

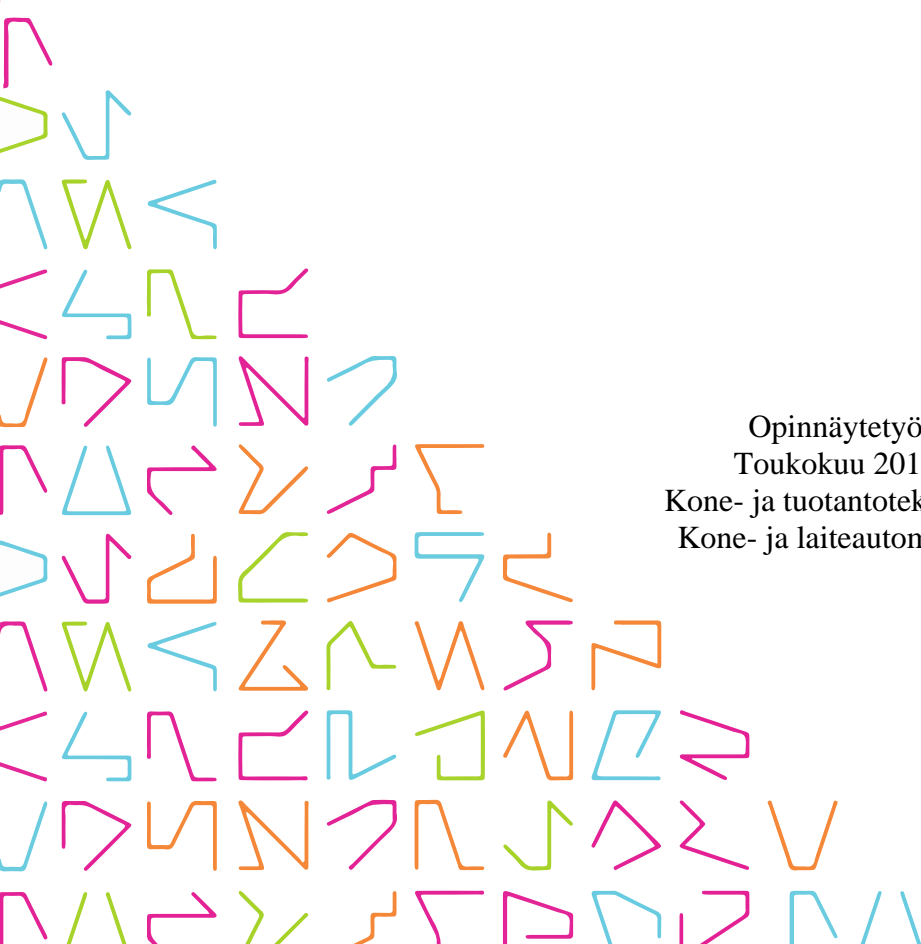


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

HYBRIDIVOIMALEVYN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN URHEILIJATESTAUKSEEN

Antti Sirén

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja laiteautomaatio

SIRÉN, ANTTI:

Hybridivoimalevyn suunnittelu ja rakentaminen urheilijatestaukseen
Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2016

Tämän työn tilaajalla, Varalan Urheiluopistolla, oli tarve kyetä mittaamaan urheilijoiden suorituskykyä. Heillä oli käytössään valomattolaitteisto, jolla pystyttiin mittaamaan vain henkilön tekemän ponnistuksen kontakti- ja lentoaikaa, nousukorkeutta ja mekaanista tehoa. He kuitenkin tarvitsivat laitteen, jolla pystyttiin mittaamaan sekä urheilijan hyppyvoimia että seinälle asennettuna heitetystä kuntopallosta saatuja voimia.

Hyppyvoiman sekä heittovoiman mittaamiseksi rakennettiin hybridimittalevy, jolla pystyttiin mittaamaan voimia lattialla ja seinällä. Seinäkiinnitysongelmat saatiin ratkaistua melko hyvin, kiinnitykseen perehdyttiin lopulta vain teoriassa. Työssä päädyttiin käyttämään teollisuusautomaation komponentteja niiden tähän työhön soveltuvien ominaisuuksien takia.

Levyn ensimmäistä prototyyppiä päästiin kokeilemaan liikuntakoulutuksessa käytettävissä ponnistustesteissä. Testien tuloksista voitiin todeta, että levyn tuottamat data-arvot olivat oikeellisia ja tarkkoja. Levyn tuottama voimakaavio oli lähes identtinen verrattuna kaupallisten laitteiden tuottamiin kaavioihin.

Testien, sekä valittujen komponenttien perusteella laitteesta olisi helppo kehittää ja valmistaa markkinoille soveltuva testiväline. Mekaanisesti laitteessa on kaikki sen vaatimat komponentit, seinäkiinnikkeitä lukuun ottamatta. Ohjelmistopuolta olisi vielä jatkokehittävä siten, että siitä saataisiin helppokäyttöisempi ja käyttäjäystävällisempi.

Asiasanat: voiman mittaaminen, venymäliuska-anturi, data-analyysi,

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Machine Automation

ANTTI SIRÉN:

Designing and building a hybrid force plate used in athlete testing

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 4 pages

May 2016

This thesis was commissioned by Varala Sports Academy, which had the need to measure their students' performances. They had access to a light mat that could only measure contact time and flight time, jump height and mechanical power caused by the user. They needed a device that could measure both the forces caused by athlete's jump and throwing force caused by throwing an exercise ball.

A hybrid force plate was created for measuring forces caused by jumping and forces caused by throwing a ball. The problems of attaching the plate to a wall were solved in theory although it wasn't given enough development time. Industrial automation components were used, because of their suitable attributes, to achieve the given goal.

We were able to test the first prototype plate and performed jump tests used in sports education. The test results showed that the data values generated by the force plate were valid and accurate. The force diagram generated from the data values was almost identical to the diagrams generated by commercial force plates.

It would be easy to develop and manufacture the force plate suitable in question for mass markets based on the test results and the chosen components. Mechanically speaking the device consists of every required components apart from the wall mounts. The software would require some further development so that it would become more easy to use and more user-friendly.

Key words: force measurement, data-analysis, strain gauge

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VARALAN URHEILUOPISTO	6
3	MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA.....	8
3.1	Tiedonkeruu	8
3.1.1	Vahvistin	8
3.1.2	Suodatus	10
3.1.3	A/D muunnin.....	11
3.2	Fysikaaliset suureet.....	13
3.3	Venymäliuska-anturit.....	15
3.3.1	Valmiit anturipaketit	18
3.4	Muut mittausmenetelmät	19
4	KAUPALLISET VOIMALEVYTT	20
4.1	Maahan sijoitettavat laitteet	20
4.1.1	HUR Labs Hyppytestilevy FP8.....	20
4.2	Seinälle sijoitettavat laitteet	21
4.3	Vertaaminen valmistettavaan laitteeseen.....	22
5	LAITTEEN SUUNNITTELU	23
5.1	Laitteisto	23
5.2	Ohjelmisto.....	27
5.3	Materiaalivaihtoehdot	29
5.4	Seinäkiinnitysmenetelmät	29
6	TESTAUS	31
7	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	36
	LIITEET.....	38
	Liite 1. Beckhoff EL3356-0010 tekniset tiedot (Beckhoff 2016)	38
	Liite 2. Antureiden tiedot (Dayang 2016)	39
	Liite 3. HUR Labs FP8 tekniset tiedot (HUR Labs 2016)	40
	Liite 4. Innervations BMS (Innervations 2016)	41

1 JOHDANTO

Syksyllä 2014 tuli Varalan Urheiluopistolta tiedustelu, olisiko Tampereen ammattikorkeakoululla halukkaita opiskelijoita valmistamaan opistolle laitetta, jolla voisi testata urheilijoiden hyppäämistä ja siihen liittyviä erilaisia ominaisuuksia kuten räjähtävyyttä tai hypyn korkeutta. Laitteella olisi myös tarkoitus pystyä mittaamaan kuntopallon heitosta aiheutuvia voimia. Laitetta olisi tarkoitus käyttää liikunnanohjaajakoulutuksen opetustilanteissa sekä urheilijoiden suorituskykytesteissä. Lisäksi urheilija pystyisi seuraamaan oman suorituskykynsä kehittymistä laitteen antamien tuloksien avulla osana normaalia päivittäisvalmennusta.

Varalan opistolla oli halukkuutta mitata pallon heitosta aiheutuvia voimia, mutta tätä mitausta ei voitu suorittaa heidän nykyisillä laitteilla. Laitteiston tulisi olla paljon herkempi, tallentaakseen pallon aiheuttama voimaisku. Kaupallisia laitteita oli mietitty, mutta niiden hintaluokka nousi liian korkealle.

Päätettiin suunnitella yksinkertainen hybridivoimalevy, jota pystyisi käyttämään vaakatasossa lattialla mitattaessa käyttäjän hyppyvoimaa. Laitteen pystyisi tarpeen tullen kiinnittämään seinälle ja näin ollen mittaamaan heitosta aiheutuvia voimia. Hypystä saatavat tiedot siirrettäisiin tietokoneelle, jossa tietoja pystyisi käsittelemään ja visualisoimaan.

Tämä opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa yksinkertainen kaksitoiminen voimalevy, jolla voitaisiin mitata käyttäjän hypystä aiheutuvia voimia. Toisena tavoitteena oli valittujen antureiden signaalin lukeminen, käsittely ja muuntaminen käytettäväksi liikunnanohjauksessa.

Suurin haaste työssä oli valitun ohjelmiston käyttö. Kyseistä ohjelmistoa ei ollut Tampereen ammattikorkeakoululla opetettu, vaan se täytyi yrittää opetella itse. Onneksi lopulta saatiin apuja kyseisen ohjelmiston valmistavalta yritykseltä.

Lopputuloksena saatiin valmistettua voimalevy, jonka avulla pystyttiin mittamaan mm. seuraavia käyttäjän hypyn ominaisuuksia: voimaa, lentoaikaa ja korkeutta. Levyllä pystyttiin myös mittamaan pallon iskusta aiheutuva voima, vaikka levyä voitiinkin testata vain lattialla vaakatasossa.

