



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

BIOMECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Arnas Martinaitis

IŠMANIOS SĖDĖJIMO SISTEMOS KŪRIMAS IR TYRIMAS
DESIGN AND ANALYSIS OF SMART SEATING SYSTEM

Baigiamasis magistro darbas

Biomedicininės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H15001

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2019

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Mechanikos fakultetas Biomechanikos inžinerijos katedra	ISBN ISSN Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Biomedicininės inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Išmanios sėdėjimo sistemos kūrimas ir tyrimas Autorius Arnas Martinaitis Vadovas Kristina Daunoravičienė	
Kalba: lietuvių	
Anotacija Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama taisyklingos sėdėsenos svarba bei komforto įtaka. Atlikta sėdėsenos stebėjimo sistemos kūrimo ir jutiklių gamybos mokslinių straipsnių analizė. Pagrįstas sėdėsenos stebėjimo sistemos panaudojimas ir poreikis. Pagal surinktą informaciją sukurta robotizuota kėdė bei sistema sėdėjimo pozoms atpažinti. Paruošta išsami metodika žmogaus sėdėjimo pozų atpažinimo, taisyklingos sėdėsenos pritaikymo ir jutiklių tikslumo tyrimui. Atlikti tyrimai su žmonėmis ir gauti rezultatai apibendrinti, palyginti, įvertintas priemonių efektyvumas ir suformuluotos išvados. Darbą sudaro 8 dalys: įvadas, teorinė dalis, tyrimo metodika, tyrimų rezultatai ir apibendrinimas, diskusija, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis – 61 p. teksto be priedų, 35 iliustr., 13 lent., 51 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.	
Prasminiai žodžiai: taisyklinga sėdėseną, sėdėjimo pozų stebėjimas, išmani kėdė, pjezorezistiniai jutikliai.	

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Mechanics
Department of Biomechanical Engineering

ISBN	ISSN
Copies No.	
Date-.....-.....	

Master Degree Studies **Biomedical Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title	Design and reaserch of a smart seating system
-------	--

Author Arnas Martinaitis

Academic supervisor **Kristina Daunoravičienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In final master thesis the importance of proper seating position and comfort was analyzed. An analysis of seating posture monitoring systems development and pressure sensor manufacture in research articles has been performed. The need of such system was justified. Based on collected information, a robotic chair and seating posture monitoring system as created. A comprehensive methodology was prepared for human seating position recognition, correct seating adjustment and pressure sensor testing. Studies were conducted on humans and the results obtained were summarised, compared and conclusions drawn

Structure: introduction, theoretical part, research methodology, research results and summary, discussion, conclusions, references.

Thesis consist of: 61 p. text without appendixes, 35 pictures, 13 tables, 51 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: correct seating, sitting posture monitoring, smart chair, piezoresistive sensors.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	10
ĮVADAS	11
1. TEORINĖ DALIS	13
1.1. Sėdėsenos atpažinimo metodų apžvalga.....	14
1.2. Sėdėsenos ir komforto ryšys.....	16
1.3. Slėgio matavimo technologijos	19
1.4 Teorinės dalies apibendrinimas	24
2. TYRIMO METODIKA	25
2.1 Jutiklių gamybos ir testavimo metodika.....	25
2.2. Robotizuotos kėdės gamyba	31
2.3 Sėdėjimo pozų atpažinimo metodika.....	31
2.4 Automatinio sėdėjimo aukščio nustatymo ir komforto vertinimo metodika.....	35
3. TYRIMŲ REZULTATAI IR APIBENDRINIMAS	38
3.1 Kėdės gaminimo rezultatai	38
3.2 Jutiklių tikslumo parametrai	39
3.4 Automatinio sėdėjimo aukščio nustatymo rezultatai.....	48
3.5 Apibendrinimas	49
DISKUSIJA.....	50
IŠVADOS.....	51
PRIEDAS A.....	52
PRIEDAS B.....	54
PRIEDAS C.....	55
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	57

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Komforto ir diskomforto X. W. Zhang'o modelis	18
1.2 pav. M. P. De Looze'o komforto/diskomforto schema	19
1.3 pav. Kūno slėgio matavimo sistema <i>Tekscan BPMSTM</i>	20
1.4 pav. Pavieniai jutikliai naudojami slėgio pasiskirstymo tyrimuose: a) <i>Spectra Symbal flex</i> jutiklis; b) jutiklis <i>Tactilus</i> tekstilinis; c) jutiklis <i>FlexiForce</i> ; d) jutiklis <i>Tekscan Flexipoint</i> ; e) jutiklis <i>Meas-Spec</i> ; f) jutiklių matrica <i>Sensitronics</i>	21
1.5 pav. Pjezorezistyvios plėvelės <i>Velostat</i> veikimo principas, F – slėgio veikimo jėga	22
1.6 pav. Histerezės dėsnis: jėgai mažėjant poslinkis nemažėja proporcingai	22
1.7 pav. Jutiklio sluoksniai	23
2.1 pav. Jutiklis ir jo sudedamosios dalys – <i>Velostat</i> plėvelė, aliuminio folija, laidai ir izoliacija....	25
2.2 pav. Slėgio jutiklių išdėstymas: a) 3D modelyje, b) prototipe	26
2.3 pav. Jutiklių jungimo schema. Raudoni ir mėlyni laidai prijungti prie +5 V ir <i>GND</i> , juodi laidai prijungti prie mikrokontrolerio analoginių jungčių, <i>Ai</i> žymi analogę jungtį, <i>i</i> – jutiklio numerį	27
2.4 pav. Jutiklio reikšmių vizualizacija: žalia spalva perteikiamas mažiausias slėgis, geltona – vidutinis, raudona – didžiausias	28
2.5 pav. Jutiklio testas be pertraukos, 0 –15 sekundę ir 35 –55 sekundę matuojamas tas pats svoris	29
2.6 pav. Jutiklio testas darant pertrauką, matavimo reikšmės 8 – 25 s ir 50 – 70 s akivaizdžiai panašesnės	29
2.7 pav. Sėdėjimo pozos: a) tiesiai , b) atsilošęs atgal, c) pasilenkęs į priekį	32
2.8 pav. Sėdėsenos atpažinimo tyrimo schema	32
2.9 pav. Sistemos jutiklių numeracija ant kėdės (a) bei išdėstymo pavyzdys ant slėgio matricos (b)	33
2.10 pav. Vieno žmogaus tyrimo gautų duomenų grafikas	34
2.11 pav. Išskirtos trys skirtingos pozos, bei juoda brūkšnine linija pažymėti skaičiuojami intervalai sėdint tiesiai, atsilošus ir pasilenkus į priekį	34
2.12 pav. Tiriamojo kojų pozicija žemiausioje kėdės padėtyje (a) ir padėtyje kai kelio sąnarys sulenktas 90° kampu (b)	35
2.13 pav. Šiame tyrime naudojami A9, A11, A12, A13, A14 ir A15 jutikliai	36
2.14 pav. Tyrimo schema	37

3.1 pav. Robotizuotos kėdės prototipas: a) nuleistas nugaros atlošas, b) pakeltas nugaros atlošas, c) pakeistas nugaros atlošo atramos kampas, d) pakeistas nugaros atlošo kampas, e) nuleista į žemiausią padėtį, f) pakelta į aukščiausią padėtį.....	38
3.2 pav. Matuojamas tas pats svoris 5 kartus po 5 minutes darant vienos minutės pertrauką tarp matavimų	40
3.3 pav. Du jutikliai lygiagrečiai matuoja svorius, nuo 600 sekundės matuojama atsitiktinė rankų apkrova	40
3.4 pav. Svorio ir jutiklio reikšmių priklausomybės grafikas	41
3.5 pav. Slėgio ir jutiklio reikšmių priklausomybės grafikas.....	42
3.6 pav. 100 – 500 – 100 g testas histerezei pamatuoti.....	42
3.7 pav. Histerezės grafikas. Svariui mažėjant fiksuojamos didesnės jutiklio reikšmės	43
3.8 pav. Sistemos jutiklių numeracija ant kėdės (a) bei išdėstymopavyzdys antslėgio matricos (b)	44
3.9 pav. Tyrimų sėdint tiesiai jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos.....	45
3.10 pav. Tyrimų sėdint atsilošus į nugaros atramą jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos	45
3.11 pav. Tyrimų sėdint pasilenkus į priekį jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos	45
3.12 pav. Pozų ir jutiklių medianų reikšmių grafikas	46
3.13 pav. Jutiklių standartinė deviacija tarp trijų pozų visų bandymų rezultatų medianos	47
3.14 pav. Klasifikatoriaus tikslumas esant skirtingoms k – kaimynų reikšmėms	47

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Apibendrinti slėgio tyrimų rezultatai	15
1.2 lentelė. Dažniausiai matuojami sėdėsenos parametrai (matuota +, nematuota -)	16
1.3 lentelė. Literatūroje aprašomų jutiklių dydžiai ir išdėstymas	24
2.1 lentelė. Sėdėsenos tyrimo eiga sekundėmis (iš viso 15 minučių)	33
2.2 lentelė. Apskaičiuotų jutiklių verčių medianos skirtingose pozose pavyzdys	35
2.3 lentelė. Tiriamųjų demografiniai duomenys	37
3.1 lentelė. Robotizuotos kėdės techninė charakteristika.....	39
3.2 lentelė. Robotizuotos kėdės segmentų valdymo tikslumas	39
3.3 lentelė. Visų jutiklio bandymų rezultatai	43
3.4 lentelė. Visų 50 sėdėjimų skirtingomis pozomis rezultatų vidurkis (jutiklių <i>ADC</i> reikšmės)....	46
3.5 lentelė. Klasifikavimo rezultatai bei spėjimų matricos, kai $k = 3$	48
3.6 lentelė. Patogaus aukščio nustatymo rezultatai.	48
3.7 lentelė. Automatinio aukščio pakėlimo bandymų rezultatai	49

IVADAS

1. Temos aktualumas. Ilgas sėdėjimas žmonėms sukelia daug sveikatos problemų, kurios brangiai kainuoja ir reikalauja daug medicininių išteklių. Taisyklingo sėdėjimo disciplina leistų žmonėms išvengti negatyvių padarinių. Sėdėsenos stebėjimo sistemomis, tokiomis kaip slėgio pasiskirstymo matavimas, susidomėjimas ir paklausa yra didelė, taip pat daug naujų sėdėsenos stebėjimo metodų yra sukuriama, tačiau tokių integruotų sistemų kaina yra labai didelė ir sunkiai prieinama įprastiniam vartotojui.

2. Tyrimo objektas. Šio darbo tikslas yra sukurti robotizuotos kėdės ir jutiklių sistema, kuri gali atpažinti ir valdyti žmogaus sėdėjimo padėtį.

3. Temos naujumas. Sukurta išmanioji sėdėsenos atpažinimo sistema gebanti pakankamai tiksliai kontroliuoti sėdėjimo padėtį.

4. Tyrimo hipotezės:

1. Rankų darbo slėgio jutikliai iš pjerezistyvios medžiagos yra pakankamai tikslūs sėdėsenai stebėti.
2. Nedideliais ištekliais galima sukurti veikiančią sėdėsenos stebėjimo sistemą.
3. Sėdėsenos stebėjimo sistema gali tinkamai, pakankamai tiksliai valdyti sėdėjimo padėtį.

5. Tyrimo problema. Sėdėsenos slėgio pasiskirstymas nevisada turi ryšį su sėdėjimo komfortu.

6. Darbo tikslas ir uždaviniai. Šio darbo tikslas yra išsiaiškinti ar įmanoma nedideliais ištekliais sukurti išmaniąją sėdėjimo sistemą. Darbo metu keliami šie uždaviniai:

- 1) sukurti robotizuotą kėdę galinčią keisti sėdėjimo padėtį;
- 2) pagaminti ir ištestuoti slėgio jutiklius;
- 3) sukurti ir ištestuoti sistemą atpažįstančią sėdinčio žmogaus pozas;
- 4) susieti sėdėsenos atpažinimo sistemos ir robotizuotos kėdės funkcijas sėdinčiojo pozicijai pakeisti į taisyklingą, komfortabilą.

7. Darbo metodai. Darbe naudojama mokslinės literatūros analizė, jutiklių, robotizuotos kėdės bei sėdėjimo stebėsenos sistemos gamyba bei sąsajų projektavimas, apklausa, rezultatų apdorojimą taikant klasifikavimo metodus.

8. Darbo mokslinė vertė. Nebrangi sėdėsenos stebėjimo sistema gali būti panaudota daugelyje mokslinių sričių tiriant žmonių kūno sėdėjimo biomechaniką. Sistema kurios kaina sudarytų nedidelę dalį visos kėdės kainos, galėtų būti paklausi ateities darbo kėdžių rinkoje.

9. Darbo aprobacija. Jutiklių rezultatai publikuoti *Technology and health care: official journal of the European Society for Engineering and Medicine* publikacijoje *Low cost self-made pressure distribution sensors for ergonomic chair: Are they suitable for posture monitoring.*

Esminiai darbo rezultatai buvo pristatyti 21-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, kuri vyko 2018 metų balandžio 27 dieną Vilniaus Gedimino technikos universitete.

1. TEORINĖ DALIS

Didėjant laikui kurį žmonės praleidžia sėdint (Reinecke, Shanina, Schallert and Witte, 2002), didėja ir pavojai susiję su netaisyklingu sėdėjimu. Mūsų gyvenime supa daug sėdėjimo – darbas biure, mašinos vairavimas, sėdėjimas seminaruose, valgymas ar tiesiog televizoriaus žiūrėjimas. Netaisyklingi sėdėjimo įpročiai dėl blogos sėdėjimo pozos ilgainiui gali sukelti tokias sveikatos problemas, kaip pavyzdžiui, apatinės nugaros dalies skausmą (Haynes and Williams, 2008), išialgiją (Lis, Black, Korn and Nordin, 2006), kaklo osteochondrozę (Shaghayegh, Ahmadi, Maroufi and Sarrafzadeh, 2016). Visame pasaulyje šios sveikatos problemos kainuoja labai brangiai (Steele, Bruce-Low, Smith, Jessop and Osborne, 2016). Atsirandančios sveikatos problemos, susijusios su sėdėjimo įpročiais, skatina didesnę susidomėjimą sėdėsenos atpažinimo sistemomis. Šia tema atlikta daug mokslinių tyrimų, analizuojančių slėgio pasiskirstymą ant kėdės sėdynės ir atlošo dalių (Meyer, Arnrich, Schumm and Troster, 2010). Mokslininkai pagal sėdėjimo slėgį gali nustatyti sėdėjimo pozą 87 % tikslumu (Mutlu, Krause, Forlizzi, Guestrin and Hodgins, 2007). Pozos nustatomas sutelkiant dėmesį į slėgio pasiskirstymą ant kėdės atramų, slėgis matuojamas mažo storio slėgio jutikliais (Harrison, Harrison, Croft, Harrison and Troyanovich, 2000), kurie nesukelia nepatogumų sėdint ir gali prisitaikyti prie kūno formos neprarasdami matavimo tikslumo.

Ką žmogaus kūno slėgis į kėdę gali parodyti? Čia turėtume atkreipti dėmesį į žmogaus kūno biomechaniką, faktorius ir reiškinius apibūdinančius įtaką sėdėjimo padėčiai. Slėgis nurodo jėgos kiekį tenkantį plotui – šiuo atveju kūno nuovargio lygį. Sėdėsenos biomechanika priklauso nuo kėdės formos ir sėdėjimo pozos (Harrison et al., 2000). Dalis kūno masės jėgos yra perduodama į grindis, ranktūrius, sėdynę bei atlošą. Pavargęs žmogaus kūnas turėtų pakeisti sėdėsenos poziciją arba padaryti pertrauką nuo sėdėjimo. Tačiau realybėje žmonės, dirbantys visą dieną sėdėdami, nesilaiko taisyklingo sėdėjimo rekomendacijų.

Galima išskirti tris pagrindinės sėdėjimo pozas:

- Kifozinė poza – masės centras yra priekyje sėdynkaulio; kojos palaiko ne daugiau nei 25% kūno masės; stuburas kifozinis – dažna sėdėseną prie darbo stalo.
- Vidurinė poza – masės centras yra ties sėdynkauliu; kojos palaiko ne daugiau nei 25% kūno masės; stuburas kiek kifozinis arba tiesus.
- Lordozinė poza – masės centras yra už sėdynkaulio; kojos palaiko ne daugiau nei 25% kūno masės; stuburas tiesus arba lordozinis – dažna poza sėdint kėdese su didele, atlenkiama nugaros atrama (Claus, Hides, Moseley and Hodges, 2016).

Visas šias pagrindines pozas galima atpažinti įvairiais būdais – tarp jų ir slėgio pasiskirstymą matuojančiomis sistemomis. Istoriskai 90°–90°–90° laikysena (90° kampu sulenkti klubų, kelių,

čiurnų sąnariai) buvo vertinama kaip ideali sėdėjimo pozicija. Tačiau dabar praktikoje tai yra tiesiog naudingas ergonominis atskaitos taškas (Engstrom, 2002). Dabar pagrindinis tikslas yra pasiekti maksimalią anatomišką simetriją tarp kairės ir dešinės kūno pusių, išvengiant dubens pasvirimo į šoną, atgal ir rotacijos (Lange, 2007).

Mokslinė literatūra pažymi, kad 90° – 90° – 90° laikysena yra sunkiai išlaikoma ilgesnį laiko tarpą (Ham, Aldersea and Porter, 1998) ir gali trukdyti atlikti darbo veiklą – manipuliacijas rankomis ir kojomis (Howe and Oldham, 2001). Keletas autorių propaguoja idėją vengti jos. Pavyzdžiui M. K. Kang teigia, kad atliekami darbo judesiai ir raumenų tonusas yra svarbūs, tačiau 90° – 90° – 90° iš esmės yra ilsėjimosi pozicija ir per daug varžanti judesius (Kang, 2002). J. L. Minkel siūlo vertinti idealią sėdėjimo pozą ne tik kaip anatomišką simetriją, bet susitelkti į žmogaus biomechaninius parametrus, kurie yra individualūs kiekvienam žmogui norint pasiekti vertikalią, stabilią ir funkcionalią laikyseną (Minkel, 2001). Deviacijos nuo optimalios tiesios laikysenos yra dažnai reikalingos prisitaikant prie fiksuotų deformacijų ir nenormalaus raumenų tonuso laikysenoje, tačiau pagrindiniai taisyklingos sėdėsenos principai turėtų būti išlaikyti. Tai reikalinga siekiant išlaikyti vienodą svorio pasiskirstymą, kūno padėtį, stabilumą ir komfortabilumą.

Galima teigti, kad 90° – 90° – 90° laikysenos principas yra naudingas kaip atskaitos taškas ieškant simetrijos bei stabilumo darbo funkcijoms atlikti ir padeda tolimesnėms sėdėsenos sistemos taikymams bei naudojamiems sistemų komponentams parinkti.

Yra įrodyta, kad kėdės dizainas gali daryti poveikį vartotojo sėdėjimo sąlygoms. Stuburo apkrova gali būti sumažinta remiantis į ranktūrius, palaikančius viršutinę kūno dalį (Dreischarf, Bergmann, Wilke and Rohlmann, 2010). Sėdynės ir nugaros atlošo atramų minkštumas gali turėti lemiamą vaidmenį kėdės ir vartotojo interakcijai. Skirtingi neįgaliojo vežimėlio pasėstai gali sumažinti beveik 50% sėdimosios dalies slėgio. Taipogi svarbi yra nugaros atlošo forma, nes ji daro įtaką juosmens lordozei ir stuburo apkrovai (Coleman, Hull and Ellitt, 1998). Be kėdės dizaino, žmogaus sėdėjimo įpročiai turi didelę svarbą apkrovų susidarymui kūne. Pavyzdžiui, skirtingos sėdėjimo pozos veikia trečiojo tarpslankstelinio disko slėgį – atlošiant nugaros atlošą atgal, slėgis trečiajame tarpslanksteliniam diske mažėja.

