

Toni Svala

PUDOTUSTESTAUSLAITTEEN JATKOKEHITYS

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Tietotekniikan koulutusohjelma
Kevät 2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Tietotekniikka
Tekijä(t) Toni Svala	
Työn nimi Pudotustestauslaitteen jatkokehitys	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Konenäkö ja mittaustekniikka	Ohjaaja(t) Pentti Romppainen Toimeksiantaja Kajaanin ammattikorkeakoulu
Aika 12.4.2007	Sivumäärä ja liitteet 47+14
<p>Tiivistelmä</p> <p>Insinööriyön tavoitteena oli jatkaa Kajaanin ammattikorkeakoulun ympäristötestauslaboratorion pudotustestauslaitteen kehitystä, jotta sillä voitaisiin suorittaa standardien mukaisia testejä. Henry Kyllönen kehitti pudotustestauslaitteen insinööriyönä keväällä 2006. Laitetta ohjattiin elektronisen kontrollerin avulla ja sylinterin liikeno-putta voitiin säätää manuaalisesti työpainetta muuttamalla. Laitteeseen asennetun kiihtyvyyssanturin mitta-alue oli kuitenkin liian pieni, joten laitteella ei voitu suorittaa standardien mukaista testausta.</p> <p>Laitteen ohjaus pyrittiin muuttamaan yksinkertaisemmaksi. Laitteen sylinterin ohjaukseen käytetyt suuntaventtiilit vaihdettiin säädettäviin venttiileihin. Säädettäviä venttiileitä voitiin ohjata ohjainkorttien avulla jännitteellä. Tämä mahdollisti koko laitteen ohjauksen keskittämisen samaan LabVIEW-ohjelmaan. Ohjelma päätettiin tehdä pienemmissä osissa, jotka sitten yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Tällöin ohjelmasta tuli helposti ylläpidettävä ja pääohjelma pysyi yksinkertaisena.</p> <p>Pudotustestauslaitteeseen hankittiin uusi kiihtyvyyssanturi, jolla pystyttiin mittaamaan standardin mukaisia kiihtyvyysspulseja. Anturille hankittiin lisäksi anturin tarvitsema vakiovirtalähde. Kiihtyvyyssanturin tuottama kiihtyvyyssi-tieto mitattiin tiedonkeruuyksikön avulla ja mitattua kiihtyvyysspulseja analysoitiin testausohjelman avulla.</p> <p>Laitteen toiminta testattiin muutosten tekemisen jälkeen suorittamalla useita testiajoja. Testit osoittivat, että laitteella pystytään suorittamaan vähintään JEDEC Condition B -tasoista testausta. Laitteella voidaan tarvittaessa tuottaa myös suurempi nopeuden muutos, mutta tällöin venttiilejä ohjaavaa ohjelmaa on muutettava.</p> <p>Pudotustestauslaite saatiin toimintakuntoon ja sillä voidaan suorittaa sekä yksittäisiä että toistuvia testejä. Laitteen rungon ja säädettävien venttiilien väliin tulisi kuitenkin asentaa vaimennusmateriaalia, koska venttiilien säätäminen aiheuttaa värinää laitteen runkoon. Tämä ei vaikuta mittaustulokseen, mutta kuuluu äänenä testauksen aikana. Lisäksi eri vaimennusmateriaalien soveltuvuutta pudotustestaukseen on vielä tutkittava.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Pudotustestauslaite, Shokkitestauslaite
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Information Technology
Author(s) Toni Svala	
Title Development of a Drop Testing Machine	
Optional Professional Studies Machine Vision and Measuring Studies	Instructor(s) Pentti Romppainen, D.Sc (Tech.)
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences
Date 12 April 2007	Total Number of Pages and Appendices 47+14
<p>Abstract</p> <p>The objective of this Bachelor's thesis was to continue the development of the drop testing machine. Henry Kyllönen developed the machine as his Bachelor's thesis in the spring 2006. The movement of the cylinder was controlled by an electronic controller and the speed of the cylinder could be adjusted by changing the air pressure manually. The measurement range of the accelerometer was too narrow to measure the accelerations that the machine produces.</p> <p>One of the objectives was to improve the controlling of the machine. The directional control valves used to control the movement of the cylinder were changed to electro-pneumatic proportional valves. The proportional valves were controlled by power amplifiers that changed the applied voltage to current. The controlling software was developed with the LabVIEW software. The software was made modular so that it is easy to update.</p> <p>A new accelerometer having a wider measurement range was installed. The constant current source needed by the accelerometer was also acquired. The acceleration produced by the drop testing machine was measured by a data acquisition device and the acceleration pulse was analyzed in the controlling software.</p> <p>The functioning of the machine was tested after the changes were made. The testing indicated that it is possible to carry out the test according to the JEDEC Condition B. The machine is also able to produce a greater velocity change in an impact but that requires some changes in the controlling software.</p> <p>The drop testing machine worked well. It was possible to carry out single and repeated tests. However, vibration insulating rubber material should be installed between the body of the machine and the proportional valves because the vibrations are transmitted to the valve by the proportional solenoid's dither. This does not affect the results but the vibration can be heard as a sound. The effects of different absorbing materials on a shock pulse should also be studied.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Drop testing machine, Shock testing machine
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PUDOTUSTESTAUS	2
2.1 Pudotustestauksen fysikaalinen tausta	2
2.2 Pudotustestauslaitteen käyttö pakkauksen suunnittelussa	4
2.2 Pudotustestauslaitteen käyttö elektroniikan testauksessa	8
3 LAITTEISTO	11
3.1 Kiihtyvyyssanturi	14
3.2 Kiihtyvyyssanturin teholähde	15
3.3 Säädetävät venttiilit	16
3.4 Säädetävien venttiilien ohjainkortit	19
3.5 Tiedonkeruuyksikkö	21
4 KÄYTTÖLIITTYMÄ	25
4.1 Pääohjelma	29
4.2 Kiihtyvyysspulssin mittaaminen	33
4.3 Venttiilien ohjaus ja testausliikkeen suorittaminen	34
4.4 Raportin luominen	35
5 LAITTEEN TESTAUS	36
5.1 Suurin nopeuden muutos	36
5.2 Kiihtyvyysspulssin toistettavuus	37
6 YHTEENVETO	39
LÄHTEET	41
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Kajaanin ammattikorkeakoulun ympäristötetauslaboratorioon kehitettiin insinööriyönä shokkitetauslaite lukuvuonna 2005–2006. Laitteen avulla testattava tuote altistetaan kiihtyvyysspulssille, jonka suuruus voidaan säätää halutuksi. Laitteen sylinterin nopeutta muuttamalla voidaan säätää kiihtyvyysspulssin aikana tapahtuvaa nopeuden muutosta. Tuotetun kiihtyvyysspulssin kestoaikaa ja maksimikiihtyvyyttä voidaan säätää muuttamalla vaimennusmateriaalia, johon törmäys tapahtuu.

Laitteella pystyttiin ennen muutoksia ajamaan sekä yksittäisiä että syklisiä testejä ja tuotetun shokin suuruutta voitiin säätää manuaalisesti muuttamalla työpainetta. Laitteeseen asennetulla kiihtyvyyssanturilla ei kuitenkaan voitu mitata yli 50 G:n suuruista kiihtyvyyttä, joten luotettava standardien mukaista testausta ei voitu suorittaa.

Shokkitetauslaitetta piti kehittää, jotta se täyttäisi standardien asettamat vaatimukset. Laitteeseen tehtiin kokonaan uusi käyttöliittymä, jonka avulla laitetta pystyttiin hallitsemaan. Lisäksi laitteeseen hankittiin uusi kiihtyvyyssanturi, jolla voitiin mitata 5000 G:n kiihtyvyyksiä. Sylinterin ohjausta muutettiin siten, että paineilma syötettiin sylinterille säädettävien venttiilien kautta. Venttiilejä voitiin ohjata jännitteellä, joten koko laitteen ohjaus pystyttiin keskittämään yhteen ohjelmaan.

Insinööriyön tavoitteena oli yksinkertaistaa shokkitetauslaitteen käyttöä sekä saattaa shokkitetauslaitteen suorituskyky ja toimintavarmuus asiakaspalveluun soveltuvalle tasolle.

2 PUDOTUSTESTAUS

Pudotustestausta voidaan hyödyntää monella eri tavalla. Testaustulosten avulla voidaan esimerkiksi määrittää tuotteelle mahdollisesti tarvittava kuljetuksenaikainen suojaus. Myös tuotteen toimintakykyä törmäysten tai kolhujen aikana voidaan testata.

2.1 Pudotustestauksen fysikaalinen tausta

Pudotustestaus perustuu sysäyksen tarkasteluun. Sysäyksellä eli törmäyksellä tarkoitetaan kahden tai useamman kappaleen äkillistä kohtaamista, jossa kappaleiden kosketuskohtiin syntyy suuria voimia. Sysäyksen kesto aika on hyvin lyhyt, yleensä suuruusluokkaa 0,1-1 ms. [1, s. 249.]

Jos oletetaan kappaleiden olevan jäykkiä, niin silloin sysäysaika on äärettömän lyhyt. Tällöin kappaleiden partikkelien nopeudet muuttuvat äkillisesti ja kosketusvoimat ovat äärettömän suuria ja vaikuttavat äärettömän lyhyen ajan. Tällaisia voimia nimitetään usein impulsiivisiksi voimiksi. Ne ovat rajatapaus todellisista sysäysvoimista, jotka ovat suuria, mutta äärellisiä ja vaikuttavat lyhyen, mutta äärellisen ajan. Sysäysvoimat ovat äärellisiä, koska kappaleet muuttavat muotoaan hetkellisesti tai pysyvästi kosketusalueen ympäristössä. [1, s. 249.]

Kappaleiden muodonmuutokseen kuluva työmäärä ei voida laskea tai arvioida ilman kehittyneempää ainemallia. Tämä puute on korvattu likimääräisesti kokemukseräiseen sysäyskerrotimeen e liittyvän lisätiedon avulla. [1, s. 253.]

Sysäyskerroin e määritellään kaavalla

$$e = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}, \quad (1)$$

missä u_1 ja u_2 ovat nopeudet törmäyksen jälkeen ja v_1 ja v_2 ovat nopeudet ennen törmäystä. [2, s. 92.]

Sysäyskerroimen arvo riippuu paitsi kappaleiden aineesta myös niiden koosta, muodosta ja kohtaamisnopeudesta. Sysäyskerroin määritetään kokeellisesti. Sen arvo voi vaihdella välillä

0-1. Jos $e = 1$, puhutaan kimmoisesta sysäyksestä ja jos $e = 0$ puhutaan plastisesta sysäyksestä. [1, s. 254.]

Sysäys muuttaa kappaleen liikettä. Kappaleen keskikihtiävyys voidaan määrittää kaavalla

$$a_k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

missä v_1 =kappaleen alkunopeus, v_2 =kappaleen loppunopeus ja $t_2 - t_1$ =nopeuden muutokseen kulunut aika. [3, s. 140.]

Törmäyksen aikana kappaleeseen kohdistuvan kokonaisvoiman keskiarvo on riittävällä tarkkuudella F_k . Newtonin II laista seuraa silloin, että

$$F_k = ma_k. \quad (3)$$

Voiman impulssi I kuvaa voiman kokonaisvaikutusta tietyllä aikavälillä. Voiman impulssi voidaan määrittää kaavalla

$$I = F_k \Delta t. \quad (4)$$

Kappaleen liikemäärä p voidaan määrittää kaavalla

$$p = mv, \quad (5)$$

missä m =kappaleen massa ja v =kappaleen nopeus. [3, s. 140.]

Impulssiperiaatteen mukaan tietyllä aikavälillä kappaleen liikemäärän muutos on yhtä suuri kuin kappaleeseen kohdistuvien voimien impulssien summa eli kokonaisvoiman impulssi. Tällöin saadaan

$$\Delta p = I, \quad (6)$$

missä Δp on liikemäärän muutos. [3, s. 141.]

Liikemäärän säilymislain mukaan vapaan systeemin liikemäärä säilyy. Lakia voidaan soveltaa, mikäli ympäristön vaikutus on mitätön vuorovaikutuksen aikana. Esimerkiksi kappaleiden

törmäys on niin lyhyt, ettei ympäristö ehdi muuttaa systeemin liikemäärää tarkasteltavana aikavälillä. Systeemin liikemäärä on kappaleiden liikemäärien vektorisumma,

$$\bar{p} = \bar{p}_A + \bar{p}_B = m_A \bar{v}_A + m_B \bar{v}_B, \quad (7)$$

missä \bar{p}_A =kappaleen A liikemäärä ja \bar{p}_B =kappaleen B liikemäärä. [3, s. 145.]

2.2 Pudotustestauslaitteen käyttö pakkauksen suunnittelussa

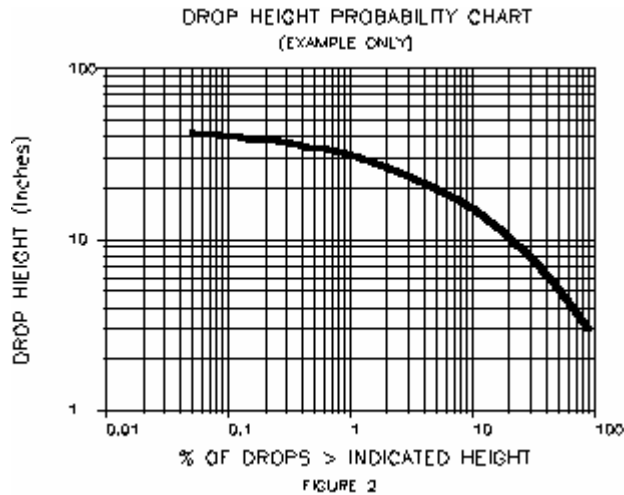
Tuotteen kuljetuksen aikaisen suojauksen tulisi olla mitoitettu siten, että se suojaa tuotetta kuljetuksen aikana tapahtuvilta kolhuilta ja putoamisilta. Oikeanlaisen suojauksen avulla pystytään säästämään pakkauskuluissa.

Pakkauksen suunnittelu aloitetaan selvittämällä millaisissa olosuhteissa pakkaus joutuu kuljetuksen aikana olemaan. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon asiat, jotka saattavat aiheuttaa tuotteelle vahinkoa. Näitä ovat esimerkiksi putoaminen kuljetuksen aikana, värinä, lämpötilan vaihtelut ja kosteuden vaihtelut. [4.]

Tämän laitteen yhteydessä keskityttiin tarkastelemaan tuotteen suojaamista putoamiselta. Kun tuote putoaa, siihen kohdistuu törmäyksessä lyhyt kiihtyvyysspulssi, jota pudotustestauslaitteella voidaan simuloida.

Yleensä tuote voi pudota, kun sitä ollaan lastaamassa tai purkamassa kuljetuksesta. Pakkausta suunniteltaessa tulisi tietää miten korkealta tuote voi todennäköisesti pudota. [4.]

