



# **SIILOTYKIN LAUKAISUPARAMETRIEN TUTKIMINEN**

Janne Isomettä

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2013  
Kone- ja tuotantotekniikan  
koulutusohjelma  
Kone- ja laiteautomaation  
suuntautumisvaihtoehto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Kone- ja laiteautomaation suuntautumisvaihtoehto

JANNE ISOMETTÄ:  
Siilotykin laukaisuparametrien tutkiminen

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 17 sivua  
Marraskuu 2013

---

Pneuplan Oy:ssä valmistetaan erikokoisia siilotykyjä muun muassa tehostamaan voimalaitosten materiaalinkäsittelyä. Siilotykkien laukaisujärjestelmän ominaisuuksia haluttiin tutkia ja saada selville asioita, joilla saataisiin parannettua tykkien käyttötehokkuutta ja markkinointia. Tykkien ominaisuuksia ei ole aikaisemmin tutkittu, koska siihen tarvittavia laitteita ei ole ollut. Tutkimusta varten piti rakentaa laitteisto, jolla voidaan tutkia edellä mainittuja asioita. Testimatriisiin kuului tilavuudeltaan 20 litran siilotykki, jonka laukaisujärjestelmää säädettiin ja tehtiin mittauksia. Käytännön kokeiluja varten suunniteltiin ja rakennettiin tykille ohjauslaite ja avonainen testisäiliö, jonka avulla saatiin tilaisuus tarkkailla tykin aiheuttamia impulsseja.

Tutkimuksen aikana selvisi tykin käyttöön liittyen monia asioita, kuten laukausten aiheuttamien painenvaihteluiden luonne tykin säiliössä, oikeat parametrit laukaisujärjestelmän säätämiseksi, laukaisujärjestelmän kulumiseen vaikuttavat tekijät, paineensäätimen vaikutus tykin ominaisuuksiin ja muuta hyödyllistä tietoa tykin käyttöön liittyen. Lisäksi saatiin kuvattua edustavaa aineistoa tykkien markkinoinnin parantamiseksi.

Tutkimusta varten rakennettu laitteisto toimi halutulla tavalla ja laukaisujärjestelmän parametreja oli helppo säätää. Myöhemmin laitteistoa tullaan todennäköisesti käyttämään tykkien säätämiseen myös asennuskohteissa. Laitteiston painemittausta voisi vielä kehittää vaihtamalla pienlogiikka uudempaan versioon, jossa on datankeruu-toiminto.

Yrityksen toivomuksesta salassa pidettiin tutkimuksessa käytetyn siilotykin tekninen piirros sekä muuta yrityksen materiaalia.

---

Asiasanat: siilotykki, automaatio, ohjelmoitava rele, paineilma, siilo, painelaite.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and production engineering  
Machine- and device automation

JANNE ISOMETTÄ:  
Research of Silo Cannon Tripping Parameters

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 17 pages  
November 2013

---

Pneuplan Ltd manufactures different size of silo cannons, inter alia to increase the material handling in power plants. Capabilities of silo cannon tripping system wanted to set under investigation to find out the things to improve the usage efficiency of cannons and their marketing. Cannon properties have not been previously investigated because the equipment needed did not exist. For the research had to build an apparatus to explore the above mentioned issues. The study was performed by a volume of 20 liters silo cannon, which tripping system was adjusted, and measurements were made with. For practical experiments needed to design and build a silo cannon control device and an open test tank, which gave the opportunity to observe impulses caused by the cannon.

During the study revealed a number of things about the cannon's usage, such as nature of pressure fluctuations in the cannon tank caused by shots, correct parameters for adjusting the tripping system, characters affecting the tripping system wear, pressure regulator effect for the cannon features and other useful information related to cannon usage. In addition, photographs were taken to get representative media to improve cannons marketing.

Apparatus built for research works properly and tripping system parameters were handy to adjust. Most likely, the equipment will be used to adjust cannons on installation sites in future. System pressure measurement could still be improved by upgrading the logic later version of it, which has a data gathering function.

The company's wish was to keep the silo cannon technical drawing and other company materials confidential.

---

Key words: air cannon, automation, programmable relay, compressed air, silo, pressure device.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	PNEUPLAN OY .....	8
	2.1 Yritysesittely .....	8
	2.1.1 Paineilmatykki PNEUGUN .....	8
3	TUTKIMUSSUUNNITELMA .....	10
	3.1 Laitteet .....	10
	3.2 Testimatriisi .....	11
	3.3 Kustannukset.....	12
	3.4 Tavoitteet .....	13
	3.5 Aikataulu.....	13
	3.6 Työturvallisuus .....	13
4	TUTKIMUKSEN TEORIAA.....	16
	4.1 Siilojen purkuongelmat .....	16
	4.2 Siilotykin toiminta .....	18
	4.3 Säiliön lujuuslaskelmat .....	19
	4.4 Logiikka .....	22
	4.4.1 Digitaaliset tulot ja lähdöt .....	23
	4.4.2 Analogiset tulot ja lähdöt .....	23
	4.5 Logiikkaohjelmointi.....	23
	4.6 Syöttökaapelin ja suojalaitteiden mitoitus .....	24
5	TESTAUSLAITTEISTON RAKENNUS .....	29
	5.1 Säiliön suunnittelu ja valmistus .....	29
	5.2 Tykkien vanha ohjauslaite .....	31
	5.3 Uuden ohjauslaitteen tekeminen .....	31
	5.3.1 Ohjauskaappi.....	33
	5.3.2 Kauko-ohjain.....	34
	5.3.3 Logiikkaohjelma .....	36
	5.4 Paineen mittaus .....	36
	5.5 Signaalinkäsittely.....	37
6	KOKEET JA TULOKSET .....	40
	6.1 Paineenvaihteluiden tutkiminen.....	40
	6.2 Nopeimman laukaisutaajuuden selvittäminen .....	42
	6.3 Magneettiventtiilin aukioloajan vaikutus kalvon värinään .....	44
	6.4 Aineiston kuvaus markkinointia varten .....	46
7	TULOSTEN ANALYSOINTI .....	47
8	LOPPUPOHDINTA .....	49

LÄHTEET .....	50
LIITTEET .....	52
Liite 1. Siilotykin PG4 tekninen piirros (Pneuplan Oy) (Salattu) .....	52
Liite 2. Säiliön valmistuspiirustus .....	53
Liite 3. Säiliön lujuuslaskelmat standardin EN 13445:2009 mukaan .....	54
Liite 4. Tykin ohjauslaitteiston liitântäkaavio .....	57
Liite 5. Tykin ohjauslaitteiston piirikaavio .....	58
Liite 6. Tykin ohjauksen logiikkakaavio ja muuttujalista .....	59
Liite 7. Ohjauslaitteiston osalista .....	65
Liite 8. Painemittauksen kuvaajat .....	67

**LYHENTEET JA TERMIT**

DC	Tasavirta ( <i>Direct current</i> )
AC	Vaihtovirta ( <i>Alternating current</i> )
HI	Jänniteviestin korkea jännitetaso, nouseva reuna ( <i>High</i> )
LO	Jänniteviestin matala jännitetaso, laskeva reuna ( <i>Low</i> )
I/O	Yleisnimitys logiikan tulo- ja lähtöpiireistä ( <i>Input/Output</i> )
A/D	Analogia-digitaalimuunnos
PS	Painelaitteen suurin sallittu käyttöpaine
V	Tilavuus
W	Virtausnopeus
LAD	Relekaavioihin perustuva ohjelmointikieli ( <i>Ladder Diagram</i> )
FBD	Toimintokaavioihin perustuva ohjelmointikieli ( <i>Functional Block Diagram</i> )
MAG	Hitsausmenetelmä ( <i>Metal active gas welding</i> )
LED	valodiodi ( <i>Light-Emitting Diode</i> )
DIN	Keskieurooppalainen teollisuustavaroiden valmistusta määrittävä standardi ( <i>Deutsches Institut für Normung</i> )
DN	Putken sisähalkaisijan määrittävä standardi ( <i>Deutsches Normung</i> )
IP	Kotelointiluokka
FAT	Automaation tehdastestaus ( <i>Factory Acceptance Test</i> )
PVC	Polyvinyylikloridi, johtimen eriste ( <i>Poly vinyl chloride</i> )

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaisen voimalaitoksen kattilahuoneesta löytyy lukuisia siloja ja säiliöitä, joita käytetään materiaalien varastointiin. Voimalaitosympäristössä siloja käytetään rae- ja jauhemaisten aineiden, kuten hiekan, hiilen ja kalkin varastointiin. Myös maataloudessa käytetään materiaalien varastointiin siloja, yleisimpänä viljasiilot. Siilojen rakenteiden suunnittelu ei kuitenkaan aina ole niin onnistunut, että materiaali kulkisi ilman ongelmia. Kuivana moni aine kulkee siilon pinnoilla ja putkistoissa helposti, mutta hieman kosteana sama aine voi olla erittäin altis aiheuttamaan tukoksia. Erilaisista aineista muodostuu erityyppisiä tukoksia siilon purkukartion ja seinämien pinnoille siinä vaiheessa kun ainetta aletaan purkaa siilosta alakautta. Nämä tukokset haittaavat ja pahimmassa tapauksessa estävät aineen virtauksen pois siilosta. Jatkuvatoimisessa prosessissa tämä voi aiheuttaa tuotantokatkoksen, joka voi aiheuttaa mittavat kustannukset.

Tukoksien poistoon on kehitelty laite joka kohdistaa voimakkaan paineimpulssin tukoksen alueelle. Kansankielellä kyseistä laitetta kutsutaan siilotykkiksi ja ensimmäiset tykit on kehitetty aikakaudella, jolloin kattilalaitokset alkoivat yleistyä voimantuotannossa. Tässä opinnäytetyössä haluttiin tutkia asiakasyrityksessä valmistettavien tykkien toimintaa ja ominaisuuksia, jotta tykkejä osattaisiin käyttää tehokkaasti tukosten poistossa.

Tutkimuksen testimatriisiin kuului tilavuudeltaan 20 litran siilotykki, jonka laukaisujärjestelmää säädettiin ja tehtiin mittauksia. Käytännön kokeiluja varten piti suunnitella ja rakentaa tykille ohjauslaite ja avonainen testisäiliö, jonka avulla saatiin tilaisuus tarkkailla tykin aiheuttamia impulsseja. Siilotykin ohjauksessa käytettiin Siemens LOGO! -pienlogiikkaa. Sen muistiin tallennettiin ohjelma, jossa pystyy valitsemaan eri ammunta-sekvenssejä sekä säätämään laukaisuun liittyviä parametreja. Kokeiden lomassa oli myös tarkoitus kuvata edustavaa materiaalia siilotykkien esittelyaineistoksi. Käyttötehokkuuden parantamisen ja laukaisuhetkellä tapahtuvien ilmiöiden tutkimisen lisäksi projektin tarkoitusperä pohjautui myös vahvasti tykkien markkinoinnin tukemiseen.

## **2 PNEUPLAN OY**

### **2.1 Yritysesittely**

Pneuplan Oy on teollisuuden materiaalinkäsittelylaitteita ja erikoisventtiileitä suunnitteleva ja valmistava teknologiayritys, joka on erikoistunut eri teollisuuden alojen rae- ja jauhemaisten materiaalien pneumaattiseen kuljettamiseen. Pneuplan Oy tunnetaan voimalaitossektorin materiaalinkäsittelyjärjestelmien toimittajana, erityisesti voimalaitoksissa syntyvän lentotuhkan kuljettaminen on yrityksen erikoisalaa. Laitteistoja on toimitettu myös elintarvike-, kemian- ja sementtiteollisuuteen sekä valimoihin. Pneuplan Oy on yli kolmenkymmenen vuoden kokemuksella kehittynyt merkittäväksi, globaalisti toimivaksi, pneumaattisten kuljetinjärjestelmien toimittajaksi, jonka toiminta perustuu laadukkaisiin tuotteisiin ja joustavaan toimintatapaan. (pneuplan.fi, 2013)

Yksilölliset laitteistot suunnitellaan aina asiakkaan tarpeiden mukaan. Pneuplan Oy:llä on myös oma koelaitos Sastamalassa, jossa materiaalien käyttäytymistä voidaan tarvittaessa testata. Laitteistojen laadun takaamiseksi kuljettimien toiminnan kannalta kriittiset komponentit valmistetaan omalla konepajalla Sastamalassa. (pneuplan.fi, 2013)

Joustavan asiakaslähtöisen toiminnan ansiosta vanhoihinkin, yli kaksikymmentä vuotta sitten toimitettuihin, vielä toiminnassa oleviin laitteisiin on saatavilla varaosia. (pneuplan.fi, 2013)

#### **2.1.1 Paineilmatykki PNEUGUN**

PNEUGUN siilotykki on suomalainen korkealaatuinen paineilmatykki, jota käytetään parantamaan siilon purkausvaiheen materiaalivirtausta. PNEUGUN siilotykkejä on valmistettu Suomessa yli kahdenkymmenen vuoden ajan ja niitä käytetään menestyksekkäästi eri teollisuuden aloilla siilossa varastoitavien bulkkimaisten aineiden, kuten hiilen ja kalkin purkuongelmien ratkaisijana. (Pneuplan Oy)



### Ominaisuudet

- Kotimainen laatutuote
- Varmakäyttöinen venttiilitoiminta
- Pitkä käyttöikä
- Yksinkertainen asentaa
- Vähäinen huoltotarve
- Parantaa siilon käyttötehokkuutta
- Estää käyttökeskeytykset

(Pneuplan Oy)



KUVA 1. PNEUGUN siilotykki (Pneuplan Oy)

TAULUKKO 1. PNEUGUN -siilotykkien standardikoot

Malli	Säiliön pituus (mm)	Purkausputken ulkokierre	Tilavuus (l)	Ilmamäärä 7 baarin paineella (l)
PG1	140*350	R 1 ¼	3	21
PG2	220*350	R ¼	7	49
PG3	220*500	DIN 2635	12	84
PG4	273*600	DIN 2635	20	140

Tutkimuksessa käytetyn PG4-siilotykin tekninen piirustus löytyy liitteestä 1.

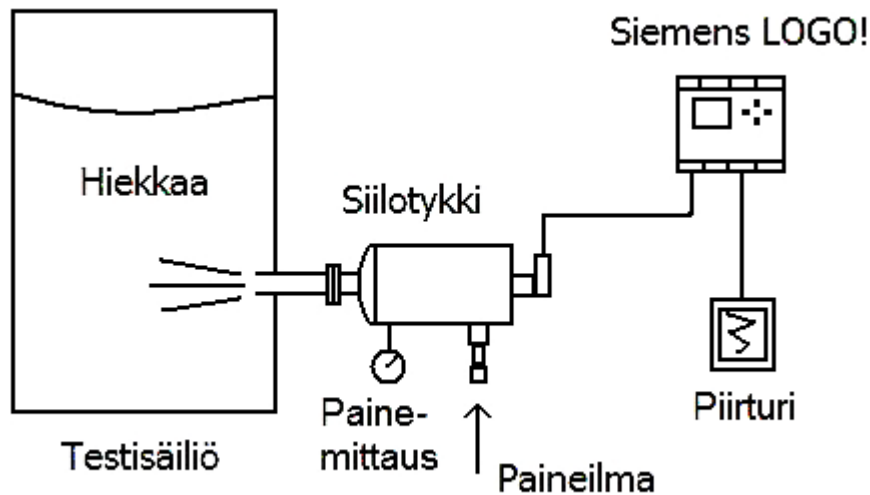
### 3 TUTKIMUSSUUNNITELMA

Työn alkuun luotiin alustava tutkimussuunnitelma, johon oli määritelty projektin eri vaiheet ja niiden toteutukseen liittyvät pääkohdat. Alkupalaverien aikana suunnitelmaa täydennettiin, kun mietittiin miten tutkimuksesta saataisiin esille oikeat asiat. Tutkimuksen avulla tykin käyttötehokkuus paransi, tuettaisiin markkinointia ja mahdollisesti pystyttäisiin vielä kehittämään tykkimallistoa. Suunnitelman ensimmäisessä versiossa tavoitteena oli selvittää vain siilotykin nopein laukaisutaajuus sarja-ammunnassa. Suunnitelmaa kuitenkin hiottiin ja lopulta alkuperäisen suunnitelman kohtien lisäksi päätettiin valmistaa käytännön testauksia varten testauslaitteet, jolla tutkittaisiin siilotykin ominaisuuksia tarkemmin. Markkinointia varten kuvattavaa aineistoa haluttiin kerätä kokeiden aikana. Suunnitelma vaikutti hyvältä ja sen pohjalta edettiin melko suoraviivaisesti koko projektin ajan. Samalla kuitenkin pyrittiin seuraamaan projektin vaiheita kriittisesti, jotta asioiden edessä myös tutkimuksen menetelmiä korjattaisiin tai haluttua lopputulosta tarkennettaisiin, mikäli näin on tarve. Seuraavissa kappaleissa käsitellään projektin suunnitelmia ja valintoja yksityiskohtaisemmin.

#### 3.1 Laitteet

Projektin aloitus oli laitteiden hankkimisen osalta melko selkeä, koska kaikki kokeisiin tarvittavat laitteet löytyivät pitkälti yrityksen omista varastoista, säiliötä lukuun ottamatta. Kokeisiin sopivan säiliön hankkimista alettiin miettiä ja päätettiin valmistaa yrityksen konepajalla sopivan kokoinen avonainen säiliö. Aikaisempien kokemusten perusteella säiliön tilavuus voisi olla luokkaa 300–500 litraa, jos se täytetään esimerkiksi hiekalla.

Siilotykkien ohjaukseen valittiin Siemensin pienlogiikka, vaikka aiemmin samoja testauksia oli suoritettu käyttäen Carlo Gavazzi DMB51 -aikarelettä. Nyt haluttiin kuitenkin säätää laukaisuaikoja tarkasti ja kenties liittää painelähettä tai painekytkimiä tykkiin, joten monipuolisempien liitännöiden ja ominaisuuksien vuoksi valittiin Siemensin LOGO! -logiikkamoduuli. Logiikan omien tulojen ja lähtöjen arveltiin riittävän hyvinkin kaikkiin tarvittaviin toimintoihin, joten logiikan laajennusmoduuleja tuskin tarvitaan. Alla olevasta toimintokaaviosta (KAAVIO 1) hahmottuu laitteiden kokoonpano, jota tutkimussuunnitelman mukaisesti aiottiin käyttää.



