

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND
Füüsika Instituut

Sven Kautlenbach

AUTONOOMNE SEADE ELASTSUSMOODULI MÕÕTMISEKS

Bakalaureusetöö arvutitehnikas (12 EAP)

Juhendajad:
Prof Alvo Aabloo
Karl Kruusamäe

Luban töö kaitsmisele:

Juhendaja

.....
/allkiri, kuupäev/

Programmijuht

.....
/allkiri, kuupäev/

Tartu 2011

SISUKORD

SISUKORD.....	2
SISSEJUHATUS.....	3
1. ELASTSUSMOODUL.....	4
1.1. Elastsusmooduli mõiste.....	4
1.2. Elastsusmooduli tähendus.....	6
1.2.1. Youngi moodul.....	7
1.2.2. Nihkemoodul.....	8
1.2.3. Ruumelastsusmoodul.....	9
1.2.4. Poissoni tegur.....	10
1.3. Youngi mooduli eksperimentaalne määramine.....	11
1.3.1. Tõmbekatse.....	11
1.3.2. Kolme punkti meetod.....	12
2. YOUNGI MOODULI MÕÕTESEADME DISAIN.....	14
2.1. Nõuded ja eesmärk.....	14
2.2. Mõõtesüsteemi kirjeldus.....	14
3. TEHNILINE LAHENDUS.....	19
3.1. Kere ja konstruktsioon.....	19
3.2. Elektroonika.....	19
3.2.1. Jõuandur GSO-10 ning mikrokontrolleri AD-muundur.....	21
3.2.2. Samm-mootor ja selle draiver.....	24
3.2.3. Kasutajaliidese moodul.....	25
3.2.4. Ühendus arvutiga üle UART liidese.....	28
3.3. Programmi kood.....	29
4. SEADME VEAHINNANG.....	30
KOKKUVÕTE.....	31
VIITED.....	32
ABSTRACT.....	34
LISA 1. Juhtelektroonika skeem.....	36
LISA 2. Juhtelektroonika plaat.....	37
LISA 3. Programmi kood ja elektroonika skeemid digitaalsel kujul.....	38

SISSEJUHATUS

Materjali pinge ja deformatsiooni vahelise seose kirjeldamiseks kasutatakse elastsusmoodulit, mis kirjeldab keha struktuuri muutust jõu avaldumisel. Vastavalt struktuuri muutustele on võimalik määrata materjali jäikus/elastsus. Elastsuse määramisega on võimalik leida materjali jaoks sobiv kasutusvaldkond. Elastsusmoodul annab seega kasuliku infona keha füüsilise ja keemilise ehituse mõju materjali elastsetele omadustele.

Elastsuse leidmist kasutatakse palju teadustöös, mille raames arendatakse küllaltki uue tehnoloogiaga polümeerseid aktuaatoreid. Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituut on üks mitmest teadusasutusest üle maailma, kus sellega tegeldakse. Taoliste aktuaatorite jõud ja kiirus on selges seoses nende elastsusmooduliga, seega oleks teadlastel vaja alati pärast uue materjali valmimist kiiresti ja lihtsasti mõõta selle Youngi moodul. Youngi moodul E on üks peamiselt kasutatavast elastsusmoodulist.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli valmistada autonoomne seade, mida saab kerge vaevaga kasutada pehmete materjalide Youngi mooduli mõõtmiseks. Masina tööpõhimõtte aluseks on mehaanikas laialt kasutuspinde leidnud kolme punkti meetod.

Antud lõputöö jaguneb nelja peatükki. Esimene peatükk kirjeldab elastsusmooduli mõistet ning annab ülevaate selle eksperimentaalsest määramisest. Teises peatükis käsitletakse loodud seadmele esitatud nõudeid ning tuuakse valminud seadme tööpõhimõtte kirjeldus. Tehniline informatsioon loodud elastsusmooduli mõõteseadme kohta on leitav kolmandast peatükist ning kõige lõpuks on neljandas peatükis antud seadmele mõõtmistulemuste veahinnang.

1. ELASTSUSMOODUL

1.1. Elastsusmooduli mõiste

Elastsusmoodul on keha elastsust kirjeldav suurus, mis iseloomustab materjali molekulide ja aatomite vaheliste sidemete jõudu. Kui kehale piisavalt suurt pinget avaldada siis mingi hetk toimub aineosakeste paigutuse muutus nii suurel määral, et tekib deformatsioon. On üheselt mõistetav, et mida tugevam on osakeste vahelised sidemed, seda jäigem on materjal, kuna eeldab suuremat mõjutust välise jõu näol, et tekiks struktuuris muutused.

Niisiis, elastsusmoodul on pinge ja deformatsiooni vaheline seos [1]:

$$\text{elastsusmoodul} = \frac{\text{pinge}}{\text{deformatsioon}} \quad (1)$$

Elastsusmooduli põhiühikus SI süsteemis on 1 paskal (Pa):

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Ameerika Ühendriikides on mõõtühikuna kasutusel psi (naela ruuttolli kohta, ingl *pounds (force) per square inch*). Tasub märkida, et kuna paskal on võrdlemisi „väike“ ühik, siis reaalsete rakendustes korral tuleb kasutusele võtta eesliited nagu mega ja giga, näiteks tavalise klaasi Youngi moodul on 50-90 GPa.

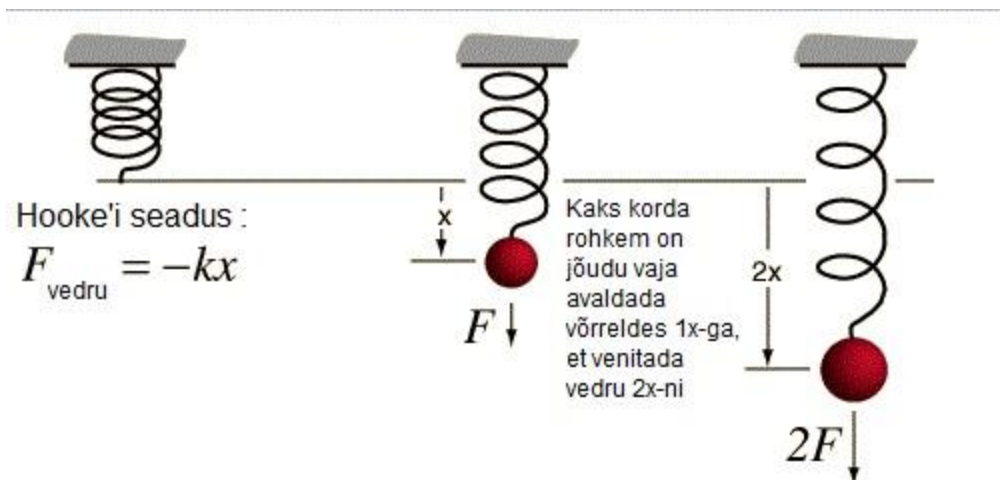
Elastsusmooduli aluseks on Hooke'i seadus: elastse vedru venituse ja jõu vaheline suhe on konstantne (joonis 1.1). [2]

$$F = -kx \quad (2)$$

Kus F on jõud, mis venitab või surub vedru kokku, x näitab vedru pikkuse muutust võrreldes algse seisuga ning k on vedrukonstant (joonis 1.1.). Sama seaduspära saab üle kanda mistahes materjalile, kuid sellises olukorras on otstarbekas viia valem 2 normeeritud kujule:

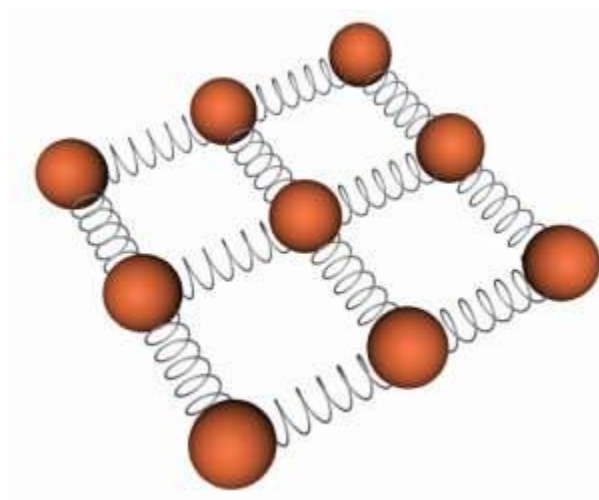
$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

Pinge σ iseloomustab jõudu pinnaühikule ning deformatsioon ε kirjeldab keha pikkuse suhtelist muutust. Elastsusmoodul E on aga nüüd materjalile iseloomulik suurus ning ei sõltu enam keha mõõtmetest.



Joonis 1.1. Hooke'i seadus [3].

Kujutades ette materjali aatomite vahelisi sidemeid kui vedrusid, saame selgitada Hooke'i seaduse mõju keha elastsusele. Kus pinge avaldumisel sidemed kas pikenevad või tõmbuvad kokku ning jõu eemaldamisel sidemed taastavad algse struktuuri.



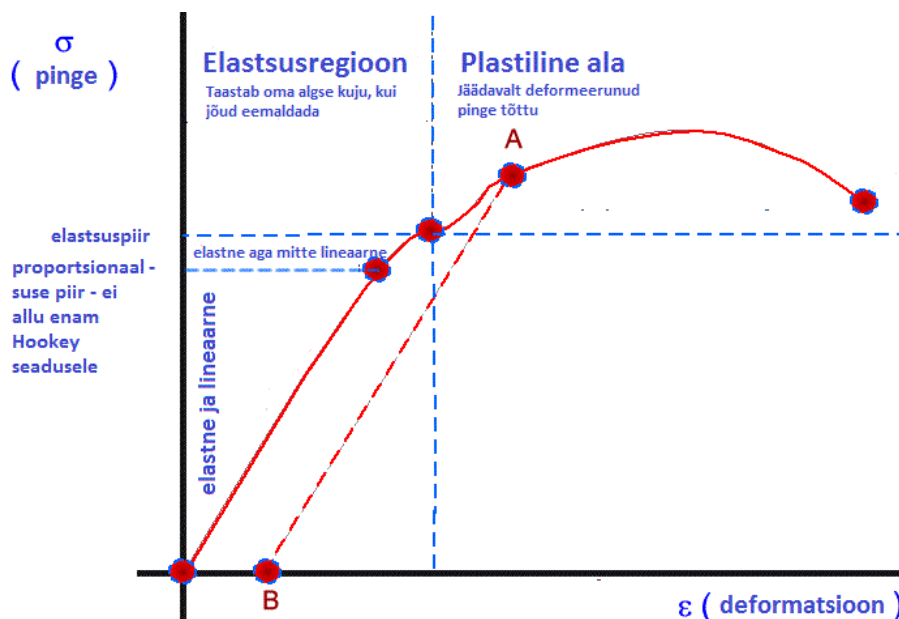
Joonis 1.2. Kahedimensionaalse võre sidemed kui vedrud [4].

Paljude materjalide korral on elastsusmooduli suurus sõltuvuses avaldatud jõu suunast, s.t. need materjalid ei ole isotroopsed. Sellel põhjusel eristatakse mitmeid erinevaid elastsusmooduleid, mis on määratletud just jõu rakendamise suunaga. Käesoleva bakalaureusetöö alapeatükkides 1.2.1. – 1.2.4. antakse ülevaade kolmest enimkasutatavast elastsusmoodulist ning nendega tugevalt seotud olevast Poissoni tegurist.

