0.0718	0.09593	0.1372	0.005833	0.003873	0.002393	0.003198	0.004573	171.4	258.2	417.8	312.7	218.7
10%	0.16	0.2365	0.1208	0.35865	0.6707	0.005333	0.007883	0.004027	0.011955	0.022357	187.5	126.8	248.3	83.6	44.7

### Impendansas

	A	B	C	D	E	F
		masė, g				
		600	500	400	300	200
		prispaugimo jėga, N				
		5.88	4.90	3.92	2.94	1.96
2.5%GpF/PDMS		11774.9	13105.3	15529.0	16628.4	105390
5%GpF/PDMS		1592.8	2943.8	4256.1	7626.5	13131
7.5%GpF/PDMS		1888.7	2046.1	2330.1	2633.7	3327
10%GpF/PDMS		1553.8	1517.2	1543.4	2114.9	2807

**PRIEDAS 3. Mezginių tamprumo testo rezultatai**

**Mezginių, skirtų išmaniems marškinėliams, mechaninių savybių tempiant tyrimo rezultatai**

**Art. 5345 ataudų kryptis**

	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
1	100,00	50,00	43,90	49,21	48,78	58,39	5,90	5,91	-0,10	4,88	9,18	156,46	145,55	107,45	121,59	49,01	23,96
2	100,00	50,00	37,01	39,22	42,05	47,44	5,91	5,89	0,21	5,04	8,22	130,89	116,77	91,73	96,91	39,16	19,86
3	100,00	50,00	36,63	38,64	41,12	46,20	5,89	5,89	0,04	4,49	7,57	128,76	116,15	91,69	96,50	37,06	19,66
4	100,00	50,00	37,29	39,54	41,82	46,81	5,91	5,91	-0,11	4,53	7,27	130,37	117,95	93,20	98,42	37,17	19,52
5	100,00	50,00	36,53	38,46	41,42	46,66	5,90	5,91	-0,17	4,89	8,20	128,71	114,37	90,51	95,15	38,20	19,22

Series	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	38,27	41,01	43,04	49,10	5,90	5,90	-0,03	4,77	8,09	135,04	122,16	94,92	101,71	40,12	20,44
s	0,00	0,00	3,16	4,60	3,23	5,21	0,01	0,01	0,15	0,24	0,74	12,01	13,14	7,07	11,17	5,04	1,98
v	0,00	0,00	8,26	11,22	7,51	10,62	0,12	0,18	-	5,06	9,12	8,90	10,76	7,45	10,98	12,57	9,69

**Art. 5345 metmenų kryptis**

	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
1	100,00	50,00	40,36	42,72	44,87	48,63	5,90	5,91	-0,07	4,51	5,90	138,35	127,82	99,93	106,49	38,42	21,33
2	100,00	50,00	39,36	41,71	44,40	49,77	5,91	5,90	0,17	5,04	8,06	136,63	124,25	96,76	102,97	39,87	21,28
3	100,00	50,00	37,24	39,70	42,17	47,48	5,90	5,88	0,25	4,93	7,77	131,68	118,42	92,33	98,28	39,36	20,14
4	100,00	50,00	37,47	39,85	41,39	46,41	5,90	5,92	-0,29	3,92	6,55	131,70	120,29	95,28	100,91	36,42	19,38
5	100,00	50,00	43,43	48,00	48,35	56,91	5,91	5,91	0,02	4,92	8,90	149,36	141,25	106,82	118,02	42,54	23,23

Series	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	39,57	42,40	44,24	49,84	5,91	5,90	0,02	4,66	7,44	137,55	126,41	98,22	105,33	39,32	21,07
s	0,00	0,00	2,52	3,38	2,73	4,15	0,01	0,01	0,21	0,46	1,20	7,24	9,06	5,53	7,70	2,23	1,46
v	0,00	0,00	6,37	7,98	6,17	8,32	0,09	0,22	-	9,92	16,18	5,26	7,17	5,63	7,31	5,67	6,91

