

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio

Tutkintotyö

Mikko Virtanen

**KUROTTAJATRUKIN HAARUKAN TASAUS**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2007

Insinööri Jari Ylikahri  
Oy Meclift ltd, valvojana Mika Korpela

## TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja laiteautomaatio

Virtanen, Mikko

Tutkintotyö

Työn valvoja

Työn teettäjä

Huhtikuu 2007

Hakusanat

Kurottajatruckin haarukan tasapainotus

42 sivua + 9 liitesivua

DI Mika Korpela

Oy Meclift ltd, ohjaajana Jari Ylikahri

kurottajatruckki, tasapainotus, kulmaanturi, inklinometri,  
P-säädin, CAN -väylä

## TIIVISTELMÄ

Kurottajatruckeja käytetään materiaalien tehokkaaseen käsittelyyn teollisuudessa, satamissa ja logistiikkakeskuksissa. Jotta materiaalienhallinta olisi sulavaa, nopeaa ja turvallista, täytyy lastin pysyä tasapainossa puomia liikuttaessa vaikeissakin olosuhteissa.

Kurottajatruckin haarukan tasapainotus on ollut ongelma materiaalinkäsittelyteknologiassa jo pidemmän aikaa ja täysin toimivaa ratkaisua ei ole vielä pystytty kehittämään.

Tämän työn tarkoituksena on ollut laatia matemaattinen funktio truckin ML3012RC logiikalle, jota seuraamalla haarukka ja siinä oleva lasti pysyvät tasapainossa, kun puomia liikutetaan. Tasapainotukseen käytetään kulma-anturia ja inklinometrejä. Kurottajatruckin haarukan tasapainotuksen tarkoituksena on parantaa materiaalienkäsittelyn luotettavuutta ja varmuutta.

Työn tuloksena saatiin ohjelma, jota truckki käyttää tasatessaan haarukkaa puomin liikkeen aikana. Ohjelmointi on suoritettu Ifm electronicsin CodeSys-ohjelmalla. Työssä käydään läpi työkonehydrauliikkaa, ohjausta ja ohjelmointia.

TAMPERE POLYTECHNIC  
Mechanical and Production Engineering  
Machineautomation  
Virtanen, Mikko  
Engineering Thesis  
Thesis Supervisor  
Commissioning Company  
May 2007  
Keywords

Balancing of Reachcontainer's Fork  
42 pages + 9 appendix pages  
MSc. Mika Korpela  
Oy Meclift Ltd. Supervisor: Eng. Jari Ylikahri

reachcontainer, balancing, absolute anglesensor,  
inclinometer, P-controller, CAN -bus

## ABSTRACT

The company under investigation is Oy Meclift Ltd. It is a Finnish SME manufacturing investment products. The company manufactures various types of materials handling equipment, such as variable reach trucks. Despite its young age and limited resources, Oy Meclift Ltd operates on an international level and targets its products at the world market.

Meclift Variable Reach Trucks offer new possibilities for loading and unloading containers. They can be driven into standard containers, and their reach feature enables them to operate in conditions that would be impossible for straight-mast trucks. Our 30-tonne variable reach truck has proven its excellence in stone handling both inside ships and on the quayside.

In order that materialhandling would be fluent, must gargo be balanced in different kind of circumstances.

Purpose of this thesis is to build a mathematical function to truck's logic, what truck is following while balancing lifting forks. Balancing is made by using absolute anglesensor and inclinometers.

Electrical Balancing have been a problem in materialhandlingtechnology and full working solution doesn't exist. Because of that, this thesis concentration is to develop a full working electrical balancing to the truck's logic. Point of fluent electrical balancing is to better reliability and safety of materialhandling.

The result of this work is program. Programming is done using IFM Electronics CodeSys – program.

## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Pajamäki konserniin kuuluvalle Oy Meclift Ltd:lle. Työssä on paneuduttu 30-tonnisen kurottajatrukin nostovaunun ja haarukoiden tasauksen sähköiseen ohjaukseen.

Haluan kiittää Mecliftin toimitusjohtaja Veijo Miihkistä, kuka on mahdollistanut tämän opinnäytetyön joustavan suorittamisen. Erityiskiitokset haluan välittää työnohjaajan ominaisuudessa toimineelle tuotantopäällikkö Jari Ylikahrille, hydraulikkasuunnittelija Juha Peltolalle ja teknilliselle johtajalle Keijo Krögerille, joiden tietotaito ja osaaminen on ollut korvaamatonta työn suorittamisen kannalta. Kiitokset myös Pajamäki-yhtiöiden toimitusjohtaja Olavi Savolaiselle ja Mecliftin ostopäällikkö Heidi Savolaiselle.

Tampereella 5. Toukokuuta 2007

---

Mikko Virtanen

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
ALKUSANAT	
SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Tehtävän kuvaus .....	8
1.2 Oy Meclift Ltd. ....	8
1.3 Meclift-kurotustrukit /1/ .....	9
1.4 Vaatimukset .....	9
2 STANDARDIT .....	10
2.1 Trukkeja koskevia standardeja .....	10
2.2 Sähköiseen tasaukseen liittyvät standardit .....	10
3 ML3012RC KUROTTAJATRUKIN TUOTETIEDOT JA KONSTRUKTIO .....	12
3.1 Tuotetiedot .....	12
3.2 Konstruktio .....	13
4 PROPORTIONAALIJÄRJESTELMÄ .....	14
4.1 Järjestelmän yleiskuvaus .....	14
5 MOBILEHYDRAULIIKKA .....	15
5.1 Avoin- ja LS-järjestelmä .....	15
5.2 LVS-Kompensaattori .....	17
6 OHJAUS .....	18
6.1 Ohjelmoitava logiikka .....	18
6.2 I/O -yksikkö .....	20
6.3 CAN -väylä /7/ .....	20
6.4 Säädin .....	22
6.4 Liikeratojen päätyyntulo .....	24
7 LÄHTÖTILANNE JA ONGELMAT .....	25
7.1 Tasauksen toteutus ja ongelmat .....	25
7.1.1 Porrastusilmiö .....	26
7.1.2 Tasaus ylä- tai alamäessä .....	27
8 TASAUKSEN TOTEUTUS ORJASYLINTEREILLÄ .....	27
9 NYKYINEN TASAUSOHJELMA .....	30
10 JOHDATUS VALEORJATEORIAAN .....	31
10.1 Suunnittelu .....	31
10.2 Valeorjien idea .....	31
10.3 Kehitys .....	31
10.4 Geometria ja Dynamiikka .....	32
10.5 Valeorjien mitoitus .....	33
10.6 Kallistussylinterin venttiili .....	33
10.7 Feedback-signaali .....	34
11 VALEORJAA KÄYTTÄVÄ TASAUSOHJELMA .....	36
11.1 Ohjelman perusta .....	36
11.2 Ohjelman lohkojen selitykset .....	37
12 TESTAUS, ONGELMAT JA TULOKSET .....	40
12.1 Ohjelman testaus .....	40
12.2 Ongelmat .....	40

12.3 Työn tulokset .....	41
LÄHDELUETTELO .....	42
1 Trukkien tuoteperhe	
2 Trukin konstruktio	
3 Geometrinen tarkastelu	
4 Kulmanmuutoksen todistus	
5 Kulma-anturi	
6 Inklinometri	
7 Nykyinen tasausohjelma	
8 Uusi tasausohjelma	
9 Uusi tasaus - FEEDBACK	