1.2. Elastsusmooduli tähendus

Erinevate elastsusmoodulitega iseloomustatakse materjale mitmete valdkondade jaoks alates teadustööst ning lõpetades ehitusega. Teaduspublikatsioonides kasutatakse elastsusmoodulit (näiteks Youngi moodul) uute materjalide kirjeldamiseks, et siis teha järeldusi erinevate elementide ja struktuuri mõju materjali tugevusele. Samuti ka juba teadaolevate materjalide erinevate füüsiliste vormide testiks. Vajalik on see selleks, et teha kindlaks, kas antud materjal on võimeline täitma talle püstitatud eesmärki või siis vastavalt katsetulemustele leida võimalik rakendusvaldkond.

Elastne keha, deformeeriva jõu eemaldamisel, taastab oma esialgse kuju. Kuni elastsuspiirini (ing *elastic limit*) on paljud materjalid lineaarsed, s.t. nende elastsusmoodul kirjeldab pingedeformatsiooni graafikul sirge tõusu (joonis 1.3).

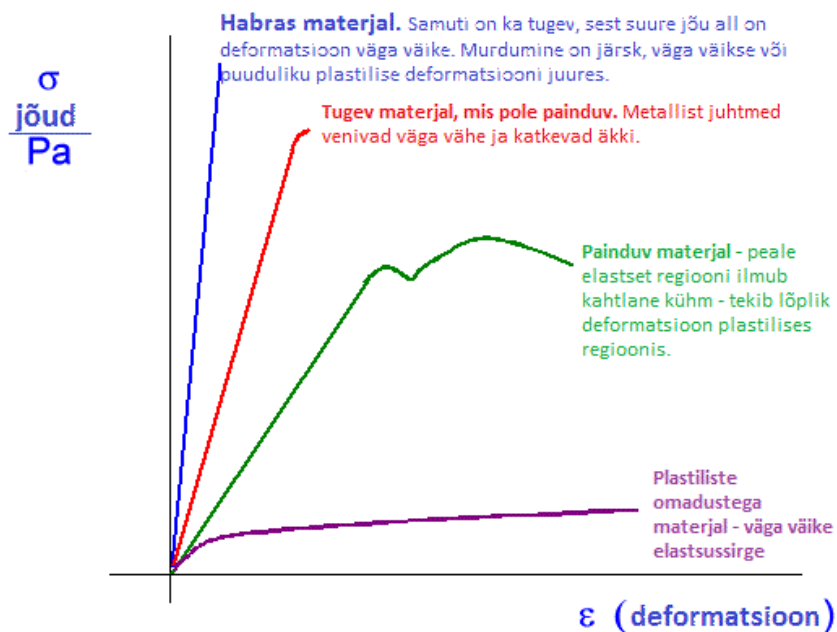


Joonis 1.3. Materjali omaduste muutumine jõu suurenedes [5].

Kui materjalilt eemaldada koormus, siis keha deformeerub mööda sama joont tagasi algsele seisule. Alates elastsuspiirist aga keha enam päris algseisundit tagasi ei võta, s.t. materjali struktuur on muutunud plastiliseks. Mida kaugemale keha venitada elastsuspiirist, seda suuremas nihkes ta on tagasi deformeerumisel võrreldes algse pikkusega ehk tekib jääkdeformatsioon. Joonisel 1.3. on valitud üks punkt plastilises tsoonis A, millest on tõmmatud punktiirjoonega sirge punkti B. Kui keha deformeerida punktini A, siis jõu eemaldamisel toimub algasendi

taastumine piki lõiku AB, seega tekib jääkdeformatsioon B. Mida sügavamale plastilisse tsooni keha viiakse, seda suurem on jääkdeformatsioon. Toodud kõvera maksimaalne y-telje väärtus iseloomustab konkreetse materjali suurimat tõmbejõudu, pärast seda punkti väheneb materjali purunemiseks vajalik jõud. Kõige parempoolsemas punktis on materjal deformeerunud sedavõrd, et toimub purunemine (joonis 1.3.).

Joonisel 1.4. on visandatud erineva jäikusega materjalide pingede-deformatsiooni kõverad. Hapraks materjaliks võib lugeda klaasi, millel on väga väike deformatsioon ning puruneb äkitselt, elastsuspiir puudub, elastsusmoodul 65-90 GPa. Järgmiseks on materjalid, millel esineb väike kuju muutus suurte jõudude puhul, aga katkemispunkt on väga lähedal elastsuspiirile. Näiteks metallid, millede näitaja kõigub 50 gigapaskalist (tina) kuni 400 GPa-ni (volframi). Painduvatest materjalidest võib nimetada puitu; kuusepuul on moodul kuni 13 GPa. Plastiliste materjalide elastsusmoodul jääb suurusjärku mõned gigapaskalid. [6]



Joonis 1.4. Erinevate materjalitüüpide pingede-deformatsiooni kõverad [5].

1.2.1. Youngi moodul

Youngi moodul on oma nime saanud 19. sajandi Briti teadlase Thomas Youngi järgi. Idee ise arendati välja Leonhard Euleri poolt juba 1727. aastal ning esimesed katsed selle parameetriga viidi läbi Itaalia teadlase Giordano Riccati poolt 25 aastat enne Young'i töid selle mooduli kallal.

[7]

Tahkiste füüsikas on Youngi moodul E (vahel ka Y) üks kolmest peamisest materjali elastsust kirjeldavast moodulist. Youngi moodul E on suurus, mis kirjeldab materjali venivust paskalites, ning arvutatakse pinge ja elastse deformatsiooni suhtest.

Valemities 1 ja 3 toodud deformatsioon ε kirjeldab katsekeha suhtelist pikkuse muutumist ning avaldatakse järgnevalt:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

ΔL on katsekeha pikkuse muutus ning L_0 selle algne pikkus.

Pinge σ on pinnaühiku kohta mõjuv jõud ning arvutatakse valemi 5 järgi, kus F on rakendatud jõud njuutonites (N) ning A_0 keha ristlõike pindala ruutmeetrites.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (5)$$

Seega saab valemid 3, 4 ja 5 kirjutada kokku järgnevale kujule:

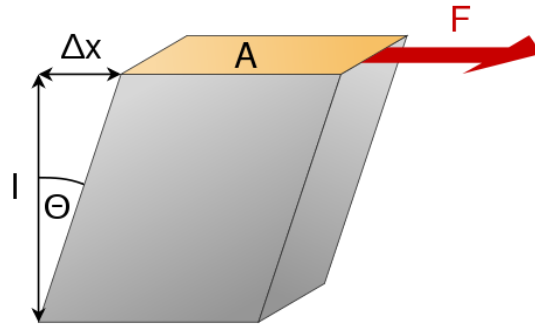
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot L_0}{A_0 \cdot \Delta L} \quad (6)$$

Kõige tüüpilisem eksperiment Youngi mooduli määramiseks on nn. tõmbekatse, millest tuleb juttu käesoleva bakalaureusetöö alapeatükis 1.3.1.

Tihti kasutatakse kirjanduses samaväärsetena termineid elastsusmoodul ja Youngi moodul, kuid üldise arusaama kohaselt ei ole see päris korrektne. Käesoleva töö juures on aga hoopiski oluline Youngi *paindemoodul*, kus katsekeha vaadatakse kui kihilist struktuuri, nii et painutamisel neutraalsest teljest ühele poole jäävad kihid teevad läbi suhtelise pikenemise ning teisele poole jäävad kihid lühenemise. Neutraalse telje enda pikkus aga ei muutu.

1.2.2. Nihkemoodul

Kui kehale on rakendatud nihkepinget (lõikepinna sihis mõjuv jõud), toimub nihkedeformatsioon (ing *shear strain*).



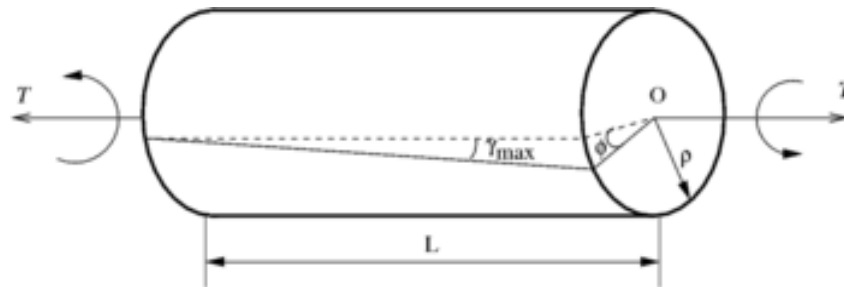
Joonis 1.5. Nihkedeformatsioon [8].

Nihkemoodul G avaldatuna nihepinge σ ja nihkedeformatsiooni γ suhtena:

$$G = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (7)$$

Nihkedeformatsioon $\gamma = \Delta x/l = \tan \Theta$ ja σ on jõu suhe pinnale F/A_0 .

Nihkemooduli kasutamise üks erijuhtusid on nn väändetest, kus mõõdetavat objekti pööratakse otstest vastupidistes suundades (joonis 1.6.). Testi käigus tekitatakse pöörlemismoment T ümber pikitelge.[1]

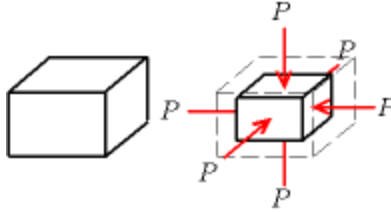


Joonis 1.6. Väändetest.

1.2.3. Ruumelastusmoodul

Hüdraulilise pinge, mis on kui ühtne survepinge igas suunas, all tekib kehal deformatsioon kõikides suundades. Survepinge p on jõud, mis avaldub kogu keha pindalale (joonis 1.7.). Ning ruumelastusmoodul B on defineeritud kui keha ruumala muutus rõhu kohta. [9]

$$B = \frac{p}{\Delta V/V_0} \quad (8)$$



Joonis 1.7. Ühtlane kokkusuruv pinge kehal [10].

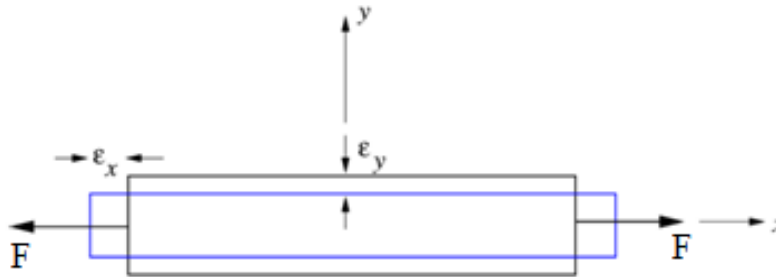
1.2.4. Poissoni tegur

Paralleelselt eelpool toodud elastsusmoodulitega käsitletakse ka Poissoni tegurit (ing *Poisson's ratio*). Kui materjali ühes suunas kokku suruda, siis tavaliselt teises suunas toimub laienemine. Sellist nähtust nimetatakse ka Poissoni efektiks, mille ulatust mõõdabki Poissoni tegur ν . [1]

$$\nu = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (9)$$

Kus: ε_y – ristisuunaline suhteline pikenemine/lühenemine (joonis 1.7)

ε_x – pinge suunaline suhteline pikenemine/lühenemine (joonis 1.7)



Joonis 1.8. Ristisuunaline deformatsioon.

Erinevalt Youngi, nihke- ja ruumelastsusmoodulitest, on Poissoni tegur ühikuta suurus.