KAAVIO 1. Tutkimussuunnitelman mukainen kaavio tarvittavista laitteista

### 3.2 Testimatriisi

Hyvän testimatriisin suunnittelu on menestyksekkään tutkimustoiminnan tärkeimpiä vaiheita ja se kannattaa toteuttaa huolella. Käytännön kokeissa onnistuaksemme piti ensin miettiä ja arvioida, miten tykin laukauksia vertaillaan oikeellisesti. Teollisuuden oikeissa tilanteissa tukoksia esiintyy kuitenkin melko satunnaisesti ja harvoin, ellei varastoitava aine ole päässyt jostain syystä kastumaan. Oikeata tilannetta mallintava testisiilo olisi ollut erittäin haastava suunnitella ja ongelmaksi olisi todennäköisesti muodostunut tukosten aiheuttamisen vaikeus ja hallittavuus. Kokeita varten päätettiin tehdä avonaisen testisäiliön, jolla voidaan silmämääräisesti nähdä tykin aiheuttaman impulssin voima. Säiliön materiaalina olisi palvellut ihanteellisesti lasi tai kirkasmuovi, mutta rakenteen turvallisuus ja kustannukset huomioiden pitäydyttiin tavallisissa rakenneteräksissä. Kokeissa päätettiin käyttää hiekkaa, koska se on painavampaa kuin kalkki tai hiili, eikä siksi lennä säiliöstä ulos niin helposti.

Aluksi suunniteltiin käytettävän kokeissa materiaalina märkää kalkkia, jota olisi purettu kartiopohjaisesta siilosta. Kalkki olisi ollut märkänä tarpeeksi hankala syötettävä ja hollautunut niin herkästi, ettei se luultavasti olisi valunut testisiilosta ollenkaan pois ilman apuvälineitä. Näin olisi ollut helpompi hallita siilosta purkautuvaa ainetta, jonka tykin laukauksen aiheuttama impulssi olisi irrottanut. Menetelmällä olisi ollut helppo vertailla tykin laukauksen kykyä purkaa siilosta materiaalia, punnitsemalla purkautuneen aineen massa. Idea kuitenkin hylättiin sen takia, että kalkki olisi todennäköisesti kovettunut

liikaa jossain vaiheessa kokeita. Vesi ja kalkki ovat betonirakentamisessa käytettävien sementin ja laastin perusosat.

### 3.3 Kustannukset

Kustannuksia kartoitettiin tutkimussuunnitelman aikana ja todettiin että melko pienellä budjetilla saadaan kattavat testaukset, koska laitteita löytyi yrityksen omista varastoista. Kokeeseen sopivan kokoinen tykki löytyi suoraan hyllystä ja sen ohjaukseen tarvittava pienlogiikka löytyi varastosta. Tutkimuksen laitteista laadittiin kustannusarvio täydentämään tutkimussuunnitelmaa.

TAULUKKO 2. Kustannusarvio tutkimuksen tarvikkeista

LAITE/OSA	MÄÄRÄ	HINTA/KPL [€]	HINTA YHT. [€]	VARASTOSTA
Siilotykki PG4 20L	1	1150,00	1150,00	x
Paineensäädin	1	145,00	145,00	x
Siemens LOGO! CPU	1	152,00	152,00	x
Siemens LOGO! PSU	1	90,00	90,00	x
KytKentäkaappi	1	53,00	53,00	x
Johdonsuojakatkaisija	1	21,50	21,50	x
Testisäiliön leikkeet	1	100,00	100,00	
Hiekka (2m <sup>3</sup> ) +rahti	1	50,00	50,00	x
Kytkimet	3	6,50	19,50	x
Painekytkin	1	45,00	45,00	x
Riviliittimet yms.	1	7,00	7,00	x
<b>YHTEENSÄ:</b>			<b><u>1833,00 €</u></b>	

Käytännön työvaiheisiin eli tykin ohjauslaitteen ja säiliön valmistukseen kuluu alustavan arvion mukaan 30-40h.

### 3.4 Tavoitteet

Aiemmin siilotykkien laukaisutaajuutta sekä laukaisuun liittyviä asioita ei ole tarkasti tutkittu tai kokeiden tuloksia ei ole dokumentoitu. Tavoitteena oli siis päivittää testauslaitteistoa ja tutkia edellä mainittuja asioita tarkemmin ja dokumentoida tulokset markkinointia tukevaan muotoon. Myös tykin laukaisujärjestelmän säätämistä varten haluttiin saada selville ihanteelliset parametrit. Kokeiden aikana oli myös tavoitteena kuvata videoita ja kuvia siilotykkien esittelyaineistoa varten. Yhteenvetona voitaisiin sanoa, että tutkimuksella halutaan tuottaa materiaalia joka parantaa tykkien markkinointia.

### 3.5 Aikataulu

Toteutussuunnitelman laatimisen jälkeen oli helpompi hahmottaa projektin eri vaiheisiin kuuluva aika. Projekti jaettiin eri työvaiheisiin seuraavasti:

- 1 Tutkimussuunnitelman luominen
- 2 Säiliön suunnittelu CAD-mallinnusohjelmalla
- 3 Tykin ohjauslaitteiston suunnittelu, komponenttien valinta
- 4 Suunnitellun laitteiston rakentaminen
- 5 Käytännön testaukset tutkimussuunnitelman mukaisesti
- 6 Tulosten analysointi
- 7 Raportointia

Projekti lähti käyntiin toukokuun 2013 alkupuolella suunnittelun merkeissä ja käytännön töihin sekä raportointiin arvioitiin kuluvan aikaa suunnilleen viisi kuukautta.

### 3.6 Työturvallisuus

Painelaitteita käyttäessä tulee muistaa tiettyjä turvallisuuteen liittyviä asioita. Painelaitteet tarkastetaan siihen erikoistuneilla tarkastuslaitoksilla. Paineenalaisia säiliöitä luokitellaan eri luokkiin niiden tilavuuden ja käyttöpaineen perusteella. Paineilma on sinänsä turvallista, myrkytöntä ja ympäristöystävällistä, mutta useissa sovelluksissa ja laitteissa siihen varastoituu valtava energia, joka voi vapautua hallitsemattomasti ja lennättää

esineitä tai materiaa suurella liikenopeudella. Siilotyksissä paineilman nopean purkauksen aiheuttama paineimpulssi voi lennättää purkautuvan ilman mukana irrotettavaa materiaa. Myös impulssin aiheuttama purkausääni ylittää paljaalle korvalle sallitut rajat, moninkertaisesti.

Painelaitteonnettomuuksissa on usein vakavat seuraamukset ja pahimmassa tapauksessa omaisuus- tai ympäristövahinkojen lisäksi niistä voi seurata vakavia henkilövahinkoja. Siksi niiden suunnittelua, valmistusta ja käyttöä valvotaan. Suomessa TUKES (Turvatekniikan keskus) valvoo painelaitteiden markkinoita ja turvallista käyttöä. TUKES valvoo käytön turvallisuutta painelaiterekisterin kautta, johon käyttöönotettujen painelaitteiden tiedot on kirjattu. Paineen alaiset säiliöt on luokiteltu niiden vaarallisuuden mukaan eli suurimman sallitun käyttöpaineen  $PS$  ja säiliön tilavuuden  $V$  mukaan. Säiliöltä vaaditaan alla olevan taulukon 3 mukaan seuraavat toimenpiteet.

TAULUKKO 3. Painelaitteiden luokittelu

Tilavuus · suurin käyttöpaine [L · bar]	Mitoituslaskelmat	Kilpi-merkintä	Rekisteröitävä painelaite	Käytönaikaiset tarkastukset
0-200 L·bar		x		
> 200 L·bar	x	x		
> 3000 L·bar	x	x	x	x
> 6000 L·bar	x	x	x	x

Kokeessa käytettyä 20 litran siilotykyä ei siis tarvitse hyväksyttää tarkastuslaitoksella, koska tykkien suurin sallittu käyttöpaine on 8 baria. Tykkiin kiinnitetään kilpi, jossa ilmoitetaan painelaitteen valmistaja, tykin malli, nettotilavuus litroina, suurin sallittu käyttöpaine ja CE-merkintä.

Sen sijaan esimerkiksi 50 litran tykin rakenteesta pitää tehdä myös mitoituslaskelmat ja saada niistä tarkastuslaitoksen hyväksyntä.

Siemens LOGO!-n saa asentaa ja johdottaa vain teknisesti koulutettu henkilö, joka tuntee ja huomioi yleisesti käytössä olevat asennussäännöt ja määräykset sekä standardit.

(LOGO! käsikirja)

Toimenpiteet riittävän työturvallisuuden takaamiseksi:

- Käytetään kuulonsuojausta ammunnan aikana.
- Rakennetaan säiliön reunaan suojat kirkasmuovista tai vastaavasta.
- Käytetään suojalaseja, mahdollisesti koko kasvot peittävää maskia.
- Sähköiset kytkennät suorittaa siihen pätevä henkilö.
- Kytkenneiden suojalaitteet mitoitetaan standardien mukaan.

## 4 TUTKIMUKSEN TEORIAA

### 4.1 Siilojen purkuongelmat

Materiaalin käsittelyyn liittyvät ongelmat ilmenevät lähes poikkeuksetta materiaalin purun yhteydessä. Ongelmien aiheuttajia voi olla monia, mutta yhtä kaikki, pääsyyinä ongelmiin on siilon tai säiliön pohjan väärä rakenne.

Neljä ja puoli vuosikymmentä sitten Andrew Jenike esitteli ensimmäisen integroidun menetelmän esittämään jauheiden virtausta, jota käyttämällä hän suunnitteli suppilon jolla pystyy purkamaan ilman keskeytyksiä. Valitettavasti monet siilojen käyttäjät ja suunnittelijat eivät vielääkään hyödynnä tätä menetelmää, joten monet säiliöt teollisuudessa yhä kärsivät eri tukoksista kuten suppilot, holvit ja tulpat. (Bradley 2011, 1)<sup>1</sup>

Siilon suunnitteluvaiheessa olisi tärkeää tietää ainakin käsiteltävän materiaalin ominaisuudet eri lämpötiloissa ja kosteuksissa. Tätä varten tulee suorittaa erilaisia laboratoriotestauksia materiaalin ominaisuuksista. Myös haluttu virtauskuvio tulisi selvittää. Tämän jälkeen siilon rakenteen mallinnus onnistuu esimerkiksi Tohtori Andrew Jeniken kehittämällä kaavoilla, jotka perustuvat lukuisiin materiaalitestauksiin.

Alla on listattuna haastattelujen aikana esille tulleet yleisimmät syyt, joiden takia päädytään virheelliseen valintaan siiloa hankkiessa

- Siiloa hankittaessa ei ole tutustuttu olemassa oleviin menetelmiin, joiden avulla voitaisiin suunnitella toimiva rakenne - valitaan vakiorakenteinen siilo.
- Siilon suunnittelija ei tunne materiaalin ominaisuuksia tarpeeksi hyvin.

---

<sup>1</sup> “It is now four and a half decades since Andrew Jenike introduced the first integrated method for characterizing powders for flow, and using this information to design a hopper that would discharge without hang-up. Sadly, many users and designers of hoppers still do not benefit from this, so a lot of process vessels in industry still suffer from ratholing, arching and bridging.” (Bradley 2011, 1)

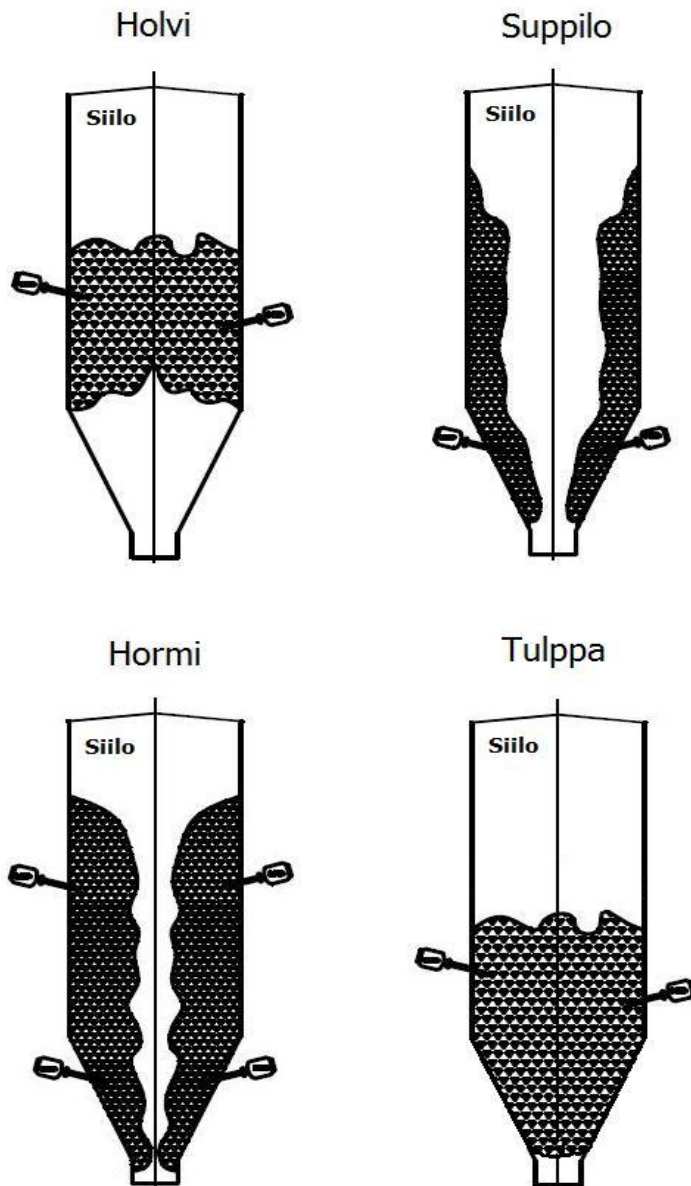


- Materiaalitutkimukset ovat kalliita, haastavia ja aikaa vieviä (voi helposti maksaa pienen siilon verran) – päädytään helposti ostamaan halpa vakiorakenteinen siilo.
- Tietyn siilomallin on todettu toimivan jossain muualla samalla materiaalilla sen ollessa kuivaa, eikä huomioida oman materiaalin korkeampaa kosteusprosenttia.
- Nykyisin on saatavilla laaja valikoima lisälaitteita estämään tukoksia, joten isoa siiloa hankkiessa tulee halvemmaksi ostaa vakiorakenteinen siilo ja varustella se lisälaitteilla.

Edellä mainituista syistä usein hankitaan siilo, joka ei ole soveltuva käsiteltäville materiaaleille ja seurauksena ilmenee tukoksia. Sitten tukoksia poistetaan hakkaamalla lekalalla siilon alakartiioon, kunnes huomataan sen olevan melko rankkaa ja vaarallista. Siilon kaarevaa alakartiota hakatessa painava leka luiskahtaa helposti sivulle. Vääränlaisen pohjan aiheuttamat purkuongelmat saadaan silti usein poistettua siilotykeillä ja täryttimillä. Tärytin tosin ei sovellu materiaaleille, jotka pakkautuvat eli muuttuvat kovemaksi siilon pintapaineen vaikutuksesta.

## Tukostyypit ja tykkien asettelu

Tukoksen tyyppi riippuu pitkälti varastoitavan materiaalin koostumuksesta, mutta myös siilon rakenne vaikuttaa. Tukoksia kuitenkin ilmenee eri muodoissa, jotka on kuvattu alla olevassa kuvassa 2.



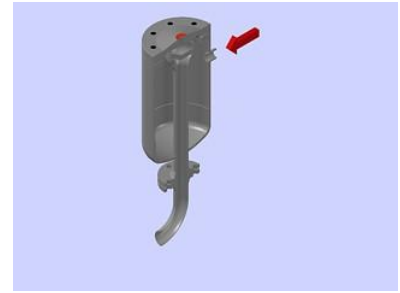
KUVA 2. Siilojen tukostyypit (Pneuplan Oy)

### 4.2 Siilotykin toiminta

Voimakkaan paineilmapurkauksen aikaansaama paineilman energia voittaa tartuntakittakan ja holvaantunut aine pääsee valumaan normaalisti ulos siilosta. Näin säästytään tuotantohäiriöiltä jatkuvatoimisissa prosesseissa.

- Täyttövaihe

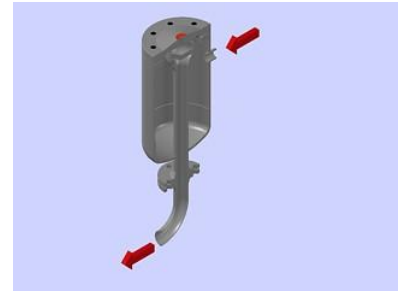
Työsäiliö täyttyy paineilmalla, samoin pieni ohjaussäiliö pienen aukon kautta. Magneettiventtiilin ollessa suljetuna painautuu kalvo tiiviisti purkausputkea vasten sulkien poistoaukon.



KUVA 3. Tykin täytyminen

- Purkausvaihe:

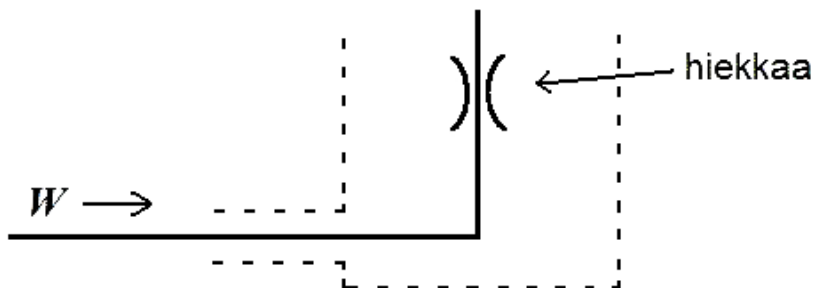
Magneettiventtiilin avautuessa pääsee ohjaussäiliön paine vapautumaan ulkoilmaan, jolloin kalvo siirtyy nopeasti pienen massansa ansiosta ohjaussäiliön takaseinää vasten. Tällöin työsäiliö purkautuu sekunnin murto-osassa.



KUVA 4. Tykin purkautuminen

### 4.3 Säiliön lujuuslaskelmat

Tutkimusta varten rakennettu avonainen säiliö ei varsinaisesti ole paineastia, koska sen sisään johdettu paineilma pääsee purkautumaan ylälautta. Paineen alainen osa säiliö kuitenkin on, mutta se luokitellaan paremminkin putkiston osaksi kuin paineastiaksi. Virtausopin kannalta säiliötä ja sen sisältöä voisi yksinkertaistetusti kuvata piirrosmerkein seuraavalla kuvalla 5.



KUVA 5. Avosäiliön virtaukset yksinkertaistettuna piirrosmerkein

Kuvassa  $W$  on paineilman virtausnopeus, jonka nuolesta ilmenee virtauksen suunta. Säiliön sisällä oleva pneumatiikan piirrosmerkki kuvaa kuristinta, joka alentaa putkiston

tilavuusvirtaa. Tässä systeemissä hiekka aiheuttaa tykin antaman virtauksen heikkene-  
misen, jolloin hiekka toimii ikään kuin kuristimena.

Säiliön rakenne voidaan mitoittaa olettaen, että säiliössä oleva materiaali onkin niin  
painavaa, että paine ei pääse purkautumaan. Näin mitoituksen varmuuskerroin kasvaa ja  
vältetään säiliön repeämisen riskiltä. Säiliön rakenne voidaan siis mitoittaa samoilla  
kaavoilla kuin suljetun paineastian rakenne eli käyttäen standardia SFS-EN 13445 -  
Lämmittämättömät painesäiliöt.