## SYMBOLILUETTELO JA SANASTO

$\theta$	Puomin kulma
$\alpha$	Kallistuksen kulma haarukan ollessa kohtisuorassa
$\delta$	Trukin ja maatasen välinen kulma
$\beta$	Kallistuksen kulma
$\kappa$	Haarukan kulma suhteessa trukkiin
$\gamma$	Haarukan kulma trukin tasoon
$x_{\max}$	Kallistussylinterin iskunpituus
$d$	Kallistussylinterin männän halkaisija
$Q$	Kallistussylinterin venttiilin läpimenevä tilavuusvirta [l/min]
$p_{\text{diff}}$	Kallistussylinterin venttiilin paine-ero
$s_{\text{kall}}$	Kallistussylinterin nousuaika [s]
$s_{\text{nosto}}$	Nostosylinterin nousuaika [s]
$A_1$	Kallistussylinterin männän pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
$A_2$	Kallistussylinterin männän pinta-ala [m <sup>2</sup> ]
$v$	nopeus [m/s]
$r$	varren pituus [m]
-----	Punaisella värillä viitataan trukin puomiin
-----	Vihreällä värillä viitataan trukin haarukkaan
-----	Sinisellä värillä viitataan trukin maatasoon
Tilting	Kallistus
Boom	Puomi
Deadband	Kuollut alue
Hollow shaft	Holkkiakseli
PRG	Program, ohjelma
FB	Function Block, voi palauttaa useampia arvoja
Fuction	Funktio, palauttaa yhden arvon
Feedback	Takaisinkytkentä

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tehtävän kuvaus

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella Oy Meclift Ltd:n 30-tonnisen kurottajatrukin (ML 3012RC) haarukan tasausohjelmaan matemaattinen funktio, jota ohjelma noudattaa tasatessaan haarukkaa. Kyseinen tasausilmiö esiintyy sellaisissa laitteissa ja koneissa, joiden puomin liikerata on ympyrän kaaren muotoinen. Funktiota on lähdetty laatimaan dynamiikan laskulakeja ja oppeja soveltaen.

Täydellisen tasauksen toteuttaminen sähköisellä ohjauksella on ollut ongelmana kaivinkoneissa, henkilönostimissa ja kurottajatrukeissa jo useampia vuosia. Ongelmaa ovat yrittäneet ratkoa suuret yritykset, kuten Euroopan suurin maanrakennuskoneiden valmistaja JCB.

Hyvä tasaus pystytään suorittamaan mekaanishydraulisesti käyttäen ns. orjasyylintereitä, mutta sylintereiden aiheuttamat kustannukset ovat suuret ja ne vievät paljon tilaa. Toimiva sähköinen ohjaus tarkoittaisi kustannussäästöjä kurottavia laitteita valmistaville yrityksille.

Tasausohjelman laatiminen on vaatinut paljon yhteistyötä eri osa-aluiden ammattilaisten kanssa. Työssä on tarvittu koneenpiirustus-, konstruktio-, hydraulija sähkö- ja automaatiotekniikan hallintaa.

### 1.2 Oy Meclift Ltd.

Oy Meclift Ltd. on erikoistunut innovatiivisten, satamien ja teollisuuden tarpeisiin soveltuvien materiaalinkäsittelylaitteiden suunnitteluun ja markkinointiin. Mecliflin tavoitteena on parantaa maailman eri puolilla toimivien



rahdinkäsittelijöiden tuottavuutta ja tehokkuutta toimittamalla niiden käyttöön alan uusinta teknologiaa.

Teknologian lisäksi Meclift suunnittelee yrityksille parhaimmin soveltuvat materiaalienkäsittelylaitteet ja -menetelmät. Meclift auttaa asiakkaita myös kehittämään ja parantamaan logistisia järjestelmiään.

Mecliftin Tuotevalikoiman monipuolisuus, korkea suoritustaso, kompakti suunnittelu, turvallisuus ja automaatio tuovat useita etuja materiaalienkäsittelyyn: pienemmät koneinvestoinnit, tilansäästö, kuljettajan miellyttävät työolosuhteet ja tuottavampi toiminta. Mecliftin jatkuvan tutkimus- ja kehitystoiminnan, sekä myynti- ja yhteistyöverkoston kehittämisen ansiosta kestävä ja turvalliset huippuluokan tuotteet ja palvelut soveltuvat vaativimpiinkin käyttökohteisiin. /1/

### 1.3 Meclift-kurotustrukit /1/

Meclift-kurotustrukin kompakti koko ja muotoilu tarjoavat uuden lähestymistavan konttien lastaus- ja purkutoimintaan. Meclift-kurotustrukki voidaan ajaa sisään standardikonttiin, ja sen ulottuvuusominaisuus mahdollistaa työskentelyn myös olosuhteissa, joissa pystymastaisen trukin käyttö ei ole mahdollista. Niiden nostoalusta voidaan varustaa haarukoilla, puristimilla tai muilla tarvittavilla tartuntalaitteilla. 30-tonninen Meclift-kurotustrukki on osoittanut ylivoimaisuutensa kivien käsittelyssä laivoissa ja satamalaitureilla. Katso liitteestä 1, taulukko 1 ja kuva 1 Mecliftin tarjoamat tuotteet eri teollisuuden aloille.

### 1.4 Vaatimukset

Haarukassa saattaa olla erittäin painavaa ja arvokasta lastia ja vielä erittäin korkealla. Tämän takia haarukan tasauksen on oltava todella luotettavaa. Sähköisen tasauksen on täytettävä kaikki trukkien automaatioon ja ohjaukseen liittyvät standardit.

## 2 STANDARDIT

### 2.1 Trukkeja koskevia standardeja

Trukkien on täytettävä useita turvallisuuteen liittyviä standardeja. Yli ja alle 10 tonnia nostaville trukeille on määritelty erikseen niitä koskevat standardit. Yli 10 tonnia nostavien trukkien turvallisuutta käsittelee standardi SFS-EN 1551. /8/

Moottorikäyttöisiä kurotustrukkeja käsittelee standardi SFS-EN 1459. /8/

Erityisvaatimuksia polttomoottorikäyttöisten trukkien sähköisille voimansiirtojärjestelmille käsittelee standardi SFS-EN 1175-3. /8/

Jarrujen suorituskykyä ja materiaalien lujuuksia käsittelee standardi ISO 6292. Standardi on otettu käyttöön vuonna 1996. /8/

Lisäksi trukin haarukoille on määritelty useita standardeja. kuten SFS 3071, SFS 30712 ja SFS 4820. /8/

### 2.2 Sähköiseen tasaukseen liittyvät standardit

Ohelmointistandardeja käsittelee Standardi IEC 61131-3. IEC 61131-3-standardin määrittelemät viisi ohjelmointikieltä ovat: IL (Instruction List), LD (Ladder Diagram), FBD (Functional Block Diagram), ST (Structured Text) ja SFC (Sequential Function Chart, kuvauskieli eikä siis varsinainen ohjelmointikieli) /9/

Lisävaatimuksia trukkien automaattisille toiminnoille käsittelee standardi SFS-EN 1526. /8/

Tämä eurooppalainen standardi käsittelee trukkien, joissa käyttäjä seuraa mukana, automaattisten toimintojen ohjauslaitteita ja ohjausjärjestelmiä. Ohjausjärjestelmä on yleensä osa trukkia, mutta se voi myös käsittää trukin ulkopuolisia komponentteja, esim. automaattisen ohjauksen ohjaimet.

Tämä eurooppalainen standardi sisältää myös tekniset vaatimukset vaaratekijöiden vaikutusten minimoimiseksi, jotka voivat esiintyä trukin automaattitoimintoja käyttöönotettaessa, käytettäessä tai kunnossapidossa, trukin valmistajan tai hänen valtuuttamansa edustajan antamien ohjeiden mukaisesti. Lisäksi trukin tulisi tarvittaessa täyttää standardin EN 292 vaatimukset niiden vaaratekijöiden osalta, joita ei ole käsitelty tässä standardissa tai sovellettavissa viitestandardeissa.

Tämä eurooppalainen standardi ei sovellu turvalaitteille (esim. korkeudenrajoitin, nopeudenrajoitin), joita käytetään ohittamaan kuljettajan ohjaus.