2 VARALAN URHEILUOPISTO

Varalan Urheiluopisto on Tampereen Pyynikillä sijaitseva valtakunnallinen liikuntaan ja liikunnan ohjaukseen keskittyvä oppilaitos, vapaa-ajan kurssikeskus sekä yritystilaisuuksien järjestämispaikka. Varalassa on mahdollista suorittaa mm. liikunnanohjauksen perustutkinto toisen asteen tutkintona, liikunnan ammattitutkinto, valmentajana ammattitutkinto sekä allasmestarin tutkinto. (Varala 2016)



Kuva 1 Varalan Urheiluopisto

Varalan historia ulottuu 1900-luvun alkuun, jolloin opisto perustettiin edistämään naisten liikunnallisuutta ja lisäämään liikuntakasvatusta. Nimi Varala tulee tehtailija Heikki Liljeroosilta, joka keksi käyttää nimeä kesähuvilassaan käytettyjen hirsien alkuperäiseltä hakuapaikalta, Kangasalan Varalalta. Vuonna 1909 perustajat ostivat Liljeroosin huvilan, jolloin se muutettiin pysyväksi kurssipaikaksi ja osaksi Varalaa. (Varala 2016)

Vuonna 1911 opistolle rakennettiin ensimmäinen voimistelusal, joka vasta vuonna 1978 purettiin ja tilalle rakennettiin uusi, modernimpi sali, Halli 2. Suomen ensimmäinen liikuntamuseo näki päivänvalonsa Varalassa 1971, joka on toiminnassa vielä tänä päivänäkin. Suurimman uudistuksen Varala koki vuosin 2010 – 2011, jolloin opistossa tehtiin aikansa suurin restaurointi ja modernisointi. (Varala 2016)

Yhtenä suurimpana osana Varalan palveluista, jota tämäkin työ koskee, ovat kuntoilijoiden sekä urheilijoiden erilaiset testaukset ja mittaukset. Varalan testausasemalla on mahdollista testauttaa oman terveydentilan, kehon koostumuksen, hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnon, hermolihaskäytännön suorituskyvyn sekä, lihastasapainon. Tämän työn

kannalta oleellisinta on henkilön lihastasapainon ja lihasvoiman testaaminen. Tällä hetkellä Varalassa on käytössä ainoastaan valomattolaitteisto, joka mahdollistaa kontakti- ja lentoaikojen, nousukorkeuksien ja mekaanisen tehon mittaamisen vertikaalihypyistä.. Tarvetta olisi pystyä mittaamaan samalla laitteistolla sekä urheilijan alaraajojen voimantuottoa hyppyjen muodossa sekä mittamaan yläraajojen voimantuottoa pallon heiton muodossa.

3 MITTAUSTEKNIIKAN TEORIA

3.1 Tiedonkeruu

Tiedonkeruu (DAS tai DAQ, Data Acquisition Systems) on oleellinen osa nykyaikaisessa digitaalisessa mittaustekniikassa. Tiedonkeruu on prosessi (kuva 2), jossa mitattavan kappaleen fysikaalisia arvoja muutetaan tietokoneen ymmärtämään digitaaliseen muotoon. Tiedonkeruujärjestelmät tyypillisesti muuttavat analogisen aaltosignaalin digitaalisiksi arvoiksi. Tämän järjestelmän komponentteja ovat mm.

- anturit, jotka muuttavat fyysiset parametrit sähkösignaaleiksi
- vahvistin, joka muuttaa sähkösignaalin helpommin luettavaksi
- suodatin, joka poistaa signaalista tarvittaessa siihen kuulumattomat ominaisuudet
- A/D-muunnin, joka muuttaa analogiasignaalin digitaalisignaaliksi

Näiden lisäksi, jos saatuja tietoja halutaan käsitellä, tarvitaan tietokone ja mahdollinen näyttölaite. Muokattu signaali on myös mahdollista muuttaa takaisin analogiasignaaliksi, jolloin sillä voidaan ohjata mm. servomoottoreita.

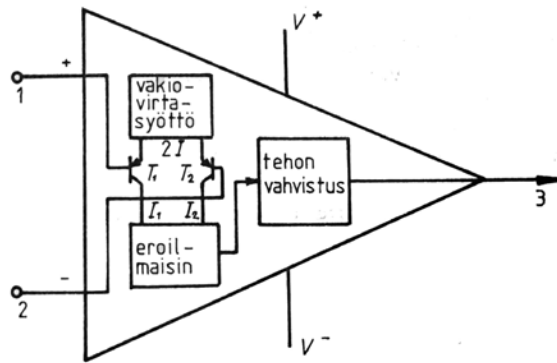


Kuva 2 Tiedonkeruu

3.1.1 Vahvistin

Kun voima-anturille syötetään virtaa, niin virran määrä muuttuu vastuksen takia. Virran muutos, minkä anturi aiheuttaa, on hyvin pientä (millivoltteja). Erotusta ei pystytä tarpeeksi tehokkaasti mittaamaan, ellei sitä vahvisteta. (Punnitukset ja voiman mittaukset 1981)

Vahvistimena voidaan käyttää ns. operaatiovahvistinta. Operaatiovahvistin koostuu useista eri komponenteista, mm. kondensaattoreista, vastuksista ja transistoreista. Operaatiovahvistin vertailee kahden eri liittimen välistä jännite-eroa ja vahvistaa tätä eroa. (Punnitukset ja voiman mittaukset 1981)



Kuva 3 Differentiaalioperaatiovahvistin

Kuvassa 3 voidaan nähdä tyypillinen differentiaalioperaatiovahvistin. Vahvistimen 1 ja 2-napoihin tuodaan anturisygnäli ja V+ ja V—napoihin virtalähteeltä jännitettä. Vahvistinta kutsutaan differentiaalivahvistimeksi, koska se vahvistaa kahden tulosignaalin (napa 1 ja 2) välisen erotuksen. (Suomen Sääteknillinen Seura 1981)

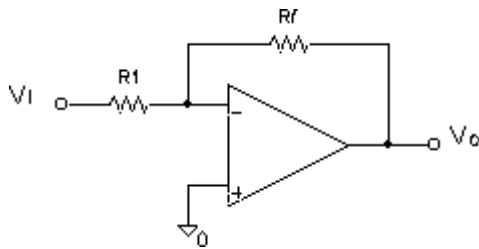
Käytännön operaatiovahvistinkytkennoistä yleisimmät ovat invertoiva ja ei-invertoiva (kuva 4 ja 5). Invertoivan kytkennän vahvistus on

$$A = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{v_0}{v_i}$$

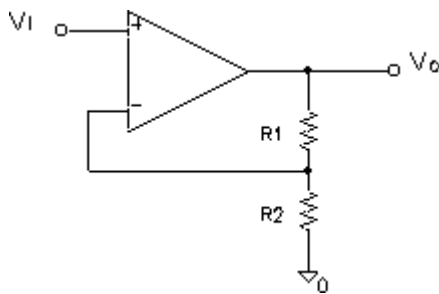
, jolloin vahvistettu signaali kääntää polariteettiaan. Ei-invertoiva signaalin kytkennän vahvistus on

$$A = 1 + \frac{R_1}{R_2} = \frac{v_0}{v_i}$$

, jolloin vahvistettu signaali on aina positiivinen. (Suomen Sääteknillinen Seura 1981)



Kuva 4 Invertoiva vahvistin

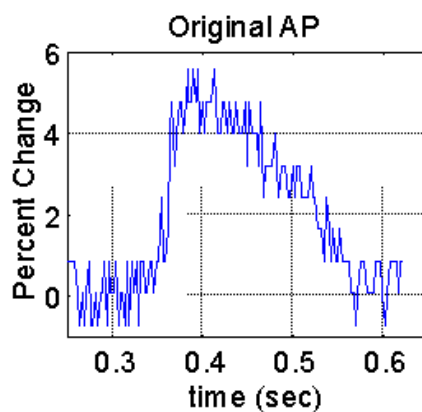


Kuva 5 Ei-invertoiva vahvistin

3.1.2 Suodatus

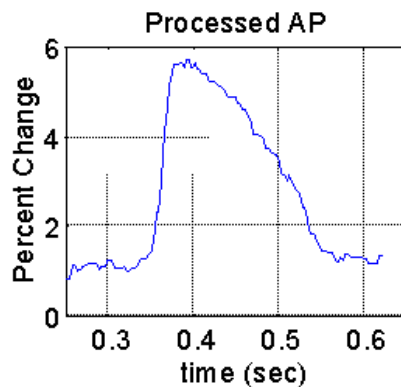
Signaalin epätasaisuuksista sekä antureiden laadusta johtuen signaalia on pakko suodattaa. Suodatus poistaa signaalista ei haluttuja osia tai ominaisuuksia. Yleensä nämä osat ovat joko tiettyjä taajuuksia tai signaaliin kuuluvaa satunnaissignaalia (kohinaa) sekä ympäristön aiheuttamia häiriöitä. Näiltä häiriöiltä pyritään ensisijaisesti suojatumaan käyttämällä suojattuja kaapelointeja. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

Korkeasta näytteenottotaajuuudesta johtuen mittaussignaalin esiintyi paljon kohinaa sekä antureiden ominaisherkkyydestä aiheutuvia satunnaisvirheitä. Nämä virheet poistettiin suodattamalla mitattu signaali keskiarvosuodattimella.



Kuvaaja 1 Suodattamaton signaali

Kuvaajassa 1 on nähtävissä esimerkkisignaalin epätasaisuuksia. Tämä signaalin epätasaisuus väärentää dataa ja aiheuttaa ongelmia tiedon käsittelyssä. Kuvaajassa 2 tämä epätasaisuus on pyritty suodattamaan pois keskiarvosuodatuksella, jolloin tuloksena on saatu tasaisempi signaali.



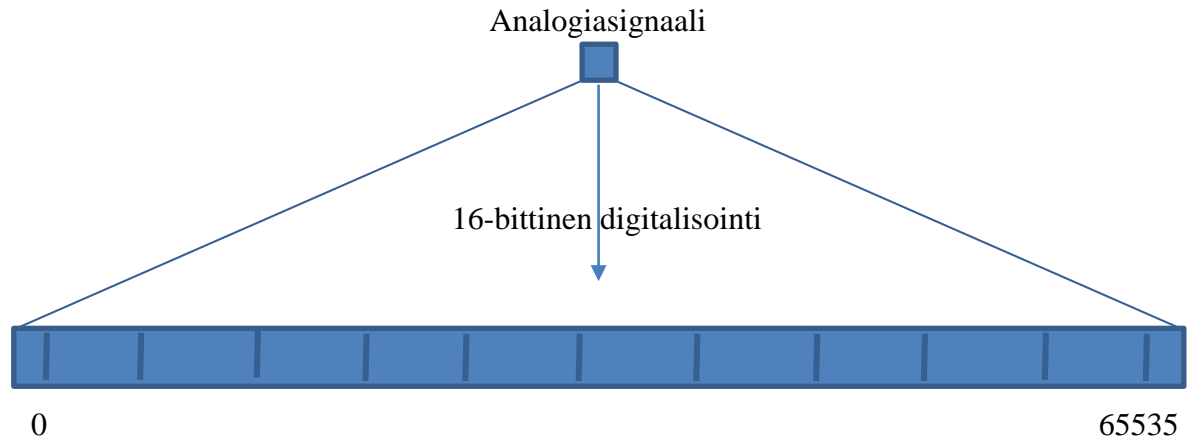
Kuvaaja 2 Suodatettu signaali

Muita suodatustapoja ovat mm. alipäästösuodatus, joka vaimentaa signaalista korkeataajuiset signaalit ja ylipäästösuodatin, joka päinvastoin vaimentaa kaikki matalat signaalit. Digitaalisia usein käytettyjä suodattimia ovat FIR (finite impulse response) ja IIR (infinite impulse response) suodattimet. Eroina näillä kahdella suodattimella ovat niiden impulssivasteiden pituudet. Impulssivasteella tarkoitetaan vastetta, joka syntyy kun tuloporttiin syötetään yksinkertainen, äärettömän kapea ja korkea yksikköimpulssi. FIR-suodattimella vaste on äärellisen pituinen kun taas IIR-suodattimella vaste on äärettömän pitkä. (Huttunen, H. 2005)