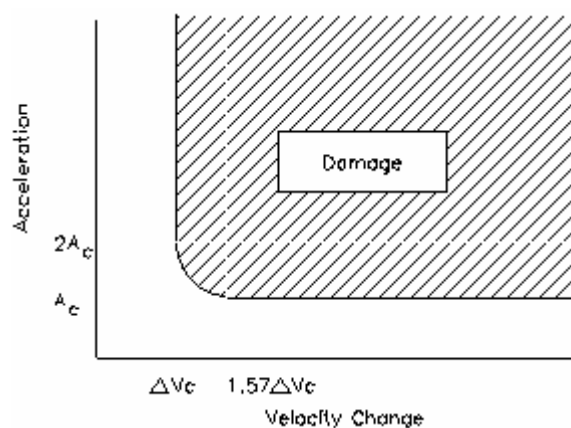
Kuvassa 1 on esitettyä erään tuotteen putoamiskorkeuden todennäköisyys. Kuvasta nähdään, että tuote putoaa todennäköisemmin pieniltä korkeuksilta ja harvemmin korkealta. Putoamiskorkeuden todennäköisyyskäyrää voidaan käyttää hyväksi määrittäessä tuotteelle tarvittavaa suojausta. [4.]



Kuva 1. Tuotteen putoamiskorkeuden todennäköisyys [4].

Jos esimerkiksi halutaan, että vain 1 % tuotteista vahingoittuu kuljetuksen aikana, niin tuote täytyy pakata kuvan 1 mukaan sellaiseen pakkaukseen, joka suojaa tuotetta putoamiselta noin 32 tuuman eli noin 0,81 metrin korkeudelta. Tällä tavalla voidaan määrittää halvin vaihtoehto vahingoittuneiden tuotteiden ja pakkauksen hinnan kesken. Eli päätetään annetaanko muuttaman tuotteen vahingoittua vai käytetäänkö niin hyvää pakkausta, että kaikki tuotteet säilyvät ehjinä. [4.]

Seuraavaksi täytyy määrittää itse tuotteen kestävyys. Tämä tehdään pudotustestauslaitteella määrittämällä tuotteelle vahinkorajakäyrä. Vahinkorajakäyrä määrittää millaiset kiihtyvyysspulssit aiheuttavat tuotteelle vahinkoa ja millaiset eivät. Kuvassa 2 on esitettyä esimerkkikuva vahinkorajakäyrästä.



Kuva 2. Vahinkorajakäyrä [4].

Kiihtyvyydepulssi sisältää kaksi eri asiaa, jotka vaikuttavat vahingon syntymiseen, nopeuden muutoksen ja kiihtyvyyden suuruuden. Nopeuden muutos voidaan ajatella kiihtyvyydepulssin energiaksi. Mitä suurempi nopeuden muutos sitä suurempi energia pulssilla on. Nopeuden muutoksen täytyy olla riittävän suuri, jotta tuotteelle voi tapahtua vahinkoa. Jos nopeuden muutos on pieni, voi kiihtyvyys olla pulssin aikana hyvin suuri tuotteen vahingoittumatta. Sama pätee myös kiihtyvyydelle. Jos kiihtyvyys pysyy alle kriittisen tason, voi nopeuden muutos olla suuri ilman tuotteen vahingoittumista. [4.]

Yleensä tuotetta suojattaessa ei voida vaikuttaa kuin tuotteen kokemaan kiihtyvyytasoon. Pakkauksen tehtävänä onkin vaimentaa pakkauksen ulkopuolella koettu suuri kiihtyvyys pakkauksen sisällä koetuksi pieneksi kiihtyvyydeksi. [4.]

Vahinkorajakäyrän määrittämiseksi tarvitaan kaksi erillistä testiä. Näissä testeissä määritetään tuotteen kriittinen nopeuden muutos ja kriittinen kiihtyvyytaso. [4.]

Kriittinen nopeuden muutos määritetään altistamalla tuote lyhytkestoiselle kiihtyvyydepulssille, jolloin tuote reagoi vain nopeuden muutokseen. Pulssin kestoajaa määritettäessä on huomioitava testattavan tuotteen luonnollinen taajuus. Kestoajan tulisi olla korkeintaan 1/6 testattavan tuotteen luonnollisen taajuuden jaksonajasta. Muuten tuote alkaa reagoida myös kiihtyvyytasoon ja mittaustulos vääristyy. Ennen vahinkorajakäyrän mittaamista tulisi tuotteen luonnollinen taajuus määrittää tärinätestin avulla. [5.]

Standardi ASTM D3332 määrittelee pulssin kestoajan pituudeksi 2 tai 3 ms. Näillä ajoilla voidaan testata luotettavasti tuotteita, joiden luonnollinen taajuus on pienempi kuin 42 tai 28 Hz. [5.]

Kun pulssin kestoajaa on selvitetty, testi aloitetaan altistamalla tuote pienen nopeuden muutoksen omaavalle kiihtyvyydepulssille. Testin jälkeen tuote tutkitaan visuaalisesti ja toiminnallisesti. Jos mitään vikaa ei havaittu, jatketaan testiä lisäämällä tuotteeseen kohdistuvaa nopeuden muutosta ja pitämällä pulssin kestoajaa suunnilleen samana. Näin jatketaan kunnes tuotteessa havaitaan vahinkoa. Viimeisin nopeuden muutos, jonka tuote kesti, on kriittinen nopeuden muutos. [4.]

Kriittisen nopeuden muutoksen määrittämisen jälkeen voidaan tuotteelle määrittää ekvivalentti vapaapudotuskorkeus (equivalent free fall drop range, EFFDR), joka kertoo kuinka korkealta tuote voidaan pudottaa kovalle pinnalle niin, ettei se vahingoitu. [4.]

EFFDR voidaan määrittää kaavalla

$$h = \left(\frac{\Delta v}{1+e} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g}, \quad (8)$$

missä h = pudotuskorkeus, Δv = nopeuden muutos törmäyksessä, e = sysäyskerroin ja g = putoamiskiihtyvyys. [4.]

Sysäyskerroin voi vaihdella välillä 0 ja 1. Kertoimen arvo riippuu siitä kuinka kimmoisa törmäys on. Täysin kimmottomassa törmäyksessä $e=0$ ja täysin kimmoisassa $e=1$. [6, s. 165.]

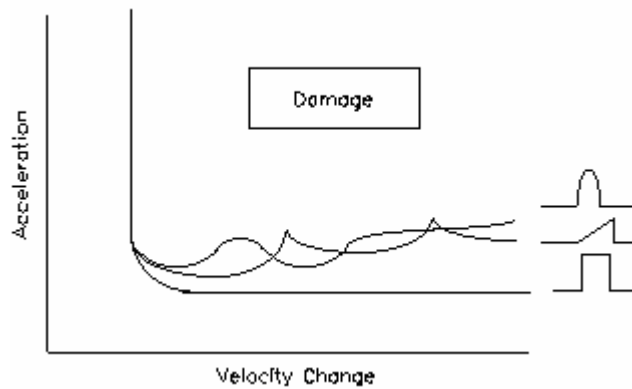
EFFDR määrittää pudotuskorkeusalueen, josta pudotessa tuote saattaa vahingoittua riippuen siitä millaiselle alustalle tuote putoaa. Pehmeälle alustalle pudotessa tuote voi pudota korkeammalta kuin kovalle alustalle pudotessa. [4.]

Pakkausta suunniteltaessa on käytettävä matalinta pudotuskorkeutta, koska alustaa, jolle tuote putoaa, ei tunneta.

Tuotteen pudotessa törmäys on harvoin täysin kimmainen tai täysin kimmoton, joten sysäyskerroimen raja-arvoina voidaan käyttää 0,25 ja 0,75. [4.]

Kriittisen nopeuden muutoksen määrittämisen jälkeen on määritettävä kriittinen kiihtyvyys. Kiihtyvyyden määrittäminen aloitetaan altistamalla tuote matalalle kiihtyvyydellä, jonka aikana nopeudenmuutos on vähintään 1,57 kertaa aiemmin määritetty kriittinen nopeudenmuutos. Näin varmistetaan, että tuote on siirtynyt nopeuden muutokselle herkältä alueelta kiihtyvyydelle herkälle alueelle. [4.]

Tuotteen pudotessa siihen kohdistuvan kiihtyvyydellä ei voida etukäteen tietää. Kuvassa 3 on esitettyä vahinkorajakäyrän muoto erilaisilla pulssimuodoilla.



Kuva 3. Vahinkorajakäyrä erilaisilla pulssimuodoilla. [4.]

Kuvasta 3 nähdään, että käyttämällä neliöaaltoa varmistetaan, että tuote kestää myös saman kiihtyvyyden ja nopeuden muutoksen omaavan erimuotoisen pulssin. [4.]

Neliöaalto sisältää myös testissä käytetyn pulssin kaikki harmoniset taajuudet. Neliöaallossa pulssin nousuaika on äärettömän lyhyt, joten sen tuottaminen tarkasti on erittäin vaikeaa. Laitteella tuotetussa kiihtyvyyden pulssissa on aina pieni nousu- ja laskuaika. Tämä aiheuttaa pientä epätarkkuutta, mutta ei ole ongelma, koska todennäköisyys sille, että tuote altistuu elinaikanaan neliöaallossa tai edes sitä muistuttavalle pulssille, on erittäin pieni. [5.]

Testin jälkeen tuote tarkistetaan visuaalisesti ja toiminnallisesti. Jos tuotteessa ei havaittu vahinkoa, jatketaan testausta kasvattamalla kiihtyvyyttä. Näin jatketaan kunnes tuotteessa havaitaan vahinkoa. Viimeisin kiihtyvyys, josta tuote selviää vahingoittumattomana, on kriittinen kiihtyvyys. [4.]

Kun kriittinen nopeuden muutos ja kriittinen kiihtyvyyden taso on määritetty, voidaan tuotteelle suunnitella pakkaus, joka vaimentaa suunnitellulta korkeudelta tiputettaessa kiihtyvyyden alle kriittisen kiihtyvyyden tason. [4.]

2.2 Pudotustestauslaitteen käyttö elektroniikan testauksessa

Pudotustestauslaitteella voidaan testata yksittäisten komponenttien, piirilevyn tai jonkin tuotteen osan käyttäytymistä mekaanisten shokkien aikana. Näitä shokkeja voi syntyä tuotteen käsittelyssä, kuljettamisessa tai niiden luonnollisessa toimintaympäristössä.

Työssä keskityttiin JEDEC:n määrittämiin standardeihin JESD22-B104C, JESD22-B110A ja JESD22-B111, jotka määrittävät testauslaitteen sekä komponenttien tai piirilevyn testauksessa käytettävät menetelmät.

Standardeissa määritetään, että pudotustestaukseen käytetyllä laitteella pitäisi pystyä tuottamaan shokkipulssi, jonka huippukiihtyvyys on vähintään 2900 G ja pulssin keston tulisi olla välillä 0,3 ms ja 2,0 ms. Nopeuden muutoksen pitäisi olla välillä 1,22 m/s ja 5,43 m/s. Kiihtyvyyden huippuarvo ja nopeuden muutos määräytyvät testin tason mukaan. Tasot ovat esitettyinä kuvassa 4. [7.]

Service condition	Equivalent drop height (inches) / (cm)	Velocity change (in/s)/ (cm/s)	Acceleration peak (G)	Pulse duration (ms)
H	59 / 150	214 / 543	2900	0.3
G	51 / 130	199 / 505	2000	0.4
B	44 / 112	184 / 467	1500	0.5
F	30 / 76.2	152 / 386	900	0.7
A	20 / 50.8	124 / 316	500	1.0
E	13 / 33.0	100 / 254	340	1.2
D	7 / 17.8	73.6 / 187	200	1.5
C	3 / 7.62	48.1 / 122	100	2.0

Kuva 4. Testien tasot. [7.]

Komponenttitason testi tehdään siten, että komponenttiin kohdistetaan halutun tason mukainen shokkipulssi. Testi tehdään ainakin viisi kertaa jokaisen akselin suunnasta eli yhteensä vähintään 30 kertaa. Tämän jälkeen suoritetaan visuaalinen tarkastus ja mitataan komponentin elektroniset ominaisuudet. Komponentti on läpäissyt testin, jos mitään vikoja ei havaittu. [7.]

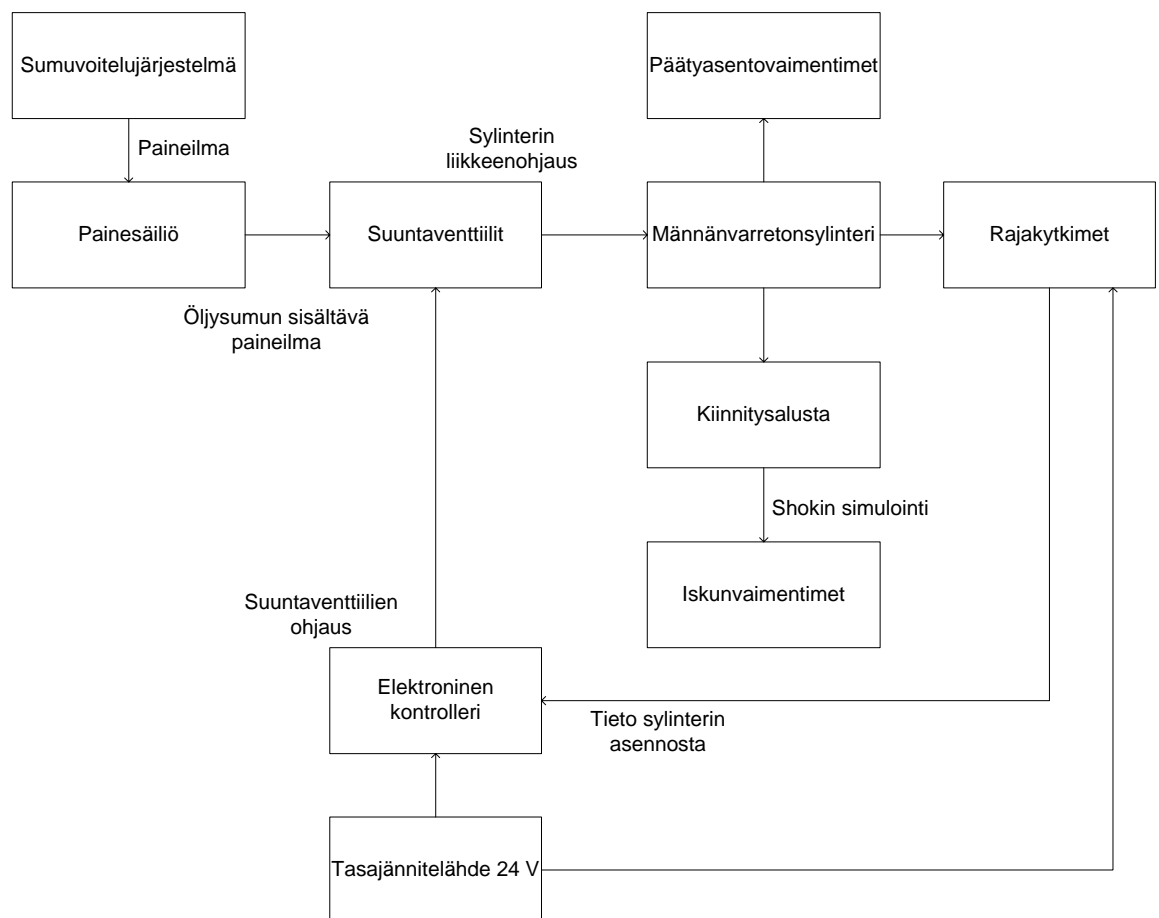
Yksittäisen laitteen osan, esimerkiksi piirikortin, testaus voidaan suorittaa samalla tavalla kuin komponenttitasonkin testi tehdään. Testin jälkeen tehdään visuaalisen tarkistuksen lisäksi myös toiminnallinen testaus. Lisäksi testi voidaan tehdä siten, että kortti on kiinnitettyä samalla tavalla testauslaitteeseen kuin se olisi kiinnitettyä oikeassa toimintaympäristössään. Esimerkiksi liittimen tai korttipaikan avulla, jolloin kortti tyypillisesti pääsee taipumaan testin aikana. [8.]