1.1. Sėdėsenos atpažinimo metodų apžvalga

Norint pademonstruoti sėdėsenos kokybę, subjektyvūs ir objektyvūs tyrimų rezultatai turėtų pademonstruoti aiškią koreliaciją. Keletas publikacijų, daugiausia paremti automobilių sėdynių tyrimais, keletas publikacijų indikuoja labai aiškią sąsają tarp slėgio pasiskirstymo ant sėdimosios dalies ir komforto/diskomforto įvertinimo (Milivojevich, Stanciu, Russ, Blair and Heumen, 2000). Tačiau, nėra aišku ar šie atradimai yra taikytini biuro kėdėms, kadangi automobilių sėdynės turi atitikti specialius saugumo standartus ir turi specifines reguliavimo ribas. Taip pat vairuotojo

judesiai yra suvaržyti saugos diržo, rankų padėties ant vairo, kojų padėties ant pedalų ir akys sufokusuotos į kelią. Keletas tyrimų nustatė ryšį tarp slėgio ir komforto/diskomforto ir vežimėlio, automobilio sėdynės, traktoriaus sėdynės, čiužinio ir operacinės kėdės. Trylika atliktų mokslinių tyrimų (1.1 lentelė) analizavo slėgio pasiskirstymą ir komforto/diskomforto ryšį tarp biuro kėdžių.

1.1 lentelė. Apibendrinti slėgio tyrimų rezultatai

Autorius	Priemonė	Matavimo laikas	Slėgio parametras	Subjektyvus matavimas	Ryšys
Gossens, 1998	Biuro kėdė	3 sekundės	Kairės pusės sėdmenų slėgis	Diskomfortas	Yra
Gossens, 2005	Biuro kėdė	<30min	Sėdinkaulių slėgis	Jautrumas slėgiui	-
De Looze, 2005	Biuro kėdė	<30min	Asmeninė slėgio sensacija	Komfortas diskomfortas	-
Carcone, 2007	Biuro kėdė	15 min	Nugaros atramos ir sėdimosios dalies slėgiai	Diskomfortas	Nėra
Groenesteijn, 2009	Biuro kėdė	<30min	Sėdimosios dalies slėgis	Komfortas	Yra
Vargara, 2000	Biuro kėdė	>30 min	Nugaros atramos sąlytis (taip/ne)	Komfortas ir diskomfortas	Didelis
Bendix, 1985	Biuro kėdė	>30 min	Nugaros atramos ir sėdimosios dalies slėgiai	Priimtinumai	Nėra
Fujimaki, 2005	Biuro kėdė	>30 min	Nugaros atramos ir sėdimosios dalies slėgiai	Diskomfortas	Didelis
Zenk, 2012	Automobilio sėdynė	<30 min	Santykinė sėdmenų ir šlaunų apkrova	Diskomfortas	Yra
Brienza, 2001	Vežimėlis	<30min	Sėdimosios dalies slėgis	Pragulos	Yra
Tewari, 2000	Traktoriaus sėdynė	>30 min	Nugaros atramos ir sėdimosios dalies slėgiai	Komfortas	Yra
Noro, 2012	Operacinės sėdynė	>30 min	Sėdimosios dalies slėgis	Komfortas	Yra
Lopez, 2008	Čiužinys	<30 min	Dubens ir šlaunų slėgiai	Komfortas	Yra

Šeši iš trylikos tyrimų nustatė ryšį tarp slėgio pasiskirstymo ir komforto/diskomforto (1.1 lentelė). Vienas iš šių tyrimų nustatė koreliaciją $r = 0,7 \pm 0,13$ tarp slėgio ir komforto (Goossens, Teeuw and Snijders, 2005). Du iš išanalizuotų tyrimų nerado jokio ryšio. Vienas tyrimas parodė, kad tiriamieji galėjo tik pajusti slėgio skirtumus, bet susieti su komfortu/diskomfortu negalėjo (Goossens et al., 2005). M. P. De Looze tyrimas nenaudojo slėgio matavimo sistemos, o įvertino slėgį pagal tiriamųjų asmeninį pojūtį (De Looze, Kuijt-Evers and Dieenm, 2003). Tyrimuose analizuojami kūno slėgio parametrai:

- 1) sėdmenų slėgis
- 2) sėdinkaulių slėgis
- 3) nugaros atramos slėgis;

- 4) visos sėdimosios dalies slėgis;
- 5) nugaros atramos kontaktinis paviršius;
- 6) maksimalus nugaros atramos slėgis;
- 7) sėdimosios dalies kontaktinis paviršius;
- 8) maksimalus sėdimosios dalies slėgis.

Sėdėsenos pozų atpažinimo tyrimai dažniausiai stebi slėgio skirtingose žmogaus ir kėdės kontakto vietose stebėjimui ir analizuoja keletą paviršiaus ploto parametrų kiekvienai vietai (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Dažniausiai matuojami sėdėsenos parametrai (matuota +, nematuota -)

Autorius	Sėdimosios dalies vidutinis slėgis	Sėdimosios dalies maksimalus slėgis	Nugaros atramos vidutinis slėgis	Nugaros atramos maksimalus slėgis	Kontakto paviršiaus plotas	Masės/jėgos santykis
Gossens, 1998	+	-	-	-	-	-
Gossens, 2005	+	-	-	-	-	-
Carcone, 2007	+	+	+	+	+	-
Groenesteijn, 2009	+	-	-	-	+	-
Vargara, 2000	-	-	-	-	+	-
Bendix, 1985	+	+	+	-	-	-
Fujimaki, 2005	+	-	+	-	+	-
Zenk, 2012	-	-	-	-	-	+
Brienza, 2001	+	+	-	-	-	-
Noro, 2012	+	+	-	-	-	-
Lopez, 2008	-	-	-	-	-	+

Dažniausiai analizuojamos maksimalios slėgio vertės, kontaktinio paviršiaus plotas, slėgio pasiskirstymo centras nugaros atloše bei sėdimosioje dalyje. Taip pat matuojami slėgio pasiskirstymo parametrai, tokie kaip masės/jėgos santykis, slėgio išsidėstymo standartinis nuokrypis ir maksimalus, apskrito ir skersino slėgio gradientai (Moes, 2005). Visiems tyrimams buvo naudojamos elektroninės slėgį matuojančias sistemas išdėstytos skirtingose kėdės vietose. Jutiklių skaičius siekė nuo 4 iki 23 (Zenk, Franz, Bubb and Vink, 2012). Atsižvelgiant į matuojamų parametrų įvairumą, G. A. Vos panaudojo principinę komponentinę analizę, taip sumažindamas parametrų ir sričių skaičių (Vos, Congleton, Moore, Amendola and Ringer, 2006).

1.2. Sėdėsenos ir komforto ryšys

Modernioje visuomenėje ilgėja laikas praleistas sėdimosioje pozicijoje. Apie 75% darbuotojų pramoninėse šalyse dirba sėdimą darbą, kuris reikalauja ilgai sėdėti darbo vietoje (Reinecke, 2002). Apatinės nugaros dalies skausmas (ANDS) yra labai dažnas negalumas ir beveik visi vienokia ar kitokia forma jį patiria (Hoy, Brooks, Blyth and Buchbinder, 2010). Tyrimai parodė, kad maždaug

trečdalis vakarų populiacijos kartą per mėnesį kenčia apatinės nugaros dalies skausmą (McBeth and Jones, 2007). Darbuotojų, susidurusių su ANDS, didėjimas lemia augantį nedarbingumo dienų skaičių. Išanalizuota danų darbuotojų grupė (N = 5036) parodė, kad penktadalis darbuotojų, kurie skundėsi kaklo, pečių ir ANDS per ateinančius du metus praleido ilgą darbingumo periodą (Holtermann, Hansen, Burr and Sogaard, 2010).

Nustatyta, kad ANDS bei raumenų ir kaulų problemas sukelia žemo lygio sėdėjimo komfortas (Vink and Hallbeck, 2012), todėl darbdaviai turėtų žinoti patogios darbo aplinkos svarbą norint užtikrinti darbuotojų sveikatą (De Looze et al., 2003). Sėdintys darbuotojai, kurie patiria diskomfortą, yra neefektyvūs ir linkę daryti klaidų (Christiansen, 1997), todėl sėdėjimo komfortas yra lemiamas kriterijus, kuriuo remiantis turėtų būti atliekami su darbo aplinka susiję sprendimai. Tačiau nepaisant pastarosios populiarios nuomonės, kad sėdėjimo kokybė darbo metu yra labai susijusi su ANDS, keletas dabartinių literatūros šaltinių atskleidė, kad sėdėjimas savaime nepadidina rizikos patirti ANDS (Roffey, Wai, Bishop, Kwon and Dagenais, 2010). Vis dėlto, M. Vergara savo darbe pabrėžia, kad sėdėjimas daugiau nei pusė dienos nepatogioje pozicijoje ir/arba kūną veikiant vibracijai gali pakelti tikimybę ANDS atsirasti (Vergara and Page, 2002).

Sėdėsenos komfortas/diskomfortas yra nusakomas subjektyviais pojūčiais ir todėl yra sunkiai apibūdinamas. Yra trys pagrindiniai metodai, kuriais galima nustatyti komforto/diskomforto lygį (Vergara and Page, 2002):

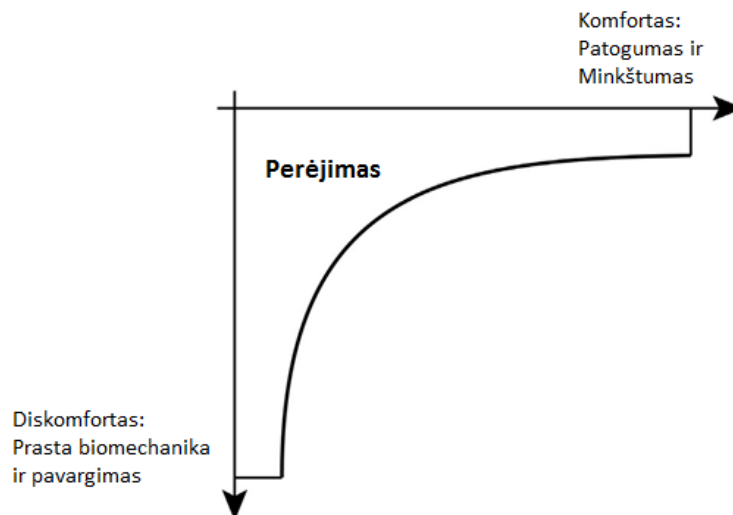
- 1) antropometrija;
- 2) žmogaus vertinimas;
- 3) objektyvūs matavimai.

Subjektyvūs žmogaus vertinimai yra vienintelis būdas nustatyti ar tiriamasis žmogus jaučia skausmą. Christiansen'as išskyrė penkis pagrindinius subjektyvius komforto įvertinimo kriterijus (Christiansen, 1997) :

- 1) bendras komforto įvertinimas;
- 2) kūno ploto komforto įvertinimas;
- 3) pozicijos koregavimas;
- 4) kėdės prisitaikomumo funkcijos;
- 5) asmeninė nuomonė.

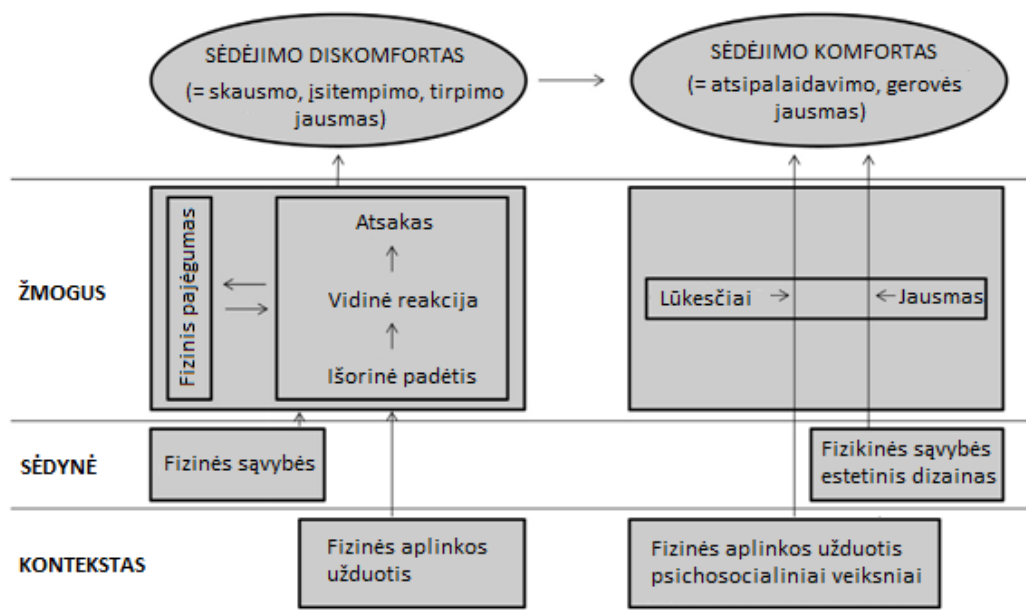
Tačiau subjektyvius vertinimus labai sunku kiekybiškai pamatuoti ir vertinti rezultatus. Sėdintieji turi suprasti komforto vertinimo skalę, kadangi besikeičiantį diskomforto lygį yra lengviau nusakyti nei besikeičiantį komforto lygį. Antra, individualūs žmonės gali turėti sunkumų įvardinti komforto/diskomforto jausmus. Taipogi, komforto/diskomforto priežastį gali būti labai sunku susieti su specifiniu kėdės dizaino elementu.

Pagal L. C. Richards'ą, „Komfortas yra besitęsianti patirties dimensija – kintanti nuo stipriai pozityvios (labai patogų) iki stipriai negatyvios (labai nepatogu) “. Tai apima perėjimo fazę, kuri nėra nei patogi nei nepatogi. H. T. E. Hertzberg'as teigia, kad patogumas priklauso nuo keleto fizinių veiksnių, o diskomfortas gali atsirasti iš bet kurio iš jų. Jis taip pat mano, kad yra tik „diskomfortas“, nes „komfortas“ tėra tik diskomforto nebuvimas. Vadinasi, nėra įmanoma suteikti komforto; tėra įmanoma eliminuoti diskomforto šaltinį. P. Branton'o požiūris į komfortą panašus, jis teigė, kad komfortas kinta nuo neapibrėžtumo būsenos iki ekstremalaus diskomforto. Jis taip pat pabrėžė, kad sunku numatyti atsirandančius ekstremalius patogumo jausmus sėdint kėdėje, nepaisant to, kokia patogi ji yra. Tačiau nauji tyrimai prieštarauja pastariesiems apibrėžimams. Teigiama, kad komfortą ir diskomfortą daro įtaką skirtingi veiksniai, todėl pasiūlyta skirstyti komfortą ir diskomfortą į dvi skirtingas apibrėžimo sritis (1.1 pav.; Zhang, Pan, Qiang and Xiao-Su, 2000).



1.1 pav. Komforto ir diskomforto X. W. Zhang'o modelis

Šiame modelyje diskomfortas siejamas su biomechaniniais faktoriais, kurie sukelia skausmą, pavargimą, padidėjusį jautrumą, o komfortas siejamas su gera savijauta ir estetiniu kėdės išpūdžiu (Helander and Zhang, 1997). Ašių susikirtimas parodo galimą perėjimą iš diskomforto į komfortą. Pavyzdžiui, jei diskomfortas yra nedidelis, patiriamas komfortas, ir atvirkščiai, jei komfortas yra sumažėjęs, diskomfortas gali padidėti. M. P. De Looze'as yra sudaręs komforto diskomforto schemą (1.2 pav.).



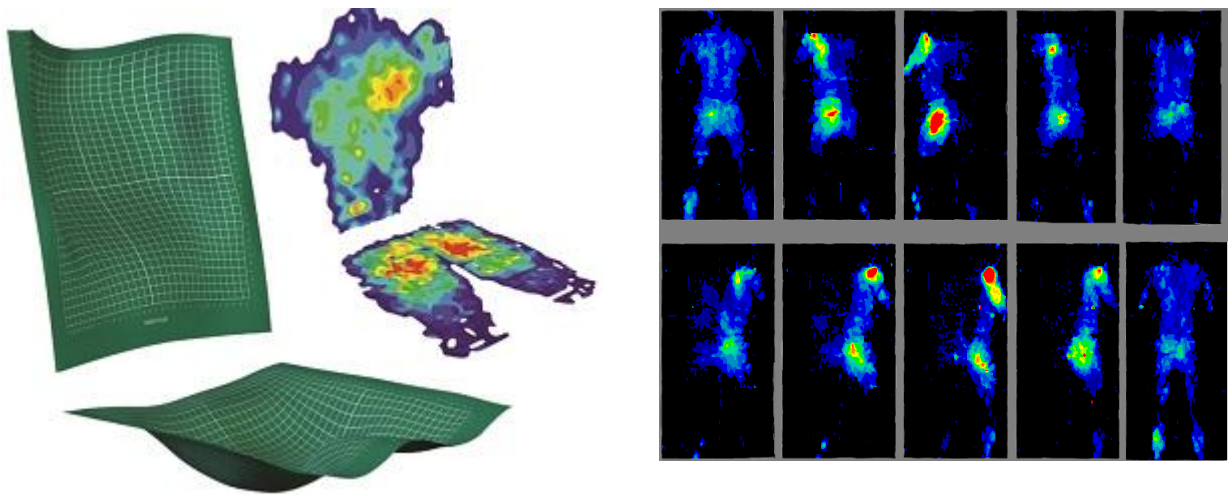
1.2 pav. M. P. De Looze'o komforto/diskomforto schema

Šioje schemoje (1.2 pav) pavaizduota sąveika tarp skirtingų faktorių, lemiančių komfortą ir diskomfortą. Schema padalinta į tris kategorijas: žmogiškąjį, kėdės ir aplinkos faktorius (De Looze et al., 2003). Vis dėlto, pagrindinės komforto vertinimo problemos yra aiškios:

- 1) komfortas yra subjektyvus, žmogaus jausmų konstruktas;
- 2) komfortą lemia įvairūs faktoriai (fiziniai, fiziologiniai, psichologiniai);
- 3) komfortas yra reakcija į aplinką.

1.3. Slėgio matavimo technologijos

Keletas sėdėsenos slėgio pasiskirstymo tyrimų yra atlikta pasitelkiant elektromiografiją kojos arba pėdos pletizmografija ir tiesioginį sėdimosios dalies arba nugaros atramos slėgio matavimą (Groenesteijn, Vink, Looze and Krause, 2009). Pastarieji matavimai yra patys dažniausi iš objektyvių vertinimo iš metodų ir palyginus patys pigiausi ir lengviausiai pritaikomi. Šiuo metu yra daug matavimo sistemų įvertinančių kontaktinį slėgį tarp žmogaus kūno ir paviršiaus, vienos iš tiksliausių sistemų yra kilimėliai (1.3 pav.) pagaminti iš varžinių ir talpinių jutiklių (Giacomozzi, 2010).