Tämä eurooppalainen standardi käsittelee vaaratekijöitä, jotka liittyvät ohjauslaitteiden ja ohjausjärjestelmien seuraaviin automaattisiin toimintoihin: – ohjaus (suora mekaaninen ohjaus poissuljettuna) – liikkuminen – nosto- ja laskutoiminnot – kuormankäsittely, esim. pyörittäminen, kurottaminen, kääntäminen, kallistaminen, puristaminen – edellä olevien liikkeiden yhdistelmät tai peräkkäisyys. Tätä standardia tulee käyttää yhdessä yhden tai useamman siihen soveltuvan viitestandardin kanssa. /8/

### 3 ML3012RC KUROTTAJATRUKIN TUOTETIEDOT JA KONSTRUKTIO

#### 3.1 Tuotetiedot

ML 3012RC nostokyky on 30 tonnia, joka voidaan nostaa kuuden metrin korkeuteen. Nostokyvyltään ML3012RC on maailman suurin kurotustrukki (ks. taulukko 3.1). Trukissa on kapeat puomit, jotka voidaan kurottaa kontin sisään.

Poikkeuksellisen suuren ulottuvuutensa ansiosta ML 3012RC soveltuu raskaiden kuormien käsittelyyn ympäristöissä, joihin pystymastoisilla trukeilla ei pääse lainkaan. Teleskooppinen kaksoispuomi ja kohotettu ohjaamo antavat kuljettajalle erinomaisen näkyvyyden ja työskentelymukavuuden (ks. kuva 3.1). /1/.

**Taulukko 3.1 /1/**

Malli	Nostokyky	Kuorman painopiste	Nosto-korkeus	Kurotus	Akseli-väli	Leveys	Korkeus	Paino
	[tonnia]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
ML 3012RC	30	1200	6000	2250	4000	2850	3500	43000



**Kuva 3.1** kurottajatruckki

### 3.2 Konstruktio

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kurotustrukin ML3012RC erilaisia osia ja komponentteja. Liitteessä 2 on trukin konstruktiokuva, jossa on numeroituna trukin tärkeimmät osat ja komponentit. Alla osien nimet numeroituna ja toimintaselostus.

1. Nostosylinteri. Nostaa ja laskee puomia
2. Kallistussylinteri. Kallistaa haarukkaa sisään- ja ulospäin. Sylinterin korvat kiinni puomissa ja nostovaunussa.
3. Haarukka. Haarukka ja nostovaunu (4) yhdessä kantavat kuormaa.
4. Nostovaunu. Kiinni kohtisuorasti haarukassa.
5. Puomi. Nostaa laskee ja kurottaa kuormaa.
6. Kurotus(zoom)sylinteri. Kurottaa puomia.

Näiden kaikkien osien toiminnan ymmärtäminen yhdessä ja erikseen on tämän opinnäytetyön lukemisen kannalta tärkeää. Ks. kuva 3.2, josta hahmottuu ML3012RC-kurottajatrucki luonnollisena.



**Kuva 3.2** Kurottajatrucki ML3012RC

## 4 PROPORTIONAALIJÄRJESTELMÄ

### 4.1 Järjestelmän yleiskuvaus

Kurottajatrakin automaatiojärjestelmässä pyritään toteuttamaan aseman, liikkeen, nopeuden, voiman ja momentin hallittuja ja säädettyjä toimintoja. Voimien ja momenttien hallinta on oleellista esim. trukin maksimikuorman tunnistuksessa, ja hyvää liikkeiden ja nopeuden tunnistamista tarvitaan haarukan tasauksessa. Tässä työssä keskitytään haarukan tasaukseen.

Trukin puomia, kallistusta, kurotusta, hyttiä ja haarukoiden levitystä sekä sivuttaissiirtoa ohjataan proportionaaliventtiileillä, joille käyttäjä antaa tiedon ohjausvivun (joystick) välityksellä. Tämän kauko-ohjatun järjestelmän avulla hallitaan samanaikaisesti edellä mainittuja trukin sylinteritoimintoja. Ohjausvivussa on potentiometri, jonka läpimenevä jännite riippuu käyttäjän asettamasta vivun asennosta. Tämä jänniteviesti menee ohjelmoitavalle logiikalle, mistä tieto kulkeutuu I/O-yksikön kautta virtaviestinä proportionaaliventtiilien keloille. Venttiilistö saa käyttäjännitteensä trukin akusta ja se on 24 V.

Proportionaaliventtiilit ovat trukissa kaksiasteisia. Tämä tarkoittaa sitä, että proportionaaliventtiilin sähköllä ohjattu kara ei suoraan vaikuta venttiilin pääkaraan, vaan ohjaa pääkaralle menevää tilavuusvirtaa, joka säättää pääkaran asemaa.

Koska kurottajatrukissa olevat lastit voivat olla erittäin painavia ja korkealla, täytyy ohjauksen olla tarkkaa ja varmaa. 30ML12RC trukissa venttiilien ohjaamiseen käytetään IFM:n ohjelmoitavaa logiikkaa ja Exertuksen HCM2000-Ohjausyksikköä.

