

TARTU ÜLIKOOL

LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND

Tehnoloogiainstituut

Arvutitehnika eriala

Martin Appo

**ROBOTMANNEKEENI KATTELE RÕHUTUNDLIKKUSE
LISAMISE VÕIMALUSTE UURIMINE**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Juhendaja: Teet Tilk
Elektroonikaspetsialist

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2015

Sisukord

1	Sissejuhatus.....	4
2	Valdkonna ülevaade.....	5
2.1	Robotmannekeen ja virtuaalne proovikabiin.....	5
2.2	Surveandurid	6
2.3	Riide mõju inimese kehale	7
2.4	Valdkonna saavutused.....	8
3	Anduri valimine	9
3.1	Piesoelektrilised andurid	9
3.2	Mahtuvuslikud andurid	9
3.3	Takistuslikud andurid.....	10
3.4	FSR 402.....	11
3.5	Sobiliku skeemi valimine.....	13
4	Riistvaralahendus.....	16
4.1	Funktsionaalsed nõuded	16
4.2	Kasutatud komponentide nimekiri	17
4.3	Elektroonikaskeem	20
4.4	Trükkplaat	22
4.5	Kontrolleri tarkvara	23
5	Tarkvaralahendus.....	25
5.1	Funktsionaalsed nõuded	25
5.2	Programmeerimiskeele ja teekide valik	26
5.3	Valminud tarkvara ja selle kasutamine	29
6	Prototüübi testimine	31
6.1	Testimise eesmärgid.....	31

6.2	Testimise käik	31
6.3	Tulemused	32
7	Järeldused ning ettepanekud	38
7.1	Katsetamisel esile kerkinud probleemid	38
7.2	Võimalikud rakendused.....	41
8	Kokkuvõte.....	43
9	Summary	44
10	Kasutatud kirjanduse loetelu.....	45
11	Lisad.....	48
12	Lihtlitsents.....	69

1 Sissejuhatus

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on leida võimalusi robotmannekeeni katele rõhutundlikkuse tekitamiseks. Selleks valmistatakse prototüüp kasutades valituks osutunud tehnoloogiat. Valmiva prototüübi ülesandeks on anda arusaam, kas selline tehnoloogia on kate valmistamiseks sobiv ning jõuda järeldusele vastava meetodi puudustest ja tugevustest. Esmane eesmärk mannekeeni kate rõhutundlikkusele on visualiseerida riide survet inimese kehal. Lõputöös püütakse sellele leida aga veel võimalikke rakendusi.

Bakalaureusetöö on jaotatud suures plaanis neljaks. Esmalt uuritakse erinevaid tehnoloogiaid robotmannekeenile rõivalt avalduva rõhu mõõtmiseks. Ülesande täitmiseks valitakse välja anduri tüüp ning koostatakse selle anduri katsetamiseks elektroonikaseade. Kuna andurilt näitude lugemiseks on mitmeid mooduseid, valitakse välja sobivaim elektroonikaskeem ülesande täitmiseks. Teises osas valmib riistvaralahendus, mille abil saab korraga mitmest andurist näidud lihtsa vaevaga arvutisse. Kolmandaks valmib graafiline kasutajaliides personaalarvutile. See peab visualiseerima andurite näitusid robotmannekeeni fotol ning võimaldama konfiguratsioonide muutmist ja saadud näitude salvestamist. Programm peab olema võimalikult kasutajamugav. Lõpuks testitakse valminud prototüüpi ning selle põhjal tehakse soovitud lahenduse edasiseks arendamiseks.

2 Valdkonna ülevaade

2.1 Robotmannekeen ja virtuaalne proovikabiin

Internetikaubandus on praegusel ajal iseenesest mõistetav. Selle osakaal kaubanduses aina kasvab, kuna inimesed on oma loomult mugavad. 2014. aasta jaanuaris Suurbritannias läbi viidud küsitluse [1] kohaselt on aga inimestele suurimaks ebamugavuseks internetist ostmisel see, et riideid ei ole võimalik selga proovida. Enamik internetipoode on lahendanud probleemi riiete tasuta tagastamisega. Selle tagajärjel on tekkinud olukord, kus inimesed tellivad mitu suurust ühte riidet ning peale kodus selga proovimist tagastavad mittesobivad. Eelnevalt mainitud uuringu kohaselt on riiete poodi tagastamise protsent 25. Samas küsitluses ka selgus, et kui oleks olnud võimalik proovida riideid virtuaalses proovikabiinis, siis oleks tagastatud riiete kogus olnud märkimisväärselt väiksem. Seega aitab virtuaalne proovikabiin säästa loodust, aega ja raha.

Proovikabiini teenust internetis pakuvad mitmed ettevõtted ning teenuse elluviimiseks kasutatakse erinevaid 3D ja pilditöötamise tehnoloogiaid. Fits.me on kasutusele võtnud robotmannekeenid, mis suudavad võtta mõni tuhat erinevat kehakuju. Iga riide puhul tehakse mannekeeni erinevatest asenditest pildid ning talletatakse need koos mannekeeni põhimõõtudega andmebaasi. Põhimõõtudeks on rinnaümbermõõt, taljeümbermõõt ning puusaümbermõõt.

Kui internetiostleja sisestab oma mõõdud ja valib meeldiva rõivaeseme, kuvatakse talle pilt koos valitud rõivaga tema mõõtudega virtuaalsest avatarist (joonis 1).



Joonis 1. Virtuaalne riietusruum (<http://www.fits.me>)

Teenuse kasutaja peab seejärel visuaalselt hindama, kuidas talle see rõivas selga sobib. Et teenus veel efektiivsem oleks, tuleks kliendile anda tagasisidet ka muude tegurite kohta. Üheks visuaalile alternatiivseks tagasisideviisiks on anda infot rõiva mõju kohta keha pinnale. Selle järgi on võimalik kindlaks teha, kust ning mil määral rõivaese pitsitab.

2.2 Surveandurid

Surveandur on seade, mis muundab mingile pinnale avaldunud surve töödeldavaks signaaliks. Selleks signaaliks võib olla näiteks vool või pinge. Enamasti muutub signaal vastavalt anduri deformeerumisele.

Rõhutundlik kate on kiht, mis koosneb surveanduritest ning elektrit juhtivatest radadest. Katte eesmärgiks on anda edasi infot, millise surve all on mingi osa mannekeeni pinnast.

Käesolevas bakalaureusetöös on surveanduri valimisel tähtsad järgnevalt loetletud tegurid.

Anduri mõõtmed ja materjal

Rõhusensorid peavad olema selliste mõõtmetega, et need ei mõjutaks mannekeeni väljanägemist, kui sellel riie seljas on. See eeldab, et need peavad olema piisavalt õhukesed.

Kuna mannekeeni pind on kumer, siis peavad kattes kasutatavad andurid olema painduvad. Samuti peab nende painutamine mõjutama andurite omadusi minimaalselt, et vältida võimalikke kõrvalekaldeid tegelikust pinnale mõjuvast jõust.

Anduri rõhutundliku osa pindala mõjutab anduri tundlikkust. Mida väiksem on see ala, seda paremini mõjutab rõivas andurit. See tuleneb rõhu kontseptsioonist, mis määratakse kui kindlale pinnale rakendatud jõu mõju ja on kirjeldatud valemiga 1.

$$P = \frac{F}{S}$$

P – rõhk (Pa)

F – jõud (N)

S – pindala (m^2)

Valem 1. Rõhu arvutamine

Anduri tundlikkus

Tähtsaimad anduri tundlikkust väljendavad tegurid on diapason ja resolutsioon. Diapason ehk ulatus iseloomustab mõõdetavate väärtuste vahet. Resolutsioon näitab väikseimat sammu kahe väärtuse vahel.

Anduri tundlikkus peab olema ligilähedane või parem kui inimese naha oma. Inimese naha resolutsioon on 2 mm ning ulatus 0,4 ... 10 N. [2]

Andurite tüübid

Kuigi andureid on valida paljude erinevate seast, tuleb valik teha eelkõige anduri mõõtmete järgi. On kolme tüüpi andureid, mis rõhutundliku katte jaoks piisavalt õhukesed ja painduvad: piesoelektrilised, mahtuvuslikud ning takistuslikud andurid.

2.3 Riide mõju inimese kehale

Andurite valimise eelduseks on vaja teada, kuidas mõjutab rõivas inimese keha. On tarvis välja selgitada, milliste jõudude mõjumisel tekib inimesel ebamugavustunne. Selliseid uuringuid on maailmas juba tehtud. Lähtudes Yazd ülikooli väljaandest [10] on inimesel mugav, kui riide

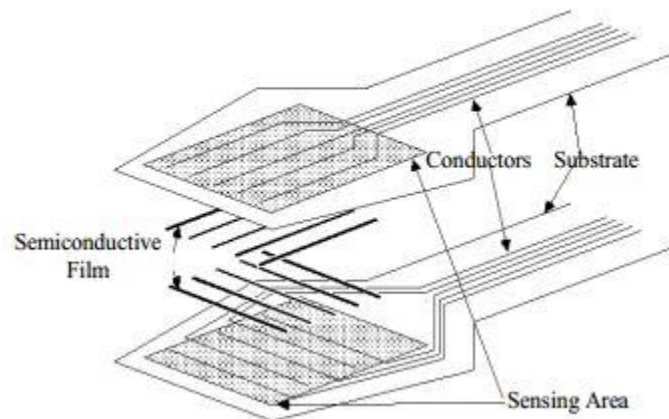
poolt mõjub tema kehale jõud 0...15 cN ruutsentimeetri kohta. Kui surve on 15...25 cN/cm² siis on survet tunda ning see tekitab juba ebamugavust. Inimesel on väga ebamugav kui näit ületab 25 cN/cm².

Nende andmete põhjal on võimalik valida välja andur tema mõõtevahemiku (N) ning mõõtetundliku ala (cm²) järgi.

2.4 Valdkonna saavutused

USA ettevõtte Tekscan on välja töötanud suuremõõtmelise surveanduri. Firma on spetsialiseerunud õhukeste rõhu- ja surveandurite arendamisele. Eesmärgiks on võimalikult täpsete, lihtsate ning soodsate andurite välja töötamine.

Tekscan iseloomustab oma väljaarendatud andurit kui tehislisku, painduvat rõhutundlikku nahka. See koosneb kahest 25-mikromeetrisest polüesterekihist. Mõlemal kihil on elektrit juhtivad rajad, mis on kaetud ka pooljuhtiva materjaliga. Kahe kihi kokkupanekul tekib ruudustik, mille joonte ristumiskohad moodustavad piesoelektrilise rõhuanduri (joonis 2). [2]



Joonis 2. Teckscan anduri ehitus

Sensor Products Inc. on maailmas juhtiv surve- ja rõhuandurite arendaja mis on loodud 1990. aastal. Nad on välja töötanud andurite süsteeme paljudele erinevatele rakendustele.

Sealhulgas on loodud näiteks Tactilus Bodyfitter, et mõõta survet magava inimese ja madratsi vahel. See mõõdab survet paljude sensoritega ning kaardistab ja kuvab seejärel saadud info. Need andurid põhinevad samuti piesoelektrilisel efektil. [3]

3 Anduri valimine

Anduri tüübi valik tuleb teha eelnevalt kirjeldatud tegurite põhjal: materjal, mõõtmed, diapsoon ja resolutsioon. Tuleb ka arvesse võtta andurite kättesaadavust ning hinda. Järgnevalt iseloomustatakse kolme põhilist surveandurite tüüpi ning valik tehakse eelnimetatud parameetrite põhjal.

3.1 Piesoelektrilised andurid

Piesoelektriline efekt on see, kui kindlas materjalis (näiteks kristallid, keraamilised materjalid või bioloogiline tahkis nagu luu) tekib selle deformeerumisel elektrilaeng. [4] Sõna piesoelekter on tulnud kreeka keelest ning tähendab elekter, mis on tulnud survest. [5] Laeng, mis sellisel anduril genereeritakse on otseses seoses sellele avaldatud jõuga. Kui avaldatud jõud püsib ühtlane, siis ka laeng kaob. [6] Piesoelektrilised sensorid on küll paindlikud ning tundlikud kuid mannekeeni rõhutundliku katte jaoks need ei sobi, kuna sellised andurid on sobilikud mõõtmaks üksnes dünaamilisi jõudusid. Riide mõju mannekeeni pinnale on aga suhteliselt staatiline.

3.2 Mahtvuslikud andurid

Mahtvuslikud surveandurid koosnevad kahest elektrit juhtivast plaadist ning nende vahelisest dielektrikust. Kui kaks elektrit juhtivat plaati on üksteisele piisavalt lähedal, siis on võimalik nende vahel tekkinud elektrilist mahtuvust mõõtes arvutada nende vahekaugus või nende kattuvus. Seda kirjeldab valem 2.

$$C = \frac{S}{d}$$

C – mahtuvus (F)

S – plaatide pindala (mm^2)

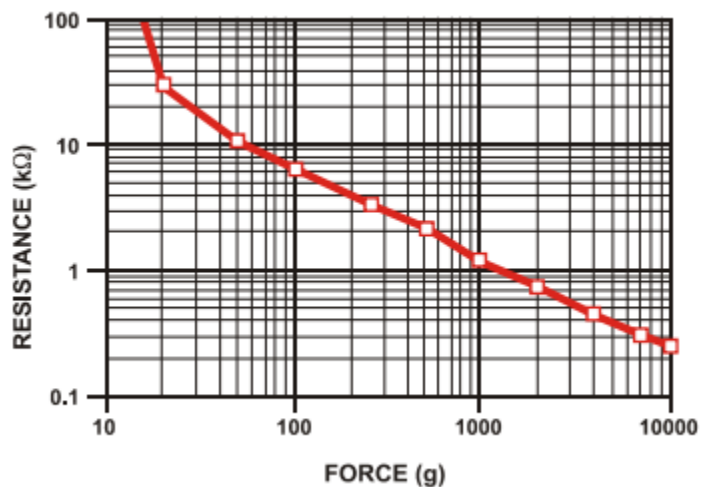
d – plaatide vahekaugus (mm)

Valem 2. Mahtuvuse arvutamine kahe plaadiga

Sellised sensorid võivad töötada kahel viisil. Esiteks, juhtivate plaatide nihutamisel üksteise suhtes muutub nende vahel olev mahtuvus. Seega saab arvutada jõu, mis nihutas plaate üksteise suhtes. Teiseks, plaatide vahelist kaugust mõjutades samuti muutub mahtuvus ning on võimalik teada saada jõud, mis surus plaate kokku. [7]

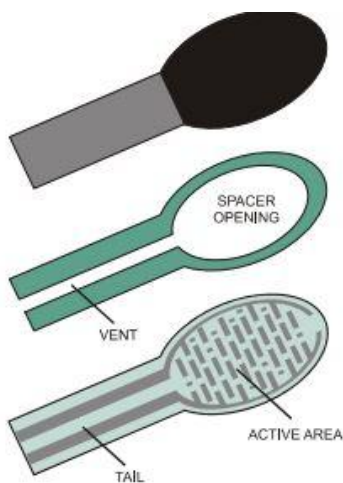
3.3 Takistuslikud andurid

Sellised sensorid on õhukesed ning neid on varieeruvate pinna mõõtmega. Nende tööpõhimõte seisneb takistuse muutumisel, kui anduri pinnale mõjub surve. Mida suurem jõud anduri pinnale mõjub, seda väiksemaks muutub anduri takistus. See suhe varieerub erinevate takistuslike andurite puhul. Joonisel 3 on toodud anduri FSR 402 takistuse sõltuvus rõhust.



Joonis 3. Takistuse sõltuvus rõhust anduril FSR 402 [8]

Interlink Electronics poolt välja töötatud andurid FSR 402 koosnevad kolmest kihist: juhtiva materjaliga kiht, aktiivala, kus on peal elektroodid ning tavaolekus neid kahte eraldav rõnga kujuline vahekiht (joonis 4). [8]



Joonis 4. Interlink anduri ehitus (FSR) [8]

Vastavalt andurile avaldunud survele puutuvad kokku juhtiva ning aktiivala pinnad ning andurit läbiva voolu takistus väheneb ning vastavalt pingele tõuseb (joonised 6, 7).

Oma omaduste ja mõõtmete poolest sobib just takistuslik andur täitmaks püstitatud ülesannet. Anduri tundlikkus peab jääma inimnaha tundlikkuse piiridesse (0.4...10 N) ning see peab olema õhuke. Kasuks tuleb ka anduri integreerimise lihtsus ning odav hind. Samuti on suureks eeliseks robustsus ja vastupidavus. Seda kõike pakubki Interlink Electronics andur FSR402.

3.4 FSR 402

See üks paljudest takistuslike andurite mudelitest (joonis 5) on oma mõõtmetelt 18,28 mm diameetriga ning 0,45 mm paksusega. Andur tunneb jõudusid 0,1...10 njuutonit, inimnaha tundlikkus jääb selle piiridesse. Inimesel tekib ebamugavustunne, kui rõhk nahale on 15 cN/cm². Andurit FSR 402 on võimalik lihtsalt kohandada endale vajamineva mõõtevahemiku mõõtmiseks. Andurit on testitud kümne miljoni mõõtmisega, nii et see on ka väga vastupidav. [9]



Joonis 5. FSR 402 [9]

Valitud anduri integreerimiseks on mitmeid mooduseid. Järgnevalt kirjeldatakse neist kahte.

Pingejagur

Lihtsaim viis muundada andurile mõjuv jõud signaaliks on toodud joonisel 6. Skeemil on kasutusel üks operatsioonivõimendi, takisti ning takistuslik andur. Väljundpinge on arvutatav järgmise valemi põhjal.

$$V_v = \frac{V}{1 + \frac{R_{fsr}}{R_m}}$$

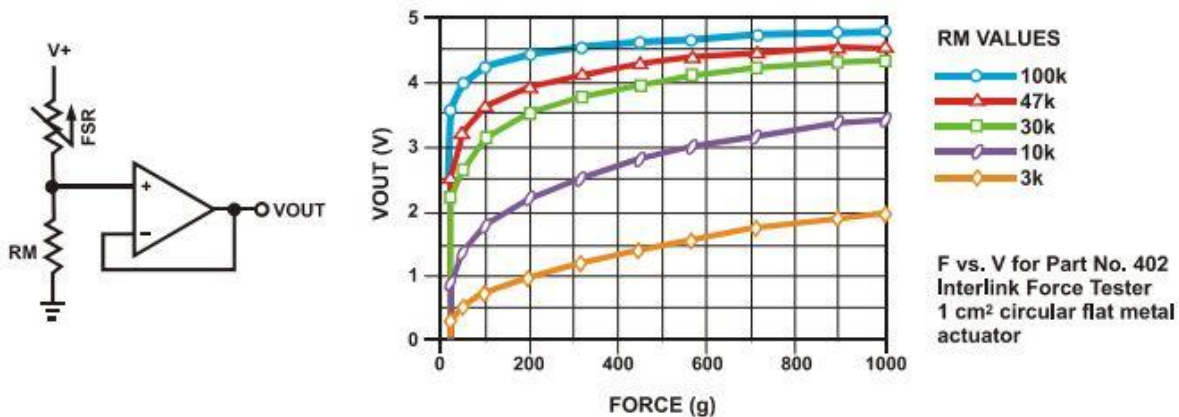
V_v - väljundpinge (V)

V – referentspinge (V)

R_{fsr} – anduri takistus (Ω)

R_m - mõõtetakistus (Ω) [8]

Mõõtetakistit muutes on võimalik lihtsalt mõjutada mõõdetavat vahemikku (joonis 6).