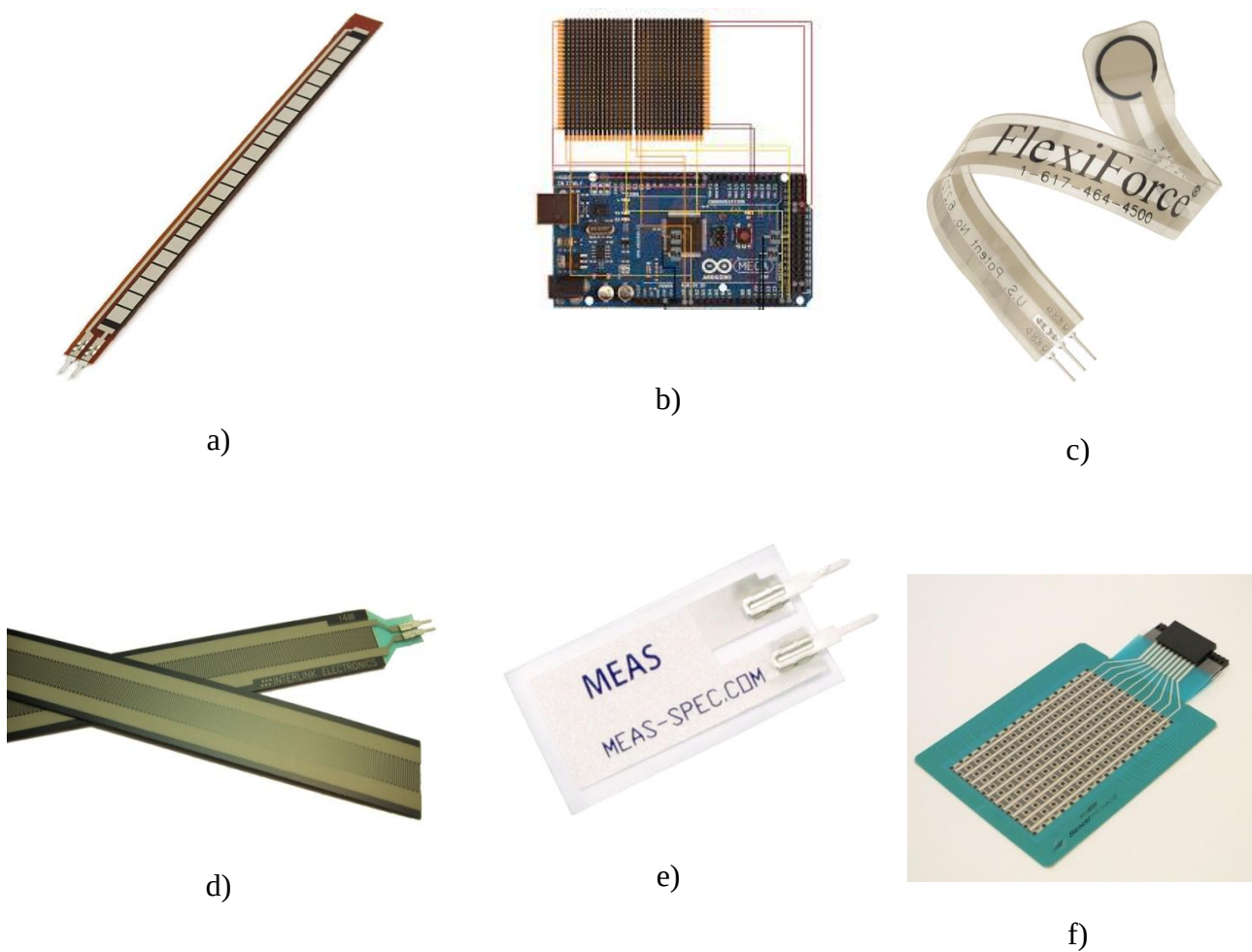


1.3 pav. Kūno slėgio matavimo sistema *Tekscan BPMS™*

Ryšys tarp veikiančios jutiklius jėgos ir pamatuotos ne visada yra tiesiškas. *Tekscan ClinSeat* parodė netiksliausius tiesiškumo rezultatus, o *Novel Pliance* kilimėlis parodė beveik visiškai tiesinę charakteristiką. Taip pat tyrimas atskleidė, kad *Novel Pliance* tiksliausiai matuoja iš visų sistemų (Zemp, Taylor and Lorenzetti, 2016).

Slėgio pasiskirstymo tyrimams taip pat yra naudojami ir pavieniai slėgio jutikliai, matuojantys slėgį viename taške. Dažniausiai tyrimuose naudojami yra šie jutikliai:

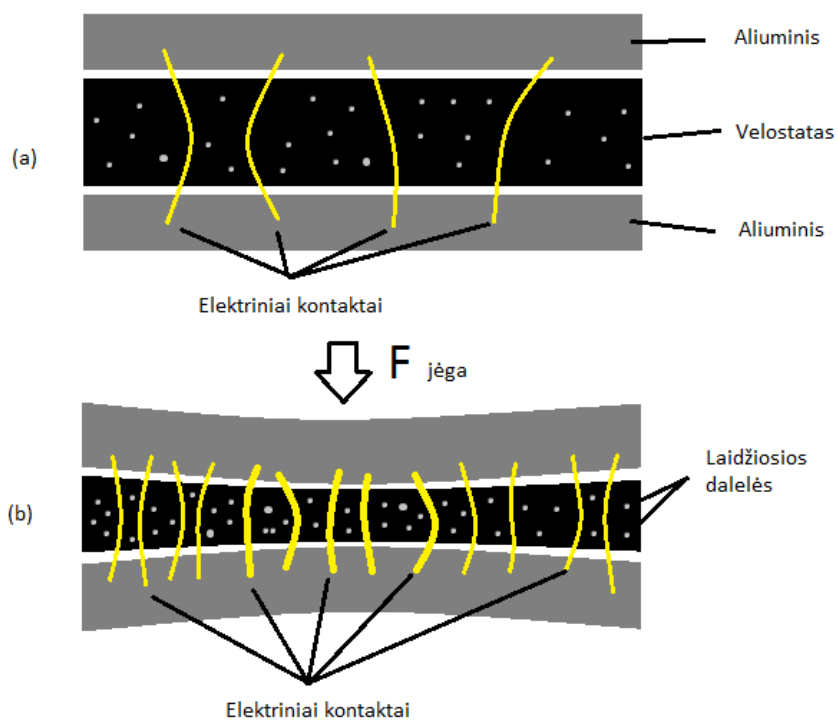
- *Spectra Symbol flex sensor* – paprastas lankstus 100 mm ilgio jutiklis, kurio elektrinė varža pakyla jį sulenkus (1.4 pav. a);
- *Tactilus* tekstilinis jutiklis – popierio storumo jutiklis, skirtas matuoti slėgį ir jo pasiskirstymą. Šiuos slėgio jutiklius galima naudoti iškart arba atsikirpti norimą ilgį, jie gali matuoti lankstymą ir spaudimą (1.4 pav. b);
- *Tekscan Flexiforce* – slėgio jutikliai ir *Flexipoint* lenkimo jutikliai (1.4 pav. c ir d);
- *Meas-Spec* – plėvelių lakštai, iš kurių galima gaminti jutiklius bei keitiklius (1.4 pav. e).
- *Sensitronics* – tiekia keletą prietaisų kurie turi jutiklių matricas (1.4 pav. f).



1.4 pav. Pavieniai jutikliai naudojami slėgio pasiskirstymo tyrimuose: a) *Spectra Symbol flex* jutiklis; b) jutiklis *Tactilus* tekstilinis; c) jutiklis *FlexiForce*; d) jutiklis *Tekscan Flexipoint*; e) jutiklis *Meas-Spec*; f) jutiklių matrica *Sensitronics*

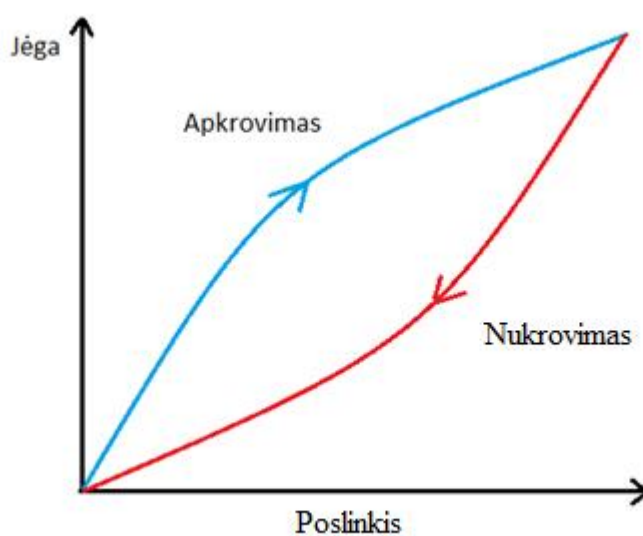
Slėgio pasiskirstymo kėdėje tyrimuose naudojamos arba labai tikslios ir brangios sistemos, arba labai pigios (Mutlu et al., 2007). Todėl yra iššūkis sukurti efektyvią matavimo priemonę, kuri būtų pigi, portabili, autonominė, lanksti ir su nemokama technine ir operacine įranga.

Labai geras būdas sumažinti sistemos kainą yra pusiau laidžių (pjezorezistyvių) polimerinių plėvelių naudojimas (PLPK), tokių kaip *Velostat* ir *Linqstat*. Pjezorezistyvias medžiagas veikiant jėga, keičiasi jų elektrinė varža. *Velostat* turi impregnuotų nano dalelių, kurios yra konduktyvios (1.5 pav. a). Suslėgus šią medžiagą sumažėja tarpai tarp konduktyvių dalelių ir atsiranda daugiau takų elektros srovei tekėti (1.5 pav. b), todėl slegiant pjezorezistyvias medžiagas jų varža mažėja (Gonzalez-Banos, 2001).



1.5 pav. Pjezorezistyvios plėvelės *Velostat* veikimo principas, F – slėgio veikimo jėga

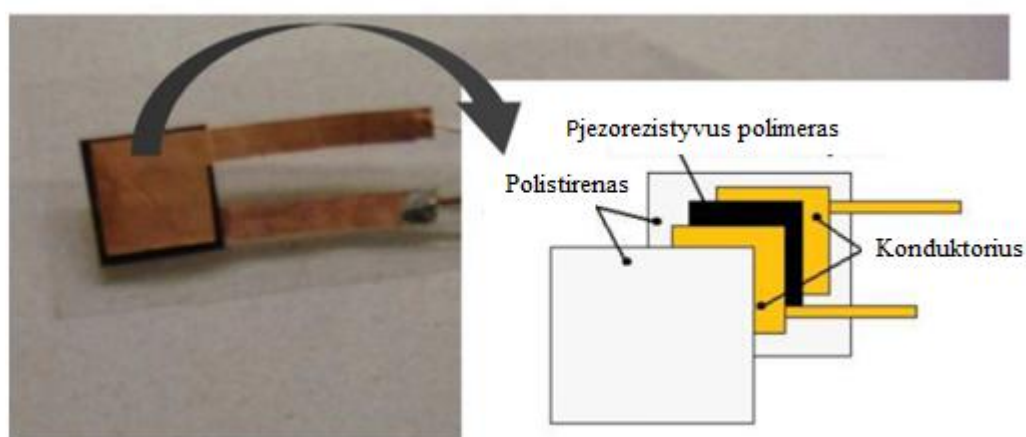
Velostat medžiagai, kaip ir visoms kitoms pjezorezistyvioms medžiagoms, galioja histerezės dėsnis, t.y. netolygi slėgio ir varžos priklausomybė dvejose fazėse – apkraunant ir nukraunant (1.6 pav.).



1.6 pav. Histerezės dėsnis: jėgai mažėjant poslinkis nemažėja proporcingai

Šį dėsnį L. Wangas pasiūlė spręsti naudojant pjerezistyvųjų medžiagų modelį, kuris įvertina medžiagoje esantį anglies kiekį. Šiam modeliui reikia sudaryti grafiką, kuriame matoma pjerezistyvumo ir anglies kiekio medžiagoje priklausomybė (Wang, Wang and Li, 2009). Panašų histerezės dėsnio sprendimą pasiūlė Y. Xie remdamasis anglies pluoštinių dalelių elastiniu pailgėjimu (Xie, Young-Jin and Chul-Kyoung, 2007). Populiariausias būdas histerezei pašalinti yra Preisach'o matematinio modelio naudojimas. Šis modelis įvertina magnetinio lauko ir medžiagos įmagnetinimo santykį (Christensen, McBarron and McConville, 1995), jis naudojamas beveik visuose tyrimuose, kuriuose pasitelkiami tikslūs deformacijos ir apkrovos matavimai. Pasitelkus Preisach'o modelį slėgio matavimo rezultatus galima pagerinti 7% (Meyer et al., 2010). *Velostat* jutikliai savo signale turi paklaidą net ir statiniuose bandymuose, todėl būtina naudoti kalibravimo modelį, kuris kompensuoja šį medžiagos statinį nuovargį, kurio priežastis gali būti *Velostat* viskoelastinės savybės ir valkšnumas (Hall, Desmoulin and Milner, 2008).

Velostat jutiklius galima pasigaminti rankomis, gamybai reikalingos papildomos medžiagos – laidų medžiaga (aliuminio, vario folija), dengianti medžiaga (lipni permatoma PVC plėvelė) ir signalą perduodantys laidai (1.7 pav.). Pjerezistyvą plėvelę yra padengiama laidžia folija iš abiejų pusių, taip padaromas anodas ir katodas, kurie perduoda elektros srovę. Apklįjavirus šias medžiagas lipnia plėvele, gaunamas tvirtas plonas ir lankstus jutiklis. Toks paprastas gamybos procesas suteikia lankstumo pigiai jutiklių gamybai, nes galima gaminti vienetinius jutiklius, kurių formą ir kiekį galima lengvai keisti, tai atveria platesnes panaudojimo galimybes.



1.7 pav. Jutiklio sluoksniai

Sumažinti sistemos gamybos kainą galima mažinant jutiklių kiekį. Yra įrodyta kad atpažinimo sistema su 31 jutikliu, gali pranokti sistemą su 1024 jutikliais (32x32 matrica) ir, kad nedaug tikslumo (apie 5 %) prarandama sumažinant jutiklių skaičių nuo 31 iki 19 (Mutlu et al. 2007). Tačiau

mažinant jutiklių skaičių reikia atkreipti didelį dėmesį į jų išdėstymą. Literatūroje jutiklių skaičius ir išdėstymas labai varijuoja, taip yra dėl skirtingų užsibrėžtų tikslų. Dažnai naudojamos matricos iš pailgų *Velostat* jutiklių, kurios gali nusakyti jėgos veikimo vietą, jų veikimo principas atitinka slėgi matuojančių kilimėlių veikimą. Taip pat slėgis kėdėse matuojamas ir pavieniais jutikliais (1.3 lent.). Nors jutikliai iš *Velostat* nėra brangūs, tačiau, dideli jų kiekiai reikalauja sudėtingesnio sprendimo dėl jutiklių sąsajos su mikrokontroleriu.

1.3 lentelė. Literatūroje aprašomų jutiklių dydžiai ir išdėstymas

Autorius	Išdėstymas	Dydis
Giovanelli, 2016	Pavienis jutiklis	15 x 30 mm
Barba, 2015	2 x 8 matrica	70 x 145 mm (jutiklio)
Del Prete, 2001	8 x 8 matrica	5 x 5 mm (jutiklio)
Kalantari, 2012	Pavienis jutiklis	15 x 15 mm
Lin, 2015	Pavienis jutiklis	10 x 10 mm
Donselaar, 2011	8 x 8 matrica	10 x 10 (jutiklio)
Carrozzino, 2014	48 x 48 matrica	1600 x 1600 mm (matricos)
Lee, 2016	3 x 3 matrica	110 x 110 mm (jutiklio)
Low, 2014	Pavienis jutiklis	1 cm ²

1.4 Teorinės dalies apibendrinimas

Atlikus mokslinių straipsnių analizę, išsiaiškinta, kad taisyklinga sėdėseną yra svarbi, ji gali daryti įtaką žmogaus sveikatai ir sėdėjimo pozos stebėsenos sistemos poreikis yra didelis. Nėra vienareikšmiškai nuspręsta kokia sėdėjimo poza yra taisyklinga. Nuspręsta, kad taisyklingiausia poza yra tokia, kuria žmogus sėdėdamas jaučiasi patogiai ir jaučia komfortą. Tačiau komforto pamatuoti objektyviais metodais negalima, todėl komforto įvertinimui reikalingi subjektyvūs žmogaus matavimai, kurie nėra tikslūs ir lengvai atkartojami. Taipogi tyrimai parodė, kad slėgio pasiskirstymas sėdint neturi ryšio su komforto lygiu.

Išanalizavus mokslinius straipsnius kuriuose matuojamas sėdėjimo slėgis, paaiškėjo, kad slėgiui matuoti naudojami labai įvairių tipų ir formų jutikliai. Išsiaiškinti jutiklių gamybos procesai iš pjezorezistivių medžiagų, naudojamos medžiagos. Pjezorezistyvūs jutikliai yra pakankamai tikslūs sėdėsenos atpažinimo matavimams, tačiau jie susiduria su histerezės problema, dėl kurios jutikliai turi didesnę paklaidą. Norint sumažinti histerezės poveikį jutiklių tikslumui galima naudoti Preisach'o matematinį modelį.

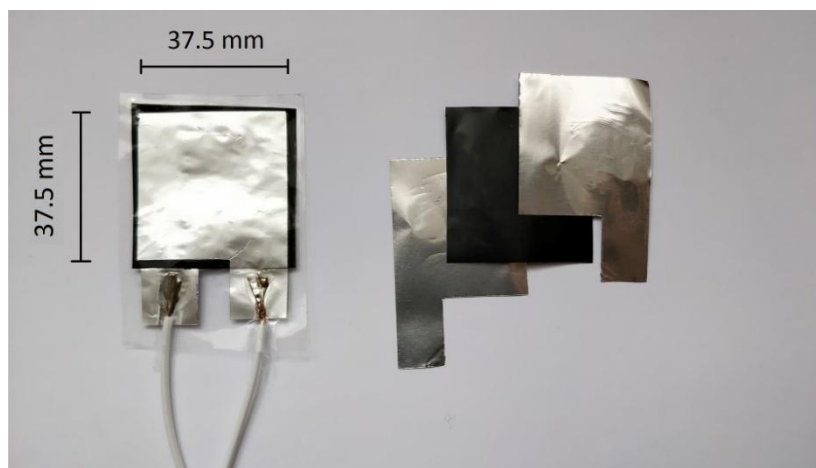
Iš kūno slėgio pasiskirstymo tyrimu surinkti jutiklių dydžio, kiekio ir išdėstymo duomenys. Pagal šiuos duomenis paaiškėjo, kad svarbiausia yra jutiklius išdėlioti ant sėdimosios dalies ir ant nugaros atlošo. Tyrimuose jutikliai arba dėliojami į matricą, arba naudojami pavieniai 1 – 3cm² jutikliai.

2. TYRIMO METODIKA

Prototipo projektavimoe panaudota neįgaliojo darbo kėdė, ji robotizuota t.y. sumontuotos linijinės pavaros galinčios keisti sėdėjimo atramų padėtis. Ant nugaros atlošo ir sėdynės išdėstyti ir pritvirtinti jutikliai. Jutiklius pasirinkta gaminti rankomis iš pjezorezistyvios medžiagos – tai drąstiškai sumažino prototipo kūrimo išlaidas.

