

Jukka Barinoff, Patrik Soljasalo

Liikkuvan työkonealustan automaattinen vaaitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
4.5.2015

Tekijät Otsikko	Jukka Barinoff, Patrik Soljasalo Liikkuvan työkonealustan automaattinen vaaitus
Sivumäärä Aika	25 sivua + 1 liitettä 4.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaajat	Osaamisaluepäällikkö, Pekka Hautala Lehtori, Heikki Paavilainen
<p>Opinnäytetyö tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena oli tutkia ratkaisu- ja toteuttamisvaihtoehtoja nelipyöräisen työkonealustan automaattiselle vaaitusjärjestelmälle. Vaaituksella tarkoitetaan alustan kallistuman kompensoimista ja tasapainon korjaamista epätasaisessa maastossa operoidessa.</p> <p>Työhön kuului järjestelmän yleisen toimintaperiaatteen määrittäminen, toimivan ohjausalgoritmin rakentaminen, sekä toimivan testialustan suunnittelu ja rakentaminen, jossa ohjauksen toimivuutta lopulta testataan.</p> <p>Työssä päästiin tavoitteeseen ohjauksen toimivuuden kannalta. Implementointi raskaampaan laitteeseen vaatisi kuitenkin pieniä muutoksia järjestelmään.</p>	
Avainsanat	Työkonealusta, automaattinen, vaaitus, hydrauliiikka

Authors Title	Jukka Barinoff, Patrik Soljasalo Automatic leveling of mobile machine platform
Number of Pages Date	25 pages + 1 appendices 4 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Automation
Instructors	Pekka Hautala, Project Manager Heikki Paavilainen, Principal Lecturer
<p>This Bachelor´s thesis was made for Metropolia University of Applied Sciences. The objective of this thesis was to explore solutions for implementing an automatic leveling system for a four-wheeled machine platform. Automatic leveling deals with the compensation of the tilting as well as shifting the balance of the vehicle when operating on uneven terrain.</p> <p>The study included the following topics: determination of the general operating principle of the system, the construction of an operating control-algorithm, as well as the designing and construction of a working testing platform where the functionality of the system would finally be tested.</p> <p>As a result, the goal of the work was achieved, though minor modifications to the system should be made before any implementation.</p>	
Keywords	Machine platform, automation, leveling, hydraulics

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Järjestelmän toimintaperiaate	2
2.1	Toimintaperiaatteen hahmottelu	2
2.2	Mekaaninen toimintaperiaate	4
2.3	Ohjauksen toimintaperiaate	5
3	Ohjausjärjestelmä	7
3.1	Ohjausjärjestelmän valinta	7
3.2	I/O -ohjain	7
3.3	Hybridianturi	9
4	Ohjelma	10
4.1	Ohjelman filosofia	10
OHJELMAN YKSITYISKOHTAINEN KUVAUS ON LEIKATTU POIS SALASSAPITOSYISTÄ		
5	Testaus	19
5.1	Ohjausohjelman virtuaalinen testaus	19
5.2	Testialusta	20
5.3	Järjestelmän testaaminen testialustalla	21
6	Yhteenveto	24
	Lähde	25

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ratkaisu- ja toteuttamisvaihtoehtoja nelipyöräisen työkonealustan automaattiselle vaaitusjärjestelmälle. Vaaituksella tarkoitetaan alustan kallistuman kompensoimista ja tasapainon korjaamista epätasaisessa maastossa ope-roidessa; alustan horisontaalinen kallistuskulma pyritään pitämään mahdollisimman lähellä nollakulmaa.

Työhön kuuluu järjestelmän yleisen toimintaperiaatteen määrittäminen, toimivan ohjaus-algoritmin rakentaminen, sekä toimivan testialustan suunnittelu ja rakentaminen, jossa ohjauksen toimivuutta lopulta testataan.

Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun tilauksesta; järjestelmä tulee opetuskäyt- töön.