## 5 MOBILEHYDRAULIIKKA

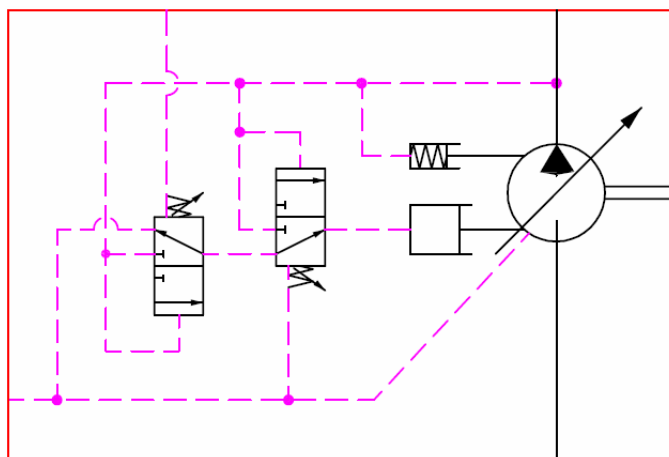
### 5.1 Avoin- ja LS-järjestelmä

#### Avoin järjestelmä

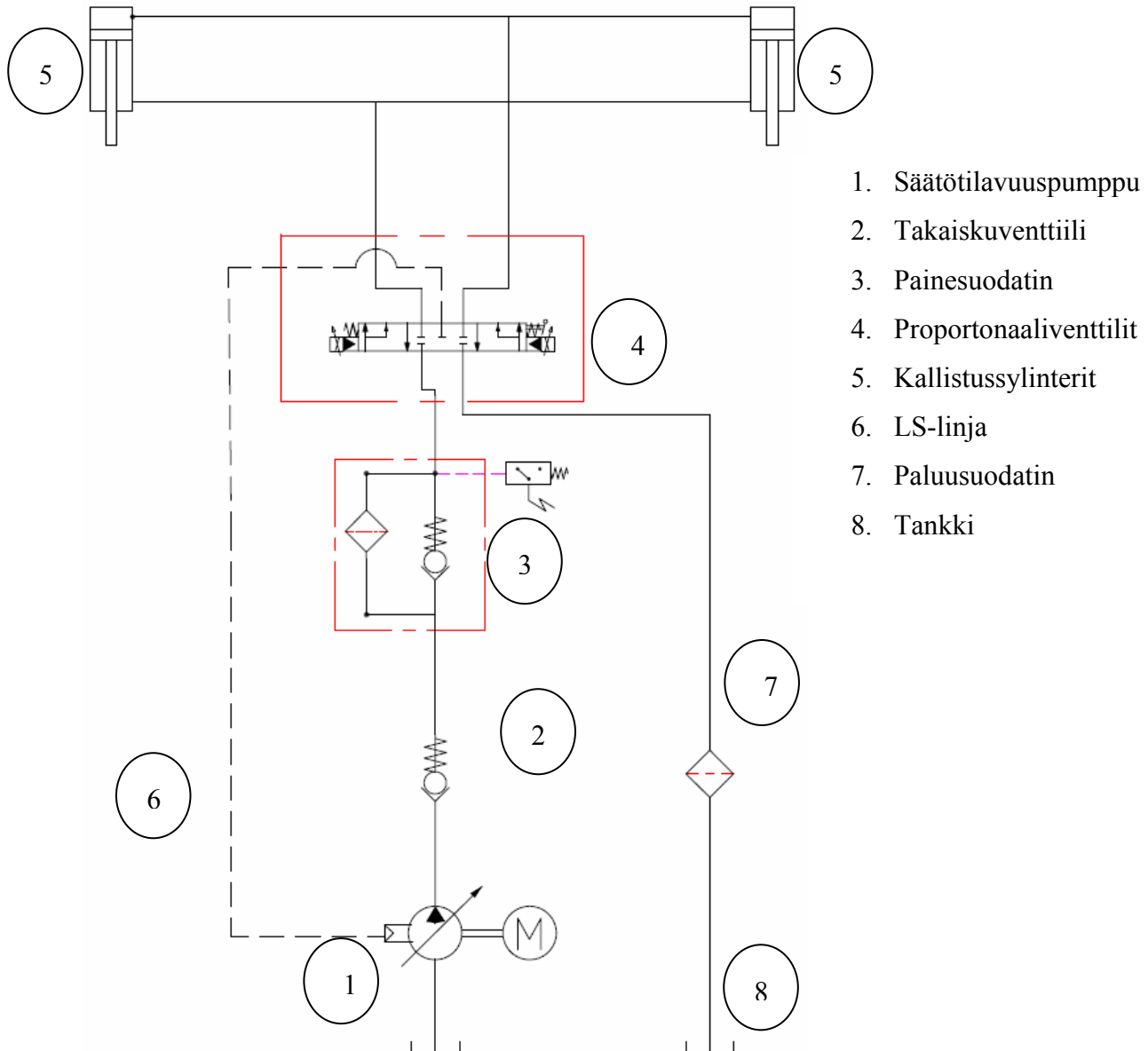
Trukissa käytetään avointa hydraulijärjestelmää. Trukissa on käytössä kaksi säätötilavuuspumppua, jotka ottavat tehonsa turboahdetulta Diesel-moottorilta. Pumput imevät säiliössä olevan öljyn ja syöttävät sen painepuolen kanaviensa kautta toimilaitteisiin ja työsylintereihin. Paluuöljy johdetaan säiliöön, josta se imetään taas uudelleen kiertoon. Tämä on työkonehydrauliikassa yleisesti käytetty järjestelmä. Kuva 5.2 on ML3012RC-trukin kallistussylintereiden hydraulikkakaaviosta, joka havainnollistaa järjestelmää. Kallistussylintereillä hallitaan haarukan tasaustoimintoa.

#### LS-järjestelmä

Trukissa käytetään kuormantuntevaa järjestelmää eli LS-järjestelmää (Load Sensing) säätötilavuuspumpulla. Toimilaitteen eli kuorman painetaso määrää pumpun paineen. Tämä tapahtuu säätötilavuuspumpujärjestelmissä kuormantuntokanavan ja LS-linjan avulla. Kuorman paine nostaa pumpun paineen säätimen jousen aiheuttaman paine-eron verran suuremmaksi /10/. Kuvassa 5.1 on pumppu ja sen säädin.



**Kuva 5.1** Kuormantunteva säädettävä aksiaalimäntäpumppu



**Kuva 5.2** Avoin järjestelmä. Trukin kallistussylintereiden hydraulikkakaavio

Säätötilavuuspumppu (1) imee öljyn säiliöstä ja pumppaa sen järjestelmään. Pumppu on tyypiltään säädettävä aksiaalimäntäpumppu. Pumppua säädetään käyttölevyn kulmaa muuttamalla. Öljy menee vastaventtiilin (2) kautta painesuodattimelle (3), joka on varustettu painekeytkimellä. Jos paine suodattimella kasvaa eli järjestelmä on tukossa, laukeaa painekeytkimet. Öljyn virtausta toimilaitteille säädetään proportionaaliventtiilillä (4). Proportionaaliventtiililtä öljy kulkeutuu kallistussylintereille (5), jotka ohjaavat kallistuksen kulmaa. Kuorman paine on kallistussylintereiden ja proportionaaliventtiilin yli oleva paine. Kuormanpaine johdetaan painekompensaattorilla varustetusta



Koska tilavuusvirta sylintereille pysyy riittävänä, voidaan suunnitella kallistussylinterien venttiilien ohjausta tasaukseen, huolimatta järjestelmän sylinteritoimintojen painetasoista.

## 6 OHJAUS

### 6.1 Ohjelmoitava logiikka

Trukissa käytetään IFM:n vapaasti ohjelmoitavaa logiikkaa (Programmable Logic Controller, PLC). Logiikka koostuu tulo- ja lähtömoduuleista (I/O), keskusyksiköstä ja muisteista. Logiikan liityntä prosessiin tapahtuu tulo- ja lähtömoduuleiden välityksellä. Trukin ohjelmoitavassa logiikassa itsessään on ainoastaan hytin tulo- ja lähtömoduulit. Venttiilien, antureiden ja kytkimien moduulit sijaitsevat Exertuksen HCM2000 I/O –yksikössä. Logiikka ja I/O-yksikkö kommunikoivat keskenään CAN –väylän avulla. (Lue tämä kappale ja kappaleet 6.2 I/O -yksikkö ja 6.3 CAN –väylä, katso sitten kuvaa 6.1 Ohjauksen periaatekaavio).

Keskusyksikkö (CPU) ohjelmoidaan siten, että se erilaisten loogisten operaatioiden avulla antaa tietyillä tulosignaaleilla oikeanlaisia lähtösignaaleja oikean aikaisesti. Keskusyksikkö hoitaa myös viestiliikennettä logiikan ja oheislaitteiden välillä.

Kirjoitetun ohjelman tallentaa ohjelmamuisti. Täältä löytyy kaikki informaatio, jolla trukin automatisoitu laitteisto toimii. Se voidaan jakaa kahteen tyyppiin: tyhjenevään luku- ja kirjoituskelpoiseen muistiin, sekä pysyvään lukumuistiin, jonne yleensä tallennetaan varsinainen logiikkaohjelma. Muistien koot vaihtelevat pienlogiikoiden 0,25 kilon muisteista suurten järjestelmien 256 kilon muisteihin. /9/

#### Logiikan ohjelmointi

Ohjelmoitava logiikka ohjelmoidaan PC:llä. IFM on tehnyt logiikan ohjelmointiin sovelluksen CodeSys 2.3, jolla ohjelmointi suoritetaan. Logiikan ohjelma tehdään

valmiiksi PC:llä ja sen toimivuutta voidaan simuloida. Valmis ohjelma kopioidaan PC:ltä logiikalle käyttäen IFM:n yhdyskaapelia.

### Ohjelmointikielien

1. IL – käskylista on tekstipohjainen ohjelmointikieli. Se koostuu peräkkäisistä, omilla riveillään olevista käskyistä. Käsky taas koostuu operaattorista, jonka jäljessä on yksi tai useampi operandi. Ohjelman suorituserä on yksinkertaisesti ylhäältä alas, josta voidaan tosin poiketa hyppykäskyin.

IL:ää käytetään kuitenkin nykyään hyvin vähän, koska sillä ohjelmointi on työlästä.

2. LD – tikapuukaavio muistuttaa paljon teollisuuden sähköpiirikaaviota. Sen vasen reuna vastaa piirikaavion virtakiskoa ja oikea reuna nollakiskoa.

Ohjelma muodostuu käyttämällä avautuvia ja sulkeutuvia relekoskettimia siten, että kontaktorin käämin saadessa jännitteen kontaktori sulkeutuu ja kytkee toimilaitteen päälle. Sen suoritus tapahtuu ylhäältä alas, kokonaisuus kerrallaan.