MITOITUS STANDARDIN SFS-EN 13445:2009 ISSUE 3 MUKAAN:

Sarjatuotantoon valmistettavia paineastioita voidaan mitoittaa hyväksyttävästi joko las-  
kennallisesti tai kokeellisesti. Kokeellisen mitoituksen haittapuolena on prototyypin  
ainetta rikkova testaus. Usein halvemmaksi tulee osoittaa lujuuslaskelmien avulla säili-  
ön kestävän siihen kohdistuva rasitus. Tutkimuksen avosäiliötä ei aiota alkaa valmista-  
maan sarjatuotantona, joten varmistamme vain sen kestävyuden kokeiden ajaksi tehden  
lujuuslaskelmat noudattaen mainittua standardia.

#### ALKUTIEDOT

Säiliön suunnitellut sisämitat: (Säiliön valmistuspiirustus löytyy liitteestä 2)

Vaipan sisähalkaisija 588mm ja korkeus 1300mm.

Yhde valmistetaan putkesta DN50 (päältä Ø60,3), jonka pituus 110mm. Siihen hit-  
sataan DIN 1092-1- normin mukainen laippa DN50.

Valmistukseen käytettävät standardin mukaiset materiaalit:

EN 10028-3 mukainen normalisoitu painelaiteteräs P355NH (Vaippa ja pohja)

EN 10217-2 mukainen hitsattu teräsputki P235GH (Yhde)

EN 1092-1 mukainen DN50 PN16 hitsattava levylaippa P250GH

Liittäminen:

MAG -hitsaus. (hitsausmen. 135)

Sisällön olomuoto:

Palamaton kaasu/jauhemaiset aineet.

Sisällön ryhmä:

Ryhmä 2 (vaaraton jauhe).

Suurin sallittu käyttöpaine:

PS = 10 Bar

Laskelmien varmuuskerroin:

$$n = 1,5 \text{ (Normaalit käyttöolosuhteet)}$$

Alin ja korkein sallittu lämpötila:

$$TS_{\text{MIN}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$TS_{\text{MAX}} = +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Materiaalin kulumisvara [C]:

$$C = 1,00\text{mm}$$

Paineenvaihtelut:

Paineastian suunniteltu paineenvaihtelu on enintään 7 baria (verkostopaine) eli välillä 0-7 baria. Standardin EN 13445-3 mukaan täysien paineenvaihteluiden lukumäärä lasketaan kaavalla (§ 5.4.-2, EN 13445-3). Paineastian väsymistarkastelu voidaan jättää laskematta, kun täysien paineenvaihteluiden määrä ei ylitä 500 kpl. Arvioimme että väsymistarkastelu on aiheeton, koska säiliötä ei ole tarve paineistaa testien aikana lähellekään edellä mainittua määrää.

Ruuviliitokset:

Ruuvien lujuusluokka on 8.8, mutta ne eivät ole standardiruuveja vaan ne on tilattu standardin EN 10204 3.1 mukaisilla ainestodistuksilla, kuten standardissa EN 13445-3vaaditaan. Ainestodistuksien lujuusmittaukset osoittavat ruuvien olevan turvallisia paineenalaisten osien liittämässä (murtovenymä >16%).

**I.** Käsitellään säiliön paineenalaisia osia yksittäisinä kohteina, joita paine rasittaa.

Säiliön vaippa lasketaan lieriönä. EN 13445-3, § 7.4.2

Säiliön pohja lasketaan suorana hitsattuna kantena. EN 13445-3, § 10.4.4.

Yhde DN50 lasketaan lieriönä. EN 13445-3, § 7.4.2

**II.** Laskelmien tulokset

Keskeiset tulokset on esitetty LIITE 3 ohessa.

Säiliön vaippa: Lieriön pienin sallittu seinämäpaksuus 3,70 mm. Osa valmistetaan levystä jonka paksuus on **6 mm**.

Säiliön pohja: Hitsatun suoran pyöreän kannen pienin sallittu ainepaksuus 13,53 mm. Osa valmistetaan levystä jonka paksuus on **14 mm**.

Yhde DN50: Lieriön pienin sallittu seinämävahvuus 2,24 mm. Osa valmistetaan putkesta jonka seinämävahvuus on **3,20 mm**.

#### 4.4 Logiikka

Uuteen ohjauslaitteeseen valitsemamme LOGO! on Siemensin valmistama yleiskäyttöinen logiikkamoduuli. Monitoimisuutensa ja siitä huolimatta yksinkertaisen käyttönsä ansiosta, LOGO! on erittäin taloudellinen lähes kaikilla soveltamisalueilla. Se pienentää rakennuksen ja koneohjausten sähköistyskuluja. Sitä on helppo käyttää sekä asentaa ja sen ansiosta tarve kaapeloinnille vähenee.

Tyypillinen LOGO!:n käyttökohde on taloautomaation perustoiminnot. Pienlogiikka on tarkoitettu pienimuotoisen automaation toteuttamiseen ja modernisointeihin. Toimintoihin on aiemmin käytetty kellokytkimiä sekä aika- ja ohjausreleitä.

Sähkökuvaus pienenee, sillä pienlogiikan ansiosta releitä tarvitaan vähemmän. Toiminnanohjauksista syntyy automaattisesti helppo dokumentointi.

Monimutkaistenkin laitteiden ohjaus onnistuu LOGO!:lla laajennusmoduulien avulla. (siemens.fi)

Logiikkamoduulimme on Siemens LOGO!:n uusin versio 0BA6 eli laitteen kuudes versio. Tarkemmin kerrottuna se on näytöllinen malli Siemens LOGO! 12/24RC, jonka numerot 12/24 kertovat sen toimivan käyttöjännitteellä 10,8 - 28,8 VDC. Kirjaimet R (*Relay*) ja C (*Counter*) kertovat sen olevan varustettu relelähdeillä ja viikkokellolla. Logiikan omien tulojen ja lähtöjen arveltiin riittävän, joten erikseen ostettavia laajennusmoduuleja emme tarvinneet.

Liitettäessä koneenohjausjärjestelmään erilaisia antureita, valokennoja, kytkimiä sekä muita tunnistimia kytketään niiden signaalikaapelit ohjausjärjestelmän tuloportteihin. Vastaavasti lähtöportteihin kytketään yleensä toimilaitteita, joita järjestelmällä halutaan ohjata. Toimilaitteita kuten magneettiventtiilit, sähkömoottorit, kontaktorit, valot, pumput jne. Valitussa logiikassa on 8 digitaalista tuloporttia ja 4 lähtöporttia. Lähtöportit ovat 10A:n relelähtöjä. Tulo- ja lähtöporttien englanninkielisistä vastineista input ja output on muodostunut automaatioalalla usein käytetty termi I/O, joka kuvaa ohjausjärjestelmän liitäntöjä.

#### 4.4.1 Digitaaliset tulot ja lähdöt

Logiikan digitaalisten tulojen tunnus on I ja lähtöjen tunnus Q. Digitaaliset tulo- ja lähtöportit käsittelevät nimensä mukaisesti HI- ja LO-tasoja eli tulevan tai lähtevän jänniteviestin arvo on joko 0V:a tai 10V:a. Osa digitaalisista tuloista kykenee myös vaihtoehtoisesti käsittelemään nopeita signaaleja ja analogiasignaaleja (0...10V). Nopeina digitaalituloina voidaan käyttää tuloja I3, I4, I5 ja I6, joiden kytkentätaajuus on 5 kHz. Nopeilla digitaalituloilla pystytään esimerkiksi käsittelemään suurella taajuudella toimivia laskureita.

#### 4.4.2 Analogiset tulot ja lähdöt

Osa logiikkamme tuloporteista voidaan konfiguroida vastaanottamaan tarvittaessa analogiatuloja. Analogiseen tuloporttiin voidaan kytkeä tunnistimia, joiden signaalin arvo on muuttuva. Analogiset tuloportit kykenevät käsittelemään eri jännitetasoja eli tulevien ja lähtevien jänniteviestien arvot voivat olla näissä porteissa 0 - 10V:a. Näin logiikkaan voidaan kytkeä vaikkapa lämpötila-anturi, joka antaa jänniteviestin 0-10V DC. Analogiatuloiksi voidaan nimetä tulot I1, I2, I7 ja I8. Logiikka käsittelee tuloporttien signaalit analogisina, kun ne nimetään ohjelmassa edellä mainituilla tunnuksilla AI1, AI2 jne. Analogisten tulojen tunnus on AI ja lähtöjen tunnus AQ.

Siemens LOGO! tekee tulevalle analogiselle signaalille A/D-muunnoksen, jolloin sähköinen signaali muuttuu vastaavaksi digitaaliarvoksi välillä 0-1000. Analogiasignaalin erottelutarkkuus eli resoluutio on siis tuhannesosa.

Jos halutaan käyttää analogisia lähtöportteja, pitää hankkia erikseen analoginen lisämoduuli LOGO! AM 2 AQ, jolla voi ohjata kahta analogista lähtöporttia, joko jänniteviestillä 0-10V:a tai virtaviestillä 4-20mA:a.

#### 4.5 Logiikkaohjelmointi

Siemens LOGO!- logiikkamodulin ohjelmointi käy helposti Siemens LOGO! Soft Comfort- ohjelmointityökalulla. Ohjelma voidaan kirjoittaa myös logiikan näppäimillä suoraan logiikan ohjelmamuistiin, mutta Soft Comfort –ohjelmointityökalulla se käy huo-

mattavasti helpommin. Sillä on vaivatonta kirjoittaa monimutkaiset ohjelmat, muuttaa ja simuloida valmiita ohjelmia sekä tallentaa ja tulostaa ohjelmakaaviot.

Ohjelmointi Soft Comfort - ohjelmointityökalulla tapahtuu joko LAD- tai FBD-ohjelmointikielellä. Ohjelman kirjoitusta helpottaa selkeästi toteutettu graafinen käyttöliittymä. Ohjelmointitoiminnot sisältävät logiikkaohjelmoinnin perustoiminnot eli Booleen algebran käskyt. Perustoimintojen lisäksi valikosta löytyy erilaisia ajastimia, laskureita ja matemaattisia operandeja. Erikoistoimintoja ovat mm. veto- ja päästöhidastimet, analogiatoiminnot ja eri reletoinnot.

#### **4.6 Syöttökaapelin ja suojalaitteiden mitoitus**

Ylikuormitusvirralla tarkoitetaan virtapiirissä muulloin kuin vian aikana esiintyvää ylivirtaa. Ylivirta taas tarkoittaa mitä tahansa mitoitusvirtaa suurempaa virtaa. Johtimilla mitoitusvirta tarkoittaa kuormitettavuutta. Jokainen virtapiiri on varustettava ylikuormitussuojalla siten, että ylikuormitusvirta katkaistaan, ennen kuin johtimen lämpötila nousee niin, että eristys, jatkokset, liitokset tai johtimien ympäristö vahingoittuu. Ylikuormitussuojana käytetään yleensä sulakkeita, johdonsuojakatkaisijoita tai muita katkaisijoita, jotka kytkvät johdon irti syötöstä. (Tiainen 2010, 27.)

Logiikan virtalähteeseen kytketään käyttöjännitteeksi yksivaiheinen vaihtojännitekaapeli. Syöttökaapelin oikosulkusuojauksesta huolehtii syöttävän sähköverkon oma sulakesuojaus. Ainoa tarvittava suojalaite ohjauskaapin syötön kytkennässä on Merlin Gerin johdonsuojakatkaisija, jolla suojataan ohjauskaapille tuleva syöttökaapeli ja virtalähde ylikuormitusvirralta. Johdonsuojakatkaisijan on tarkoitus suojata mahdollisten pienimpedanssisten oikosulkujen aiheuttamilta ylikuormitustilanteilta. Logiikan virtalähteen antama 24 V:n tasavirta ei puolestaan ole ihmiselle vaarallisia, vallitsevilla virranvoimakkuuksilla.

Automaattisen poiskytkennän eli tässä tapauksessa johdonsuojakatkaisijan tulee kytkeä tehonsyöttö pois tietyn ajan sisällä vikatilanteesta. Pienjänniteasennuksia käsittelevässä standardissa SFS 6000 kohdan 4-41 mukaan TN järjestelmällä alle 32 A piirien vaatimus on 0,4 sekuntia ja yli 32 A piireillä 5 sekuntia. Johdonsuojakatkaisijan tulee silti sallia normaali kuormitus.



### Johdonsuojakatkaisijan mitoitus

Aiemmin mainitun standardin SFS 6000 mukaan, ylikuormitukselta suojaavan laitteen on täytettävä seuraavat ehdot:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad \text{Liite 52C (1)}$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad \text{Liite 52C (2)}$$

,jossa

$I_B$  = virtapiirin suunniteltu virta

$I_Z$  = johtimen jatkuva kuormitettavuus

$I_n$  = suojalaitteen mitoitusvirta

$I_2$  = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle määritellyssä tavanomaisessa toiminta-ajassa. Virran  $I_2$  arvo, jolla suojalaite toimii tehokkaasti, on annettu laitestandardeissa tai se saadaan valmistajalta. (SFS 6000-5-52, Liite 52C)

#### Vaihe 1

Ensin pitää selvittää virtapiirin mitoitusvirta  $I_B$  eli toisin sanoen kojeen kuormitusvirta. Kuormitusvirta saadaan selville syötettävän laitteen tehosta yhtälön (3) mukaisesti. (Tekniikan Kaavasto, 126)

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

,jossa

$P$  = pätöteho [W]

$U$  = jännitteen tehollisarvo [V]

$I$  = virran tehollisarvo [A]

$\cos \varphi$  = tehokerroin

Tässä tapauksessa virtalähteen verkosta ottama virta eli mitoitusvirta  $I_B$  saadaan selville LOGO! –käsikirjan taulukosta (Taulukko 4). Sama käsikirjan taulukko suosittelee johdonsuojakatkaisijana käytettävän B-tyyppistä vähintään 6A:n tai C-tyyppistä vähintään

10A:n katkaisijaa. C-tyypin johdonsuojakatkaisijat ovat hitaampia ja soveltuvat kuormille, joilla on suurempi käynnistysvirta, esimerkkinä vaikkapa sähkömoottorit. Laitteistomme suojana toimii paremmin pienempi ja nopeammin katkaiseva B-tyypin johdonsuojakatkaisija. Taulukon 4 mukaan virtalähde voi ottaa sähköverkosta hetkellisesti 1,22 A:ia virtaa. Tässä virta-arvossa on jo huomioitu laitteen sähköiset häviöt. Alla LOGO! -käsikirjasta poimittuja tietoja virtalähteestä.

TAULUKKO 4. Virtalähteen LOGO! Power 24V/2,5A tekniset tiedot (LOGO! Käsikirja, 319)

	LOGO! Power 24 V / 1,3	LOGO! Power 24 V / 2,5	LOGO! Power 24V / 4,0
<b>Tulojen tiedot</b>			
Tulojännite	100 ... 240 V AC		
Sallittu alue	85 ... 264 V AC		
Tulojännitteen taajuus	47 ... 63 Hz		
Tulovirta	0,7 ... 0,35 A	1,22 ... 0,66 A	1,95...0,97A
Päällekytkentävirta (25°C)	< 15 A	< 30 A	
Kojeen suojaus	Sisäinen		
Suosittelava js- automaatti (IEC 898) verkkojohdossa	≥ 6 A tyyppi B ≥ 10 A tyyppi C		
<b>Lähtöjen tiedot</b>			
Lähtöjännite Kokonaistoleranssi Säätöalue Jäännösaaltisuus	24 V DC +/- 3 % 22,2 ... 26,4 V DC < 200/300 mVpp		
Lähtövirta Ylivirtarajoitus	1,3 A Tyyp. 2,0 A	2,5 A Tyyp. 3,4 A	4,0 A Tyyp. 4,7
Hyötysuhde	> 82 %	> 87 %	> 89 %
Rinnankytkentä tehon korottamiseksi sallittu	Kyllä		
<b>Turvallisuus</b>			
Potentiaalierotus ensiö/ toisio	kyllä, SELV (EN 60950 ja EN 50178 mukaan)		
Suojausluokka	IP 20 (EN 60529 mukaan)		

## Vaihe 2

Mitoitusvirran selvittyä pitää laskea syöttökaapelin jatkuva kuormitettavuus  $I_Z$ .

Syöttökaapelin johdinmateriaalina on kupari, eristeenä PVC ja johtimen poikkipinta-ala  $1,5\text{mm}^2$ .

Virtapiirin jännitteisten johtimien poikkipinnan suuruuden määrää ensisijaisesti kuormitusvirta ja sen aiheuttama johtimen lämpeneminen (Tiainen 2010, 43).

Kun lämmön haihtumisolosuhteet vaihtelevat asennusreitien eri osien välillä, kuormitettavuus on määritettävä asennusreitien hankalimpien olosuhteiden mukaisesti. (SFS 6000 § 523.8)

Kaapelin 1. osuus: pistorasialta maata pitkin kaapin telineen juureen.

- Valitaan referenssiasennustavaksi **C – yksi- tai monijohdinkaapelit puu-tai betoniseinällä** Taulukko B52.1
- Kuormitettavuus asennustavalla **C** on  $1,5\text{mm}^2\text{:n}$  kuparijohtimelle **20A** Taulukko B52.2
- Vallitsevan lämpötilan ( $25\text{ °C}$ ) korjauskerroin on **0,90** Taulukko B52.15
- Korjauskerroin ryhmille, joissa on useita piirejä tai kaapeleita on **1,00** (yksi kaapeli) Taulukko B52.17

Syöttökaapelin jatkuva kuormitettavuus 1. osuudella =  $20\text{ A} \cdot 0,90 \cdot 1,00 = 18\text{ A}$

Kaapelin 2. osuus: nousu kaapin telinettä pitkin.

- Valitaan referenssiasennustavaksi **C – yksi- tai monijohdinkaapelit rei'ittämättömällä hyllyllä asennettuna vaakasuoraan tai pystysuoraan** Taulukko B52.1
- Kuormitettavuus asennustavalla **C** on  $1,5\text{mm}^2\text{:n}$  kuparijohtimelle **20A** Taulukko B52.2
- Vallitsevan lämpötilan ( $25\text{ °C}$ ) korjauskerroin on **1,00** Taulukko B52.15
- Korjauskerroin ryhmille, joissa on useita piirejä tai kaapeleita on **1,00** (muiden kaapeleiden pieni kuormitus ei lisää lämpenemistä) Taulukko B52.17

Syöttökaapelin jatkuva kuormitettavuus 2. osuudella =  $20\text{ A} \cdot 1,00 \cdot 1,00 = 20\text{ A}$

Kaapelin 3. osuus: Tuulettamattomassa sähkökaapissa johdinkourua pitkin.