2 Järjestelmän toimintaperiaate

2.1 Toimintaperiaatteen hahmottelu

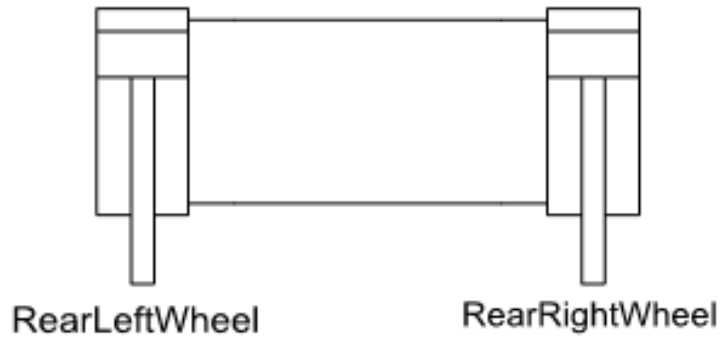
Kaikista keskeisin osa järjestelmän ohjausta on työkonealustan kallistuman mittaaminen, joka voitaisiin toteuttaa lukemalla kaksiakselisen kiihtyvyyssanturin antamia kulma-arvoja. Alustan kallistuessa ohjausohjelma pyrkisi säätämään alustan asentoa siten, että kiihtyvyyssanturin kulma-akselit saavuttaisivat nolla-arvon ja alusta suoristuisi.

Kiihtyvyyssanturin ja siten työkonealustan kallistuma ei teoreettisesti eikä käytännöllisesti voi kuitenkaan koskaan saavuttaa absoluuttista nolla-arvoa. Tätä varten tulee ohjausohjelma suunnitella siten, että se pyrkii alustan nollakulman sijaan sille asetettuun marginaaliin, joka on riittävän lähellä nollakulmaa. Lisäksi on sallittava alustan vähäinen kallistuma yliohjauksen estämiseksi; ohjausohjelma ei aloita korjaamaan alustan vähäistä kallistumaa.

Järjestelmän mekaanisen toiminnan suunnittelussa oli alusta asti selvää, että tasapainotus toteutettaisiin alustan pyörien korkeusasemaa säätämällä. Toisin sanoen: alustan kallistuessa tiettyyn suuntaan, sen suunnan pyörää laskettaessa alustan pitäisi hakeutua takaisin marginaaliseen nollakulmaan. Pyörien korkeusasemaa voitaisiin säätää esimerkiksi hydraulisia sylintereitä käyttäen, joita taas ohjattaisiin kaksitoimisilla on/off -venttiileillä.

Nelipyöräisen työkonealustan liikkeessä vaikeakulkuisessa maastossa tulee ottaa huomioon alustan joutuminen mahdollisiin ristiriipunta-tilanteisiin, joissa alustan kaksi vastakkaista pyörää jäävät seisomaan maaston kohoaman päälle, jolloin loput kaksi pyörää eivät välttämättä saa kunnon kontaktia maahan. Tämä voi johtaa alustan keinumiseen tai muuhun hallitsemattomaan käyttäytymiseen. Ristiriipunnan havaitseminen anturoinnilla on vähintäänkin haastavaa tai ainakin se vaatisi hyvin laajaa anturointia.

Ongelma voidaan kuitenkin kiertää rakentamalla järjestelmälle kelluva takapyörästä. Kelluvalla pyöräställä tarkoitetaan useimmiten pyöräparia, joiden asemaa säätävien hydraulisylinterien neste pääsee vapaasti virtaamaan sylinteristä toiseen (kuva 1).