Joonis 6. Pingejaguriga skeem ning pinge-jõu vahekorra kõverad [8]

Vool-pingeks skeem

Sellises skeemis (joonis 7) on andur sisendiks vool-pingeks konverterile. Väljundpinget saab arvutada järgmise valemi järgi.

$$V_v = V \cdot \frac{-R_m}{R_{fsr}}$$

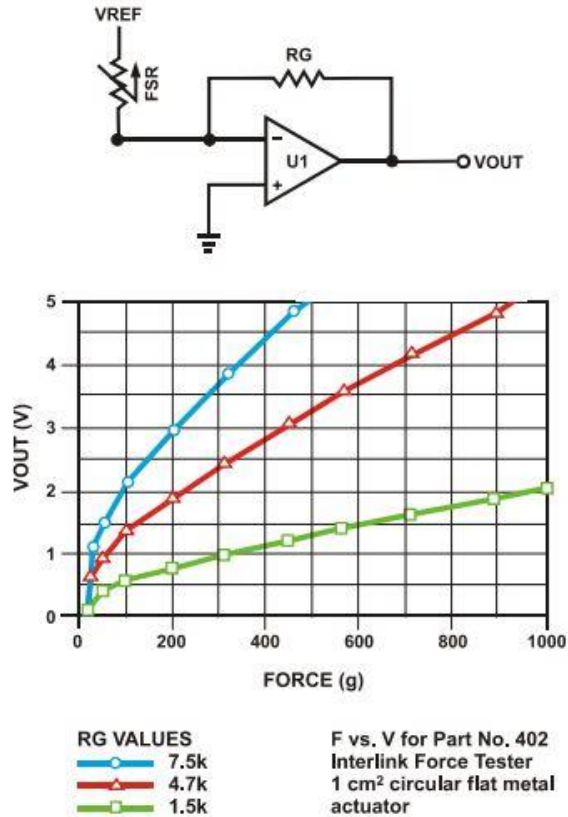
V_v – väljundpinge (V)

V - referentspinge (V)

R_m (joonisel 7 RG) – mõõtetakistus (Ω)

R_{fsr} - anduri takistus (Ω)

Nagu jooniselt näha, on sellise skeemi abil saadud väljund märkimisväärselt lineaarsem. Muutes R_m väärtust saab ka selle skeemi korral mõjutada mõõtevahemikku. [8]



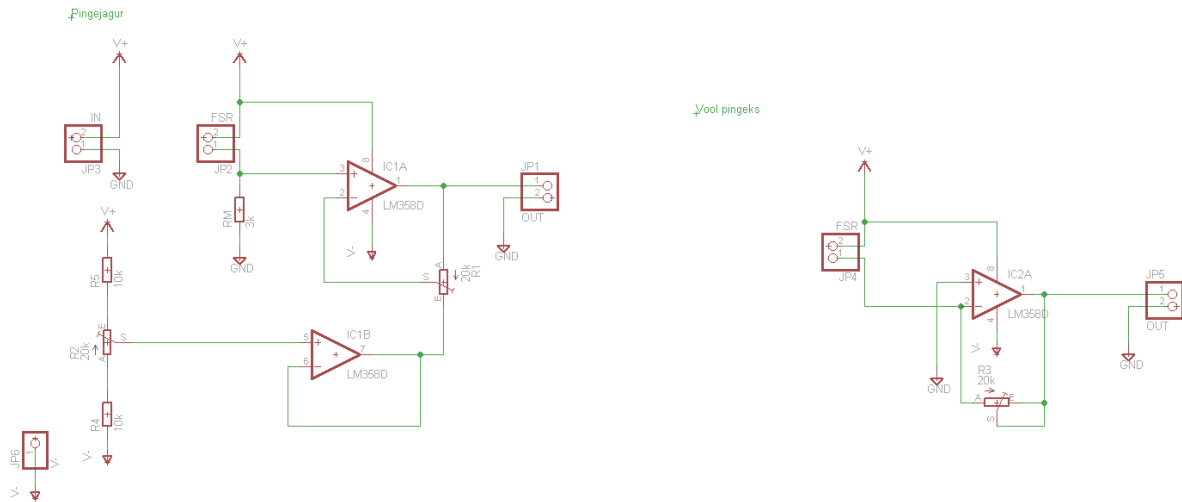
Joonis 7. Vool pingeks konverteriga skeem ning ping-jõu vahekorra kõverad [8]

3.5 Sobiliku skeemi valimine

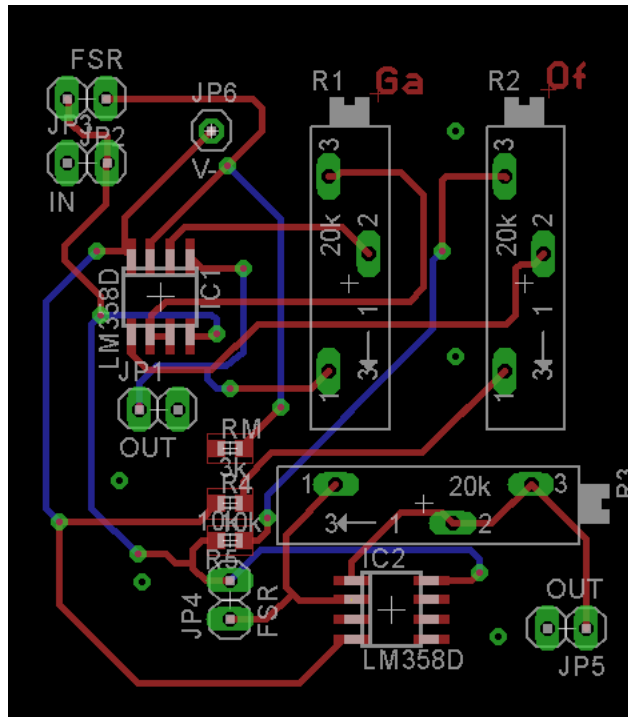
Enne mitut andurit multipleksiva riistvaralise lahenduse valmistamist, on vaja välja selgitada, milline lahendus ühe anduri mõõtmiseks on parim. Tuleb katsetada kahte eelnevalt kirjeldatud elektroonikaskeemi varianti. Selleks on vaja valmistada elektroonikaplaat, mille abil teha andurite mõõtmisi mõlemal meetodil.

Enne lahenduse valmistamist on vaja valida ligilähedane mõõtetakistus. Anduri tundliku osa pindala on umbes 2,5 cm², kui andurile mõjub jõud 15 · 2,5 cN, on inimesel juba ebamugav olla. Seega andurile mõjuvaks maksimaalseks jõuks tuleks valida 0,37 N, mis on ~38 grammi. Vaadeldes graafikuid (joonised 6, 7) vastab sellisele vahemikule umbes 10...20 kΩ takisti.

Järgnevalt näidatud joonised on elektroonikaskeem ja trükkplaadi disain ühe anduri katsetamiseks kasutatud riistvaralahendusest (joonised 8, 9). Elektroonikaskeemis on näha, et tavaliste takistite asemel on kasutatud potentsiomeetreid, mis on muudetava takistusega komponendid. Skeem koosneb kahest osast, pingejagur ning vool-pingeaks konverter. Pingejaguri osas on muudetud joonisel 7 nähtud skeemi nii, et on võimalik modifitseerida mõõtevahemikku.



Joonis 8. Ühe surveanduri testimiseks mõeldud elektroonikaskeem

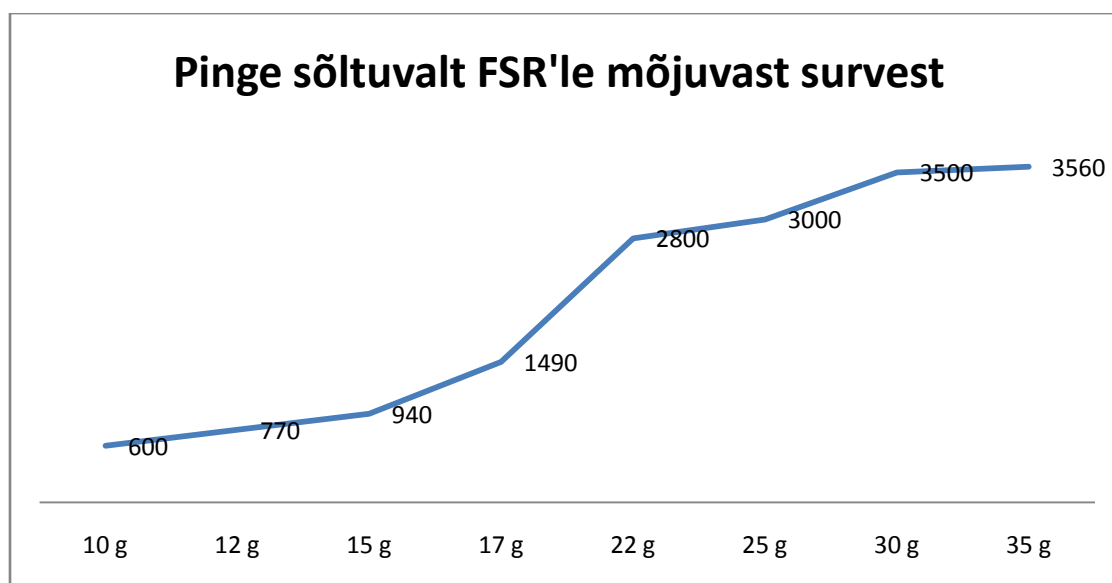


Joonis 9. Ühe surveanduri testimiseks mõeldud trükkplaadi disain

Tulemused vool-pingeks skeemiga mõõtmisel

Mõõtmine toimus multimeetriga ning mõõdeti kahte andurit. Iga anduri puhul asetati selle peale järjest suuremaid masse vahemikus 10...35 grammi. Referentspingeks oli -4V ning potentsiomeeter keeratud 20 k Ω peale. Andurite mõlemale poolele tundliku ala piirkonda olid kleebitud kõrgendused.

Keskvised mõõtmistulemused on kujutatud joonisel 10.



Joonis 10. Surveanduri testimise tulemused vool-pingeks skeemiga millivoltides

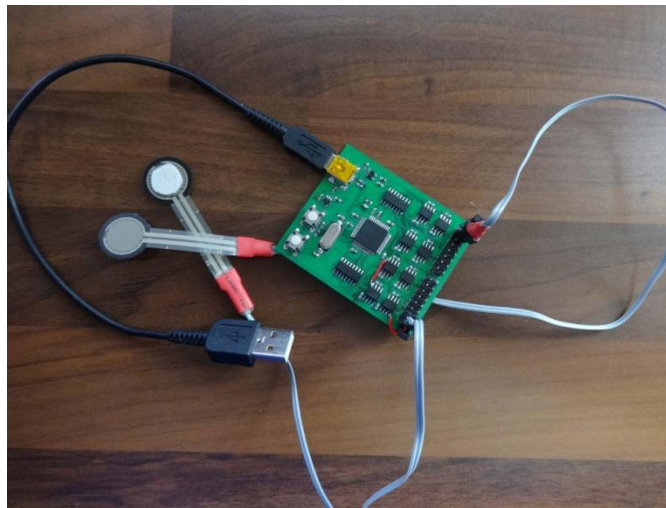
Pingejaguri skeemiga mõõtmistulemused

Selle skeemi korral ei õnnestunud potentsiomeetreid modifitseerida nii, et saaks tulemuslikke mõõtmistulemusi. Kuna vool-pingeks skeemi katsetamisel oli juba näha soovitud tulemusi, siis otsustati kasutusele võtta mainitud skeem.

4 Riistvaralahendus

Valmistatava riistvara eesmärgiks on võimaldada arvutil mitme anduri näidu lugemist üle USB kaabli, sealjuures anduri signaali võimendades.

Riistvara elektroonikaskeem ja trükkplaat on disainitud kasutades tarkvara Eagle. CadSofti poolt on Eagle't juba arendatud 20 aastat. Selle tarkvara suurimateks eelisteks on lihtne arusaadavus, internetis leidub palju materjale ja õpetusi ning Eagle on õpilastele tasuta. [11]



Joonis 11. Riistvaralahendus

4.1 Funktsionaalsed nõuded

Järgnevalt on loetletud riistvara funktsionaalsed nõuded:

- sisendiks on kuni 16 takistuslikku surveanduri (FSR 402) signaalid
- väljundiks on andurite näidud läbi USB kaabli arvutisse
- peab mõõtma survet vahemikus 0...38 g
- toide 5 V USB pesast
- pinge peab olema stabiliseeritud
- arvutist peab saama virtuaalse COM pordi kaudu küsida ühekaupa andurite näitusid vastavalt anduri järjekorra numbrile (0...16)
- peab võimaldama saada kõigi andurite näidu vähemalt kaks korda sekundis

4.2 Kasutatud komponentide nimekiri

Selles peatükis tuuakse välja elektroonikaskeemis kasutatud komponendid. Iga punkti juures kirjeldatakse komponenti ning kirjutatakse, mis eesmärki see elektroonikakomponent skeemis omab.

Mikrokontroller ATmega32u4-AUR

Mikrokontroller või ka mikroarvuti on oma olemuselt kui väike arvuti ühelainsal mikrokiibil, mis sisaldab protsessori tuuma, muutmälu, programmeeritavaid sisend/väljund viike, tihti ka püsivat programmi mälu ja muid perifeeriaseadmeid nagu näiteks taimerid ja analoog-digitaal konverterid.

ATmega32u4-AUR 8-bitine, 32-kilobaidise püsिमäluga kontrolleri. Tähtsaimateks omadusteks, miks just see kontrolleri sai valitud, on järgmised:

- 16 MHz taktsagedusega on võimalik multipleksida kõik andurid meie rakenduse jaoks piisava kiirusega
- analoog-digitaal muunduri olemasolu kiibil tagab võimaluse muundada andurite näitusid digitaalseks
- sisse ehitatud USB kontrolleri võimaldab mikrokontrolleri arvutiga suhtlema panna lisaelektronikat integreerimata
- töö autori varasem kogemus seda tüüpi kontrolleri programmeerimisel aitas samuti otsustada kõnealuse mikroarvuti kasuks

Riistvaraseadmes täidabki mikrokontroller tsentraalse aju ülesannet. Kontrolleri ülesanded on järgmised:

- anda LED'iga märku, kas programm kontrolleri on käivitunud
- vahendada andmeid arvuti ning riistvara vahel
- arvutilt saadud andmete põhjal anda multiplekserile õige signaal valimaks soovitud andur
- muundada andurilt saadud näit analoog-digitaal konverteri abil digitaalseks ehk binaararvuks

OP võimendi LM358D

Operatsioonivõimendid on ühed enim kasutatud komponendid analoogelektronikas. Sellel võimendil on ideaalsed omadused võimendamaks alalispinget. [12]

Kõnealusel seadmes täidab LM358D läbi takistusliku surveanduri tulnud signaali võimendi rolli. Võimendi sisenditeks on negatiivne ja positiivne referentspinge (4,7 V) ning signaal andurist. Signaali ja väljundi vahele on ühendatud takisti, mis määrab ära anduri mõõtevahemiku. Väljundiks on võimendatud signaal andurist.

1-8 multiplekser CD4051BM96

Multiplekser (lühendatult MUX) on kombinatoorloogika elektroonikakomponent, mis võimaldab saata mitut signaali läbi üheainsa väljundviigu. Multipleksereid võib olla nii analoogseid kui digitaalseid, selles rakenduses on kasutusel digitaalsed. [13]

Multiplekserit on siin skeemis vaja, kuna mikrokontrolleril pole kuutteist analoog-digitaal muundurit. MUX võimaldab saata ühe kaupa erinevate andurite signaale vaid ühte ADC'sse. Sisendiks on kaheksa anduri signaalid ning multiplekseri mikrokontrolleriga kontrollimiseks veel neli signaali: INHIBIT, C, B, A. Viimased kolm on kanali valimiseks, INHIBIT signaal aga tühistab kõik valikud. Väljundiks on vastavalt kontrollsignaalide väärtustele ühe anduri näit. Kuna üks multiplekser võimaldab multipleksida vaid kaheksa signaali, siis rakenduses on kasutatud kahte sellist. [14]

Kristall 16MHz - HC49SM

Kristall ehk ka kristallostsillaator on elektrooniline takti generaator, mis kasutab vibreeriva kristalli mehhaanilist resonantsi genereerimaks väga suure sageduse täpsusega elektroonilist signaali. [15]

Kuna lõputöö raames valminud riistvaras käib arvutiga andmete vahetamine läbi USB siini, siis on tarvis kontrolleris olevast taktigeneraatorist suurema tolerantsi ja täpsusega ostsillaatorit. Seega mikrokontroller kasutab käsitletavat kristalli, et saada võimalikult täpne 16 megahertsine signaal.

LED - KPT-1608EC

LED ehk valgusdiod on pooljuht, mille päripingestamisel kiirgab see valgust. Lühend LED tähendab *light-emitting diode*. [16]

Käsitletavas elektroonikaseadmes on valgusdiodi funktsiooniks anda tagasisidet kontrolleri käitumise kohta. Kui LED põleb, siis on ühendus arvuti ja mikrokontrolleri vahel loodud ning on võimalik alustada andmevahetusega. Valgusdiodi sai kasutatud ka kontrolleri programmi loomisel veatuvastuseks.

Nupp - B3F-1000

Elektroonikaseadmel on kaks nuppu ehk lülitit. *Reset*-nuppu vajutades toimub mikrokontrolleri taaskäivitus. Hoides *reset*-nuppu all ning vajutades *boot*-nuppu, läheb kontrolleri *boot* olekusse, kus on võimalik mikroarvuti mälu laadida uus programm.

LDO - LP3985IM5-4.7

Inglise keeles *low-dropout regulator*. LDO on lihtne ja odav viis saamiseks reguleeritud pinget. Selleks, et saada stabiilset pinget, tuleb sisendpingeks anda suurem pinge, kui on soovitud stabiliseeritud pinge. [17]

Käsitletavas elektroonikaskeemis on vaja vähemalt 2,7 V pinget, kuna mikrokontroller opereerib vahemikus 2,7...5,5 V. Kasutusele võetakse 4,7 voldise väljundpingega LDO, kuna sisendpingeks läbi USB on 5 V. Reguleeritud stabiilne pinge on tähtis teiste elektroonikakomponentide stabiilseks tööks, seega kogu skeemi vool läheb esmalt läbi regulaatori.

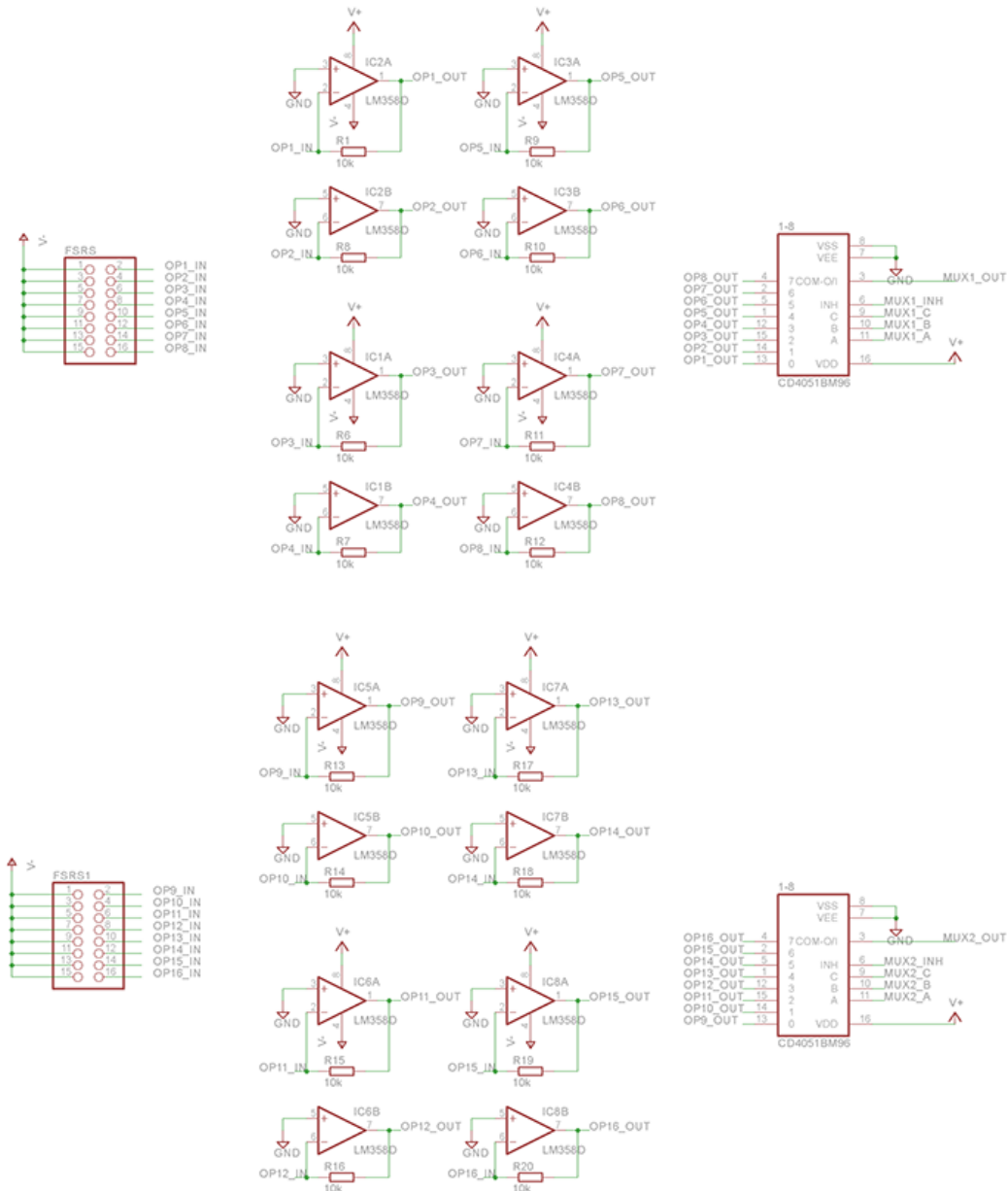
Inverter - TPS60400DBVT

Inverter genereerib reguleerimata negatiivset pinget vastavalt sisendpingele vahemikus 1,6...5,5 V. Soovituslikult peab sisendpinge olema eelreguleeritud. [18]

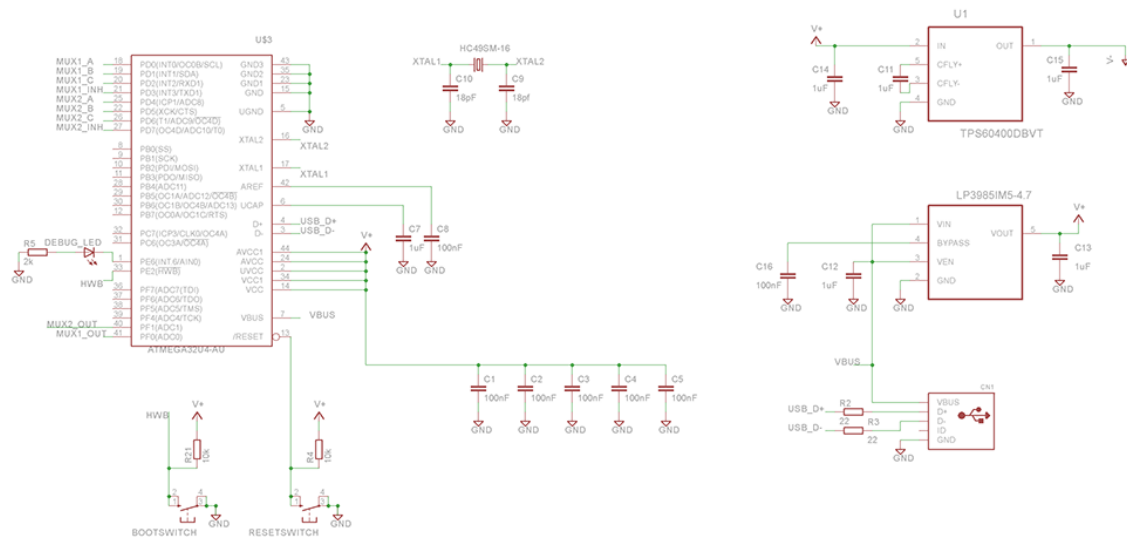
Negatiivset pinget on skeemis vaja andurite signaali võimenduse toimimiseks. Läbi andurite läheb negatiivne pinge ning operatsioonivõimenditel on samuti vaja nii positiivset kui ka negatiivset referentspinget.