Kuna idee moodulite ja Poissoni suhte taga on üks – iseloomustada materjali kuju muutust teatud jõu avaldumisel – siis on nad ka üksteise kaudu avaldatavad:

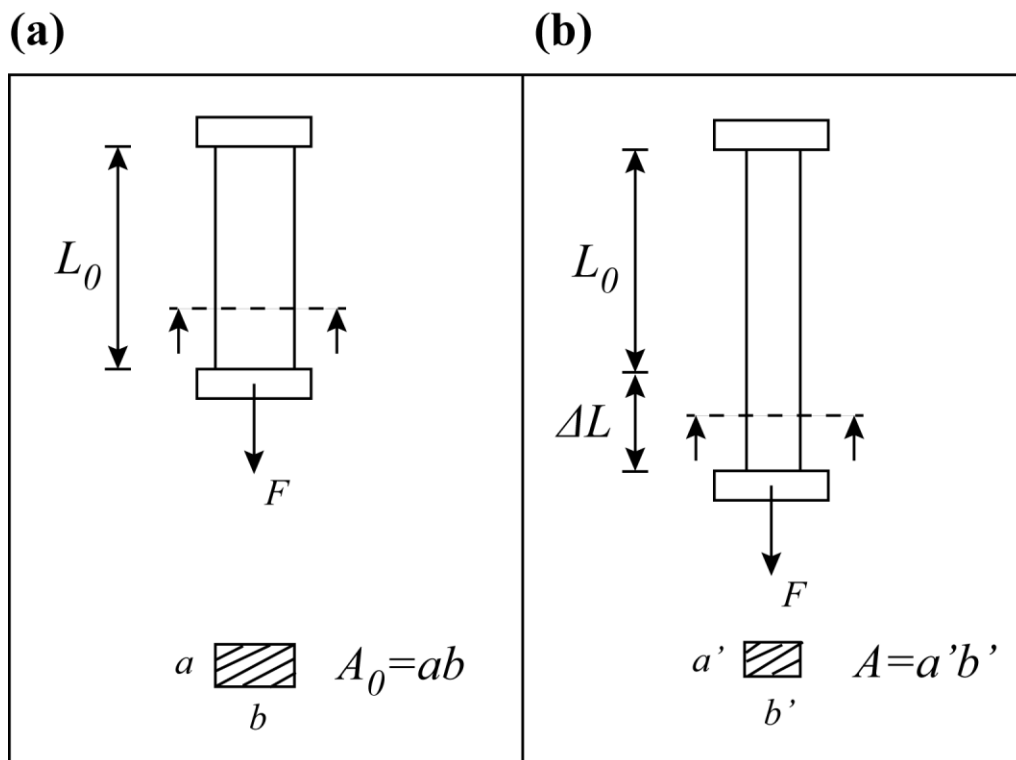
$$E = 2G(1 + \nu) = 3B(1 - 2\nu) \quad (10)$$

1.3. Youngi mooduli eksperimentaalne määramine

Sõltuvalt sellest, millist moodulit soovitakse eksperimentaalselt määrata, leidub ka erinevaid meetodeid mõõtmiste läbiviimiseks. Peatükis 1.3.1. tutvustatakse tõmbekatset, mis on otseselt Youngi mooduli definitsioonist tulenev eksperiment. Alapeatükis 1.3.2. antakse aga ülevaade 3 punkti meetodist, mis on üks enimlevinuid ja ühtlasi ka lihtsamaid eksperimente Youngi paindemooduli leidmiseks. Kuna käesoleva bakalaureusetöö raames valminud seadme eesmärgiks on just paindemooduli määramine, siis tuuakse antud peatükis ka nende arvutusvalemite tuletus, mis on kasutusel ka loodud süsteemis.

1.3.1. Tõmbekatsed

Kõige tüüpilisem eksperiment Youngi mooduli määramiseks on nn. tõmbekatsed (joonis 1.9). Keha ristlõike pindalaga A_0 on mõlemast otsast kinnitatud (joonis 1.9.-a). Jõu F toime muudab keha oma kuju, mida kirjeldab pikkuse muutumine jõu rakendamise sihis ning ristlõike pindala vähenemine (joonis 1.9.-b). Katse käigus salvestatakse venituse ja pinge vaheline suhe ja kujutatakse see graafikul.



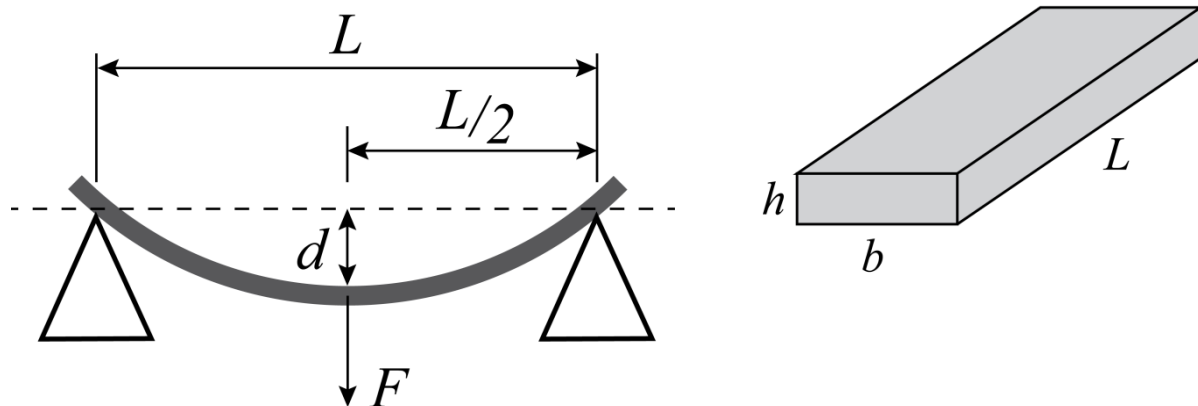
Joonis 1.9. Tõmbekatsed.

Seda meetodit rakendatakse eelkõige pikliku kujuga katsekehade puhul, kus laius ja paksus on oluliselt väiksemad kui pikkus L . Sellisele kirjeldusele vastavate katsekehade kirjeldamiseks kasutatakse mehaanikas terminit tala (ing *beam*).

Surumistest on sarnane tõmbetestile, ainult et jõudu rakendatakse sedasi, et toimub tala pikkuse vähenemine jõu sihis. Valem elastsusmooduli arvutamiseks on sama nagu tõmbetestil puhul, ainult deformatsiooni ja pingte tegurid on negatiivsed, kuna algpikkus L_0 on suurem kui lõpppikkus ja jõu rakendamise suund on vastupidine.

1.3.2. Kolme punkti meetod

Kolme punkti meetodil materjali jäikust kirjeldava paindemooduli määramine seisneb selles, et mõõdetav katsekeha asetatakse kahe aluspunkti peale ning „kolmandast“ punktist koormatakse teada raskusega selliselt, et toimub tala paindumine (joonis 1.9.). Teades uuritava materjali geometriat ja koormuse suurust, on painde amplituudi d kaudu võimalik leida paindemoodul E . [11]



Joonis 1.10. Kolme punkti meetod.

Sümmeetrilise koormusega kolme punkti meetod on üks enimlevinuid meetodeid paindemooduli arvutamiseks. Tuginedes Euler-Bernoulli teoreemile leiab igast mehaanika õpikust valemi, mille kohaselt sümmeetrilisel koormamisel tala läbipainduvus d avaldub valemiga [9]:

$$d = \frac{F L^3}{48 E I} \quad (11)$$

Siit saab omakorda kergesti avaldada Youngi paindemooduli E :

$$E = \frac{F L^3}{48 d I} \quad (12)$$

Nii valemis 11 kui ka 12 esinev suurus I on tala ristlõike pindala teine inertsimoment, mis avaldub üldkujul:

$$I_y = \iint_A z^2 dA \quad (13)$$

Ristküliku kujulise ristlõike pindala korral:

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad (14)$$

Seega saame Youngi mooduli valemiks konkreetsel juhul:

$$E = \frac{F L^3}{4 d b h^3} \quad (15)$$

Kui aga katsekeha ristlõike pindala on piiratud ringjoonega, siis avaldub inertsimoment järgneval kujul:

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \quad (16)$$

Seega saame Youngi mooduli valemiks täidetud silindri (raadiusega r) painutamisel:

$$E = \frac{F L^3}{12 d \pi r^4} \quad (17)$$

Valemid 15 ja 17 on käesoleva bakalaureusetöö raames loodud seadme põhivalemid, mille abil arvutatakse katsekehade Youngi paindemoodul.

2. YOUNGI MOODULI MÕÕTESEADME DISAIN

2.1. Nõuded ja eesmärk

Elektromehaaniliselt aktiivsed polümeerid on komposiitmaterjalid, mis elektrivälja toimel painduvad. Kirjanduses kasutatakse ka taoliste pehmete aktuaatorite kirjeldamisel koondnimetust tehislihased (ing *artificial muscles*). Kuna antud materjalid omavad väga suurt perspektiivi miniatuursete seadmete (s.h. robotite) ajamitena, siis luuakse pidevalt uusi materjale, mille kirjeldamisel mängib olulist rolli nende maksimaalne jõud ja kiirus. Taolise tehislhas-täituri jõud ja kiirus on tugevasti seotud konkreetse materjali elastsusmooduliga. [12]

Käesoleva töö väljundiks on seade, mis võimaldab mõõta pehmete materjalide (eelkõige Tartu Ülikooli tehnoloogainstituudis valmistatavate tehislhaste, näiteks [13] ja [14]) Youngi moodulit. Kuna mainitud materjalid on painduvad täituriid, siis on kirjanduses kasutusel nende iseloomustamiseks just Youngi paindemoodul, mis arvutatakse üldjuhul peatükis 1 toodud valemi 15 põhjal. Sellest tulenevalt püstitati ka ülesanne käesoleva töö autorile – luua seade, mis võimaldab tudengil või teaduril hõlpsasti mõõta uute loodavate süsinik-polümeer ja ioon-polümeer-metall komposiit aktuaatorite Youngi paindemoodulit.

Vajamineva süsteemi nõuded võib võtta kokku järgnevalt, et seade peab:

- 1) võimaldama mõõta tehislhaste Youngi paindemoodulit;
- 2) arvestama mõõdetava materjali pikkuse L varieeritavusega vahemikus 15 mm – 50 mm;
- 3) võimaldama kasutajal sisestada mõõdetava materjali geomeetria koos dimensioonidega;
- 4) automaatselt määrama valemities 13 ja 15 toodud muutujate F ja d väärtused;
- 5) olema autonoomne (ing *stand-alone*), kuid vajadusel laua- või sülearvutiga juhitav;
- 6) olema portatiivne.

Lähtudes eelpool mainitud nõuetest (eelkõige punktist 4) ning tuginedes peatükis 1.3.2. toodud eksperimendi kirjeldusele mõeldi välja seadme tööpõhimõte ja konstruktsioon.