3. FBD – toimilohkokaavio ja sen toimilohko-ohjelma koostuu toisiinsa liitetyistä toimintoja suorittavista funktioiden ja funktiolohkojen instansseista. Se on parhaimmillaan selkeä ja helposti ymmärrettävä. Trukin ohjelma on pääosin tehty FBD:llä.

4. ST – rakenteellinen teksti on korkean tason ja automaatio-ohjelmointiin kehitetty kieli. Ohjelmoijalla on käytössään mm. ehtolauseita ja silmukoita. Lisäksi käytössä ovat myös funktiot ja toimilohkot, kuten muissakin IEC-kielissä. ST muistuttaa paljon vanhaa Basic-ohjelmointia. Trukin ohjelman laatimisessa on käytetty paljon ST:tä.

5. SFC – sekvenssifunktiokaavio ei ole varsinainen kieli, vaan sillä kuvataan ohjelman sekventiaalista käyttäytymistä. Sekvenssifunktiokaavio koostuu sekvensseistä eli askeleista ja niiden välisistä siirtymisistä ja siirtymäehdoista sekä ehdollisista ja rinnakkaisista haarautumisista. Ohjelman ylätaso

ohjelmoidaan SFC:llä, mutta askelien sisältö yleensä jollain muulla IEC-  
kielellä. Tämän selkeä etu muihin kieliin on sen selkeys pääteltäessä ohjelman  
tila, mutta toisaalta se on vaikeasti muokattavissa prosessiin, joka ei ole  
luonnollisesti sekvenssinen. /9/

## 6.2 I/O -yksikkö

ML3012RC trukki käyttää I/O-yksikkönään Exertuksen HCM2000 -Hybrid  
Controller Moduulia. HCM2000 on älykäs I/O-yksikkö, jossa on laajat  
ominaisuudet. Moduulissa on sisäänrakennettuja valmiita ohjausfunktioita, joita  
voidaan komentaa CAN-väylän kautta.. HCM2000 on CANopen-yhteensopiva ja  
sitien helposti liitettävissä erilaisiin koneenohjausjärjestelmiin.

HCM2000-moduuliin voidaan optiona liittää PLEX-ohjelmalaajennus (Program  
Logic Extension). PLEXin avulla voidaan toteuttaa ohjelmia, joissa on HCM2000  
peruskonfigurointeja monipuolisempia loogisia toimintoja ja ohjaussignaalien  
skaalauksia. /6/

## 6.3 CAN –väylä /7/

CAN-väylä (Controller Area Network) on ajoneuvojen ja koneiden sisäinen  
paikallisväylä. CAN-väylä on periaatteessa prosessoriverkko, jonka tehtävänä on  
tehdä järjestelmän tilamuuttujat toisilleen näkyviksi, jotta järjestelmän  
rinnakkainen ohjaus olisi mahdollista.

CAN väylän toimintaa voisi verrata ilmoitustauluun, johon kaikki voivat kiinnittää  
ilmoituksia ja jossa ne ovat kaikkien nähtävillä. Se joka jotain tietoa tarvitsee,  
näkee sen ilmoitustaululta. CAN väylän toimintaperiaatteen mukaisesti kukin  
väylälle liitetty toimilaite siis lähettää tietoa broadcasting-tyyppisesti väylälle, jota  
kaikki ”kuuntelevat”. Se toimilaite (tai useammat toimilaitteet), jolle viesti on  
tarkoitettu ottaa viestin vastaan ja käsittelee sen. Järjestelmän ylläpitoon ja  
diagnostiikkaan liittyvään tiedonsiirtoon käytetään myös nk. point-to-point

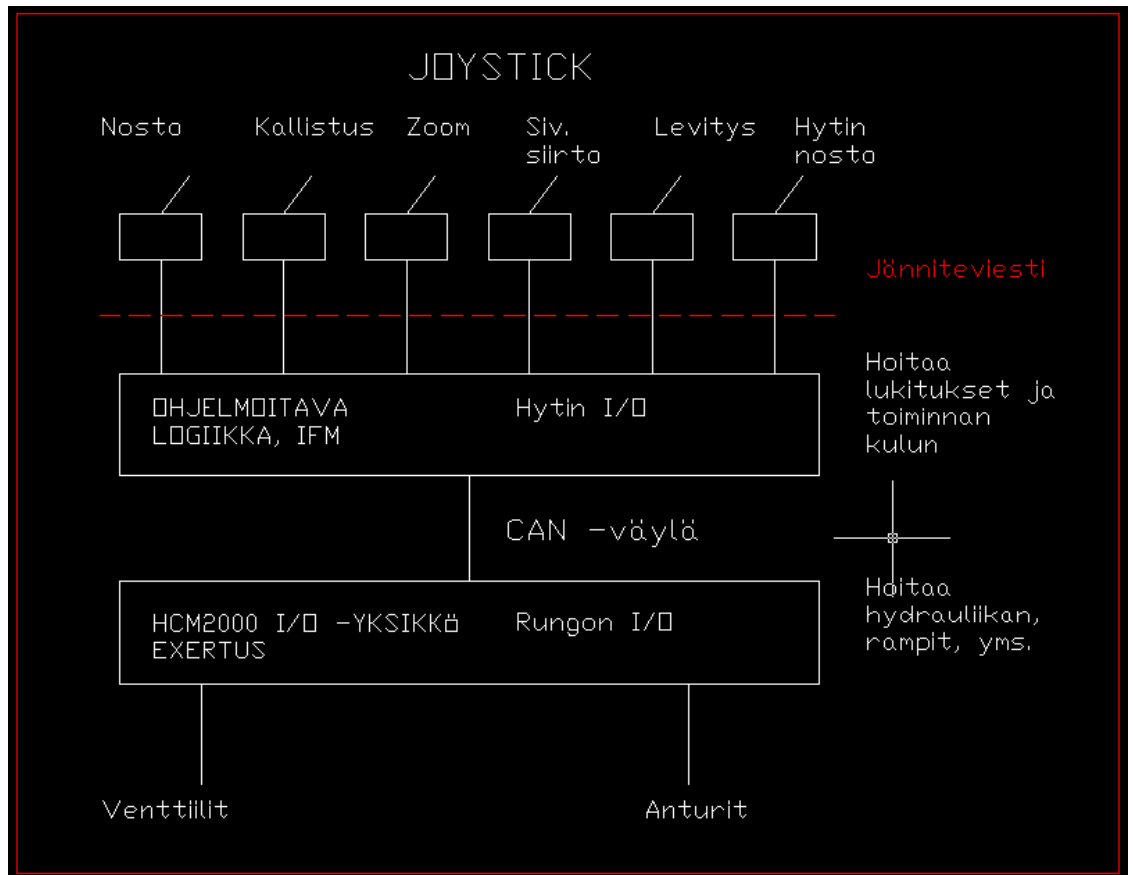
yhteyksiä.

CAN-väylän standardiin sisältyy sisäänrakennetut virheenkorjauksen ja priorisoinnin menetelmät, jotka varmistavat kommunikoinnin onnistumisen myös kriittisissä sovelluksissa.

CAN-väylän hyödyntäminen on helppoa kaiken kokoisissa koneissa. Väylän pituus voi maksimitiedonsiirtonopeudella olla jopa 40m ja alemmilla nopeuksilla väylän pituutta voidaan kasvattaa reilusti.

CAN-väylä on käytössä koeteltua kommunikointiteknologiaa, jonka etuina ovat avoimuus, pitkälle viety standardointi ja helppo käytettävyys. Standardoinnin etuna on, että markkinoilta on yleisesti saatavilla runsaasti erilaisia toimilaitteita jotka voidaan liittää järjestelmään suoraan. Esim. käytännössä kaikki työkonedieselit toimivat nykyisin väyläohjatusti, eli valmistajat ovat integroineet CAN SAE J1939 protokollan moottorin ohjausyksikköön.