Standardi JESD22-B111 käsittelee kannettavien elektronisten tuotteiden pudotustestausta. Kannettavat tuotteet putoavat elinaikanaan useasti niiden koon ja painon takia. Pudotessa tuote ei ainoastaan kärsi vain mekaanisia ulkoisia vahinkoja vaan putoaminen voi aiheuttaa myös elektronisia vikoja piirilevylle. Tällaisia vikoja ovat esimerkiksi piirilevyn tai johtimien murtuminen, juotoksien murtuminen ja komponenttien rikkoontuminen. Yleensä elektroniset viat aiheutuvat siitä, että piirilevy pääsee taipumaan liikaa pudotuksen aiheuttaman kiihtyvyyden ansiosta. Kortin vioittuminen riippuu piirilevyn suunnittelusta, materiaalista, paksuudesta ja pinnan viimeistelystä. Lisäksi johdinmateriaali ja komponenttien koko vaikuttavat asiaan. [9.]

Standardin määrittämän testin tarkoituksena on arvioida ja vertailla eri komponenttien käyttäytymistä pudotustestissä, jossa piirilevyn taipuminen aiheuttaa vikatilanteen.

3 LAITTEISTO

Laitteen kehityksen suunnittelu aloitettiin olemassa olevan laitteiston pohjalta. Laitteiston käyttö pyrittiin saamaan yksinkertaisemmaksi muuttamalla laitteen ohjaukseen käytettyjä komponentteja. Ennen muutoksia laitetta ohjattiin elektronisella kontrollerilla, jonka käyttö vaati erillisen ohjelman käynnistämistä testiä ohjaavalla tietokoneella. Lisäksi sylinterin liikkeenopeutta voitiin säätää ainoastaan muuttamalla työpainetta manuaalisesti. Vuokaaviokuva lähtötilanteesta on esitettyä kuvassa 5.

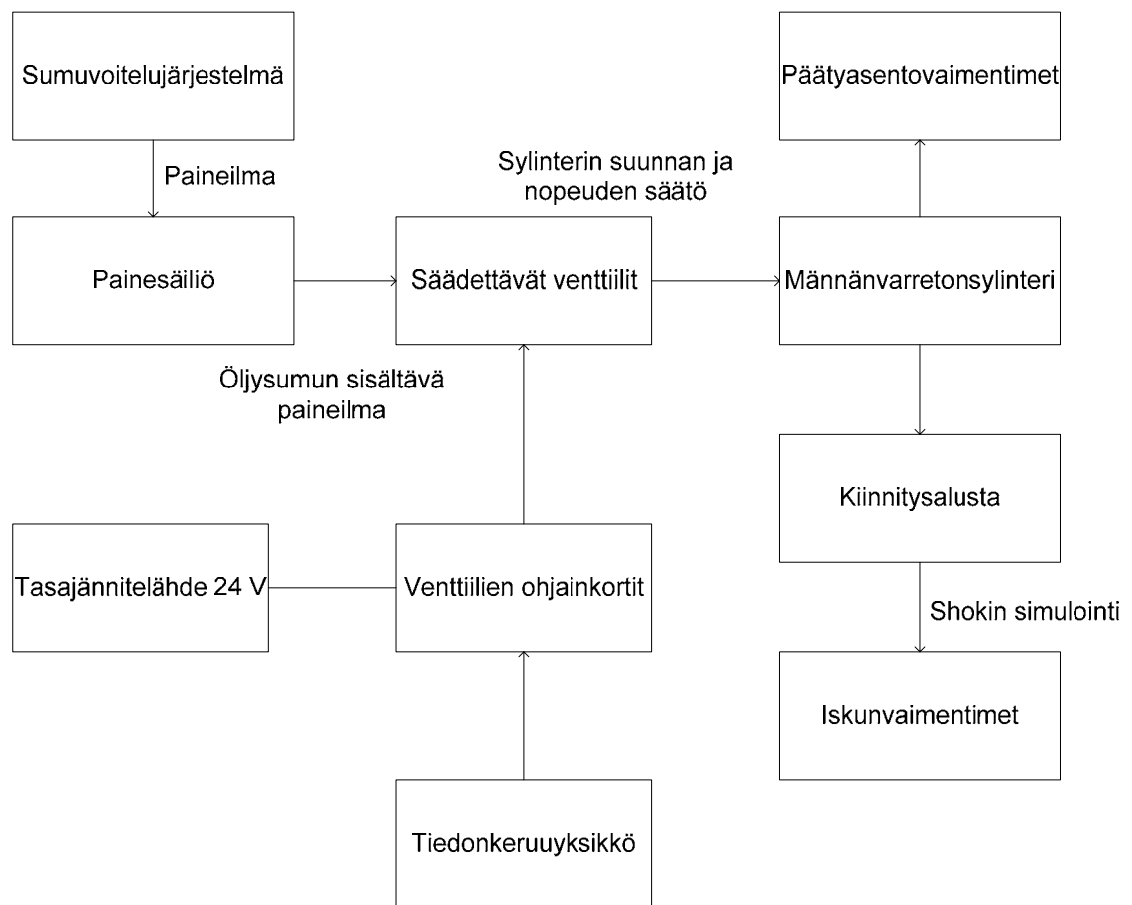


Kuva 5. Vuokaaviokuva laitteistosta lähtötilanteessa [10].

Laitteeseen asennetun sumuvoitelujärjestelmän tarkoituksena oli sekoittaa paineilmaan öljysumua. Öljy voitelee laitteiston osia, jolloin niiden käyttöikä pitenee. Lisäksi öljysumu suojaa osia korroosiolta. [10.]

Painesäiliö toimii paineen varastona. Se tasoittaa paineilmakompressorin aiheuttamat piikit ilmantuotossa ja jäähdyttää ilmaa sekä kerää mahdollisesti syntyvän lauhdeveden. [10.]

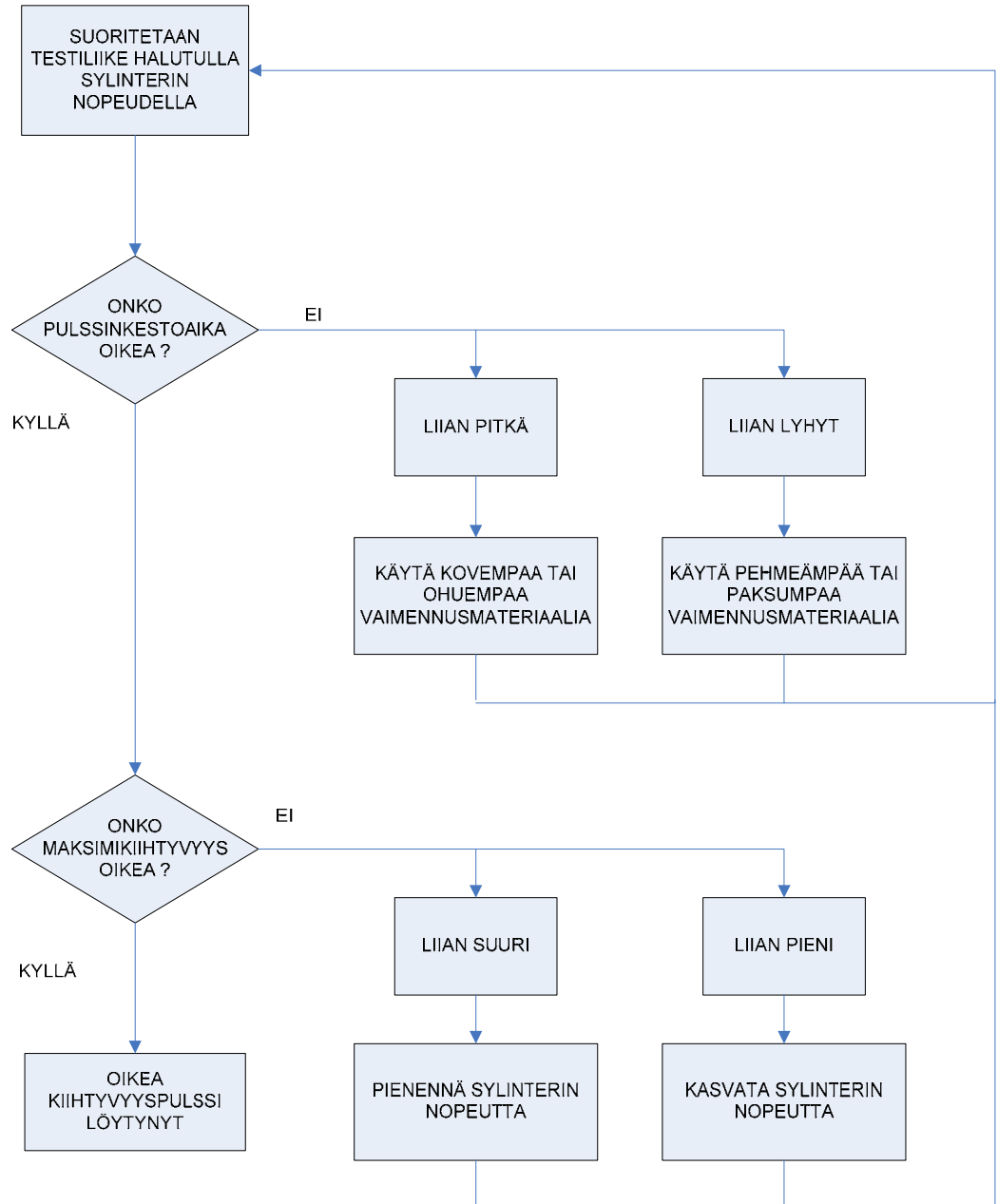
Laitteen suuntaventtiilit vaihdettiin säädettäviksi venttiileiksi, joita pystyttiin ohjaamaan ohjainkorttien avulla jännitteellä. Tämä mahdollisti koko laitteiston ohjaamisen tiedonkeruuyksikön avulla. Lisäksi laitteen käyttöliittymä voitiin tehdä kokonaan samaan LabVIEW-ohjelmaan. Vuokaaviokuva laitteistosta muutoksien jälkeen on esitettyä kuvassa 6.



Kuva 6. Vuokaaviokuva laitteistosta muutosten jälkeen.

Paineilmajärjestelmä säilytettiin laitteessa ennallaan. Ainoa muutos järjestelmään oli suuntaventtiilien vaihto säädettäviin venttiileihin. Laitteen paineilmakaavio on esitettyä liitteessä 2.

Halutun muotoinen shokkipulssi tuotetaan laitteistolla muuttamalla sylinterin liikenopeutta ja vaihtamalla kiinnitysalustassa olevaa vaimennusmateriaalia. Vuokaaviokuva halutun pulssin muodostamisprosessista on esitettyä kuvassa 7.



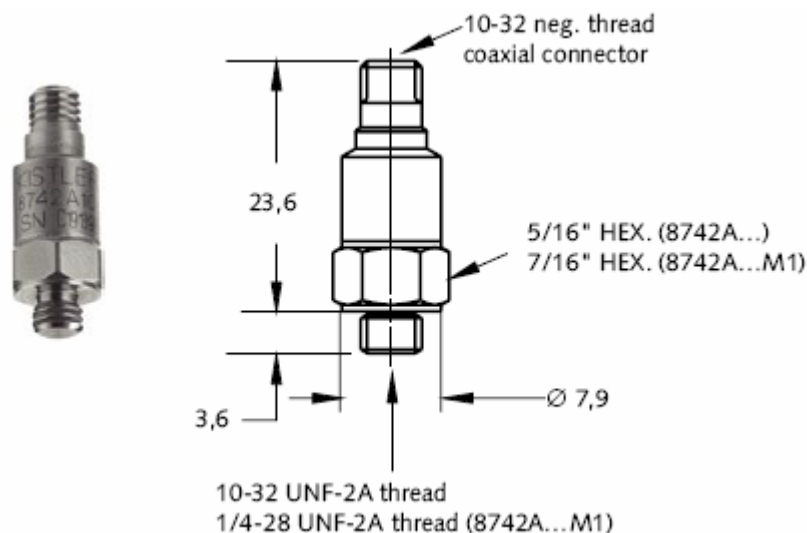
Kuva 7. Vuokaaviokuva pulssin muodostuksesta [11].

Testien avulla on tutkittu, että nopeuden muutos törmäyksessä ei vaikuta juurikaan pulssin kesto-aikaan, mutta se vaikuttaa maksimikiiktyvyyteen. Pulssin leveyttä voidaan muuttaa vaihtamalla eri vaimennusmateriaaleja. [11.]

3.1 Kiihtyvyyssanturi

Laitteessa ollut kiihtyvyyssanturi täytyi vaihtaa, koska sillä ei pystytty mittaamaan standardien vaatimia kiihtyvyyksiä. Uudella kiihtyvyyssanturilla täytyi pystyä mittaamaan puolisinin muotoisia kiihtyvyysspulseja, joiden kesto-aika oli 0,5 millisekuntia ja maksimi kiihtyvyys vähintään 1500 G.

Anturien valinta aloitettiin tutkimalla kahden eri valmistajan kiihtyvyyssanturien ominaisuuksia. Lopulta päädyttiin Kistlerin valmistamaan anturiin, jonka malli oli 8742A5. Anturi on tarkoitettu törmäyksissä esiintyvien suurten kiihtyvyyksien mittaamiseen. Kiihtyvyyssalue, jota voidaan mitata, on ± 5000 G. Anturin herkkyys on 1 mV/G. Resonanssitaajuus on 100 kHz, joka mahdollistaa nopeiden pulssien mittaamisen tarkasti. [12.] Kuvassa 8 on esitettyä kiihtyvyyssanturi sekä sen mitat.



Kuva 8. Kiihtyvyyssanturin 8742A5 [12].

Anturissa on sisäänrakennettu signaalinkäsittelypiiri, joka muuntaa kvartsielementin tuottaman kiihtyvyyteen verrannollisen varauksen jännitteeksi, jota voidaan mitata helposti. Lisäksi anturin lähdön pieni impedanssi vähentää anturin herkkyyttä häiriöille. [12.]

3.2 Kiihtyvyyssanturin teholähde

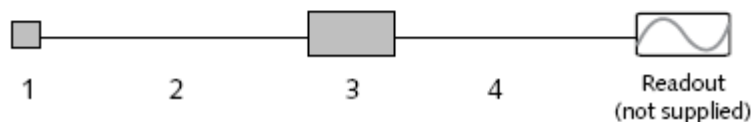
Kiihtyvyyssanturi tarvitsee toimiakseen vakiovirran, jonka suuruus on 2-20 mA. Jännitettä anturi tarvitsee 18-30 VDC. Kistler valmistaa myös teholähteitä antureille ja sellainen hankittiin anturin mukana. Teholähteen malli oli 5114.