- Valitaan referenssiasennustavaksi **B – monijohdinkaapeli johtokanavassa asennettuna pystysuoraan** Taulukko B52.1
- Kuormitettavuus asennustavalla **B** on  $1,5\text{mm}^2\text{:n}$  kuparijohtimelle **17,5A** Taulukko B52.2
- Vallitsevan lämpötilan ( $30\text{ °C}$ ) korjauskerroin on **0,94** Taulukko B52.15
- Korjauskerroin ryhmille, joissa on useita piirejä tai kaapeleita on **1,00** (yksi kaapeli) Taulukko B52.17

Syöttökaapelin jatkuva kuormitettavuus 3. osuudella =  $17,5\text{ A} \cdot 0,94 \cdot 1,00 = 16,4\text{ A}$

Hankalin kohta syöttökaapelilla on tuulettamattoman kaapin johdinkourussa, jolloin kaapelin jatkuva kuormitus  $I_Z$  saa olla enintään **16,4** ampeeria.

Voidaan siis laskea standardin SFS 6000 mukaan, kuinka suuri johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta saa enintään olla

$$\text{LIITE 52C (1)} \quad I_B \leq I_n \leq I_Z \quad \Rightarrow \quad 1,22 A \leq I_n \leq 16,4 A$$

Liitteen 52C kaava (2) toteutuu saman liitteen kaavan (1) kautta, koska B-, C- ja D-tyypin johdonsuojakatkaisijoita käytettäessä ylempi terminen toimintarajavirta on 1,45-kertainen katkaisijan nimellisvirtaan verrattuna.

Näin ollen standardin SFS 6000 mukaiset säännöt toteutuisivat jo nimellisvirraltaan 2A johdonsuojakatkaisijalla. Toisaalta liian suurikaan katkaisija ei ole järkevä ratkaisu. Noudatetaan Siemensin käsikirjan suositusta ja valitaan nimellisvirraltaan 6 ampeerin johdonsuojakatkaisija. Käsikirjan suositus on luultavasti annettu silmälläpitäen virtalähteen päällekytkentävirtaa. Taulukon 4 tietojen mukaan se voi olla lähes 30 ampeeria ja nimellisvirraltaan 6 A:n B-tyyppisen katkaisijan magneettisen katkaisun rajavirta on sopivaa luokkaa sen suuruiselle nopealle kuormalle.

## 5 TESTAUSLAITTEISTON RAKENNUS

### 5.1 Säiliön suunnittelu ja valmistus

Säiliön rakenteita mallinnettiin tietokoneavusteisella Auto Cad LT14- mallinnusohjelmalla käyttäen lujuuslaskelmista saatuja materiaalipaksuuksia. Säiliön rakenne on melko yksinkertainen, joten 2D-piirustus on riittävän selkeä valmistusta varten. Säiliön valmistuspiirustus löytyy liitteestä 2.

Vaippaa suunnitellessa piti selvittää tarvittavan levyaihion oikaistu pituus.

Mankeloinnin ja särmäyksen aikana levyn sisäreunalla aine puristuu kasaan eli tyssäntyy ja ulkoreunalla aine venyy. Neutraalitasossa eli tyssäntymisen ja venymisen rajakohdassa aine pysyy samanmittaisena ja sen pituus vastaa muovatun levyn oikaistua pituutta.

Yleisesti ottaen neutraalitason asema lieriön kehällä määrittyy materiaalin ominaisuuksista, muovaustavasta, ainepaksuudesta ja taivutussäteestä. Konepajaympäristössä on kuitenkin aikojen mittaan levyseppien toimesta kehitetty muutamia nyrkkisääntöjä, joilla saadaan tarpeeksi tarkkoja mittoja oikaistusta pituudesta.

Ohutlevyt: (paksuus  $s = 0,5-1$  mm)

- Särmäyksessä oikaistu pituus on sama kun sisäpituus eli kummankin sisäreunan yhteenlaskettu pituus.
- Mankeloidessa (taivutussäde 5 kertaa ainepaksuutta suurempi) neutraaliakseli sijaitsee levyn keskihalkaisijalla. Lieriötä mankeloidessa sen oikaistu pituus saadaan laskemalla:

$$(\text{ulkohalkaisija} - \text{ainepaksuus}) \cdot \pi = \text{oikaistu pituus}$$

Paksummat levyt: (paksuus  $s > 1$  mm)

- Särmäyksessä (taivutussäde pienempi kuin 5 kertaa ainepaksuus) neutraalitaso sijaitsee 1/3 ainepaksuuden etäisyydellä sisäreunan säteestä.
- Mankeloidessa neutraaliakseli on levyn keskihalkaisijalla, kuten ohutlevyissä.

Tavoitteena oli rakentaa säiliö, jonka ulkohalkaisija olisi 600mm. Näin ollen edellä mainituilla säännöillä lasketaan 6mm levyistä aihion oikaistuksi pituudeksi:

$$(600 \text{ mm} - 6 \text{ mm}) \cdot \pi = 1866,106 \dots \text{ mm} \approx 1866 \text{ mm}$$

Tarvittaessa tarkemmin oikaistu pituus voidaan laskea terästoimittajalta saatavilla muokkausohjeilla, mutta tässä työssä ei nähty aiheelliseksi laskea aihion mittoja millimetrin kymmenesosien tarkkuudella. Myös saksalainen levytuotteiden muokkausta käsittelevä standardi DIN 6935 opastaa ja määrittelee tarkemmin yleisimpien materiaalien muovaukseen liittyvät asiat.

Tilattujen materiaalien saavuttua säiliön valmistus aloitettiin yrityksen konepajalla työjärjestyksessä:

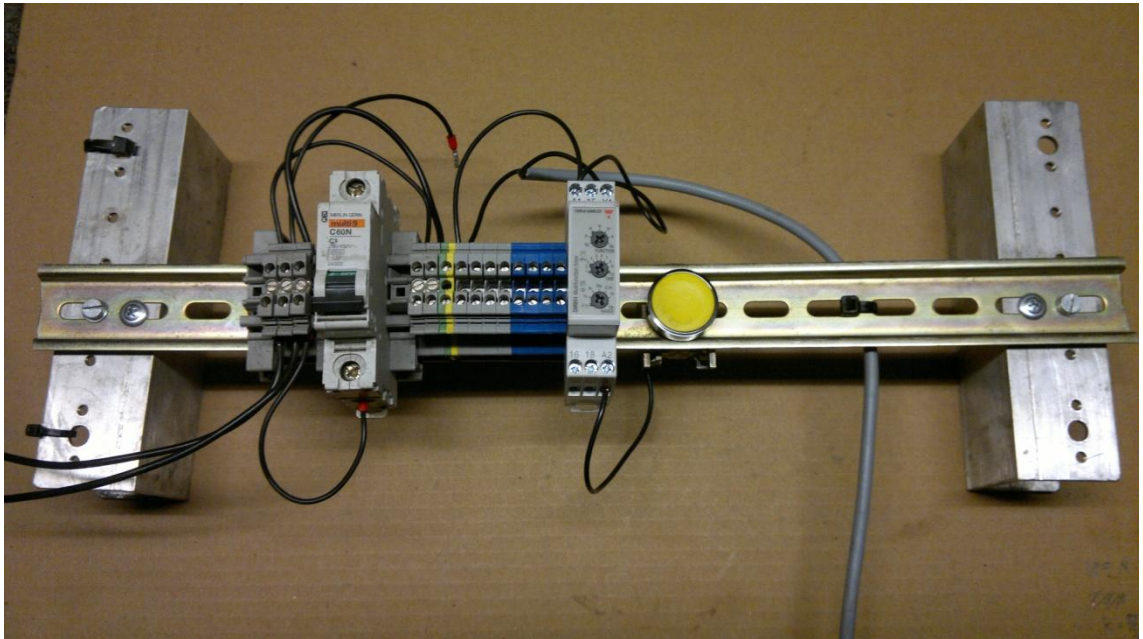
- I. Vaipan (Levy 1866x1300x6) reunojen esitaivutus NC- särmäyskoneella mankelointia varten.
- II. Vaipan mankelointi 3-telaisella moottorivetoisella mankelilla.
- III. Vaipan pituussuuntainen päittäishitsi. Reikä vaipan kylkeen plasmaleikkurilla yhdettä varten. DN50 putken ja laipan liittäminen päittäishitsillä. Putken liittäminen vaippaan pienahitsillä sisä- ja ulkopuolelta vaippaa. Vaipan hitsaus pohjalevyyn. Jalkaputkien liittäminen pienahitseillä pohjalevyyn.
- IV. Hitsatun säiliön hiekkapuhallus ja maalaus pirteällä värillä.



KUVA 6. Valmis hiekkasäiliö maalauksen jälkeen (Kuva: Janne Isomettä 2013)

## 5.2 Tykkien vanha ohjauslaite

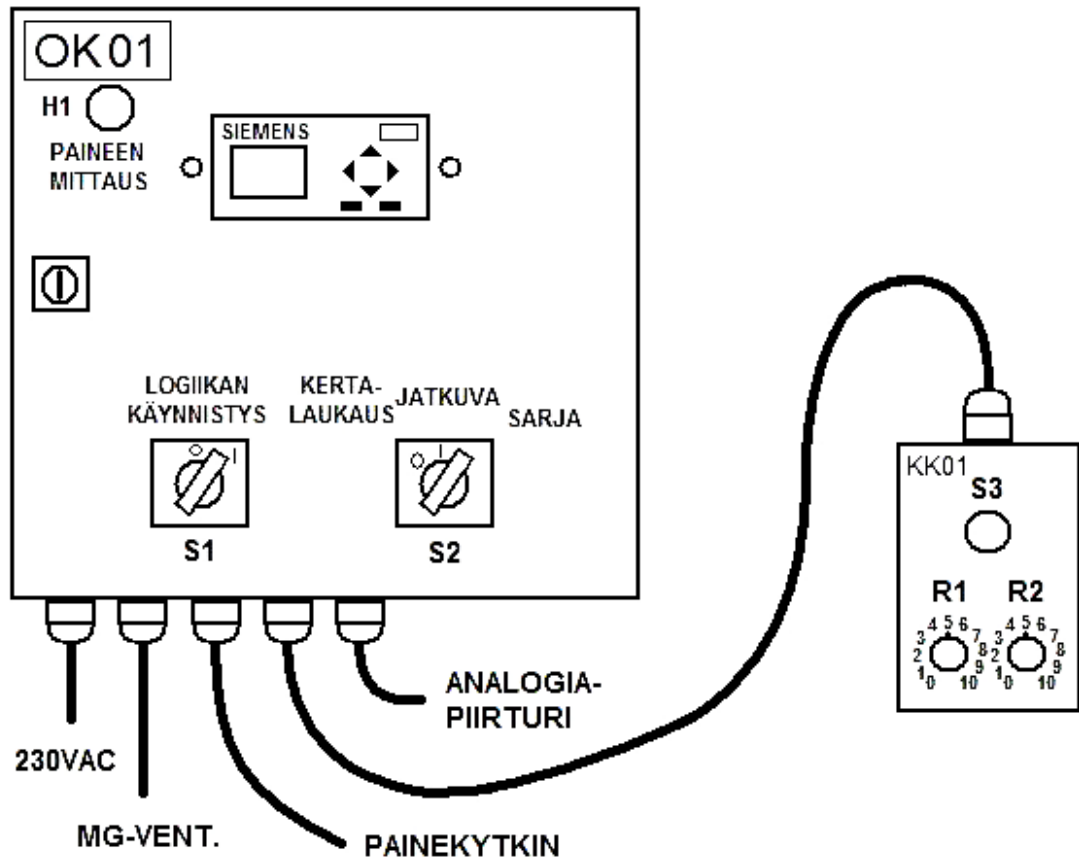
Aikaisemmin tykkejä on testattu ja varustettu Carlo Gavazzi DMB51- aikareleellä. Sen avulla tykki laukaistiin painonapista ja magneettiventtiilin aukioloaika säädettiin aikareleellä. Aikareleellä säädetty oikea aukioloaika tekee laukauksesta voimakkaan, eikä paineilmaa kulu turhaan. Alla olevassa kuvassa 7 vanha ohjauslaite.



KUVA 7. Tykkien vanha ohjauslaite (Kuva: Janne Isomettä 2013)

## 5.3 Uuden ohjauslaitteen tekeminen

Uuden ohjauslaitteen logiikkamoduli ja muut tarvittavat komponentit päätettiin sijoittaa Rittal -kytkentäkaappiin. Rittal -kaappi on suosittu teollisuudessa kestävän ja tiiviin (IP66) rakenteensa takia. Kaapista ja sen komponenteista piirrettiin AutoCad- mallin-  
 nusohjelmalla sähkökaavio, joka löytyy liitteestä 4. Sähkökaavioon piirretty 300x300x210 kaappi löytyi suoraan varastosta ja pienen sovittamisen jälkeen todettiin että kaikki tarvittavat komponentit varmasti mahtuvat kaappiin. Pieni laajennusvarakin jätettiin, mikäli tulevaisuudessa ohjaukseen lisätään komponentteja. Alla olevasta luonnoskuvasta 8 käy ilmi millaista kaapista suunniteltiin ja miten sillä ohjattaisiin siiloty-  
 kiä.



KUVA 8. Ohjainlaite

2-asentoisesta valintakytkimestä **S1** logiikka käynnistyy ja sammuu.

3-asentoisesta valintakytkimestä **S2** voidaan valita ammuttamoodit:

- **KERTALAUKAUS:**  
Napista **S3** painamalla tykki ampuu kerran. Magneettiventtiilin aukioloaikaa pystyy säätämään potentiometrillä **R1**.
- **JATKUVA:**  
Napista **S3** painamalla tykki alkaa ampua laukauksia taajuudella, joka on säädetty potentiometrillä **R2**. Myös magneettiventtiilin aukioloaikaa pystyy säätämään potentiometrillä **R1**. Säättöjä voi tehdä ammunnan aikana. Ammunta pysäytetään painamalla uudelleen nappia **S3**.
- **SARJA:**  
Logiikan näppäimillä annetaan ensin logiikkaohjelmaan sarjassa ammuttavien laukausten lukumäärä. Napista **S3** painamalla tykki alkaa ampua laukauksia taajuudella, joka on säädetty potentiometrillä **R2**. Myös magneettiventtiilin aukioloaikaa pystyy säätämään potentiometrillä **R1**. Säättöjä voi tehdä ammunnan

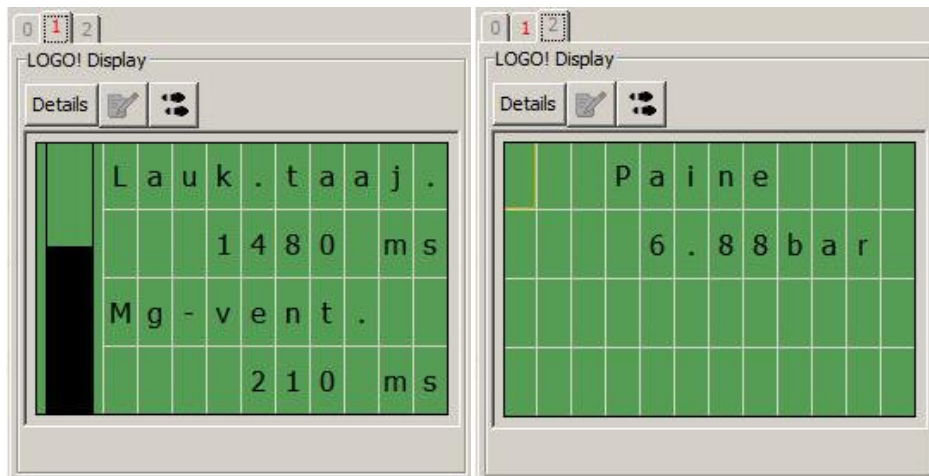


aikana. Sarjan voi keskeyttää painamalla uudelleen nappia **S3**. Keskeytys nolaa logiikan laskurin eli tämän jälkeen painamalla nappia **S3** sarja alkaa alusta.

Sarjassa ammuttavien laukausten lukumäärä asetetaan logiikan näppäimillä seuraavasti:

- 1 Siirry perusnäytöstä (1.näyttö) välilehdelle ”SARJ. PITUUS” (2.näyttö) painamalla esc -näppäin pohjaan ja selaamalla näyttöjä oikean puoleisella nuolinäppäimellä.
- 2 Lisää tai vähennä laukausten määrää painamalla esc -näppäin pohjaan ja painamalla ylös ja alas osoittavia nuoli-näppäimiä haluttuun suuntaan.

Painemittauksen arvo näkyy perusnäytössä pylväsdiagrammina (Kuva 9), mutta tarkempi arvo näkyy näytön välilehdellä ”PAINE” (3.näyttö) 0,01 barin tarkkuudella.



KUVA 9. Kuvankaappaus LOGO! Soft Comfort -ohjelmasta. Kuvassa logiikan näytön välilehdet

### 5.3.1 Ohjauskaappi

Logiikkamoduli asennetaan useimmissa sovelluksissa kaapin sisälle, mutta tässä tapauksessa käytettävyyden takia se kiinnitettiin poikkeuksellisesti kaapin kanteen. Näin logiikkaohjelman parametrien muuttaminen käy vaivattomasti, eikä kaappia tarvitse avata sen takia. Virtalähde, johdonsuojakatkaisija ja riviliitinryhmä X1 kiinnitettiin 35 mm:n DIN- asennuskiskolla, kuten alla olevasta kuvasta 10 näkee.



KUVA 10. Valokuva ohjauskaapin OK01 sisältä (Kuva: Janne Isomettä 2013)

Virtalähteeltä LOGO!-lle tuleva käyttöjännite kulkee 1,5 mm<sup>2</sup> johtoa pitkin.

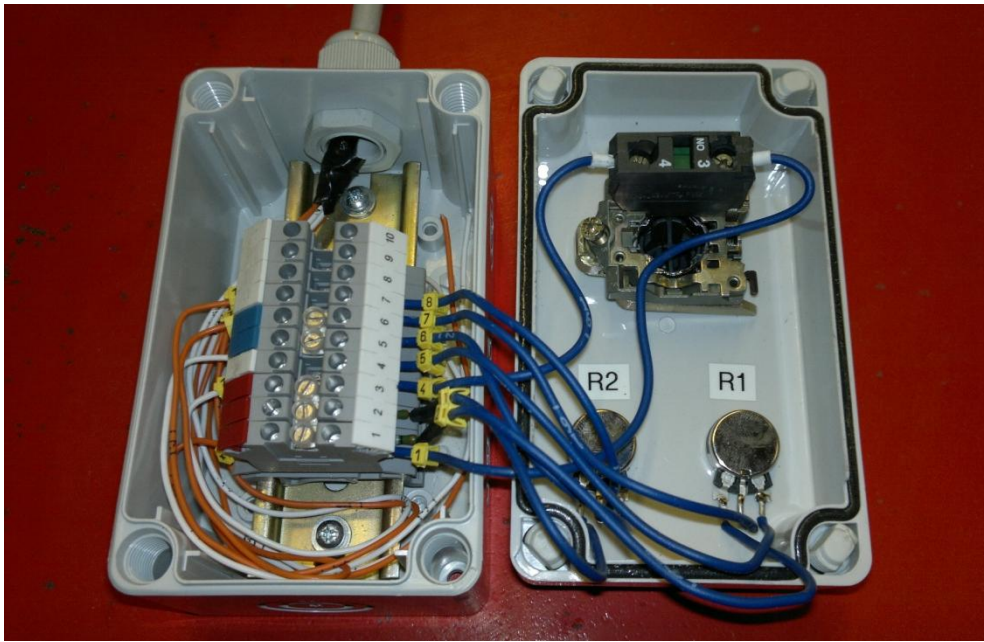
LOGO!-on voidaan kytkeä virtajohdot, joiden poikkipinta-ala on välillä 1,5 mm<sup>2</sup> ja 2,5 mm<sup>2</sup> (LOGO! käsikirja, 16).