3.1.3 A/D muunnin

A/D muunnin eli analogia-digitaalimuunnin on toinen oleellinen osa venymäliuska-antureiden tiedon lukemista. A/D muunnin ottaa antureiden analogisen signaalin (mV) ja muuttaa sen tietokoneen ymmärtämään digitaaliseen muotoon. (Suomen Sääteknillinen Seura 1981)

A/D muuntimien tärkein ominaisuus on sen erottelukyky eli resoluutio. Resoluutio kertoo, kuinka monella numerolla muunnin muuttaa analogisen signaalin digitaalseksi. Esimerkiksi (kuva 6) 16-bittinen muuttaa analogia-arvon $2^{16} = 65536$. Tässä tapauksessa analogiasignaalin muunnettu arvo voi olla välillä 0 – 65535. (Suomen Sääteknillinen Seura 1981)



Kuva 6 16-bittisen A/D muuntimen toiminta

Kun tiedetään vahvistimen resoluutio ja jännitealue, voidaan sille laskea kvantisointiväli Q kaavalla 1. Kvantisoinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa analogiasignaalista tulevien arvojen muuttamista halutulle välille. Tämä väli on jaettu eri arvoille, riippuen käytetystä bittimäärästä (esim. 16-bittinen: 0-65535). (Sanjeev, R. 2002)

$$Q = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2^n - 1} \quad (1)$$

Esimerkkinä lasketaan sekä 8-bittiselle sekä 16-bittiselle vahvistimelle kvantisointivälit, kun mitta-alue on 0V – 5V. Ensimmäisenä 8-bittinen vahvistin:

$$Q_8 = \frac{5 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2^8 - 1} = 0,0196 \text{ V}$$

Sitten 16-bittinen vahvistin:

$$Q_{16} = \frac{5 \text{ V} - 0 \text{ V}}{2^{16} - 1} = 0,0000763 \text{ V}$$

Näiden kahden arvon vertaaminen:

$$\frac{0,0196 \text{ V}}{0,0000763 \text{ V}} = 257,01 \dots$$

Tuloksista voidaan nähdä, että 16-bittinen kvantisointiväli on tiheämpi kuin 8-bittisellä (n. 260-kertainen). 16-bittinen vahvistin siis ottaa analogiasignaalista useammin näytteen kuin 8-bittinen vahvistin.

Toinen tärkeä ominaisuus A/D muuntimessa on sen muunnosnopeus. Muunnosnopeus kertoo, kuinka monta näytettä analogiasignaalista otetaan yhdessä sekunnissa. Esimerkkinä jos muuntimen näytteenottotaajuus on 8 kHz, ottaa muunnin yhden näytteen kerran 0,125ms aikana. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

A/D-muuntimissa on myös käytössä ns. näytteenotto- ja pitopiiri (sample and hold). Tämä piiri tallentaa muuttuvan analogiasignaalin hetkellisarvon, jolloin signaalin arvojen muuttaminen digitaaliseksi on mahdollista. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

3.2 Fysikaaliset suureet

Fysiikassa voimalla tarkoitetaan kappaleiden välistä vuorovaikutusta. Sen yksikkö on Newton ja se voidaan laskea kertomalla kappaleen massa ja kappaleen kiihtyvyys yhtälön (2) mukaisesti (Mäkelä, M. 2010)

$$\vec{F}=m*\vec{a} \quad (2)$$

,missä voima \vec{F} ja kiihtyvyys \vec{a} ovat vektoreita, eli kyseisillä suureilla on suunta. Massa m on skalaarisuure, eli sillä ei ole suuntaa.

Kansainvälinen yksikköjärjestelmä (SI-järjestelmä) määrittää Newtonin seuraavanlaaisesti: Newton (N) on voiman määrä, joka pystyy kiihdyttämään yhden kilon painoista kappaletta yhden metrin sekunnissa eli $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. (Mäkelä, M. 2010)

Tämän työn kannalta voiman mittaaminen ja johtaminen toisiin yksikköihin on erittäin olennaista. Kun henkilö hyppää testilaitteiston päällä, hän synnyttää alaspäin vaikuttavan voiman. Kun tiedetään putoamiskiihtyvyys maassa g , hypyn lähtöajan ja laskeutumisajan erotus t , voidaan laskea hypyn korkeus h sekä lähtönopeus v_0 kaavojen (3) ja (4) mukaisesti. (Mäkelä, M. 2010)

$$v=v_0+a*t \quad (3)$$

jossa v on hypyn loppunopeus ja a on hypyn kiihtyvyys $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$h=\frac{1}{2}*\frac{v_0^2}{g} \quad (4)$$

Lähtönopeus v_0 voidaan myös laskea kuvaajan avulla käyttämällä impulssilauseketta. Impulssin yksikkö on Newton * sekunti (N*s). Impulssi on vektorisuure, eli sillä on suunta, joka on sama kuin voiman suunta. Voiman pysyessä vakiona voidaan käyttää kaavaa 5. Voiman muuttuessa ponnistuksen aikana, käytetään kaavaa 6. (Mäkelä, M. 2010)

$$I=F*\Delta t \quad (5)$$

Kaavassa 5 Δt on aika ponnistuksen alusta ponnistuksen loppuun. Kaavassa 6 integroidaan impulssilauseke, jolloin voidaan laskea kuvassa 7 saatavan hypyn ponnistusajan rajaama pinta-ala ja täten saada muuttuvan voiman impulssi.

$$I=\int_0^{\Delta t} F(t)dt \quad (6)$$

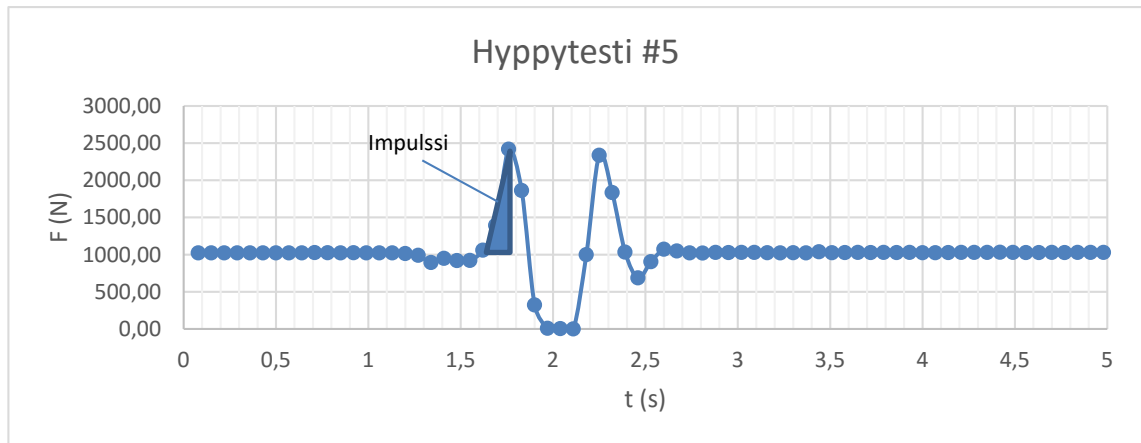
Kappaleeseen vaikuttava impulssi on yhtä suuri kuin kappaleen liikemäärä \bar{p} . Kun impulssi I on ratkaistu, voidaan se sijoittaa kaavaan 7 ja ratkaista sen avulla lähtönopeus v_0 .

$$\bar{F}=\frac{d\bar{p}}{dt} \rightarrow \bar{I}=\int_0^{\Delta t} \frac{d\bar{p}}{dt} dt=d\bar{p}=m*\Delta v \quad (7)$$

Lähtönopeus v_0 ponnistuksen loppuvaiheessa voidaan ratkaista kaavalla 8:

$$v_0=\frac{I}{m} \quad (8)$$

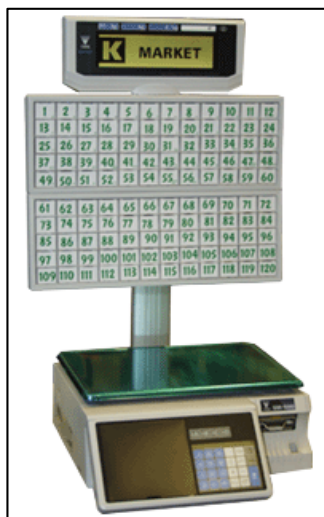
Tässä työssä saaduista arvoista voidaan tehdä kuvan 7 mukainen kuvaaja, jonka avulla voidaan määrittää hypyn lentoaika ja hypyn aiheuttamat voimat. Hypyn lentoaika kuvaajan mukaan on noin $0,49 \text{ s}$, hypyn maksimiponnistusvoima n. $1,4 \text{ kN}$ ja laskeutumisen aiheuttama voima n. $2,3 \text{ kN}$.



Kuva 7 Hyppyn kuvaaja

3.3 Venymäliuska-anturit

Venymäliuska-anturit ovat nykyään hyvin yleisesti käytettyjä kaiken painoisten kappaleiden mittaamiseen tarkoitettuja elektronisia mittalaitteita. Tutuin esimerkki venymäliuskojen käytöstä löytyy lähes jokaisesta kaupasta: vihannesten ja hedelmien punnitsemisessa käytettävät vaa'at (kuva 8) sisältävät nykyään lähes poikkeuksetta venymäliuska-anturin. (Ravintolalaitepalvelu Vääntinen 2016)



Kuva 8 DIGI SM-500BS vaaka

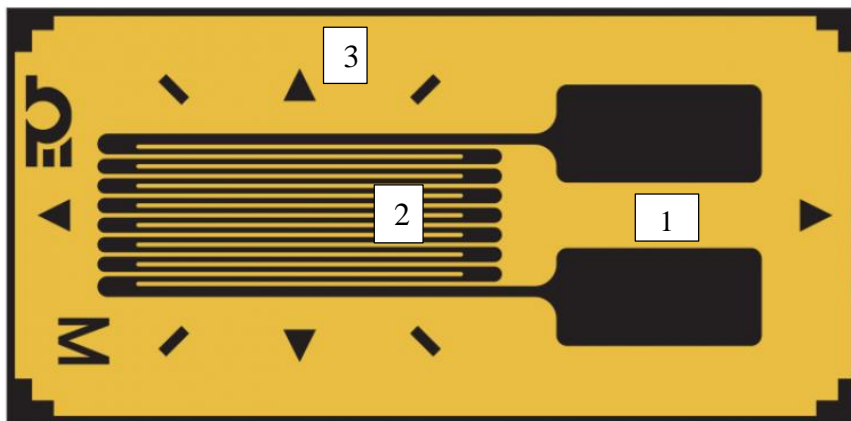
Venymäliuskoilla varustettuja vaakoja käytetään nykyään paljon niiden tarkkuuden ja toistettavuuden takia. Venymäliuska-anturit eivät sisällä punnuksia ja jousia, jotka ajan saatossa saattaisivat vääristää mittaustulosta ja aiheuttaa lisäkustannuksia.