4.3 Elektroonikaskeem

Elektroonikaskeem on mahutatud kahele joonisele. Esimene osa (joonis 12) skeemist tegeleb andurite multipleksimisega ja signaali võimendamisega. Teises osas (joonis 13) on andurite signaali töötlemine mikrokontrolleri abil ja saatmine läbi USB arvutisse, negatiivse pinge genereerimine ning pingestabiliseerimine.



Joonis 12. Elektroonikaskeemi esimene osa.



Joonis 13. Elektroonikaskeemi teine osa.

Skeemi disainimise head tavad

Elektroonikaskeemi projekteerimisel on järgitud head tava, mille all peetakse silmas järgnevalt toodud punkte:

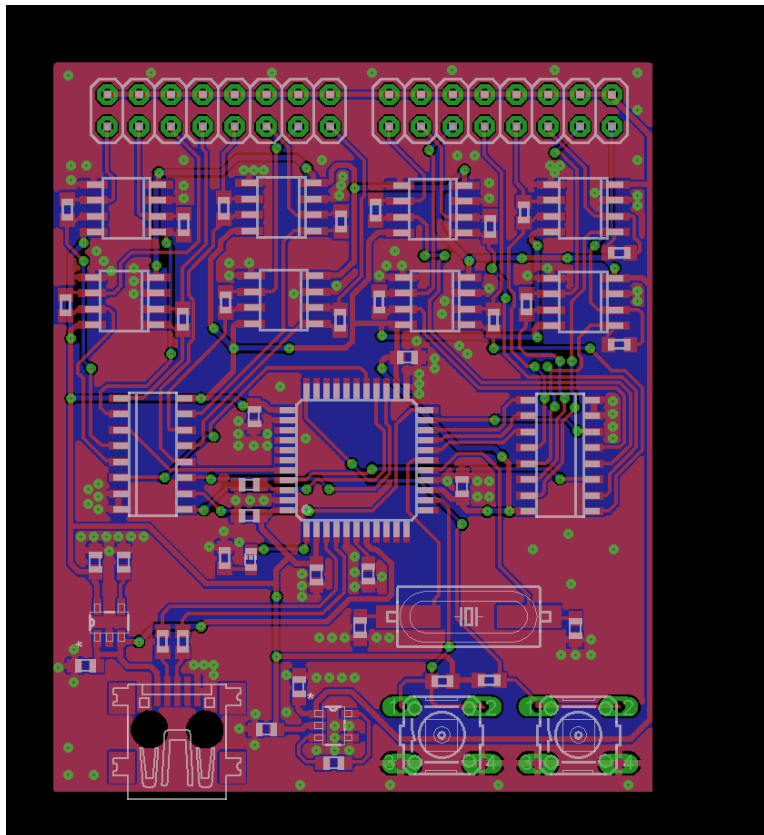
- skeemi jaotamine osadesse: jälgides jooniseid 12 ja 13, on näha selgelt eristatavaid plokkide, millel igal on oma kindel funktsioon
- komponentide ja signaalide selge märgistamine: tuleb jälgida, et igale signaalile on antud vastav nimetus, et ka tulevikus aru saada, mis funktsiooni see signaal täidab, mis tuleb kasuks ka trükkplaadi disainimisel ning hiljem skeemi järgi kontrollerile koodi kirjutamisel
- et vältida segadusi, tuleb elektroonikaskeemil kõik signaalide pöördkohad teha 90° nurga all, siis on skeemil veetud signaale lihtsam jälgida ning üldpilt on puhtam

- loogilisuse mõttes tuleb kõik sisendid asetada skeemil vasakule poole ning väljundid paremale, käesoleva töö skeemil on sisenditeks andurid, millest tulnud signaal läbib multiplekseri, sealt edasi mikrokontrollerisse, kust saadetakse töödeldud digitaalsed andmed arvutisse läbi USB pesa

4.4 Trükkplaat

Kahekihiline trükkplaat (joonis 14) on mõõtmetega 6×5 cm. Pealmisel kihil asetseb 56 komponenti, plaadil on 214 läbiviiku ning 61 signaali.

Peale trükkplaadi valmimist joodeti sellele komponendid käsitsi.



Joonis 14. Riistvara trükkplaadi disain.

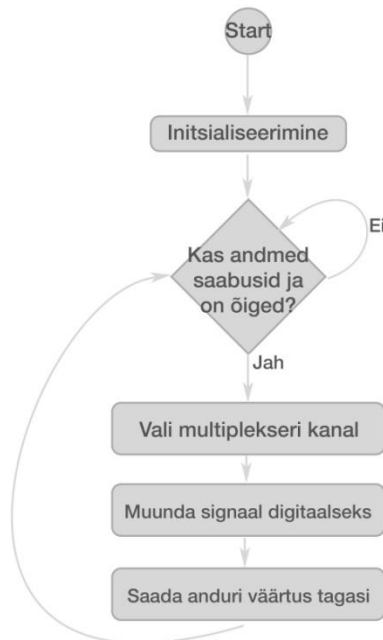
Trükkplaadi disainimise head tavad

Selles peatükis on välja toodud trükkplaadi disainimise juures järgitud üldised reeglid ning konkreetse plaadi disainimisel arvesse võetud kitsendused. Kitsendused on vajalikud, et oleks võimalik trükkplaat valmistada freesimise teel, kuna masinatel, mis plaati freesivad, on omad piirangud täpsusele. Lisaks signaalirajad peavad olema üksteisest piisavalt kaugel, et need üksteist ei segaks.

- komponendid on asetatud plaadile jälgides, et radade pikkus tuleks võimalikult lühike ning rajad ei lõikaks läbi alumist maanduskihti
- radade pöördekohad on 45° tagamaks radade mehhaaniline vastupidavus ning pinna optimaalne kasutus
- toite ja maanduse rajad on laiemad kui signaali rajad
- komponentide maandusjalgade juurde on paigutatud võimalikult palju läbiviikuseid, mis ühendavad need ka alumise kihi maanduskihiga
- radade minimaalseks laiuks on määratud 0,2 mm
- erineva signaaliga radade vaheline kaugus on minimaalselt 0,2 mm
- freesitava augu minimaalseks raadiuseks 0,3 mm
- kahe komponendi vahekaugus minimaalselt 0,3 mm

4.5 Kontrolleri tarkvara

Kontrolleri tarkvara abil pannakse mikrokontroller täitma ettenähtud ülesandeid, mis on kirjeldatud dokumendi punktis 4.2. Kontrollerile kirjutatud kood on toodud lisas 1. Täielik ja töötav lähtekood koos teekidega on Atmel Studio projektina CD plaadil kaasas lõputöö pabereksemplariga. Koodi lihtsustatud skeem on joonisel 15.



Joonis 15. Mikrokontrolleri koodi lihtsustatud plokk skeem

Atmel Studio

Kontrolleri kood on kirjutatud kasutades Atmel Studiot. See arenduskeskkond on spetsiaalselt mõeldud Atmel ARM, Cortex-M ning Atmel AVR mikrokontrolleritele C, C++ või assebler koodi arendamiseks ning testimiseks. [19] Selles projektis kasutatud protsessor kuulub AVR perekonda.

Teensy USB virtual serial teek

Nii väikese koguse andmete puhul nagu käsitletavas rakenduses kasutatakse, on arvutiga suhtlemisel kõige mõttekam kasutada jadaprotokolli, kuna see on lihtsalt programmeeritav nii mikrokontrollerile kui ka arvutile.

Kuna modernsetel arvutitel puudub jadaliides, on ühendus tarvis luua läbi USB kaabli. Mikrokontroller on vaja panna simuleerima COM porti, mis on võimalik tänu Teensy USB virtual serial teegile. [20]

5 Tarkvaralahendus

Personaalarvuti tarkvarana luuakse graafiline kasutajaliides, mille täpsemad nõutud funktsionaalsused on kirjeldatud järgmises punktis. Graafilise liidese üldiseks eesmärgiks on rõhuandurite näitude visualiseerimine mannekeeni pinnal ning anduritelt saadud andmete talletamine. Tarkvara lähtekood kui ka kompileeritud programm on saadaval lõputöö paberkoopiaga kaasas oleval CD'l.

Liidese kood on kirjutatud Visual Studio arenduskeskkonnas. Visual Studio on väga multifunktsionaalne ning suuremahuline keskkond, mis võimaldab luua tarkvara erinevate rakenduste jaoks. Tänu selle tööriistadele on võimalik koodi hallata ning testida, sealjuures on sisse ehitatud versioonihalduse süsteem.

5.1 Funktsionaalsed nõuded

Graafiline kasutajaliides peab täitma järgnevalt kirjeldatud nõuded.

Andurid:

- andurite kontrollplaadilt näitude lugemine üle virtuaalse jadaliidese pordi
 - COM pordi valimine
 - pordi aktiveerimine
- andurite näitude visualiseerimine
- andurite mannekeeni fotol ümberpaigutamine
- andurite visuaali raadiuse muutmine

Mannekeeni konfiguratsioonid:

- uue konfiguratsiooni loomine ja salvestamine
- konfiguratsiooni muutmine
- konfiguratsioonide valimine
- konfiguratsiooni kustutamine

Konfiguratsioon koosneb järgmistest elementidest:

- nimetus
- rinna ümbermõõt
- talje ümbermõõt
- puusa ümbermõõt
- mannekeeni foto, mida peab saama
 - suurendada
 - vähendada
 - liigutada
- andurite paigutuse info

Mõõtmise salvestamine

Üks mõõtmine sisaldab järgmist informatsiooni:

- mõõdetava riide nimetus
- konfiguratsiooni nimetus ja parameetrid
- mõõtmise aeg
- iga anduri näit

5.2 Programmeerimiskeele ja teekide valik

Selles peatükis kirjeldatakse kasutajaliidese loomise juures kasutatud programmeerimiskeelt ning teeke. Iga punkti esimeses osas tutvustatakse ja iseloomustatakse valitud teeki ning teises osas põhjendatakse, miks see teek valiti.

C++

C++ on programmeerimiskeel, mis on välja kasvanud C keelest. See keel võimaldab kirjutada objektorienteeritud koodi, ehk igat programmi komponenti saab kujutada kui objekti, millel on oma meetodid ja parameetrid. [21] Keele ajalugu ulatub tagasi aastasse 1979, kui Bjarne Stroustrup tegi oma doktoritööd. Oma inspiratsiooni töötamiseks välja uut keelt sai ta Simula nimelisest keelest, mis oli esimene objektorienteeritud keel maailmas. Uue keele arendamise baasiks võttis ta C keele. Tema eesmärgiks oli luua võimalus kirjutada objektorienteeritud koodi

C keeles. Esialgu oli tema loodud keele nimeks “C with Classes”. Alles 1989 aastal muudeti keele nimi selliseks nagu tänapäeval. [22]

Järgnevalt loetletakse, miks valiti programmi kirjutamiseks just C++’i:

- C++ kompileerub otse masinkoodi, mis teeb ta üheks kiiremini opereerivaks keeleks maailmas
- objektorienteeritud kood on selgelt arusaadav ning kergesti hallatav
- rohkelt teeki, mille hulgast valida
- selle keele kohta on internetis rohkelt õpetusi, informatsiooni ja probleemide lahendusi
- töö autori varasem kogemus C++’i kirjutamisel

Boost

Boost on kollektsioon modernseid ja kõrgkvaliteedilisi C++’i teeki. See on vabavaraline, ehk igäüks võib tasuta selle lähtekoodi kasutada ning muuta. Boosti kommuun, mis tekkis 1998 aasta paiku, hoiab seda teeki pidevalt arenduses. Tihti võetakse Boosti teekide hulgast funktsioone üle ka C++ standard teekide hulka. Kõnealused teegid aitavad suurendada C++’i projektide produktiivsust ning koodi puhtust, kui projekti suurus nõuab enam kui C++’i standardfunktsioonid. [23]

Mannekeeni rõhutundlikkuse programmis on kasutatud Boost teeki mitmete ülesannete täitmise lihtsustamiseks. Näiteks jadaliidesega suhtlemisel, failide salvestamine, laadimine, kopeerimine.

wxWidgets

See teek lihtsustab graafiliste kasutajaliideste loomist mitmele erinevale platvormile (Windows, Linux, Mac). WxWidgets sai oma alguse 1992 aastal Julian Smarti poolt Edinburg’i ülikoolis. Praeguseks on juba sadu arendajaid, kes on sellesse projekti oma panuse andnud ning kasutajaskond on suur. Mõningad näited, kes kasutavad wxWidgets’it: AOL, AMD, Lockheed Martin, Xerox, NASA. Mõned tuttavamad programmid, mis on kirjutatud wxWidgets’i abil: AVG AntiVirus, Forte Agent, Audacity, Filezilla, Tortoise CVS. [24]

Järgnevalt loetakse põhjused, miks valiti just wxWidgets teek:

- kuna wxWidgets on kirjutatud C++'is siis see sobib ideaalselt ka C++'is kasutajaliidese arendamiseks, kuigi wxWidgets on olemas ka kirjutamiseks teistes keeltes
- arusaadav dokumentatsioon, rohkelt koodinäiteid ning aktiivne kommuun
- lihtsasti integreeritav OpenGL funktsionaalsus
- objektorienteeritud suunitlusega, iga aken, raam või nupp on C++ objekt.

Kogu mannekeeni rõhutundlikuse kasutajaliides on ehitatud wxWidgets'i baasile. Tänu sellele on programm lihtsasti kompileeritav erinevatele platvormidele vaid väikeste koodimuudatustega. Samuti on programmi kood hästi hallatav ning arusaadav igale ühele, kes on kokku puutunud objektorienteeritud programmeerimisega.

OpenGL

OpenGL on keskkond arendamiseks interaktiivseid 2D ja 3D graafilisi programme. See keskkond tuli välja aastal 1992 ning OpenGL on saavutanud ülemaailmse populaarsuse.

Järgnevalt loetletakse mõned OpenGL'i eelised:

- selle keskkonna spetsifikatsioon on reguleeritud sõltumatu konsortsiumi poolt
- stabiilsus – OpenGL'i on stabiilselt arendatud järjest üle seitsme aasta mitmele platvormile
- kerge kasutada – see on hästi struktureeritud ning intuitiivse disaini ja loogiliste käskudega keskkond
- hästi dokumenteeritud – OpenGL'i kohta on kirjutatud mitmeid raamatuid, internetist on kergesti kättesaadav suur kogus näitekoode ja juhendeid [25]

C++'s OpenGL'i kirjutamiseks on kasutuses GLUT ehk OpenGL teekide kogu.

Arendatavas kasutajaliideses on OpenGL'i funktsionaalsust kasutatud andurite ning mannekeeni foto kuvamisel ja liigutamisel, joonisel 16 vasakpoolne osa.

TinyXml

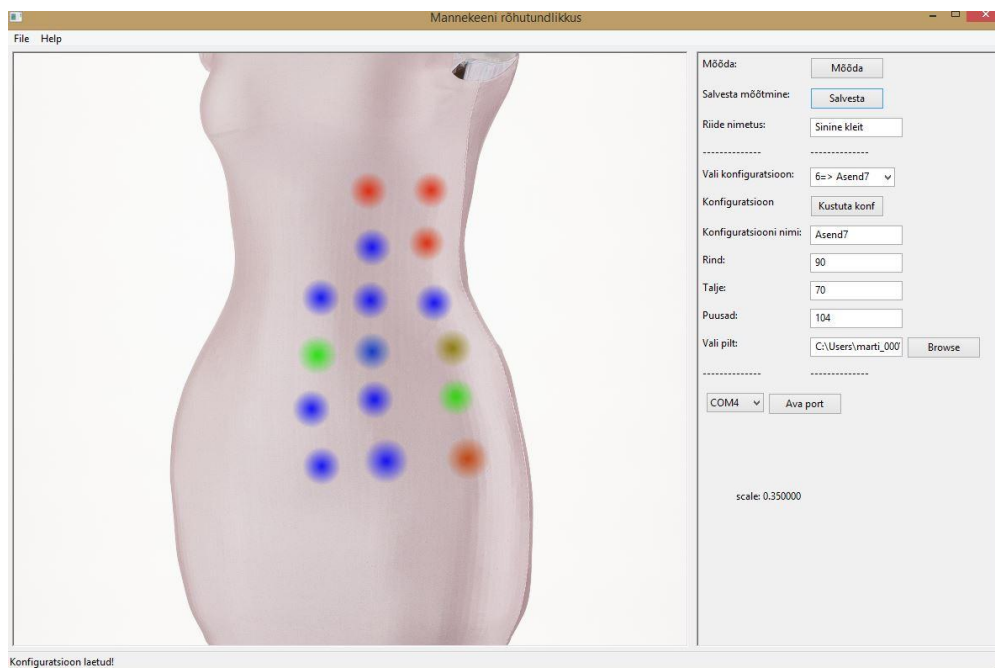
TinyXml teek lihtsustab XML standardiga failide lugemist ning kirjutamist. See on väikesemahuline ning kergesti programmi integreeritav. [26]

XML standard arendati välja XML töörühma poolt 1996 aastal. Standardi põhieesmärkideks on, et seda toetaks paljud programmid, ning oleks lihtne kirjutada programme, mis töötlevad XML faile. XML formaadiga failid peaksid olema arusaadavad inimesele. [27]

Käesoleva lõputöö raames valminud tarkvara kasutab XML standardit salvestamiseks mannekeeni konfiguratsioone ning mõõtmistulemusi. Standard on valitud just sellepärast, et peale andmete salvestamist oleks neid võimalik analüüsida. Näiteks Microsoft Excel avab XML faile ning Exceliga on võimalik teha edaspidine andmetöötlus.

5.3 Valminud tarkvara ja selle kasutamine

Järgneval joonisel on toodud ekraanipilt valminud kasutajaliidesest Windowsi keskkonnas. Pildi vasakul pool on mannekeeni foto koos visualiseeritud andurite näitude ja asetustega. Paremal pool on kasutajaliidese kontrollnupud ja lahtrid.



Joonis 16. Graafiline liides

Tarkvara kasutamine

Esiteks tuleb tarkvarasse laadida soovitud konfiguratsioonid. Selleks tuleb sisestada parameetrid, valida foto ning kirjutada konfiguratsiooni nimi. Nüüd tuleb skaleerida foto parajaks kasutades hiire rullikut ning seejärel määrata foto paigutus vajutades hiire rullikut ning samal ajal liigutades hiire kursorit. Järgmise sammuna tuleb mannekeeni fotole soovitud kohtadele paigutada andurite visuaalsed kujutised. Seda saab teha klikates vasaku hiire klahviga andurile ning seejärel parema klahviga soovitud kohale. Vajutades vasaku klahviga andurile näeb ka anduri numbrit. Kui andur on aktiivne (ehk andurile on vajutatud) on võimalik varieerida ka selle raadiust vajutades vastavalt + või – klahvi. Seejärel on võimalik salvestada konfiguratsioon uue konfiguratsioonina kasutades ctrl+N klahvikombinatsiooni. Kui on soov konfiguratsioon üle salvestada, saab seda peale muutmist salvestada ctrl+S klahvikombinatsiooniga. Konfiguratsiooni on võimalik kustutada vajutades “Kustuta konf” nuppu.

Riistvaraga ühenduse loomiseks tuleb aktiveerida COM port. Selleks tuleb välja selgitada, millise COM pordina on seade arvutis esitatud ning vastav port valida. Peale seda tuleb vajutada nuppu “Ava port”. Programmi kõige alumises osas on staatuse informatsioon. Kui sinna tekib kiri “Port edukalt avatud”, on ühendus seadmega olemas. Kui sellist kirja ei teki, tuleb üle vaadata pordi number või taaskäivitada seade.

Mõõtmise tegemiseks tuleb vajutada programmi paremas aknas asuvat “Mõõda” nuppu. Selle vajutamisel mõõdab andurite kontrollplaat kõigi andurite väärtused ning määrab igale anduri visuaalile vastava värvi. Värvid määratakse anduri väärtuste järgi. Mida väikesem on väärtus, seda sinisem on värv, anduri 50% väärtust tähistab roheline värv ning 100% punane värv. Et salvestada viimati tehtud mõõtmine, tuleb vajutada nuppu “Salvesta”. See lisab measurements.xml faili juurde ühe mõõtmise koos programmi funktsionaalsustes kirjeldatud parameetritega. Enne mõõtmise salvestamist tuleks paika panna mõõtmise ajal mannekeenil seljas oleva riide nimetus.