Sarjavalmistettavia tuotteita suunnitellessa johtimien pienimmät sallitut poikkipinta-alat usein lasketaan kustannusten pienentämiseksi. Ohjauskaapin muu kaapelointi on toteutettu yleisten keskusvalmistukseen liittyvien käytäntöjen mukaisesti.

Näiden käytäntöjen mukaan tasavirralla toimivissa sovelluksissa toimilaitteet kaapeloidaan virrankulutuksen ja kaapelin pituuden mukaan. Tasavirralla (24VDC) toimivissa toimilaitteissa yleensä käytetään poikkipinnaltaan 1,0-1,5mm<sup>2</sup> johtimia. Painonappien, kytkimien ja säätimien ohjaussignaalit eivät vaadi poikkipinnaltaan 0,5mm<sup>2</sup> isompia kaapeleita. Ohjauslaitteessa käytetyt kaapelikoot on merkitty sähkökaavioon, joka löytyy liitteestä 4.

### 5.3.2 Kauko-ohjain

Kauko-ohjain on tarpeellinen silloin, kun säiliöön kohdistuvia impulsseja halutaan tarkkailla lähempää ja samalla muuttaa laukausten parametreja.

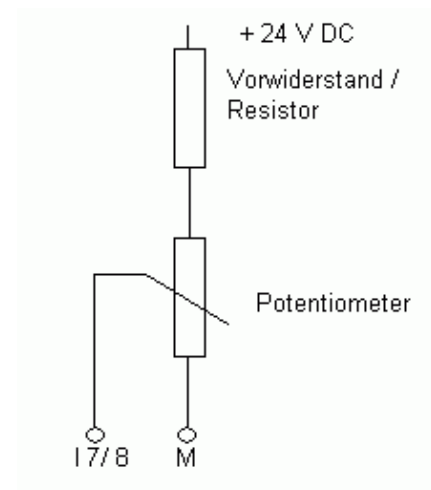


KUVA 11. Valokuva kauko-ohjaimen KK01 sisältä (Kuva: Janne Isomettä 2013)

Parametrien muuttaminen kauko-ohjaimella tuntui tarpeelliselta ja vaihtoehtoja säätämiseen oli useita. Käytettäessä Siemensin 6. sukupolven pienlogiikkaa helpoin tapa toteuttaa säätäminen on käyttää potentiometriä eli säädettävää vastusta. Kuten mainittu, logiikka kykenee lukemaan analogiaviestejä jännitteen alueella 0-10V. Tykin parametrien säätöön soveltuu potentiometri, jonka säätöalue on lineaarinen eli nuppia kiertämällä vastuksen arvo muuttuu tasaisesti. Potentiometrin toiminta perustuu sen resistanssin aiheuttamaan jännitehäviöön virtapiirissä, siksi sitä kutsutaan myös jännitteenjakajaksi.

#### Potentiometrin kytkeminen logiikkaan

Logiikan virtalähteen tuottama 24V:n jännite pudotetaan 10V:in käyttämällä ns. etuvastusta (ellei 10V:n jännitettä ole valmiiksi saatavilla). Potentiometri kytketään sarjaan etuvastuksen kanssa. Näin potentiometrin yli vaikuttava jännite on 10V. Potentiometrin keskimäinen ”jaloka” kytketään logiikan tuloporttiin ja näin saadaan nupista kiertämällä halutun suuruinen jännitesignaali porttiin. Alla oleva taulukko 5 on Siemens Oy:n suositus potentiometrikytkennässä käytettävistä vastusarvoista.



KUVA 7. Potentiometrin kytkentä Siemens LOGO!-n tuloporttiin (Siemens.com, 2013)

TAULUKKO 5. Potentiometrikytkennän vastusarvot (Siemens.com, 2013)

Voltage	Potentiometer	Series resistance
12V	5 kOhm	--
24V	5 kOhm	6.8 kOhm

Ohjauslaitteen osalista löytyy liitteestä 7.

### 5.3.3 Logiikkaohjelma

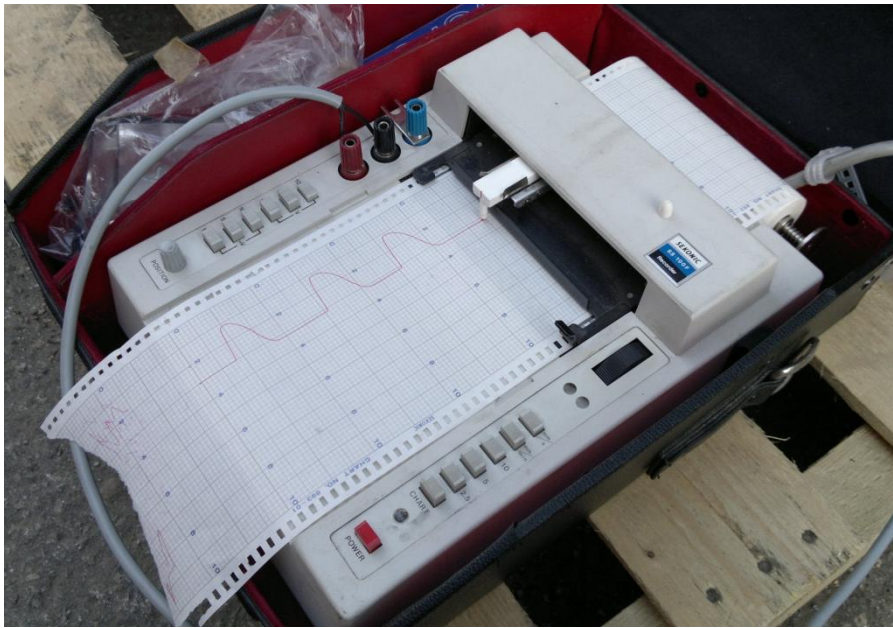
Logiikkaohjelma kirjoitettiin FBD- muotoon, joka on hyvä ja perinteikäs muoto ohjelmoida koneautomaatiota. Ohjelman rakenteesta haluttiin kirjoittaa selkeä, jotta mahdollisia lisätoimintoja on helppo lisätä ohjelmaan myöhemmin. Turhia lohkoja yritettiin välttää ja tehdä halutut toiminnot mahdollisimman yksinkertaisesti, käyttäen oikeita lohkoja toimintoihin. Ohjelmointityökalun analogiatoiminnot ja pulssitoiminto-lohkot olivat käteviä kyseisen ohjelman kirjoittamisessa. Myös näytön välilehtien ohjelmointi oli helppoa ohjelmointityökalun graafisen käyttöliittymän ansiosta.

Logiikkaohjelman kaaviot ja muuttujat löytyvät liitteestä 6.

## 5.4 Paineen mittaus

Tykin virtauksia haluttiin tarkkailla jonkinlaisella mittalaitteella. Mittauksiin soveltui käytetty Suco -merkkinen elektroninen painekeytkin, joka kalibroitiin tarkkuuspainemittarilla. Kyseisessä mallissa on kolmen digitin LED-näyttö, jonka avulla pystyttiin vaihtavasti tarkkailemaan paineenvaihteluita reaaliajassa. Ohjelmoitavien kytkentäpisteiden lisäksi painekeytkimestä saa ulos myös analogisen virtaviestin (4 - 20mA). Kytkimen analogialähtö on kytketty logiikkaan ja analogiapiirturiin. Näin säiliössä vallitseva paine näkyy myös logiikan näytöllä. Analogiapiirturi puolestaan piirtää käyriä paperille analogiaviestin arvoista.

20 vuotta vanha, mutta toimiva analogiaviestejä piirtävä piirturi on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Piirturi Sekonic SS-100F-MM (Kuva: Janne Isomettä 2013)

## 5.5 Signaalinkäsittely

Painekytkimen lähettämän virtaviestin muotoa piti muuttaa, koska piirturi ja logiikka osasivat tulkita vain jänniteviestejä. Kytkimen antama vakiojännitteinen (200mV) virtaviesti piti muuttaa jänniteviestiksi 0-10V:ia. Se tehtiin kytkemällä sopivan suuruinen vastus signaalijohdon ja maapotentiaalin väliin, liittimien X1:10 ja X1:14 väliin. (Vastus merkitty liitteen 4 liitântäkaavioon)

Tehty viestimuunnos perustuu ilmiöön, jossa virta kiertää silmukassa: kuorma – vastus – maapotentiaali vahvistaen jännitettä (Kuva 13). Kytkennän toiminta on täsmälleen sama kuin missä tahansa jännitelähteessä. Vastuksen resistanssi määrää jännitteen vahvistuksen suuruuden ja haluttu vahvistus saadaan laskemalla vastuksen arvo käyttäen ohmin lakia (Tekniikan kaavasto, 120)

$$U = I \cdot R \quad (4)$$

,jossa

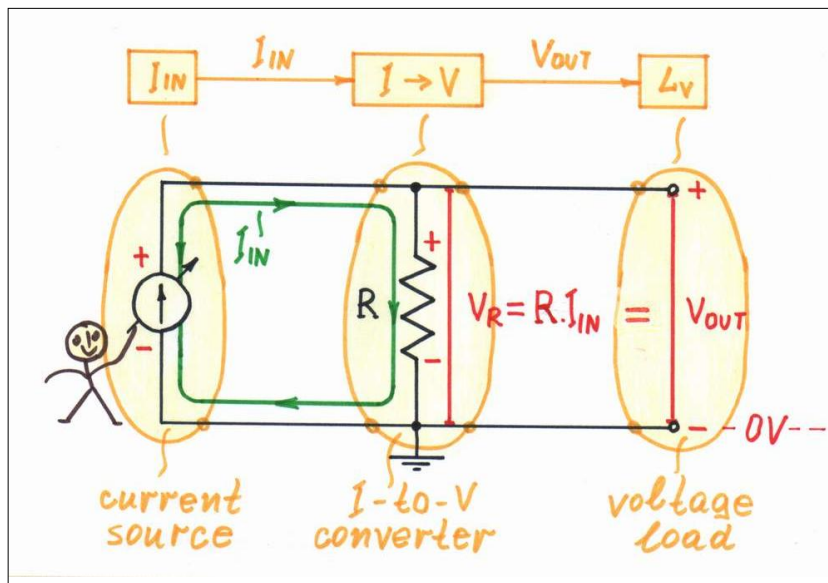
U = Jännite [voltti]

R = Resistanssi [ $\Omega$ , ohmi]

I = Virta [ampeeri]



,kuten alla olevassa kuvassa 13 esitetään. ( $U=V_R$ )



KUVA 13. Virtasilmukka aiheuttaa jännitettä (www.circuit-fantasia.com)

Ohmin lain mukaisesti, vastuksen aiheuttama resistanssi muuttaa lineaarisesti jännitteen  $V_{OUT}$  arvoa virran muuttuessa, joten tarvittavan vastuksen resistanssi on

$$(4) \quad U = I \cdot R \quad \Rightarrow \quad R = U / I = 10 \text{ V} / 0,020 \text{ A} = 500 \, \Omega$$

Laskelmien perusteella lisättiin signaalijohdon ja maapotentiaalin väliin 500 ohmin metallikalvovastus.

Tulee kuitenkin muistaa, että painekeytkimen lähettämä virtaviesti on muodossa 4-20mA, jolloin piirturi piirtää paineenvaihtelut asteikolla 2-10V:ia. Tämä tarkkuus riittää jo antamaan käsityksen paineenvaihteluiden eri vaiheista. Haluttaessa selvittää jostakin kriittisestä pisteestä paineen arvo, tulee piirturin piirtämä arvo käsitellä kaavalla

$$Paine = 1,25 \cdot (\text{piirturin lukema} - 2 \text{ V}) \quad (5)$$

,koska paineen ollessa 0 baria piirturi piirtää 2 V kohdalla (0 bar = 4mA = 2V).

Kaavassa vähennetään ensin tuo 2V piirturin arvosta. Tämän jälkeen käytetään kerrointa 1,25, koska painealueella 0-10baria piirtoalue on 8V. Kerroin saadaan siis jakamalla paineen alue piirtoalueella ( $10 / 8 = 1,25$ ).

Jännitteestä ja paineesta olisi saanut ekvivalenttisia lisäämällä vastuksen tilalle operaatiovahvistimella toimivan piirin, joka olisi leikannut pois edellä mainitut 2V:ia. Aikataulun ja jo saavutetun tarkkuuden takia piiriä ei kuitenkaan ryhdytty rakentamaan tai etsimään valmiina komponenttina. Tästä huolimatta mittauksen tieteellinen tarkkuus ei kärsinyt ja käyristä oli helppo nähdä virtauksen eri vaiheet. Logiikka sen sijaan osasi lukea muunnettua signaalia oikein ja sen näytöstä näkee paineen todelliset arvot reaaliajassa.



KUVA 14. Siilotykin testauslaitteisto valmiina koeammuntaan  
(Kuva: Janne Isomettä 2013)

## 6 KOKEET JA TULOKSET

Testauslaitteiston valmistuttua suoritettiin niin sanottu FAT -vaihe eli todettiin laitteiston toimivuus ennen varsinaisia testejä. Laitteiston kytkennät ja logiikka olivat kunnossa sekä logiikkaohjelma osoittautui toimivaksi, eikä siinä havaittu kirjoitusvirheitä tai bugeja. Tämän jälkeen tykki kiinnitettiin rakennettuun avosäiliöön ja aloitettiin käytännön kokeet. Kokeiden aikana syntyneitä paineenvaihtelun käyrät on dokumentoitu liitteeseen 8.

### PAINEILMAN SYÖTTÖ:

Syöttöletku: Muovinen Hi-Flex III 2007/02  $\varnothing 32/\varnothing 24\text{mm}$  L=19m

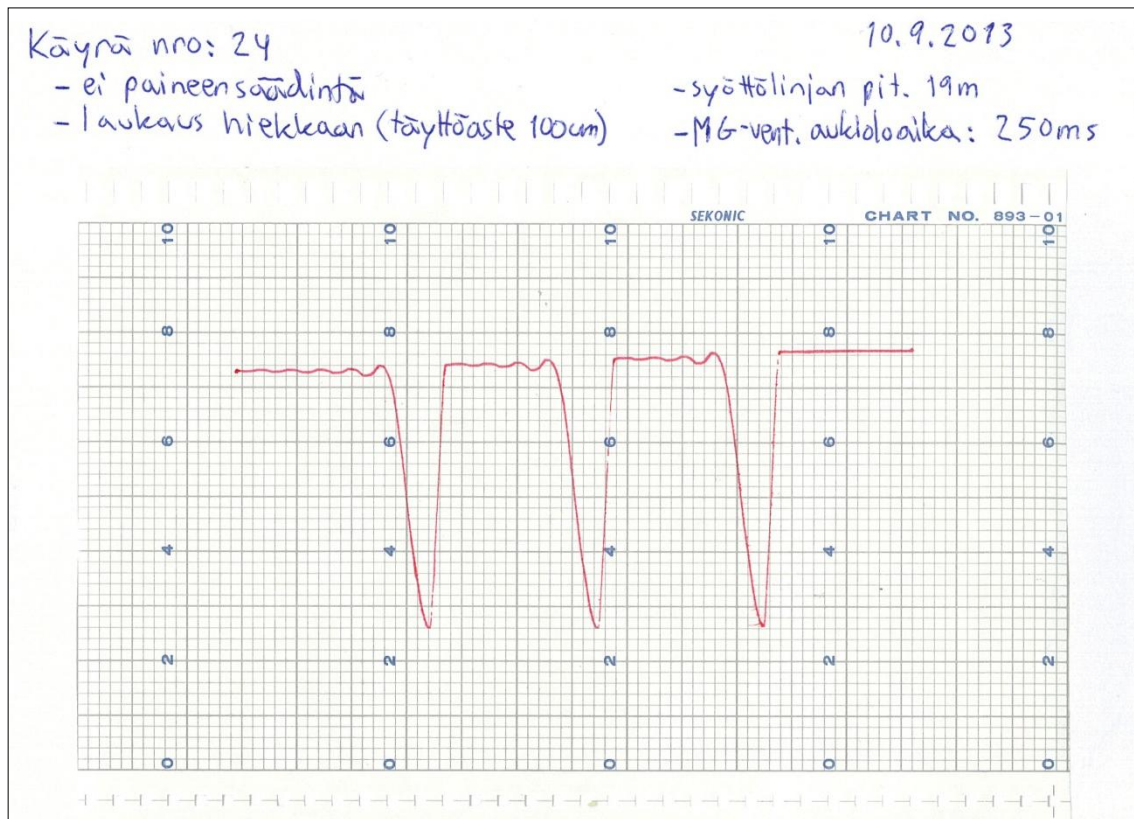
Paineensäädin: CompAir A119-12

Avosäiliön täyttöaste oli kokeiden ajan vakio, 100cm:n hiekkapatsas osoittautui sopivaksi vastukseksi täydellä paineella ammuttaessa. Näin hiekka pysyi vielä säiliössä vaimentaen tykin ääntä. Välillä hiekkaa piti lisätä, koska täydellä paineella ammuttaessa hiekkaa lensi pois, pari litraa laukausta kohden.

### 6.1 Paineenvaihteluiden tutkiminen

Tutkimussuunnitelman mukaisesti avosäiliö täytettiin hiekalla, jonka partikkelikoko oli 0-1,0 mm<sup>3</sup>. Hiekan tiheys on 1,65kg/dm<sup>3</sup>. Ensimmäisten kokeilujen perusteella havaittiin, että tykin lauetessa alussa esiintyy nopea paineimpulssi ja sen jälkeen voimakas puhallus siihen asti kunnes magneettiventtiili sulkeutuu. Ammuskelun jälkeen selvisi muun muassa, että säiliön paine laskee 0,7 bariin. Kuvasta 15 selviää tykin paineenvaihteluiden luonne.