Venymäliuska-anturien (kuva 8) toimintaperiaate perustuu Ohmin lakiin: sähköpiirissä kulkeva sähkövirta on sitä pienempi mitä suurempi vastus piirissä on. Venymäliuskat ovat siis vastuksia. Mikä tekee venymäliuska-antureista erilaisia tavallisiin vastuksiin verrattuna on se, että venymäliuskoissa vastusarvo R muuttuu anturin elastisen muutoksen mukaan. Jos anturia venytetään, sen vastusarvo kasvaa. Kokoon puristettaessa taas vastusarvo pienenee. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

Venymäliuska-anturien vastusarvo voidaan laskea kaavan (9) mukaisesti,

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (9)$$

jossa ρ on vastuksen resistiivisyys, l on johteen pituus ja A on vastuksen poikkipinta-ala. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)



Kuva 9 Metallikalvoliuska-anturi

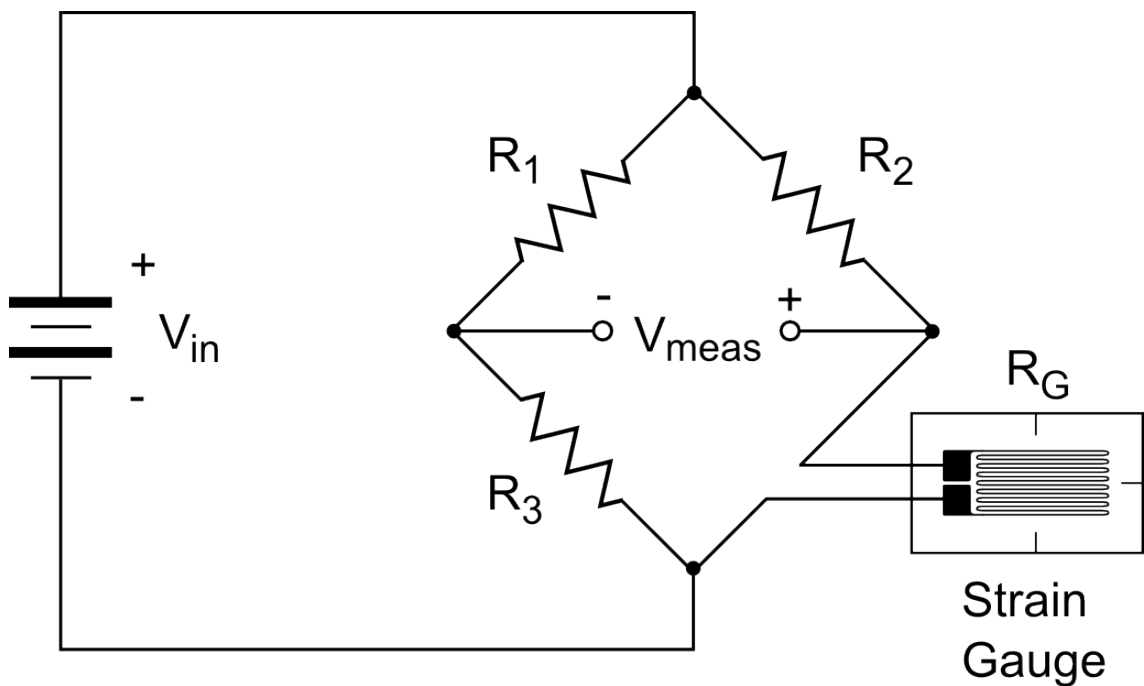
Yleisimmin käytetty venymäliuska-anturi on nk. metallikalvoliuska. Kuvasta 9 voidaan nähdä kyseisen anturin rakenne. Kohdassa 1 on anturin johdinpaikat, joihin syötetään sähköä. Kohdassa kaksi on itse vastus, joka mittauksien mukaan venyy tai puristuu kokoon. Kohdassa 3 oleva nuoli on yksi neljästä kohdistusnuolesta, joiden avulla anturi saadaan kohdistettua haluttuun kohtaan mitattavassa kappaleessa. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

Metallikalvoliuska-anturit valmistetaan tyypillisesti käyttämällä ns. fotoetsausmenetelmää. Tämä menetelmä perustuu siihen, että ohuen metallikalvon (tavallisesti n. 5µm)

päältä syövytetään tarvittavat kohdat pois, jolloin jäljelle jää vain haluttu venymäkuvio. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

Oleellisinta mittauksen oikeellisuuden vuoksi on anturin oikea kiinnitystapa. Yleisin tapa on ollut liimata anturi kiinni mitattavaan kappaleeseen. Tämä tosin tekee anturista melko lailla käytettävän vain kyseisessä kappaleessa, sillä irrotus saattaa vahingoittaa anturia. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)

Anturit kytketään yleisimmin nk. Wheatstone-silta-kytkentään (kuva 10). Siinä anturit kytketään yhteen siten, että yhdellä antureista (tai useammalla) on muuttuva resistanssi ja lopuilla resistanssi on vakio. Kun kytkentään syötetään jännitettä ja yhden vastuksen vastusarvoa muutetaan, muuttuu ulos tulevan jännitteen suuruus. (Suomen Säätoteknillinen Seura 1981)



Kuva 10 Wheatstonen silta (Continuum mechanics 2016)

3.3.1 Valmiit anturipaketit

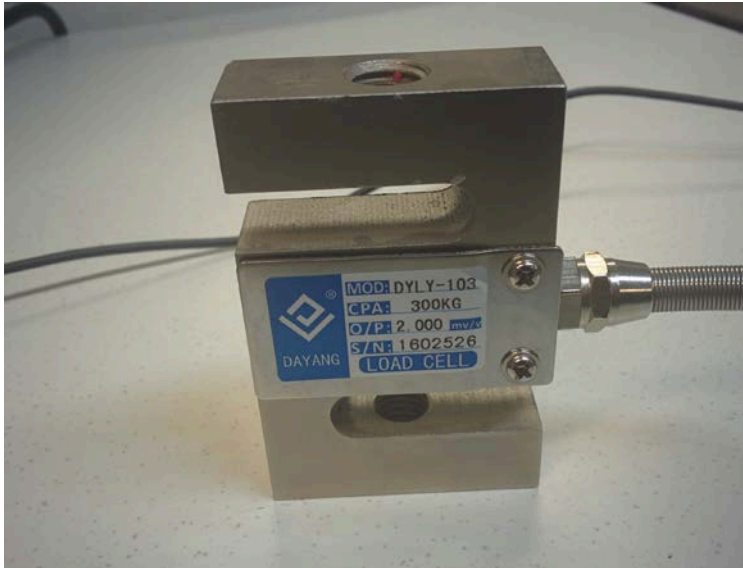
Antureita on saatavilla myös valmiiksi kiinnitettyinä ja johdotettuina erilaisiin ja erimuotoisiin mittalaitteisiin. Nämä anturit ovat helppo kytkeä ja asentaa. Näistä tyypillisimpiä ovat tankomalliset (kuva 11), kiekkomalliset (kuva 12) ja S-tankomalliset (kuva 13). Tässä työssä käytettiin kuvan 13 mukaisia antureita.



Kuva 11 Tankovenymäliuska-anturi



Kuva 12 Levyvenymäliuska-anturi



Kuva 13 S-tankovenymäliuska-anturi

3.4 Muut mittausmenetelmät

Muita mittaustapoja ovat mm. Suomessa kehitelty EMF-kalvo ja dynamometri. EMF-kalvo (electromechanical film) on ohut ja joustava elektreettimuovikalvo, jonka erityispiirteitä ovat sen kuplarakenteisuus ja siitä aiheutuva suuri herkkyys. Ulkoinen voima aiheuttaa kalvoon muodonmuutoksen, joka samalla muuttaa ulkoista sähkökenttää. Sähkökenttä aiheuttaa kalvon metallielektrodeihin Coulumbin lain mukaisen voimavaikutuksen. Elektrodienvälille syntyy varausjakaumaero, joka voidaan mitata. (Huttunen, H. 2004)

Dynamometri on laite, jolla voidaan mitata voimaa, vääntöä ja tehoa. Yksinkertaisin dynamometrin malli on jousidynamometri, joka on käytännössä jousi. Tavallisesta jousivaa'asta eroten jousidynamometri on kalibroitu newton-asteikoille. (DYNOMITE 2016)

4 KAUPALLISET VOIMALEVYT

Voiman mittaamiseen tarkoitetut mittalevyt eivät ole mikään uusi keksintö. Ensimmäisiä kaupallisia laitteita alettiin kehittää 1970-luvun loppupuolella. Kaikille mittalevyille on yhtenäistä se, että kahden levyn väliin on sijoitettu yleensä neljä anturia, jotka mittaavat käyttäjän aiheuttamasta voimasta aiheutuvia muutoksia. (Bonde-Petersen, F. 1975)

4.1 Maahan sijoitettavat laitteet

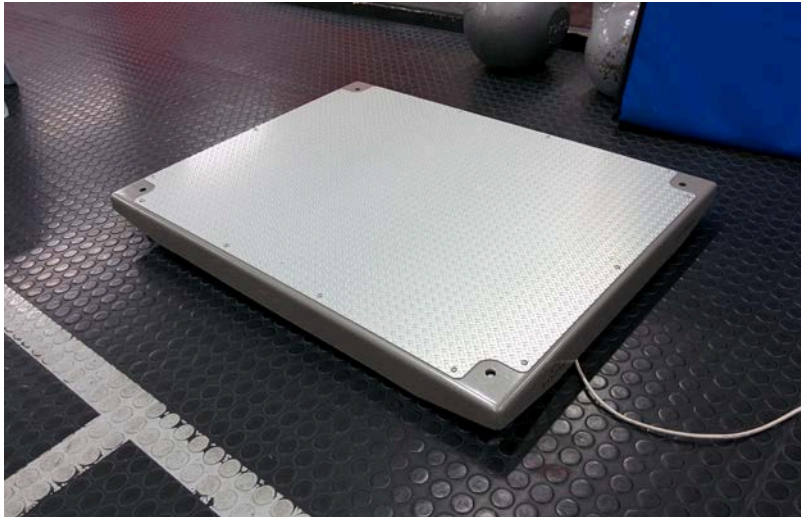
Tässä osiossa kerrotaan tarkemmin niistä mittalevyistä, joiden käyttö tapahtuu vaakatasossa lattialla ja joilla mitataan pystysuorassa tapahtuvaa voiman tuottoa. Lähestulkoon kaikki tämän tyyppiset mallit toimivat samalla periaatteella: levyn neljä voima-anturia tallentavat hypyn tuottamat voima-arvot tietokoneelle, jolloin tietoja voidaan käsitellä ja esittää. Esimerkkinä käytän yhden valmistajan laitetta. (Cross, R. 1998)

4.1.1 HUR Labs Hyppytestilevy FP8

HUR Labs Oy on suomalainen, Tampereella toimiva laitevalmistaja, joka on keskittynyt valmistamaan ammattikäyttöön tarkoitettuja testauslaitteita. Heidän tuotekategoriaansa kuuluu myös hyppytestaukseen tarkoitetut mittalevyt. (HUR Labs 2016)

Hyppytestilevy FP8 (kuva 14) on 810 mm x 610 mm x 60 mm kokoinen laitekokoonpano. Painoa laitteella on n. 15 kg. Laitteessa käytetään neljää tankomallista venymäliuska-anturia, joista jokaisella on maksimikapasiteetti 300 kg. (HUR Labs 2016)

Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat levyn maksimi näytteenottotaajuus, joka tällä levyllä on 1200 Hz. Näytteenottotaajuus tarkoittaa sitä aikaa, kuinka usein antureilta luetaan dataa. Tässä tapauksessa $1200 \text{ Hz} = 0,8333 \dots \text{ ms}$. Laite lukee siis anturidataa joka 0,83 ms. (HUR Labs 2016)



Kuva 14 HUR Labs Hyppytestilevy FP8 (HUR Labs, 2016)

4.2 Seinälle sijoitettavat laitteet

Vähän harvinaisempia ovat seinälle sijoitettavat (kuva 15) voimalevyt. Seinälle sijoitettavien laitteiden täytyy erota lattiamalleista paljon korkeammalla näytteenottotaajuudella. Tämä johtuu siitä, että heitettävän kappaleen kosketusaika levyyn on paljon pienempi verrattuna ihmisen hyppyyn. Seinälaitteet vaativat myös aina erikoisvalmisteisen seinäkiinnitysmenetelmän, koska laitteen ei tulisi liikkua ollenkaan, kun siihen kohdistetaan voimaa. Tämän kiinnitystavan vuoksi seinään kiinnitettävät levyt ovat harvinaisempia. Laitte on tällöin lopullisesti sijoitettuna asennettuun kohtaan, eikä sitä voi helposti siirtää muualle.