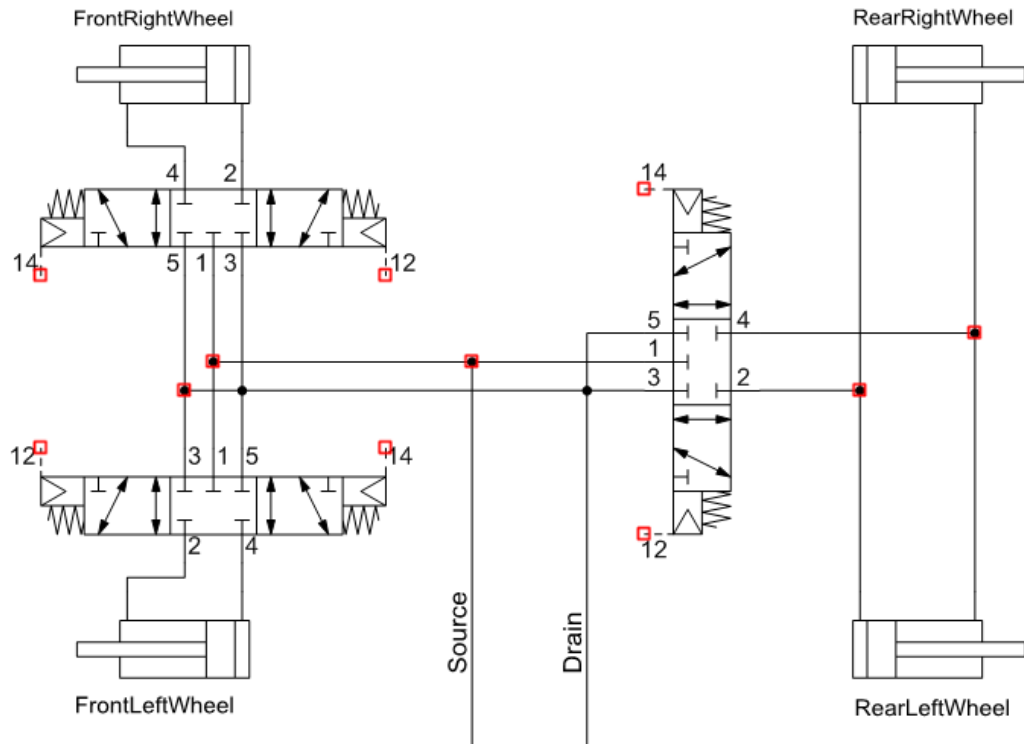
Kuva 1 Kelluvan pyörästön toimintaperiaate.

Kuorman kasaantuessa toiselle pyörälle sitä ohjaavan sylinterin mäntä painuu sisään, jolloin sylinteristä ulos virtaava neste painaa toisen puolen pyörän alas. Näin alusta kokonaisuudessaan mukailisi maaston muotoja sulavasti, ja kaikki pyörät tukeutuisivat maata vasten. Alustan kallistuman kompensoiminen voidaan edelleen toteuttaa kahden etupyörän korkeusasemaa säätämällä.

Alustalle on myös helposti toteutettavissa manuaalinen maavaran säätö; pelkästään takapyörästä laskemalla saadaan takapää nostettua, ja tämän jälkeen vaituksen ohjaus suoristaa alustan etupään automaattisesti.

2.2 Mekaaninen toimintaperiaate

Työssä ei keskitytty mekaanisen toimintaperiaatteen suunnitteluun syvällisesti. Sen sijaan tehtiin hahmotelma; alustan pyörästön kytkentä voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 2 osoittamalla tavalla,



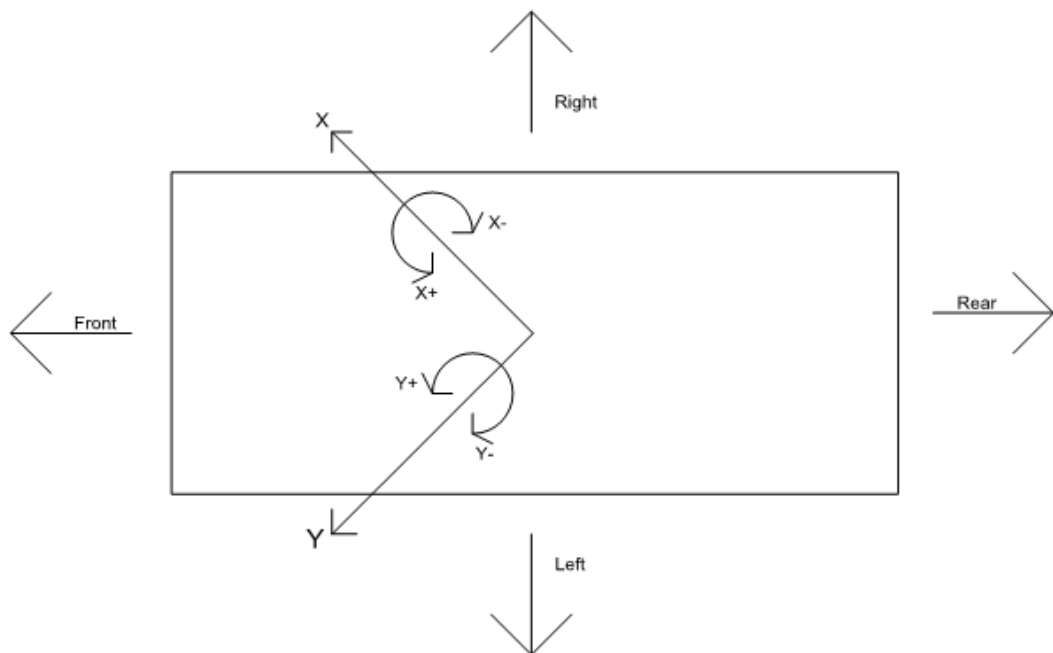
Kuva 2 Esimerkki järjestelmän kytkennästä.