KUVA 15. Käyrästä #24 näkee tykin sisällä tapahtuvan painenvaihtelun luonteen

Painesäätimen vaikutus oli huomattava, sen kanssa laukaistaessa säiliön paine laski 0,2 bariin ja ennen säiliön täyttymisen alkamista esiintyi noin sekunnin mittainen viive. Toisaalta viivettä ei esiintynyt ollenkaan, jos magneettiventtiilin aukioloaika oli niin lyhyt, ettei paine ehtinyt tippua 0,2 bariin asti.

### Virhelaskenta

Virhettä saatuihin arvoihin voi aiheuttaa virheellinen painelukema, mittajaan lukemataarkkuus sekä mittajaan väärä tulkinta käyrästä. Piirturi on luultavasti jo elinkaarensa paremmalla puolella, joten sen piirtämät arvot haluttiin kalibroida tarkkuuspainemittarilla. Tarkkuuspainemittari mittasi tykin painetta ja piirturi kalibroitiin sen mukaan. Mittauksessa ei otettu huomioon ilmanpainetta, lämpötilaa eikä gravitaatiovakion vaihtelua niiden vähäisen vaikutuksen takia. Virhelaskennassa käytettiin apuna Fysiikan laboratoriotyöt -kirjaa.

Näillä perusteilla paineenvaihteluiden virherajoiksi arvioimme seuraavasti:

- A Tarkkuuspainemittarin valmistajan ilmoittama tarkkuus  $\pm 1000\text{pa}$  (**0,01bar**)
- B Mittaajan lukutarkkuus tarkkuuspainemittarista (asteikon väli):  $\pm 0,05\text{ bar}$
- C Mittaajan epätarkkuus käyrän tulkinnessa (1/4 asteikon väliä):  $\pm 0,0625\text{ bar}$

### Virhe paineenvaihtelussa:

Absoluuttinen virhe on edellä mainittuja perusteluja käyttämällä luokkaa:

$$\Delta P = |A| + |B| + |C| = 0,01\text{ bar} + 0,05\text{ bar} + 0,0625\text{ bar} = 0,1225\text{ bar}$$

### Tulokset virherajoineen:

Tyhjenemisen jälkeinen paine, kun syöttöpainetta ei rajoiteta:

$$P_1 = (700 \pm 123) \cdot 10^{-3}\text{bar}$$

Tyhjenemisen jälkeinen paine, kun käytetään paineensäädintä:

$$P_2 = (200 \pm 123) \cdot 10^{-3}\text{bar}$$

## 6.2 Nopeimman laukaisutaajuuden selvittäminen

Sarja-ammunnassa laukaisutaajuus riippuu ajasta, joka kuluu tykin säiliön täyttymiseen. Tykin täytyminen nähdään hyvin havainnollisesti analogiapiirturin piirtämistä käyristä ja siihen kuluva aika selviää piirturin piirtonopeudesta, joka on 10mm/s. Täyttymisnopeuteen vaikuttava muuttuja on tietenkin säiliöön virtaavan ilman tilavuusvirta, jonka suuruuteen vaikuttaa syöttölinjasta aiheutuvat painehäviöt. Esimerkiksi voimalaitoksilla paineilmalähteen ja tykin väliset etäisyydet voivat olla pitkiäkin. Kokeilimme täyttymisnopeutta painesäätimellä ja ilman sekä eripituisilla letkuilla.

### 1. Syöttölinjan tavanomaisimmilla osilla:

- 1” muoviletku,  $\varnothing 32/\varnothing 24$ mm, pituus 19m
- 1” kynsiliittimet koiras-naaras, pienin halkaisija 20mm

Käyrästä #25 voidaan tulkita paineenousun 0,7-7bar kestävän 0,8 sekuntia.

Laukauksen jälkeen paine ei ole tasan 0 baria, koska syöttölinjan virtaus kehittää 0,7 barin paineen säiliöön.

### 2. Voimalaitosympäristössä paineilmasyötön ollessa etäämmällä:

- 1” muoviletku,  $\varnothing 32/\varnothing 24$ mm, pituus 50m
- 1” kynsiliittimet koiras-naaras, pienin halkaisija 20mm

Käyrästä #27 voidaan tulkita paineenousun 0,6-7bar kestävän 1,0 sekuntia.

### 3. Murskautuvan materiaalin purussa, jossa tykin paineiskua rajoitetaan paineensäätimellä:

- 1” muoviletku,  $\varnothing 32/\varnothing 24$ mm, pituus 19m
- 1” kynsiliittimet koiras-naaras, pienin halkaisija 20mm
- 1” paineensäädin, säädetty 5,5 bariin

Käyrästä #28 voidaan tulkita paineenousun 0,2-5,5bar kestävän 2,1 + 1,0 sekuntia.

Laukauksen jälkeen paine on 0,2 baria, luultavasti paineensäädin päästää lävitseen virtauksen, joka kehittää säiliöön 0,2 barin paineen. Huomion arvoista lienee sekunnin mittainen viive ennen täytön alkamista, mikä johtunee painesäätimen toiminnasta.

### Virhelaskenta

Virhettä latausaikaan voi aiheuttaa piirturin väärä piirtonopeus tai mittaajan väärä tulkinta käyrästä. Piirturin piirtonopeus selvitettiin piirturin ohjeista. Mittauksessa ei otettu huomioon ilmanpainetta, lämpötilaa eikä gravitaatiovakion vaihtelua niiden vähäisen vaikutuksen takia. Virhelaskennassa käytettiin apuna Fysiikan laboratoriotyöt -kirjaa.

Näillä perusteilla latausajan virherajoiksi arvioimme seuraavasti:

D Piirtonopeuden virhe (piirturin valmistajan ilmoittama):  $\pm 0,02 \text{ s}/10\text{mm}$

E Mittaajan epätarkkuus käyrän tulkinnessa ( $\frac{1}{2}$  asteikon väliä):  $\pm 0,10 \text{ s}$

Piirturin piirtonopeuden arvoksi asetettiin  $10\text{mm/s}$ , joten valmistajan ilmoittama virhe prosentteina on:  $0,02\text{s} / 1,00\text{s} = 2 \%$

#### **Virhe latausajassa:**

Absoluuttinen virhe on edellä mainittuja perusteluja käyttämällä luokkaa:

$$\Delta t = t \cdot |D| + |E| = 800 \text{ ms} \cdot 2\% + 100 \text{ ms} = 116 \text{ ms}$$

#### **Mittausten tulokset virherajoineen:**

Syöttölinjan tavanomaisimmilla osilla:

$$t_{LAT1} = (800 \pm 116) \text{ ms}$$

Voimalaitosympäristössä paineilmasyötön ollessa etäämmällä:

$$t_{LAT2} = (1000 \pm 120) \text{ ms}$$

Murskautuvan materiaalin purussa, jossa tykin paineiskua rajoitetaan paineen-säätimellä:

$$t_{LAT3} = (3100 \pm 162) \text{ ms}$$

### **6.3 Magneettiventtiilin aukioloajan vaikutus kalvon värinään**

Ensimmäisenä oli tärkeää selvittää magneettiventtiilin suurin sallittu aukioloaika. Haastattelujen aikana selvisi, että magneettiventtiilin ollessa liian pitkään auki, aiheuttaa paineilma-verkon ilmavirta tykin sisällä olevan kalvon värinän. Värinä on haitallista, koska sen seurauksena kalvon pinta kuluu enneaikaisesti. Tämän takia haluttiin selvittää,

mitkä tekijät vaikuttavat värinöiden syntymiseen. Kokeilemalla selvisi, että värinää esiintyy helposti jos

- Magneettiventtiilin aukioloaika on liian pitkä.
- Siilon kartio on tyhjä materiaalista, eikä laukaukselle ole mitään vastapainetta.

TAULUKKO 6. Magneettiventtiilin aukioloajan vaikutus värinän syntymiseen

Syöttöpaine [bar]	MG-venttiilin aukioloaika [ms]	Paineensäädin	Värinänvoimakkuus
2,0 – 6,80	>20	kyllä	ei värise
7,0 (<säätö arvo)	20	kyllä	ei värise
7,0 (<säätö arvo)	30	kyllä	ei värise
7,0 (<säätö arvo)	40	kyllä	pieniä
7,0 (<säätö arvo)	50	kyllä	pieniä
7,0 (<säätö arvo)	60	kyllä	keskivoimakasta
7,0 (<säätö arvo)	70	kyllä	voimakasta
7,0 (<säätö arvo)	> 80	kyllä	voimakasta
7,0	20	ei	ei värise
7,0	30	ei	ei värise
7,0	40	ei	pieniä
7,0	50	ei	keskivoimakasta
7,0	60	ei	keskivoimakasta
7,0	70	ei	voimakasta
7,0	> 80	ei	voimakasta

Huom. Taulukon 6 arvot saatu ampumalla vain ilmanpaine vastapaineena, ei hiekkaan.

Kun syöttöpainetta rajoitettiin paineensäätimellä, värinää ei esiintynyt ollenkaan eri paineilla kokeiltaessa, mutta kun paineensäätimen raja säädettiin verkostopainetta korkeammaksi, alkoi kalvo väristä.

### Virhelaskenta

Värinä tutkimuksissa ilmeneviä virhetekijöitä voivat olla magneettiventtiilin aukioloajan väärä lukema tai mittaaajan väärä havainto värinästä. Potentiometrikytkennällä toteutetun

säädön ainoa epätarkkuus syntyy pienlogiikan käsitellessä potentiometrillä säädettyä jännitteen arvoa. Myös magneettiventtiilin sulkeutuminen painetta vasten hidastaa sen sulkeutumista pidentäen aukioloaikaa. Edellä mainitut virheet ovat kuitenkin niin pieniä, ettei niitä hyödytä edes mitata tai laskea. Sen sijaan mittaajan väärä havainto aiheuttaa paljon merkittävämmän virheen, koska värinän kuunteleminen on ihmisen kuulolle tarkka tehtävä. Värinän alkamisen voi luotettavasti erottaa kuuntelemalla laukauksia ja pidentäen aukioloaikaa noin 10ms kerrallaan.

#### 6.4 Aineiston kuvaus markkinointia varten

Kokeiden aikana otettiin laukauksista valokuvia. Valokuvista saatiin tykin tehoa paremmin havainnollistavia, kun lisättiin kalkkijauhetta puhallusputkeen ja laukaistiin ilmaan. Jauheen avulla nähtiin hyvin selvästi paineimpulssin virtauskuvio ja nopeus. Myös videoita kuvattiin yksittäisistä laukauksista sekä sarja-ammunnasta. Kuvaus oli helppoa sarjakuvaustoiminnolla varustetulla järjestelmäkameralla.

Valokuvien ja tehtyjen kokeiden pohjalta saatiin kirjoitettua artikkeli alan lehteen (Enertec 2/2013). Myös uusi mainos tykkimallistosta julkaistiin alan lehtiin.



KUVA 16. Siilotykin laukaus. Väriaineena kalkkijauhe (Kuva: Janne Isomettä 2013)

## 7 TULOSTEN ANALYSOINTI

### **Paineenvaihteluiden luonne**

Käyristä päätellen paine laskee äkisti laukauksen jälkeen ja alkaa nousta heti magneettiventtiilin sulkeuduttua. Tykin lauetessa alussa esiintyy nopea paineimpulssi ja sen jälkeen voimakas puhallus siihen asti kunnes magneettiventtiili sulkeutuu. Säiliön tyhjeneminen kestää noin 100 ms. Ennen kokeita oli arvioitu, että tykin säiliö tyhjenee normaaleilla magneettiventtiilin aukioloajoilla korkeintaan puoliksi. Yllätyksenä huomattiin tykin tyhjenevän kokonaan jo normaalia lyhyemmilläkin aukioloajoilla. Täyttymisvaiheen jälkeen paine heitteli ilman paineensäädintä huomattavasti, koska ilman koonpuristuvuus aiheuttaa kyseiset heilahdukset joustoillaan. Heilahduksia ei pidetä säiliön rakenteen kannalta haitallisina, koska vaihtelun amplitudi ei kuitenkaan ole enempää kuin 0,2 baria. Paineensäädin vaimensi heilahdukset kokonaan, mutta aiheutti merkittävän viiveen säiliön täyttymisaikaan. Painemittaukseen liittyvät virherajat pysyivät vielä järkevän suuruisina, vaikka mittauksen olisi voinut toteuttaa helpomminkin erilaisella laitteistolla.

### **Nopein laukaisutaajuus**

Teoriassa olisi mahdollista saada PG4-siilotykki ampumaan noin puolen sekunnin välein käyttämällä paineakkua tykin läheisyydessä, mutta voimalaitosympäristössä käytännön laukaisutaajuus on laukaus per sekunti. Muiden valmistajien tykkeihin verrattuna tämä nostaa laukaisunopeuden uudelle tasolle. Kyseinen arvo voidaan ilmoittaa laukaisutaajuudeksi tykin mainoksiin, joilla parannetaan tykin markkinointia. Paineimpulsseja tarkkaillessa havaittiin, että hiekkaan ammuttaessa magneettiventtiilin aukioloajan ollessa noin 250ms, saadaan voimakkain impulssi.

### **Kalvon värinät**

Magneettiventtiilin aukioloaika on hyvä säätää siten, että kalvo ei ala väristä, vaikka siilon alakartio olisi tyhjä ammuttaessa. Tällöin aukioloaika säädetään taulukon 6 mukaan. Siilotykin PG4 kohdalla värinää ilmenee, kun magneettiventtiili on auki kauemmin kuin 40ms. Alle 40ms:n aukioloajalla kalvo kestää pidempään ja säiliö tyhjenee

vain puoliksi, jolloin säästyy myös paineilmaa. Joissain kohteissa voi silti olla parempi, että pidempi aukioloaika sallii myös terävimmän impulssin jälkeisen jälkivirtauksen. Jälkivirtauksella on materiaalia työntävä vaikutus, josta voi olla hyötyä tukosten poistossa. Paineensäädin tuntui olevan tehokas värinöiden poistaja, kun sen rajoituspaine oli vähänkin pienempi kuin verkostopaine.



## 8 LOPPUPOHDINTA

Tutkimus oli kaiken kaikkiaan ammatillisesti hyvin opettavainen monipuolisuutensa vuoksi. Työstä yhdistyi monipuolinen kokonaisuus, joka käsitteli kattavasti koneenrakennuksen eri vaiheita. Haasteita lisäsi myös hankkeen tutkimusperäinen luonne sekä tavoite saada tutkimuksen tulokset tukemaan tehokkaasti markkinointia. Tällaiset hankkeet vaativat suunnittelijoilta vankkaa tietoa tuotteesta ja oikeaan suuntaan kehittävää ajattelutapaa. Opinnäytetyön tekijän kohdalla tutkimuksen laatua ja halutun lopputuloksen hahmottamista paransi muutaman vuoden aikaisempi tuntemus voimalaitosten materiaalinkäsittelystä. Toteutussuunnitelman mukainen arvio työn kestosta toteutui melko hyvin, vaikkakin opinnäytetyötä tehtiin työsuhteeseen kuuluvien työtehtävien rinnalla. Siilojen purkuongelmia pohtiessa huomattiin, että siilojen suunnitteluun liittyvää kirjallisuutta ei juuri löydy, mutta Internetistä löytyy joitain artikkeleita aiheesta.

Paineastian rakenteen mitoitus käytetyn standardin mukaisesti on haastavaa sekä työlästä ja sitä voisi luonnehtia melko haasteelliseksi tehtäväksi asiaan perehtymättömälle. Työpaikalta löytyvän ja ajan tasalla olevan painelaite-standardin avulla säiliön lujuuslaskelmat tuli laskettua oikeilla menetelmillä, oikeilla kaavoilla. Yleisiä lujuuslaskennan kaavoja noudattamalla olisi luultavasti myös päästy lähelle samoja arvoja, mutta väärällä metodilla laskettaessa yksikin väärä kaava olisi voinut muuttaa lopputulosta radikaalisti. Suojalaitteen mitoitus oli helppoa, koska koulussa opitut asiat olivat vielä tekijän tuoreessa muistissa.

Itse testilaitteisto antaa monia mahdollisuuksia uusiin ja kattavampiin testauksiin, joita jo tutkimuksen aikana on hahmottanut. Pienlogiikan uudemman sukupolven toimintoihin olisi kuulunut datankeruu, jonka avulla olisi saatu siirrettyä paineenvaihteluiden arvot taulukkolaskenta-ohjelmaan. Tämä tapa olisi vähentänyt mittausten virhemarginaalia, mutta analogisella piirturillakin tarkkuus oli riittävä. Kokeiden mittaukset olivat muutenkin luotettavia ja virheet muodostuivat pieniksi, kalibrointien ansiosta.

Ohjauslaitteella on ollut jo käyttöä myös uuden tykkimallin prototyypin laukaisujärjestelmän tutkimisessa ja säätämisessä. Laitteistoa on myös tarkoitus hyödyntää kentällä, eli tehdä siitä kompaktimpi ja säätää tykkejä asiakkaan luona silloin kun asiakas näin haluaa tai materiaalin ollessa erittäin haastava purkaa.

## LÄHTEET

### Kirjallisuus

Tammertekniikka / Amk-kustannus Oy. Tekniikan kaavasto. 2008. 6. painos. Karisto Kirjapaino Oy. Luettu 06/2013 - 09/2013.

Bohl, W. 1988. Teknillinen virtausoppi. 2. painos. Tampereen Pikakopio Oy. Luettu 06/2013.

Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3. painos. Painokurki Oy, Helsinki. Luettu 06/2013.

Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS 6000:2012 Pienjännitesähköasennukset. Osat 4-5. Standardi. Luettu 06/2013. Standardien lainaukset on tehty Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla.

Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 13445:2009 Lämmittämättömät painesäiliöt. Osat 1-6. Standardi. Luettu 07/2013. Standardien lainaukset on tehty Suomen standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla.

Siemens Oy. LOGO! -käsikirja, tuoteversio 0BA6. Luettu 07/2013.

Arminen, E. 1998. Fysiikan laboratoriotyöt. 3. painos Tammertekniikka. Luettu 07/2013.

Jumpponen, E. 1991. Sähköpiirustuskirja. 4. painos. Tammer-paino Oy. Luettu 07/2013.