Art. 5701 ataudų kryptis

	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
1	100,00	50,00	49,83	60,00	62,52	87,45	5,89	5,90	-0,14	12,69	27,45	207,45	165,06	108,26	130,16	99,19	34,89
2	100,00	50,00	50,65	61,21	62,85	87,20	5,90	5,92	-0,23	12,20	26,00	205,50	168,48	110,41	133,45	95,09	35,03
3	100,00	50,00	47,17	57,62	60,77	85,36	5,92	5,91	0,11	13,60	27,75	199,92	157,39	103,05	124,40	96,87	32,99
4	100,00	50,00	45,68	55,95	59,27	83,69	5,89	5,92	-0,57	13,59	27,74	195,72	155,34	101,38	122,83	94,34	32,51
5	100,00	50,00	50,31	61,21	63,40	88,05	5,91	5,90	0,21	13,09	26,84	207,83	167,73	109,43	132,23	98,40	35,50

Series	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	48,73	59,20	61,76	86,35	5,90	5,91	-0,13	13,03	27,15	203,28	162,80	106,50	128,61	96,78	34,19
s	0,00	0,00	2,19	2,33	1,70	1,80	0,01	0,01	0,30	0,60	0,75	5,28	6,05	4,04	4,74	2,08	1,34
v	0,00	0,00	4,49	3,94	2,76	2,08	0,23	0,19	-	4,63	2,74	2,60	3,72	3,79	3,69	2,14	3,92

Art. 5701 metmenų kryptis

	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
1	100,00	50,00	50,11	60,04	61,34	80,00	5,92	5,91	0,18	11,23	19,95	194,38	171,08	111,44	136,18	82,94	34,91
2	100,00	50,00	52,26	59,69	63,86	85,66	5,91	5,91	-0,01	11,60	25,97	204,38	167,25	115,19	132,31	89,19	34,93
3	100,00	50,00	48,98	57,63	59,60	82,06	5,90	5,91	-0,18	10,62	24,44	194,94	163,46	108,85	128,86	86,09	34,60
4	100,00	50,00	48,97	58,21	61,72	85,72	5,91	5,88	0,57	12,75	27,51	197,42	161,43	106,83	127,04	90,59	34,38
5	100,00	50,00	52,30	62,94	63,17	87,89	5,91	5,91	-0,07	10,87	24,95	202,29	175,04	114,50	138,30	87,79	36,74

Series	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	50,53	59,70	61,94	84,27	5,91	5,90	0,10	11,41	24,56	198,68	167,65	111,36	132,54	87,32	35,11
s	0,00	0,00	1,67	2,07	1,66	3,17	0,01	0,01	0,29	0,83	2,83	4,46	5,54	3,58	4,75	2,96	0,94
v	0,00	0,00	3,30	3,47	2,68	3,76	0,10	0,24	-	7,29	11,53	2,25	3,30	3,22	3,58	3,39	2,67

Art.5998 ataudų kryptis

	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
1	100,00	50,00	64,17	71,64	72,90	87,91	5,91	5,90	0,31	8,73	16,28	232,94	197,81	133,49	148,87	99,45	48,95
2	100,00	50,00	62,78	70,59	72,69	88,61	5,88	5,91	-0,43	9,91	18,02	231,02	191,45	126,99	143,32	104,02	48,13
3	100,00	50,00	64,39	72,58	74,32	89,91	5,89	5,90	-0,15	9,93	17,34	238,22	198,28	132,85	149,30	105,37	48,98
4	100,00	50,00	61,99	70,43	72,90	89,00	5,89	5,91	-0,27	10,91	18,58	231,16	189,91	125,58	142,33	105,58	47,58
5	100,00	50,00	57,63	68,64	66,27	91,08	5,92	5,92	0,07	8,64	22,43	218,68	184,18	121,17	138,11	97,51	46,07