Teholähde tuottaa anturin tarvitseman vakiovirran, joka syötetään anturille kahta johdinta pitkin. Samoja johtimia pitkin luetaan myös anturilta saatava jänniteviesti. Teholähteessä on kaksi liitäntää, joista toiseen kytketään anturi ja toisesta saadaan ulos anturin tuottama jänniteviesti.

Lisäksi teholähteessä on 3,5 numeroinen LCD-näyttö, josta voidaan valvoa biasjännitteen suuruutta. Kytkennän toiminta on normaali, jos biasjännite on 4-16 voltia. Teholähde ilmaisee normaalin toiminnan vihreällä ledillä. Jos biasjännite on alle 4 voltia, on anturin kytkentä oikosulussa. Anturia ei ole kytketty ollenkaan tai johdin on poikki, jos biasjännite on yli 16 voltia. Teholähde ilmaisee virhetilat keltaisella ja punaisella ledillä. [13.]

Kuvassa 9 on esitettyä tyypillinen mittausjärjestelmä, jota käytetään mitattaessa kiihtyvyyttä kiihtyvyyssanturilla.

Measuring Chain	Type
1 Low Impedance Sensor	8742A...
2 Sensor cable, 10-32 pos. to BNC pos.	1761B...
3 Power Supply/Signal Conditioner	51...
4 Outout cable, BNC pos. to BNC pos.	1511



Kuva 9. Tyypillinen kiihtyvyyden mittausjärjestelmä [13].

3.3 Säädetävät venttiilit

Laitteen sylinterin liikenopeutta ohjattiin ennen muutoksia manuaalisesti työpainetta muuttamalla. Liikenopeuden muuttamista pyrittiin helpottamaan asentamalla laitteeseen säädetävät venttiilit, joilla säädettiin ilman virtausnopeutta. Venttiileitä tuli pystyä säätämään jännitteellä, jolloin koko laitteen ohjaaminen voitiin keskittää yhteen LabVIEW-ohjelmaan.

Venttiileiksi valittiin SMC:n valmistamat sähköpneumaattiset virtauksensäätöventtiilit, joiden malli oli VEF3141-1-03F. Venttiiliä voidaan säätää portaattomasti muuttamalla ohjausvirtaa välillä 0-1 A [14]. Valittu venttiili on esitettyinä kuvassa 10.

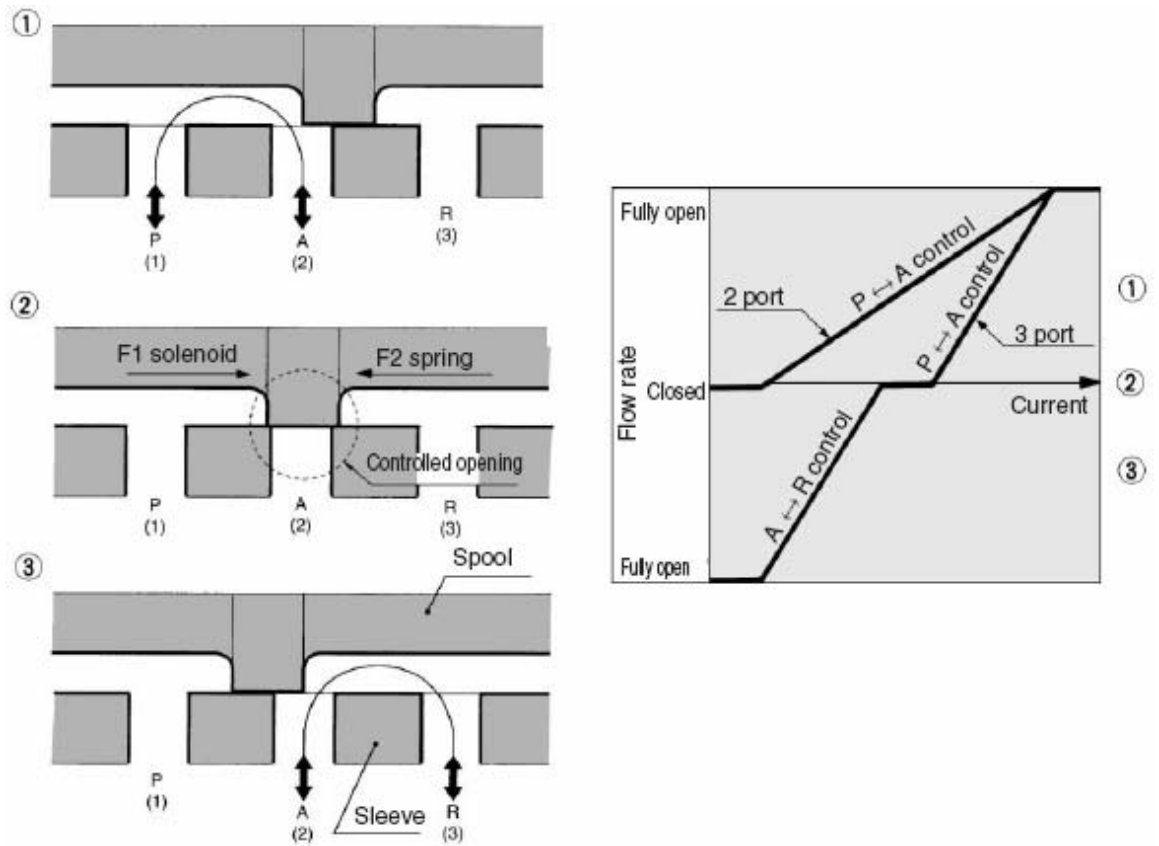


Kuva 10. Säädetty venttiili VEF3141 [14].

Paineilmaventtiileitä valittaessa oli otettava huomioon, että venttiilien säätäminen on aika hidasta. Valitun venttiilin vasteaika on enimmillään 50 ms [14]. Pudotustestauslaitteessa ei kuitenkaan tarvittu erittäin nopeaa säätämistä, joten vasteaika oli riittävä.

Venttiilissä on kolme porttia P, A ja R. Porttiin P kytketään paineilma, jonka paine on tässä laitteessa 0,5 MPa. Portti A kytketään sylinteriin ja porttia R käytetään ilman tyhjennysreitteinä.

Venttiilin toiminta periaate on esitettyinä kuvassa 11. Ensimmäinen piirros kuvassa esittää tilannetta, jossa ohjausvirta on noin 0,8 A. Tällöin venttiilin portit P ja A ovat yhdistyneenä toisiinsa ja ilma pääsee virtaamaan porttiin A. Ilmanvirtausta voidaan säätää muuttamalla ohjausvirran suuruutta. Tällöin portin A pinta-ala muuttuu.



Kuva 11. Venttiilin toimintaperiaate [14].

Toinen piirros esittää tilannetta, jossa ohjausvirta on noin 0,6 A. Tällöin portti A ei ole yhdistyneenä kumpaankaan porttiin ja ilma ei pääse virtaamaan venttiilin läpi. Tämän ominaisuuden ansiosta ilma ei koskaan pääse virtaamaan suoraan portista P porttiin R.

Kolmas piirros esittää tilannetta, jossa ohjausvirta on noin 0,4 A. Tällöin ilma pääsee virtaamaan portista A porttiin R.

Kun venttiilin tyyppi oli valittu, täytyi niiden koko mitoittaa oikeaksi, jotta laitteella saavutettiin riittävän suuri nopeuden muutos törmäyksessä.

Sylinterin suurin virtaus normaalilitroina minuutissa voidaan laskea kaavalla

$$Q = \frac{1,4 \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot v \cdot (p + 0,1) \cdot 60}{10^5}, \quad (9)$$

missä Q =virtaus [$\frac{l_n}{\text{min}}$], 1,4 = kompensatiokerroin lämpöhäviöille, D =sylinterin halkaisija [mm], v =sylinterin suurin nopeus [mm/s] ja p = työpaine [MPa]. [15, s. 10-8.]

Säädettävien venttiilien koko ilmoitetaan vastaavana virtauspinta-alana S . Vastaava virtauspinta-ala on pinta-ala, joka aiheuttaa mittauslaitteeseen saman painehäviön kuin venttiilijärjestelmä, jonka virtaus on sama. S -arvo on mitattu käyttäen ilmaa väliaineena ja se voidaan helposti muuttaa muihin yksiköihin. [15, s. 10-9.]

Vastaava virtauspinta-ala voidaan muuttaa normaalitilavuusvirraksi Q_n seuraavasti:

$$Q_n = 54,53 \cdot S, \quad (10)$$

missä Q_n =normaalitilavuusvirta, S =vastaava virtauspinta-ala. [15, s. 10-9.]

Laitteen tavoitteena oli pystyä tuottamaan vähintään Jedec Condition B mukainen nopeuden muutos 4,67 m/s [7]. Määritettäessä venttiilien kokoa käytettiin kuitenkin vaativinta Jedec Condition H -määritelmää, jonka mukaan nopeuden muutos täytyy olla 5,43 m/s [7]. Työpaineena pudotustestauslaitteessa oli 0,5 MPa. Työssä ei haluttu lähteä muuttamaan sylinterin kokoa, vaan käytettiin laitteessa jo olevaa sylinteriä, jonka halkaisija oli 25 mm.

Kaavan (9) mukaan sylinterin normaalitilavuusvirraksi saatiin 1343,38 l/min. Venttiilin minimi vastaava virtauspinta-ala 24,75 mm² saatiin kaavasta (10).

Venttiileiksi valittiin virtauspinta-alaltaan 25 mm² olevat säädettävät venttiilit. Tämä koko oli suurin mahdollinen.

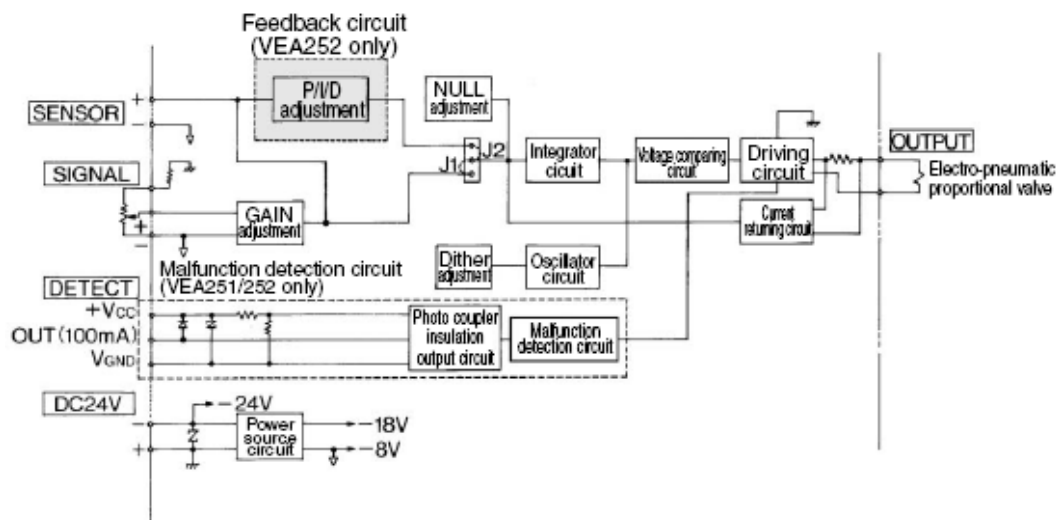
3.4 Säädetävien venttiilien ohjainkortit

Säädetävien venttiilien ohjaamista varten hankittiin myös ohjainkortit. Ohjainkortiksi valittiin SMC:n valmistama ohjainkortti, jonka tyyppi oli VEA252. Kortti on esitettyä kuvassa 12.



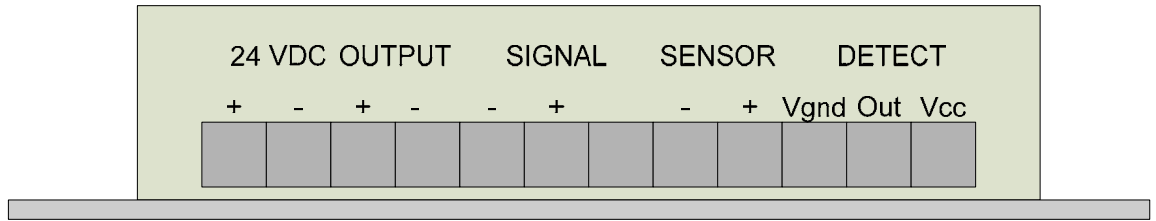
Kuva 12. Ohjainkortti VEA252 [16].

Ohjainkortin avulla voidaan ohjata pienellä virralla ja jännitteellä venttiiliä, joka tarvitsee ohjaukseen suurta virtaa. Kortilla on kaikki venttiilien ohjaukseen tarvittava elektronikka, joten sen käyttäminen yksinkertaista venttiilien ohjausta. Ohjainkortin lohkokaavio on esitettyä kuvassa 13.



Kuva 13. Ohjainkortin lohkokaavio [16].

Kortilla olevasta liittimestä löytyvät kaikki tarvittavat liitännät. Liittimen liitännät on esitettyä kuvassa 14.



Kuva 14. Ohjainkortin liitännät.

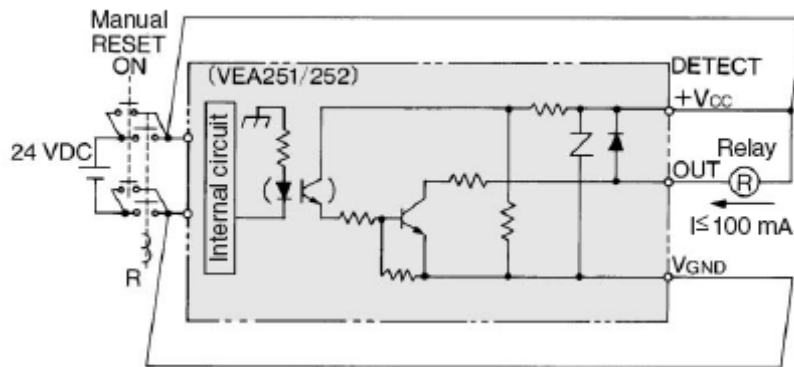
Kortin liittimiin tuodaan käyttöjännite ja ohjaussignaali. Lisäksi on mahdollista tehdä takaisinkytkentä erilaisten antureiden avulla. Kortissa on myös vianhavainnointitoiminto, jolloin vikatilanteessa voidaan tarvittaessa katkaista virta.

Käyttöjännite tuodaan pudotustestauslaitteeseen asennetulta tasajännitelähteeltä. Tarvittava jännite on 24 V ja se liitetään kortin 24 VDC -liittimeen. Output-liitännästä saadaan ulos ohjausvirta säädettäville venttiileille. Virran suuruus vaihtelee ohjausjännitteen mukaan välillä 0-1 A.

Ohjausjännite tuodaan kortille signal-liittimeen. Ohjausjännite voi vaihdella välillä 0-5 V. Pudotustestauslaitteessa venttiileitä ohjaava jännite tuotiin tiedonkeruuyksikön analogisesta lähdöstä. Täydellinen ohjausjärjestelmän kytkentäkaavio on esitetty liitteessä 1.