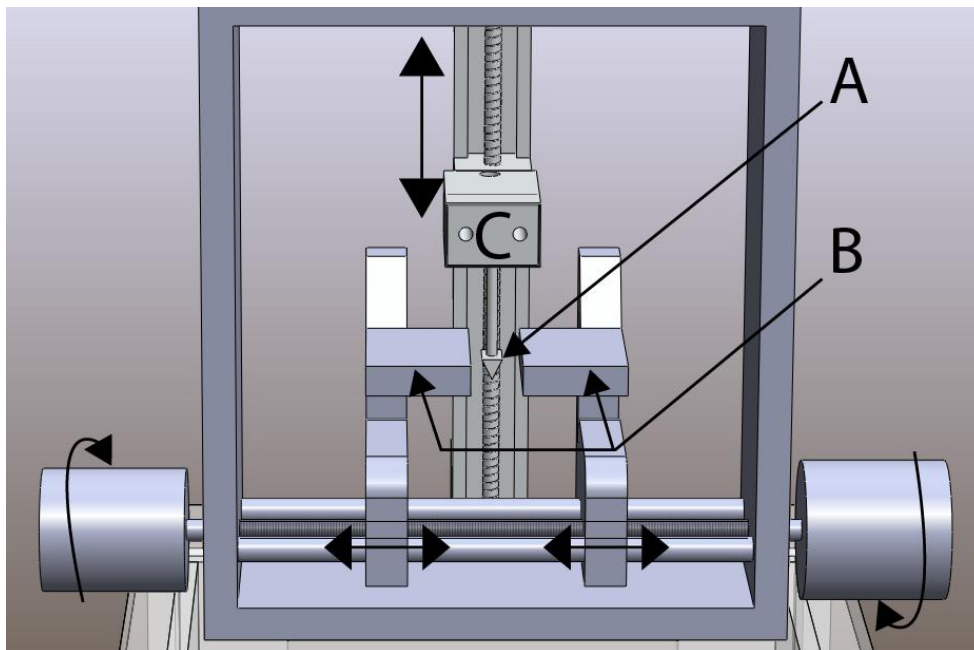
2.2. Mõõtesüsteemi kirjeldus

Üldpildi saamiseks on ehitamine jagatud osadeks, mida üksikhaaval ühendades valmib terve seade (järgnevad osad on detailselt kirjeldatud ka peatükis 3):

- 1) Mõõtekeha deformeerimine ja selle ulatuse määramine

- 2) Jõuanduri signaali mõõtmine, võimendamine ja digiteerimine
- 3) Konstruktsioon
- 4) Elektroonika juhtplaat
- 5) Mikrokontrolleri programmeerimine
- 6) Kasutajaliides
- 7) Arvutiga juhtimise tarkvara

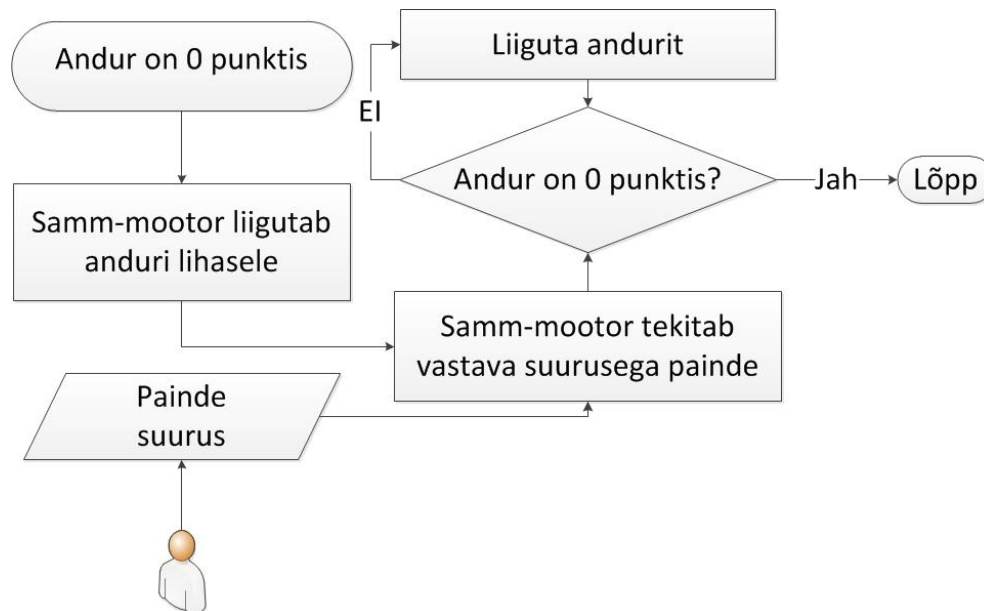
Paindemooduli leidmiseks kasutatakse kolme punkti meetodit (vt ka peatükk 1.3.2.) ning joonisel 2.1. on toodud seda realiseeriva süsteemi tööpõhimõte. Alused B on testitava materjali toetuspunktideks ning jõuanduri C liigutamisel tekitab tipp A mõõdetavale kehale deformatsiooni. Selleks, et viia läbi kolme punkti meetodit erineva suurustega kehade puhul, peavad osade A ja B asukohad olema muudetavad ning nende positsioon automaatselt või käsitsi määratav. Aluste B vahelist kaugust saab muuta keerates seadme vasakus ja paremas ääres paiknevaid nuppe. Mõlema nupu külge on kinnitatud keerdlatid, mis aluseid keskelt läbivad ja seetõttu võimaldavad reguleerida kummagi aluse asukohta iseseisvalt.



Joonis 2.1. Konstruktsiooni liikuvad osad.

Jõuandur C registreerib jõu, mida katsekeha avaldab tippule A, kui toimub mõõdetava materjali painutamine (joonis 2.1.). Jõuanduri liigutamine toimub keerdlati ja samm-mootori abil. Selleks fikseeriti keerdlatt ning selle külge kinnituvad samm-mootor ja jõuandur väga täpselt kogu

konstruktsiooni suhtes. Keerdlatt peab olema täisnurga all aluste tasapinnaga. Lati liigutamisel samm-mootoriga tekitatakse anduri vertikaalne positsiooni muutus. Samm-mootori kasutamine anduri liigutamiseks annab võimaluse lihtsasti määrata painde suurust. Kuna positsiooni muutus on otseselt seotud mootori sammu kraadide ja lati keeru laiusega.

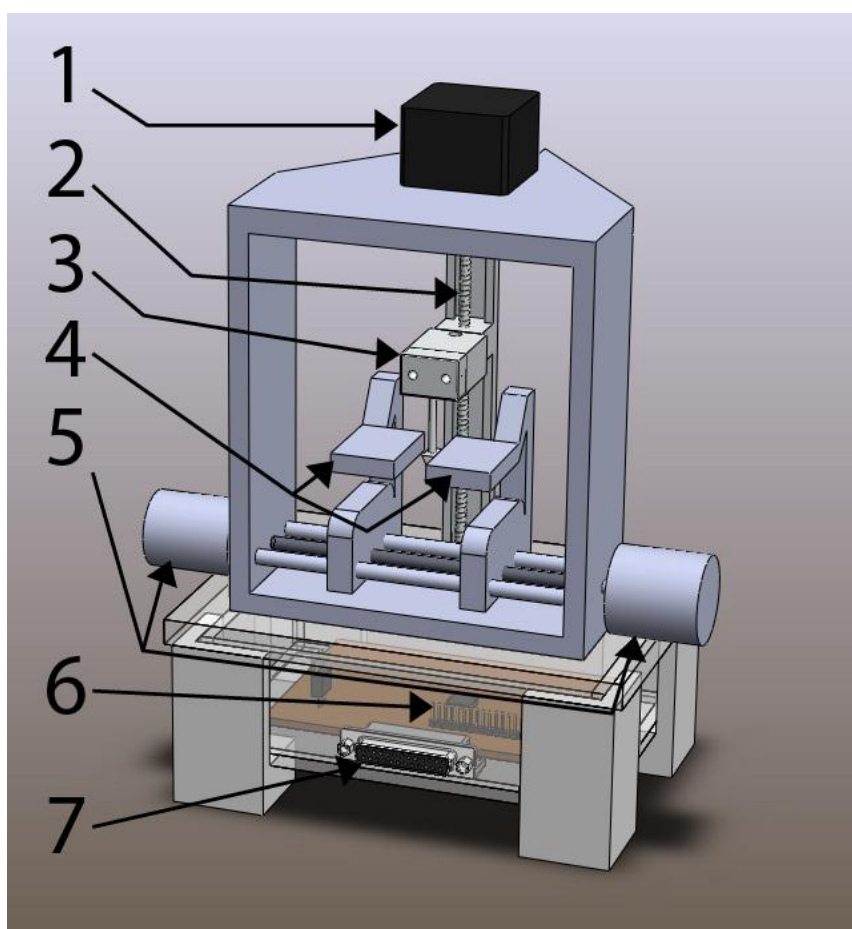


Joonis 2.2. Anduri liigutamine.

Joonisel 2.2. on kirjeldatud valminud seadme tööloogika painde mõõtmiseks. Iga mõõtmise algul on andur 0-punktis, mille registreerib lati ülaosas paiknev nupp, mis kokkupuutel anduri korpusega, tekitab protsessoris katkestuse, mille peale lõpetatakse anduri liigutamine. Vahe 0-punktist kuni aluste horisontaalse tasapinnani on eelnevalt määratud ning püsib muutumatuna. Seda suurust kasutatakse keerdlati pöörlemisel igakord enne uut mõõtmist, et viia anduri tipp A (joonis 2.1.) mõõdetava keha tasapinnani.

Seadmele loodi LCD ekraanist ja minimalistlikust klahvistikust koosnev juhtpaneel e. kasutajaliides. Kasutajaliides võimaldab juhtida materjalile tekitatava painde amplituudi, mille omakorda registreerib mikroprotsessor vastavalt tehtud sammude arvule. Mõõtmise lõppedes täidetakse programmis anduri ülesviimise tsüklit niikaua, kuni 0-punkti fikseeriv nupp ja jõuanduri korpus kokku puutuvad. Sellega tagatakse mugav katsekeha vahetamine ning seadme käivitamisel saab alati tagada tipu A (joonis 2.1.) täpse paigutamise vastu testkeha, tekitamata nihkepainet.

Youngi paindemooduli arvutamiseks vajalik jõud ja hälve leitakse seadme poolt. Ülejäänud arvutusteks vajalikud parameetrid (testkeha mõõtmised) sisestatakse kasutajaliidese kaudu. Lisaks andmete sisestamisele ja jõuanduri liigutamise painde tekitamise ajal, väljastatakse kasutajaliidese kaudu juhised ja arvutatud Youngi mooduli väärtus LCD ekraanile. Mugavuse eesmärgil on liides eraldatud konstruktsioonist poole meetrise juhtmega. Teiseks põhjuseks on võimalik mehhaaniline müra, mis võib kaasneda kui kasutaja on otseses kontaktis konstruktsiooniga mõõtmiste ajal. Liides ühendub elektroonikaga LPT pistiku abil, mis asub seadme esipaneelil (joonis 2.3.). Eelistuste poolelt on kasutajaliidesel võimalik muuta ekraani kontrastsust ning sisse või välja lülitada taustavalgustust.



- 1) Samm-mootor
- 2) Keerdlatt
- 3) Jõuandur, mille otsas on deformatsiooni tingiv sond
- 4) Mõõtekeha alused (vt. ka joonis 2.1.)
- 5) Keeratavad aluste liigutamise otsad (joonis 2.1)
- 6) Elektroonika
- 7) Kasutajaliidese ühenduspistik

Joonis 2.3. Kogu seadme joonis.

Kere on tugevuse ja jäikuse eesmärgil ehitatud ülemises osas 0,8-1 cm paksusest pleksiklaasist. Konstruktsioon on piisavalt jäik seadme kaasaskandmiseks (haaratav igast kohast) ja pörutuste

talumiseks. Kogu seadme mass on alla 2 kg ning see mahub kergesti 140 x 120 x 220 mm karbi sisse.

Seadmest rääkides võib ta jaotada mõtteliselt kaheks: nn „ülemine osa“, kuhu kuuluvad mehhaanilise poole komponendid 1-5 ning „alumine osa“, kus asub elektroonika. Samm-mootor ja jõuandur on ühendatud alumise osaga juhtmete abil.