Kuva 15 Seinälle kiinnitettävä voimalevy (SportEST, 2012)

4.3 Vertaaminen valmistettavaan laitteeseen

Valmistettavan laitteen vertaaminen jo markkinoilla oleviin laitteisiin on hyvä tehdä. Näin voidaan vertailla laitteiden tärkeimpiä ominaisuuksia ja saada selville, onko valmistettavalle laitteelle oikeasti tarvetta.

Vertailtaessa laitteiden taajuuksia, päästään teollisuusvahvistimen sisältämällä tämän työn laitteella suurimmalle taajuusalueelle. Kun kilpailevilla laitteilla päästään vain muutama tuhat hertsiin, päästään tämän työn laitteella jopa kymmeneen tuhat hertsiin.

Suurempi taajuus tarkoittaa myös suurempaa jännitteen ja virran kulutusta. Kilpailevat laitteet toimivat suoraan USB-virralla, eli 5 voltia ja alle 1 ampeeri. Tämän työn vahvistin itsessään vaatii jo 24 voltia ja anturit lisäksi 10 voltia.

Anturit tässä työssä olivat halvemmat ja laadultaan heikommat kuin kaupallisissa laitteissa. Tämän työn laitteen avonaisen luonteen ja muotoilun vuoksi anturit on kuitenkin tarvittaessa helpompi vaihtaa laadukkaisiin ja parempiin antureihin.

Kokoluokaltaan laitteet ovat lähes saman painoiset. Tämän työn laitteen lopullinen paino ei täysin ollut selvillä, mutta laskuarviot antoivat painoksi noin 15 - 20 kg.

Ulkonäköä ja viimeistelyä on ehkäpä turha vertailla, kun ottaa huomioon, että tämän työn laite tehtiin opiskelijavoimin muiden opiskeluiden ohella. Kilpailevien laitteiden suunnitteluun ja viimeistelyyn on käytetty useita miestyötunteja ja paljon enemmän resursseja.

Voitiin siis todeta, että tämän työn levy sopeutuu samoihin käyttökohteisiin kuin kaupallisetkin levyt. Jännitevaatimukseltaan levy on kuitenkin vaativampi, mutta tätä kompensoi korkeampi näytteenottotaajuus.

5 LAITTEEN SUUNNITTELU

Niin laitteistossa kuin ohjelmistossakin käytettiin pääosin Beckhoff Automation GmbH & Co. KG-yrityksen laitteita. Laitteistovaihtoehtoja tutkiessa päädyttiin käyttämään juuri kyseisiä komponentteja niiden sopivuuden ja hyvien ominaisuuksien vuoksi.

5.1 Laitteisto

Laitteiston suunnittelua alettiin toteuttamaan tilaamalla ensiksi käyttötarkoitusta pienemmät venymäliuska-anturit (kuva 16) ja testaamalla niitä Arduino UNO R3-mikro-ohjain alustalla (kuva 17). (Arduino 2016)



Kuva 16 50 kg venymäliuska-anturit



Kuva 17 Arduino UNO R3 (Arduinon kotisivut 2016)

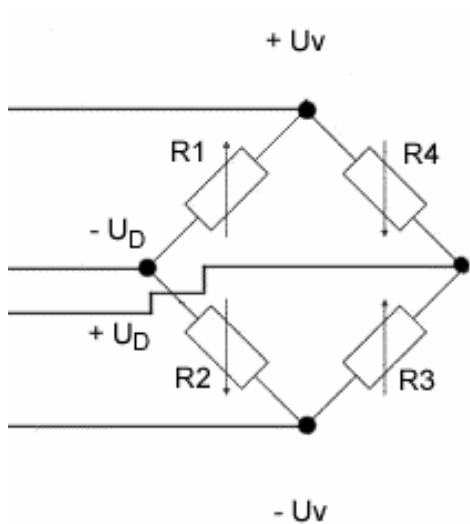
Testillä haluttiin tarkemmin tutkia venymäliuska-antureiden toimintaperiaatetta sekä oppia niistä enemmän. Arduinoa käytettiin sen helppokäyttöisyyden ja prototyypiläheisen tarkoituksiperän takia.

Kun alettiin ymmärtää tarkemmin venymäliuska-antureiden toimintaperiaatetta, pystyttiin valitsemaan työlle vahvistin. Vahvistimeksi valikoitui Beckhoffin EL3356-0010-mallinen vahvistin (kuva 18). Kyseinen vahvistin on ominaisuuksiltaan ylivoimainen verrattuna kaupallisten mittalevyjen vahvistimiin. Tärkeimpänä ominaisuutena on sen suuri näytteenottotaajuus: 10000 Hz eli 0,1 ms. Se on yli 8-kertaa enemmän kuin HUR Labsin FP8-mallissa. Muita tärkeitä ominaisuuksia olivat vahvistimen resoluutio, joka oli 24 bittiä sekä mittavirhemarginaali, joka oli alle $\pm 0,01$ %. Vahvistimen ollessa uudempaa mallia (elxxx-0010), sisältyi siihen itsekalibrointiominaisuus, jonka avulla välttyttiin uudelleenkalibroinnilta joka käyttökerran alussa. (Beckhoff 2016)

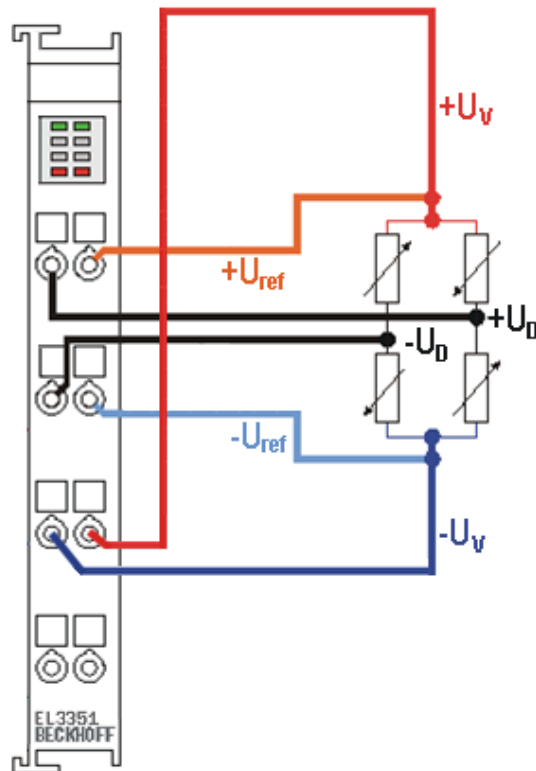
Vahvistimen mittaparametreja on mahdollista muuttaa tietokoneen avulla. Tärkeimpänä parametrina oli oikeanlaisien anturiarvojen asettaminen vahvistimelle. Jollei tätä olisi tehty, olisivat mitta-arvot olleet virheellisiä. Näihin kuuluivat mm. taaraus, anturien lähtöjännite ja nimellispaino. Muita säädettäviä parametreja olivat mm. näytteenottotaajuuden muuttaminen, suodattimen (FIR / IIR) valinta ja kalibrointiasetukset.



Kuva 18 EL3356-0010-vahvistin (Beckhoffin kotisivut 2016)



Kuva 19 Anturien kytkentä



Kuva 20 Vahvistimen kytkentä

Anturit ovat kytketty ns. täyteen siltaan kuvan 19 mukaisesti. Tällöin saadaan aikaiseksi kaikista tarkoin ja herkin mittaustulos. Siltamuodostelma kytkettiin oheisen kuvan 20 mukaisesti vahvistimeen. Navat $+U_v$ ja $-U_v$ kytkettiin lähtöjännitteeseen, joka oli ohjeistuksen mukaan 10 V. Samoihin napoihin kytkettiin myös $+U_{ref}$ ja $-U_{ref}$, jotka ovat vahvistimen vertailujännitteet. $+U_D$ ja $-U_D$ ovat erotusjännitteet.

Kun tutkittiin muiden valmistajien mittalevyjä, voitiin nähdä, että heillä oli käytössä ns. bending beam load cell, eli taipuva palkkivenymäliuska-anturi. Kyseisen anturin hinnat olivat lähellä viittäsataa euroa, joten niitä ei tähän työhön valittu. Päätettiin ostaa halvempia, S-tankovenymäliuska-antureita (kuva 13). Anturit sopivat niin ominaisuuksiltaan kuin ulkomuodoltaansakin hyvin tähän työhön.