6 Prototüübi testimine

6.1 Testimise eesmärgid

Testimise põhieesmärgiks on teha kindlaks kui hästi valmistatud lahendus praktikas töötab ning milliste rakenduste puhul on sellist lahendust võimalik kasutada. Testi tulemuste põhjal on võimalik otsustada, kas teooria, mille põhjal on valmistatud riistvara, peab paika. Põhiliseks küsimuseks on operatsioonivõimendite juures kasutatud 20 k Ω mõõtetakisti sobivus ülesande täitmiseks. On kolm võimaliku tulemit. Esiteks, kui andurite näidud on maksimaalsed juba enne, kui riie avaldab kehale ebamugavustunnet tekitavat survet, on valitud takistus liiga suur. Ning vastupidi, kui riie avaldab kehale suurt survet, kuid andurite näidud on madalad, siis on valitud takistus liiga väike. Viimaseks, kui andurid annavad maksimaalseid tulemusi täpselt hetkel, kui riie avaldab kehale survet ning lähemal visuaalsel vaatlemisel on näha, et rõivas on pingul, siis on valitud takisti õige.

Üheks eesmärgiks on ka välja selgitada, kui palju kasulikku informatsiooni annab graafiline kasutajaliides riide sobivuse kohta ning kuidas on see kooskõlas riide tegeliku sobivusega. Selgub, kuidas parandada graafilise liidese kasutajamugavust hõlbustamaks ning kiirendamaks edaspidist programmi kasutamist.

Kuna tegu on prototüübiga, siis tulevad testimise käigus kindlasti välja ka parandamist vajavad elemendid.

6.2 Testimise käik

Esiteks otsustati, millisele mannekeeni piirkonnale asetada andurid. Tuleb arvestada, et piirkond peaks olema kõikvõimalike eripärasustega, et tekitada võimalikult varieeruv keskkond. Näiteks ei ole katsetamiseks mõttekas andureid asetada lamedale piirkonnale, näiteks mannekeeni seljale, kus puuduvad suures osas kumerused ning mannekeeni keha muutumisest see piirkond väga ei mõjutu. Heaks piirkonnaks on puus ja kõht, mis on kumerad ning kus kõige suurema tõenäosusega võib riie muutuda kitsaks. Andurid paigaldatakse mannekeeni pinnale kahepoolse teibiga ning need jäävad venivast riidest pealiskatte alla. Paigutus peaks olema võimalikult ühtlane.

Katsetamiseks valiti kindel arv mannekeeni kehakujusid, millest tehakse Fits.me studios pildid, et neid kasutada graafilises liideses. Kehakujud on määratud kolme põhiparameetri järgi:

rinnaübermõõt, taljeübermõõt ning vööübermõõt, mida tähistatakse järgmiselt: (Rü-Tü-Vü). Mannekeeni kehakujude sisse võtmine toimub selleks spetsiaalselt mõeldud tarkvaraga.

Enne katsetama asumist tuleb välja valida rõivad, millega katsetamist läbi viia. Valiti välja kaks võimalikult erinevast materjalist rõivast: triiksärk, mis on suhteliselt venimatu riie ning teisest venivast riidest kleit.

Järgmiseks sammuks tuleb kasutajaliidesesse salvestada kõik väljavalitud mannekeeni konfiguratsioonid. Need sisaldavad endas mannekeeni fotot, eelmainitud mõõtmisi ning andurite paigutust mannekeenil.

Nüüd tuleb mannekeenil sisse võtta erinevad kujud ilma, et tal oleks riie seljas. Sealjuures teha mõõtmisi ning jälgida, kui palju mõjutab andureid venivast materjalist katteriie. Andurite näidud, mis erinevatel konfiguratsioonidel tekkisid, tuleb salvestada.

Edasi tuleb mannekeenile selga panna rõivaese ning võtta sisse esimene konfiguratsioon. Kasutajaliidesesse peab sisestama vastava riietuse nimetuse. Nüüd tuleb teha kolm mõõtmist ja need salvestada. Seda teha iga konfiguratsiooni korral. Sealjuures jälgida, et riiete all olevad andurid asetuste muutumisega ei tuleks lahti ega kukuks välja. Sama tegevust korrata ka teise rõivaesemega.

6.3 Tulemused

Selles peatükis tuuakse välja graafikud mõõtmistulemustest mõõdetava riide kaupa. Kõik andurite näidud on protsentides, kus 0% on 0 g ning 100% on 38 g või rohkem rõhku ühele andurile. Iga asend on tähistatud järgmiselt:

AsendN (Rü-Tü-Pü)

N - asendi järjekorra number

Rü – rinnaübermõõt

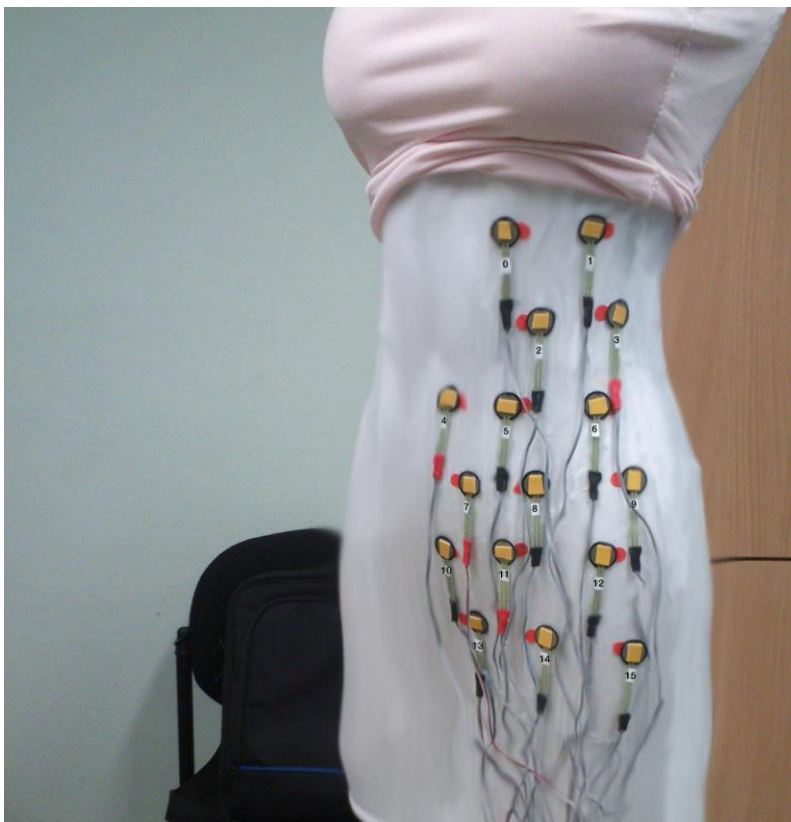
Tü – taljeübermõõt

Pü - puusaübermõõt

Mõõtmised tehti kolme tüüpi riidega: ainult pealiskattega, mitteveniva triiksärgiga ning suhteliselt veniva kleidiga. Joonisel 17 on näha skaalat, mille järgi andureid graafilises liideses visualiseeriti. Joonisel 18 on toodud andurite asetus mannekeenil katsetamise ajal. Lõputöö paberkoopiaga kaasas oleval CD'l on kõik mõõtmistulemused, nende graafikud, tabelid ning ekraanipildid.



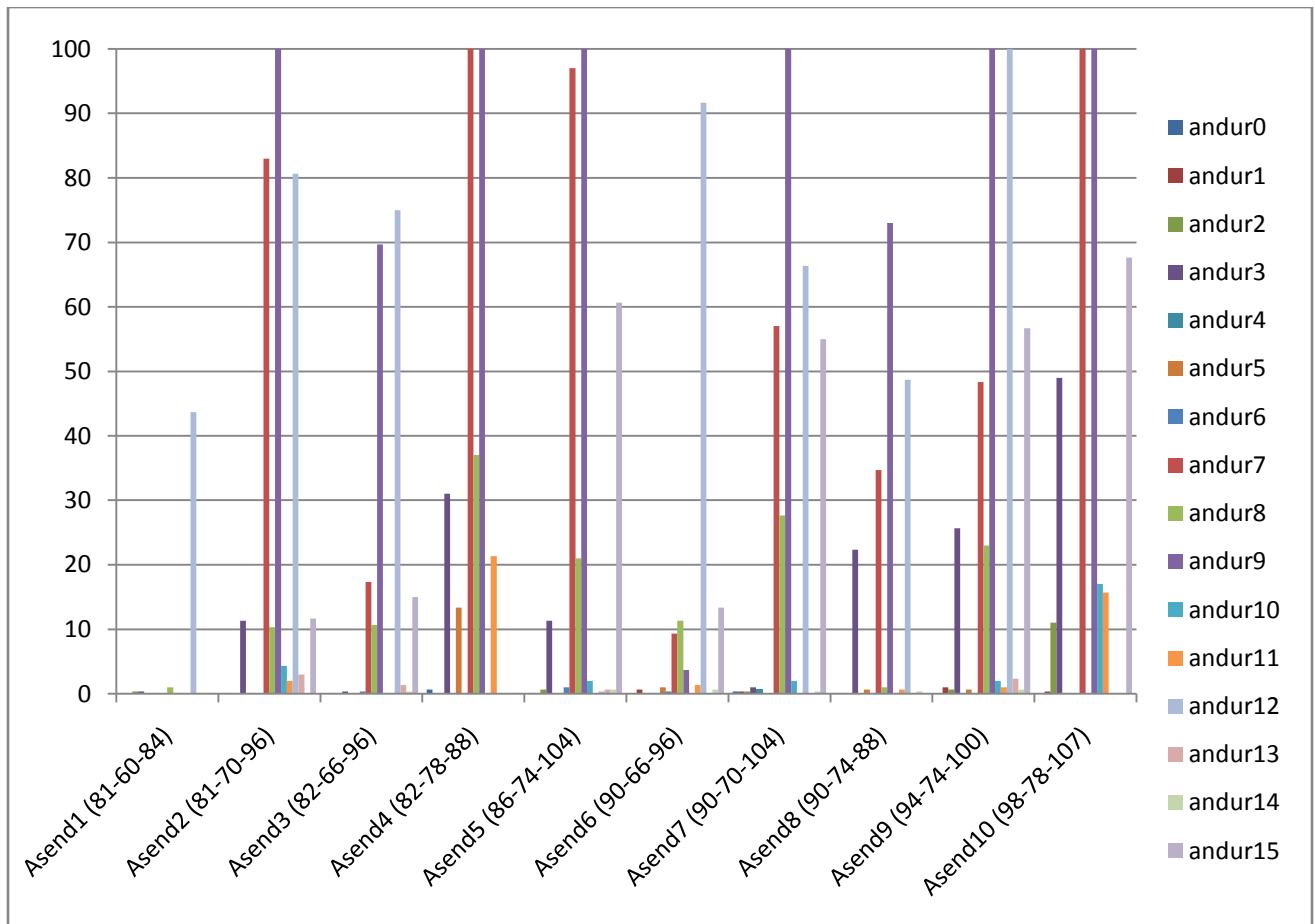
Joonis 17. Andurite värviskaala sõltuvalt rõhust



Joonis 18. Andurite asetus

Pealiskate

Pealiskate on väga venivast materjalist riie, mis käib mannekeeni pildistamisel rõivaste alla. Surveandurid jäävad selle katte alla. Kate peab anduritele avaldama võimalikult vähe survet. Pealiskattega mõõtmisel selgitatakse välja, kui palju survet anduritele avaldub. Ideaalis peab olema võimalus see surve iga mannekeeni asetuse juures talletada ning hiljem koos riidega mõõtes neid andmeid arvestada, praeguse elektroonikalahenduse juures pole see kahjuks võimalik. Kõikide asendite ja andurite näidud on joonisel 19.

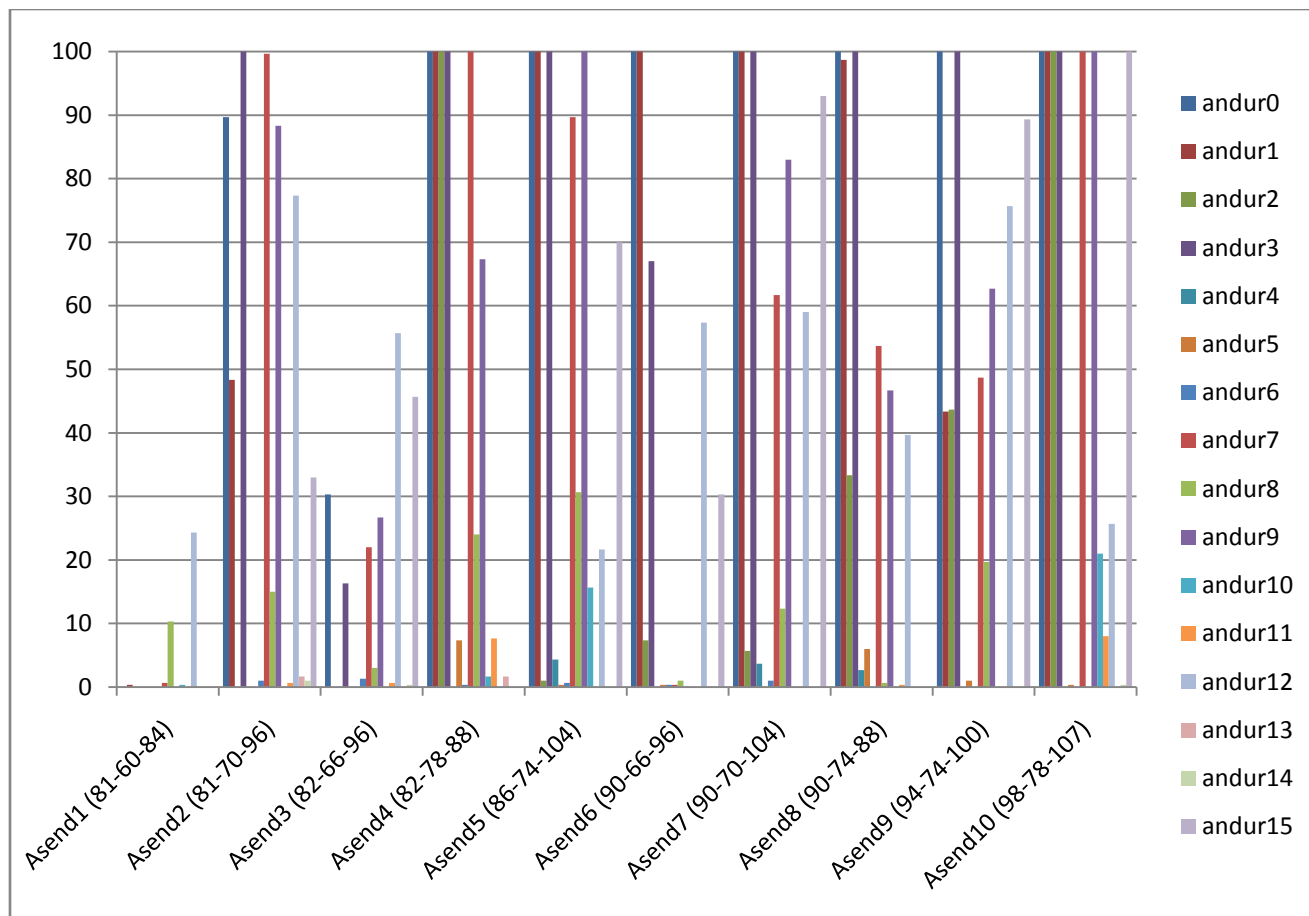


Joonis 19. Ülevaatlük graafik andurite näitudest iga asendi juures pealiskattega mõõtmise puhul. Näidud on toodud protsentides.

Lisa 2 all on toodud välja iga mõõtmise kohta keskmised tulemused arvuliselt (protsentides) ning ekraanipildid graafilisest liidesest.

Venivast materjalist kleit

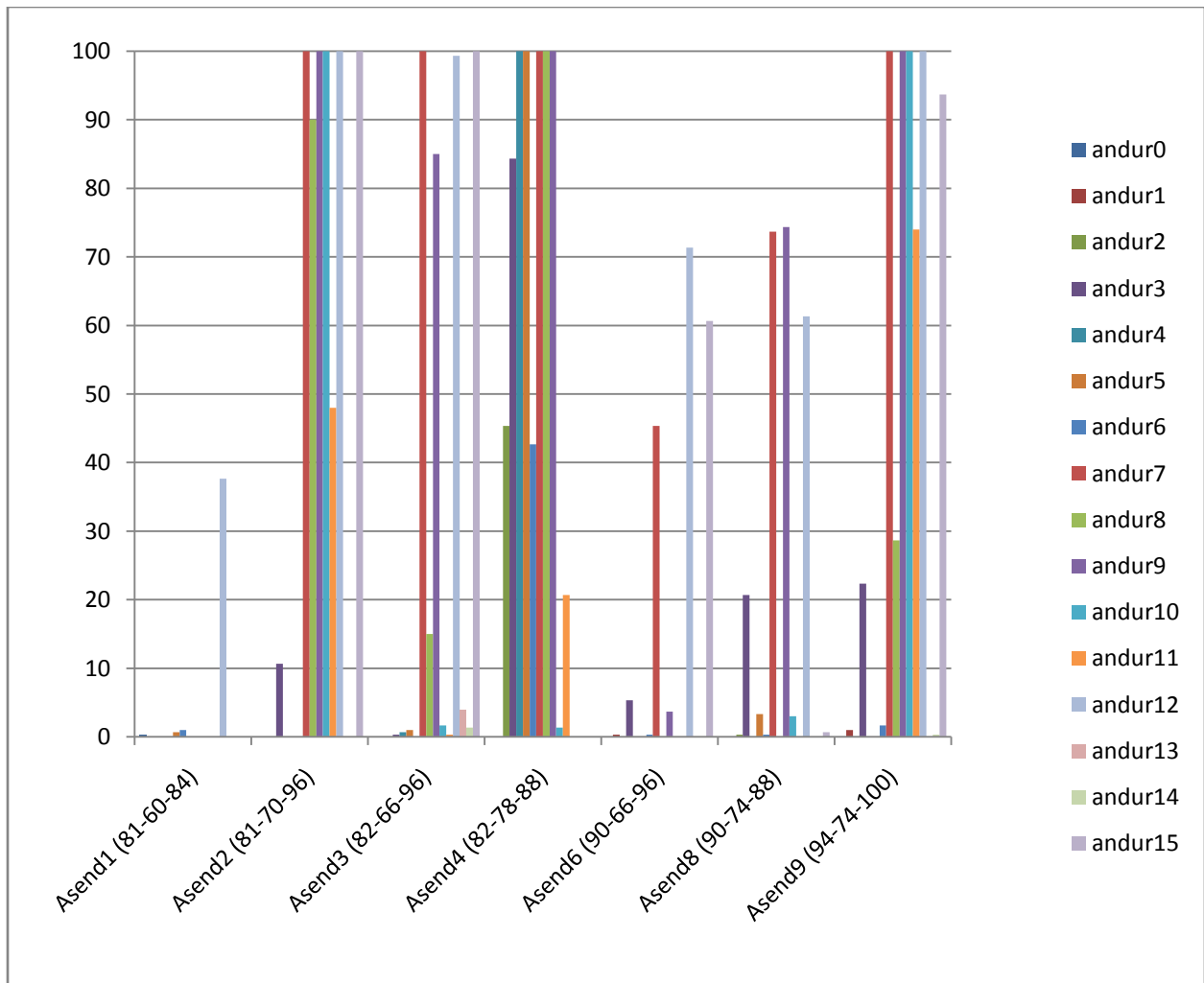
Joonisel 20 on ülevaatlük info tulemuste kohta. Lisas number 3 on välja toodud arvuliste väärtustega (protsentides) tabel ning ekraanipildid graafilisest liidesest. Mõne asetuse juurde on lisatud ka foto, et visualiseerida, milline nägi riie mannekeeni seljas välja.



Joonis 20. Ülevaatlük graafik andurite näitudest iga asendi juures kleidiga mõõtmise puhul. Näidud on toodud protsentides.

Venimatu triiksärk

Triiksärgiga tehtud mõõtmistulemused on toodud joonisel 21. Sarnaselt eelnevatele mõõtetulemustele on täpsem mõõtmiste informatsioon on toodud välja lisas number 4. Kuna triiksärgi maksimaalseks puusaübermõõduks osutus 100 cm, siis mannekeeni asenditega 5, 7 ning 10 ei olnud võimalik mõõtmisi võtta, kuna nendes asendites oli mannekeeni puusaübermõõt suurem.



Joonis 21. Ülevaatlük graafik andurite näitudest iga asendi juures triiksärgiga mõõtmise puhul. Näidud on toodud protsentides.

7 Järeldused ning ettepanekud

Testimise tulemused olid üldjoontes rahuldavad. On olemas selge seos mannekeeni erinevate piirkondade ümbermõõdu ning anduritest saadud informatsiooni vahel. Valitud mõõtevahemik on ligilähedane sobivale, kui mitte arvestada mannekeeni pealiskatet. Kui rõivas mannekeeni mingis piirkonnas oli tihedalt ümber, oli seda ka selgelt näha graafiliselt liideselt.