3. TEHNILINE LAHENDUS

3.1. Kere ja konstruktsioon

Disainimisel ja ehitamisel lähtuti kättesaadavatest materjalidest, mis olid juba Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudis olemas. Peamine kuluartikkel oli seega plast – polükarbonaat ja pleksiklaas – ja alumiinium. Ühendused said kinnitatud metallikruvidega, valdavalt M3 ja M2 ning fikseerimiseks mutrid või sisemised keerved. Vähesel määral kasutati kinnituste juures nii sulaliimi kui ka kiirtoimega liimi. Detailide loomiseks oli kasutada nii lintsaag kui ka käsifrees. Konstruktsiooni valmistamiseks kuluski töö raames kõige rohkem aega, hinnanguliselt umbes 2/3 kogu töö mahust.

Kogu konstruktsiooni keerukaim ja täpsust nõudvaim osa oli katsekeha deformatsiooni tekitava ja mõõtvava mehhanismi disain ja kokkupanemine. Painde tekitamiseks kasutati samm-mootori külge ühendatud keerdlati, mille otsa paigutati jõuandur, mis mõõdab materjali deformatsiooni käigus tekkivat elastsusjõudu. Keerdlatt peab paiknema täisnurga all aluse ning sellele toetuva katsekeha suhtes ning ühendus samm-mootoriga peab olema piisavalt täpne ja jäik, et lati pöörlemisel ei tekiks vibratsiooni ega suuremaid lõtkusid. Ka samm-mootor ise pidi olema jäigalt kinnitatud, et säiliks rootori vertikaalne asetus. Sellest tulenevalt kasutati konstruktsiooni ülemises osas pigem paksemat plastikut – 10 mm. Jõuanduri fikseerimiseks tehti jõuanduri olemasolevasse kinnitusavasse sisemine keere.

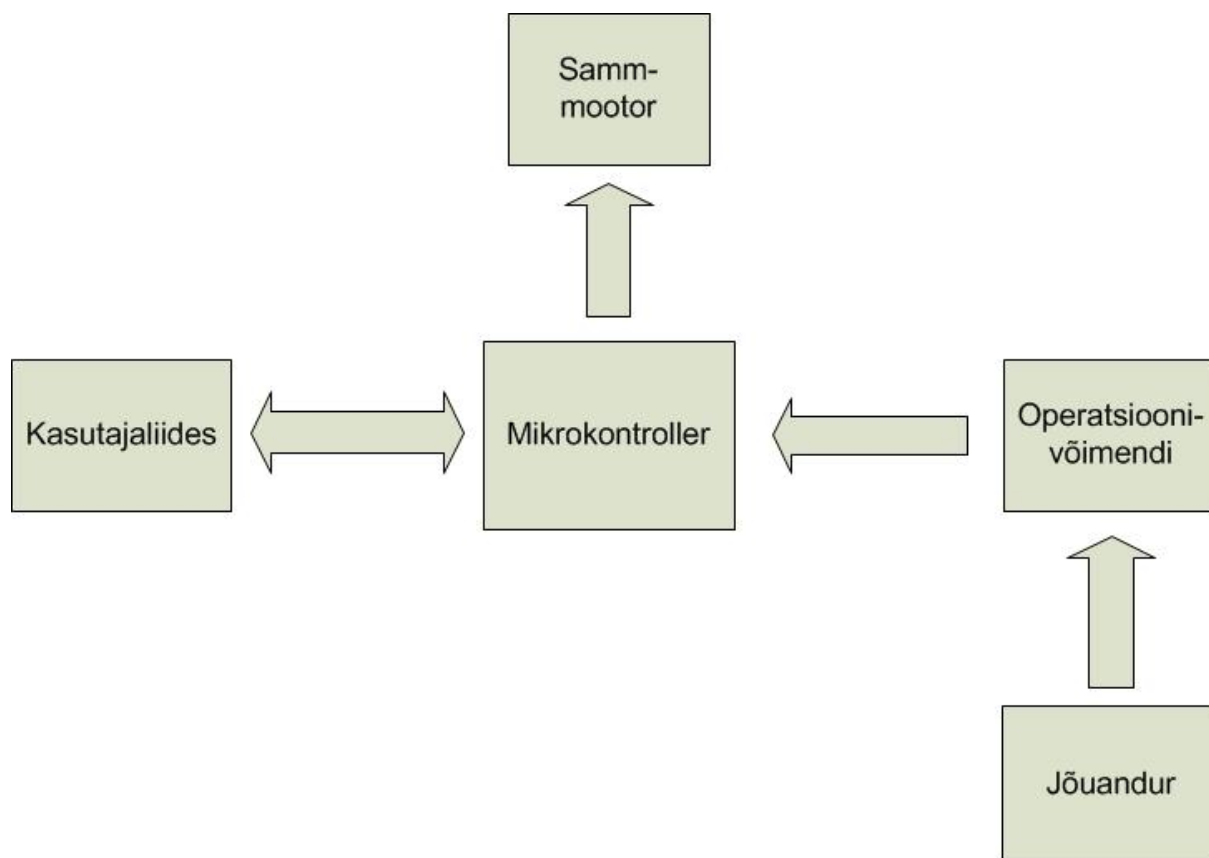
Kuna seadmega tuleb mõõta erinevate pikkustega materjalide Youngi moodulit, siis peab tugipunktide vaheline kaugus olema muudetav (joonis 2.1). Kummagi aluse, millele toetatakse katsekeha (tehislihas), asukoht on teineteisest sõltumatult reguleeritav keerdlattide abil, maksimaalne võimalik vahekaugus on 50 mm. LCD ekraani, juhtnuppude ühendused ja toitepistikud paiknevad samuti konstruktsiooni alumise osa küljes.

3.2. Elektroonika

Juhtelektroonika keskne roll on mikrokontrolleril Atmega324P, mis juhib samm-mootorit, loeb jõuanduri lugemeid, arvutab Youngi mooduli ning suhtleb kasutajaga läbi kasutajaliidese (joonis 3.1.). Mikrokontroller suhtleb välise arvutiga UART liidese vahendusel.

Atmega324P on AVR arhitektuuriga Atmeli poolt toodetud 8-bitine mikrokontroller, millel on neli ühebaidist ja kahesuunalist sisend-väljundporti. Peamiseks eeliseks on tasuta

arendusvahendid (AVR-GCC kompilaator, AVR-Studio IDE) ning kasutuslihtsus. Lisafunktsioonide (ADC, UART, loendurid, jms) jaoks on kontrolleri sees eraldi plokid, mis on võimelised iseseisvalt ülesandeid täitma ning nende kasutamiseks saaks programmeerida vastavad katkestused. Kasutatud mudelil on võrdlemisi suur – 32 KB – välmälu, mis võimaldab hõlpsasti koodi ka mällu mahutada. [16]



Joonis 3.1. *Elektroonika plokk skeem.*

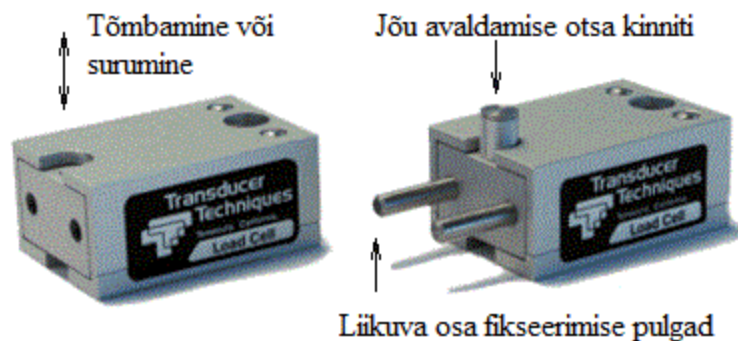
Mikrokontrolleriga ühendati USB-UART konverter, samm-mootori draiver, ISP programmaator, toite ning testimiseks vajalikud sõlmed. Elektroonikaplaadil on veel kaks pingeregulaatorit: ekraani taustavalgustus 5V (eraldi liin toite stabiilsuse jaoks, kuna kasutan muundurit) ja sensori ja võimendi sisendpinge 9V, selleks et võimendatavate signaalide vahe oleks suurem, häirekindlam ning süsteemi toitesignaali juhusliku muutumise tõttu säiliks kalibratsioon. Pinge regulaatoreid, mõõtesigne ja kristalli toetavad omakorda kondensaatorid, mis suruvad maha häired. Radade laiused trükkplaadil on enamasti 0,5 mm, kohati ka 0,3. Kuna komponente oli palju väikse pindala kohta, siis takistite, jalgade ja kondensaatorite paremaks jootmiseks disainisin plaadi kahepoolsena. Komponentide augud ja tasandite teed on samuti 0,5 mm.

Järelejäänud ala, mis jäi katmata komponentide ja radadega, on kõik ühine maa. Kogu juhtelektroonika skeem on toodud käesoleva lõputöö lisa 1.

Järgnevalt konstrueeriti elektroonikaskeemide CAD programmiga Eagle trükkplaat, et kõik komponendid kompaktselt ära mahuksid ja efektiivsemalt töötaks. Loodud plaadi joonis leitav lisast 2. Peamised ühendused on silumise ja testimise jaoks plaadilt välja toodud 0,1 tolliste jalgadega.

3.2.1. Jõuandur GSO-10 ning mikrokontrolleri AD-muundur

Jõuandur valiti vastavalt testitulemustele. Suurim täpsus saavutati jõuanduriga GSO-10 (joonis 3.2.) [15]. Anduri spetsifikatsioon märgib mõõtepiirkonnaks kuni 10 g, samas testimise käigus säilis seadme täpsus ja lineaarsus isegi kaks korda suuremate raskustega. Jõuanduri korpus võimaldab kinnitada külge vajaliku otsa, et tekitada katsekehale paine ja tekkinud füüsiline vastupinge edasi kanda mehhaanilise muutusena mõõtesillale, kus näit registreeritakse pingete vahena.

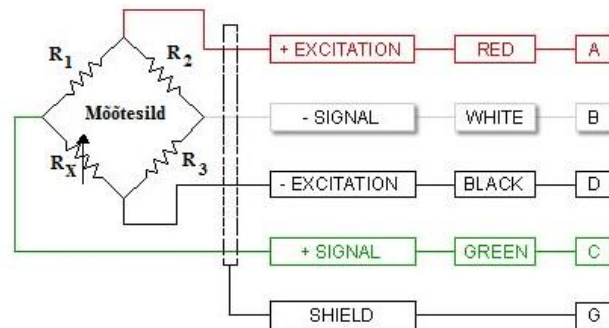


Joonis 3.2. Jõuandur GSO-10 [15].

Deformatsiooni jõu määramine toimub anduri kahe signaaliväljundi pingevahe mõõtmisega. Kuna väljundpinge on väga väike (kuni mõnikümmend millivolti, olenevalt toitepingest), tuleb kasutada võimendit, et seda oleks hõlpsam registreerida mikrokontrolleri enda AD-muunduriga.

Jõuandur muundab sellele rakendatud jõu analoogpingeks, mis on proportsionaalses seoses toitepingega. Joonisel 3.3. on toodud käesoleva seadme juures kasutatud jõuanduri GSO-10 mõõtesilla skeem koos esmase tööpõhimõttega. Anduril on neli ühendusjuhet: kaks on mõõtesilla toide ning kahe ülejäänud signaali vahe annab väljundpinge sõltuvalt mõõdetud jõust. Et seadme

sisuks on mõõtesild, siis sisendpinge suurus ei ole rangelt määratud: mida suurem on toitesignaali, seda suuremad on muutused ka väljundpinges.



Joonis 3.3. GSO-10 mõõtesild ja selle ühendused [15].