Kahden etummaisen pyörän korkeutta säättäviä sylintereitä ohjataan kaksitoimisilla venttiileillä kumpaakin puolta erikseen. Takapyörästä ohjataan yhdellä venttiilillä maavaran säätämiseksi.

Kaaviossa on käytetty pneumatiikkaventtiileitä, sillä testialusta toteutettiin pneumatiikalla. Sama kaavio on myös toteutettavissa hydraulikalla pienin muutoksin (hydraulikkaventtiileillä vain yksi paluukanava.)

2.3 Ohjauksen toimintaperiaate

Ohjausohjelman perustoimintaperiaatteen määrittämisessä esiin nousi kallistumaa mittaavan kiihtyvyyssanturin kulma-akselien suunnat. Ohjausohjelman toiminnallisuuden varmistamiseksi ohjelmasta tuli saada mahdollisimman yksinkertainen ja saatiin ratkaisu, jossa anturin kulma-akselit asetettaisiin osoittamaan alustan etupyörien tukipisteitä (kuva 3), eli 45 asteen kulmaan runkoon verratessa.



Kuva 3 Kulma-anturin akselit koneen runkoon nähden.

Tällöin vasemmanpuolimmaisesta etupyörän korkeutta säädettäisiin anturin x-akselilta luettujen arvojen perusteella ja oikeanpuolimmaisesta etupyörän korkeutta y-akselin arvojen perusteella: x-akselin arvon ylittäessä positiivisen marginaali-arvon, vasenta etupyörää laskeva ohjaus kytkeytyy ja on päällä niin kauan, että x-arvo on jälleen marginaalin sisäpuolella. Arvon taas laskiessa alle negatiivisen marginaalin, pyörää nostetaan. Sama ohjaus pätee oikealle etupyörälle, paitsi että arvot luetaan y-akselilta.

Todellisuudessa alustan kallistuma vaikuttaa yhtäaikaaisesti kummankin kulma-akselin arvoon, ja tällöin pyörien ohjauksen tulee tapahtua myös yhtäaikaisesti. Esimerkkinä työkonelustan liikkuesssa alamäkeen molempien pyörien tulisi siis laskea alustan vakauttamiseksi.

3 Ohjausjärjestelmä

3.1 Ohjausjärjestelmän valinta

Elektronisen ohjausjärjestelmän komponentit valittiin suomalaisen Exertus-yrityksen tuotteista, jotka on eritoten suunniteltu liikuteltavien työkonoiden ohjaukseen ja siten niiden nähtiin soveltuvan hyvin myös tähän projektiin.

3.2 I/O -ohjain

Järjestelmän ohjaimeksi valittiin Exertuksen MID070S ohjausyksikkö. Ohjaimen kuuluu seitsemän tuuman värinäyttö sekä monitoiminen I/O moduuli, jotka on pakattu samaan yksikköön. Ohjaimen avulla on siis myös mahdollisuus testata virtuaalisesti ohjausalgoritmin toimivuutta näytölle luotavan diagnostiikkaikkunan kautta. Ohjain voi viestiä järjestelmän muiden komponenttien kanssa CAN-väylän välityksellä.



Kuva 4 MID070S -ohjain.

MID070S:n ominaisuuksia:

- käyttöjännite 9 - 32 V DC
- käyttölämpötila alue -30 ... +85 C
- vesi- ja pölytiivis kotelointi (IP67)
- Linux-käyttöjärjestelmä
- 7" WVGA TFT -värinäyttö (resoluutio 800x480)
- 2 * CAN 2.0 B
- 2 * RS232 sarjaporttiliityntä
- USB 2.0 B
- Ethernet 10/100 Base T
- 4 videotuloa
- akkuvarmennettu Reaaliaikakello (RTC)
- SD -muistikorttipaikka
- valinnaisvarusteena sisäänrakennettu kauko-ohjaus

MID070S I/O:

- 8 analogista tuloa (analogiatulojen tyyppi on valittavissa ohjelmallisesti; V / mA)
- ohjelmallisesti valittava ref -jännitelähtö (3,3 V / 5 V)
- 13 on/off -tuloa (8 taajuustuloa)
- 16 PWM -virtalähtöä (max 2,7 A)
- jokainen lähtö toimii samalla tulona -> Yhteensä 37 PNP tuloa
- jokainen tulo ja lähtö kestää oikosulun maadoitukseen tai käyttöjännitteeseen [1].