2.1 Jutiklių gamybos ir testavimo metodika

Projektavimo procese nutarta naudoti *Velostat* polimerinę 0.1 milimetro storumo plėvelę. Ši pusiau laidži plėvelė iš abiejų pusių padengta 0.05 konduktyvia aliuminio folija. Vario foliją taip pat galima naudoti, tačiau įrodyta, kad ji nepadidina jutiklio tikslumo (Barba, Madrid and Boticario, 2015). Prie aliuminio folijos lituojami ploni ir lankstūs laidai, kurie būdami ant sėdimosios dalies nedaro įtakos sėdėjimo komfortui, ir iš abiejų pusių apklijuojama lipni izoliacija (2.1 pav.). Jutiklio išmatavimai neturi jokios įtakos jų tikslumui (Barba et al., 2015), tačiau turi įtakos bendram sėdėsenos sistemos atpažinimo tikslumui (Lee and Shin, 2016). Atsižvelgiant į geriausius rezultatus parodžiusio tyrimo jutiklio ir tiekiamo *Velostat* plėvelės lakšto išmatavimus, buvo pagaminti 3.75 x 3.75 cm dydžio jutikliai (Mutlu et al., 2007). Gautas tvirtas, plonas ir lankstus jutiklis, kurio varža akimirksniu reaguoja į prisilietimą.

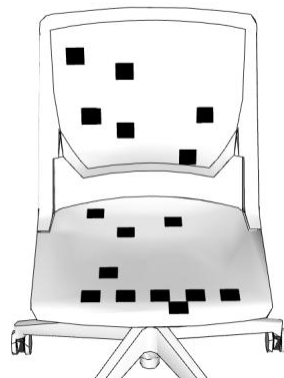


2.1 pav. Jutiklis ir jo sudedamosios dalys –*Velostat* plėvelė, aliuminio folija, laidai ir izoliacija

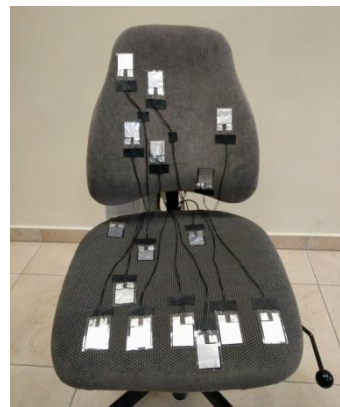
2.1.1 Jutiklių išdėstymas

Norint išgauti kuo didesnę atpažinimo sistemos tikslumą nuspręsta išdėstyti ant kėdės tiek vienodo dydžio (3.75 x 3.75 cm) jutiklių, kiek naudojamas mikrokontroleris gali susieti. Jutiklių vieta ir išdėstymas turi didelę įtaką kūno slėgio matavime: jutiklius išdėstant ne tik ant sėdynės, bet

ir ant nugaros atlošo, galima pasiekti 64% geresnį atpažinimą (Meyer et al., 2010). Taip pat yra įrodyta, kad išdėstant jutiklius simetriškai, pasiekiami 7% prastesni rezultatai (Lee and Shin, 2016). Jutiklių išdėstymo schemoms modeliuoti ir jų reikšmėms vizualizuoti sukurtas 3D kėdės modelis. Jutiklių išdėstymas buvo pasirinktas pagal B. Mutlu moksliniame darbe aprašytą optimaliausią išdėstymą siūlomą literatūroje, kuris parodė geriausius sėdėjimo pozų atpažinimo rezultatus (Mutlu et al., 2007). Pagal B. Mutlu aprašytą išdėstymą buvo išdėlioti jutikliai – pradžia 3D modelyje, po to ant prototipo (2.2 pav.). Šie išdėstymo taškai buvo atrinkti atsižvelgiant į aukštos raiškos slėgio pasiskirstymo žemėlapi kaip meno galerijos problemą (Toth, 2000), todėl pateikti kūno slėgio taškai daugiausiai pasako apie sėdinčiojo poziciją. Taigi, iš viso pagal schemą išdėlioti šešiolika jutiklių: dešimt ant sėdimosios dalies ir šeši ant nugaros atlošo.



a)

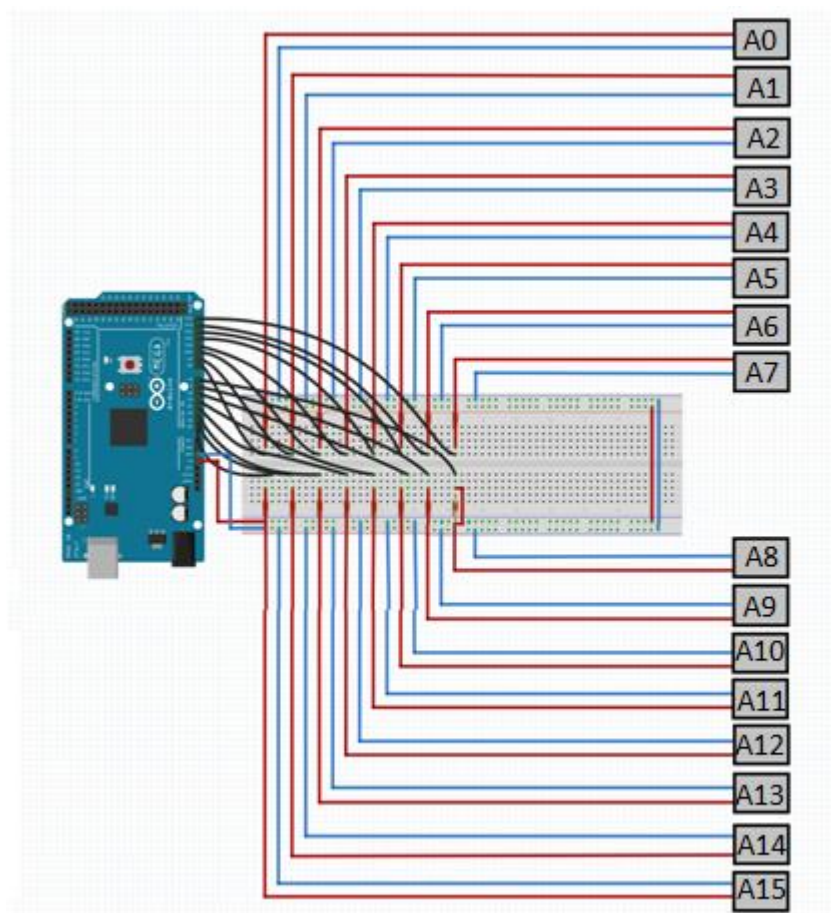


b)

2.2 pav. Slėgio jutiklių išdėstymas: a) 3D modelyje, b) prototipe

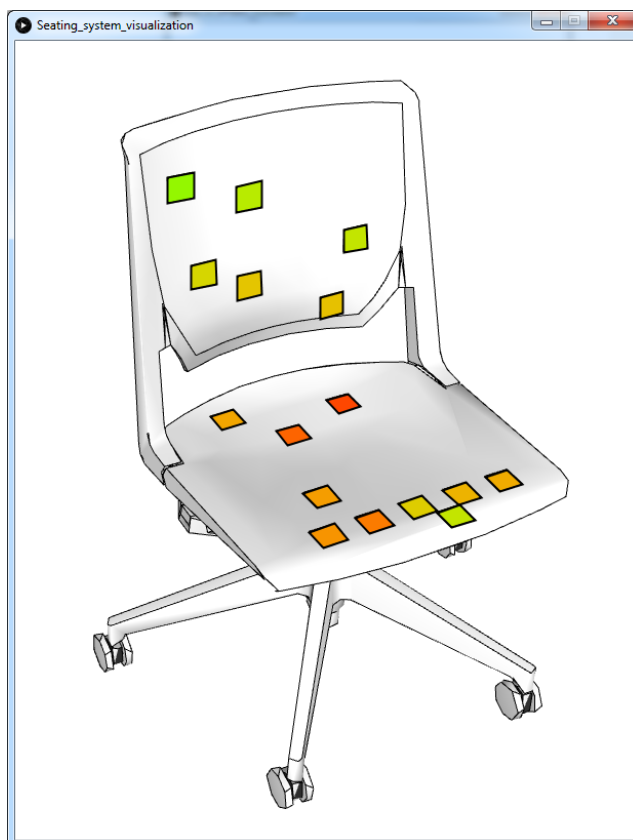
2.1.2 Jutiklių prijungimas

Jutiklių duomenų surinkimas susideda iš trijų dalių: signalo išgavimas, signalo perdavimas, verčių išsaugojimas duomenų bazėje. Kad jutikliai būtų stabilesni, jiems suteikiama išankstinė varža – prie kiekvieno jutiklio prijungiamas 1 k Ω varžos rezistorius. Toliau jutiklis jungiamas prie mikrokompiuterio analoginio signalo jungties (2.3 pav.). Signalui išgauti, dėl savo prieinamumo ir kainos, buvo pasirinktas *Arduino Mega* (arduino.cc) mikrokontroleris. Jis turi 16 analoginių jungčių ir 10 bitų (1024 reikšmių) raiškos ADC (*Analog to digital converter*) keitiklį. Kiekvieno jutiklio vertę mikrokontroleris 720 Hz dažniu siunčia į kompiuterį USB jungtimi. Visas jutiklių reikšmes saugome į matricą *Matlab* duomenų bazėje pasitelkiant *Matlab* modulį *Serial Monitor* (*Mathworks*).



2.3 pav. Jutiklių jungimo schema. Raudoni ir mėlyni laidai prijungti prie +5 V ir *GND*, juodi laidai prijungti prie mikrokontrolerio analoginių jungčių, A_i žymi analogę jungtį, i – jutiklio numerį

Bendram jutiklių reikšmių vaizdui susidaryti ir sėdinčiojo slėgio pasiskirstymui stebėti buvo sukurta vizualizacija pasitelkiant programinę įrangą *Processing 3.3.6* (GPL), kuri skirta didelio kiekio duomenų atvaizdavimui. Duomenys *Processing* programą pasiekia tiesiai iš *Arduino* mikrokontrolerio per kompiuterio *USB* jungtį. Sistema veikia realiu laiku (2.4 pav.).

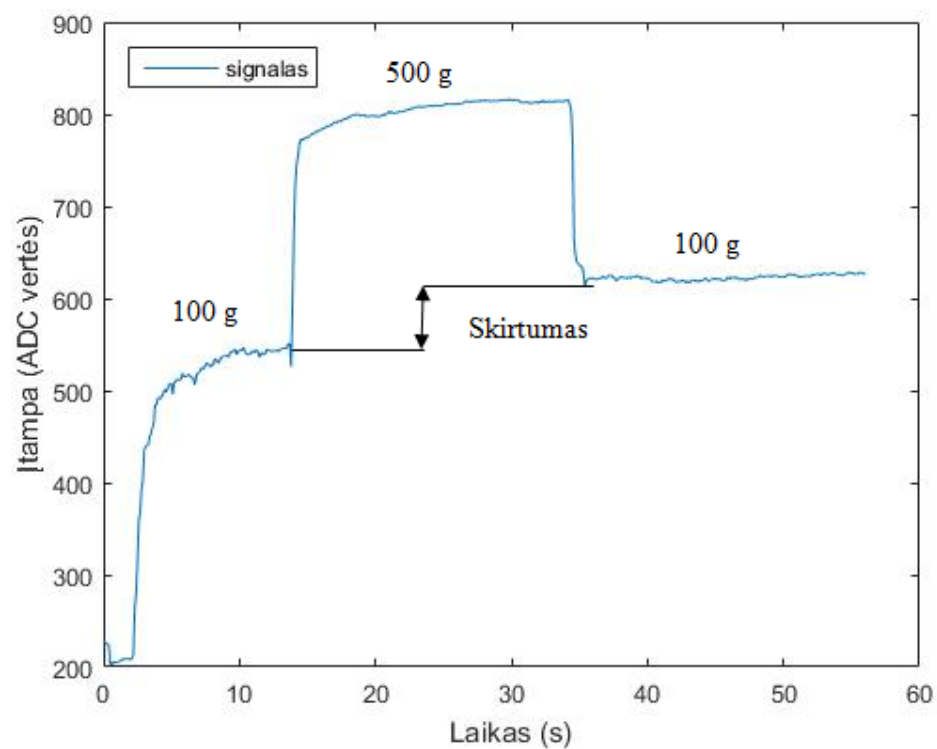


2.4 pav. Jutiklio reikšmių vizualizacija: žalia spalva perteikiamas mažiausias slėgis, geltona – vidutinis, raudona – didžiausias.

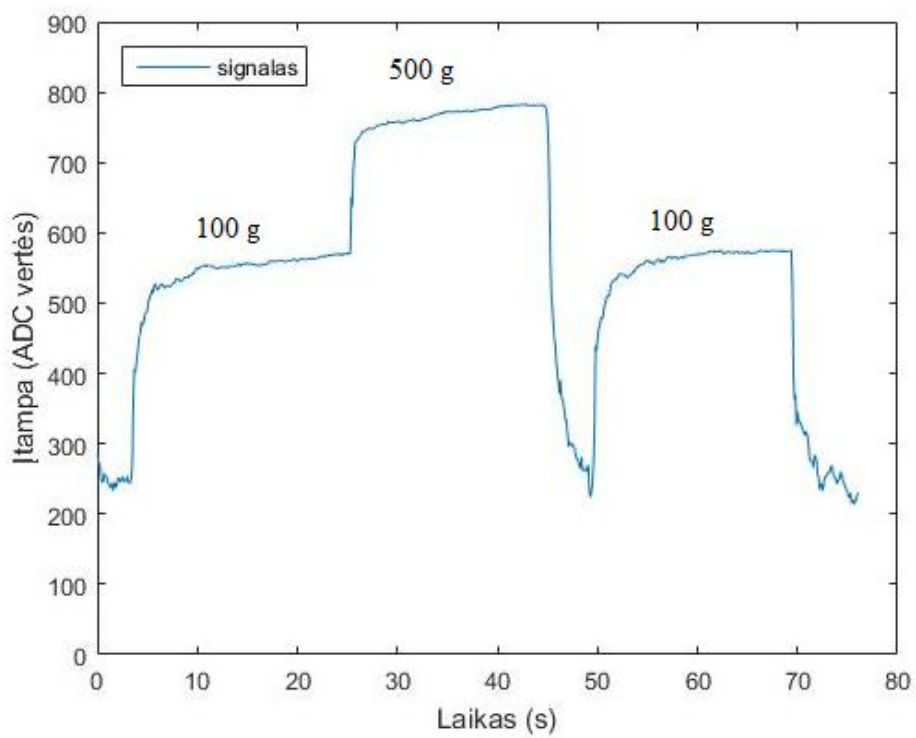
2.1.3 Jutiklių testavimas

Skirtingi statiniai ir dinaminiai bandymai buvo atlikti jutiklio galimybėms ir tikslumui išmatuoti. Matavimams buvo naudojami sukalibruoti laboratoriniai svareliai su pastovaus dydžio paviršiaus plotu. Kadangi *Arduino Mega* turi 5 voltų 10 bitų *ADC* (*Analog to digital converter*) konverterį, jutiklių signalo amplitudė siekė nuo 0 iki 1024 (0 reikšmė – 0 V, 1023 – 5 V).

Pirmo bandymo pradžioje ant jutiklio uždėtas 100 g svarelis 15 s, tada ant jo uždėtas 500 g svarelis 20 s, nuimtas 500 g svarelis ir dar 20 s atliekamas 100 g matavimas (2.5 pav.). Antrame bandyme nukeliant 500 g svarelį trumpam laiko tarpui pakeliamas ir 100 g svarelis, ir vėl iškart padedamas (2.6 pav.). Antrojo bandymo rezultatai kur kas tikslesni. Šį reiškinį paaiškina histerezė ir *Velostat* viskoelastinės savybės.



2.5 pav. Jutiklio testas be pertraukos, 0 –15 sekundę ir 35 –55 sekundę matuojamas tas pats svoris



2.6 pav. Jutiklio testas darant pertrauką, matavimo reikšmės 8 – 25 s ir 50 – 70 s akivaizdžiai panašesnės

Velostat medžiagai reikia „atsipalaiduoti“, todėl norint išvengti didelių paklaidų, visi tyrimai buvo atliekami su apkrovimo pertraukoms, kurios leidžia atsipalaiduoti jutikliui. Atlikti jutiklio tyrimai:

1. Jutiklio reikšmių pastovumo tyrimas. 5 kartus matuojamas 200g svoris ir lyginamas jutiklio reikšmių skirtumas tarp matavimų. Svoris matuojamas 5 minutes, daromos 1 minutės pertraukos. Lyginamos visų 5 matavimų reikšmių medianos.

2. Jutiklių parodymų vienodumas. Norint išsiaiškinti ar visi jutikliai rodo vienodas reikšmes, du jutikliai buvo sudėti vienas ant kito, tokiu atveju jutiklius veikia vienoda jėga. Aliktas testas su 100–200–300–400–500–400–300–200–100g svarmenimis ir vidutine pirštų paspaudimo jėga. Svoriai matuojami po 50 sekundžių, daromos 10 sekundžių pertraukos. Lyginimas skirtumas tarp jutiklių parodymų.

3. Sudaromas svorio ir jutiklio signalo priklausomybės grafikas. Matuojami svoriai: 10, 20 50, 60, 70, 100, 200, 300, 400, 500, 750 ir 1000 gramų. Iš gautų rezultatų aproksimuojama signalo priklausomybės nuo svorio kreivė.

4. Naudojantis slėgio priklausomybės nuo svorio formule (formulė 2.1) apskaičiuojamas slėgio priklausomybė nuo jutiklio signalo:

$$p = \frac{F}{S} \quad (2.1)$$

čia p – slėgis, Pa; F – veikianti jėga, N; S – jutiklio plotas, m^2

Išstatę į 3.2 formulę gautą jėgos priklausomybę nuo signalo ir jutiklio plotą gauname:

$$p = \frac{F_g \times 9,81}{1000 \times 0.0375 \times 0.0375} \quad (2.2)$$

čia p – slėgis, Pa; F – svoris gramais

5. Skaičiuojama jutiklio histerezė. Šiam testui matuojami svoriai 100, 200, 300, 400, 500 g ir vėl 400, 300, 200, 100 g. Iš šių svorių gautas jutiklio reikšmes vaizduojame grafike ir braižome histerezės grafiką.

2.2. Robotizuotos kėdės gamyba

Norint suteikti sėdėsenos atpažinimo sistemai išmaniųjų savybių, reikalinga kėdė, kuri gali dinamiškai keisti biomechaninius žmogaus parametrus. Prototipui Vilniaus Gedimino technikos universiteto laboratorijose buvo privirinti linijinių pavarų laikikliai, pritvirtinti potenciometai ir pajungtos rėlės variklių valdymui. Robotizuotos kėdės prototipas buvo pagamintas pasitelkiant neįgaliojo darbo kėdės platformą – jos yra struktūriškai tvirtesnės ir stabilesnės, taip pat turi daugiau reguliavimo galimybių. Kėdės pozicijai matuoti buvo pritaisyti keturi potenciometai: du sukimosi ašies centruose kampam matuoti ir dvi krumpliastiebio – krumpliaračio sistemos linijinių pavarų ilgiui matuoti.

Tam kad sistema veiktų tiksliai, jai buvo atlikta kalibracija ir buvo atlikti bandymai elektroniniu kampų matuokliu (tikslumas $0,1^\circ$) :

- 1) nugaros atlošo kampo tikslumo bandymas;
- 2) sėdėjimo aukščio tikslumo bandymas;
- 3) nugaros atlošo aukščio tikslumo bandymas.

Prototipo valdymui buvo pasitelktas *Arduino Uno* mikrokontroleris. Kėdės potenciometai prijungti prie mikrokontrolerio analoginių jungčių, o rėlių pagalba skaitmeninėmis jungtimis valdomos linijinės pavaros. Norint pajudinti segmentą per *Serial Monitor* programą užduodama potenciometro reikšmė, ir jei ji neatitinka tuometinės potenciometro reikšmės, įsijungia linijinės pavaros ir veikia iki tol kol pasiekama norima potenciometro reikšmė.