Vastavalt koormusele väheneb/suureneb anduri sees oleva mõõtesilla R_x takisti väärtus (joonis 3.3.). Sild koosneb kahest harust, kus ühe poole moodustavad R_2 ja R_3 ning R_1 ja R_x . Takistuse R_x hetkeväärtus vastab rakendatud jõule, Valem pinge arvutamiseks väljundis V_C on järgnev:

$$V_C = V_{pos} = V_{in} \frac{R_x}{R_x + R_1} \quad (18)$$

V_{neg} väärtus püsib konstantne ning avaldub valemist:

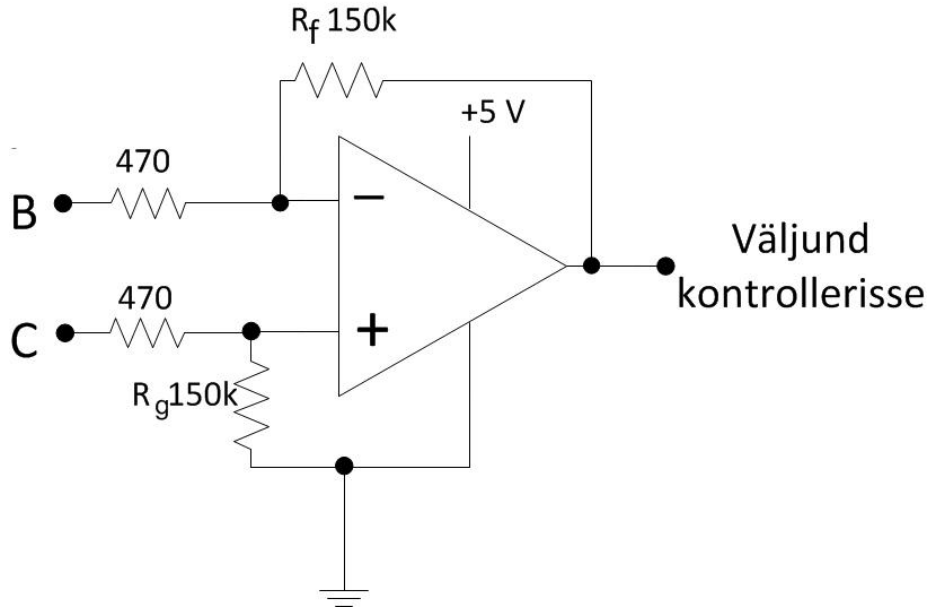
$$V_B = V_{neg} = V_{in} \frac{R_3}{R_3 + R_2} \quad (19)$$

Signaalide B ja C vahe on seega:

$$V_{dif} = V_{in} \frac{R_x * R_2 - R_1 * R_3}{(R_x + R_1) * (R_2 + R_3)} \quad (20)$$

Antud juhul kasutati jõuanduri toiteks pingestabilisaatoriga tagatud 9 volti. Stabiilse sisendpinge eesmärk on tagada kalibreeritud näitajate püsivus ka toitepinge kõikumisel nii ühe töötssükli vältel kui ka seadme korduval sisse-väljalülitamisel.

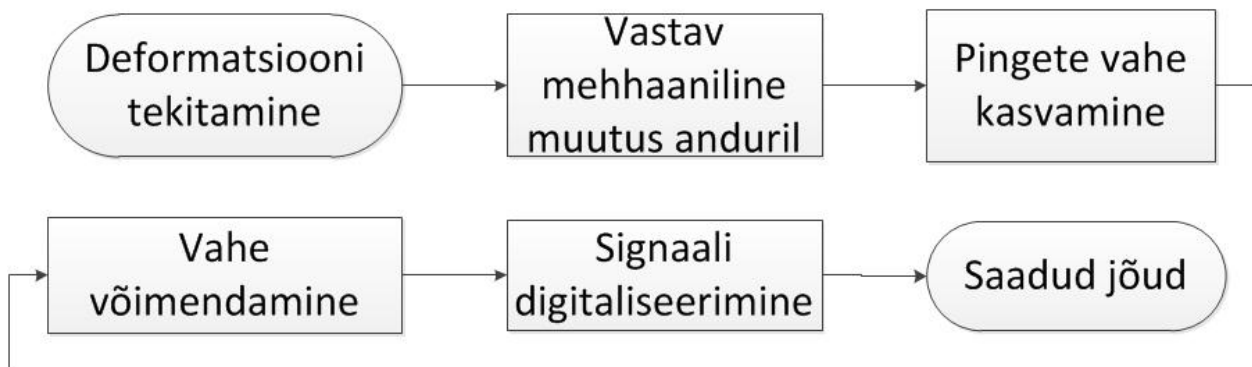
Kuna antud juhul jääb jõuanduri väljundpinge vahemikku 0-20 mV, siis tuli mikrokontrolleri AD-muunduri täpsusest tingituna (10 bitti toitepinge 5 V kohta) kasutada operatsioonvõimendiga ahelat (joonis 3.4.) väljundsignaalide V_B ja V_C vahe võimendamiseks.



Joonis 3.4. Jõuanduri näidu võimendusahel.

Kuna signaalide V_B ja V_C vahe ei ole algasendis täpselt null (vaid maksimaalselt 3 mV), siis toimub võimendis, lisaks jõu muutumisest tingitud pingemuutusele, ka selle algtasemele vastava pingeväärtuse võimendamine. Keerukust lisas asjaolu, et mainitud algtase on keskkonnast sõltuv, mistõttu tuleb alati enne mõõtmist selle väärtus uuesti määrata.

Antud lahenduse raames rakendatakse jõudu/koormust ainult ühes suunas, seega püsib V_{dif} alati positiivne. Operatsioonivõimendiga AD822AN võimendatakse kahe väljundi vahe ning kuna võimendustegur on ~ 200 , siis ahela väljundpinge jääb vahemikku 0-5 V. Saadud pinge digiteeritakse Atmega324P mikrokontrollerisse sisseehitatud 10-bitise AD-muunduriga.



Joonis 3.5. Jõu mõõtmise sammud

AD-muunduri seadistamisel arvestati selle eripärasid AVR kontrolleri puhul. Muunduri täpsus on seda parem, mida madalama taktsagedusega teda jooksutada, antud juhul valiti muundamiskiiruseks 15 kHz ning saadud näidud keskmistati üle 8 lugemi. Kogu jõumõõtmise protsess on toodud joonisel 3.5.

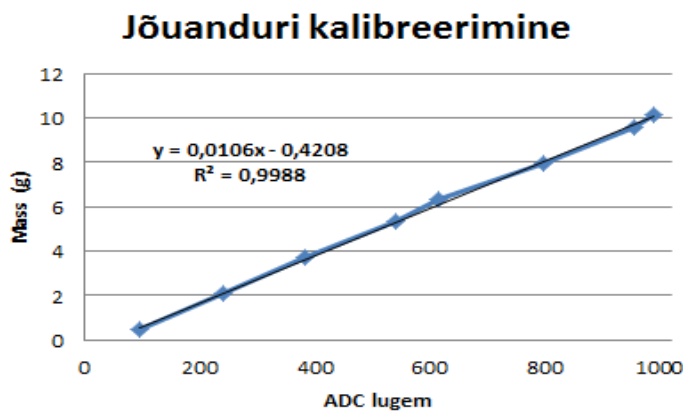
Usaldusväärsete jõu väärtuste saamiseks, tuli jõuandur eelnevalt kalibreerida. Selleks kasutati etalonidena mutreid, mille massid määrati täpsusega 10^{-3} grammi.

Kalibreerimise lähtetingimused:

- 1) 9 V sisendpinge
- 2) ~200 võimendus
- 3) Etalonkehad massidega kuni 10 g

Kalibreerimisel teostati järgnevad sammud ning tulemusena saadi joonisel 3.6. kujutatud kalibreerimissirge:

- 1) Jõuanduri algtaseme määramine
- 2) Etalonkeha riputamine jõuanduri külge
- 3) AD-muunduri lugemi salvestamine
- 4) Sammude 1-3 kordamine erinevate etalonkehadega
- 5) Määrati seos massi ja AD-muundurist saadud lugemi vahel (joonis 3.4)



Joonis 3.6. Seos jõuanduri sisendi ja AD-muunduri väljundi vahel.

3.2.2. Samm-mootor ja selle draiver

Samm-mootorit juhitakse pingepulssidega, millele vastavalt rootor pöörab ennast. Pöördliikumine toimub astmeliselt, seega saab impulsside arvule vastavalt teha täpselt nii palju

pöördeid nagu vajatakse. Otse kontrolleri külge aga mootorit ühendada ei saa. Mootor vajab kõrgemat pinget kui 5 V ning voolud, mis peaaheas liiguvad on samuti suured (kuni 1 A). Juhtimiseks on vajalik spetsiaalne mikroskeem, mis suudab selliste koormuste juures hakkama saada. Internetist leidsin A3967 kiibil põhineva mikroskeemi nimega EasyDriver, mille on eelkõige lihtsust silmas pidades arendanud Brian Schmalz [17].

Mainitud plaadil on olemas kõik vajalikud ühendused ja komponendid, mida on juhtimiskivile funktsionaalsuse kontrolliks vaja. Muuhulgas sisaldab see ka pingeregulaatorit, kust saab määrata 5 V signaali controllerile toiteks kasutada. Sisendpinge võib olla 8-30 V ja potentsiomeetriga plaadil saab kergesti piirata mootori voolu. Mootori juhtimine antud lahendusega on väga lihtne: liigutamiseks on vaja kasutada *step* ja *direction* viikuseid. *Direction* viigule antava madala või kõrge pingega määratakse pöörlemissuund, ning *step* viigule antavate impulsside arvuga kontrollitakse sammude arvu. Võimalik on seadistada mootorit liigutama sammuga 1/8, mis tähendab, et lisaks mootori enda tavasammule 1,8°, oleks võimalik pöördesammud 0,225°. 5-millimeetrise keeruga lati puhul deformeeritakse katsekeha ühe sammuga (1,8°) 25 µm vertikaalsihis. Juhtelektroonika ja mootori draiverplaat on omavahel ühendatud juhtmetega.

3.2.3. Kasutajaliidese moodul

Kasutaja perspektiivist käib loodud seadmega töötamine läbi spetsiaalse juhtpaneeli ehk kasutajaliidese. Kuna seade peab olema hõlpsasti kasutatav igaühele, kellel on vajadust tehislühaste jäikust mõõta (s.t. tudengid ja teadurid), siis on kasutajaliidese disain tehtud võimalikult lihtne ja intuitiivne.

Juhtpaneel sisaldab seadme sisse-välja lülitit, LCD ekraani lugemite kuvamiseks ning 4x4 klahvistikku, mille abil saab Youngi mooduli mõõtjat nii seadistada kui ka juhtida (joonis 3.7.). Kogu kasutajaliides on eraldiseisev moodul, mis on seadme enda külge ühendatud LPT kaabli ja pistikutega (joonis 3.5.).