3.3 Hybridianturi

Alustan kallistuksen mittausta varten valittiin Exertuksen HCM4000S1 -anturi, jolla voidaan mitata kallistumaa kahdella kulma-akselilla. Anturi on kompakti ja suunniteltu käytettäväksi jatkuvissa vaativissakin olosuhteissa. Laaja käyttölämpötila- ($-40\text{ °C} - +85\text{ °C}$) sekä jännitealue ($9\text{ V} - 36\text{ V}$) ovat esimerkkejä siitä, miksi anturi soveltuu hyvin monipuolisiin koneisiin ja laitteisiin.



Kuva 5 HCM4000S1 -anturi.

HCM4000S1 voi toimia erilaisissa toimintaympäristöissä:

- Kosketukseton X- ja Y-akselin kallistuksen sekä lisävarusteena kierto-kulman mitaus
- Suuntaventtiilien ohjaus neljällä virta-ohjatulla PWM-lähdöllä
- 3-akselinen servo-ohjaus kulmien asennon valvontaan
- Monimutkaisemmat asemoinnit saavutetaan kytkemällä järjestelmään useampia hybridiantureita.

Hybridianturin avulla voidaan korvata useita erillisiä antureita ja siten alentaa mittausten ja ohjausten kokonaiskustannuksia. Helppo asennettavuus ja yksinkertaistettu mekaaninen rakenne varmistavat sen toimivuuden. CANopen-yhteensopivuus mahdollistaa hybridianturin liittämisen nykyisiin ja tuleviin järjestelmiin [1].

4 Ohjelma

4.1 Ohjelman filosofia

Ohjelma rakennettiin Exertuksen Guitu -ohjelmointityökalulla FBD-ohjelmointikielellä (function block diagram). Ohjelman toiminnallisuuden varmistamiseksi pyrittiin siitä rakentamaan mahdollisimman yksinkertainen. Ohjelma koostuu "skripteiksi" kutsutuista osista, jotka kutsutaan ohjaimen suoritettavaksi. Ohjelmaan myös rakennettiin jo tässä vaiheessa perustavan tason turvajärjestelyt, kuten skripti hydraulipaineen tason valvontaan. Muita järjestelmän turvallisuuteen liittyviä skriptejä ovat hybridianturin toimintaa valvova skripti, sekä alustan vaarallisesta kallistumasta varoittava skripti. Varsinainen pää-skripti säättää etupyörästäön korkeutta, ja siten alustan kallistumaa hybridianturilta saatujen kulma-arvojen perusteella. Maavaran säätöä varten luotiin myös oma skriptinsä.

OHJELMAN YKSITYISKOHTAINEN KUVAUS ON LEIKATTU POIS SALASSAPITOSYISTÄ

5 Testaus

5.1 Ohjausohjelman virtuaalinen testaus

Ohjelman rakentamisen yhteydessä ohjelmaa testattiin virtuaalisesti ohjelmavirheiden havaitsemiseksi ja korjaamiseksi. Testausta varten ohjainyksikön näytölle rakennettiin visuaalinen käyttöliittymä (kuva 16).



Kuva 6 Virtuaalinen testiympäristö ohjaimen näytöllä.