2.3 Sėdėjimo pozų atpažinimo metodika

Tiriamos trys dažniausiai pasitaikančios kūno sėdėjimo padėtys:

- 1) tiesiai – bandomas išlaikyti 90° kampą kelių sąnaryje ir dubens srityje, sėdima kiek giliau kėdėje, taip, kad nugaros apatinė dalis remtųsi į nugaros atlošą (2.7 pav. a);
- 2) atsilošus – tiriamojo sėdimoji dalis išlieka toje pačioje vietoje kaip tiesios pozicijos atveju, tačiau nugara atlošiama į nugaros atlošą (2.7 pav. b);
- 3) pasilenkus į priekį – tiriamasis sėdi pasviręs į priekį ir nesiliesdamas į nugaros atlošą (2.7 pav. c).



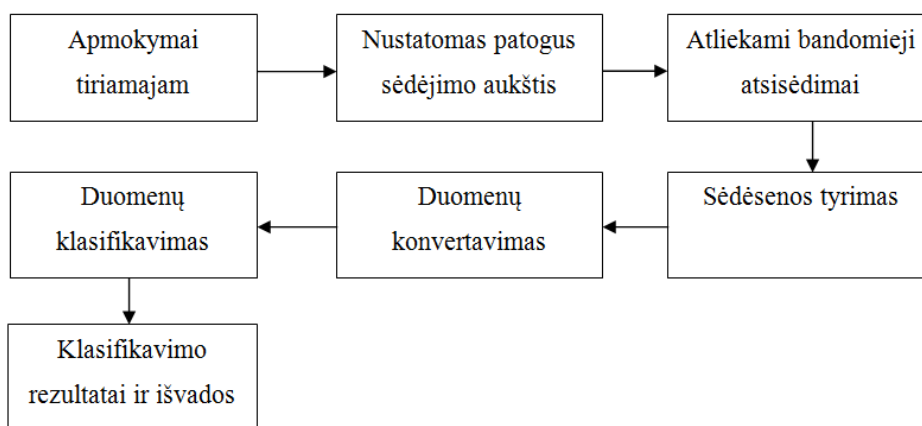
a)

(b)

(c)

2.7 pav. Sėdėjimo pozos: a) tiesiai , b) atsilošęs atgal, c) pasilenkęs į priekį

Iš viso surinkti duomenys iš 50 sėdėjimų tiesia poza, 50 atsirėmus į atlošą ir 50 pasilenkus į priekį. Tyrimas vykdomas Vilniaus Gedimino Technikos universiteto Biomechanikos inžinerijos katedros laboratorijoje, tyrimo trukmė 20 – 25 min, iš kurių 15 min sėdima ant kėdės skirtingomis pozomis. Tyrimas vykdomas pagal 2.8 pav. pateiktą schemą:



2.8 pav. Sėdėsenos atpažinimo tyrimo schema

Apmokymų metu tiriamieji supažindinami su tyrimo eiga, pasirašoma sutikimo forma (Priedas A) bei atliekami bandomieji atsisėdimai visomis tiriamomis pozomis. Matuojant sėdėseną tiriamieji sėdi trimis pozomis po 10 kartų. Vienos pozos matavimo laikas – 20 sekundžių, po kiekvieno matavimo tiriamasis atsistoja ir palaukia 10 sekundžių. Sėdėsenos tyrimo eiga sekundėmis pateikta 2.1 lentelėje:

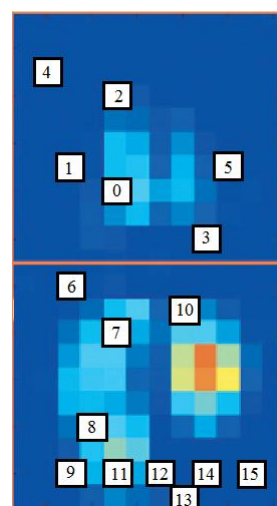
2.1 lentelė. Sėdėsenos tyrimo eiga sekundėmis (iš viso 15 minučių)

Poza Matavimo nr.	Tiesiai, s	Atsistojus, s	Atsilošus, s	Atsistojus, s	Pasilenkus į priekį, s	Atsistojus, s
1	0 – 20	20 – 30	300 – 320	320 – 330	600 – 620	620 – 630
2	30 – 50	50 – 60	330 – 350	350 – 360	630 – 650	650 – 660
3	60 – 80	80 – 90	360 – 380	380 – 390	660 – 680	680 – 690
4	90 – 110	110 – 120	390 – 410	410 – 420	690 – 710	710 – 720
5	120 – 140	140 – 150	420 – 440	440 – 450	720 – 740	740 – 750
6	150 – 170	170 – 180	450 – 470	470 – 480	750 – 770	770 – 780
7	180 – 200	200 – 210	480 – 500	500 – 510	780 – 800	800 – 810
8	210 – 230	230 – 240	510 – 530	530 – 540	810 – 830	830 – 840
9	240 – 260	260 – 270	540 – 560	560 – 570	840 – 860	860 – 870
10	270 – 290	290 – 300	570 – 590	590 – 600	870 – 890	-

Tyrimo metu jutiklių duomenys nuskaitomi 720 Hz dažniu. Jutiklių išdėstymo schema pateikta 2.9 paveiksle:



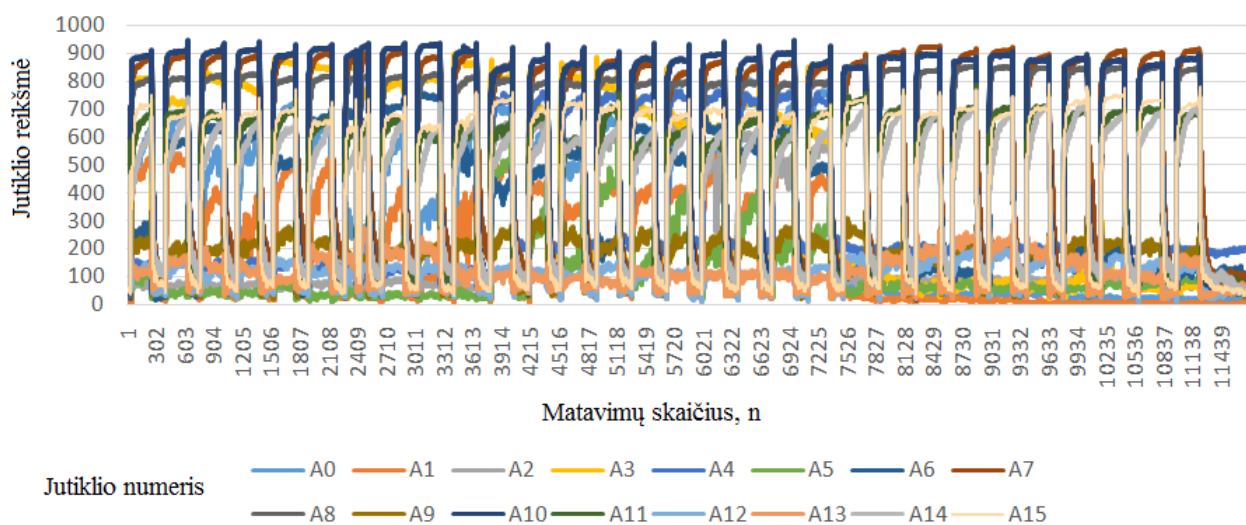
a)



b)

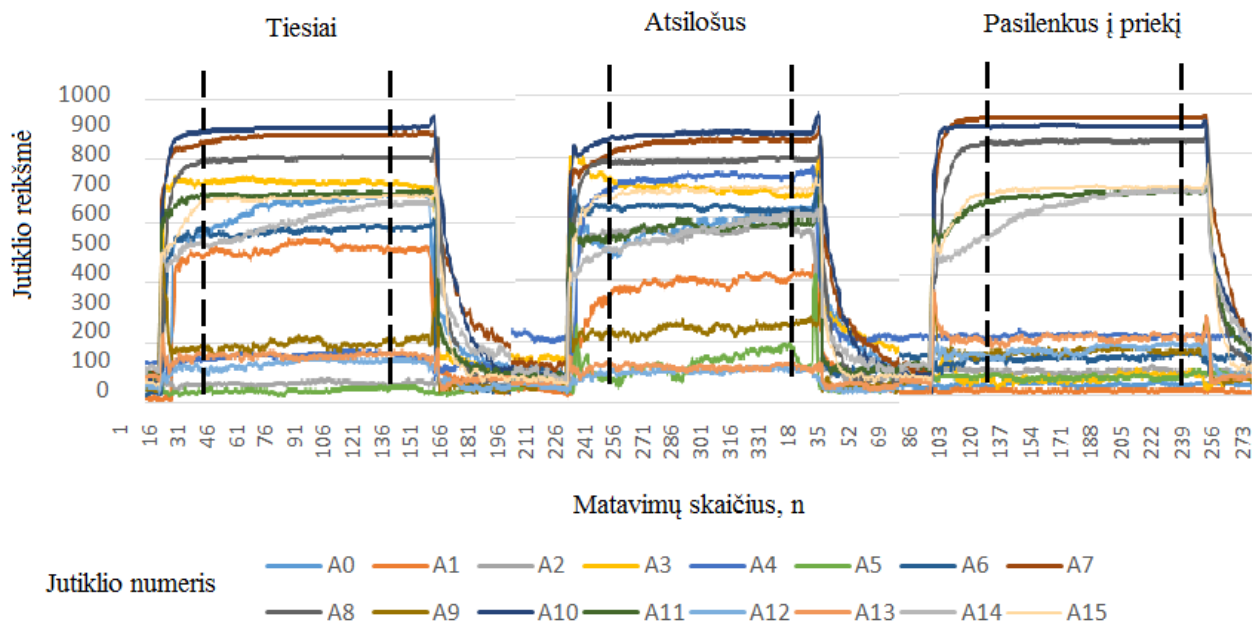
2.9 pav. Sistemos jutiklių numeracija ant kėdės (a) bei išdėstymo pavyzdys ant slėgio matricos (b)

Vieno žmogaus tyrimo gautų duomenų grafiko pavyzdys pateiktas 2.10 pav.



2.10 pav. Vieno žmogaus tyrimo gautų duomenų grafikas

Atsižvelgiant į tiriamųjų asmenų atsisėdimo ir atsistojimo paklaidą duomenys sukarponi į 14 sekundžių intervalus (2.11 pav), kurių metu buvo sėdima ant kėdės.



2.11 pav. Išskirtos trys skirtingos pozos, bei juoda brūkšnine linija pažymėti skaičiuojami intervalai sėdint tiesiai, atsilošus ir pasilenkus į priekį

Apskaičiuojama kiekvieno jutiklio verčių mediana minėtame intervale (2.2 lent.).

2.2 lentelė. Apskaičiuotų jutiklių verčių medianos skirtingose pozose pavyzdys

Jutiklis Poza	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
Tiesiai	495	354	70	816	141	44	635	874	812	190	903	673	111	151	579	673
Atsilošus	647	405	624	654	746	309	520	812	791	224	875	610	114	102	573	673
Į priekį	37	14	79	69	192	55	200	907	850	194	892	700	182	222	643	677

Jutiklių reikšmių duomenys perkeliama į *Scikit-learn* (scikit-learn.org) klasifikatorių. Klasifikatorius veikia *Python 3.7* (PSF) aplinkoje, duomenys nuskaitomi iš specialiai suformuotų tekstinių (.txt) failų (Priedas B). Grafikai braižomi naudojantis *Numpy*, *Pyplot* ir *Matplotlib* plėtiniais (Priedas B). Duomenys suskirstomi į apmokymo ir testavimo skirstinius. Kadangi 30 pozų palyginus nėra didelis duomenų kiekis, 80 % duomenų skiriama apmokymui, o 20 % testavimui. Klasifikavimui naudojamas geriausiai pozas klasifikavęs (Priedas C) k-artimiausio kaimyno metodas.

2.4 Automatinio sėdėjimo aukščio nustatymo ir komforto vertinimo metodika

Šiame tyrime tiriamasis žmogus automatiškai pakeliamas iš žemiausio kėdės aukščio (2.12 pav. a) į jam tinkamą ir patogų sėdėjimo aukštį (2.12 pav. b). Tyrime naudojama jutiklių sistema ir robotizuotos kėdės aukščio kėlimo funkcija. Tiriamo žmogaus sėdėjimo aukštis keliamas linijine pavara tol, kol jutikliai esantys priekinėje sėdimosioje dalyje (2.13 pav.) prisipaudžia prie kojų šlaunų apatinės dalies. Kėdės žemiausia pozicija yra gan aukšta – 42 cm, tačiau variklio eiga – 200 mm, todėl atsižvelgiant į tiriamųjų ūgį, buvo naudojamas reguliuojamo aukščio laiptelis.



a)



b)

2.12 pav. Tiriamojo kojų pozicija žemiausioje kėdės padėtyje (a) ir padėtyje kai kelio sąnarys sulenktas 90° kampu (b)



2.13 pav. Šiame tyrime naudojami A9, A11, A12, A13, A14 ir A15 jutikliai

Tinkamiausias kėdės aukštis nustatomas pagal šiuos tris žingsnius:

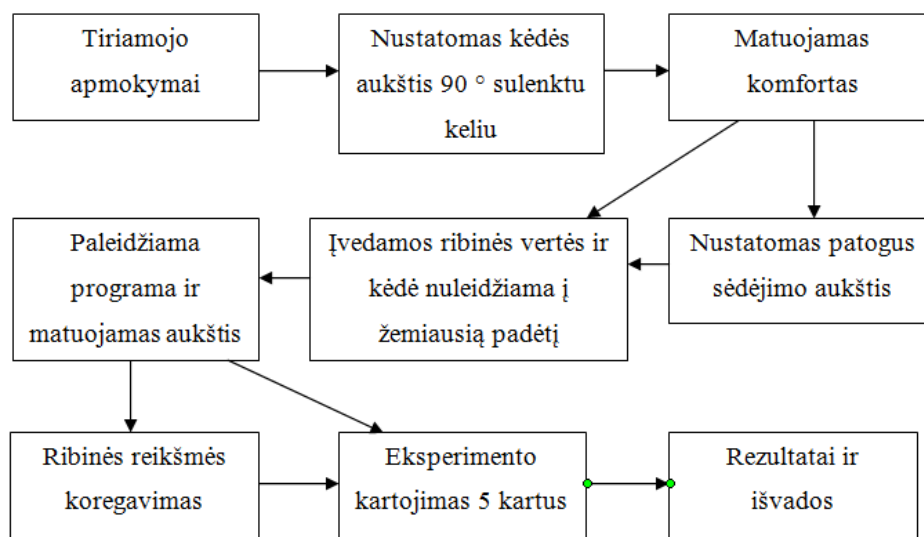
- 1) pakeliama kėdė iki aukščio, kuriame kelio sąnarys sudaro 90° kampą;
- 2) tiriamasis įvertina sėdėjimo komfortą skalėje nuo 0 iki 10;

3) jei nustatytas aukštis patogus (komforto įvertinamas daugiau nei 8), tęsiamas tyrimas, jei jaučiamas diskomfortas, kėdės aukštis nustatomas atsižvelgiant į tiriamajam patogiausią aukštį ir dar kartą įvertinamas komfortas.

Surinkti tyrimo rezultatai pildomi sutikimo anketoje (Priedas A). Nustačius tinkamą sėdėjimo aukštį, apskaičiuojama s_{rib} vertė, kuri lygi priekinės kėdės dalies jutiklių sumai (2.3 formulė).

$$s_{rib} = s_{A9} + s_{A11} + s_{A12} + s_{A13} + s_{A14} + s_{A15} \quad (2.3)$$

Tyrimui prasidėjus, kėdės aukštis didės tol, kol jutiklių slėgio vertė bus mažesnis nei s_{rib} vertė. Kai ji pasiekama, variklis sustoja. Jei kėdė pakelia per aukštai ar per žemai – koreguojamas s_{rib} , kol pasiekama mažiausia pakėlimo paklaida. Eksperimentas kartojamas dar 5 kartus, užpildoma rezultatų lentelė. Tyrimo vykdymo schema pavaizduota 2.14 paveiksle:



2.14 pav. Tyrimo schema

Tyrimo dalyvavo 5 sveiki asmenys, vyrai ir moterys, kurių amžius nuo 22 iki 40 metų. Buvo pakviesti asmenys, kurių antropometriniai duomenys ryškiai išsiskyrė, siekiant surinkti didesnio spektro duomenis ir juos išanalizavus formuluoti išvadas. Tiriamųjų demografiniai duomenys pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Tiriamųjų demografiniai duomenys

Tiriamąj Nr.	Amžius, m	Lytis (M/V)	Ūgis, m	Svoris, kg
1	40	M	1.70	64
2	22	M	1.65	52
3	22	V	1.80	77
4	23	M	1.68	58
5	26	V	1.88	65
1-5*	27 ± 7.4	-	1.74 ± 7.3	72 ± 15.1

*pateikti tiriamųjų duomenų vidurkiai ir nuokrypiai

Buvo sudaryti tiriamųjų kontingento atrankos kriterijai: asmenys turi būti pilnamečiai, sveiki, neturėjęs veikatos sutrikimų ar traumų, kurios galėtų nulemti sėdėsenos nukrypimus. Tiriamąj buvo instrukuoti apie tyrimo eigą, svarbą ir naudą. Jie sutiko savanoriškai dalyvauti eksperimente ir pasirašė sutikimo formą (Priedas A).

3. TYRIMŲ REZULTATAI IR APIBENDRINIMAS

3.1 Kėdės gaminimo rezultatai

Pagamintas kėdės prototipas keičia sėdėjimo aukštį, nugaros atlošo kampą, nugaros atlošo aukštį ir nugaros atlošo atramos kampą (3.1 pav.). Robotizavimui buvo pasirinktos linijinės pavaros, kurių eiga – 100 mm, jėga – 4000 N, joms privirinti šeši tvirtinimo taškai. Tvirtinimo vietos buvo apskaičiuotos taip, kad linijinės pavaros nekliūdytų viena kitos.