### Internet

Pneuplan - Yritysesittely. 2013. Pneuplan Oy Internet-sivut. Luettu 6.5.2013. <http://www.pneuplan.fi>

Maynard, Eric P. Practical solutions for solving bulk solids flow problems. Internet-artikkeli siilojen purkuongelmien ratkaisusta. Luettu 20.5.2013. [http://www.asocem.org.pe/bivi/sa/dit/icem/MAYNARD\\_PRACTICAL%20SOLUTIONS.pdf](http://www.asocem.org.pe/bivi/sa/dit/icem/MAYNARD_PRACTICAL%20SOLUTIONS.pdf)

Bradley, MSA., Berry RJ. & Farnish RJ. Methods for Design of Hoppers Silos, Bins and Bunkers for Reliable Gravity Flow, for Pharmaceutical, Food, Mineral and Other Applications. Internet-artikkeli lehdestä Bulk Solids Handling, julkaistu 19.10.2011. Luettu 22.5.2013. <http://www.bulk-solids-handling.com/whitepaper/downloads/18878/>

Lease, Tim J. A silo design checklist. Muistilista siilojen suunnitteluun, Internet-artikkeli lehdestä Powder and Bulk Engineering Magazine, julkaistu 1.11.2009. Luettu 24.5.2013. <http://www.powderbulk.com/content/viewRequest.aspx?ID=bfc7d583-16d8-419c-a73e-fd130f9851a7&fi=1>

Jacob, K. Bin and hopper design lecture. Internet-artikkeli The Dow Chemical Company-yrityksessä tehtyjen laboratoriokokeiden pohjalta. Luettu 26.5.2013.  
<http://coel.ecgf.uakron.edu/~chase/Solids/Bin%20and%20Hopper%20Design%20Lecture.ppt>

Siemens – Teollisuuden tuotteet ja ratkaisut – Automaatiotekniikka – Ohjelmoitavat logiikat – Simatic – Logo. Siemens Suomi Internet-sivut. Luettu 22.5.2013.  
<http://www.siemens.fi>

Mechkow, C. How to Understand, Present and Invent Electronic Circuits. Bulgarianlaisen yliopiston analogisen elektroniikan opetusta tukeva sivusto. Luettu 1.10.2013.  
[http://www.circuit-fantasia.com/circuit\\_stories/inventing\\_circuits/i-to-v\\_converter/i-to-v\\_converter.htm#step1](http://www.circuit-fantasia.com/circuit_stories/inventing_circuits/i-to-v_converter/i-to-v_converter.htm#step1)

Kamrat, J.M. 2012. Kaukolämpölaitoksen automatisointi. Automaatioon liittyvä opinnäytetyö Theseus -julkaisuarkistosta. Luettu 2.10.2013.  
[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47469/Kamrat\\_Juha-Matti.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47469/Kamrat_Juha-Matti.pdf?sequence=1)

#### Haastattelut

Erkkilä Raimo. Toimitusjohtaja 2013. Haastattelu 16.5.2013. Haastattelija Isomettä J. Ei litteroitu. Pneuplan Oy.

Malmi Tommi. Projektipäällikkö 2013. Haastattelu 21.5.2013. Haastattelija Isomettä J. Ei litteroitu. Pneuplan Oy.

Ojansivu Arto. Hitsaaja 2013. Haastattelu 24.7.2013. Haastattelija Isomettä J. Ei litteroitu. Pneuplan Oy.

**LIITTEET**

Liite 1. Siilotykin PG4 tekninen piirros (Pneuplan Oy) (Salattu)



## Liite 3. Säiliön lujuuslaskelmat standardin EN 13445:2009 mukaan

1 (3)

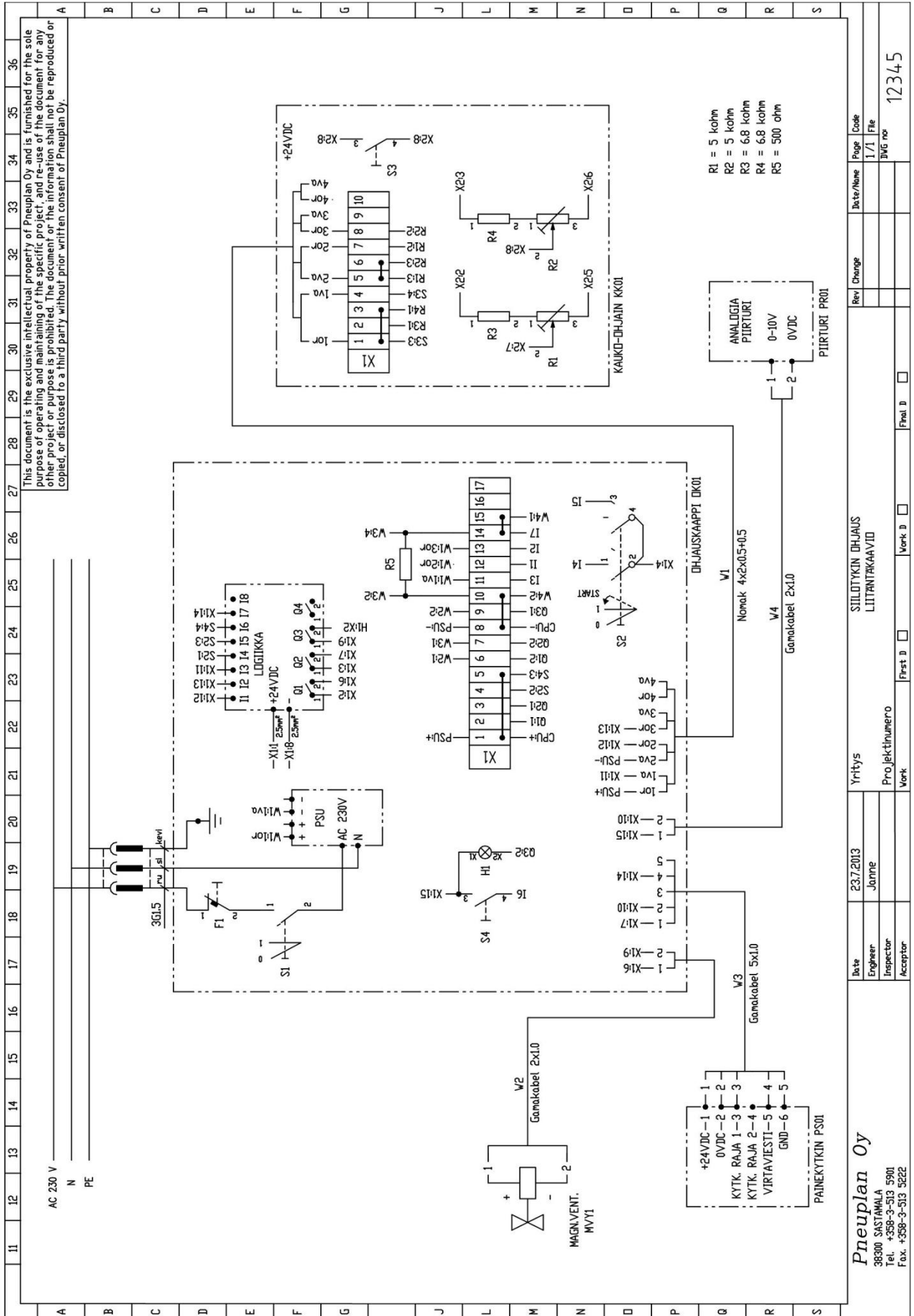
piirustus n:o	12345			
osa n:o	1			
<b>Lieriö 7.4.2 sivu 29</b>	<b>EN 13445-3:2009</b>			
<b>Materiaali P355NH</b>	Issue 3 (2009-10)			
EN 10028-3 mukaan:				
Materiaalin myötölujuus $T_d$ (T=50°C)	$R_{eh}/T=$	355,00	N/mm <sup>2</sup>	kun $T_d$ on enintään
Materiaalin murtolujuus (T=20°C)	$R_m=$	490,00	N/mm <sup>2</sup>	50°C, on $R_{eh}/T = R_{eh}$ (paksuus<16mm)
Suurin sallittu nimellinen jännitys $f_d$ (taulukko 6-1)				- normaalit käyttöolosuhteet
	1. arvo	$355 \text{ N/mm}^2 / 1,5 = 236,67 \text{ N/mm}^2$		-valitaan ohjeen
	2. arvo	$490 \text{ N/mm}^2 / 2,4 = 204 \text{ N/mm}^2$		mukaan pienempi arvo
sallittu jännitys	$f=$	204,00	N/mm <sup>2</sup>	
suunnittelupaine	$P=$	1,00	N/mm <sup>2</sup>	(=10 baria)
hitsausliitoksen lujuuskerroin	$z=$	0,85		
ulkohalkaisija	$D_e=$	600,00	mm	
keskihalkaisija	$D_m=$	594,00	mm	
sisähalkaisija	$D_i=$	588,00	mm	
Ohjeen mukaiset lisät				
syöpymislisä	$c$	1,00	mm	
muovauslisä	$\delta_m$	0,50	mm	
valmistuslisä	$\delta_e$	0,25	mm	
varmuuslisä	$e_{ex}$	0,25	mm	
Seinämän minimipaksuus sisähalkaisijan mukaan (7.4-1)				
	$e=(P \cdot D_i)/(2 \cdot f \cdot z - P)=$	1,70	mm	
Lisien kanssa				
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	3,70	mm	
Seinämän minimipaksuus ulkohalkaisijan mukaan (7.4-2)				
	$e=(P \cdot D_e)/(2 \cdot f \cdot z + P)$	1,73	mm	
Lisien kanssa				
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	3,73	mm	
Valittu seinämän paksuus		6,00	mm	
Maksimipaine valitulla seinämällä (7.6.-3)				
$P_{max} = (2 \cdot f \cdot z \cdot e_a) / D_m$	$P_{max} =$	3,50	N/mm <sup>2</sup>	(~35 baria)
$= (2 \cdot 183 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,85 \cdot 6 \text{ mm}) / 594 \text{ mm}$				

piirustus n:o	12345			
osa n:o	2			
<b>10.4. Aukoton, pyöreä, lieriökuoreen hitsattu pääty</b>				
10.4.4. Suora, välittömästi kuoreen hitsattu laippa s. 134	<b>EN 13445-3:2009</b>			
<b>Materiaali P355NH</b>	Issue 3 (2009-10)			
EN 10028-3 mukaan:				
Materiaalin myötölujuus $T_d$ (T=50°C)	$R_{eh}/T=$	355,00	N/mm <sup>2</sup>	kun $T_d$ on enintään
Materiaalin murtolujuus (T=20°C)	$R_m=$	490,00	N/mm <sup>2</sup>	50°C, on $R_{eh}/T = R_{eh}$ (paksuus<16mm)
Suurin sallittu nimellinen jännitys $f_d$ (taulukko 6-1)				- normaalit käyttöolosuhteet
	1. arvo	$355 \text{ N/mm}^2 / 1,5 = 236,67 \text{ N/mm}^2$		-valitaan ohjeen
	2. arvo	$490 \text{ N/mm}^2 / 2,4 = 204 \text{ N/mm}^2$		mukaan pienempi arvo
sallittu jännitys	$f=$	204,00	N/mm <sup>2</sup>	
suunnittelupaine	$P=$	1,00	N/mm <sup>2</sup>	(=10 baria)
hitsausliitoksen lujuuskerroin	$z=$	0,85		
Lieriökuoren sisähalkaisija	$D_i=$	588,00	mm	
Ohjeen mukaiset lisät				
syöpymislisä	$c$	1,00	mm	
muovauslisä	$\delta_m$	0,50	mm	
valmistuslisä	$\delta_e$	0,25	mm	
varmuuslisä	$e_{ex}$	0,25	mm	
Seuraavan kohdan, kaavan 10.4.-10 kertoimet $C_1$ ja $C_2$				
Taulukosta 10.4-4	$C_1 =$	0,28		
Taulukosta 10.4-5	$C_2 =$	0,10		
Pienin ainepaksuus (10.4-10) (Kaavan ensimmäinen termi)				
	$e_1 = C_1 * D_i * \sqrt{P / f} =$	11,53	mm	
Lisien kanssa				
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	13,53	mm	
Pienin ainepaksuus (10.4-10) (Kaavan toinen termi)				
	$e_2 = C_2 * D_i * \sqrt{P / f_{min}} =$	4,12	mm	$f_{min} = f$
Lisien kanssa				
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	6,12	mm	
<u>Valittu seinämän paksuus</u>		14,00	mm	valitaan suuremman paksuuden perusteella
Maksimipaine valitulla seinämällä (10.4 -12)				
$e_1 = C_1 * D_i * \sqrt{P / f} \rightarrow P = f * (e_1 / (C_1 * D_i))^2$		1,38	N/mm <sup>2</sup>	(~13,8 baria)
(käytetään $e_1$ arvona seinämän laskentapaksuutta maksimipaineen laskemisessa)				

piirustus n:o	12345			
osa n:o	3			
<b>Lieriö 7.4.2 sivu 29</b>	<b>EN 13445-3:2009</b>			
<b>Materiaali P235GH</b>	Issue 3 (2009-10)			
EN 10216-2 mukaan:				
Materiaalin myötölujuus $T_d$ ( $T=50^{\circ}\text{C}$ )	$R_{eh}/T=$	235,00	$\text{N}/\text{mm}^2$	kun $T_d$ on enintään
Materiaalin murtolujuus ( $T=20^{\circ}\text{C}$ )	$R_m=$	360,00	$\text{N}/\text{mm}^2$	$50^{\circ}\text{C}$ , on $R_{eh}/T = R_{eh}$ (paksuus<16mm)
Suurin sallittu nimellinen jännitys $f_d$ (taulukko 6-1)				- normaalit käyttöolosuhteet
	1. arvo	$235 \text{ N}/\text{mm}^2 / 1,5 = 156,67 \text{ N}/\text{mm}^2$		-valitaan ohjeen
	2. arvo	$360 \text{ N}/\text{mm}^2 / 2,4 = 150 \text{ N}/\text{mm}^2$		mukaan pienempi arvo
sallittu jännitys	$f=$	150,00	$\text{N}/\text{mm}^2$	
suunnittelupaine	$P=$	1,00	$\text{N}/\text{mm}^2$	(=10 baria)
hitsausliitoksen lujuuskerroin	$z=$	0,85		
ulkohalkaisija	$D_e=$	60,30	mm	
keskihalkaisija	$D_m=$	57,10	mm	
sisähalkaisija	$D_i=$	53,90	mm	
	Ohjeen mukaiset lisät			
syöpymislisä	$c$	1,00	mm	
muovauslisä	$\delta_m$	0,50	mm	
valmistuslisä	$\delta_e$	0,25	mm	
varmuuslisä	$e_{ex}$	0,25	mm	
Seinämän minimipaksuus sisähalkaisijan mukaan (7.4-1)				
	$e=(P \cdot D_i)/(2f \cdot z - P)=$	0,21	mm	
	Lisien kanssa			
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	2,21	mm	
Seinämän minimipaksuus ulkohalkaisijan mukaan (7.4-2)				
	$e=(P \cdot D_e)/(2f \cdot z + P)=$	0,24	mm	
	Lisien kanssa			
	$e+c+\delta_m+\delta_e+e_{ex}=$	2,24	mm	
<b>Valittu seinämän paksuus</b>		<b>3,20</b>	mm	
Maksimipaine valitulla seinämällä (7.6.-3)				
$P_{max} = (2 \cdot f \cdot z \cdot e_a) / D_m$	$P_{max} =$	14,29	$\text{N}/\text{mm}^2$	(~143 baria)
$= (2 \cdot 150 \text{ N}/\text{mm}^2 \cdot 0,85 \cdot 3,20 \text{ mm}) / 57,10 \text{ mm}$				