Kasutajaliidese moodul koosneb järgnevatest komponentidest:

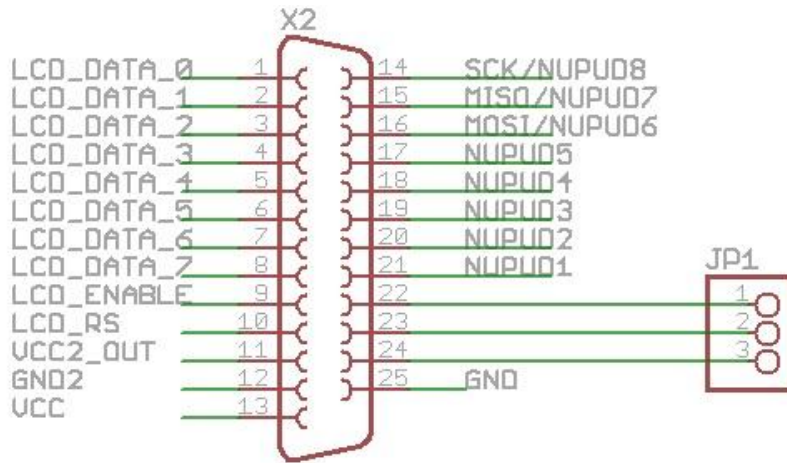
- LCD GTC-16026-TS6L2C
- 4x4 klahvistik
- Lineaarne potentsiomeeter 0-20kΩ

- Lülitid
- 50 cm kaabel koos LPT pistikuga
- Plastikkorpus



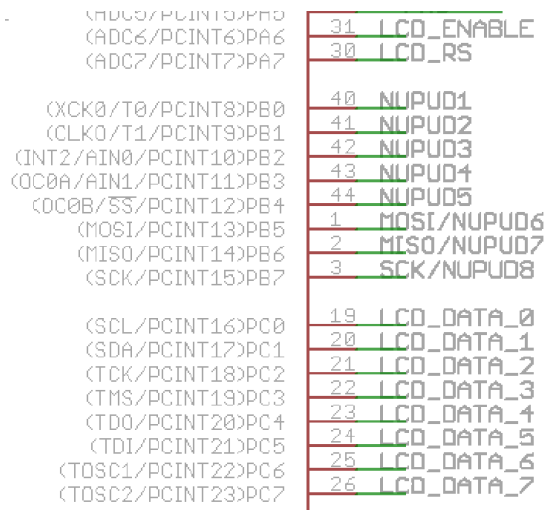
Joonis 3.7. Juhtpaneel.

Juhtpaneel ei sisalda täiendavat protsessorit, vaid on ühendatud läbi 50 cm kaabli läbi seadme juhtelektroonika plaadi radade mikrokontrolleri külge, nagu on näidatud joonistel 3.8. ja 3.9. Sisendviikude korral on kasutatud Atmega324P enda sisemisi *pull up* takisteid.



Joonis 3.8. Juhtpaneeli ühenduste pesa.

Kuigi antud vedelkristalldispleid on võimalik seadistada nii 4- kui ka 8-bitisele andmeedastusele, siis käesoleva töö juures ei olnud kasutatavate viikude arv oluline. Seega sai LCD seadistatud 8-bitisele andmeühendusele (joonis 3.9.). Andmete mikrokontrollerist sisse ja välja liigutamiseks kasutatakse kahte ühebaidist paralleelsiini, s.t. ühele suunale vastab kontrolleri üks sisend-väljundport, antud juhul siis PORTB ja PORTC (joonis 3.9.). Osaliselt kattuvad nuppude viigud küll kontrolleri programmeerimisel kasutatavate ISP (*In-System Programming*) protokollide ühendustega, kuid see ei põhjusta probleeme, sest nuppe alla vajutamata, on need jalad sama hästi kui ühendamata.



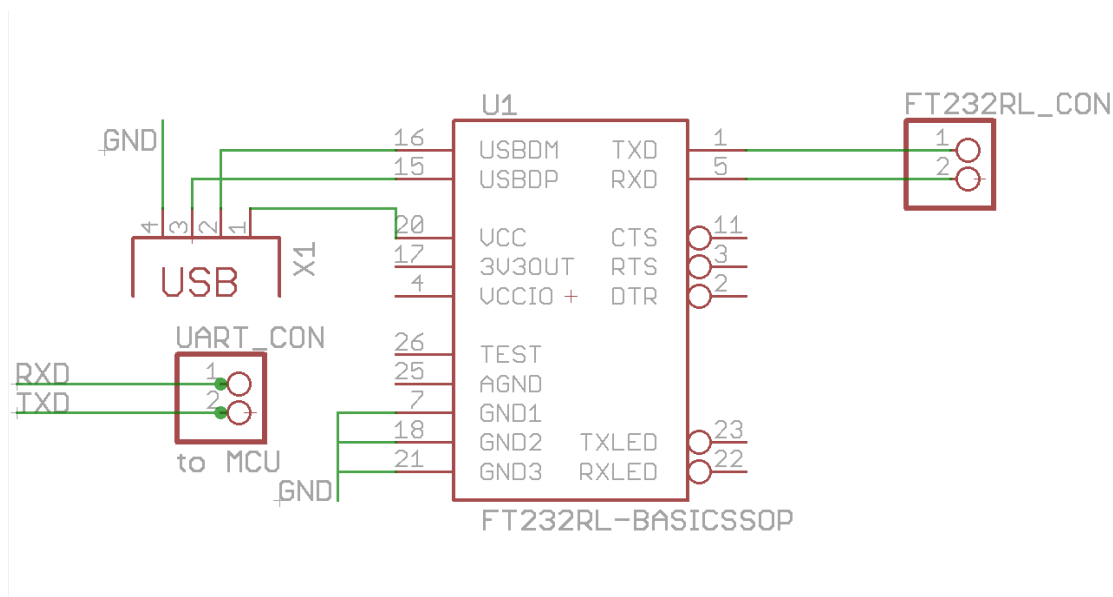
Joonis 3.9. Mooduli komponentide ühendused mikrokontrolleri jalgadel.

Kasutajaliidese mooduli küljes on veel lüliti taustavalgustuse sisse- ja väljalülitamiseks ning potentsiomeeter displei kontrastsuse muutmiseks. Samuti valiti pehme nupuvajutusega klahvistik,

kuna nii on lülituse mehaanilisest mürast tingitud häirete osakaal minimaalne. Ühtlasi on selline klahvistik kasutaja sõrme all mugavam, sest ei nõua tugevat ega laiaamplituudilist vajutust.

3.2.4. Ühendus arvutiga üle UART liidese

Mõõtmistulemuste ülekandmiseks arvutisse kasutatakse USB liidest, mis mikrokontrolleri poolt vaadatuna realiseeriti UART standardi raames. Kuna Atmega324P ei sisalda integreeritud USB suhtlust, siis kasutati FT232RL kiipi, mis emuleerib RS-232 protokollit. Ühendamisel arvutiga tekitab ta virtuaalse COM pordi. Kõiki signaale ei vajata UARTi kasutamiseks, sest ainukesed jalad, mida vaja läheb teksti saatmiseks ja vastuvõtuks on RXD, TXD ning samuti USB andmete siin. Ühendades saatmise ja vastuvõtu juhtmed kivil vastupidiselt mikroprotsessori omadega (kui üks neist edastab siis teine loeb ning vastupidi) on tarvilikud sammud tehtud, et alustada andmesuhtlust. Riistvara testimise ja silumise käigus kasutati andmevahetuse jälgimiseks Windowsi HyperTerminal, aga üldine UART-i vajadus tuleneb sellest, et oleks võimalik seadme juhtimine välise arvuti abil, näiteks LabView tarkvara abil.

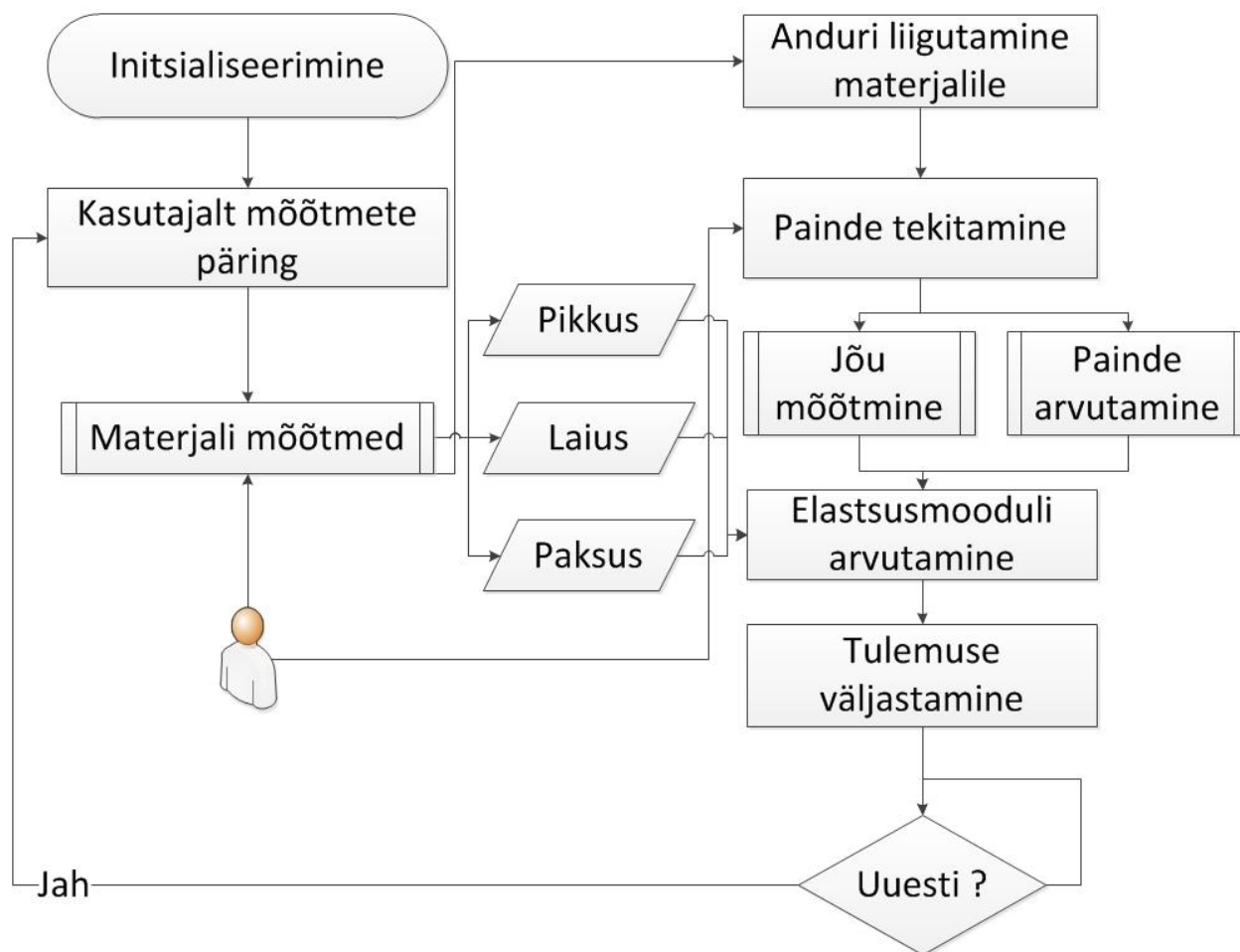


Joonis 3.10. FT232RL

Seadistus on paika pandud programmi kirjutamise käigus ning väljastpoolt neid muuta pole võimalik. Hetkel kasutusel olev seadistus: baud rate – 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity.

3.3. Programmi kood

Mikrokontrolleri programmeerimine teostati C-keeles kasutades arenduskeskkonda AVR Studio koos AVR-GCC versioon 1.6.7 kompilaatoriga. Programmeerimiseks kasutati AVRISP MKII programmaatorit. Programmi tööpõhimõtet kirjeldav plokk skeem on kujutatud joonisel 3.11. ning kogu kood on toodud bakalaureusetöö digitaalses lisis 3.



Joonis 3.11. Mikrokontrolleri tarkvara plokk skeem.