Lisäksi työssä on käytössä Beckhoffin kehittämään EtherCat-väylätekniikkaan perustuva EK1100 yhdistin, joka yhdistää vahvistimen, anturit ym. laitteet tietokoneeseen käyttäen CAT5-ethernet kaapelia (tavallinen nettikaapeli). (Beckhoff 2016)

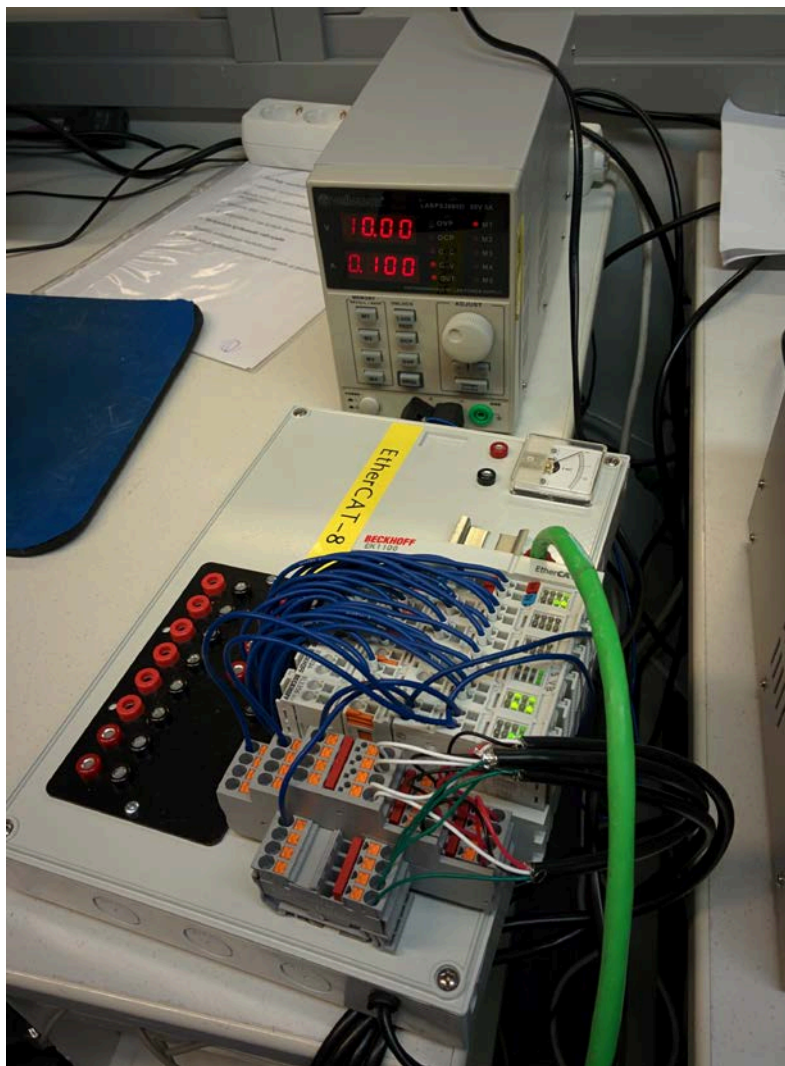
Ensimmäinen prototyypiversio (kuva 21) rakennettiin metalliseen kytkentäalustaan. Alusta oli maalattua reikälevyä, joka oli hyvin taipuisaa, joten päälle asennettiin vielä 23 mm paksu vanerilevy. Venymäliuska-anturit asennettiin tasaisesti levyn jokaiseen kulmaan, jotta saataisiin mahdollisimman tarkka tulos.



Kuva 21 Prototyypimittalevy

Työn sähkökomponentit asennettiin valmiiseen koululla käytettyyn EtherCat-väylän opetuslevyyn (kuva 22). Kuvan taustalla näkyvä virtalähde tullaan vaihtamaan

pienempään ja muutkin komponentit sijoitetaan omaan koteloonsa. Kotelo tullaan toivon mukaan sijoittamaan levyn alle, jolloin se olisi kiinteästi osa kokoonpanoa. Jollei tämä ole mahdollista, kotelo tehdään erilliseksi osaksi levyn rinnalle ja se täytyy ennen käyttöä kytkeä levyn antureihin kiinni.

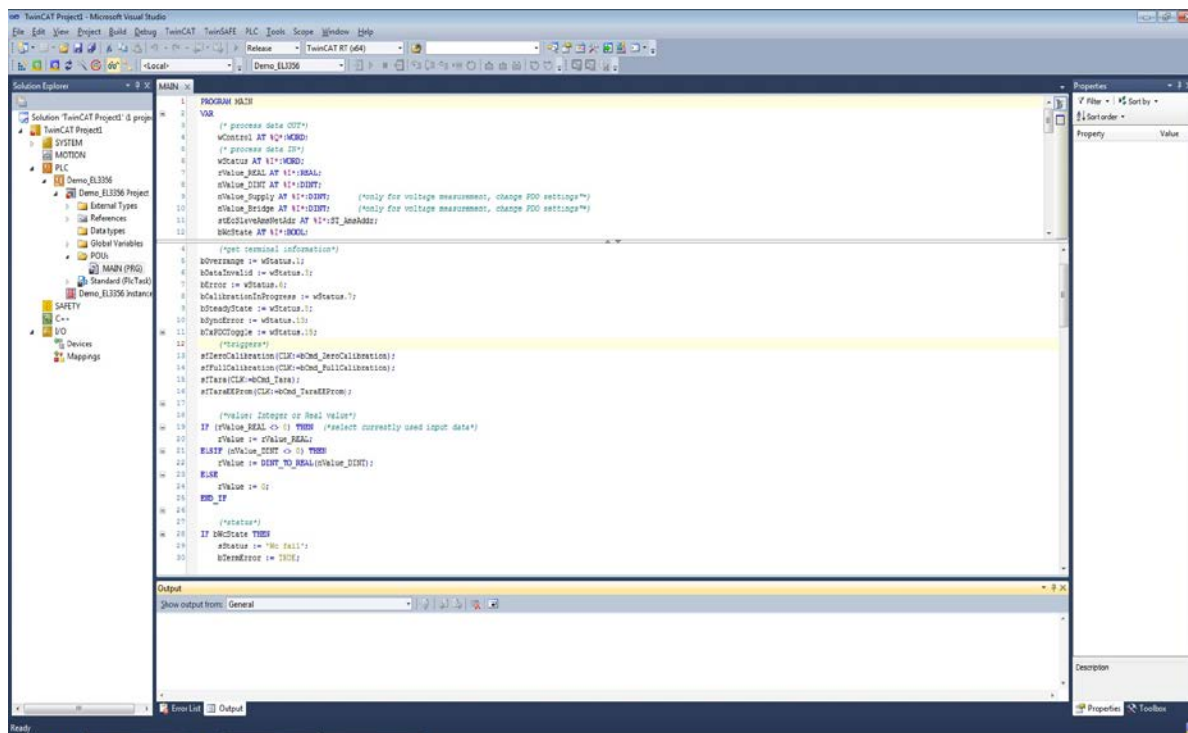


Kuva 22 Vahvistin ja virtalähde

5.2 Ohjelmisto

Ohjelmisto, jolla dataa vahvistimelta luetaan, on niin ikään Beckhoffin valmistama Twin-Cat 3 PC-pohjainen PLC-ohjelmisto (kuva 23). PLC eli ohjelmoitava logiikka on kuin ”pieni tietokone”, jota käytetään automaatioteollisuudessa ja prosesseissa ohjaamaan kokonaisia laitekokonaisuuksia. Ohjelmistolla voidaan muuttaa laitteiston parametreja, tehdä käyttöliittymiä ja analysoida vahvistimelta tulevaa dataa.

TwinCat 3 toimii varsinaisen käyttöjärjestelmän (Windows) taustalla itsenäisesti eikä erillisenä ohjelmalla. Tämä helpottaa samanaikaisesti muiden ohjelmistojen käyttöä. (Beckhoff 2016)



Kuva 23 TwinCat 3 ohjelmisto

Tämän lisäksi TwinCat 3:sta on mahdollista siirtää tietoa Excel -taulukko-ohjelmalle, jolla pystyy helposti käsittelemään dataa ja muuntamaan sitä. Exceliä käytettiin tässä työssä enemmän, koska siihen oli saatavilla enemmän neuvoja ja opastusta.

Varsinainen ohjelmointi tuotti aluksi ongelmia. Alun perin oli tarkoitus käyttää ohjelmiston aiempaa 2. versiota, johon löytyi koululta opetusmateriaalia ja valmiita esimerkkejä. Versio 2 ei kuitenkaan toiminut koulun päivitettyillä tietokoneilla, joten jouduttiin käyttämään uudempaa 3. versiota. 3. version käyttöä opiskeltiin itseopiskeluna ja apua pyydettiin niin opettajilta, kuin myös itse ohjelmiston valmistaneelta yritykseltä. Yritykseltä saatiin hyviä ohjeita ja valmiita esimerkkejä, joiden avulla rakennettiin työssä käytetty ohjelmisto.

5.3 Materiaalivaihtoehdot

Tämän työn puitteissa tehtiin alustava vertailu laitteen pohjalevyn materiaalitestaukseen ja valintaa varten. Levymateriaalina käytettiin koululta löydettyä reikälevyä sekä katevaneria. Eri vaihtoehtoja pystyttiin teoriassa vertailemaan ja tekemään niistä vertailutaulukko (Taulukko 1) tulevaisuuden varalle.

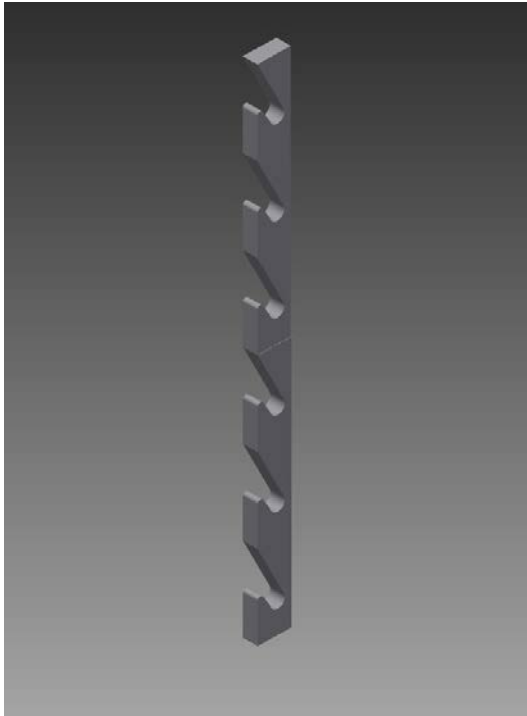
Taulukko 1 Materiaalivaihtoehdot

	Vaneri	Alumiini 5083	Komposiitti (Dibond)	Akryylilevy	Hiilikuitu
Paino / m ²	7,7 kg	7,9 kg	3,81 kg	3,6 kg	260 g
Paksuus	19 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
Vetolujuus	27 MPa	350 MPa	180 MPa	69 MPa	3500 MPa
Kimmokerroin	10700 GPa	70 GPa	70000 GPa	2,8 GPa	138 GPa

Taulukon materiaaleista vaneri on helpoin käsitellä ja siinä on myös suuri kimmokerroin. Kimmokerroin kertoo sen, kuinka paljon materiaali vastustaa taipumista. Vaneri on hinnaltaan varmasti myös edullisin. Komposiitti olisi myös hyvä vaihtoehto, hintataso tällä kyseisellä Dibond-komposiitilla on sadasta eurosta ylöspäin.

5.4 Seinäkiinnitysmenetelmät

Laitteen kiinnittämistä seinään tarkasteltiin tässä työssä teoriatasolla. Ajatuksena oli käyttää jonkinlaista raidejärjestelmää, jossa laitteistoa voisi helposti liikutella korkeussuunnassa. Toinen ehdotus oli eräänlainen koukkujärjestelmä, jossa seinään asennettaisiin metallisia koukkuja (kuva 24) ja laitteistoon suunniteltaisiin putkesta kannatuspalkki.



Kuva 24 Seinäkoukut

6 TESTAUS

Laitteen ensimmäisen prototyypiversion valmistuttua päästiin testaamaan sitä tätä raporttia varten. Laitetta tullaan vielä parantelemaan, mutta tämän raportin kannalta oleelliset testaukset pystyttiin suorittamaan jo kyseisellä versiolla.