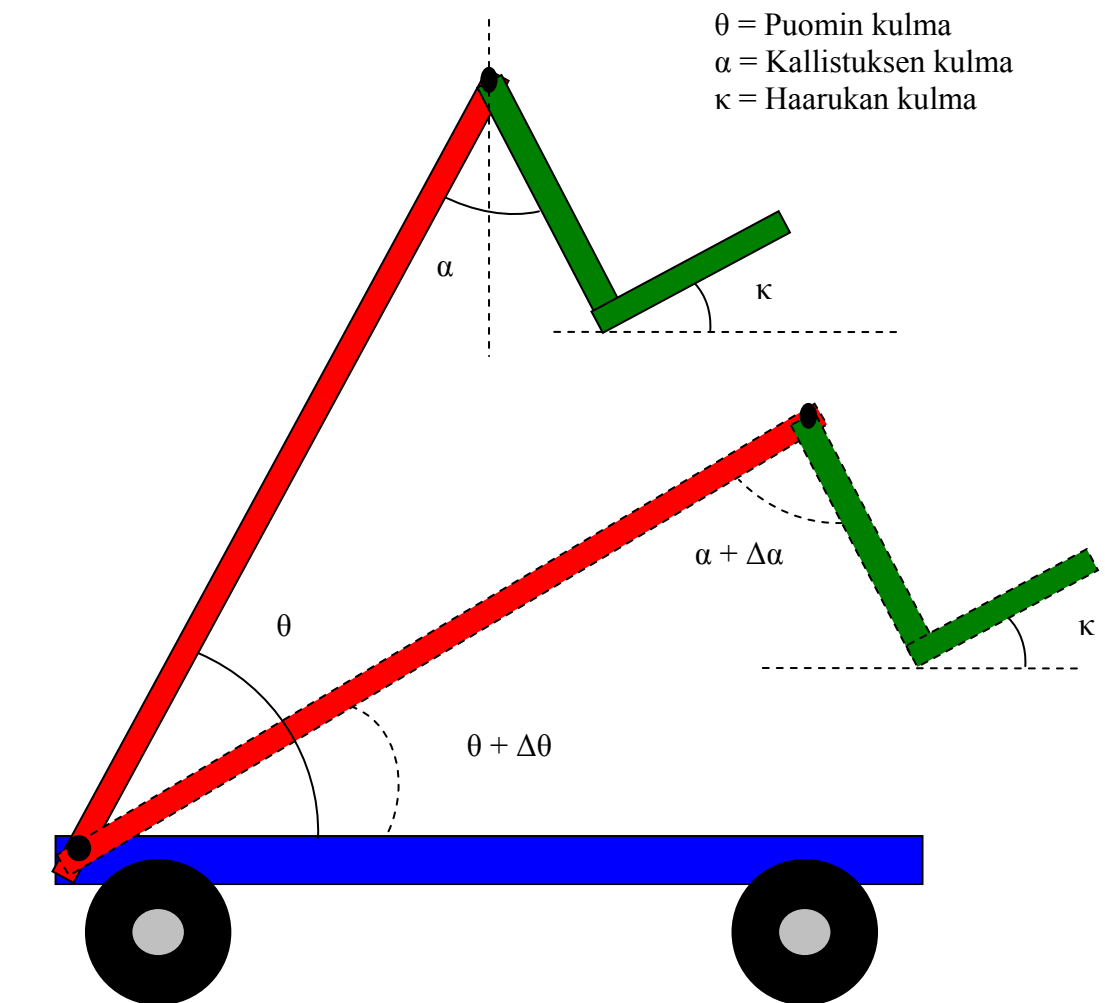
CAN-väylällä voidaan käyttää myös jotain monista ylemmän kerroksen protokollista tiedonsiirron hallitsemiseksi. Yksi yleisesti käytetty on CANopen protokolla, jota trukissakin käytetään. Se on moderni, yleiskäyttöinen ylemmän kerroksen kommunikointiprotokolla, jonka lähtökohtana on alun perin ollut anturien, toimilaitteiden ja ohjelmoitavien logiikoiden (PLC) tarpeet, mutta on nykyisin käytössä monissa laajemmissa sovelluskohteissa (mm. bussit ja trukit). CANopen on avoin protokolla, jota tukee laaja valikoima erilaisia toimilaitteita ja kehitysympäristöjä.



Kuva 6.1 Ohjauksen periaatekaavio

#### 6.4 Säädin

Kurottajatrukin ML 3012RC haarukan tasauksenhallinnan ohjelmassa käytetään tällä hetkellä P-säätäjää. P-säätömuoto on perussäätömuoto. Siinä muutos säätöpoikkeamasta aiheuttaa poikkeamaan verrannollisen muutoksen ohjaussignaaliin. Proportionaalitekniikkaan liittyvät säätimet pohjautuvat kaikki joko puhtaaseen P-säätimeen tai I- tai D-säätimellä lisättyyn säätöön. Tarkastellaan seuraavaksi haarukan nykyisessä tasauksessa käytettävän säätäjän toimintaa ohjelmallisella takaisinkytkennällä.

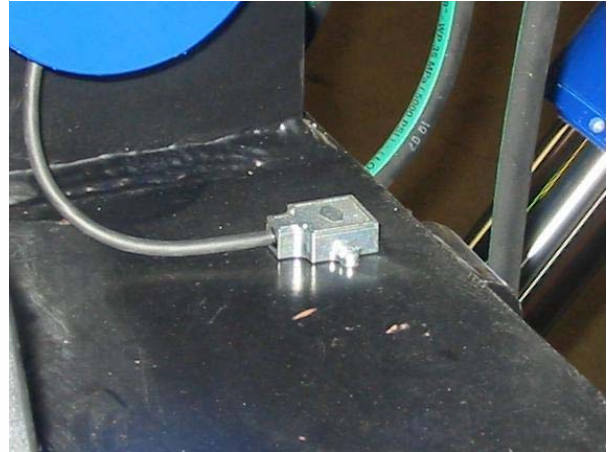


**Kuva 6.2** Kallistuskulman muutos puomin kulman funktiona

Tasauksen ideana on pitää haarukan kulma trukin tasoon ( Kuva 6.2,  $\kappa$ -kulma ) nähden vakiona huolimatta puomin asemasta. Puomin asematieto saadaan kulma-anturilta, joka sijaitsee puomin juuressa ( Kuva 6.3 ). Kulma-anturin toimintaa selittää Liite 5. Haarukan kulmatieto saadaan haarukkaan sijoitetusta inklinometrillä ( Kuva 6.4 ). Inklinometri on sähköinen vatupassi, joka antaa kulmatiedon aina maatasoon nähden. Inklinometrin toimintaa ja arvoja selvittää liite 6.