4. SEADME VEAHINNANG

Seadme veahinnang on üks kõige objektiivsemaid aspekte, mille põhjal määrata tema kasulikkus. Vea määramisel ei lähtuta füüsiliste keskkonnamõjude muutumisest või nende leidmise täpsusest. Täpsuse leidmisel tuleb keskenduda leitud etalonmaterjalide mõõtmiste tulemuste analüüsimisel ning arvutusvea suurusele.

Katsetuste käigus sai mõõdetud nelja erineva jäikusega kunstlihast. Eelnevalt oli teada senise meetodiga saadud tulemused, millega esitati võrdlusmoment. Seadmega leitud materjalide moodulid jäid suurusjärku 100-200 MPa, mis on vastavuses seniste mõõtmistega.

Youngi mooduli valemi (15) arvutusviga avaldub järgneval kujul (punktiga on tähistatud selle suuruse suhtelist viga):

$$E_{err} = \dot{F} + 3\dot{L} + \dot{b} + 3\dot{h} + \dot{d} \quad (21)$$

Hinnates iga suuruse suhtelist viga eraldi, saame:

$$E_{err} = \left(\frac{10}{1024}\right) + 3\left(\frac{0,5}{50}\right) + \left(\frac{0,5}{10}\right) \quad (22)$$
$$+ 3\left(\frac{40}{400}\right) + 0,025 \approx 0,41$$

Saadud tulemus (41%) viitab küll võrdlemisi suurele suhtelisele määramatusel, kuid tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et peamine veallikas on katsekeha paksuse mõõtmine. Mida täpsemini määratakse mõõteobjekti paksus, seda väiksem tuleb seadmega mõõdetud elastsusmooduli määramatus.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöös kirjeldati erinevaid materjalide elastsust iseloomustavaid mooduleid, nende seost materjalide struktuuriga ning avaldumist osakeste vaheliste sidemete kaudu. Elastsusmoodulite mõistmise aluseks on Hooke'i seadus, mis näitab pinge ja deformatsiooni suhte lineaarsuse kaudu kehade elastsust. Seaduse arendusena toodi välja erinevate moodulite arvutusvalemid, mis erinesid jõu avaldamise suuna ja suuruse poolest. Samuti toodi välja katsed, kuidas praktiliselt seda suurust määrata. Detailsemalt kirjeldati Youngi paindemooduli leidmist kolme punkti meetodil.

Lõputöö raames valmistati seade, millega on võimalik määrata pehmete materjalide (eelkõige tehislühaste) Youngi paindemoodulit. Loodud seadme kasutamine on väga lihtne: operaator asetab mõõteobjekti alusele, sisestab juhtpaneeli abil materjali mõõtmed ning seade väljastab ekraanile eksperimendi tulemuse.

Käesolevas lõputöös on kirjeldatud antud seadme tehniline dokumentatsioon ning toodud esmane täpsuse hinnang.

VIITED

- [1] Callister, W. D., Rethwisch, D. G., *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, 3rd Edition, Wiley, 2008.
- [2] Hooke's law, *Wikipedia the Free Encyclopedia* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 26.05.2011] http://en.wikipedia.org/wiki/Hooke's_law
- [3] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/imgmec/hook.gif>
- [4] <http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQJzIRcnNbwrXAmXvUs8Xi1dW16qp2pN4SaMMsI-YGwyJCYJQVV>
- [5] The Young Modulus (E) - the modulus of elasticity, *Cyber-Physics* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 05.12.2010] http://www.cyberphysics.co.uk/topics/forces/young_modulus.htm
- [6] Mechanical properties, *Impress Education* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 28.11.2011] <http://www.spaceflight.esa.int/impress/text/education/Mechanical%20Properties/index.html>
- [7] Young's modulus, *Wikipedia the Free Encyclopedia* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 10.12.2010] http://en.wikipedia.org/wiki/Young's_modulus
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Shear_modulus
- [9] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. *Fundamentals of Physics*, 9th Edition, *Wiley* (2011).
- [10] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Isostatic_pressure_deformation.png
- [11] Three point flexural test, *Wikipedia the Free Encyclopedia* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 15.05.2010] http://en.wikipedia.org/wiki/Three_point_flexural_test
- [12] Bar-Cohen, Y. *Electroactive polymer (EAP) actuators as artificial muscles - reality, potential, and challenges*, 2nd Edition, *SPIE Press* (2004).
- [13] Torop, J., Palmre, V., Arulepp, M., Sugino, T., Asaka, K., Aabloo, A. Flexible supercapacitor-like actuator with carbide-derived carbon electrodes, *Carbon*, 49 (9), 3113 – 3119 (2011).
- [14] Palmre, V., Lust, E., Jänes, A., Koel, M., Peikolainen, A.-L., Torop, J., Johanson, U., Aabloo, A. Electroactive polymer actuators with carbon aerogel electrodes, *Journal of Materials Chemistry*, 21 (8), 2577 – 2583 (2011).
- [15] GSO load cell overview, *Transducer Techniques* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 15.04 2010] <http://www.transducertechniques.com/gso-load-cell.cfm>

- [16] ATmega164P/324P/644P Datahseet [PDF] [Alla laaditud: 05.10 2010]
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8011.pdf
- [17] EasyDriver Stepper Motor Driver, *Schmalz Haus LLC* [Võrgumaterjal] [Tsiteeritud: 25.04 2010] <http://www.schmalzhaus.com/EasyDriver/>

ABSTRACT

Electronic device for Young's modulus measurements

Sven Kautlenbach

Modulus of elasticity describes the ability of a material to withstand changes. This format actually goes into the atomic scale of a specimen, therefore it is possible to draw conclusions about the chemical and physical composition response to the stiffness of the solid. Modulus of elasticity has many forms, although they differ in a mathematical representation, they all are closely connected and the basic property they represent – Hooke's law. Hooke's law describes object's stress to strain ratio in a linear region, so this law is not valid in the nonlinear region of this ratio, which actually hints the material's elasticity. Since this law can be described best by the spring, where its strain can be calculated by knowing the force applied, so virtually this relationship is valid when describing the atomic lattice and its elasticity. Connections between atoms can be drawn as a springs. Since there are enormous volume of connections and particles and shapes they form, we have to use some type of modulus to describe the elasticity.

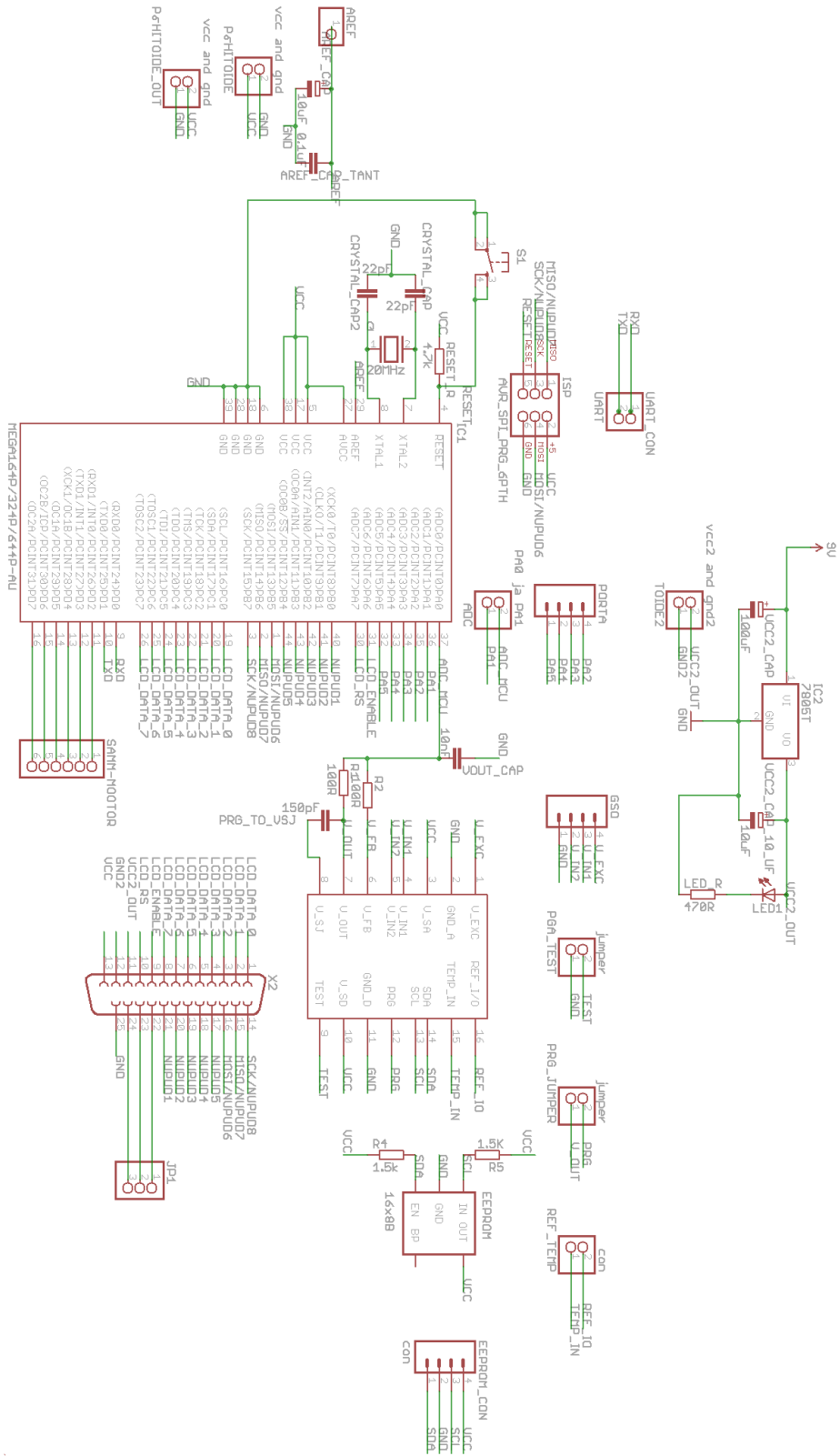
This machine was built for measuring the modulus of elasticity of the electromechanically active polymer actuators. As these types of materials are not isotropic, calculating a flexural Young's modulus was done by using 3 point flexural test. Young's modulus can be expressed from the principal conception of the modulus of elasticity. Beside the Hooke's law there is also a need to describe stress to strain ratio with the respect to solid's dimensions, shape and the type of test is used. Also one has to include second area of the moment in the calculation of elasticity. This device was built for finding two parameters needed to calculate the elasticity parameter: the force applied and the strain.

Machine is built in two critical components: construction and electronics. Build of the construction mostly consists of various types of plastics. Important is the rigidity, otherwise accurate measurements would be impossible. Also construction must sustain moderate shock, since it needs to be portable. The whole construction is divided into two connected parts. Upper part consists of components needed to produce and measure force and strain. Therefore it consists of stepper motor, load cell and extended screws. Stepper motor controls the screw which

in turn moves the load cell. User can adjust the base for the specimens with different lengths. Meanwhile, electronics controls the user interface (keypad, LCD), rotation of the stepper motor, digitalization of the force signal and calculations.

Tests showed that the accuracy of the device is barely satisfactory at the level of 41%. Actually this indeterminacy is due to the measurements of the specimen's width that would require precision close to 1 μm (less than 1%). So if one were to advance the method for measuring width of the sample, the accuracy level of the produced device would rise significantly.

LISA 1. Juhtelektronika skeem



LISA 3. Programmi kood ja elektroonika skeemid digitaalsel kujul

<http://www.ims.ut.ee/~karl/y-mootja>