(a)



(b)



(c)



(d)



e)



f)

3.1 pav. Robotizuotos kėdės prototipas: a) nuleistas nugaros atlošas, b) pakeltas nugaros atlošas, c) pakeistas nugaros atlošo atramos kampas, d) pakeistas nugaros atlošo kampas, e) nuleista į žemiausią padėtį, f) pakelta į aukščiausią padėtį

Robotizuotos kėdės technikos charakteristikapateikta 3.1 lentelėje:

3.1 lentelė. Robotizuotos kėdės techninė charakteristika

Segmentas	Nugaros atlošas	Nugaros atlošo kampas	Nugaros alošo aukštis	Kėdės aukštis
Variklio galingumas	4000 N	4000 N	4000 N	6000 N
Stūmoklio eiga	100 mm	100 mm	100 mm	200 mm
Valdymas	Dvi rėlės - viena stūmoklio stumimui, kita stūmoklio traukimui			
Pozicijos matavimas	Potenciometras sukimosi ašyje	Potenciometras sukimosi ašyje	Krumpliastiebio ir krumpliaračio su potenciometru sistema	Krumpliastiebio ir krumpliaračio su potenciometru sistema
Keičiamų padėčių kampai	-61° – 17°	-26° – 18°	-	-
Intervalas	78°	44°	-	-
Pradinis aukštis	-	-	5 cm	45 cm
Didžiausias aukštis	-	-	15 cm	65 m

Robotizuotos kėdės segmentų valdymo tikslumo rezultatai pateikti 3.2 lentelėje:

3.2 lentelė. Robotizuotos kėdės segmentų valdymo tikslumas

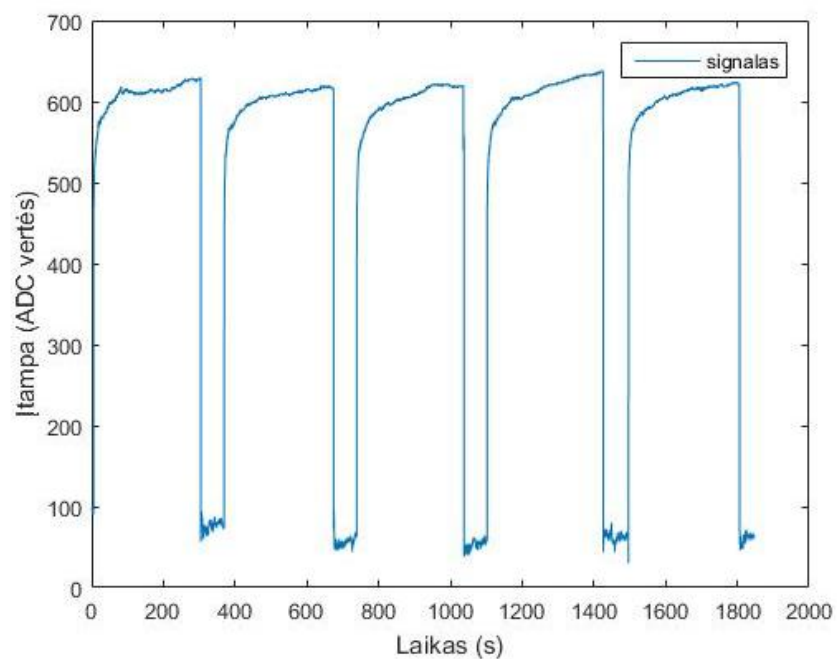
Segmentas	Nugaros atlošas	Nugaros atlošo kampas	Nugaros alošo aukštis	Kėdės aukštis
Tikslumas	±1°	±1°	±2 mm	±2 mm

Kėdės sistema, atsižvelgiant į sėdinčiojo pozą ir jo perduodamą slėgį į atramas, gali dinamiškai keisti sedėsenos biomechaniką. Sistemos galimos panaudojimo sritys yra:

- 1) dinamiškas sėdėjimo pozos koregavimas;
- 2) kėdės adaptavimas skirtingiems žmonėms;
- 3) dinaminis komforto / diskomforto matavimas.

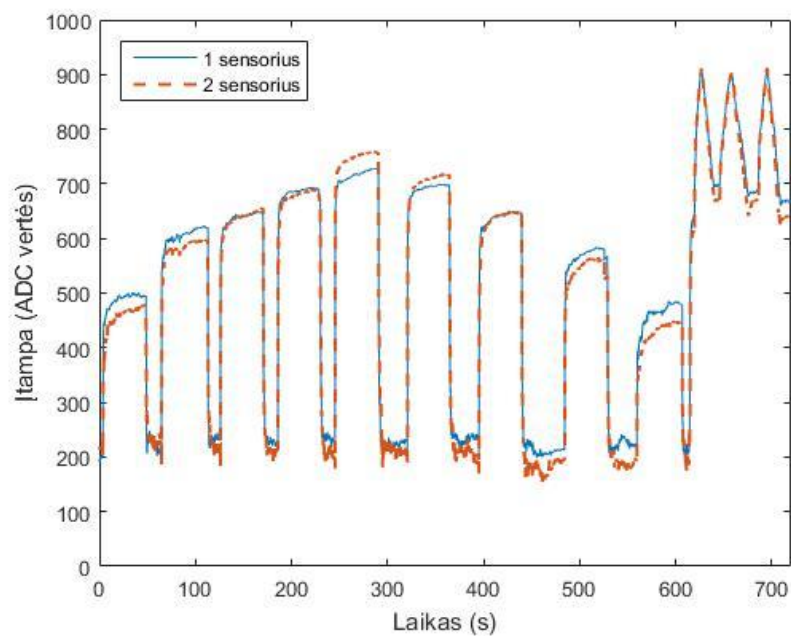
3.2 Jutiklių tikslumo parametrai

Duomenų vidutinis signalo amplitudės svyravimas tarp 5 minučių svorio matavimų – 0.34 % arba 17 mV, matavimo vidutinė paklaida – 1.12 % arba 56 mV (3.2 pav.)



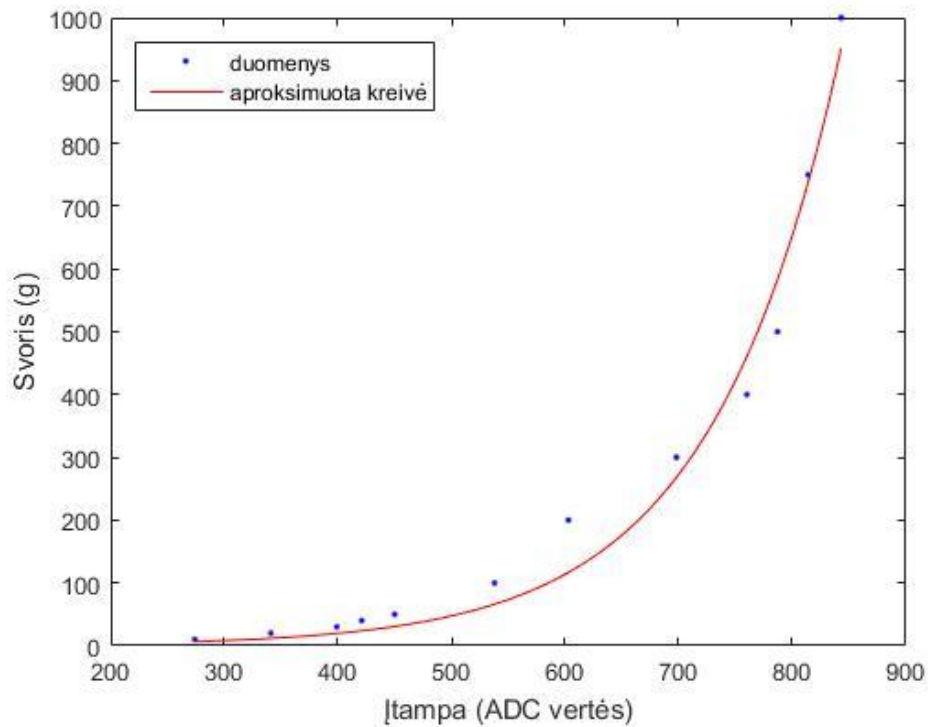
3.2 pav. Matuojamas tas pats svoris 5 kartus po 5 minutes darant vienos minutės pertrauką tarp matavimų

Norint išsiaiškinti ar visi jutikliai rodo vienodas reikšmes, du jutikliai buvo sudėti vienas ant kito, tokiu atveju jutiklius veikia vienoda jėga. Aliktas testas su 100–500–100 g svoriais (3.3 pav.)



3.3 pav. Du jutikliai lygiagrečiai matuoja svorius, nuo 600 sekundės matuojama atsitiktinė rankų apkrova

Signalų skirtumas dviejuose vienas ant kito esančiuose jutikliuose siekė 2.0 % arba 100 mV. Norint išsiaiškinti kokias vertes rodo jutiklio ADC, buvo atliktas svorio ir jutiklio reikšmės priklausomybės testas. Grafikas buvo gautas matuojant 10g – 1 kg svarmenis (3.4 pav.). Grafike aproksimuota jėgos ir jutiklio reikšmės priklausomybės kreivė, jos vertė pateikta 3.1 formulėje.



3.4 pav. Svorio ir jutiklio reikšmių priklausomybės grafikas

Aproksimuotos kreivės reikšmė:

$$F = e^{0.0087334x} \quad (3.1)$$

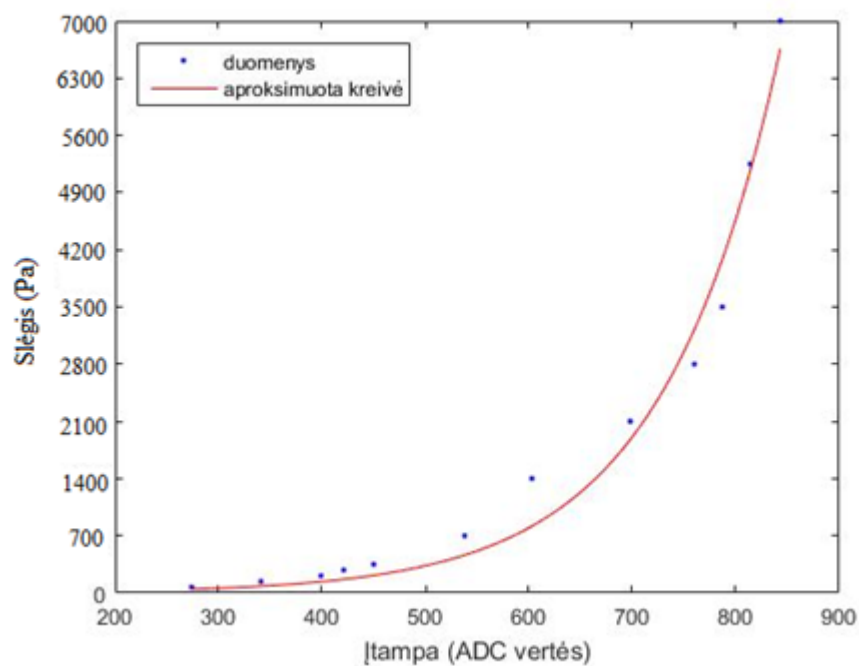
čia F – jėgos vertė gramais; x – jutiklio reikšmė

Pagal 2.2 formulę apskaičiuojama slėgio priklausomybė nuo jutiklio reikšmės:

$$p = \frac{e^{0.0087334x} \times 9,81}{1000 \times 0.0375 \times 0.0375} = 6,98 \times e^{0.0087334x} \quad (3.2)$$

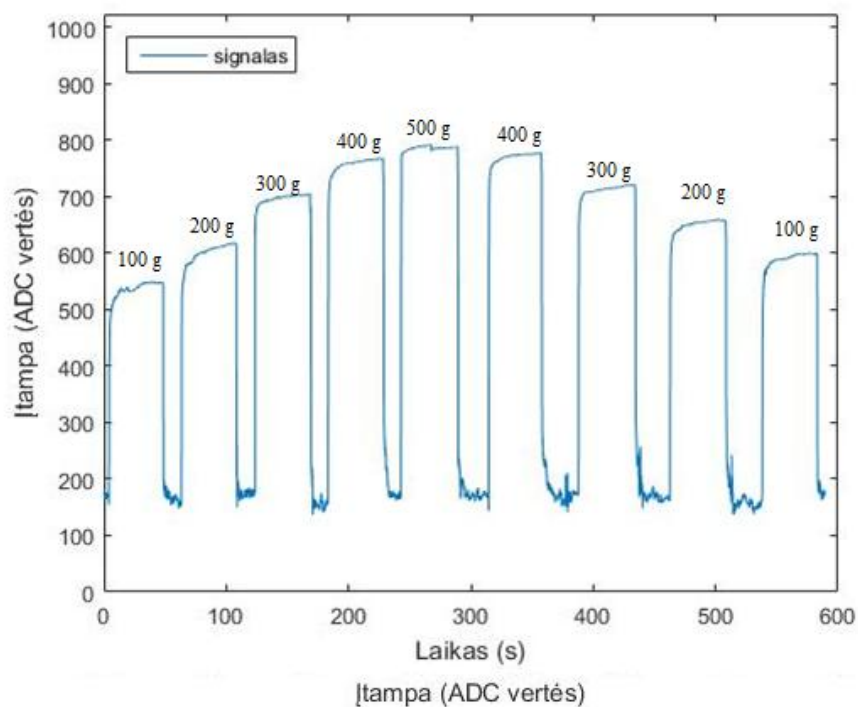
čia p – slėgis, Pa; x – jutiklio ADC reikšmė

Sudarytas slėgio priklausomybės nuo signalo reikšmės grafikas (3.5 pav.).



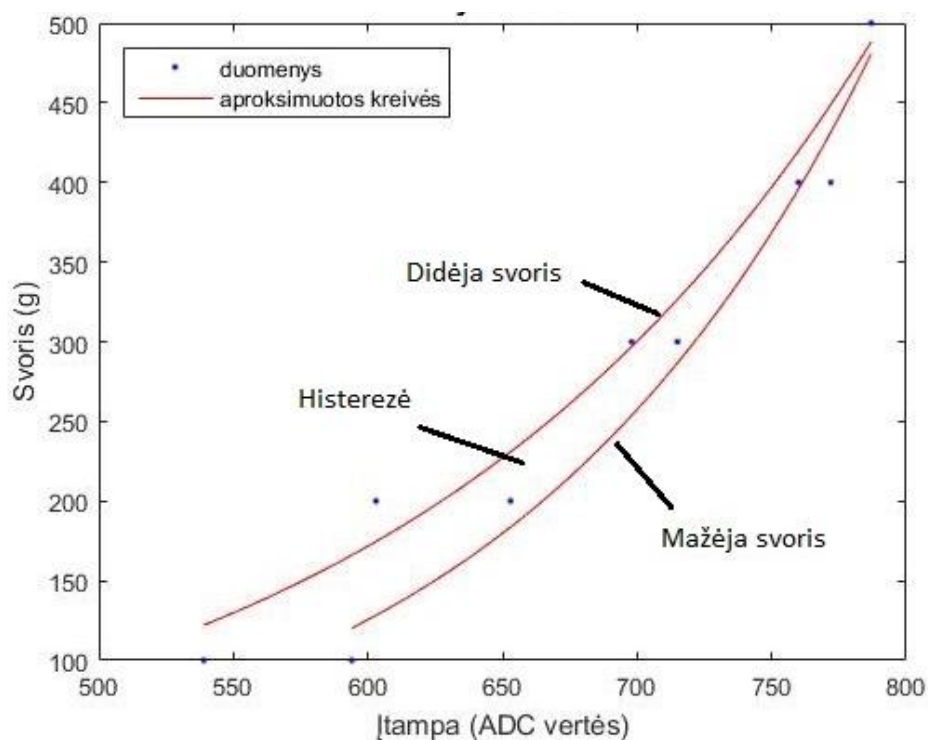
3.5 pav. Slėgio ir jutiklio reikšmių priklausomybės grafikas

Galiausiai matuojami svoriai nuo 100–500–100 g (3.6 pav.). Grafike matosi, kad svoriui mažėjant, jutiklio vertės išliko truputį didesnės.



3.6 pav. 100 – 500 – 100 g testas histerezei pamatuoti

Pagal matavimų skirtumus tarp didėjančio ir mažėjančio svorio, suformuotas histerezės grafikas (3.7 pav.).



3.7 pav. Histerezės grafikas. Svariui mažėjant fiksuojamos didesnės jutiklio reikšmės

Visų jutiklio bandymų rezultatai pateikti 3.3 lentelėje:.

3.3 lentelė. Visų jutiklio bandymų rezultatai

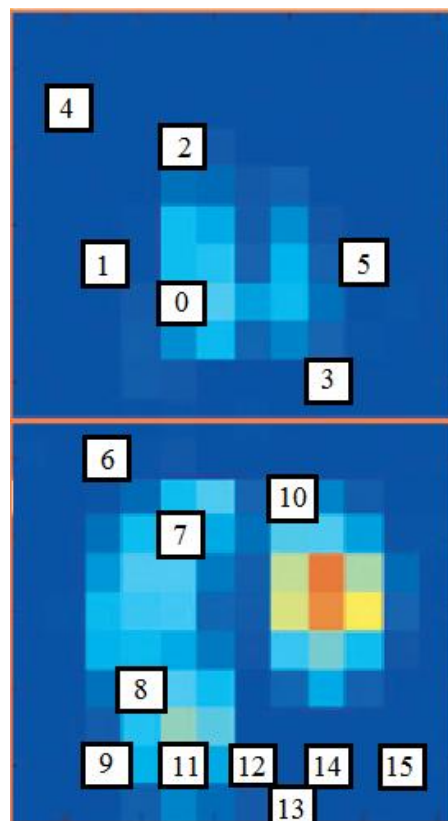
Bandymo nr.	Matuojamas dydis	Rezultatai
1	Vidutinė signalo amplitudės paklaida	Vieno matavimo vidutinė reikšmių paklaida – 1.12 % Paklaida tarp visų matavimų – 0.34 %
2	Atsikartojamumas tarp jutiklių	Paklaida tarp jutiklių 2.0 %
3	Svorio ir jutiklio reikšmių priklausomybė	$F = e^{0.0087334x}$
4	Slėgio ir jutiklio reikšmių priklausomybė	$p = 6,98 \times e^{0.0087334x}$
5	Histerezė	3.7 paveikslas

3.3 Sėdėjimo pozų atpažinimo rezultatai

Kiekvienos pozos tyrimų jutiklių reikšmių sklaidos diagramos pateiktos atitinkamai 3.9 pav., 3.10 pav. ir 3.11 pav., kad lengviau būtų vertinti rezultatus pridedama sistemos jutiklių numeracijos schema (3.8 pav).