**Kuva 6.3** Kulma-anturi /2/



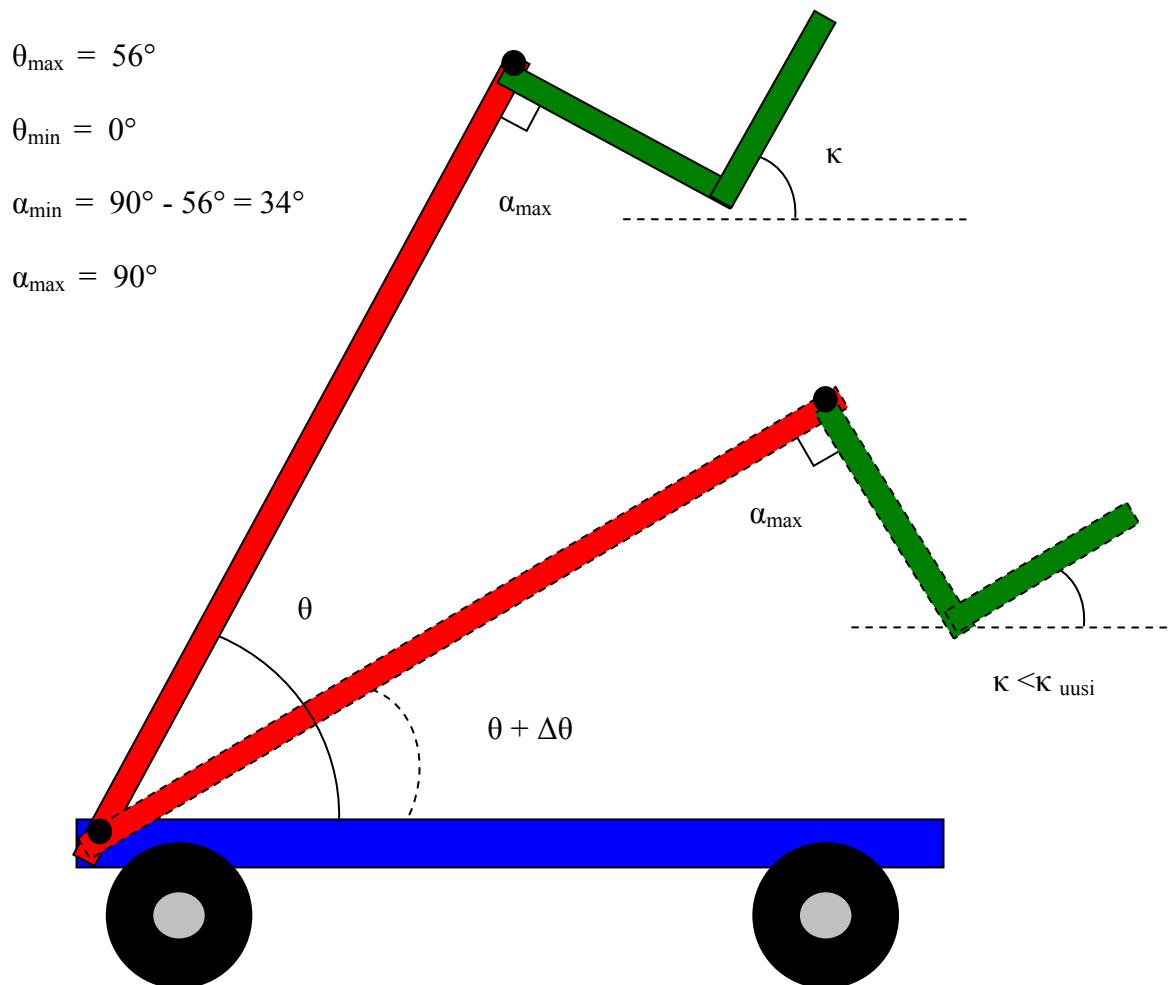
**Kuva 6.4** Inklinometri

Kuvasta 6.2 näemme, että puomin kulman ( $\theta$  – kulma) muuttuessa, on kallistuksen kulman ( $\alpha$  - kulma) muututtava, jotta  $\kappa$  – kulma pysyisi vakiona. Liitteessä 4 todistetaan, että puomin kulman muutos on yhtä suuri, kuin kallistuksen kulman muutos, mutta vastakkaissuuntainen.

Kun puomin kulma muuttuu, muuttuu myös haarukan kulma. Haarukan kulmatieto tulee takaisinkytkentäsignaalina eroelimelle, joka vähennetään ohjearovosta. Näin syntyy erosuure, jota P-säätäjä korjaa, kunnes erosuure on nolla. P-säätäjän korjausliike tarkoittaa siis kallistuksen ( $\alpha$ -kulma) korjausta. Kallistuksen kulmaa ohjataan kallistussylinterillä.

#### 6.4 Liikeratojen päätyyntulo

On selvää, että haarukan liikerata ei riitä tasaukseen, jos kallistusta halutaan suureksi puomin ollessa ylhäällä. Tällaisessa tapauksessa automaation ei tarvitse tunnistaa liikeradan loppumista, vaan automaatio toimii periaatteella ”tasataan niin hyvin, kuin pystytään”. Kuva 6.5 havainnollistaa, että  $\kappa$  ei pysy vakiona, jos kallistuskulma on suuri puomin ollessa ylhäällä.



**Kuva 6.5** Liikeradan loppuminen

Sylinterin pituus ei voi määräänsä enempää muuttua. Tällainen tilanne käytännössä on harvinainen, koska trukin kuljettaja haluaa tuskin viedä lastia niin jyrkässä kulmassa.

## 7 LÄHTÖTILANNE JA ONGELMAT

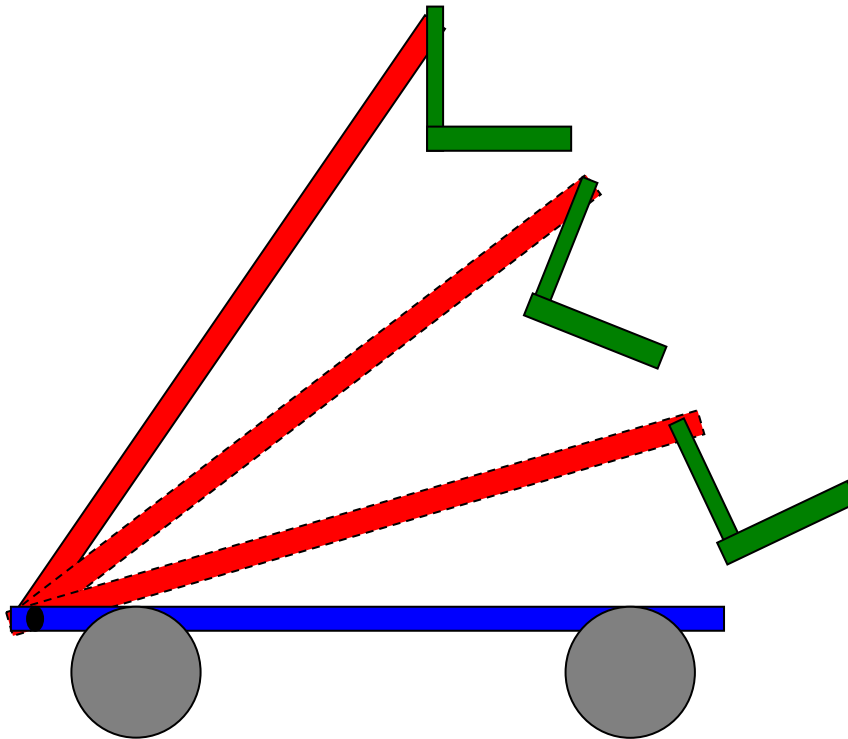
### 7.1 Tasauksen toteutus ja ongelmat



Tasaus suoritetaan tällä hetkellä käyttäen puomin kulma-anturia ja haarukassa sijaitsevaa inklinometriä, mutta ongelmat ovat seuraavat.

1. Haarukka ei pysy mukana puomin nopeilla ja hitailla liikkeillä. Haarukan tasauksessa tapahtuu nk. porrastusilmiö (kuva 5.1).
2. Tasaus ei toimi, jos puomia liikutellaan ylä- tai alamäessä.

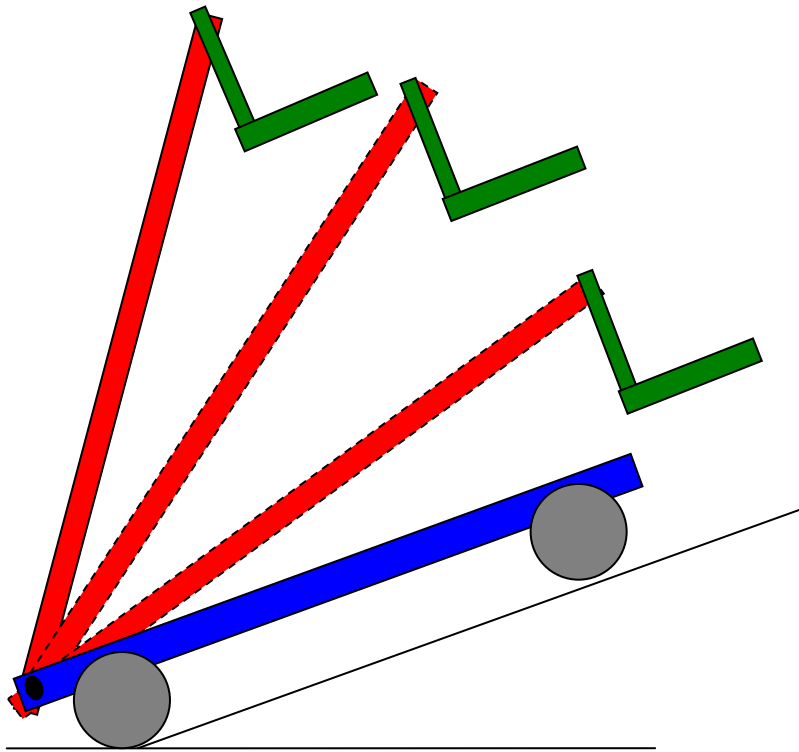
### 7.1.1 Porrastusilmiö



**Kuva 7.1** Porrastusilmiö

Kuvassa 7.1 puomia lähdetään liikuttamaan nopealla vauhdilla ylhäältä alas. Haarukan tasaus ei pysy kunnolla mukana ja tulee tärysten alas. Sama ilmiö tapahtuu liikuttaessa puomia erittäin hitaalla nopeudella.