Sensor-liitäntää voidaan käyttää, jos halutaan korjata venttiilien säätöä erillisen anturin avulla. Anturilla voidaan esimerkiksi mitata moottorin pyörimisnopeutta ja säätää venttiilien asentoa nopeuden mukaan. Pudotustestauslaitteessa tätä liitäntää ei käytetty.

Detect-liitäntää käytetään, jos halutaan tehdä vikatilanteeseen reagoivia kytkentöjä. Kortin detect out -liittimellä voidaan ohjata esimerkiksi releitä, joka vika tilanteessa katkaisee jännitteen kortilta. Kuvassa 15 on esitettyä esimerkikiytkentä oikosulkusuojauksia varten.



Kuva 15. Oikosulkusuojaus esimerkki [16].

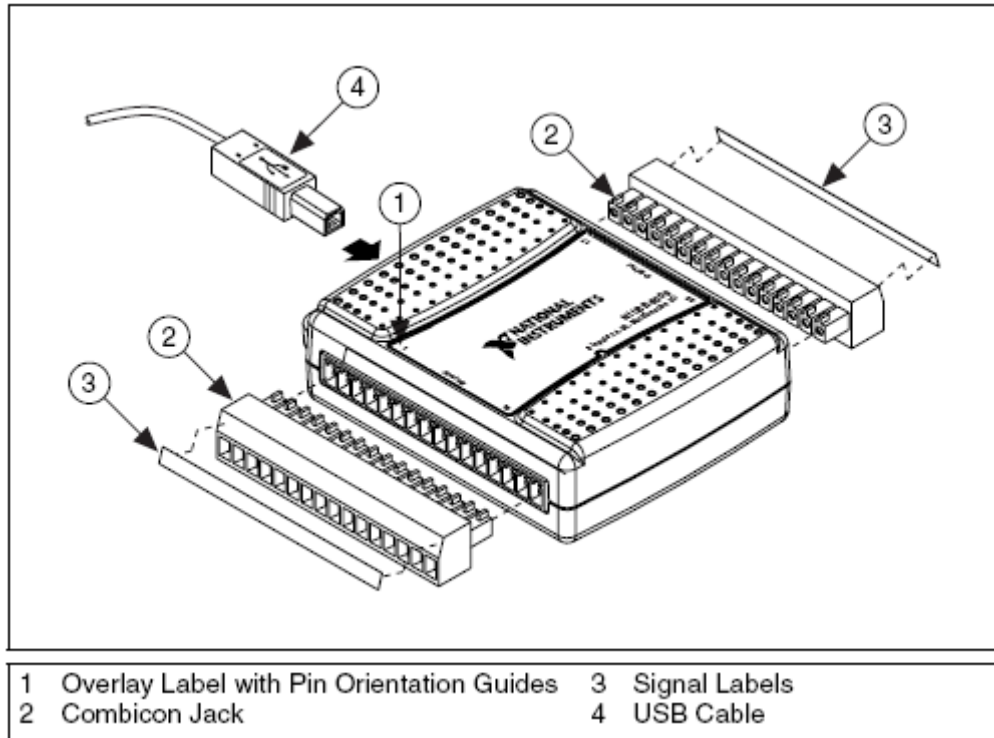
Kuvan 15 kytkentä katkaisee kortilta jännitteen, jos venttiilien ohjausliitäntä menee oikosulkuun. Kytkentä suojaa korttia vahingoittumiselta vikatilanteessa.

Kytkentöjä tehdessä oli huomioitava, että signal- ja output-liitäntöjen negatiivisia liittimiä ei saanut yhdistää käyttöjännitteen maatasoon ja käytettävien johdinten tuli olla tarpeeksi paksumia. Käyttöjännitteen syöttöön ja venttiilien ohjaukseen käytettyjen johtojen poikkipinta-ala tuli olla vähintään $0,75 \text{ mm}^2$. Muihin liitäntöihin tuli käyttää johdinta, jonka poikkipinta-ala oli vähintään $0,5 \text{ mm}^2$. [16.]

Korttien asennuspaikan valinnassa tuli ottaa huomioon, että jotkin kortin komponentit lämpenevät käytettäessä. Korttien yläpuolelle tuli jättää tilaa vähintään 40 mm. [16.]

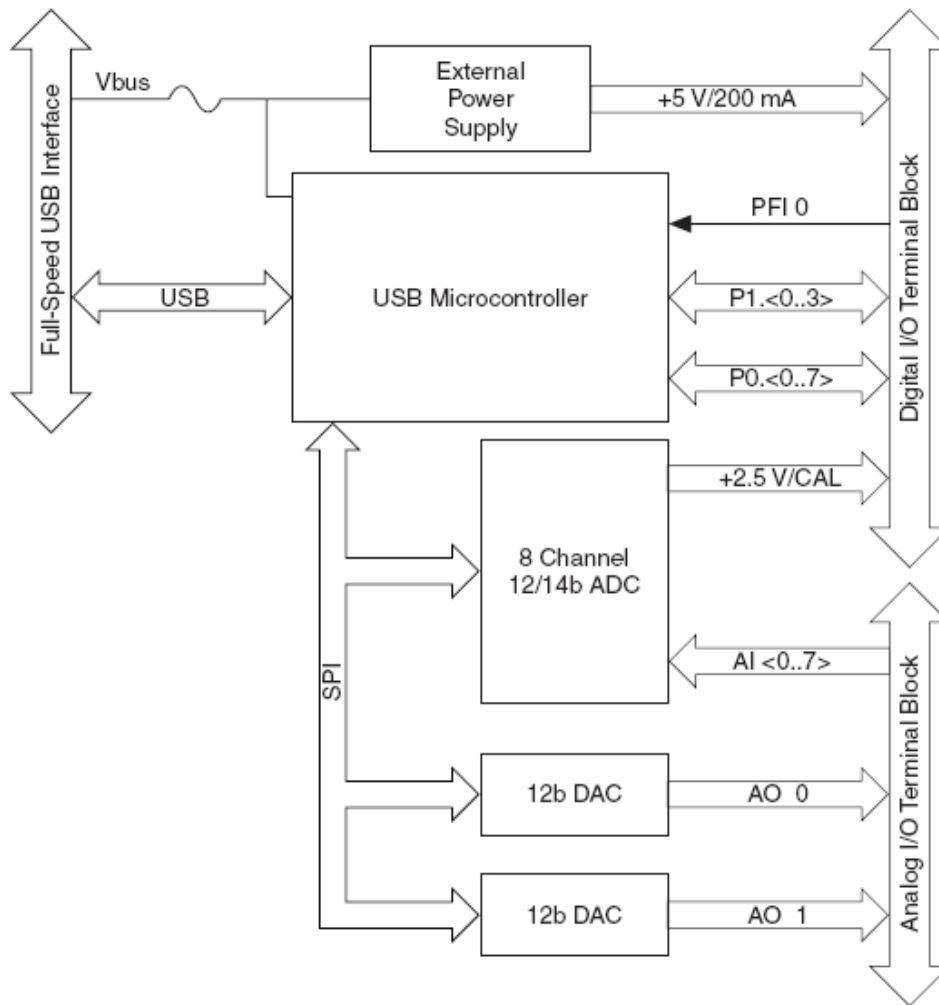
3.5 Tiedonkeruuyksikkö

Tiedonkeruuyksiköksi valittiin oppilaitoksella jo valmiina ollut National Instrumentsin valmistama USB-6009, joka sisälsi tarvittavat ominaisuudet pudotustestauslaitteen käyttöön. Laitteen osat ovat esitettyinä kuvassa 16.



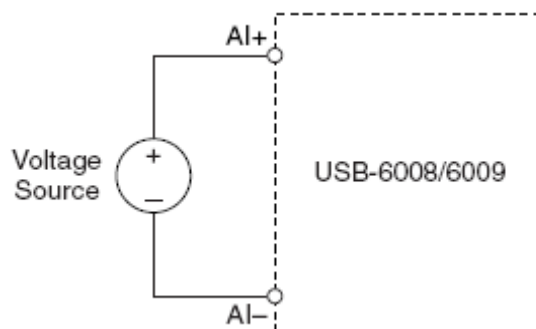
Kuva 16. NI USB-6009 osat [17].

Tiedonkeruuyksikkö sisältää kahdeksan 14-bittistä analogista tuloa ja kaksi 12-bittistä analogista lähtöä. Analogisten tulojen maksiminäytteistystaajuus on 48 kS/s. Analogisten lähtöjen päivitystaajuus on korkeintaan 150 Hz. Lisäksi laitteessa on 12 digitaalista I/O-linjaa, joita ei kuitenkaan käytetty tässä työssä. Tiedonkeruuyksikön lohkokaavio on esitettyinä kuvassa 17. [17.]



Kuva 17. NI USB-6009 lohkokkaavio [17].

Tiedonkeruukortin analogista tuloa käytettiin kiihtyvyyssanturin tuottaman jännitteen mittaamiseen. Anturi kytkettiin tiedonkeruukorttiin differentiaalisesti. Differentiaalinen kytkentä on esitettyä kuvassa 18.



Kuva 18. Jännitelähde kytkettynä tiedonkeruuyksikköön differentiaalisesti [17].

Differentiaalisessa kytkennässä jännitelähde kytketään tiedonkeruuyksiköllä kahden analogisen tulon välille.

Tiedonkeruuyksikkö liitettiin pudotustestauslaitetta ohjaavaan tietokoneeseen USB-liitännän avulla. USB-liitäntää käyttävä tiedonkeruuyksikkö valittiin siksi, että laitetta ohjaava tietokone voitiin tarvittaessa helposti vaihtaa.

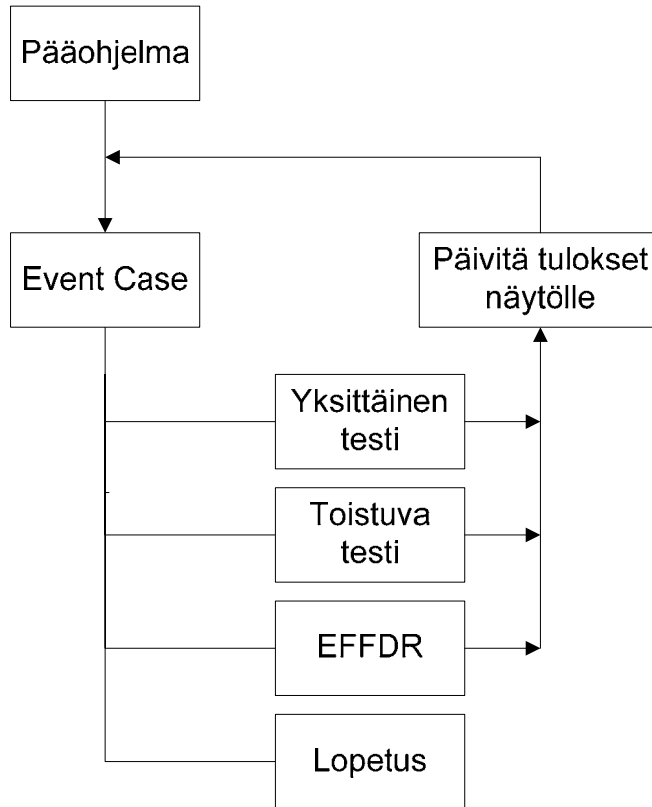
4 KÄYTTÖLIITTYMÄ

Laitteen käyttöliittymä päädyttiin kehittämään National Instruments LabVIEW 8.1-ohjelmistolla. Ohjelmiston avulla voidaan luoda nopeasti ja helposti ohjelmia, joilla pystytään keräämään, analysoimaan sekä esittämään tietoa eri muodoissa. Lisäksi ohjelmistossa on käytävissä valmiita ohjelmakirjastoja, joita voidaan hyödyntää ohjelmien teossa.

Käyttöliittymän suunnittelu aloitettiin määrittelemällä ohjelman vaatimukset. Testausohjelmasta tuli löytyä seuraavat ominaisuudet:

- Tiedonkeruuyksikön asetusten määrittäminen
- Yksittäisen testin suorittaminen
- Toistuvan testin suorittaminen
- EFFDR:n määrittäminen
- Raporttien luominen

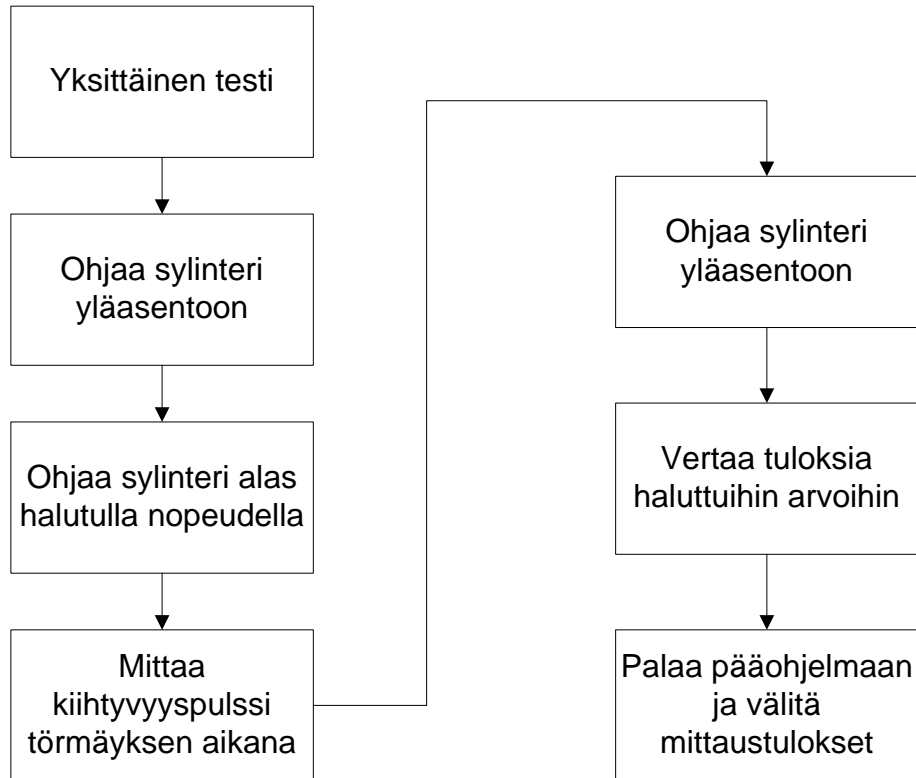
Ohjelman rakenne suunniteltiin siten, että eri toiminnot sijaitsivat omissa aliohjelmissaan. Tällöin pääohjelman rakenne säilyi yksinkertaisena ja ohjelman ylläpito oli helppoa. Käyttöliittymässä eri toiminnot järjestettiin välilehtien avulla omille lehdilleen, jolloin ohjelman ulkoasu saatiin siistiksi. Pääohjelmassa toimintojen ohjaamiseen käytettiin Event Case -rakennetta, joka mahdollisti eri toimintojen käyttämisen oikeaan aikaan ja oikeassa järjestyksessä. Lohkokaavio pääohjelman rakenteesta on esitettyä kuvassa 19.