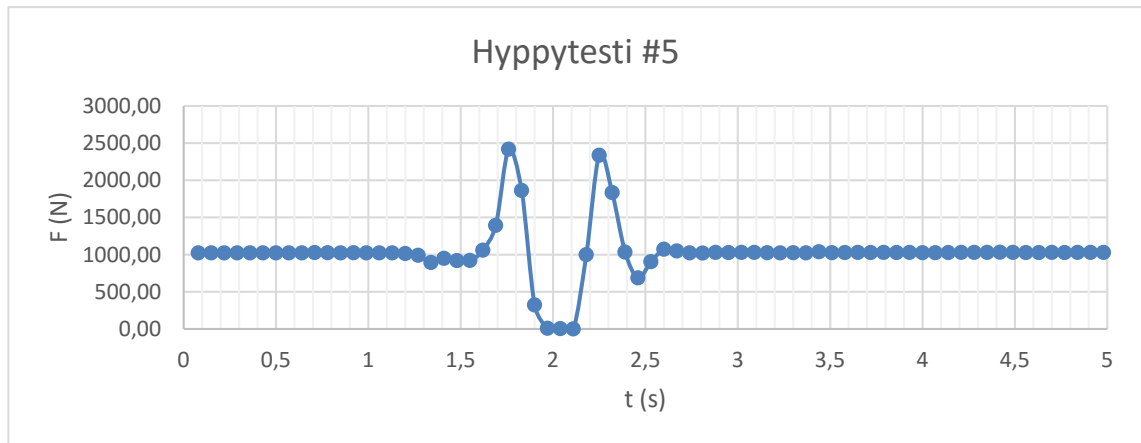
Testaaminen aloitettiin asettamalla vahvistimelle alkuparametrit (painovoima, anturien nimellisarvot, taaraus). Tämän jälkeen suoritettiin manuaalinen kalibrointi viiden kilon punnuksella. Vahvistin kalibroi tämän jälkeen itsensä kolmen minuutin välein.

Testaaminen aloitettiin yksinkertaisella painotestillä: kokeiltiin, kuinka tarkasti laite punnitsee kappaleita, joiden tarkka paino tiedettiin. Punnituksista saatiin seuraavanlainen taulukko:

Taulukko 2 Kappaleiden punnitukset

	Levyllä mitattu	Fysiikan lab. mitattu	Virhe %
Punnus 5kg	4,889 kg	5,002 kg	2,25 %
Levypaino 1kg	0,984 kg	1,044 kg	5,75 %
Kahvakuula 10kg	9,955 kg	10,029 kg	0,73 %

Punnitustulosten todettiin olevan oikeellisia, joten siirryttiin seuraavaan testiin: hyppytesti. Tässä testissä koehenkilö astui levyn päälle, asetti ohjelmiston tallennustilaan ja suoritti kevyen hypyn levyn päällä. Tallennus kesti viisi sekuntia. Tuloksista saatiin seuraavanlainen kuvio (kaavio 3).



Kaavio 3 Hyppytesti

Kaaviosta 3 voidaan todeta testin olleen onnistuneen. Kuviosta voidaan lukea hypyn vaiheet:

- kohdassa $t=1,45\dots$ kohdehenkilö aloittaa ponnistuksen
- kohdassa $t=1,75\dots$ kohdehenkilö on ponnistuksen lopussa ja hän irtautuu levystä
- välillä $t=1,75$ ja $t=2,25$ kohdehenkilö on ilmassa
- kohdassa $t=2,25$ tapahtuu laskeutuminen
- kohdassa $t=2,4$ kohdehenkilö palautuu hieman hypystä, jolloin paino kevenee

Näiden arvojen avulla voidaan laskea tämän hypyn ominaisuudet aiemmin mainittujen kaavojen avulla:

$$\Delta t = 1,75\dots s - 1,45\dots s = 0,333\dots s$$

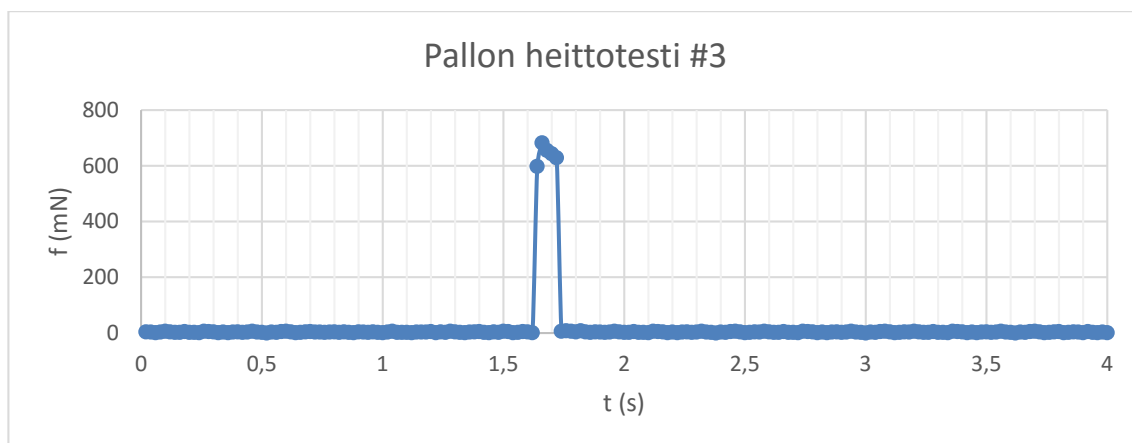
$$F = 2400\text{ N} - \left(104,2\text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1378\text{ N}$$

$$I = \int_0^{0,3} F(t) dt = \left(\frac{F \cdot \Delta t}{2}\right) = 230,3\text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$V_0 = \frac{230,3\text{ kg} \cdot \text{m/s}}{104,2\text{ kg}} = 2,21\text{ m/s}$$

$$h = 0,5 \cdot \frac{\left(2,21 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 24,9\text{ cm}$$

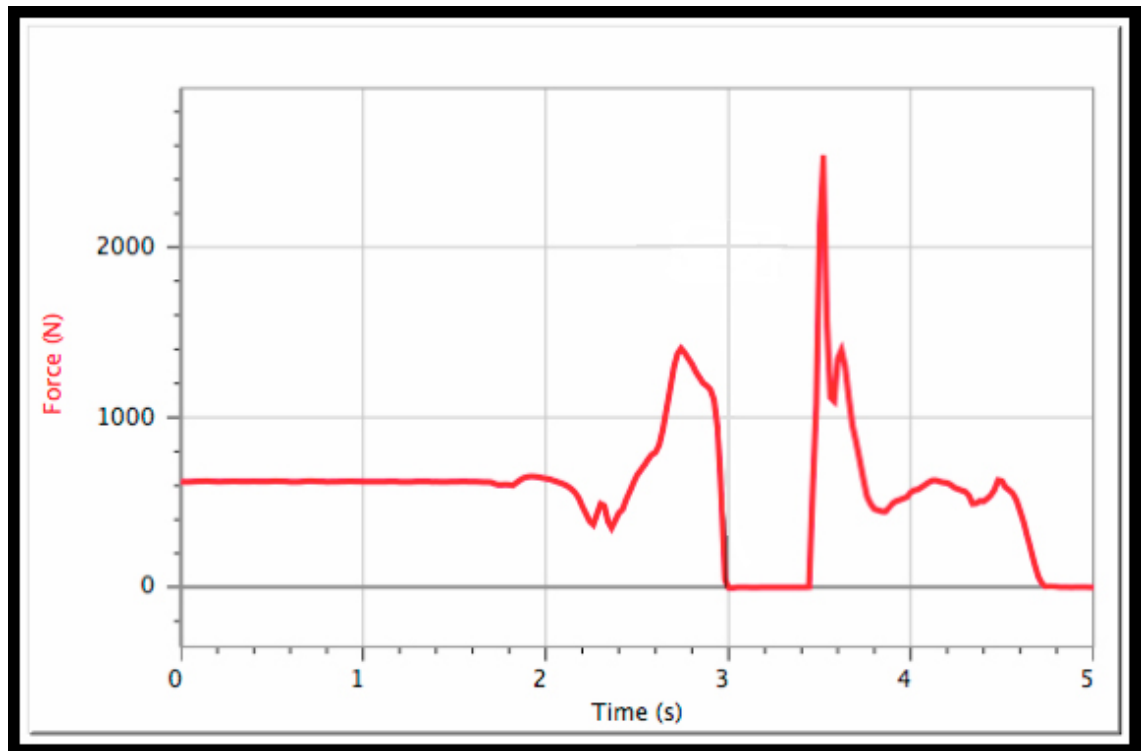
Seuraavaksi testattiin pallon heittämistä levyyn. Levyä ei ollut mahdollista kiinnittää seinälle, koska kiinnitysmenetelmää ei oltu vielä suunniteltu. Vahvistimen asetuksia muutettiin siten, että näytteenottotaajuutta nostettiin, jotta saataisiin pallon voimaisku mitattua. Pallon heitosta saatiin seuraavanlainen kuvaaja (kaavio 4):



Kaavio 4 Pallon heittotesti

Kuvaajasta voidaan selkeästi nähdä pallon osuminen levyyn kohdassa $t=1,62$. Testillä pystyttiin selvittämään, että nopeatkin iskut on mahdollista saada näkyville kyseisellä laitteistolla ja että laitteistoa voidaan hyödyntää käyttäjän heittovoiman selvittämisessä. Täytyy kuitenkin muistaa, että kyseinen testi ei kertonut koko totuutta, sillä levy oli tässä tapauksessa vaakatasossa kun taas oikeassa käytössä sen täytyisi olla seinällä pystytasossa.

Testien jälkeen voitiin todeta tuloksien olleen käyttökelpoisia ja todenmukaisia. Hyppytestin kuvaajaa voitiin verrata kaupallisella laitteella mitattuihin tuloksiin ja sen kuvaajaan (kaavio 5). Kuvaajat ovat lähestulkoon identtiset. Molemmissa näkyy hypyn ponnistuksesta, ja laskeutumisesta aiheutuvat voimapiikit sekä lentoaika.



Kaavio 5 Voimakäyrä (Harvard 2016)

7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella hybridimittalevy, jolla voitaisiin mitata voiman tuottoa niin lattialla kuin seinälläkin. Komponenttien valinnassa onnistuttiin hyvin, vaikka todellinen tieto komponenttien soveltuvuudesta tulisikin selville vasta pidemmän käytön jälkeen. Työhön valittu vahvistin ylitti työlle annetut ennakko-odotukset ja suoriutui tehtävästään onnistuneesti. Valitut anturitkin toimivat erinomaisesti juuri tässä työssä.

Itse ohjelmisto ja sen ohjelmointi jäi puutteellisen tietotaidon vuoksi hyvin pintapuoliseksi. Periaatteessa pystyttiin käyttämään vain yrityksen valmiiksi tekemää ohjelmistoa ja analysoimaan siitä saatua tietoa. Helppokäyttöisen ja selkeän käyttöjärjestelmän tekeminen jäi siis vähän kesken. Myös seinätelineen suunnittelu jäi vain teoriasolalle.