7.1 Katsetamisel esile kerkinud probleemid

Selles peatükis loetletakse ning kirjeldatakse katsetamise käigus tekkinud probleeme ning pakutakse välja võimalikke lahendusi

Anomaaliad katsetulemustes

Katsetulemustes esines nii mõnigi anomaalia, mida tuleb analüüsida ning sellele leida põhjendus ja võimalik lahendus. Esiteks kui võrrelda mannekeeni neljandas asendis (82-78-88) 9. andurit katteriide ning kleidiga mõõtmise puhul, on näha, et katteriidega mõõtes oli anduri näit 100% kuid kleidiga mõõtes vaid 67% (lisades 2, 3 joonised 24, 25). Anduri näit ei tohi aga lisa riidega mõõtmise puhul väiksem olla. Uurides tehtud fotosid, jõuti järeldusele, et anomaalia võis tekkida andurite füüsilistest omadustest ning katte terviklikkuse ning ühtlase pinna puudumisest. Anduritel on taga pikad juhtmed ning kõrgemad juhtme ühendusosad, kui need jäävad täpselt teise anduri tundliku osa kõrvale, võib see teise anduri näitu kangast üleval hoides mõjutada. Probleemist paremini arusaamiseks on tehtud sellisest olukorrast fotod, joonis 21.



Joonis 22. Andurite laotus katteriide all.

Selline probleem on võimalik lahendada integreeritud ja ühtlase rõhutundlikku katte välja töötamisega. Andurid saaks integreerida otse mannekeeni pinnale ning signaali edasikandjaks oleks elektrit juhtiv niit.

Teiseks võrreldakse triiksärgiga mõõtmisel (lisa 4) asendeid 6 (90-66-96) ja 3 (82-66-96). Kuigi asenditel on erinev vaid rinnaümbermõõt, on siiski andurite näidud kõhu ja vööpiirkonnas väga erinevad (lisa 4, joonis 26). Kuna mõõtmine asendis 3 leidis aset enne mõõtmist asendiga 6, siis on probleemi allikaks tõenäoliselt riide välja venimine. Triiksärk ei ole elastsest riidest, seega kui särki venitada, ei tõmbu see koheselt tagasi. Probleemi lahendamiseks on tarvis mannekeeni juhtimise tarkvarale andurite abil teada anda, millal on mingi mannekeeni piirkond juba maksimaalse pinge all ning selle piirkonna ümbermõõdu suurendamine katkestada.

Andurite mõõtmised

Anduri ehituse tõttu ei olnud võimalik nendega riide mõju mõõta ilma, et anduri mõlemale poolele poleks kleebitud tundliku ala suuruseid kõrgendusi, kuna anduri kahte kihti eraldab rõngakujuline äär (joonis 4). Rõhutundlikku katte üheks eelduseks aga oli, et see ei mõjutaks mannekeeni väljanägemist, kuna studios tehtud piltidel peab rõiva pind jääma ühtlane. Probleemi lahendamiseks tuleb katsetada mõõtmisi järjest õhemate kõrgendustega ning leida kompromiss, et andurid annaksid piisavalt häid tulemusi ning sealjuures poleks neid riiete alt näha. Kaasa aitaks ka andurite tihedam paigutus, siis jääks keha üldpilt ühtlane ning tõenäoliselt riiete alt poleks reljeefe paista.

Andurite mõõtepiirkond

Erinevatele kehapiirkondadele mõjub riide poolt erinev surve, mida kumeram ja väljaulatavam on piirkond, seda suuremat mõju riie kehale avaldab. Selle tõttu on ainult katteriidega mõõtes mõnede andurite näidud põhjas. Seega tuleb andurite mõõtepiirkonda suurendada muutes nende mõõtetakistust. Katsetes kasutusel olnud mõõtetakistuse juures ei ole antud ruumi tarkvaraliseks kalibreerimiseks. erinevate mõõtetakistuste valimisel võib järeldada, et sobilik takistus peaks olema praegusest (20 k Ω) väiksem. Kuna sõltuvust võib võtta kui lineaarset, siis on võimalik tarkvaraliselt kalibreerimine, mis võiks toimida järgmiselt. Mõõdetakse andurite näidud iga soovitud asendi juures vaid pealiskattega ning salvestatakse. Edaspidi mõõtes andureid koos riietega, saab näitusid korrigeerida lahutades nendest maha eelnevalt vaid pealiskattega saadud näidud. Kogu see protsess peab toimuma automaatselt ning enne iga mõõtmise protsessi.

Kasutajaliides

Kasutades aktiivselt lõputöö raames valminud kasutajaliidest, kerkisid esile kaks probleemi. Esiteks ei ole andurite näitusid indikeeriv värviskaala kõige parem ning intuitiivselt inimesele arusaadav. Sinna tuleb juurde tuua veel ka kollane värv, sel juhul on erinevad rõhuastmed paremini eristatavad ning värvide üleminekud selgemini arusaadavamad. Skaala võiks sel juhul näha välja selline nagu joonisel 23 kujutatud.



Joonis 23. Uuendatud värviskaala.

Teiseks suuremaks probleemiks aga oli mõõtmistulemuste visuaali salvestamine. Nimelt pidi tegema manuaalselt ekraanipildid ning need salvestama. Programmi edasiarenduseks võiks teha funktsiooni ka salvestamiseks mannekeeni foto, kus on visualiseeritud riide surve kehale.

7.2 Võimalikud rakendused

Selles punktis loetletakse, kuidas oleks võimalik rakendada mannekeeni rõhutundlikku katet.

Kitsa piirkonna esile toomine

Käesolevas lõputöös testitud elektroonika ja tarkvara abil ei saa näidata täpselt, milline keha punkt on rõiva suure mõju all, küll aga on võimalik kindlaks teha keha piirkond, mis on vastava riide jaoks kitsas. On võimalik ära määrata, kas riie on kitsas puusadest, pihast, või rinnast. Täpsema tulemuse saamiseks tuleb mannekeeni kogu keha katta anduritega ning võimaldada nende tarkvaraline kalibreerimine.

Riide välja venimise vältimine

Kuna mannekeeni keha muutvad mootorid on piisavalt tugevad, et välja venitada rõivast, on selle vältimiseks rõhutundlikud andurid kasulikud. Kui mannekeeni keha kuju mõõtmiseks mõeldud tarkvarale anda ka informatsioon riide mõjust keha pinnale, on lähtuvalt sellest võimalik peatada übermõõdu suurendamine vastavas piirkonnas vältimaks riide välja venimist. Mitteveniva riide tugev vastumõju kurnab ka mootoreid. Tõenäoliselt mootoritele mõjuva koormuse vähendamine pikendaks ka nende eluiga.

Iga riide puhul maksimaalse kehakuju kindlaks tegemine

Aja arvestamiseks ning planeerimiseks, mis kulub ühe riidega fotoseeria tegemiseks, on tarvis teada, milline on maksimaalne mannekeeni asend, mis vastava riidega on võimalik sisse võtta. Hetkel määratakse seda umbkaudselt riide suuruse ning venivuse põhjal. Tänu rõhutundlikule kattele oleks võimalik see lihtsa vaevaga ning automaatselt kindlaks teha. Automaatne maksimaalse kehakuju kindlaks tegemine on võimalik tarkvara arendamise abil. Kui informatsioon anduritelt anda edasi mannekeeni kontrolltarkvarale, oskaks tarkvara fikseerida mannekeeni maksimaalse asendi. Selline meetod aitaks säästa aega, mis kulub aja arvestamiseks ning tõenäoliselt annab ka täpsema tulemuse.

8 Kokkuvõte

Et mugavdada internetist riide ostmist ning säästa loodust ja raha rõivaste tagastuse arvelt, on leiutatud virtuaalne riietusruum, mis tekitatakse kasutades robotmannekeeni. Inimestele, kes internetist riideid soetavad, on tarvis anda riide kohta võimalikult palju tagasisidet, kõige enam seda, kuidas see riie talle selga sobib. Visuaalselt on küll võimalik sobivust hinnata, kuid seda, kas riie on kitsas või mitte, pole alati läbi arvuti kuvari võimalik kindlaks teha.

Käesoleva bakalaureuse töö sihiks on teha esimesed sammud mannekeeni rõhutundlikku katte arendamiseks. Katte enda põhieesmärgiks on mõõta riide mõju keha pinnale, et seda infot visuaalselt edastada.

Töö käigus arendati esmane prototüüp rõhutundlikkust kattest. Arendamise hulka kuulus surveandurite ning nende lugemise meetodi valimine, elektroonika kuueteistkümneme anduri korraga lugemiseks ning graafiline kasutajaliides visualiseerimaks ja talletamiseks andurite näitusid.

Tänu valmistatud seadmele ning tarkvarale oli võimalik teha järeldused ning soovitusel mannekeeni rõhutundliku katte edasi arendamiseks. Järgmiseks sammuks oleks andurite mõõtepiirkonna suurendamine tarkvaraliseks kalibreerimiseks ning anduritest tervikliku ja ühtlase katte loomine. Rõhutundlikkusele ilmnes peale riide mõju visualiseerimisele ka teisi võimalikke rakendusi, näiteks riide välja venitamise vältimine ja riide maksimaalsete keha mõõtmete määramine.

9 Summary

RESEARCH ON POSSIBILITIES OF ADDING FORCE SENSITIVITY TO ROBOTIC MANNEQUIN

Virtual fitting room is invented to make buying clothes from the internet more convenient and save money as well nature. The fitting room works thanks to robotic mannequin. It is important to give as much feedback as possible to online shopper about the clothing, information about actual fit of the clothing is crucial. Thanks to image of mannequin with the clothing, it is possible to assume how it fits but you cannot trust the visuals entirely.

The goal of this thesis is to make first steps in order to develop pressure sensitive layer to robotic mannequin. The purpose of this coat is to measure garment pressure on different areas of body to visualize it for online shopper.

The thesis covers development of the pressure sensitive layers prototype. Development consisted of three parts: research for choosing the right sensors and the method to measure them, electronics for measuring sixteen sensors cocurrently and graphical user interface for visualizing and saving measurements from sensors.

Thanks to the device and software it was possible to make conclusions and recommendations for further development. The next step should be increasing measuring range of the sensors, to make software calibrating possible. Also developing whole and uniform layer of these sensors. In addition to visualizing garment pressure, turns out that there is more possible applications for the sensitive layer, for example avoiding stretching out clothing and determining maximal size for a clothing.

10 Kasutatud kirjanduse loetelu

1. Heikki Haldre, "How fit is online fashion?" (2014)
<http://communication.fits.me/acton/attachment/8391/f-0003/1/-/-/-/-/ Fits me How Fit Is Online Fashion report UK.pdf> .
2. Thomas V. Papaskostas, Julian Lima, Mark Lowe, "A large area force sensor for Smart skin applications," (2002) http://www.ics.forth.gr/bioloach/internal/papers/smart_skin.pdf (ligipääs 24.04.2015) .
3. <http://www.sensorprod.com/dynamic/mattress.php> (2014)
4. F. James Holler, Douglas A. Skoog, Stanley R. Crouch, "Principles of Instrumental Analysis," (2007)
5. Douglas Harper, "piezoelectric," <http://www.etymonline.com/index.php?term=piezoelectric> (2015)
6. Matthias Fässler, "Force Sensing Technologies," http://students.asl.ethz.ch/upl_pdf/231-report.pdf (2010)
7. Robert Puers, "Sensors and Actuators" (1993)
8. Interlink Electronics, "Force Sensing Resistor integration guide and evaluation parts catalog," <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf> (ligipääs 29.04.2015)
9. Interlink Electronic, "FSR 402 data sheet,"
<http://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>
(ligipääs 30.04.2015)
10. S. A. Mirjalili, M Rafeeyan, Z Soltanzadeh, "The analytical study of garment pressure on the human body using finite elements," http://fibtex.lodz.pl/file-Fibtex_%28b6owd30a6x6q2lsw%29.pdf-FTEE_68_69.pdf (ligipääs 30.04.2015)
11. Eagle koduleht, <http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/about-eagle/> (ligipääs 03.05.2015)

12. ElectronicsTutorials koduleht, “Operational Amplifier Basics”, http://www.electronicstutorials.ws/opamp/opamp_1.html (ligipäas 05.05.2015)
13. ElectronicsTutorials koduleht, “The Multiplexer”, http://www.electronicstutorials.ws/combination/comb_2.html (ligipäas 05.05.2015)
14. Texas Instruments, “CD4051B, CD4052B, CD4053B datasheet”, <http://www.farnell.com/datasheets/1874777.pdf> (ligipäas 05.05.2015)
15. Phillip A. Laplante, “Comperhensive dictionary of electrical engineering”
16. Homelab Community koduleht, “Valgusdiod”, <http://home.roboticlab.eu/et/examples/digi/led> (ligipäas 05.05.2015)
17. Michael Day, “Understanding Low Drop Out (LDO) Regulators”, <http://focus.ti.com/download/trng/docs/seminar/Topic%209%20-%20Understanding%20LDO%20dropout.pdf> (ligipäas 05.05.2015)
18. Texas Instruments, “TPS6040x Unregulated 60-mA Charge Pump Voltage Inverter”, <http://www.farnell.com/datasheets/1882771.pdf> (ligipäas 05.05.2015)
19. Atmel koduleht, “The Studio to Design All Embedded Systems”, http://www.atmel.com/microsite/atmel_studio6/ (ligipäas 06.05.2015)
20. PJRC koduleht, “USB: Virtual Serial Port”, http://www.pjrc.com/teensy/usb_serial.html (ligipäas 06.05.2015)
21. C++ koduleht, “C++ Language FAQ”, <http://www.cplusplus.com/info/faq/> (ligipäas 06.05.2015)
22. C++ koduleht, “History of C++”, <http://www.cplusplus.com/info/history/> (ligipäas 06.05.2015)
23. Boost koduleht, “Introduction”, <http://theboostcpplibraries.com/introduction> (ligipäas 06.05.2015)
24. wxWidgets koduleht, “Overview”, <https://www.wxwidgets.org/about/> (ligipäas 06.05.2015)

25. OpenGL koduleht, “OpenGL Overview”, <https://www.opengl.org/about/#1> (ligipääs 06.05.2015)

26. TinyXml koduleht, <http://www.grinninglizard.com/tinyxml/> (ligipääs 06.05.2015)

27. W3C koduleht, “Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)”,
<http://www.w3.org/TR/REC-xml/#sec-intro> (ligipääs 06.05.2015)

11 Lisad

Lisa 1 – Mikrokontrolleri tarkvara

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <stdint.h>
#include <util/delay.h>
#include "usb_serial.h"

#define LED_CONFIG      (DDRE |= (1<<6))
#define LED_ON          (PORTE |= (1<<6))
#define LED_OFF         (PORTE &= ~(1<<6))
#define CPU_PRESCALE(n) (CLKPR = 0x80, CLKPR = (n))

void send_str(const char *str);
uint8_t recv_str(char *buf, uint8_t size);
void parse_and_execute_command(const char *buf, uint8_t num);
void adc_init();
void adc_select(uint8_t fsr_nr);
uint16_t adc;

int main(void)
{
    //PortD is for controlling muxes
    DDRD = 0xff;
    CPU_PRESCALE(0);
    adc_init();
    usb_init();
    while (!usb_configured());
    char buf[16]; //String receiving buffer
    char str[16]; //String to send
    uint8_t fsr = 0;
    char *command;
    LED_CONFIG;
    LED_ON;

    _delay_ms(1000);
    while (1) {
        _delay_ms(10);
        recv_str(buf, 16);
        command = buf;

        if (command[0] == 'f' && command[1] == 's') {
            fsr = atoi(command+2);
            adc_select(fsr); //select and read from adc
            sprintf(str, "%u\n", adc);
            send_str(str);
        }
    }
}

//Initializing ADC
void adc_init()
{
    ADMUX |= (1 << REFS0); // AVcc with external cap on AREF pin
```



```

        ADCSRA |= (1 << ADPS2); // prescaler = 16
        ADCSRA |= (1 << ADEN); // enable ADC
    }

//Selecting between ADC0 and ADC1 and read ADC
void adc_select(uint8_t fsr_nr){

    //Select a channel for mux
    //0x00 - 0x07 are first 8 FSR's
    //0x00 << 4 - 0x07 << 4 are next 8 FSR's
    if (fsr_nr >= 8) { //(8-15) fsrs
        ADMUX |= (1 << MUX0);
        PORTD = (fsr_nr - 8) << 4;
    }
    else { //(0-7) fsrs
        ADMUX &= ~(1 << MUX0);
        PORTD = fsr_nr;
    }

    //Start conversion
    ADCSRA |= (1 << ADSC);
    //Wait while conversion is complete
    while (ADCSRA & (1<<ADSC));
    //Set adc low and high byte
    adc = ADC;
}

// Send a string to the USB serial port.
//
void send_str(const char *str)
{
    while (*str) {
        usb_serial_putchar(*str);
        str++;
    }
}

// Receive a string from the USB serial port.
uint8_t recv_str(char *buf, uint8_t size) {
    char data;
    uint8_t count=0;