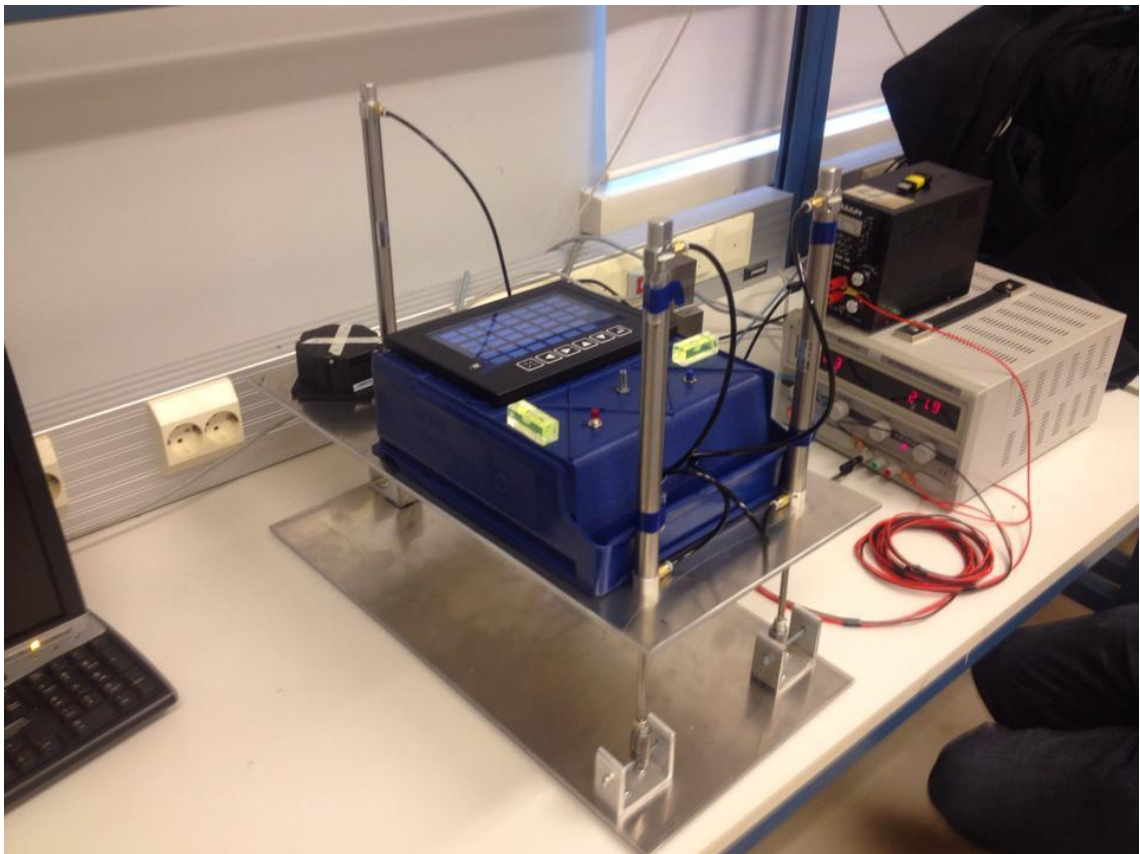
Virtuaalisessa testiympäristössä voitiin tarkkailla seuraavia asioita:

- Ylempi rivi:
 - hybridianturin x- ja y-kulma-arvot kulman kymmenyksinä
 - järjestelmän paine prosentteina ja PressureOK -muuttujan tila
 - hybridianturin tila (HybridsensorOK)
 - AngleWarning- ja AngleOverlimit -muuttujien tilat
- Keskirivi:
 - lähtevien ohjaussignaalien tilat
- Alempi rivi:
 - rajakytkimien tilat

Kun ohjelman ja ohjainlaitteiston toimivuus saatiin todennettua virtuaalisesti, siirryttiin kokeilemaan järjestelmää siihen tarkoitukseen rakennetulla testialustalla.

5.2 Testialusta

Järjestelmän toiminnan yksityiskohtaisempaa testausta varten rakennettiin testialusta, joka yksinkertaisuudessaan koostui kahdesta alumiinilevystä ja kolmesta paineilmasylinteristä. Takapyörästä simuloitiin vain yhdellä sylinterillä. Ylempään alumiinilevyyn kiinnitettiin ohjausyksikkö, hybridianturi sekä paineilmasylinterit, jotka tuettiin jäykästi levyyn porattuihin reikiin. Sylinterien varsien päät taas tuettiin pallonivelillä alempaan levyyn kiinnitettyihin kiskoihin. Alempaa levyä kallistamalla oli tarkoitus simuloida maaston kaltevuutta (kuva 17).