Loppujen lopuksi työ onnistui hyvin. Rakennettiin työn tavoitteiden mukainen kaksitoiminen voimalevy, jota pystyttiin kokeilemaan ja suorittamaan koemittauksia. Pystyimme analysoimaan hypystä ja pallon heitosta aiheutuvia voimia sekä esittämään saadut tiedot.

Vertailtaessa rakennettua voimalevyä kaupallisiin ratkaisuihin, voitiin todeta, että rakennettu levy on hyvin kilpailukykyinen ja ominaisuuksiltaan yhtä hyvä, ellei jopa joiltain osilta parempi. Rakennetun voimalevyn vahvistin on näytteenottotaajuuksiltaan sekä muilta ominaisuuksiltaan ylivoimainen. Levy myös päihittää kilpailevat voimalevyt muunnettavuudellaan ja avoimuudellaan.

Projektin mahdollisien jatkajien kannattaa opiskella TwinCat 3-ohjelmiston käyttöä enemmän. Käyttöjärjestelmästä on tehtävä mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Sillä on pystyttävä mittaamaan useampi suorituskerta peräkkäin, ilman turhia nollauksia tai uudellenkäynnistämisiä. Käyttöliittymässä olisi hyvä olla näkyvillä hypystä/heitosta saatu kaavio, hyppyaika, hypyn korkeus, lähtönopeus, hypyn voima ja hypystä saatava teho. Käyttöliittymän kautta täytyisi myös pystyä kalibroimaan levy hypypääjän mukaan. Liitteissä on hyvä esimerkkikuva Innervations-yrityksen käyttämän testilaitteiston käyttöliittymästä, josta voisi ottaa mallia.

LÄHTEET

Advanced Micro Controls Inc. Luettu 7.4.2016.

<http://www.amci.com/tutorials/tutorials-what-is-programmable-logic-controller.asp>

All About Circuits. Luettu 21.4.2016.

<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>

Arduino. Luettu 7.4.2016.

<http://arduino.cc>

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. Luettu 7.4.2016.

<https://www.beckhoff.com/>

Beckhoff. 2016. EL3356-0010 Documentation. Luettu 11.4.2016.

Bonde-Petersen, F. 1975. A simple force platform. Luettu 7.4.2016.

Continuum mechanics. Luettu 21.4.2016.

<http://www.continuummechanics.org/cm/straingauges.html>

Cross, R. 1998. Standing, walking, running, and jumping on a force plate. Luettu 11.4.2016

DYNOMite. Luettu 21.4.2016

<http://www.dynomitedynamometer.com/>

Harvard. Lab 3: The Force Plate and Vertical Jump. Luettu 21.4.2016

http://www.fas.harvard.edu/~scphys/courses/15a/2008/15a_3.pdf

Huttunen, H. 2005. Signaalinkäsittelyn menetelmät. Luettu 21.4.2016

Innervations Ballistic Measurement System. Luettu 29.4.2016

<http://www.innervations.com/products/ballistic-measurement-system/ballistic-measurement-system/>

Kalajainen, A. koulutus- ja myyntipäällikkö. 2016. Haastattelu 4.4.2016. Haastattelija Antti Sirén

Lohstroh, J. tekninen tukihenkilö. 2016. Haastattelu 4.4.2016. Haastattelija Antti Sirén

Moisio, T. 2004. EMF-kalvon käyttö voimistelun hyppysä. Luettu 29.4.2016

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J. 2010. Tekniikan kaavasto. Tammer-tekniikka. Luettu 7.4.2016.

Ravintolalaittepalvelu Vääntinen. Luettu 7.4.2016.

<http://www.ravintolalaittepalvelu.com/vaakat.htm>

Sanjeev, R. 2002. Introduction to Electrical Signals and Systems. Luettu 29.4.2016
https://www.princeton.edu/~cuff/ele201/kulkarni_text/digitizn.pdf

Siemens AG. Luettu 11.4.2016.
<http://www.siemens.com/entry/cc/en/>

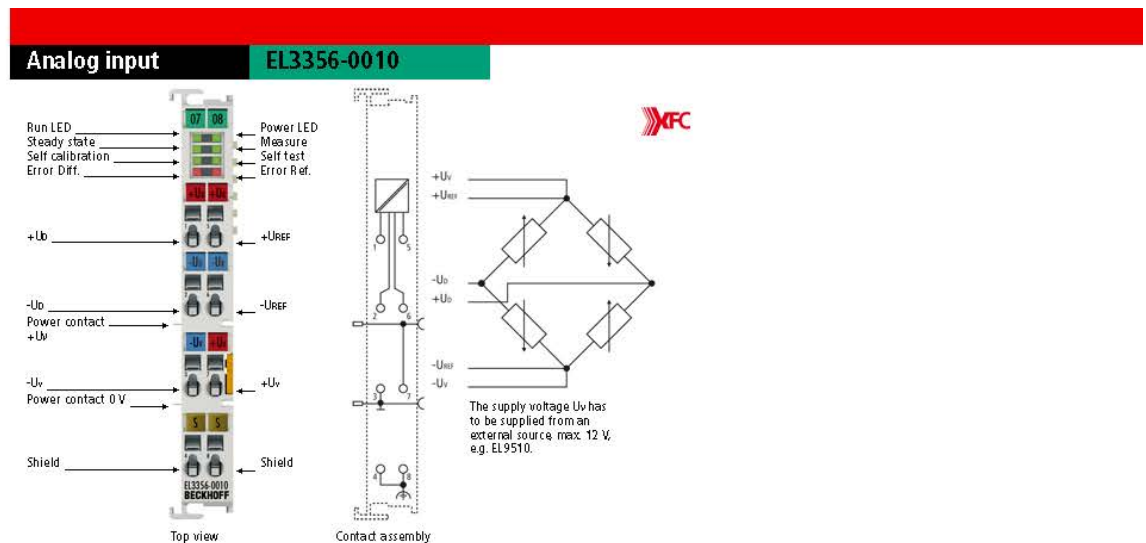
Somayajula, J. Spatial and Temporal Filtering for Noise Reduction in Fluorescence Image Sequences of Cardiac Excitation. Luettu 21.4.2016.
<http://www.code.ucsd.edu/pcosman/fluoroscopy/index.html>

Suomen Säätoteknillinen Seura. 1981. Punnitukset ja voiman mittaukset. 7.4.2016.

Varalan Urheiluopisto Oy. Luettu 7.4.2016.
<http://varala.fi/>

LIITEET

Liite 1. Beckhoff EL3356-0010 tekniset tiedot (Beckhoff 2016)



EL3356-0010 | 1-channel precise load cell analysis (resistor bridge), 24 bit

The analog EL3356-0010 input terminal enables direct connection of a resistor bridge or load cell in a 4- or 6-wire connection technology. The ratio between the bridge voltage U₀ and the supply voltage U_{ref} is determined simultaneously in the input circuit and the final load value is calculated as a process value on the basis of the settings in the terminal. With automatic self-calibration (can be deactivated), dynamic filters and distributed clock support, the terminal with measuring cycles of 100 µs can be used for fast and precise monitoring of torque or vibration sensors.

Technical data	EL3356-0010
Number of inputs	2, for 1 resistor bridge in full bridge technology
Technology	resistor bridge, strain gauge
Distributed clocks	yes
Measuring range U ₀	max. -25...+25 mV rated voltage
Measuring range U _{ref}	max. -12...+12 V rated voltage
Internal resistance	> 200 kΩ (U _{ref}), > 1 MΩ (U ₀)
Input filter limit frequency	10 kHz low pass (-3 dB)
Resolution	24 bit, 32 bit presentation
Conversion time	0.1...250 ms, configurable, max. 10,000 samples/s
Conversion rate	10,000...4 samples/s (0.1...250 ms conversion time)
Power supply U _v	up to 12 V from power contacts, dependent on sensor
Measuring error	< ±0.01 % for the calculated load value in relation to the final load value with a 12 V feed and 24 mV bridge voltage (hence nominal strain gauge characteristic value of 2 mV/V), self-calibration active, 50 Hz filter active, depends on strain gauge supply, min. 1 mA
Current consumption power contacts	
Current consumption E-bus	typ. 210 mA
Supported nominal sensitivity	all, resolution of parameter: 0.01 µV/V recommended: 0.5...4 mV/V
Special features	self-calibration, quadruple averager, dynamic filters, fast data sampling
Weight	approx. 60 g
Operating/storage temperature	0...+55 °C/-25...+85 °C
Relative humidity	95 %, no condensation
Vibration/shock resistance	conforms to EN 60068-2-6/EN 60068-2-27
EMC immunity/emission	conforms to EN 61000-6-2/EN 61000-6-4
Protect. class/installation pos.	IP 20/variable

Ordering information	
EL3356-0020	1-channel precise load cell analysis (resistor bridge), 24 bit, with calibration certificate
Related products	
EL3356	1-channel accurate resistance bridge evaluation, 16 bit

Liite 2. Antureiden tiedot (Dayang 2016)

Specification			
Accuracy Class			C3
Max. Capacity (E_{max})		Kg/t	100,200,250,300,500kg 1,2,3,5t
(V_{min})		g	$E_{max}/10000$
Minimum LC verification interval			
(n_{max}) Maximum number of load cell verification intervals			3000
Sensitivity(C_N)		mV/V	$3.0 \pm 0.1/2.0 \pm 0.1$
Temperature effect on zero balance		%FS/10°C	± 0.02
Temperature effect on sensitivity	20~40°C	%FS/10°C	± 0.02
	-10~20°C		± 0.02
Combined error		%FS	± 0.0200
Creep (in 30 min)		%FS	± 0.0200
Zero balance		%FS	1
Input resistance (R_{LC})		Ω	400 ± 10
Output resistance (R_O)		Ω	352 ± 2
Insulation resistance(R_{IS}) at 100 V _{DC}		M Ω	≥ 5000
Service temperature range		°C	-10~+70
Storage temperature range		°C	-20~+70
Reference excitation voltage		V	10~15
Safe load limit(E_L)		%FS	150
Breaking load(E_d)		%FS	300
Material			Alloy steel
Protection class			IP68
Cable			Length:5m Diameter: $\phi 5mm$

Liite 3. HUR Labs FP8 tekniset tiedot (HUR Labs 2016)

Force Platform (FP8)*Jump measuring device*

Measuring unit	lb
Measuring range	0-661 lb/ sensor
Sensor type	Force Transducer
Manufacturer type	TY2002
Non linearity	+/- 0,02% FS
Combined error	0,03%
Sensitivity	2mV/V +/- 0,25%
Overload capacity	150% / sensor
Operating voltage	Taken from USB
USB connection	B-type plug
Resolution	16 bits*
DAQ software	Updated via USB
Maximum sampling rate	1200 Hz
Application software	Force Platform Software Suite
Operating System	Windows
EMC	SGS EMC test report 240268-2
Storage conditions	Dry, room temperature.
Operating conditions	Indoors
Dimensions (h x l x w)	2.36 x 31.89 x 24.02 in
Weight (without package)	33.07 lb
Weight (with package and accessories)	36.15 lb
Bag weight	5.29 lb
Bag dimensions (h x l x w)	2,95 x 32,28 x 25,59 in
Warranty	1 year electronics, 5 years chassis

* depends on the sampling rate

Liite 4. Innervations BMS (Innervations 2016)