    while (count < size) {
        data = usb_serial_getchar();
        //usb_serial_putchar(data);
        if (data == '\r' || data == '\n') {
            *buf = '\0';
            return size;
        }
        if (data >= ' ' && data <= '~') {
            *buf++ = data;
            count++;
        }
    }
    return count;
}

```

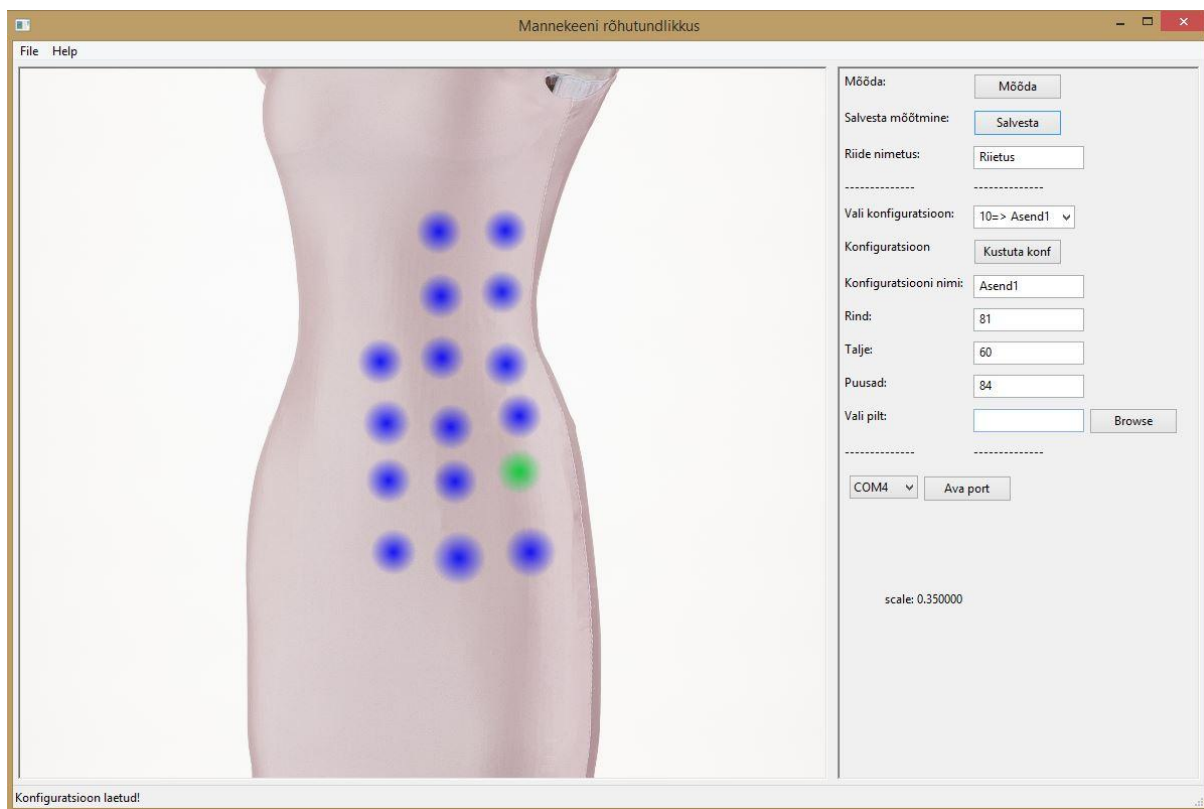
Lisa 2 – Katteriidega mõõtmise tulemused

Tulemuste ülevaade

	andur0	andur1	andur2	andur3	andur4	andur5	andur6	andur7	andur8	andur9	andur10	andur11	andur12	andur13	andur14	andur15
Asend1 (81-60-84)	0	0	0,33333	0,33333	0	0	0	0	1	0	0	0	43,6667	0	0	0
Asend2 (81-70-96)	0	0	0	11,33333	0	0	0	83	10,33333	100	4,333333	2	80,6667	3	0	11,6667
Asend3 (82-66-96)	0	0	0	0,33333	0	0	0,33333	17,33333	10,6667	69,6667	0	0	75	1,333333	0,33333	15
Asend4 (82-78-88)	0,66667	0	0	31	0	13,33333	0	100	37	100	0	21,33333	0	0	0	0
Asend5 (86-74-104)	0	0	0,66667	11,33333	0	0	1	97	21	100	2	0	0,333333	0,66667	0,66667	60,6667
Asend6 (90-66-96)	0	0,66667	0	0	0	1	0,33333	9,333333	11,33333	3,66667	0	1,333333	91,6667	0	0,66667	13,33333
Asend7 (90-70-104)	0,333333	0,333333	0,333333	1	0,66667	0	0	57	27,6667	100	2	0	66,33333	0	0,333333	55
Asend8 (90-74-88)	0	0	0	22,33333	0	0,66667	0	34,6667	1	73	0	0,66667	48,6667	0	0,333333	0
Asend9 (94-74-100)	0	1	0,66667	25,6667	0	0,66667	0	48,33333	23	100	2	1	100	2,333333	0,66667	56,6667
Asend10 (98-78-107)	0	0,333333	11	49	0	0	0	100	0	100	17	15,6667	0	0	0	67,6667

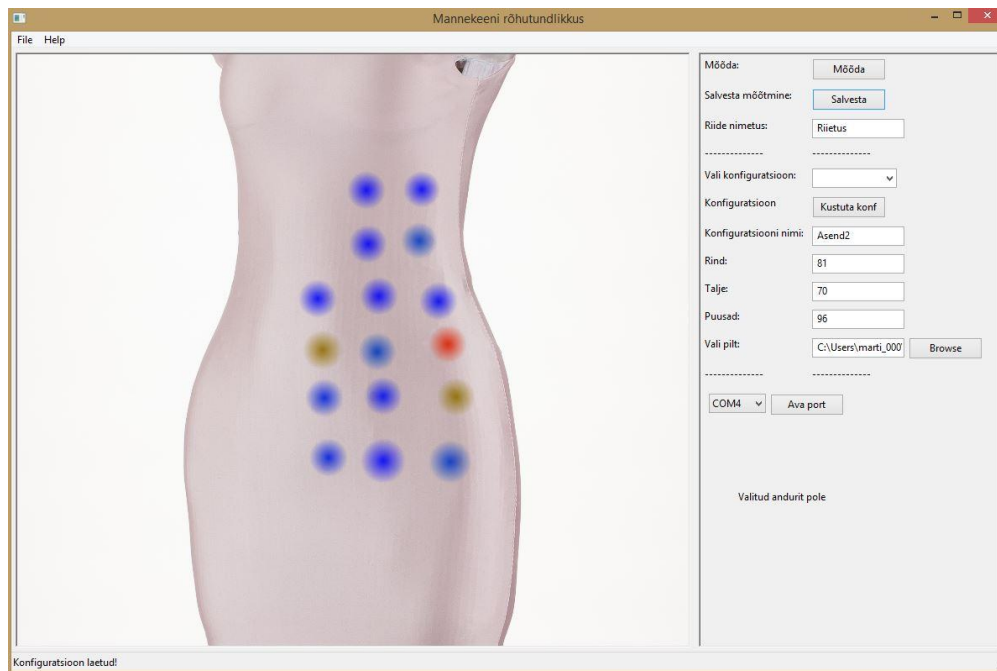
Joonis 24. Katteriidega mõõtmise tulemused

Asend 1 (81-60-84)



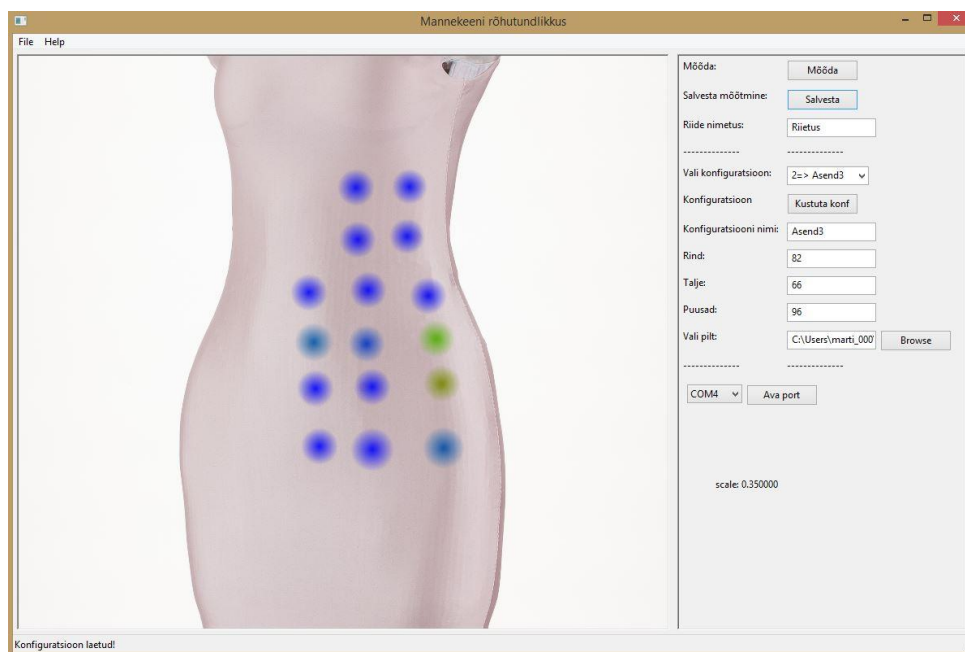
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 1

Asend 2 (81-70-96)



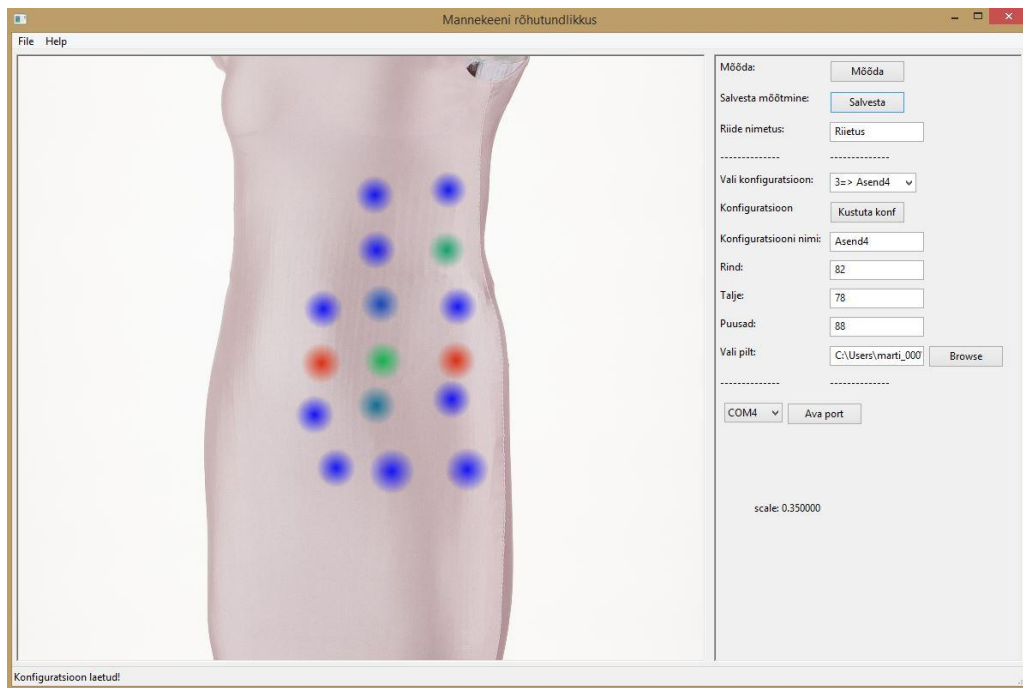
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 2

Asend 3 (82-66-96)



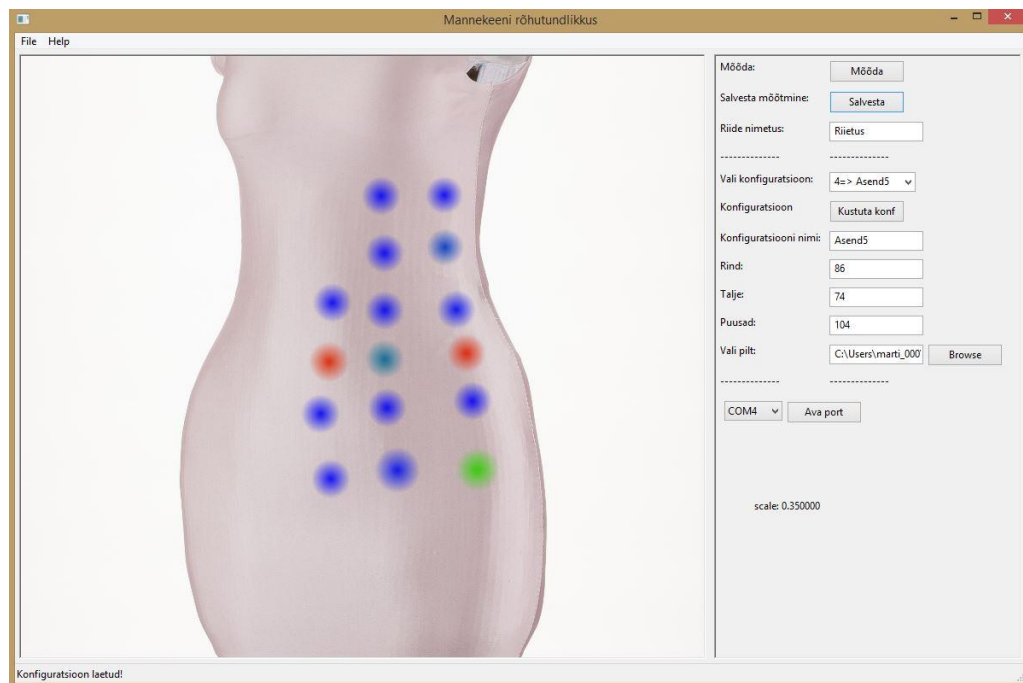
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 3

Asend 4 (82-78-88)



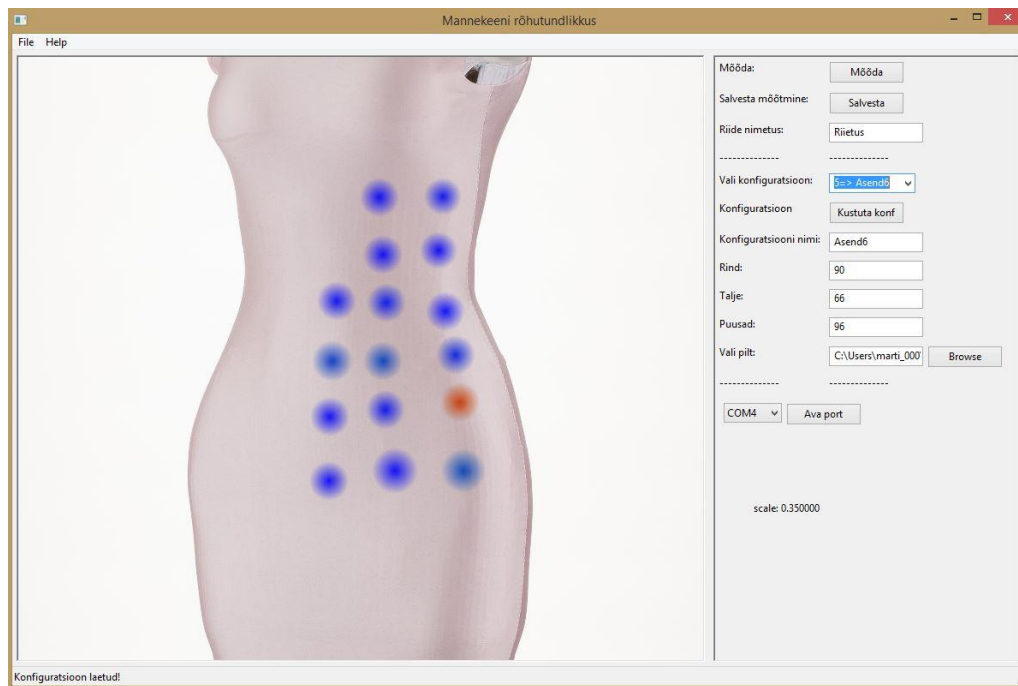
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 4

Asend 5 (86-74-104)



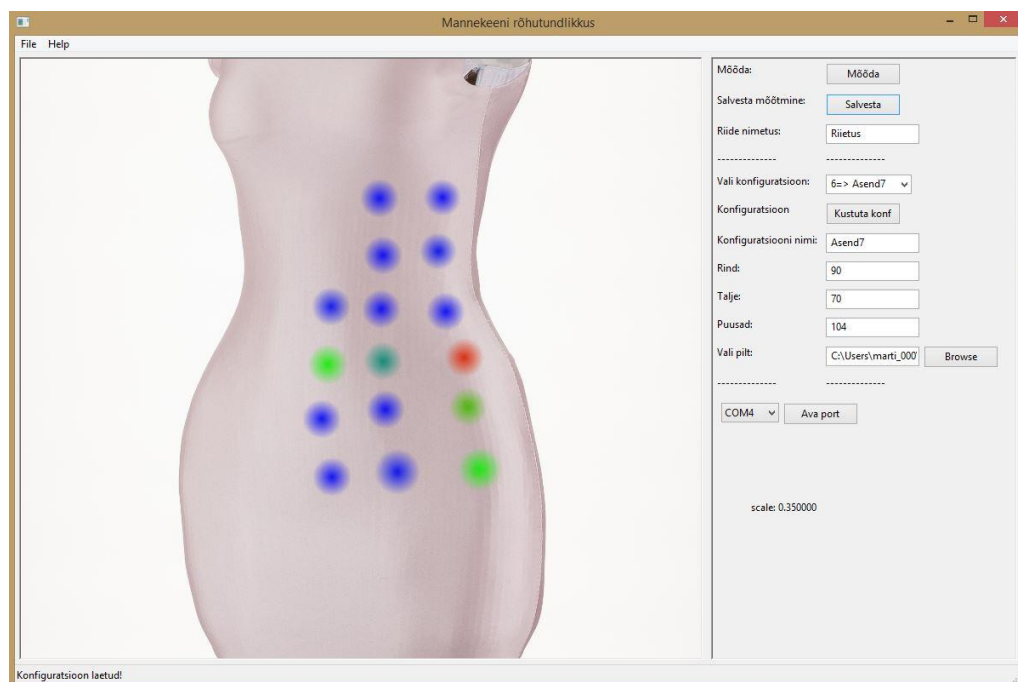
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 5

Asend 6 (90-66-96)



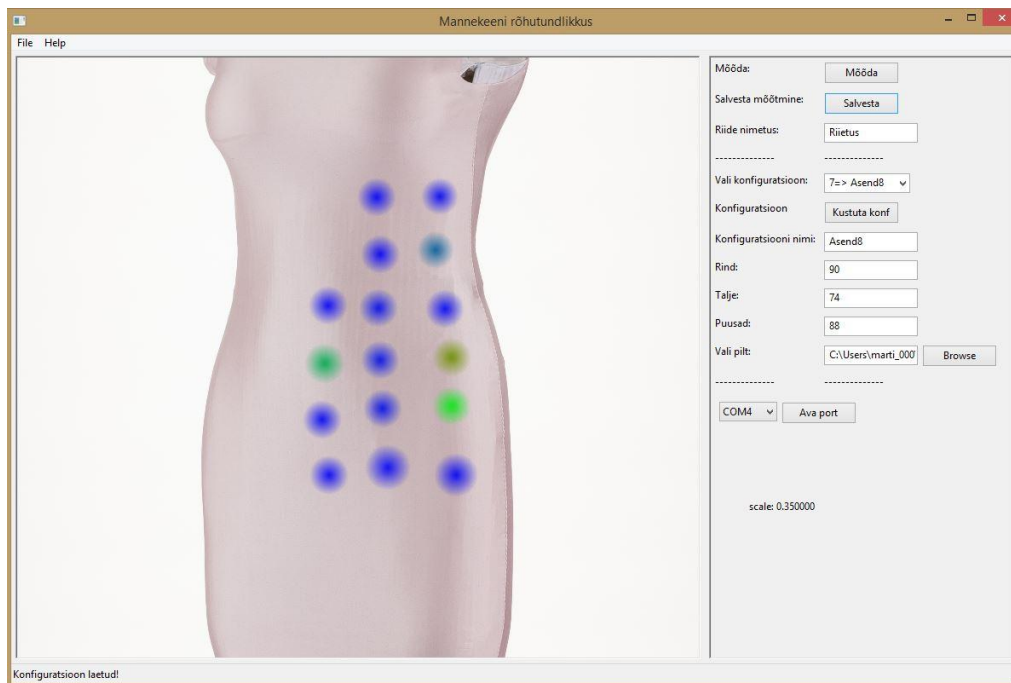
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 6

Asend 7 (90-70-104)