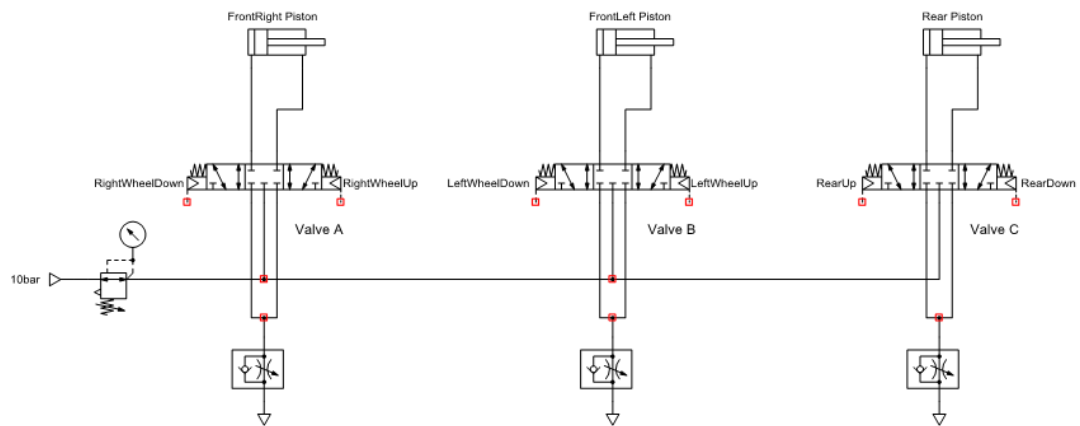


Kuva 7 Testialusta.

Testialustan pneumaattiset osat valittiin japanilaisen automatiikkalaitteita tuottavan SCM:n ja saksalaisen Feston tuotteista:

- 3x 5-tie magneettiventtiileitä (SMC: SY7320-5YZ-02F-Q)
- 3x paineilmasylintereitä (SMC: SY7320-5YZ-02F-Q)
- 3x virtauskuristimia (Festo: GR-QS-4)

Kytkentään käytettiin 6 mm:n muoviletkaa (kuva 18).

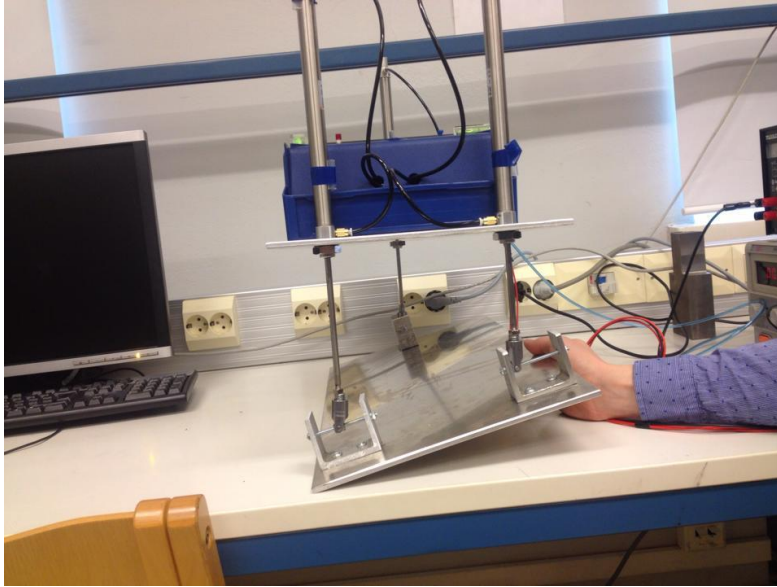


Kuva 8 Testialustan pneumaattinen kytkentä.

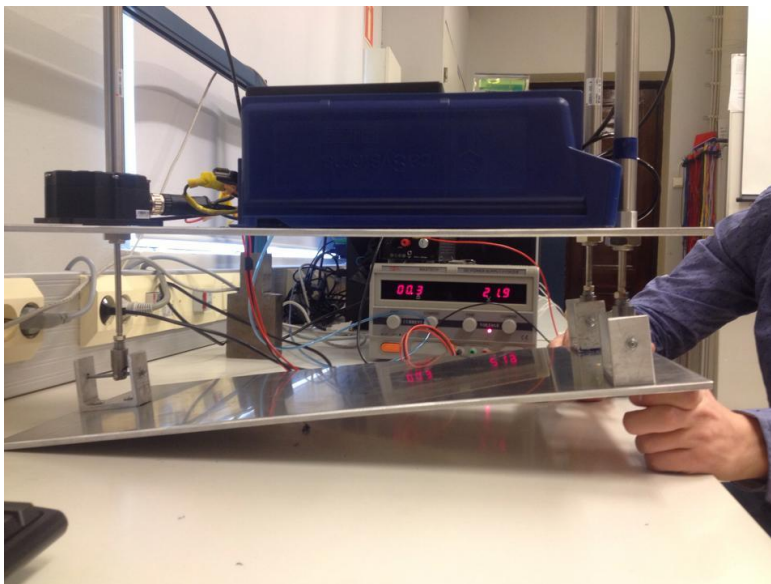
5.3 Järjestelmän testaaminen testialustalla