Kuva 19. Lohkokaavio pääohjelman rakenteesta.

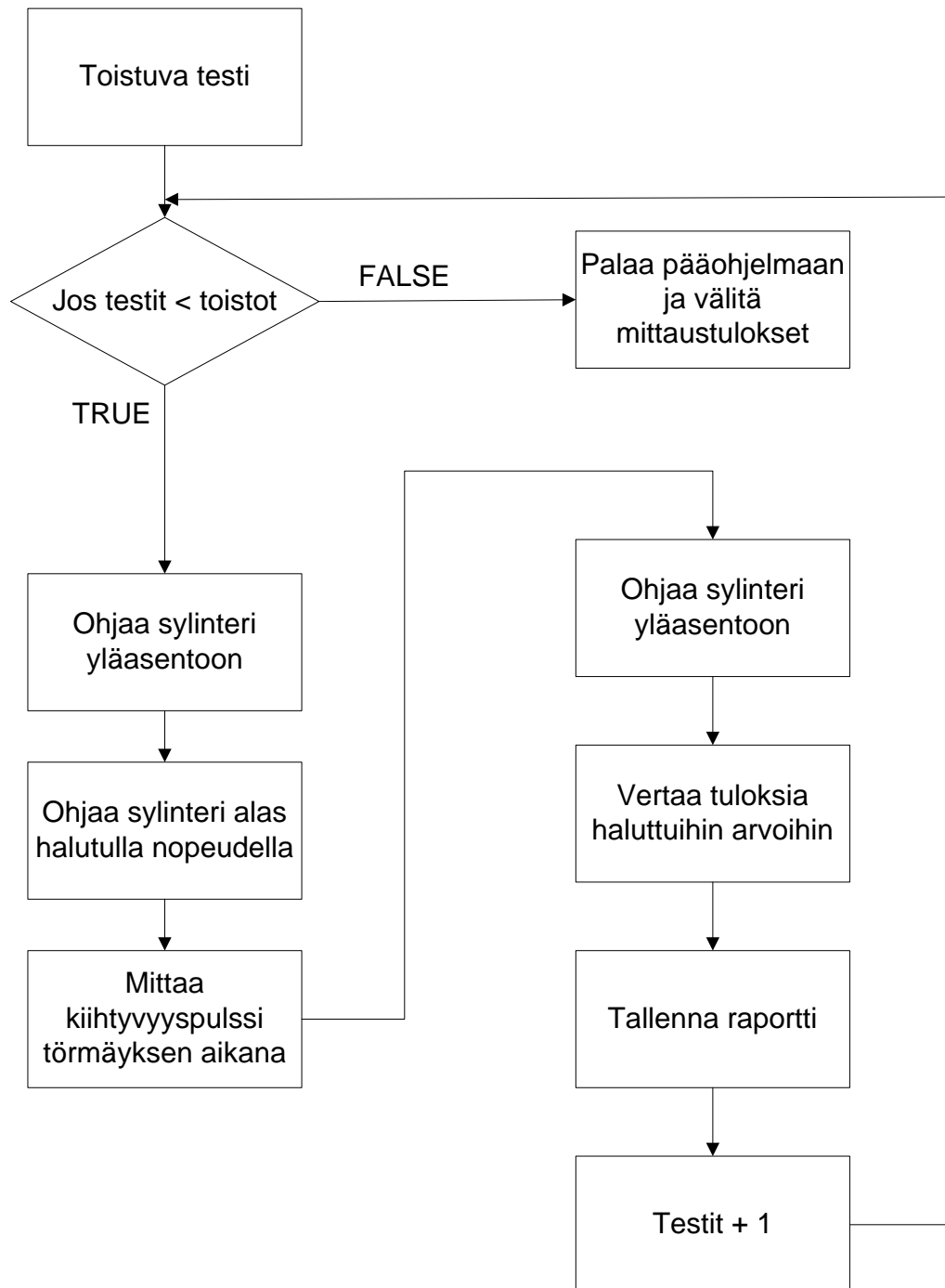
Pääohjelma pyörii ikuisessa silmukassa, kunnes Stop-painiketta painetaan. Ohjelma odottaa käyttäjän toimenpidettä Event Case-rakenteen avulla. Kun käyttäjä haluaa suorittaa testin, tarvittava aliohjelma suoritetaan käyttäjän valinnan mukaan.

Kuvassa 20 on esitettyä yksittäisen testin suorittamista varten tehdyn aliohjelman lohkokaavio. Aliohjelma suorittaa yksittäisen mittausliikkeen ja mittaa kiihtyvyysspulssin. Mitattuja arvoja verrataan haluttuihin arvoihin ja tulokset palautetaan pääohjelmalle.



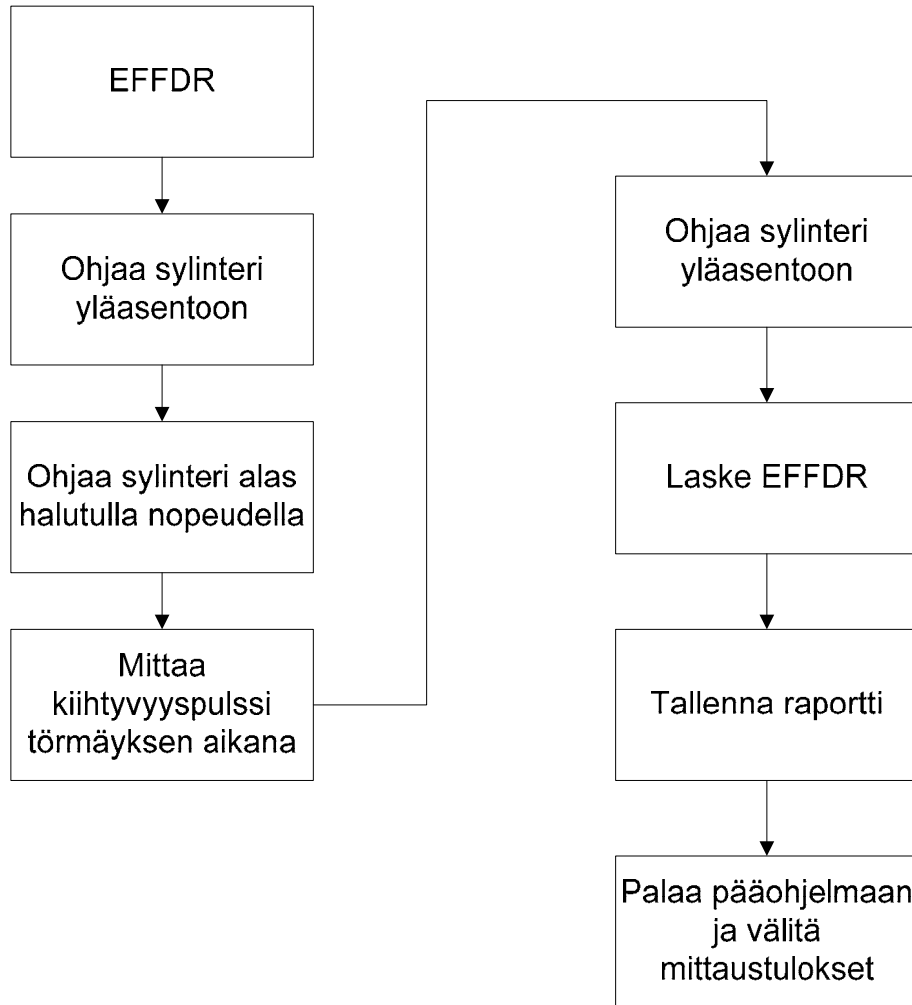
Kuva 20. Lohkokaavio yksittäisen testin suorittamiseen käytetystä aliohjelmasta.

Kuvassa 21 on esitettyä lohkokaavio aliohjelmasta, jota käytettiin toistuvan testin suorittamiseen. Aliohjelma on muuten samanlainen kuin yksittäisen testin suorittamiseen käytetty aliohjelma, mutta siihen on lisätty laskuri, joka laskee suoritettujen testien määrän. Lisäksi jokaisen testiliikkeen suorittamisen jälkeen tallennetaan testausraportti.



Kuva 21. Lohkokaavio toistuvan testin suorittamiseen käytetystä aliohjelmasta.

Kuvassa 22 on esitettyä EFFDR:n määrittämiseen käytetyn aliohjelman lohkokaavio. Tällä aliohjelmalla suoritetaan yksi testausliike ja testin jälkeen lasketaan EFFDR. Testistä tallennetaan myös testausraportti.



Kuva 22. Lohkokaavio EFFDR:n määrittämiseen käytetystä aliohjelmasta.

4.1 Pääohjelma

Käyttöliittymän etupaneeli luotiin pääohjelmassa. Etupaneelissa sijaitsi kaikki eri testien suorittamiseen tarvittavat toiminnot. Ohjelman ulkoasu pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeäksi, joten eri toiminnot päätettiin järjestellä omille välilehdilleen. Tällöin vain tarvittavat toiminnot näkyivät etupaneelissa ja tarpeettomat olivat piilotettuina.

Pääohjelmaan tehtiin omat välilehdet asetuksille, yksittäisen testin suorittamiselle, toistuvan testin suorittamiselle sekä EFFDR:n laskemiselle.

Asetukset-välilehti sisältää tiedonkeruuyksikön asetukset, anturin asetukset ja suodattimen asetukset. Asetukset välilehti on esitettyinä kuvassa 19.



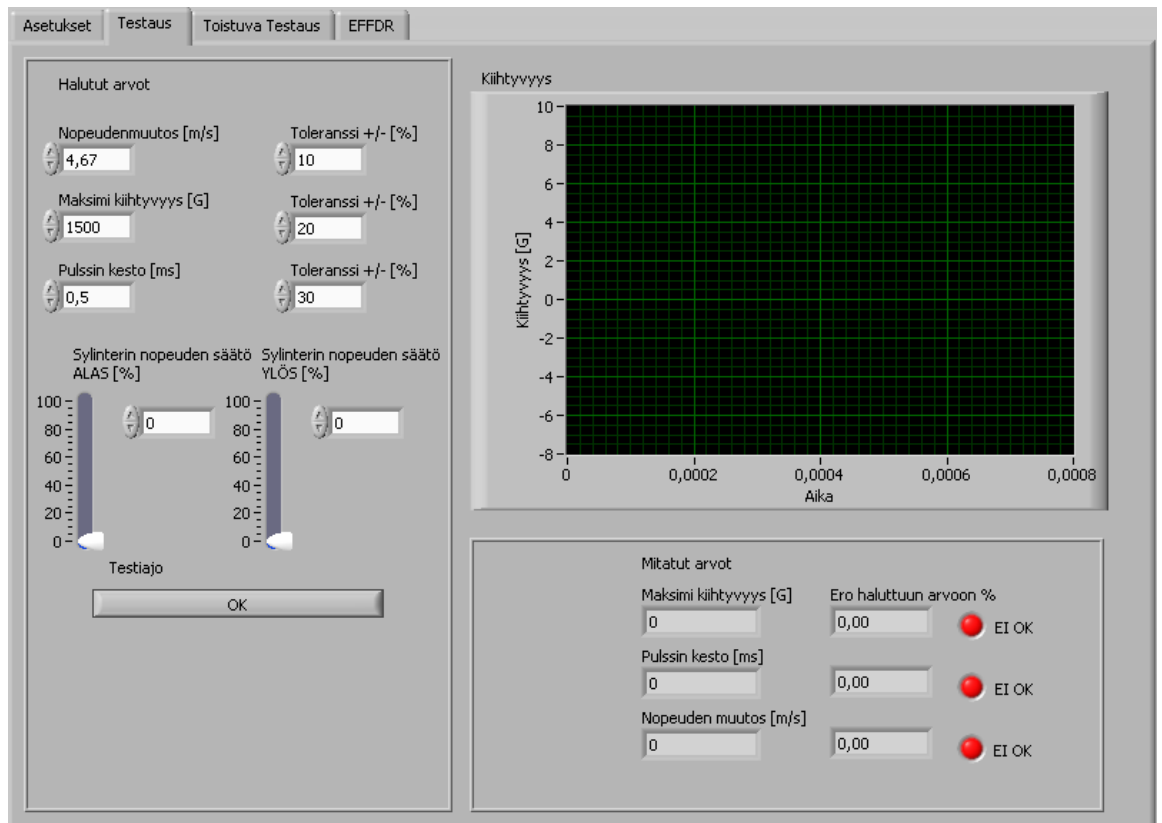
Kuva 23. Asetukset-välilehti

Tiedonkeruuyksikön asetuksilla määritellään näytteistystaajuus ja otettavien näytteiden määrä. Lisäksi määritetään mihin kanavaan kiihtyvyyssanturi on kytketty sekä mihin kanaviin säädettävien venttiilien ohjainkortit ovat kytkettyinä.

Kiihtyvyyssanturin asetuksilla määritellään kiihtyvyyssanturin herkkyys, jota käytetään muunnettaessa mitattua jännitettä kiihtyvyydeksi. Lisäksi asetuksissa määritetään haluttu liipaisutaso, joka määrää milloin mitattu signaali otetaan talteen. Maksimi signaalin odotusaika määrittää ajan, jonka aikana kiihtyvyysspulssin on tultava. Jos pulssi ei tule tänä aikana, on tapahtunut virhetilanne ja sylinteri palautetaan yläasentoon.

Asetuksissa on myös mahdollista kytkeä tarvittaessa käyttöön alipäästösuodatin. Suodattimen avulla signaalista on mahdollista poistaa korkeataajuisia kohinaa. Alipäästösuodattimen rajataajuus on mahdollista määrittää numeerisen kontrollin avulla.