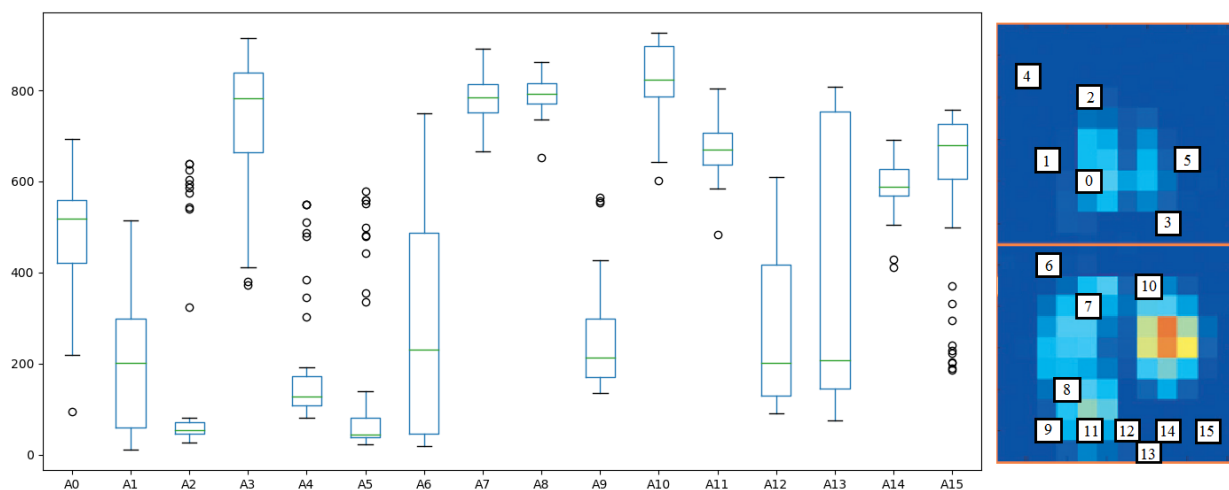


a)

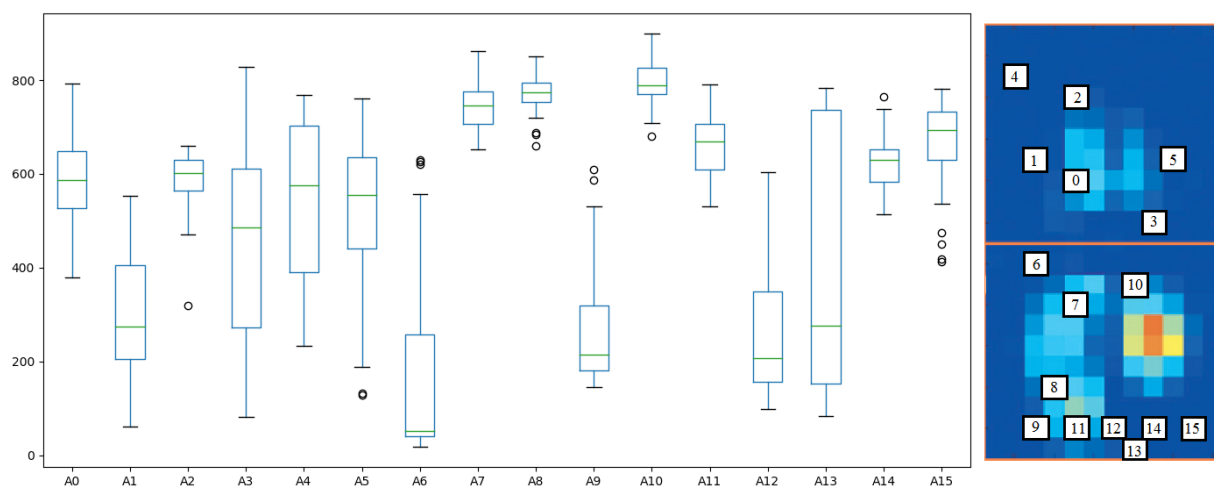


b)

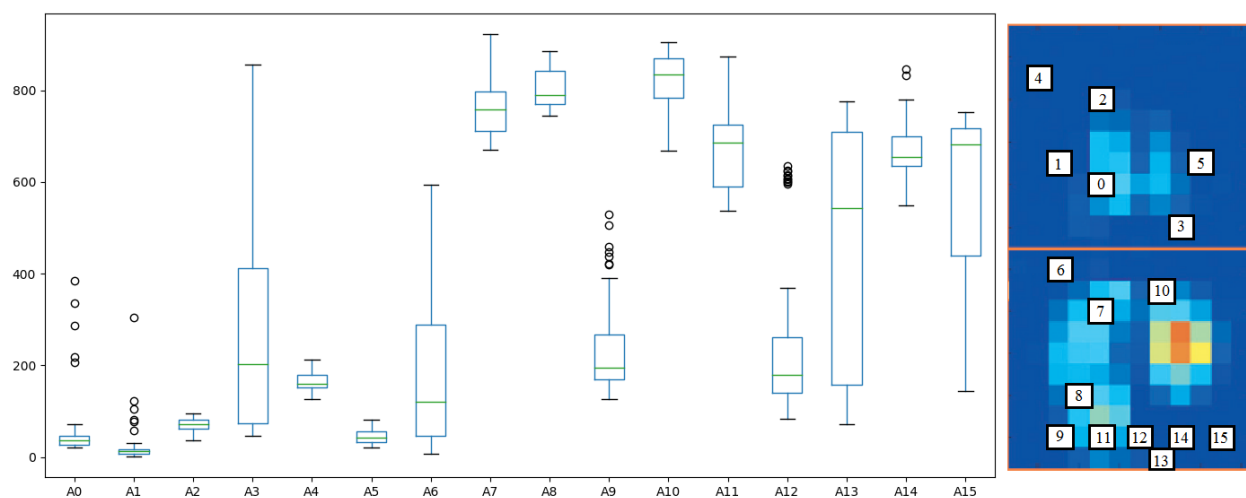
3.8 pav. Sistemos jutiklių numeracija ant kėdės (a) bei išdėstymopavyzdys antslėgio matricos (b)



3.9 pav. Tyrimų sėdint tiesiai jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos

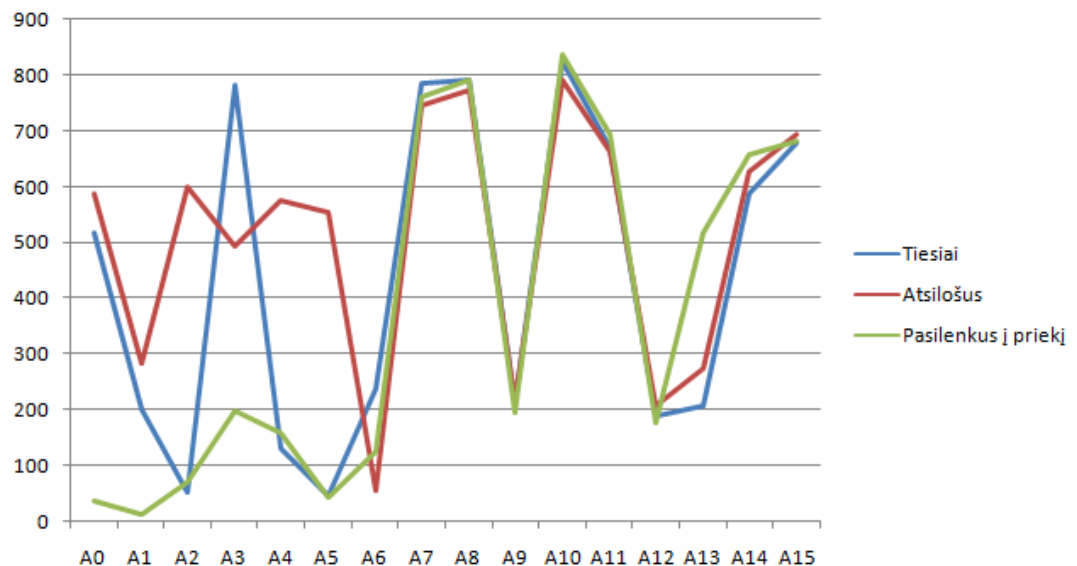


3.10 pav. Tyrimų sėdint atsilošus į nugaros atramą jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos



3.11 pav. Tyrimų sėdint pasilenkus į priekį jutiklių A0 – A15 reikšmių sklaidos diagramos

Iš diagramų skirtumų galima spręsti kurių jutiklių vertės skiriasi keičiantis pozoms, o kurie jutikliai rodo tas pačias vertes skirtingose. Diagramose taškeliais pažymėtos vertės, kurios nukrypsta daugiau nei 50 % nuo vidutinės reikšmės. Šie nuokrypiai dažniausiai pasitaiko kraštiniuose jutikliuose tokiuose kaip A6 ir A15, tai susiję su tiriamojo žmogaus atsisėdimo pozicija, kuri ne visada yra tiksliai toje pačioje kėdės vietoje. Visose pozose dideliais jutiklių reikšmių intervalais pasižymi jutikliai A3 ir A13. A3 jutiklio slėgis labai priklauso nuo gylio kuriuo atsisėdama į kėdę. A13 didelis reikšmių intervalas, nes kiekvieną kartą sėdantis, tiriamųjų žmonių kojos būna tai mažiau, tai daugiau praskėstos. Norint geriau matyti jutiklių reikšmių skirtumus sudarytas sėdėjimo pozų ir jutiklių reikšmių medianų grafikas (3.12 pav.).



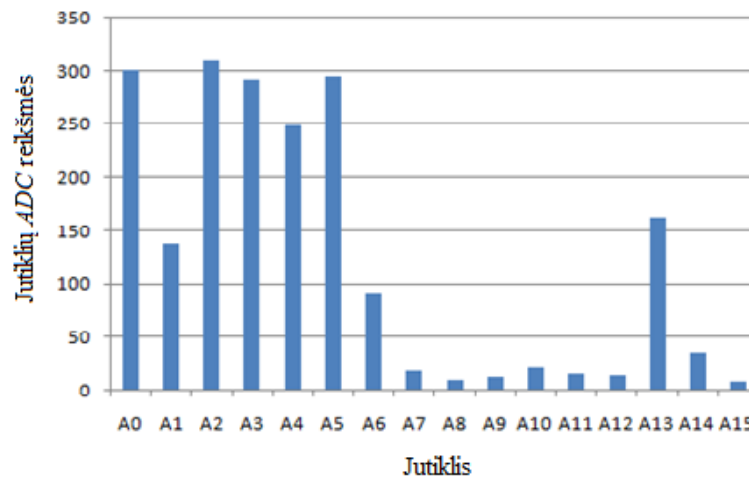
3.12 pav. Pozų ir jutiklių medianų reikšmių grafikas

Iš 3.11 pav. pateikto grafiko galima spręsti, kad labiausiai slėgis tarp sėdėjimo pozų kinta jutikliuose, esančiuose nugaros atramoje (A0, A1, A2, A3, A4, A5 ir A6 jutikliuose). Kiekviena poza buvo sėdėta 5 kartus po 10 kartų, taigi sudaryta 50 sėdėjimų rezultatų vidurkis ir paskaičiuota rezultatų standartinė deviacija (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Visų 50 sėdėjimų skirtingomis pozomis rezultatų vidurkis (jutiklių ADC reikšmės)

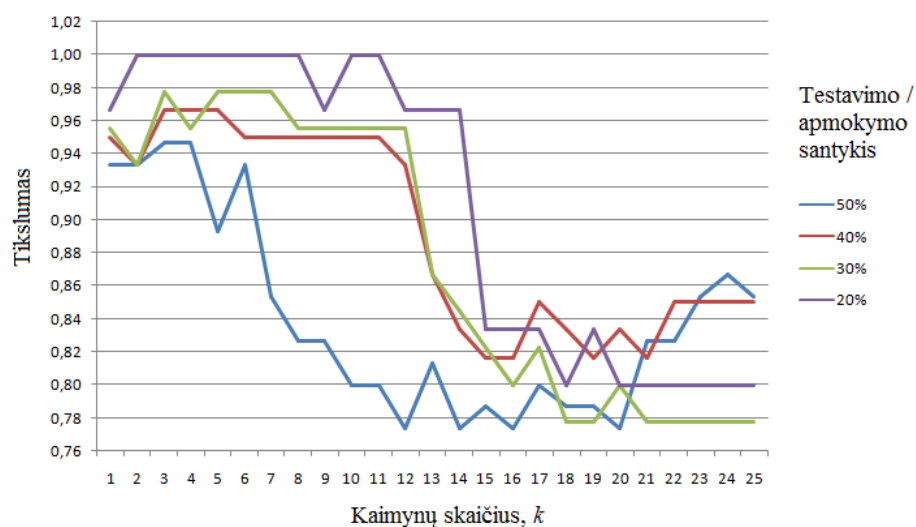
Jutiklis Poza	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tiesiai	519	202	54	784	131	47	238	786	791	214	825	669	190	207	588	68
Atgal	589	283	601	494	576	556	56	748	774	217	793	664	207	275	629	69
Į priekį	37	13	72	197	160	43	125	760	790	194	836	693	178	517	657	68
Stand. deviacija	300	139	311	293	249	295	92	19	10	13	23	16	15	163	35	8

Sudarytas kiekvieno jutiklio standartinės deviacijos grafikas (3.13 pav.).



3.13 pav. Jutiklių standartinė deviacija tarp trijų pozų visų bandymų rezultatų medianos

Dėl pozų panašumo, jutiklių esančių sėdimojoje dalyje vertės skiriasi mažiau nei esančių nugaros atloše. Išimtis yra A13 jutiklis, tačiau jo vertės kinta dėl kintamos kojų pozicijos. Jutiklių duomenis iš visų 150 sėdėjimų sukelti į geriausiai klasifikavusio k-artimiausio kaimyno klasifikatorių (3.14 pav.). Klasifikatorius priskiria tinkamiausią pozą nežinomiems (testavimo) bandymams. Jis skaičiuoja kaimynus, esančius arčiausiai nežinomo bandymo reikšmių (A1–A15). Kurios pozos kaimynų yra daugiau šalia nežinomo matavimo reikšmės (A1–A15), tai pozai ir priskiriamas bandymas.



3.14 pav. Klasifikatoriaus tikslumas esant skirtingoms k – kaimynų reikšmėms

Klasifikatorius geriausiai klasifikavo duomenis esant nustatytam skaičiuojamųjų kaimynų skaičiui $k = 3$. Sudaryta rezultatų 3.5 lentelėje:

3.5 lentelė. Klasifikavimo rezultatai bei spėjimų matricos, kai $k = 3$

Testavimo imtis, %	20 %			30 %		
Klasifikuota poza	Tiesiai	Atsirėmus	Į priekį	Tiesiai	Atsirėmus	Į priekį
Tiesiai	11	0	0	17	0	1
Atsirėmus	0	11	0	0	16	0
Į priekį	0	0	8	1	0	10
Tikslumas, %	100 %			96 %		
Testavimo imtis, %	40 %			50 %		
Tiesiai	19	0	0	28	3	0
Atsirėmus	0	20	0	0	21	0
Į priekį	2	0	19	1	0	22
Tikslumas, %	97 %			95 %		

Rezultatai rodo, kad klasifikatorių apmokant su 80 % duomenų, pasiekiamas 100% spėjimo tikslumas. Tačiau apmokymo imtį sumažinus iki 50 %, tikslumas sumažėja iki 95 %. Dažniausiai painiojamos pozos yra sėdint tiesiai ir sėdint pasilenkus į priekį. Tai atsitinka dėl to, kad tiriamieji sėsdami poza į priekį, atsisėda kiek giliau kėdėje. Atsisėdus kiek giliau tiriamųjų nugaros liečiasi prie nugaros atlošo, dėl to padidėja jutiklių A1, A0, A3 ir A5 reikšmės, ko pasekoje klasifikatorius supainioja pozas.

3.4 Automatinio sėdėjimo aukščio nustatymo rezultatai

Pirmoje tyrimo dalyje buvo nustatytas tiriamajam asmeniui patogus sėdėjimo aukštis, rezultatai pateikti 3.6 lentelėje:

3.6 lentelė. Patogaus aukščio nustatymo rezultatai.

Tiriamąjo nr.	Lytis	Ūgis, cm	Svoris, kg	Komfortas su 90° kelių kampu	Kėdės aukštis su 90° kelių kampu, cm	Komfortas pakoregavus aukštį į patogų	Patogus aukštis, cm
1	mot.	165	52	8	40	10	42
2	vyr.	180	77	10	41	-	-
3	mot.	170	64	8	43	10	48
4	mot.	165	58	7	42	10	48
5	vyr.	188	65	10	49	-	-

Nustačius tinkamą aukštį užfiksuotos jutiklių vertės ir paleista programa. Bandymų rezultatai pateikti 3.7 lentelėje

3.7 lentelė. Automatinio aukščio pakėlimo bandymų rezultatai

Tiriamąo nr.	1	2	3	4	5
Nustatytas patogus aukštis, cm	42	41	48	48	49
Bandymas nr. 1	42	41	48	48	47
Bandymas nr. 2	42	41	49	50	48
Bandymas nr. 3	41	41	4	49	48
Bandymas nr. 4	41	42	48	50	48
Bandymas nr. 5	41	41	47	48	48
Paklaida, cm	±0,6	±0,2	±0,4	±1	±1,2

Bendra visų bandymų paklaida $\pm 0,68$ cm. Tiriamasis žmogus tik tris kartus bandymų metu pakeltas į aukštį su didesne nei 1 cm paklaida. Dalį paklaidos sudaro tiriamųjų kojų judesiai kėdėje. Šią paklaidą galima sumažinti, jei po kiekvieno klaidingo bandymo ribinė vertė būtų pakoreguota.

3.5 Apibendrinimas

Rezultatai rodo kad jutiklių tikslumas yra pakankamas naudojimui sėdėsenos atpažinimui. Šie jutikliai buvo sudėti į robotizuotą kėdę, kurios kampų valdymo tikslumas $+1^\circ$, o kėdės aukščio ir nugaros alošo ± 2 mm. Kėdė neprarado savo konstrukcinio tvirtumo, stabilumo po modifikacijų ir yra paprastai valdoma kompiuteriu. Jutiklių sistema atpažino tris pagrindines sėdėjimo pozas didesniu nei 95% tikslumu. Dažniausiai klasifikatorius painiojo sėdėjimo tiesiai ir sėdėjimo pasilenkus į priekį pozas. Pasitelkus robotizuotos kėdės ir jutiklių sistemos funkcijas, sukurta programa pakelianti žmogų į jam patogų sėdėjimo aukštį. Bandymų metu pakėlimo paklaida siekė $\pm 0,68$ cm.

DISKUSIJA

Sukurtos sistemos tyrimų rezultatai patvirtino lūkesčius, kad galima tiksliai (>95%) atpažinti sėdėjimo pozas bei sukurti išmanią sėdėjimo sistemą. Tačiau metodika, pagal kurią atlikti tyrimai, gali ne visada atspindėti realiai pasitaikančias kėdės naudojimo sąlygas. Naudojami jutikliai susidurtų su kėblumais matuojant sėdinčiojo žmogaus pozas visą dieną. Taip pat, norint tiksliau nustatyti sėdinčiojo pozą, reikėtų įvertinti daugiau galimų sėdėjimo pozų, tam reiktų surinkti daugiau bandymų duomenų klasifikatoriaus apmokymui. Kadangi ne visiems žmonėms yra patogi 90° sulenktų kelių poza (3.6 lent.), sukurta programa pakėlimui į tankamą aukštį nėra visiškai išmani ir „savarankiška“ ją reikia sukalibruoti kiekvienam žmogui atskirai. Naudojamo klasifikatoriaus pozų spėjimo tikslumui dar galėjo turėti įtakos tai, kad klasifikatoriaus apmokymui buvo naudojamos tiesioginės reikšmės iš jutiklių *ADC*, tačiau kaip parodė tyrimai, *ADC* reikšmės nėra tiesiogiai proporcingos slėgiui (3.2 formulė, 3.5 pav.). Darbe daug darbo buvo įdėta į robotizuotos kėdės nugaros atlošo valdymą, tačiau tyrimai su nugaros atlošo pritaikymu taisyklingai sėdėsenai taip ir nebuvo atlikti, kadangi teorinėje dalyje išsiaiškinta, kad taisyklinga sėdėsena neturi tikslios numatytos kūno biomechaninės pozicijos, toks tyrimas reikalautų kur kas sudėtingesnės metodikos.

Verta pažymėti, kad sistema be pozų atpažinimo, taip pat 98 % tikslumu atpažino kuris žmogus sėdi ant kėdės, tačiau šiai funkcijai reikalingi ankstesni to žmogaus sėdėjimo duomenys klasifikatoriaus apmokymui. Taip pat sistema parodė gerus atpažinimo rezultatus su papildomomis pozomis, kurių metu drąstiškai pasikeičia slėgio pasiskirstymas (pvz.: sėdint ištiesus kojas).

Sistemos bendra pagaminimo kaina neviršija 30 € ribos. Vieno jutiklio medžiagų kaina nesiekia 0.10 €, o gaminant didesnę kiekį šią kainą galima dar labiau sumažinti. Pagal darbe pateiktą metodiką šią sistemą galima nesunkiai pasigaminti namų sąlygomis. Sistemą galima pagaminti taip, kad ją lengva būtų perkelti nuo vienos kėdės ant kitos. Taip pat pateikta metodika jutiklių duomenų vizualizavimui, šios funkcijos pagalba sistemą galima naudoti edukaciniais tikslais, kaip priemonę padedančią mokytis taisyklingo sėdėjimo įpročių. Norint šią sistemą panaudoti darbo veiklos tyrimuose, ją lengvai galima patobulinti pajungiant papildomus jutiklius ant stalo, klavietūros, ranktūrių ir pan.