### 7.1.2 Tasaus ylä- tai alamäessä



**Kuva 7.2** Tasaus ylämäessä

Tällä hetkellä trukin tasausohjelma ei ota huomioon trukin tason kulmaa, joten tasaus toimii ainoastaan tasaisella maalla. Kuva 7.2 osoittaa, kuinka tasauksen pitäisi toimia ylämäessä. Trukin kulma maatasoon nähden voidaan ottaa huomioon lisäämällä samanlainen inklinometri trukin tasoon, kuin nostovaunussa on.

## 8 TASAUKSEN TOTEUTUS ORJASYLINTEREILLÄ

Johdannossa mainittiin, että hyvä tasaus pystytään toteuttamaan ns. orjasyylintereillä. Jos nämä sylinterit on asennettu trukin konstruktion oikein, ei haarukoiden tasaukseen liity ongelmia. Syy, minkä takia trukkiin ML3012RC ei orjasyylintereitä voida asentaa, on tilan puute. Trukin ideana on pystyä kurottamaan

konttiin. Jos orjasyylinterit asennettaisiin, jouduttaisiin puomin paikkaa nostamaan sillä seurauksin, että kurotus konttiin ei enään onnistuisi.

Orjasyylinterillä ei ole muuta tehtävää, kuin tasata haarukkaa, kun puomia liikutetaan. Orja- ja kallistusyylinterit ovat putkitettu niin, että kun orjasyylinteri liikkuu matkan  $x$ , niin kallistusyylinteri liikkuu saman matkan  $x$ . Syyllinteriden liikkeet vaan ovat vastakkaiset, eli kun kallistusyylinteri on täysin kiinni, niin orjasyylinteri on täysin auki ja toisinpäin. Orjasyylinteri on täysin identtinen kallistusyylinterin kanssa. Orjasyylinterit sijoitetaan yleensä nostosyyllinteriden taakse (kuva 7.1 ja kuva 7.2). Kallistusyylinteriä voidaan toki ohjata ilman, että se vaikuttaa mitenkään orjasyylintereihin. Kuvassa 7.3 näkyy kallistusyylinterit. Kallistusyylinterit ovat kiinni nostovaunussa ja puomissa.



**Kuva 8.1** Orja- ja nostosyyllinterit läheltä

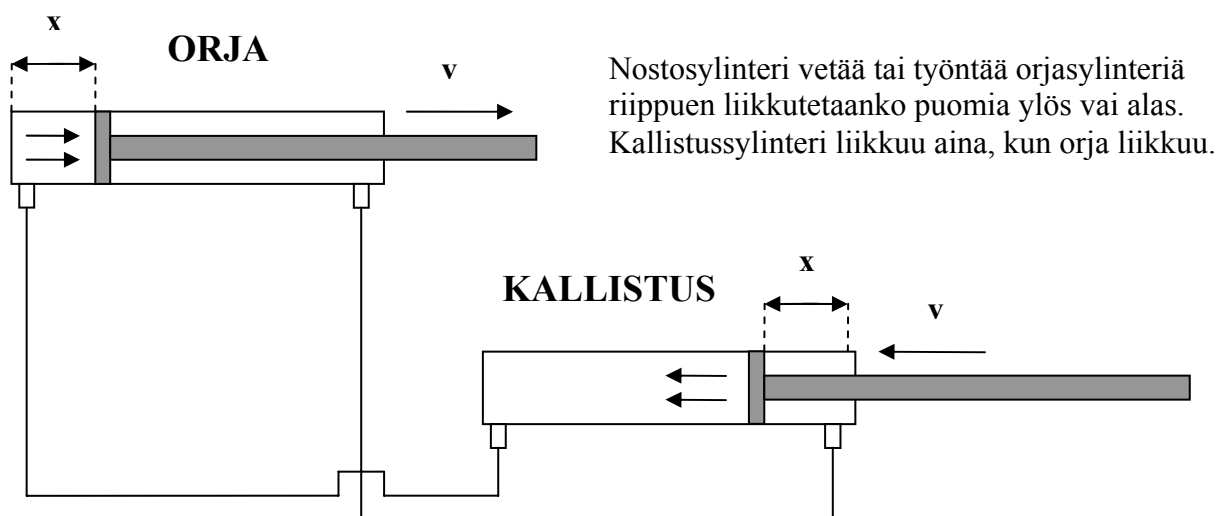


**Kuva 8.2** Orja- ja nostosyyllinterit kaukaa



**Kuva 8.3** Kallistusylinterit

Orjasyylinterit liikkuvat täysin nostosylintereiden armoilla. Kun nostosylinteri vetää tai työntää orjasyylinteriä, sama tilavuusvirta  $Q$  siirtyy orjasyylintereiltä kallistussylintereille. Kuva 7.4 selvittää sylintereiden riippuvuutta. + ja – liikkeet ovat putkitettu yhteen.



**Kuva 8.4** Orja- ja kallistussylinterien riippuvuus

## LÄHDELUETTELO

### Sähköiset lähteet

- 1 Oy Meclift Ltd. [www-sivu]. [Viitattu 9.4.2007] . Saatavissa:  
<http://www.meclift.fi/>
- 2 Novotechnik Oy. [www-sivu]. [Viitattu 16.4.2007] Saatavissa:  
<http://www.novotechnik.de>
- 3 Bucher Hydraulics. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 22.4.2007]. Ei saatavissa.
- 4 Bucher Hydraulics. [Powerpoint-dokumentti]. [Viitattu 23.4.2007]. Ei saatavissa.
- 5 Oy Meclift Ltd. [Cad-tiedosto]. [Viitattu 23.4.2007]. Ei saatavissa.
- 6 Exertus Oy. [www-sivu]. [Viitattu 3.5.2007]. Saatavissa: <http://www.exertus.fi>
- 7 Epec Oy. [www-sivu]. [Viitattu 3.5.2007]. <http://www.epec.fi/61.html>
- 8 SFS-Standardisointi. [www-sivu]. [viitattu 15.10.2006] Saatavissa:  
<http://www.sfs.fi/luettelo/sfs.php?term=trukit>
- 9 TKK. [www-sivu]. [Viitattu 4.5.2007] Saatavissa:  
[http://www.tkk.fi/Yksikot/Konepaja/Opinnot/Kurssiesitteet/Tuotantoautomaatio/v2004/H\\_1\\_Ohjelmoitavat\\_logiikat.pdf](http://www.tkk.fi/Yksikot/Konepaja/Opinnot/Kurssiesitteet/Tuotantoautomaatio/v2004/H_1_Ohjelmoitavat_logiikat.pdf)
- 10 Hydraulijärjestelmien luentopruju, Mobilehydrauliikka. s.19-20. [PDF-dokumentti]. [Viitattu 27.4]. Saatavissa: TAMK:n serveri, Opetusmateriaali, Kari Järvisen kansio.