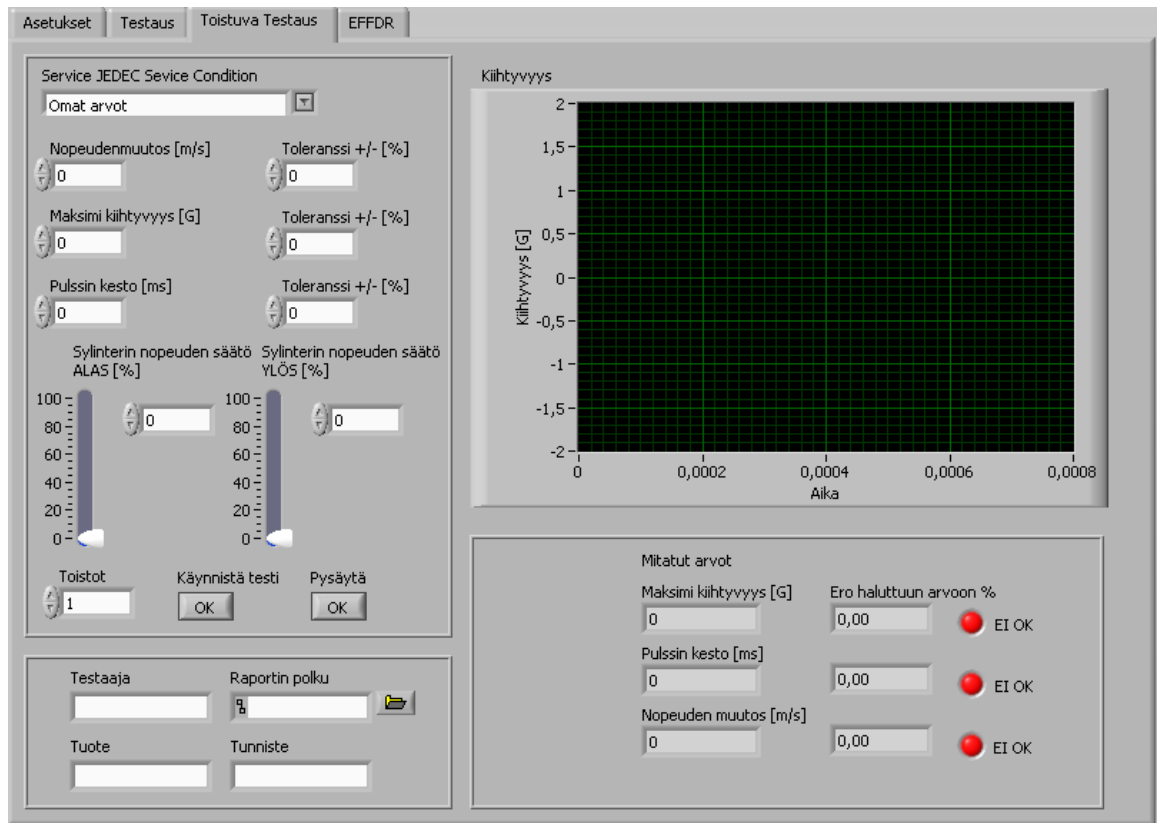
Testaus-välilehdellä on tarvittavat kontrollit yksittäisen testin suorittamista varten. Testaus-välilehti on esitettyinä kuvassa 20.



Kuva 24. Testaus-välilehti

Välilehti sisältää numeeriset kontrollit, joiden avulla voidaan määrittää testissä tavoiteltavat arvot. Lisäksi lehdellä on liukusäätimet, joilla voidaan säätää sylinterin liikenopeutta kumpaankin suuntaan. Mitattu signaali esitetään graafisessa muodossa näytöllä ja signaalista lasketut arvot esitetään numeerisissa kontrolleissa oikeassa alakulmassa. Signaalista lasketaan maksimikihtyvyyys, nopeuden muutos sekä pulssin kestoaika. Laskettuja arvoja verrataan tavoiteltaviin arvoihin ja erot esitetään prosentteina. Lisäksi erot esitetään merkkivaloilla, joilla ilmaistaan ovatko erot toleranssien sisällä.

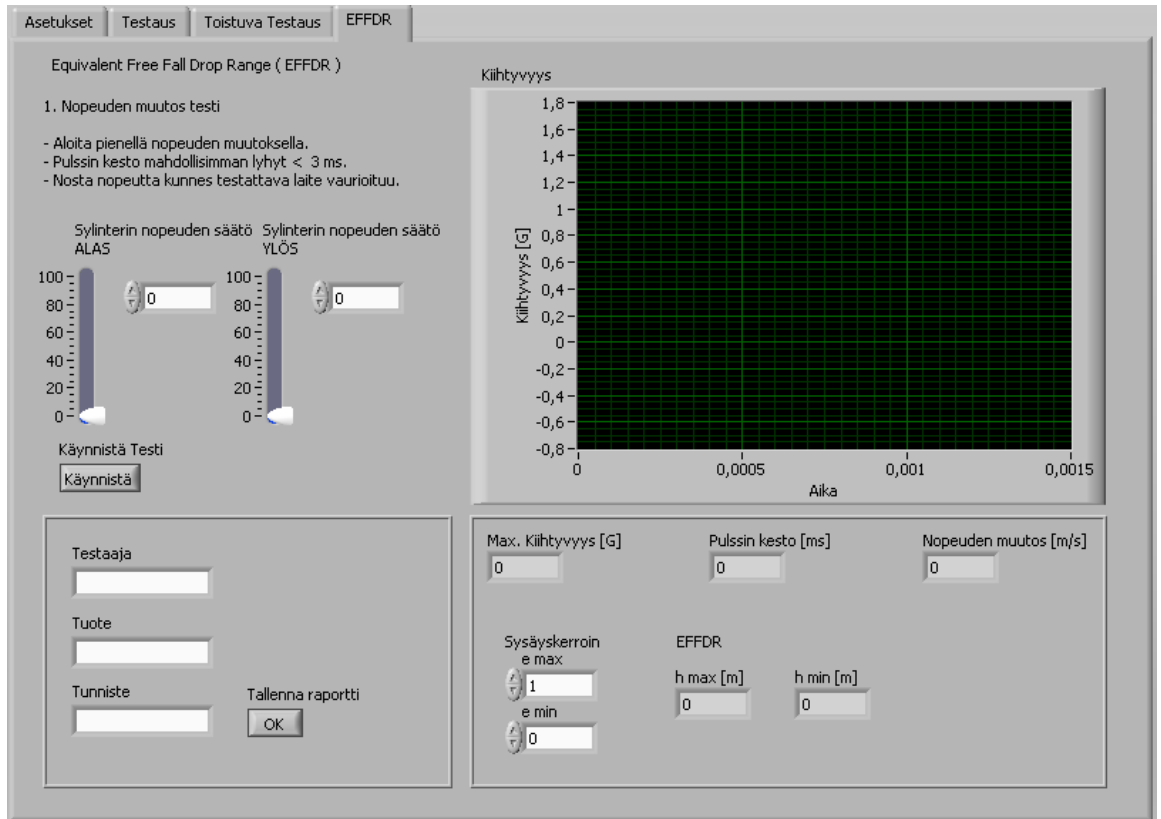
Toistuva testaus -välilehti sisältää tarvittavat kontrollit toistuvien testien tekemiseen. Toistuva testaus -välilehti on esitetty kuvassa 21.



Kuva 25. Toistuva testaus -välilehti

Välilehti sisältää numeeriset kontrollit, joilla voidaan asettaa testissä tavoiteltavat arvot. Lisäksi alavetovalikosta on mahdollista valita esiasetettuja arvoja. Alavetovalikko sisältää JEDEC-testaustasot sekä Omat arvot -valinnan, jonka avulla voidaan syöttää omat tavoiteltavat arvot. Lisäksi lehdellä on liukusäätimet, joilla voidaan säätää sylinterin liikenopeutta. Toistot-kontrollilla voidaan valita, kuinka monta testausliikettä halutaan tehdä. Mitattu kiihtyvyysspulssi näytetään graafisessa muodossa näytöllä ja pulssista lasketaan maksimikiihtyvyyttä, nopeuden muutos sekä pulssin kesto ja verrataan niitä tavoiteltaviin arvoihin. Raportin muodostamista varten välilehdeltä löytyy tekstikentät, joihin voidaan syöttää testaajan nimi, testattavan tuotteen nimi, tuotteen tunnistus ja tiedostopolku, johon raportti tallennetaan.

EFFDR-välilehdellä on tarvittavat kontrollit ekvivalentin vapaapudotuskorkeuden määrittämistä varten. EFFDR-välilehti on esitetty kuvassa 22.



Kuva 26. EFFDR-välilehti

Välilehti sisältää liukusäätimet, joilla voidaan muuttaa sylinterin liikenopeutta. Mitattu kiihtyvyysspulssi esitetään graafisesti näytöllä ja pulssista lasketut arvot esitetään omissa indikaattoreissaan. Ohjelma laskee jokaisen testikerran jälkeen EFFDR-välin annettujen sysäyskerroinien mukaisesti. Välilehdellä on myös tekstikontrollit, joihin voidaan syöttää testaajan nimi, tuotteen nimi ja tuotteen tunniste testausraportin muodostamista varten.

Välilehtien lisäksi pääohjelmaan lisättiin painonapit sylinterin manuaalista ohjaamista varten. Sylinteriä voidaan liikuttaa manuaalisesti ylös ja alas. Lisäksi sylinterin ohjaus voidaan ottaa pois päältä kokonaan, jolloin molemmat ohjausventtiilit säätävät siten, että paine poistuu sylinterin molemmista päistä.

4.2 Kiihtyvyysspulssin mittaaminen

Kiihtyvyysspulssin mittaamiseen käytettiin tiedonkeruuyksikön analogista tuloa. Ennen kuin tiedonkeruuta voitiin tehdä, täytyi määrittää miltä kanavalta tiedonkeruuta haluttiin suorittaa.

Lisäksi näytteenottotaajuus sekä näytteiden määrä oli määritettävä. Nämä asetukset voidaan määrittää pääohjelman Asetukset-välilehdeltä.

Kiihtyvyysspulssin mittaaminen tehtiin omaan aliohjelmaansa. Aliohjelma mittaa kiihtyvyyssanturilta tulevaa jännitettä ja muuttaa sen kiihtyvyydeksi anturin herkkyuden perusteella. Mittaus suoritetaan siten, että anturilta tulevasta signaalista otetaan asetuksissa määritetty määrä näytteitä ja tarkistetaan ylittääkö kiihtyvyys missään vaiheessa liipaisutasoa. Jos liipaisutaso ei ylitä otetaan taas ennalta määritetty määrä näytteitä ja tarkistetaan ylittyykö liipaisutaso. Näin jatketaan kunnes liipaisu tapahtuu.

Liipaisun tapahduttua otetaan vielä kerran näytteet anturin signaalista ja yhdistetään signaalit peräkkäin. Tällä varmistetaan, että liipaisun tapahtuessa näytteenottojakson lopussa saadaan koko kiihtyvyysspulssi talteen. Lisäksi aliohjelmaan tehtiin myös pretrigger-toiminto, jolloin myös liipaisua ennen otetut näytteet yhdistetään mitattuun signaaliin. Näin varmistetaan, että liipaisun tapahtuessa näytteenottojakson alussa saadaan talteen myös kiihtyvyysspulssin alkuosa. Jotta koko kiihtyvyysspulssi saataisiin talteen, on huomioitava, että otettavien näytteiden määrän on oltava riittävän suuri.

4.3 Venttiilien ohjaus ja testausliikkeen suorittaminen

Venttiilien ohjaukseen käytettiin tiedonkeruuyksikön analogisia lähtöjä. Lähtöjen jännitettä muuttamalla ohjattiin venttiilien ohjainkortteja, jotka puolestaan ohjasivat venttiilien asentoja. Venttiilien ohjaus tehtiin omaksi aliohjelmakseen. Aliohjelmalle syötettiin venttiilien haluttu asento prosentteina. Venttiili ohjattiin täysin auki, kun syötetty arvo oli 100 % ja täysin kiinni kun arvo oli 0 %.

Venttiilin virtausta portin P ja portin A välillä voidaan säätää muuttamalla jännitettä välillä 3,25 V ja 5 V. Aliohjelmassa prosentit muutettiin jännitteeksi kaavalla

$$U_o = (0,0175 \cdot N + 3,25) V , \quad (11)$$

missä U_o = ohjausjännite, N =venttiilin asento prosentteina.

Testausliikkeen suorittamista varten tehtiin oma aliohjelma. Aliohjelmassa sylinteri ohjataan ensin yläasentoon ja sen jälkeen halutulla nopeudella takaisin alas. Sylinterin tullessa alas

kiinnitysteline iskeytyy iskunvaimentimiin, jolloin testattava tuote altistuu kiihtyvyysspulssille. Tässä vaiheessa kiihtyvyysspulssi mitataan tiedonkeruuyksikön avulla. Pulssin mittauksen jälkeen sylinteri ohjataan takaisin ylös.

4.4 Raportin luominen

Testin jälkeen on mahdollista luoda testausraportti. Raportti luodaan raportointityökalujen avulla Excel-tiedostoon. Raportointi toteutettiin siten, että eri testejä varten luotiin Excel- taulukkolaskentaohjelmalla etukäteen raporttipohja, johon testissä saadut tulokset täydennettiin ohjelmallisesti.

Raportin luominen aloitetaan tallentamalla käyttäjän määrittämään hakemistoon kuva mitatusta kiihtyvyysspulssista. Kuva tallennetaan graafisen näytön Export Image -menetelmällä. Tämän jälkeen avataan valmiiksi tehty raporttipohja ja lisätään raporttiin aiemmin tallennettu kuva pulssista sekä täydennetään raportin kenttiin halutut tiedot.

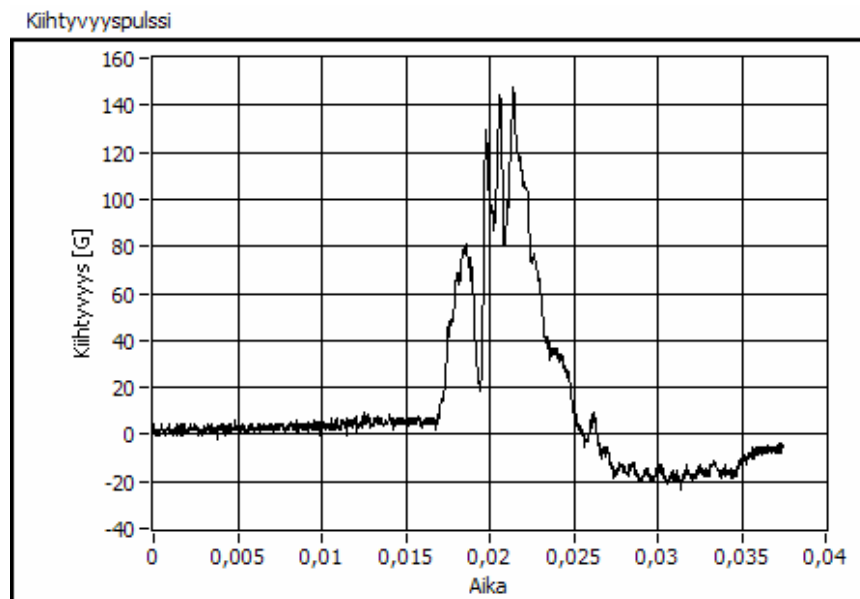
5 LAITTEEN TESTAUS

Kun tarvittavat muutokset laitteistoon oli tehty, piti laitteen toiminta testata. Ensiksi testattiin laitteen ohjauksen toimivuus ohjaamalla sylinteriä testausohjelmalla ylös ja alas. Samalla testattiin myös, että kiihtyvyyssanturilla saatiin mitattua kiihtyvyysspulssi. Ohjaus toimi odotetulla tavalla ja tiedonkeruu onnistui hyvin.

Seuraavaksi pudotustestauslaitteella suoritettiin kaksi erilaista testiajtoa. Toisella ajolla tutkittiin pystyykö laite tuottamaan vähintään JEDEC Condition B mukaisen nopeuden muutoksen ja toisella ajolla tutkittiin pudotustestauslaitteella tuotettavien kiihtyvyysspulssien toistettavuutta.