IŠVADOS

1. Sukurta robotizuota kėdė su keturiais judančiais segmentais, kuri gali keisti sėdėjimo padėtį. Kėdė valdoma linijinėmis pavaromis (tikslumas $\pm 1^\circ$, ± 2 mm), potenciometais nustatoma segmentų pozicija.
2. Pagaminti rankų darbo pjezorezistyvūs jutikliai iš *Velostat* plėvelės. Atlikti jutiklio bandymai parodė, kad jutikliai yra pakankamai tikslūs ir juos galima naudoti sėdėsenos atpažinimo sistemoje.
3. Sukurta jutiklių sistema gebanti atpažinti sėdėjimo pozas. Sėdėjimo pozų atpažinimo sistema gali didesniu nei 95% tikslumu atpažinti tris pagrindines sėdėjimo pozas – sėdėjimą tiesiai, atsilošus atgal, pasilenkus į priekį.
4. Pasinaudojant robotizuotos kėdės funkcijomis ir sėdėjimo atpažinimo sistema, sukurta programa pagal kurią atsisėdęs į kėdę žmogus pakeliamas į jam tinkamą ir komfortabilų aukštį. Pakėlimo aukščio paklaida mažesnė nei 1 cm.

PRIEDAS A

DALYVAVIMO TYRIME SUTIKIMO FORMA

Darbo tema: „Išmaniosios sėdėjimo sistemos kūrimas ir tyrimas“

Tyrimo tikslas: surinkti sėdėsenos duomenis iš tiriamųjų asmenų, juos panaudoti sėdėjimo pozų atpažinimui ir automatinio aukščio kėlimo sistemos tikslumui nustatyti.

Tyrimo uždaviniai:

1. Naudojantis sukurta sėdėjimo sistema pamatuoti slėgį trijose pagrindinėse sėdėjimo pozose: sėdint tiesiai, sėdint atsilošus ir sėdint pasilenkus į priekį.
2. Išsiaiškinti ir pamatuoti tiriamojo asmens sėdėjimo aukštį, kai keliai sulenkti 90° kampu, bei išsiaiškinti ir pamatuoti komfortabilų ir patogiausią sėdėjimo aukštį.

Tyrimo eiga:

1. Tiriamasis žmogus sėda ant kėdės 20 sekundžių ir po to atsistoja 10 sekundžių. Tai kartojama 10 kartų visoms 3 pagrindinėms pozoms: sėdint tiesiai, sėdint atsilošus ir sėdint pasilenkus į priekį. Tyrimo trukmė 15 min, įrašomi 30 sėdėjimų rezultatai.
2. Tiriamajam nustatomas kėdės aukštis kai keliai sulenkti 90° laipsnių, tiriamasis įvertina patogumą pagal lentelėje (1 lent.) pateiktas komforto vertes nuo 1 iki 10, aukštis bei komforto lygis įvedamas į tyrimo rezultatų lentelę (2 lent.).
3. Jei komfortas mažesnis nei 8, kėdės aukštis koreguojamas pagal tiriamojo pageidavimus, dar kartą įvertinamas patogumas, jei įvertinama daugiau nei 8, aukštis įvedamas į tyrimo rezultatų lentelę, jei mažiau nei 8, dar kartą koreguojamas aukštis pagal tiriamojo pageidavimus.
4. Paleidžiama programa, kuri automatiškai pakelia tiriamąjį į nustatytą patogų aukštį, jei pakeliama į aukštį su didele paklaida, pakoreguojama programa ir bandymas pradedamas iš naujo.
5. Bandymai kartojami 5 kartus ir rezultatai suvedami į lentelę.

1 lentelė. Komforto vertinimo kriterijai

Įvertinimas	Komforto atitikmuo	Įvertinimas	Komforto atitikmuo
1	Jaučiu didelį skausmą	6	Man nepatogu
2	Man skauda	7	Man patogu
3	Jaučiu dilgčiojimą kūne	8	Man gana patogu
4	Tirpsta kūnas	9	Man labai patogu
5	Negaliu nusiraminti	10	Aš visiškai atsipalaidavęs

2 lentelė. Tyrimo rezultatai

Tiriamąjo nr.	Lytis	Ūgis, cm	Svoris, kg	Komfortas su 90° kelių kampu	Kėdės aukštis su 90° kelių kampu, cm	Komfortas pakoregavus aukštį į patogų	Patogus aukštis, cm

Tiriamųjų konfidencialumo užtikrinimas: Tiriamųjų konfidencialumas yra užtikrinamas ir asmeniniai duomenys (vardas, pavardė, gimimo metai), įrašyti į sutikimo dalyvauti tyrime formą prieš atliekant tyrimą, nebus skelbiami viešai ir nebus publikuojami jokiose ataskaitose. Tyrimo rezultatai skelbiami tik apibendrinti.

Aš _____, sutinku dalyvauti Vilniaus
(Vardas pavardė, gimimo metai)

Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto Biomechanikos katedros studento Arno Martinaičio atliekamame tyrime, skirtame surinkti duomenis sėdėsenos atpažinimo sistemai ir atlikti automatinio aukščio nustatymo tyrimą. Tiriamąjo asmens parašas _____.

Tyrimą atliks: VGTU Mechanikos fakulteto, Biomechanikos katedros magistrantūros II kurso BMfm–16 gr. stud. Arnas Martinaitis.

Darbo mokslinis vadovas

Kristina Daunoravičienė

Tyrėjas

Arnas Martinaitis

PRIEDAS B

1 lentelė. Tiriamojo nr. 1 sėdėjimo pozų tyrimo rezultatai

position_label	position_name	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
1	middle	517	466	73	805	146	103	245	854	789	216	884	628	123	119	518	681
1	middle	640	514	67	726	157	40	572	879	807	194	903	684	133	157	587	672
1	middle	492	354	70	816	141	44	635	874	812	190	903	673	111	151	579	673
1	middle	527	239	69	784	146	41	596	877	819	206	909	650	119	127	581	680
1	middle	674	447	67	872	142	67	507	880	801	244	891	667	147	91	599	686
1	middle	611	422	72	851	134	31	664	885	808	214	915	642	113	177	560	652
1	middle	220	38	66	673	111	38	496	742	652	144	739	484	97	147	429	499
1	middle	531	300	82	783	120	35	703	885	808	181	916	648	132	190	557	673
1	middle	327	91	69	808	125	31	749	874	813	192	926	612	126	207	554	634
1	middle	519	275	71	871	120	40	538	877	790	214	907	620	119	105	577	651
2	back	695	487	601	819	718	472	411	815	795	228	836	618	124	102	539	724
2	back	523	373	571	679	648	236	443	783	719	262	814	620	112	98	514	620
2	back	484	333	583	828	707	132	549	818	789	244	854	573	99	91	570	717
2	back	648	416	584	783	736	416	208	858	802	206	850	669	132	83	574	700
2	back	572	391	560	700	732	129	630	852	788	240	877	572	105	118	556	691
2	back	647	405	624	654	746	309	520	812	791	224	875	610	114	102	573	673
2	back	522	478	470	628	745	189	627	861	789	228	894	573	107	110	567	694
2	back	793	375	601	721	734	339	557	838	794	195	878	653	106	111	578	683
2	back	667	504	489	664	745	205	620	857	787	256	899	598	121	107	582	674
2	back	753	437	557	604	730	256	491	847	795	219	863	682	132	96	599	680
3	front	68	29	84	130	193	51	125	865	851	257	847	732	162	119	666	731
3	front	38	17	89	88	199	65	158	898	843	186	883	694	145	160	650	684
3	front	39	17	83	63	203	59	129	922	838	152	894	663	156	195	649	685
3	front	37	16	95	73	199	72	115	894	850	199	876	698	176	233	671	702
3	front	37	14	79	69	192	55	200	907	850	194	892	700	182	222	643	677
3	front	37	8	85	71	201	59	163	874	844	179	873	703	149	191	670	701
3	front	23	4	92	80	212	56	164	859	838	212	874	680	142	161	658	722
3	front	26	5	86	161	207	70	176	888	843	218	868	673	151	113	635	742
3	front	23	4	70	59	198	71	111	878	840	207	848	693	131	105	620	720

PRIEDAS C

Input:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

positions = pd.read_table('visi_bandymas.txt')
positions.head()
print(positions['position_name'].unique())
print("\n")
feature_names = ['A0', 'A1', 'A2', 'A3', 'A4', 'A5', 'A6', 'A7', 'A8', 'A9', 'A10', 'A11', 'A12', 'A13', 'A14', 'A15']
X = positions[feature_names]
y = positions['position_label']

from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.5)

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
scaler = MinMaxScaler()
X_train = scaler.fit_transform(X_train)
X_test = scaler.transform(X_test)

from sklearn.linear_model import LogisticRegression
logreg = LogisticRegression()
logreg.fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of Logistic regression classifier: {:.2f}'.format(logreg.score(X_test, y_test)))

from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
clf = DecisionTreeClassifier().fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of Decision Tree classifier: {:.2f}'.format(clf.score(X_test, y_test)))

from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
knn = KNeighborsClassifier(n_neighbors=3)
knn.fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of K-NN classifier: {:.2f}'.format(knn.score(X_test, y_test)))

from sklearn.discriminant_analysis import LinearDiscriminantAnalysis
lda = LinearDiscriminantAnalysis()
lda.fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of LDA classifier: {:.2f}'.format(lda.score(X_test, y_test)))

from sklearn.naive_bayes import GaussianNB
gnb = GaussianNB()
gnb.fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of GNB classifier: {:.2f}'.format(gnb.score(X_test, y_test)))

from sklearn.svm import SVC
svm = SVC()
```

```
svm.fit(X_train, y_train)
print('Accuracy of SVM classifier: {:.2f}'.format(svm.score(X_test, y_test)))

from sklearn.metrics import confusion_matrix
pred = knn.predict(X_test)
print('KNN confusion matrix: \n')
print(confusion_matrix(y_test, pred))
```

Output:

```
['middle' 'back' 'front']
```

Accuracy of Logistic regression classifier on test set: 0.89

Accuracy of Decision Tree classifier on test set: 0.84

Accuracy of K-NN classifier on test set: 0.97

Accuracy of LDA classifier on test set: 0.87

Accuracy of GNB classifier on test set: 0.87

Accuracy of SVM classifier on test set: 0.88

KNN confusion matrix:

```
[[26  0  2]
 [ 0 20  0]
 [ 0  0 27]]
```

Process finished with exit code 0

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Barba, R., De Madrid, A. P. and Boticario, J. G. (2015). Development of an inexpensive sensor network for recognition of sitting posture, *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, 13(5), 1–9.
- Bush, T. R. and Hubbard, R. P. (2007). Support Force Measure of Midsized Men in Seated Positions. *Journal of Biomechanical Engineering*, 129(1), 58–72.
- Christensen, J. M., McBarron, J. W. and McConville, J. T. (1995). Anthropometry and Biomechanics. *NASA-STD-3001Space Flight Human-System Standard*, 1(3).
- Claus, A. P., Hides, J. A., Moseley, G. L. and Hodges, P. W. (2016). Thoracic and lumbar posture behaviour in sitting tasks and standing: Progressing the biomechanics from observations to measurements, *Applied. Ergonomics*, 53, 161–168.
- Coleman, N., Hull, B. P. and Ellitt, G. (1998). An empirical study of preferred settings for lumbar support on adjustable office chairs, *Ergonomics* 41, 401–419.
- Cooper, R. A. (1998). *Wheelchair selection and configuration*. New York: Demos Medical Publishing, 410 p.
- De Looze, M. P., Kuijt-Evers, L. F. and van Dieen, J. (2003). Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, *Ergonomics* 46, 985–997.
- Dreischarf, M., Bergmann, G., Wilke, H. J. and Rohlmann, A. (2010). Different arm positions and the shape of the thoracic spine can explain contradictory results in the literature about spinal loads for sitting and standing, *Spine*, 35, 2015–2021.
- Engstrom, B. (2002). *Ergonomic Seating A True Challenge Wheelchair Seating and Mobility Principles*. Sweden: Posturalis Books.
- Fiola, K. and Staats, Z. (2011). *Manual Wheelchair Seating and Mobility*. Vancouver: Tirr Memorial Hermann.
- Geffen, P. V., Reenalda, J. and Veltink, P. H. (2008). Effects of sagittal postural adjustments on seat reaction load, *Journal of Biomechanical Engineering* 41(10): 2237–2245.
- Geffen, P. V., Veltink, P. H. and Koopman, B. F. (2009). Can Pelvis Andle be Monitored From Seat Support Forces in Healthy Subjects?. *Journal of Biomechanical Engineering*, 131(1).
- Groenesteijn, L., Vink, P., de Looze, M. and Krause, F. (2009). Effects of differences in office chair controls, seat and backrest angle design in relation to tasks, *Applied Ergonomics*, 40, 362–370.
- Gonzalez-Banos, H. (2001). A randomized art-gallery algorithm for sensor placement, *Proceedings of the seventeenth annual symposium on Computational geometry*, 232–240.
- Goossens, R. H., Teeuw, R. and Snijders, C. J. (2005). Sensitivity for pressure difference on the ischial tuberosity. *Ergonomics*, 48, 895–902.

- Giovanelli D. and Farella, E. (2016). Force Sensing Resistor and Evaluation of Technology for Wearable Body Pressure Sensing, *Journal of Sensors*, 1(8), 1–9.
- Hall, R., Desmoulin, G. and Milner, T. (2008). A technique for conditioning and calibrating force-sensing resistors for repeatable and reliable measurement of compressive force, *Journal of Biomechanics*, 41, 3492–3495.
- Ham, R., Aldersea, P. and Porter, D. (1998). *Wheelchair Users and Postural Seating A Clinical Approach*. London: Churchill Livingstone.
- Harrison, D. D., Harrison, S. O., Croft, A. C., Harrison, D. E. and Troyanovich, S. J. (2000). Sitting biomechanics, part II: Optimal car driver's seat and optimal driver's spinal model, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 23(1), 37–47.
- Harrison, D. D., Harrison, S. O., Croft, A. C., Harrison, D. E. and Troyanovich, S. J. (1999). Sitting biomechanics part I: Review of the literature, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 22(9), 594–609.
- Haynes, S. and Williams, K. (2008). Impact of seating posture on user comfort and typing performance for people with chronic low back pain. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(1), 35–46.
- Helander, M. G. and Zhang, L. (1997). Field studies of comfort and discomfort in sitting, *Ergonomics*, 40, 895–915.
- Holtermann, A., Hansen, J. V., Burr, H. and Sogaard, K. (2010). Prognostic factors for longterm sickness absence among employees with neck-shoulder and low-back pain, *Scand. J. Work Environ. Health*, 36, 34–41.
- Howe, T. and Oldham, J. (2001). *Posture and balance in Human Movement An Introductory Text*. London: Churchill Livingstone.
- Hoy, D., Brooks, P., Blyth, F. and Buchbinder, R. (2010). The epidemiology of low back pain, *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol*, 24, 769–781.
- Kalantari, M., Dargahi, J., Kövecses, J., Mardasi, M. G. and Nouri, S. (2012). A New Approach for Modeling Piezoresistive Force Sensors Based on Semiconductive Polymer Composites, *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, 17(3), 572–581.
- Kang, K. M. (2002). Seating for task performance; creating seating systems that allow weight-bearing, pelvic stability and mobility. *Rehab Management: The Interdisciplinary Journal of Rehabilitation*, 74(15), 54–56.
- Lange, M. L. (2001). Focus on Positioning philosophies. *Occupational Therapy Practice*, 15–16.
- Lee, B. W. and Shin, H. (2016). Feasibility Study of Sitting Posture Monitoring Based on Piezoresistive Conductive Film-Based Flexible Force Sensor, *IEEE Journ. of Sensors*, 16(1), 15–16.

- Lee, B. W., Son, J. H., Kang, N. H., Park, I. M. and Park, Y. H. (2009). Finite-element analysis of deformation behaviors in random-whisker-reinforced composite, *Scr. Mater.*, 61(6), 580–583.
- Leitkam, S. T., Bush, T. R. and Li, M. (2011). A Method for Quantifying Seated Lumbar Curvatures. *Journal of Biomechanical Engineering*, 133(1), 86–106.
- Linder-Ganz, E. and Grefen, A. (2009). Stress Analysis Coupled With Damage Laws to Determine Biomechanical Risk Factors for Deep Tissue Injury During Sitting. *Journal of Biomechanical Engineering*, 131(1), 120–140.
- Lis, A. M., Black, K. M., Korn, H. and Nordin, M. (2007). Association between sitting and occupational LBP. *European Spine Journal*, 16(2), 283–298.
- McBeth, J. and Jones, K. (2007). Epidemiology of chronic musculoskeletal pain, *Best Pract. Res. Clin. Rheumatol.*, 21, 403–425.
- Meyer, J. (2008). Textile pressure sensor: Design, error modeling and evaluation, *Thesis*, 1–68.
- Meyer, J., Arnrich, B., Schumm, J. and Troster, G. (2010). Design and modeling of a textile pressure sensor for sitting posture classification. *IEEE Sensors Journal*, 10(8), 1391–1398.
- Milivojevich, A., Stanciu, R., Russ, A., Blair, G. R. and Van Heumen, J. D. (2000). Investigating Psychometric and Body Pressure Distribution Responses to Automotive Seating Comfort, *Human in Factor*.
- Minkel, J. L. (2001). Long term rehab: Sitting outside of the box: clinicians need to let go of the 90/90/90 seating rule to explore more efficacious alternatives. *RehabManagement – The Interdisciplinary Journal of Rehabilitation*, 14(82), 50–51.
- Moes, N. C. C. M. (2005). Analysis of sitting discomfort, a review, *Contemporary Ergonomics*, 200–204.
- Mutlu, B., Krause, A., Forlizzi, J., Guestrin, C. and Hodgins J. (2007). Robust, low-cost, non-intrusive sensing and recognition of seated postures. *Proc. 20th Annu. ACM Symp. User interface Softw. Technol.*, 4(1), 1–149.
- Reinecke, S. M., Hazard, R. G. and Coleman, K. P. (2002). A continuous passive lumbar motion device to relieve back pain in prolonged sitting. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety IV*, 971–976.
- Shaghayegh, B., Ahmadi, A., Maroufi, N. and Sarrafzadeh J. (2016). Evaluation of forward head posture in sitting and standing positions. *European Spine Journal*, 25(11), 3577–3582.
- Steele, J., Bruce-Low, S., Smith, D., Jessop, D. and Osborne, N. (2016). Determining the reliability of a custom built seated stadiometry set-up for measuring spinal height in participants with chronic low back pain. *Appl. Ergonomics*, 53, 203–208.

Tóth C. D. (2000) Art gallery problem with guards whose range of vision is 180° , *Computational Geometry*, 17(3–4), 121–134.

Vergara, M. and Page, A. (2000). System to measure the use of the backrest in sitting–posture office tasks. *Applied Ergonomics*, 31(3), 247–254.

Vink, P. and Hallbeck, S. (2012). Editorial: comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*. 43, 271–276.

Vos, G. A., Congleton, J. J., Moore, J. S., Amendola, A. A. and Ringer, L. (2006). Postural versus chair design impacts upon interface pressure. *Applied Ergonomics*. 37, 619–628.

Xie, Z., Young-Jin, Y. and Chul-Kyoung, L. (2007). Simulation of electrical resistivity of carbon black filled rubber under elongation, *Journal of macromolecular science*, 46(1), 561–567.

Zemp, R., Taylor, W. R. and Lorenzetti S. (2016). Seat pan and backrest pressure distribution while sitting in office chairs, *Applied Ergonomics*, 53, 1–9.

Zenk, R., Franz, M., Bubb, H. and Vink, P. (2012). Technical note: spine loading in automotive seating, *Applied Ergonomics*, 43, 290–295.

Zhang, X. W., Pan, Y., Qiang, Z. and Xiao-Su, P. (2000). Time Dependence of Piezoresistance for the Conductor-Filled Polymer Composites, *Journal of Polymer Science*, 38, 2739–2749.