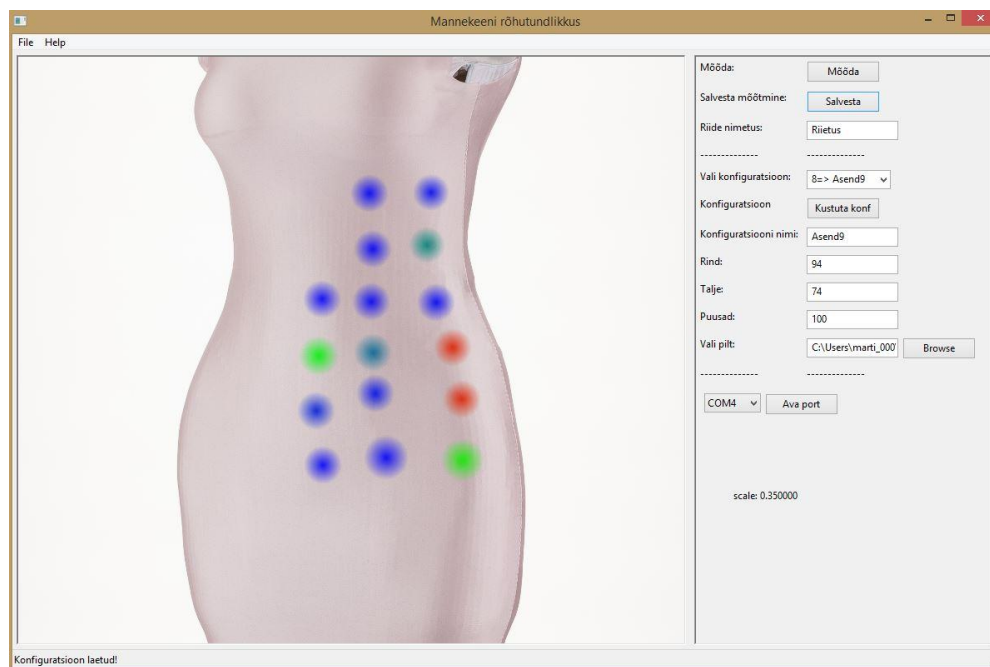
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 7

Asend 8 (90-74-88)



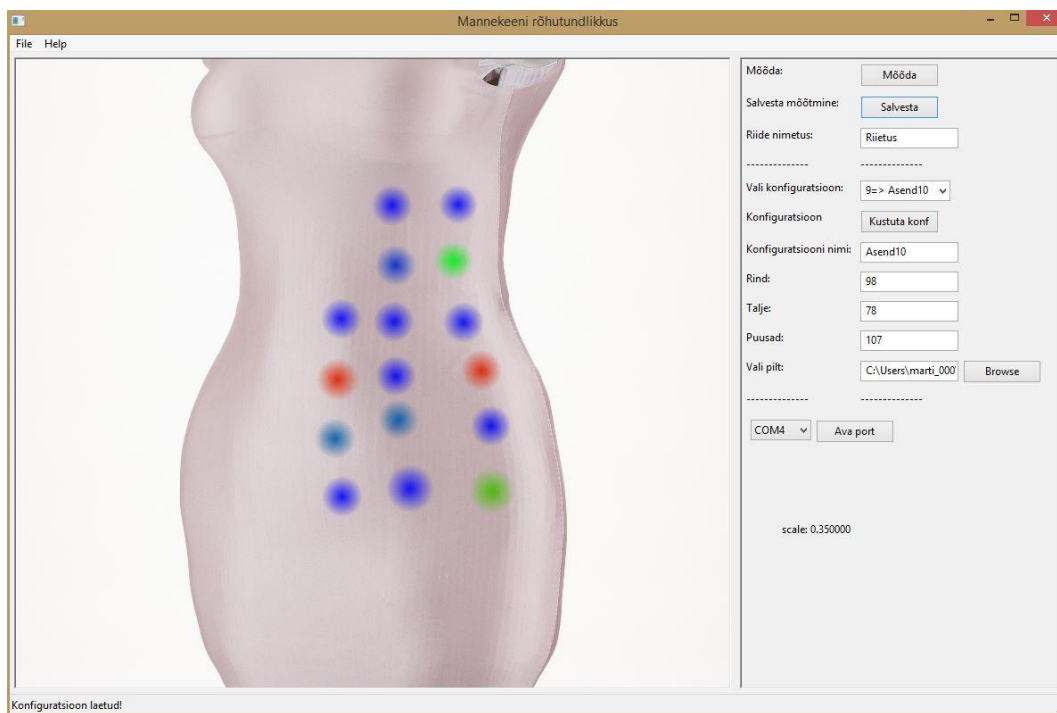
Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 8

Asend 9 (94-74-100)



Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 9

Asend 10 (98-78-107)



Katteriidega mõõtmise tulemused asendis 10

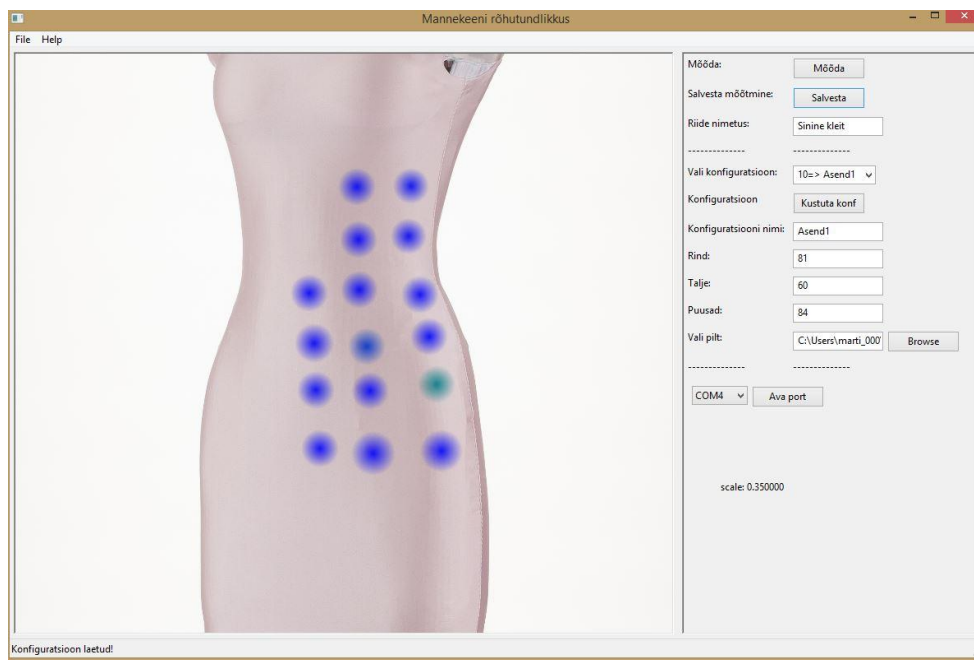
Lisa 3 – Veniva kleidiga mõõtmise tulemused

Tulemuste ülevaade

	andur0	andur1	andur2	andur3	andur4	andur5	andur6	andur7	andur8	andur9	andur10	andur11	andur12	andur13	andur14	andur15
Asend1 (81-60-84)	0	0,33333	0	0	0	0	0	0,66667	10,3333	0	0,33333	0	24,3333	0	0	0
Asend2 (81-70-96)	89,6667	48,3333	0	100	0	0	1	99,6667	15	88,3333	0	0,66667	77,3333	1,66667	1	33
Asend3 (82-66-96)	30,3333	0	0	16,3333	0	0	1,33333	22	3	26,6667	0	0,66667	55,6667	0	0,33333	45,6667
Asend4 (82-78-88)	100	100	100	100	0	7,33333	0,33333	100	24	67,3333	1,66667	7,66667	0	1,66667	0	0
Asend5 (86-74-104)	100	100	1	100	4,33333	0,33333	0,66667	89,6667	30,6667	100	15,6667	0	21,6667	0	0	70
Asend6 (90-66-96)	100	100	7,33333	67	0	0,33333	0,33333	0,33333	1	0	0	0	57,3333	0	0	30,3333
Asend7 (90-70-104)	100	100	5,66667	100	3,66667	0	1	61,6667	12,3333	83	0	0	59	0	0	93
Asend8 (90-74-88)	100	98,6667	33,3333	100	2,66667	6	0	53,6667	0,66667	46,6667	0	0,33333	39,6667	0	0	0
Asend9 (94-74-100)	100	43,3333	43,6667	100	0	1	0	48,6667	19,6667	62,6667	0	0	75,6667	0	0	89,3333
Asend10 (98-78-107)	100	100	100	100	0	0,33333	0	100	0	100	21	8	25,6667	0	0,33333	100

Joonis 25. Kleidiga mõõtmise tulemused

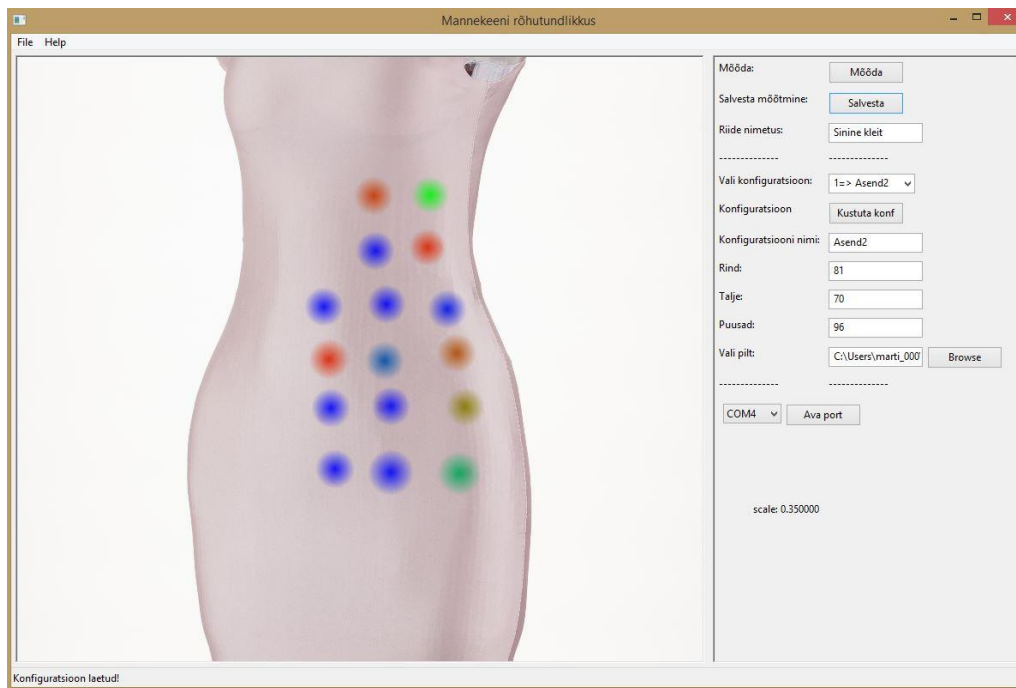
Asend 1 (81-60-84)



Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 1

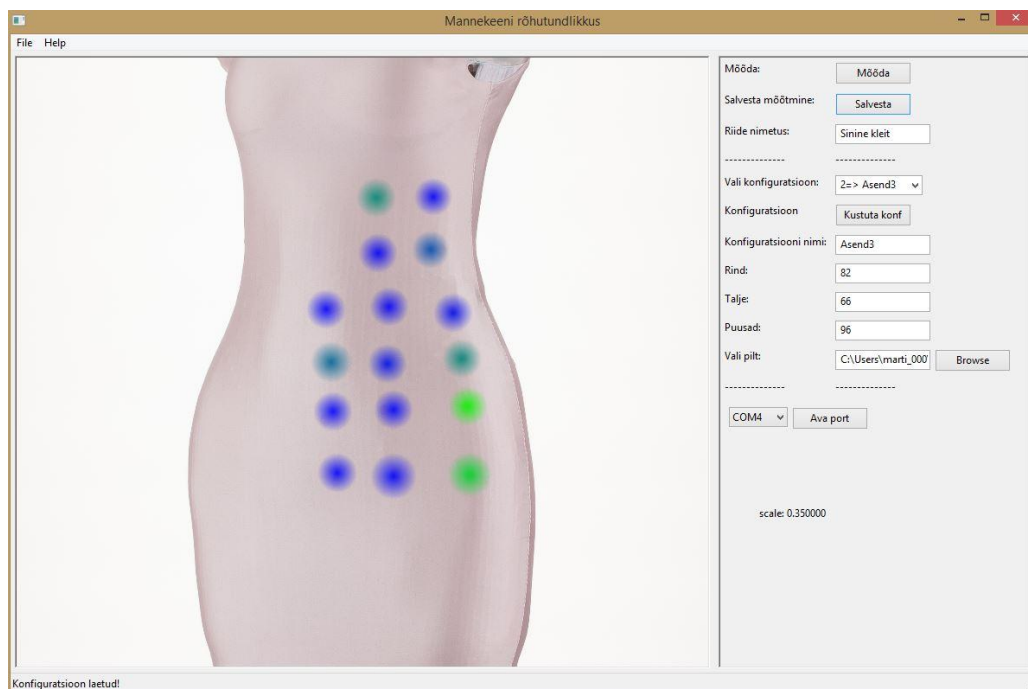


Asend 2 (81-70-96)



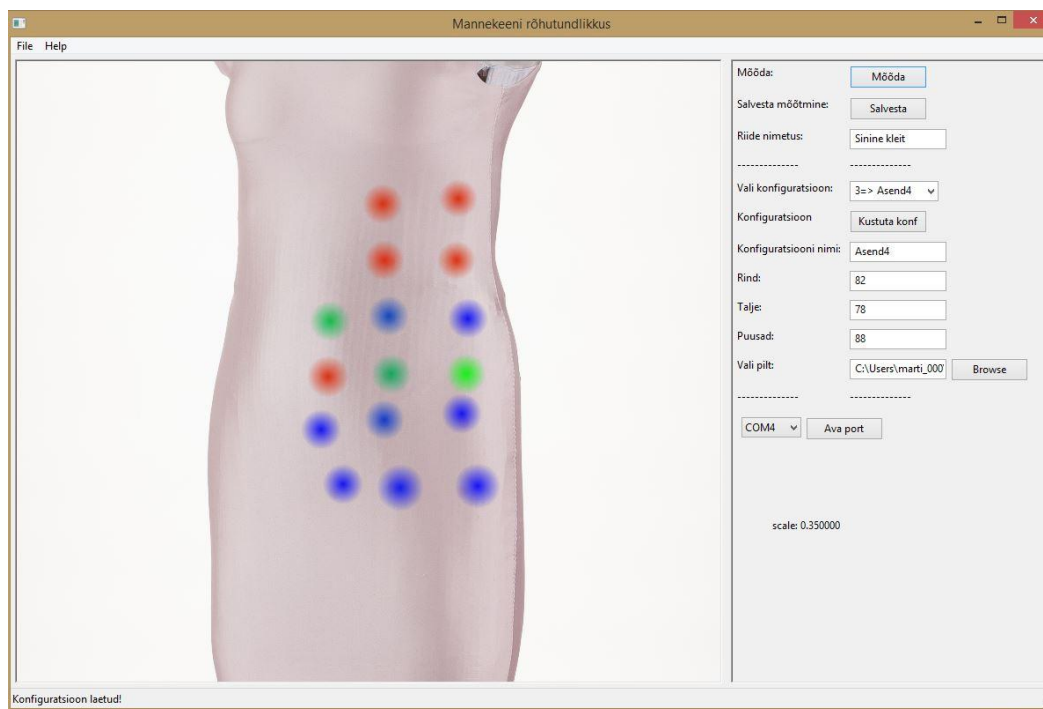
Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 2

Asend 3 (82-66-96)



Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 3

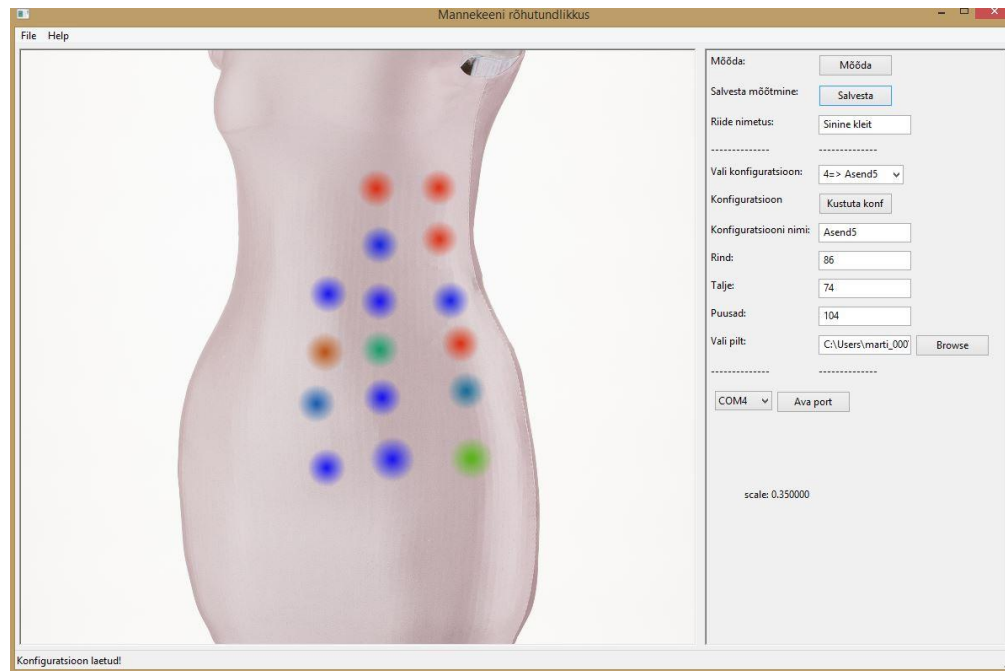
Asend 4 (82-78-88)



Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 4

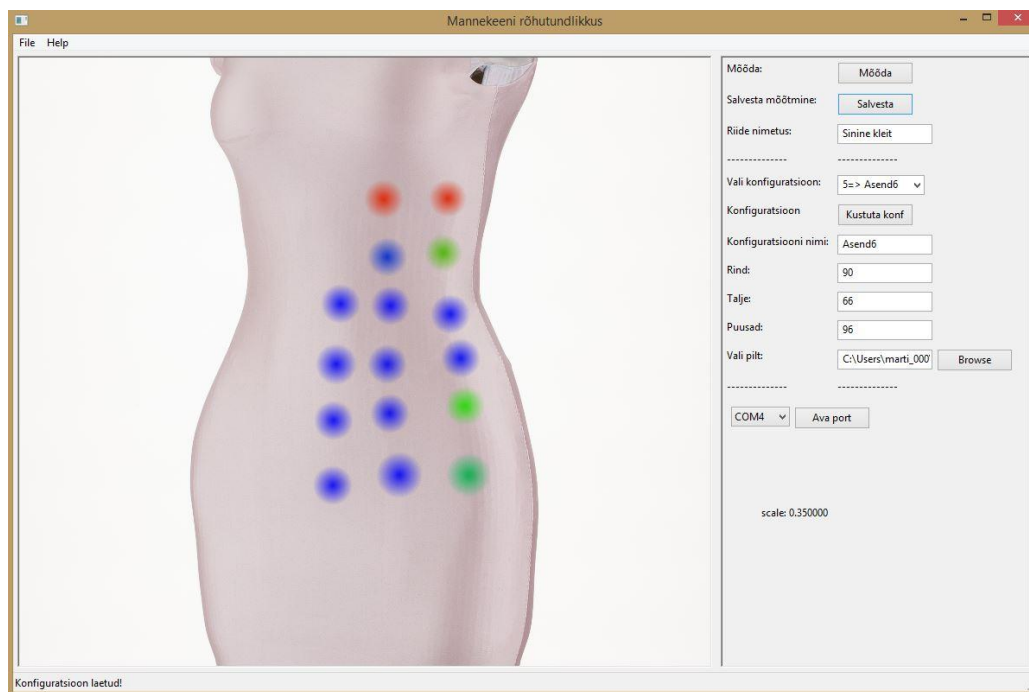


Asend 5 (86-74-104)



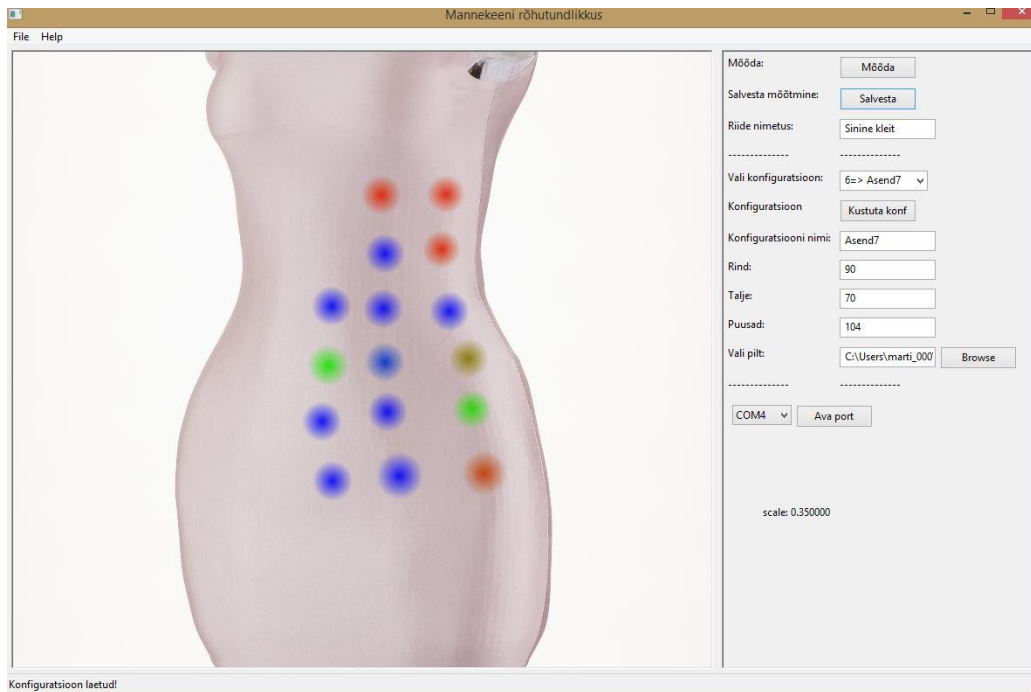
Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 5

Asend 6 (90-66-96)



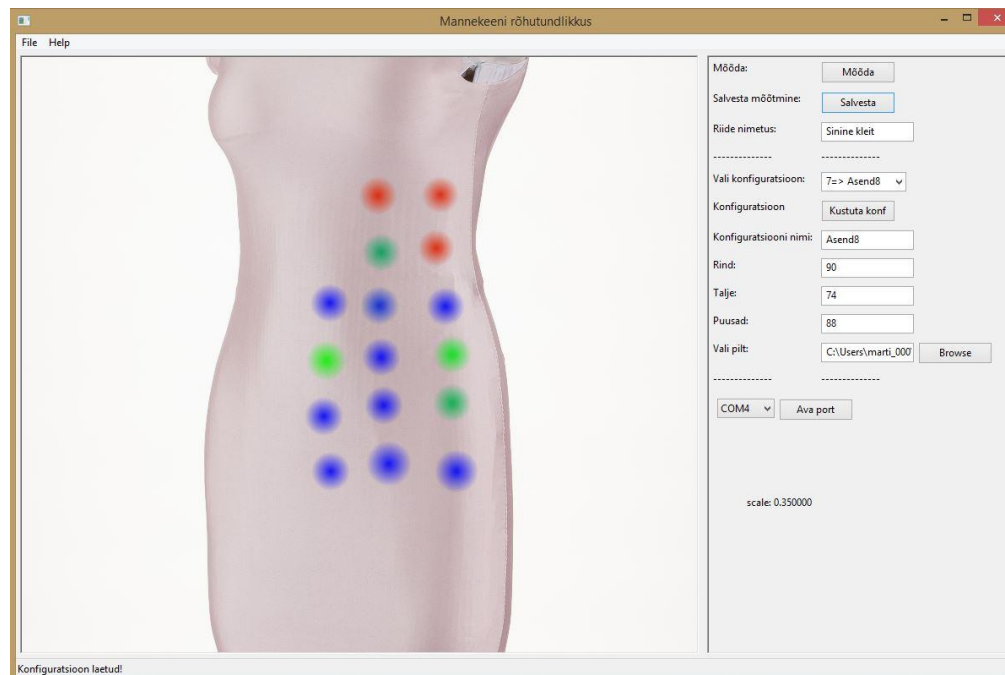
Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 6

Asend 7 (90-70-104)



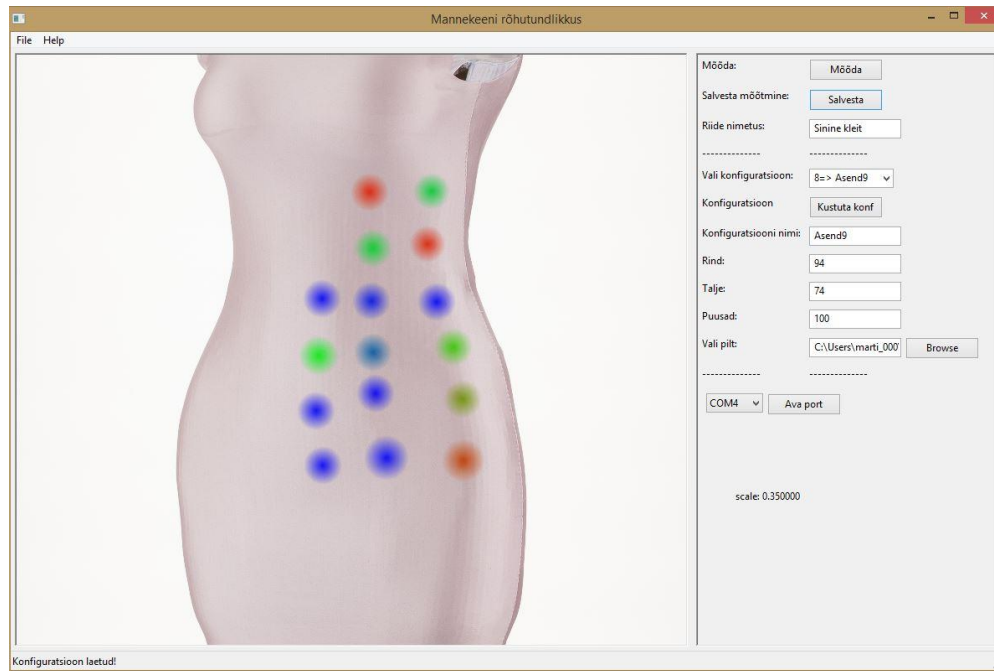
Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 7

Asend 8 (90-74-88)



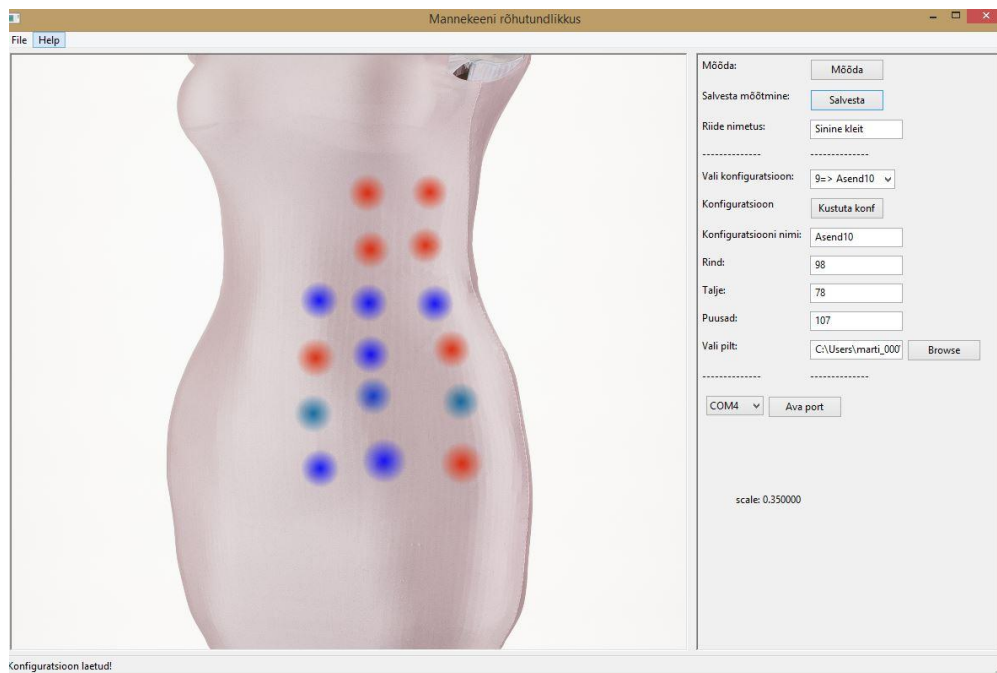
Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 8

Asend 9 (94-74-100)



Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 9

Asend 10 (98-78-107)



Kleidiga mõõtmise tulemused asendis 10



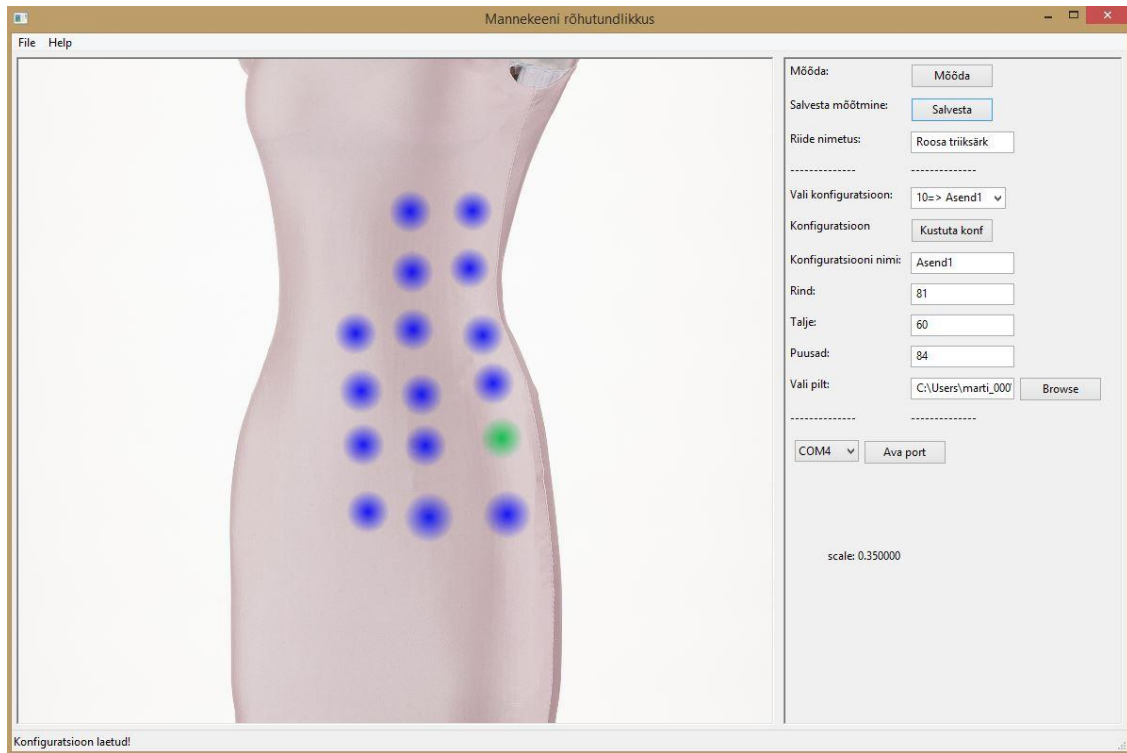
Lisa 4 – Venimatu triiksärgiga mõõtmise tulemused

Tulemuste ülevaade

	andur0	andur1	andur2	andur3	andur4	andur5	andur6	andur7	andur8	andur9	andur10	andur11	andur12	andur13	andur14	andur15
Asend1 (81-60-84)	0,33333	0	0	0	0	0,66667	1	0	0	0	0	0	37,6667	0	0	0
Asend2 (81-70-96)	0	0	0	10,6667	0	0	0	100	90	100	100	48	100	0	0	100
Asend3 (82-66-96)	0	0	0	0,33333	0,66667	1	0	100	15	85	1,66667	0,33333	99,3333	4	1,33333	100
Asend4 (82-78-88)	0	0	45,3333	84,3333	100	100	42,6667	100	100	100	1,33333	20,6667	0	0	0	0
Asend6 (90-66-96)	0	0,33333	0	5,33333	0	0	0,33333	45,3333	0	3,66667	0	0	71,3333	0	0	60,6667
Asend8 (90-74-88)	0	0	0,33333	20,6667	0	3,33333	0,33333	73,6667	0	74,3333	3	0	61,3333	0	0	0,66667
Asend9 (94-74-10)	0	1	0	22,3333	0	0	1,66667	100	28,6667	100	100	74	100	0	0,33333	93,6667

Joonis 26. Triiksärgiga mõõtmise tulemused

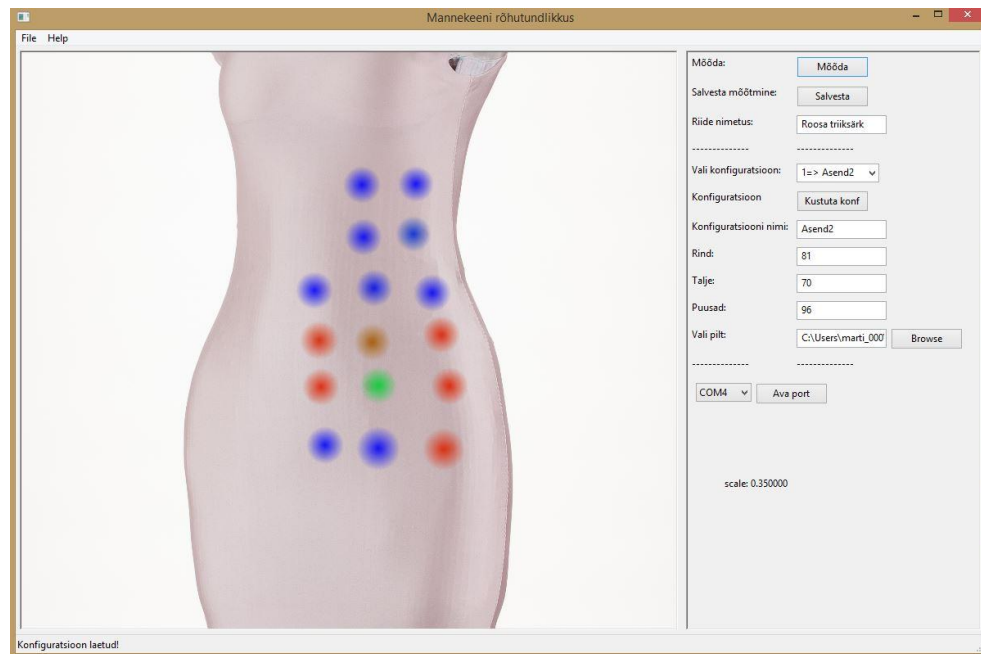
Asend 1 (81-60-84)



Triiksärgiga mõõtmise tulemused asendis 1

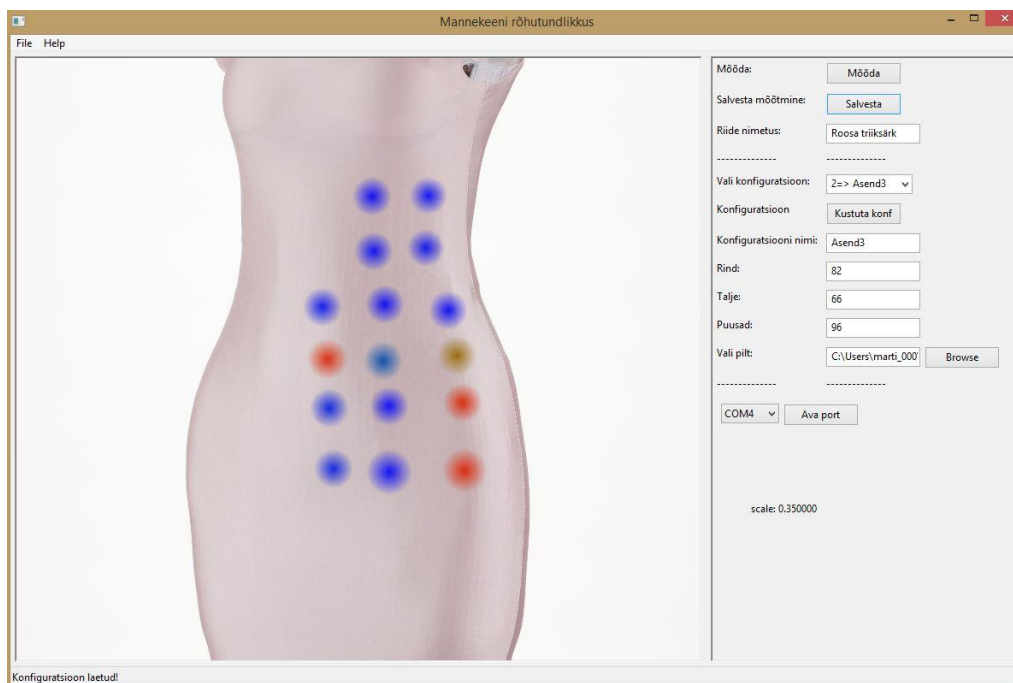


Asend 2 (81-70-96)



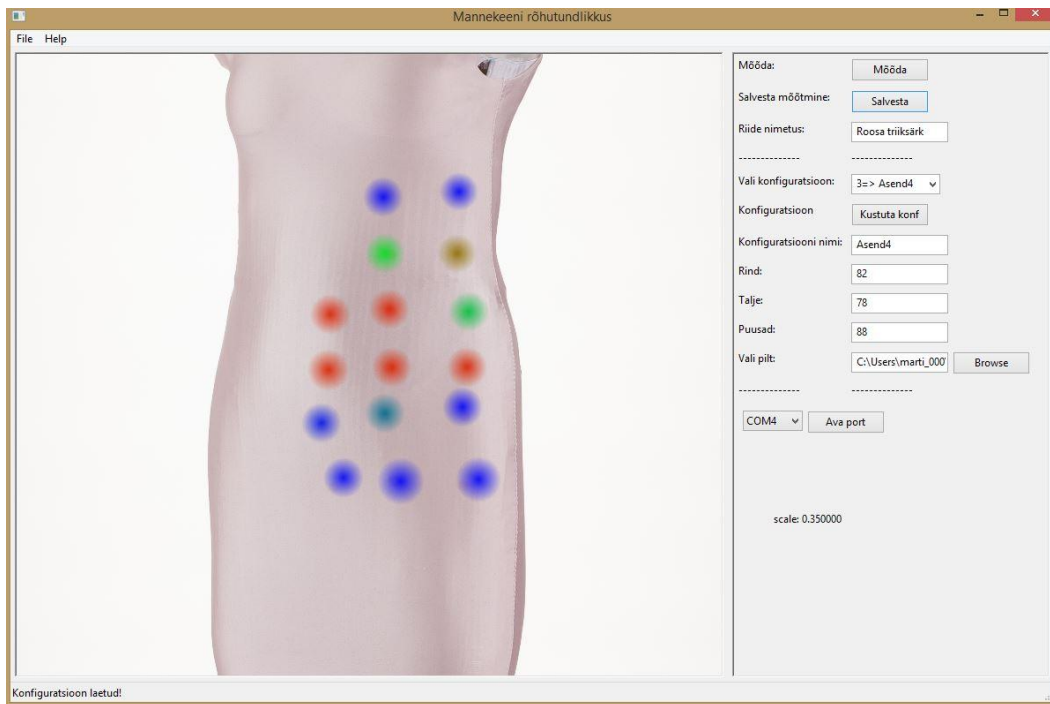
Triksärgiga mõõtmise tulemused asendis 2

Asend 3 (82-66-96)



Triksärgiga mõõtmise tulemused asendis 3

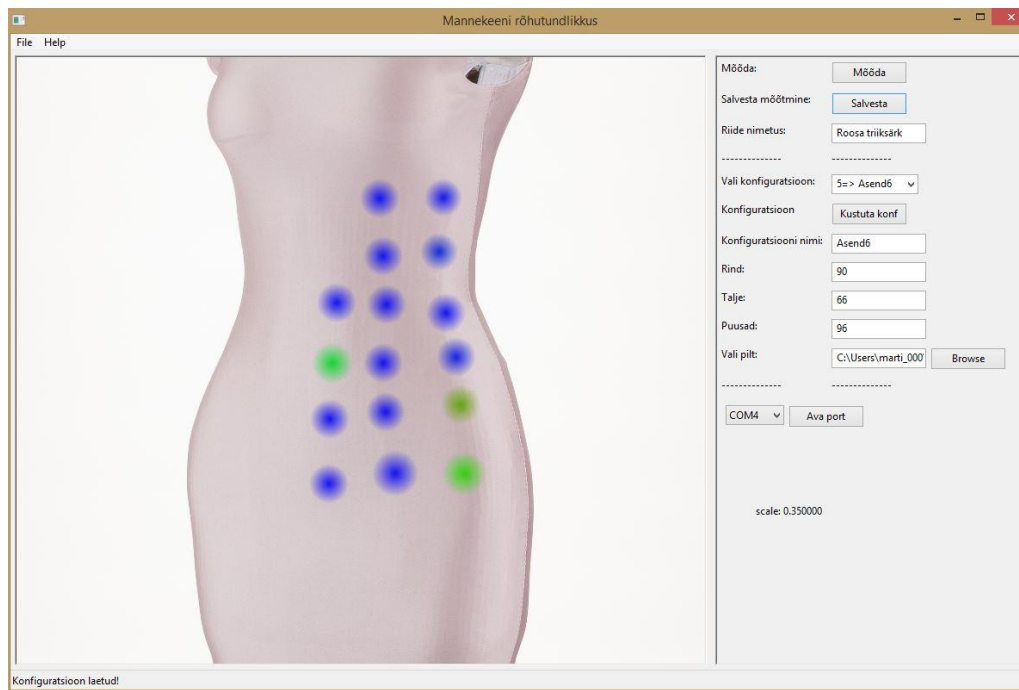
Asend 4 (82-78-88)



Triiksärgiga mõõtmise tulemused asendis 4

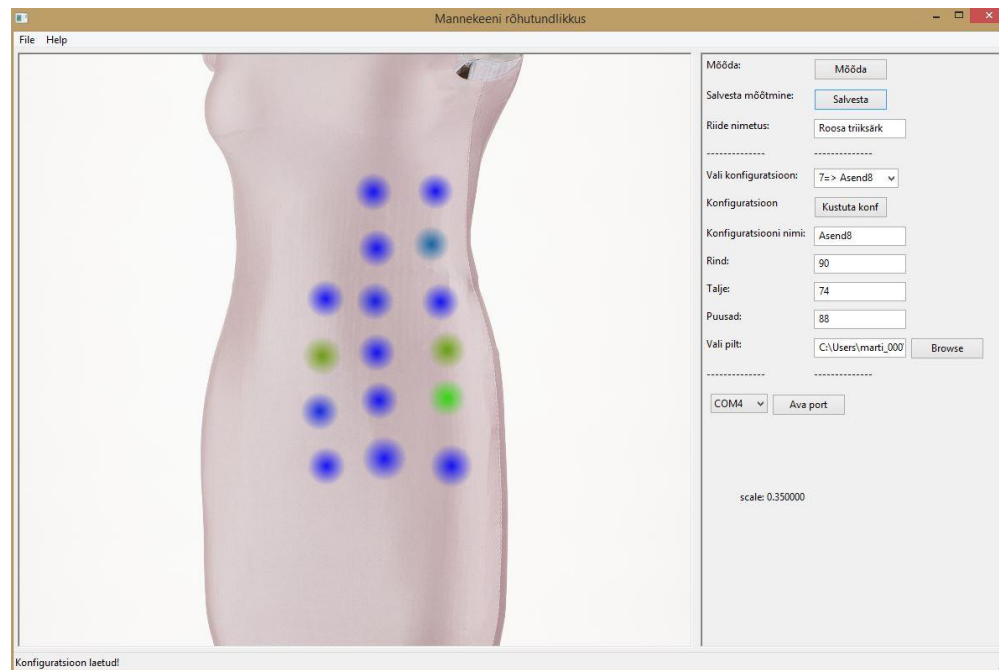


Asend 6 (90-66-96)



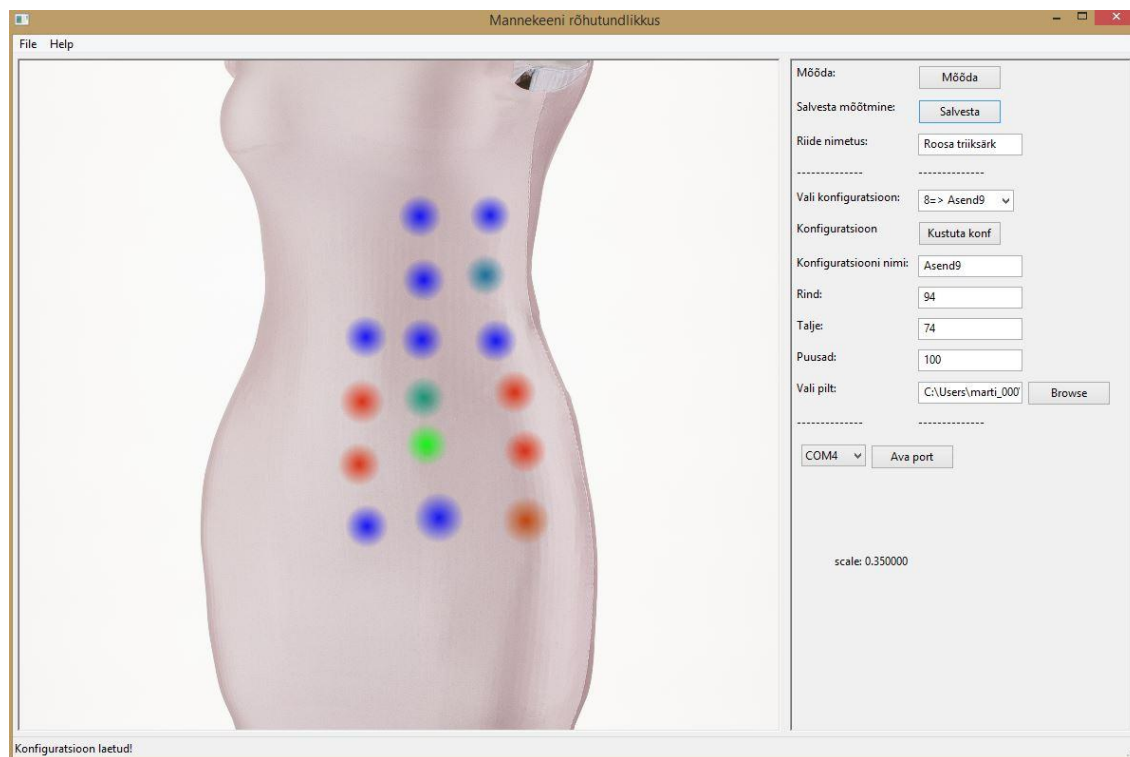
Triiksärgiga mõõtmise tulemused asendis 6

Asend 8 (90-74-88)



Triiksärgiga mõõtmise tulemused asendis 8

Asend 9 (94-74-100)



Triiksärgiga mõõtmise tulemused asendis 9

12 Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Martin Appo,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose **Robotmannekeeni kattele rõhutundlikkuse lisamise võimaluste uurimine**, mille juhendaja on Teet Tilk,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **20.05.2015**