Series	L0	A	εel,1	εel,n	εtotal,1	εtotal,n	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	Δεremain,1	Δεremain,n	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	Δ W 1st cycle	Δ W last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	62,19	70,78	71,82	89,30	5,90	5,91	-0,10	9,62	18,53	230,40	192,33	128,02	144,38	102,39	47,94
s	0,00	0,00	2,74	1,47	3,17	1,23	0,02	0,01	0,29	0,95	2,34	7,18	5,88	5,18	4,72	3,68	1,20
v	0,00	0,00	4,40	2,08	4,41	1,37	0,28	0,14	-	9,87	12,65	3,11	3,06	4,04	3,27	3,59	2,50

Art.5998 metmenų kryptis

	L0	A	$\varepsilon_{el,1}$	$\varepsilon_{el,n}$	$\varepsilon_{total,1}$	$\varepsilon_{total,n}$	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	$\Delta\varepsilon_{remain,1}$	$\Delta\varepsilon_{remain,n}$	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	$\Delta W$ 1st cycle	$\Delta W$ last cycle
Nr	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
2	100,00	50,00	59,05	52,71	69,61	76,98	5,90	5,90	0,07	10,56	24,27	173,67	122,94	100,10	89,76	73,58	33,17
3	100,00	50,00	83,85	78,14	91,90	97,89	5,91	5,91	0,07	8,06	19,75	225,03	179,68	144,05	131,86	80,98	47,82
4	100,00	50,00	77,72	72,06	85,60	91,35	5,91	5,91	0,00	7,88	19,30	210,82	163,05	132,23	119,83	78,59	43,21
5	100,00	50,00	84,40	81,43	92,47	97,54	5,92	5,92	-0,04	8,07	16,10	225,27	182,40	144,17	135,91	81,09	46,49
6	100,00	50,00	84,48	82,89	90,74	95,20	5,90	5,91	-0,27	6,26	12,31	223,65	187,12	145,92	139,50	77,73	47,62

Series	L0	A	$\varepsilon_{el,1}$	$\varepsilon_{el,n}$	$\varepsilon_{total,1}$	$\varepsilon_{total,n}$	Fmax., 1	Fmax., n	bw,n	$\Delta\varepsilon_{remain,1}$	$\Delta\varepsilon_{remain,n}$	W Fapply 1st cycle	W Fapply last cycle	W Fremove 1st cycle	W Fremove last cycle	$\Delta W$ 1st cycle	$\Delta W$ last cycle
n = 5	mm	mm <sup>2</sup>	%	%	%	%	N	N	%	%	%	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm	Nmm
x	100,00	50,00	77,90	73,45	86,06	91,79	5,91	5,91	-0,03	8,16	18,35	211,69	167,04	133,29	123,37	78,39	43,66
s	0,00	0,00	10,91	12,32	9,59	8,68	0,01	0,01	0,14	1,54	4,46	22,09	26,27	19,34	20,20	3,07	6,15
v	0,00	0,00	14,01	16,77	11,14	9,46	0,14	0,13	-	18,84	24,29	10,43	15,73	14,51	16,37	3,92	14,08