5.1 Suurin nopeuden muutos

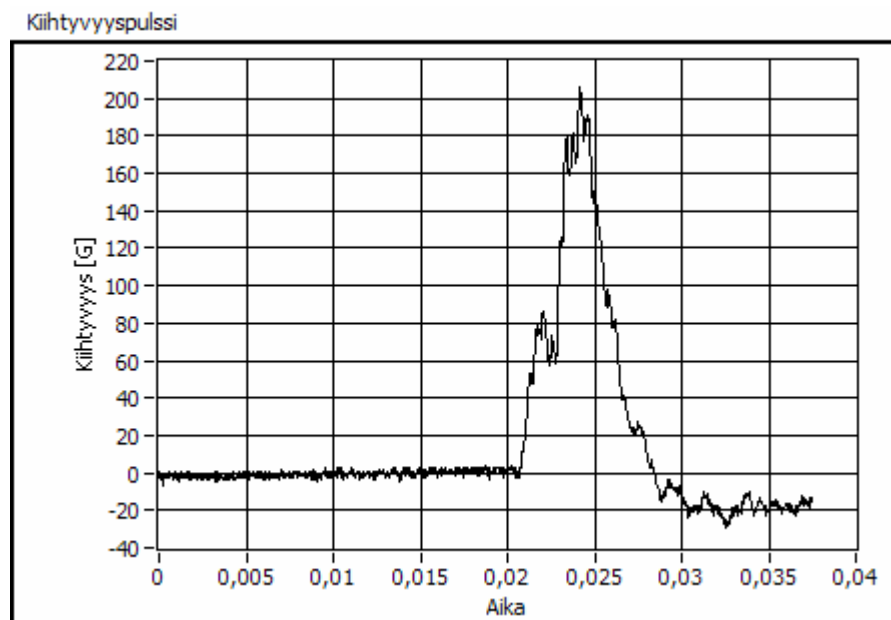
Laitteen suurin nopeuden muutos määritettiin muodostamalla laitteella kiihtyvyysspulssi ohjausventtiilin ollessa täysin auki. Työpaineena oli 0,5 MPa ja sylinterin liikkeen pituus oli 0,5 metriä. Iskunvaimentimena käytettiin Sylodyn NC -vaimennusmateriaalia. Kuvassa 23 on esitettyä laitteella muodostettu kiihtyvyysspulssi, jonka avulla määritettiin suurin nopeuden muutos.



Kuva 27. Suurimman nopeuden muutoksen määrittämiseen käytetty kiihtyvyysspulssi.

Nopeuden muutos pulssin aikana oli 5,33 m/s, joka ylittää tavoitteeksi asetetun nopeuden muutoksen 4,67 m/s. Testin avulla todettiin, että pudotustestauslaitteella voidaan tehdä vähintään Jedec Condition B -tasoista shokkitestausta.

Maksiminopeuden muutoksen selvittämisen jälkeen haluttiin vielä tutkia pystyisikö laitteella tarvittaessa tuottamaan myös Jedec Condition H -tasoista nopeuden muutosta. Pudotustestauslaitteella muodostettiin kiihtyvyysspulssi samalla tavalla kuin edellisessä testissä. Erona oli vain se, että sylinterin alapuolelta poistettiin paine kokonaan ennen kuin sylinteriä alettiin ohjata. Tällöin saavutettiin suurempi sylinterin nopeus. Kuvassa 24 on esitettyä mitattu kiihtyvyysspulssi.



Kuva 28. Mitattu kiihtyvyysspulssi, kun sylinterin alapuolinen paine oli poistettu.

Nopeuden muutos pulssin aikana oli 6,43 m/s, joka ylittää Jedec Condition H mukaisen nopeudenmuutoksen 5,43 m/s. Pudotustestauslaitteella on siis mahdollista tehdä tarvittaessa myös vaativimman tason testausta. Tällöin kuitenkin sylinteriä ohjaavaa ohjelmaa olisi muutettava erilaiseksi. Testausraportit suurimman nopeuden määrittämisestä ovat liitteenä 3/1-2.

5.2 Kiihtyvyysspulssin toistettavuus

Kiihtyvyysspulssin toistettavuutta tutkittiin muodostamalla pudotustestauslaitteella useita peräkkäisiä kiihtyvyysspulssseja. Nopeuden muutos asetettiin ohjelmassa 3 m/s. Vaimennusma-

terialina käytettiin Sylodyn NC -vaimennusmateriaalia, jolloin maksimi kiihtyvyys oli 55 G ja pulssin kesto aika oli 9.5 ms.

Pudotustestauslaitteella muodostettiin kymmenen peräkkäistä kiihtyvyysspulssia samalla nopeuden muutos -asetuksella. Kiihtyvyysspulssit mitattiin ja tutkittiin mitatun maksimikiihtyvyyden, pulssin kestoajan ja nopeuden muutoksen muuttumista eri testiajojen välillä. Testausraportit mittauksista on esitettyä liitteessä 4/1-10. Taulukossa 1 on esitettyä muutoksi- en keski- ja maksimi arvot prosentteina.

Taulukko 1. Kiihtyvyysspulssissa tapahtuneet muutokset eri testikertojen välillä.

Mittaus	Muutoksen keskiarvo [%]	Maksimimuutos [%]
Maksimikiihtyvyys	2,7	4,3
Nopeuden muutos	0,5	1,25
Pulssin kesto aika	0,6	1,8

Tuloksista huomataan, että pudotustestauslaitteella pystytään tuottamaan riittävän tarkkoja toistuvia pulsseja standardin mukaisen testauksen suorittamiseksi. JEDEC määrittelee standardeissaan, että suurin muutos testin aikana maksimikiihtyvyydellä saa olla 10 %, nopeuden muutoksella 20 % ja pulssin kesto ajalla 30 %.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli kehittää Kajaanin ammattikorkeakoulun ympäristötestauslaboratorion pudotustestauslaitetta. Laitteen ohjaus pyrittiin muuttamaan yksinkertaisemmaksi ja automatisoiduksi. Tavoitteena oli, että laitteella pystyttäisiin suorittamaan vähintään JEDEC Condition B -tasoista shokkitestausta. Lisäksi laitteen toimintavarmuus tuli saattaa asiakaspalveluun soveltuvalle tasolle.

Laitetta lähdettiin kehittämään tutkimalla eri vaihtoehtoja laitteen ohjaamisen helpottamiseksi. Ohjaus päätettiin toteuttaa säädettävien venttiilien avulla. Venttiileillä pystyttiin säätämään paineilman virtausnopeutta. Ohjaus tuli toteuttaa tiedonkeruuyksikön avulla, joten venttiilien lisäksi hankittiin myös venttiilien ohjainkortit. Ohjainkortit mahdollistivat venttiilien ohjaamisen jännitteellä.

Pudotustestauslaitteen kiihtyvyyssanturi piti vaihtaa uuteen, koska vanhan anturin mittausalue oli liian pieni. Kiihtyvyyssanturiksi valittiin Kistlerin valmistama anturi, jonka malli oli 8742A5. Anturille hankittiin myös saman valmistajan vakiovirtalähde.

Käyttöliittymä tehtiin LabVIEW-ohjelmiston avulla. Ohjelma päätettiin tehdä pienemmissä osissa, jotka sitten yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Näin ohjelmasta tuli helpommin ylläpidettävä ja pääohjelman rakenne säilyi yksinkertaisena. Tiedonkeruu tehtiin oppilaitoksella valmiina olleen NI USB-6009 -tiedonkeruuyksikön avulla.

Kun kaikki muutokset oli tehty, testattiin laitteen toiminta. Laitteella suoritettiin useita testiajoja, joiden avulla tutkittiin laitteen maksimisuorituskykyä ja testien toistettavuutta. Testit osoittivat, että laitteella voidaan suorittaa vähintään JEDEC Condition B -tasoista shokkitestausta. Tarvittaessa laitteella voidaan tuottaa myös suurempi nopeuden muutos, mutta tällöin laitteen venttiilejä ohjaavaa ohjelmaa on muutettava erilaiseksi.

Muutokset laitteeseen oli kohtalaisen nopea tehdä. Eniten työtä tuotti käyttöliittymän tekeminen pudotustestauslaitteeseen. Laitteen valmistumista hidasti säädettävien venttiilien toimitusajan venyminen. Tämän vuoksi ohjelmiston ja laitteen testaus myöhästyi aikataulusta. Laite saatiin kuitenkin toimintavalmiiksi ajoissa.

Jatkossa laitteen säädettävien venttiilien ja rungon väliin asennetaan vaimennusmateriaalia, koska venttiilit värisevät hieman säädettäessä. Tämä ei sinänsä vaikuta mittaustuloksiin, mutta värinä kuuluu testin aikana äänenä. Lisäksi eri iskunvaimennusmateriaalien sopivuutta shokkitestaukseen tulisi vielä tutkia.

LÄHTEET

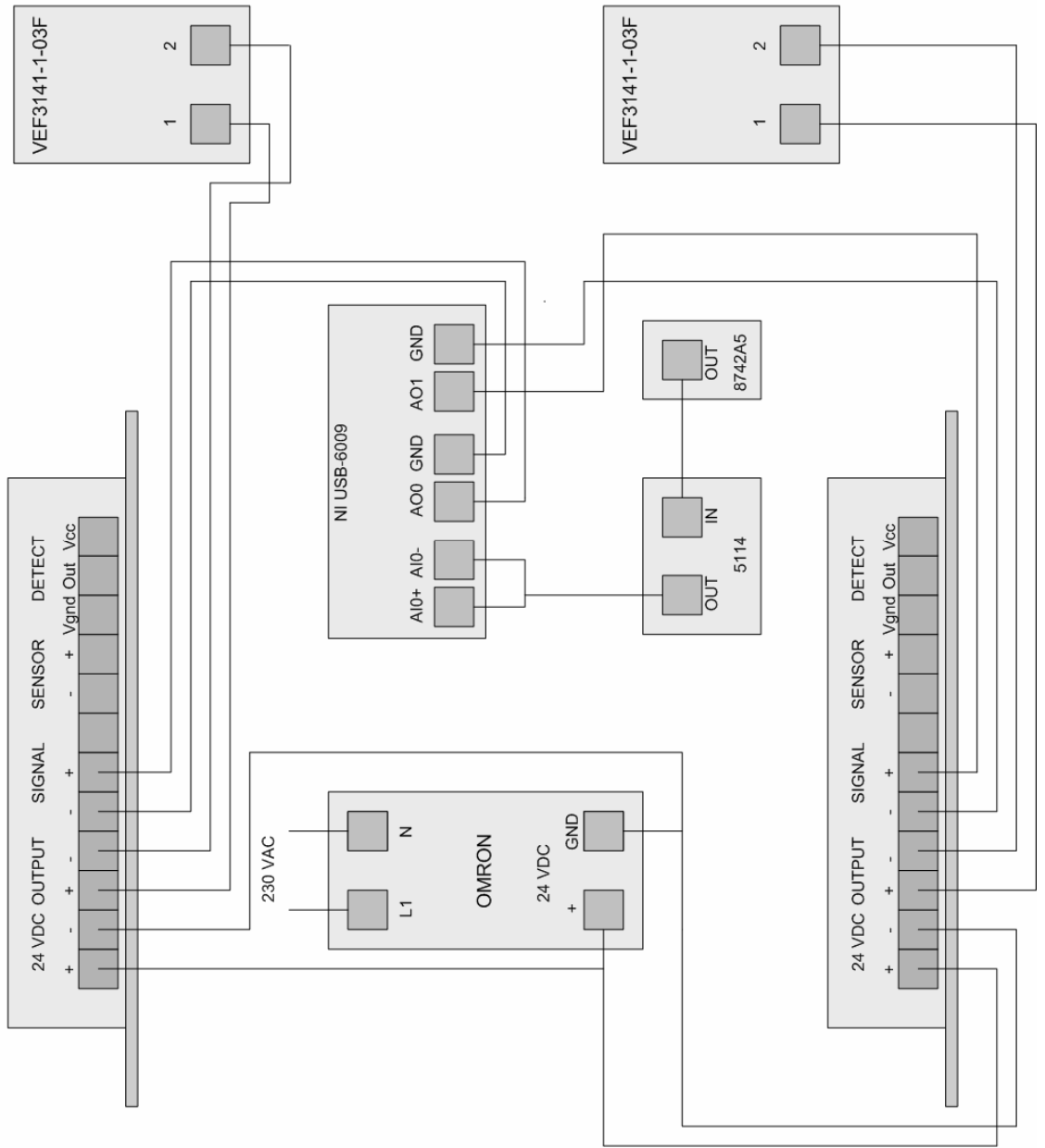
- 1 Eero-Matti Salonen, Dynamiikka I, 1999, Otatieto. ISBN 951-672-262-8.
- 2 Tekniikan kaavasto, 2000, Tammertekniikka. ISBN 951-9004-74-2.
- 3 Kari Suvanto, Tekniikan fysiikka 1, 2003, Edita Publishing Oy. ISBN 951-37-3842-6.
- 4 Lansmont Corporation, Six-Step Method for cushioned package development. [WWW-dokumentti]. <<http://www.lansmont.com/SixStep/6stepPrint.htm>>. (Luettu 7.3.2007.)
- 5 Westpak, Product Shock Fragility Testing. [PDF-dokumentti]. <<http://www.westpak.com/wpapers/17%20Product%20Shock%20Fragility%20Testing%20-%20Acquistion%20and%20Use.pdf>>. (Luettu 11.10.2006.)
- 6 Hannu Outinen, Dynamiikka, 1994, Pressus Oy. ISBN 952-9835-30-2.
- 7 JEDEC Standard JESD22-B104C, Mechanical Shock.
- 8 JEDEC Standard JESD22-B110A, Subassembly Mechanical Shock.
- 9 JEDEC Standard JESD22-B111, Board Level Drop Test Method of Components for Handheld Electronic Products.
- 10 Henry Kyllönen, Insinööriyö: Shokkitestauslaite, 2006, Kajaanin ammattikorkeakoulu.
- 11 Hun Sen Ng, Tong Yan Tee, Jing-en Luan, Design for Standard Impact Pulses of Drop Tester using Dynamic Simulation, 2004, Electronics Packaging Technology Conference
- 12 Kistler, K-Shear Accelerometer. [PDF-dokumentti]. <<http://www.kistler.com/medias/qaaOyxubzgCxP85D8YwBEd-30.pdf>>. (Luettu 7.2.2007.)

- 13 Kistler, 5114 Power Supply/Coupler. [PDF-dokumentti].
<<http://www.kistler.com/medias/ipoRyL3czgCxP85D8YwBEd-30.pdf>>. (Luettu 7.2.2007.)
- 14 SMC, Electro-Pneumatic Proportional Valve. [PDF-dokumentti].
<<http://www.smcworld.com/2002/e/webcatalog/docs/air/pressurecontrol/vef/vef.pdf>>. (Luettu 13.3.2007)
- 15 SMC Pneumatics, Tuoteluettelo / hinnasto, VER 1.2.
- 16 SMC, Power Amplifier for Electro-Pneumatic Proportional Valve. [PDF-dokumentti].
<<http://www.smcworld.com/2002/e/webcatalog/docs/air/pressurecontrol/vea/vea.pdf>>. (Luettu 13.3.2007)
- 17 National Instruments, User guide and specifications USB-6008/6009. [PDF-dokumentti]. <<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303e.pdf>>. (Luettu 2.4.2007)

LIITTEIDEN LUETTELO

- 1 Kytkäkaavio
- 2 Paineilmakaavio
- 3/1-2 Testausraportti: Suurin nopeuden muutos
- 4/1-10 Testausraportti: Testin toistettavuus

KYTKENTÄKAAVIO



PAINEILMAKAAVIO