Testaus aloitettiin testialustan liikenopeuden ja -herkkyyden säädöllä. Järjestelmän painetta aloitettiin lisäämään kolmesta baarista alkaen poistuvan ilman kuristuksen ollessa melko vähäinen. Pienillä painearvoilla ohjausjärjestelmä korjasi ylemmän levyn asentoa hitaasti ja huomattavalla viiveellä. Painetta lisättäessä asteittain ohjauksen viive väheni huomattavasti paineilmasylinterien liikkeiden muuttuessa rajummiksi; tätä kuitenkin saatiin kompensoitua sylintereistä poistuvan ilman kuristusta kasvattamalla. Lopulta päädyttiin 7 barin järjestelmäpaineeseen ja melko suureen poistuvan ilman kuristukseen.

Säätöjen jälkeen järjestelmän toimintaa alettiin varsinaisesti testaamaan. Testialustan alemmaa levyä kallistaessa järjestelmä korjasi ylemmän levyn asennon onnistuneesti 3 asteen marginaaliin voimakkaissakin kallistuksissa. Alustan liikkeissä kuitenkin havaittiin jonkin verran sylinterikitkasta ja ilman kokoonpuristuvuudesta johtuvaa yliohtautuvuutta, jossa järjestelmä korjasi levyn kallistuman asetetun marginaalin ohi ja joutui palaamaan takaisin. Kitkan vaikutus korostui laitteen kevytrakenteisuuden vuoksi.



Kuva 9 Alemmaa levyä kallistaessa järjestelmä suoristaa ylemmän levyn.



Kuva 10 Alustan vaaitus toimii luonnollisesti myös pituussuunnassa.

Alustan maavaran säätö toimi hyvin rauhallisesti ja sulavasti takasynterin pituutta sää-
tämällä; järjestelmä myös suunnitellusti korjasi etupään asennon perässä.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin mielestämme kattavasti. Järjestelmän suunnittelun pääperiaatteena oli luoda mahdollisimman yksinkertainen, helposti asennettava ja helposti muokattavissa oleva järjestelmä; järjestelmä tulisi olla helppo toteuttaa myös jälkiasennuksena laitteiston ollessa kompakti ja yksinkertainen. Ohjelma suunniteltiin helposti lähestyttäväksi ja muokattavaksi.

Vaikka testeissä ohjelma itsessään toimi moitteettomasti, suosittelemme järjestelmää implementoidessa käytettäväksi on/off-venttiilien sijaan proportionaaliventtiileitä. Proportionaaliventtiileiden etuna on sylintereiden rauhallisempi ja tasaisempi liike alustan asennon pieniä korjauksia tehdessä; alustan yliohjautuvuudesta päästäisiin siten todennäköisesti eroon. Proportionaaliventtiileitä käyttäessä on ohjelmaan luonnollisesti tehtävä pieniä muutoksia; venttiileille lähtevien ohjaussignaalien voimakkuus tulee suhteuttaa kallistuman suuruuteen.

Raskaaseen työkoneeseen asennettaessa järjestelmä olisi todennäköisesti hydraulinen, jolloin voimansiirtoaineen kokoonpuristuvuusongelmasta päästäisiin eroon. Testeissä käytetty paineilman kokoonpuristuvuus vaikutti selvästi sylintereiden liikkeisiin ohjauksen toimivuutta testattaessa, mutta muuten konstruktio oli sopiva testien suorittamiseen.

Opinnäytetyön suorittamisessa päästiin tavoitteeseen, valmistettiin myös opetuskäyttöön sopiva testialusta ja kirjoitettiin yksinkertainen helposti ymmärrettävä, sekä muokattavissa oleva ohjelma.

Lähde

- 1 Exertus Control Systems. Verkkodokumentti. Exertus Oy.
<<http://www.exertus.fi>>. Viitattu 27.4.2015

Ohjauksen signaalipinnien kytkentä