**PRIEDAS 4. Dizaino siūlymai**  
**Išmaniųjų marškinėlių dizaino siūlymai**



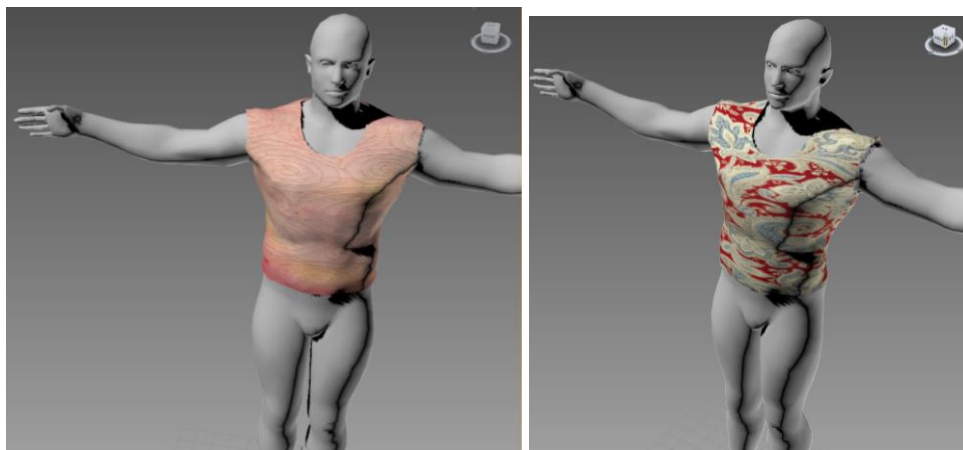


**PRIEDAS 4** tęsinys



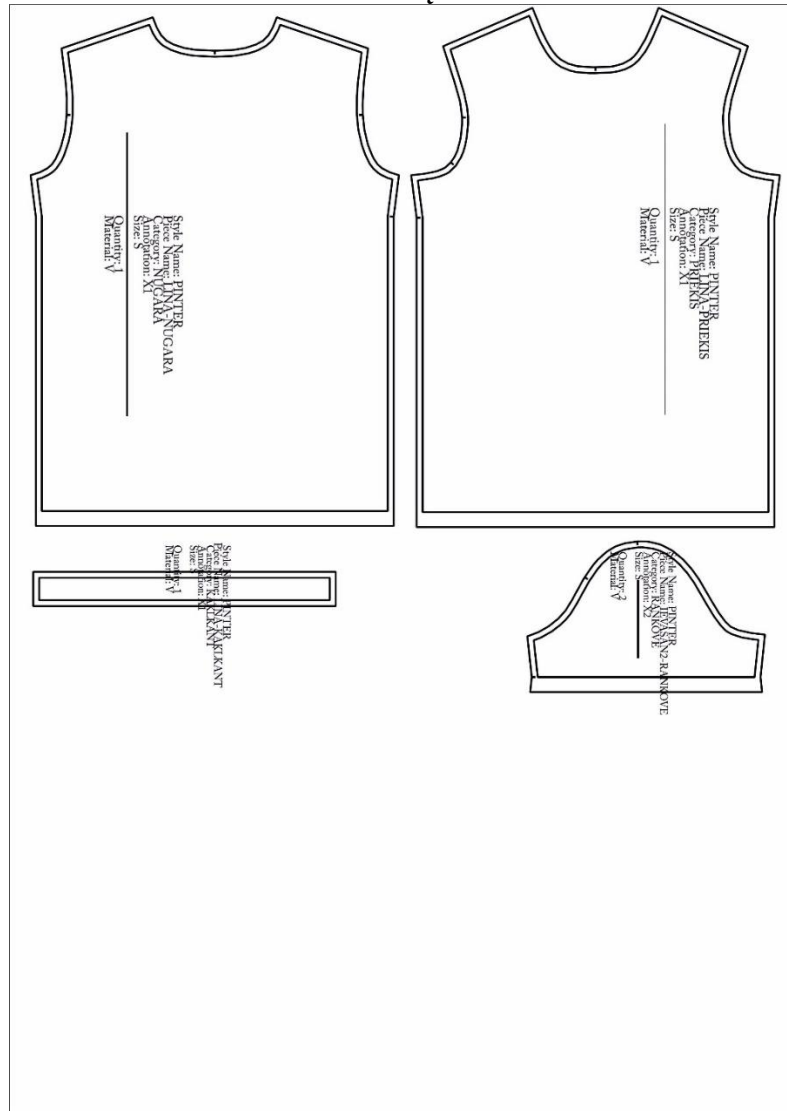


**Dizaino idėjos su programa 3D Max (autodesk) pagrindu**



**PRIEDAS 6. Lekalai ir vizualizacija ant manekeno**

**Marškinėlių lekalas**



## **DALYVAVIMAS MOKSLINĖJE VEIKLOJE**

Tarptautinėje konferencijoje Baltic Polymer Symposium (BPS) 2015 09 mėn. pristatytas stendinis pranešimas „New wearable textile-polymer electrodes for registration of bioelectrical signal” ir publikuotas konferencijos pranešimų medžiagoje.