Liite 4. Tykin ohjauslaitteiston liitântäkaavio



**Pneuplan Oy**  
 38300 SASTAMALA  
 Tel. +358-9-513 5901  
 Fax. +358-9-513 5222

Ilta  
 Engineer  
 Inspector  
 Acceptor

Yritys  
 SIILOTYKIN OHJAUS  
 LIITÄNTÄKAAVIO

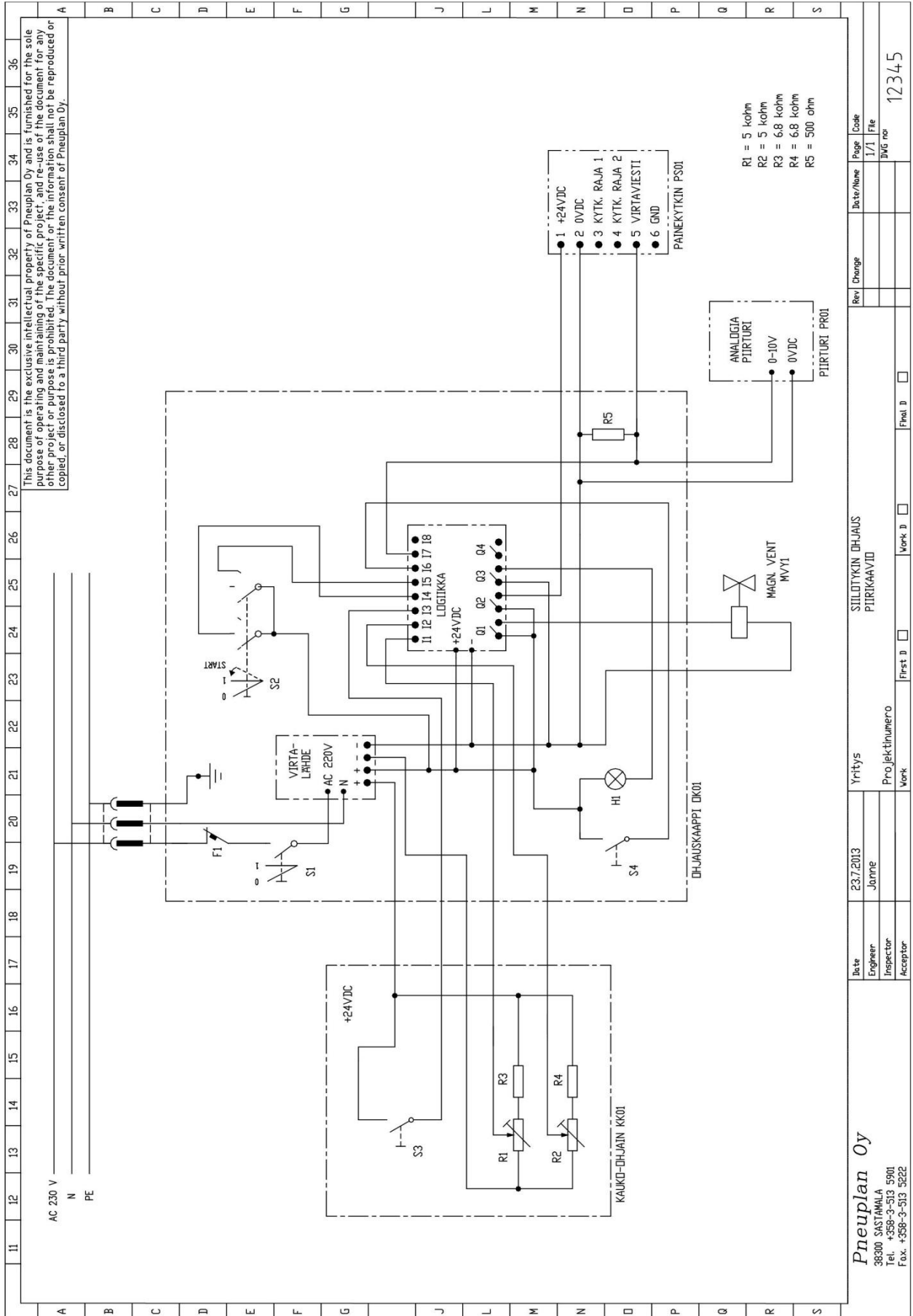
Projektitunnus  
 Vork

First D  Vork D  Final D

Rev	Change	Date/Name	Page	Code
1/1			1/1	File

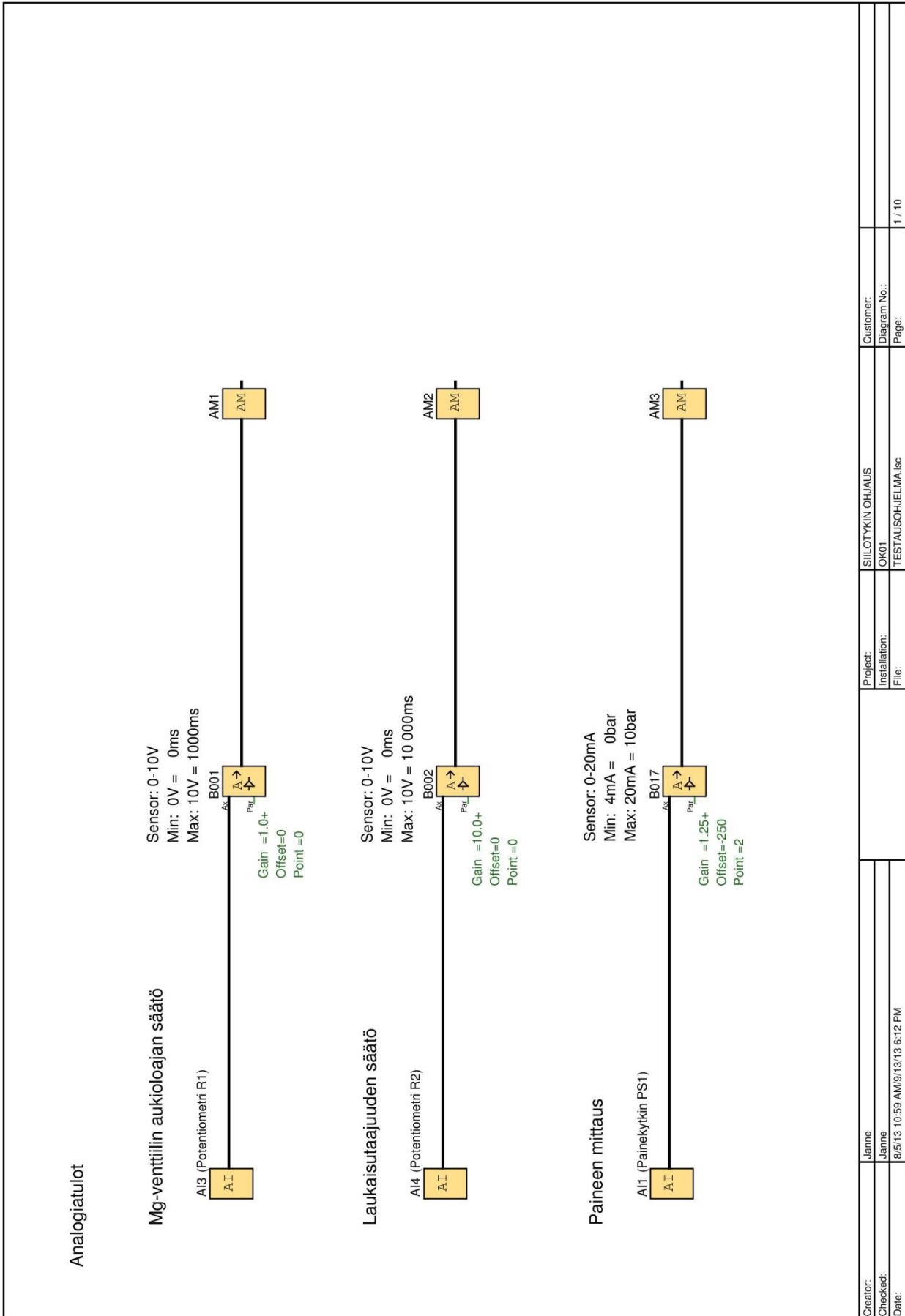
DWG no: 12345

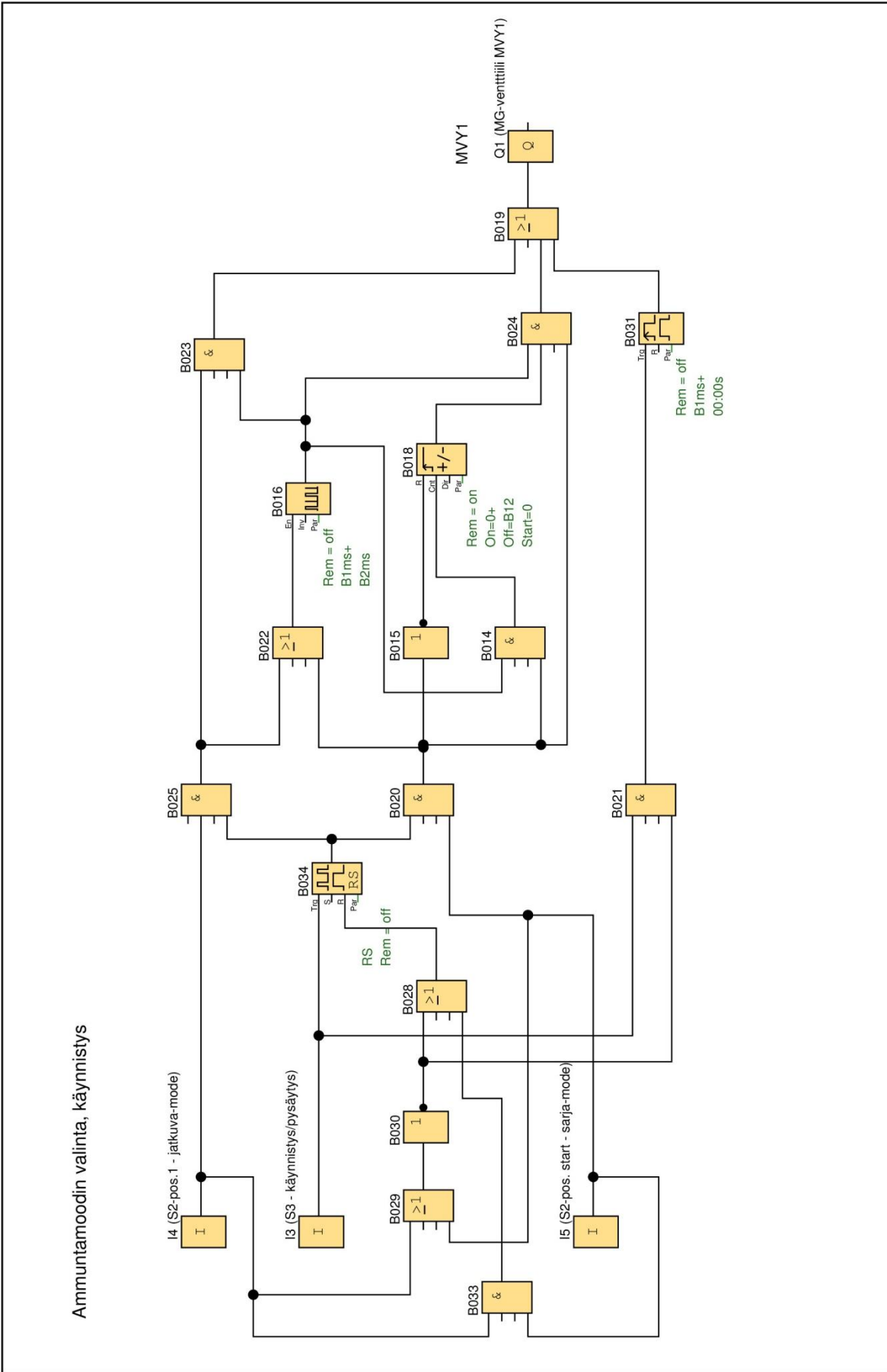
Liite 5. Tykin ohjauslaitteiston piirikaavio



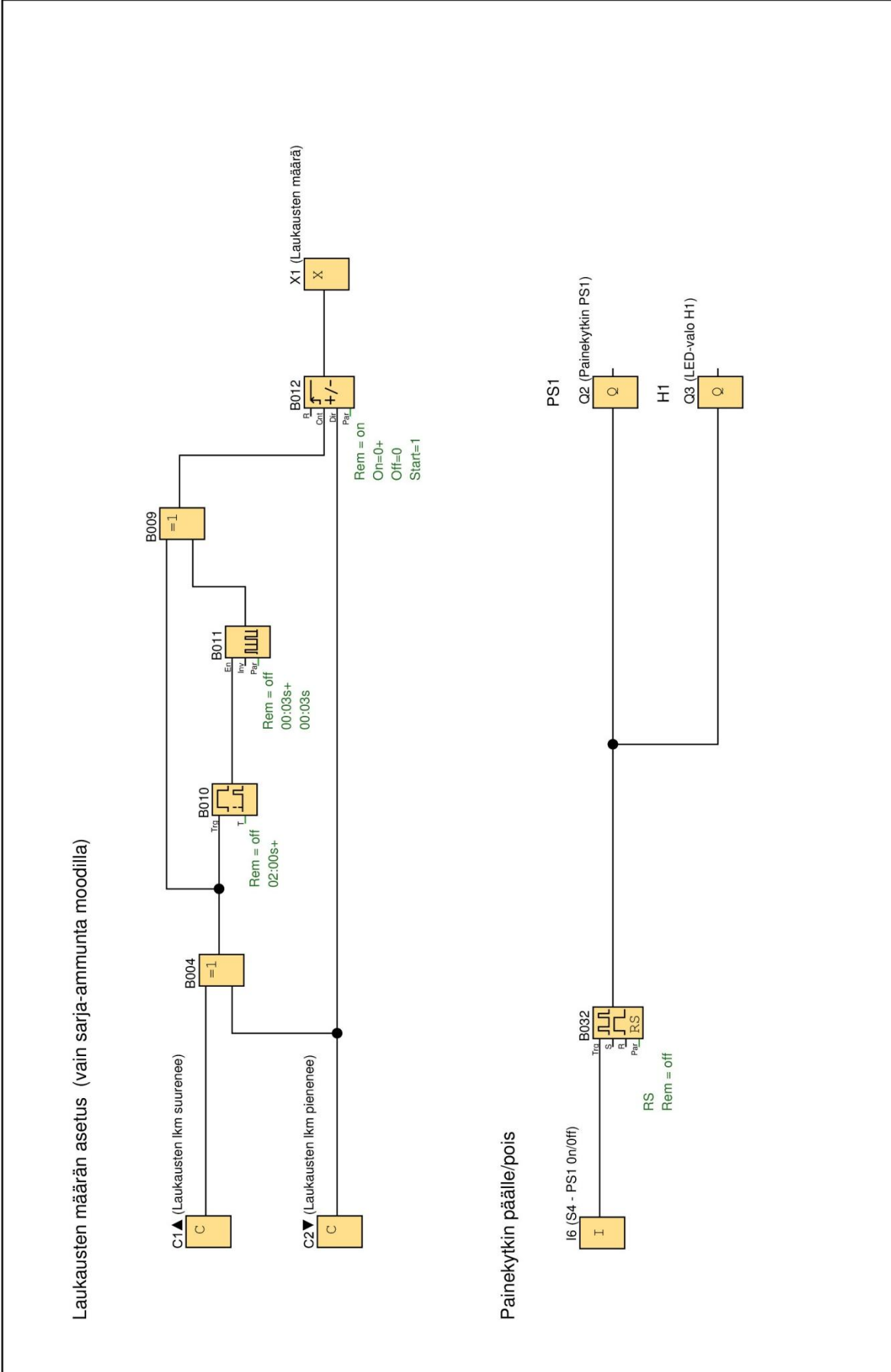
## Liite 6. Tykin ohjauksen logiikkakaavio ja muuttujalista

1 (6)

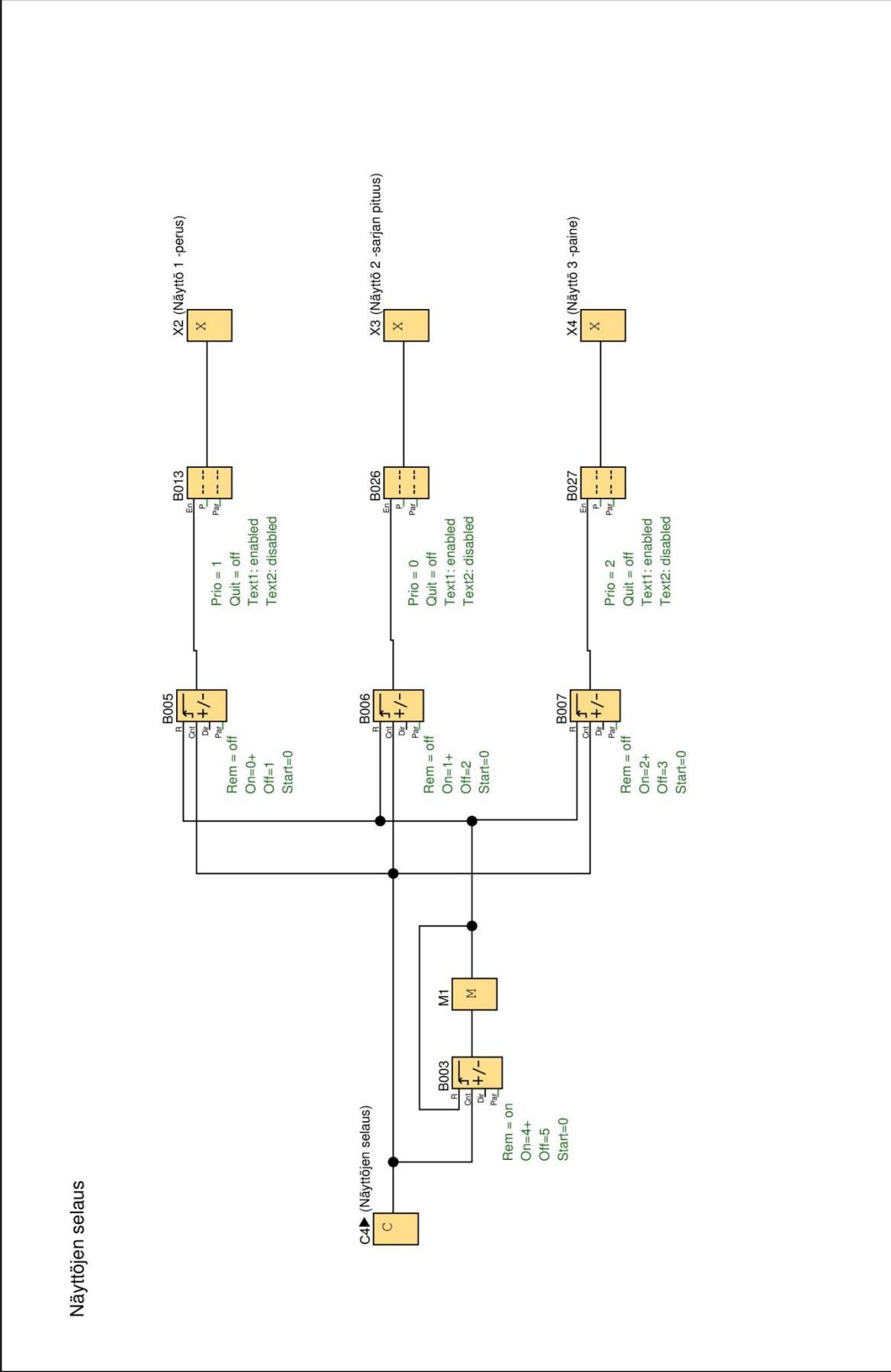




Creator:	Janne	Project:	SIILOTYKIN OHJAUS
Checked:	Janne	Installation:	OK01
Date:	8/5/13 10:59 AM/9/13/13 6:12 PM	File:	TESTAUSOHJELMA.lsc
		Customer:	
		Diagram No.:	
		Page:	2 / 10



Creator:	Janne	Project:	SIILOTYKIN OHJAUUS	Customer:	
Checked:	Janne	Installation:	OK01	Diagram No.:	
Date:	8/5/13 10:59 AM/9/13/13 6:12 PM	File:	TESTAUSOHJELMA.isc	Page:	3 / 10



Creator:	Janne	Project:	SIILTYKIN OHJAUS	Customer:	
Checked:	Janne	Installation:	OK01	Diagram No.:	
Date:	8/5/13 10:59 AM/9/13/13 6:12 PM	File:	TESTAUSOHJELMA.isc	Page:	4 / 10

5 (6)

Connection	Label				
I1					
I2					
I3	S3 - käynnistys/pysäytys				
I4	S2-pos.1 - jatkuva-mode				
I5	S2-pos. start - sarja-mode				
I6	S4 - PS1 On/Off				
I7					
I8					
I9					
I10					
I11					
I12					
I13					
I14					
I15					
I16					
I17					
I18					
I19					
I20					
I21					
I22					
I23					
I24					
C1▲	Laukausten lkm suurenee				
C2▼	Laukausten lkm pienenee				
C3◀					
C4▶	Näyttöjen selaus				
F1					
F2					
F3					
F4					
S1.1					
S1.2					
S1.3					
Creator:	Janne	Project:	SIILÖTYKIN OHJAUS	Customer:	
Checked:	Janne	Installation:	OK01	Diagram No.:	
Date:	8/5/13 10:59 AM/9/13/13 6:12 PM	File:	TESTAUSOHJELMA.lsc	Page:	8 / 10

6 (6)

Connection	Label				
S1.4					
S1.5					
S1.6					
S1.7					
S1.8					
AI1	Painekytin PS1				
AI2					
AI3	Potentiometri R1				
AI4	Potentiometri R2				
AI5					
AI6					
AI7					
AI8					
Q1	MG-venttiili MVY1				
Q2	Painekytin PS1				
Q3	LED-valo H1				
Q4					
Q5					
Q6					
Q7					
Q8					
Q9					
Q10					
Q11					
Q12					
Q13					
Q14					
Q15					
Q16					
AQ1					
AQ2					
X1	Laukausten määrä				
X2	Näyttö 1 -perus				
X3	Näyttö 2 -sarjan pituus				
X4	Näyttö 3 -paine				
Creator:	Janne	Project:	SIILOTYKIN OHJAUS	Customer:	
Checked:	Janne	Installation:	OK01	Diagram No.:	
Date:	8/5/13 10:59 AM/9/13/13 6:12 PM	File:	TESTAUSOHJELMA.lsc	Page:	9 / 10



## Liite 7. Ohjauslaitteiston osalista

1 (2)

Osa nro	Osa	kpl
<b>OHJAUSKAAPIN OSAT</b>		
1	Kytkentäkaappi Rittal 1033.500 300 x 300 x 210mm	1
2	Logiikkamoduli Siemens LOGO! 12/24RC	1
3	Virtalähde 24VDC/2,5A Siemens LOGO!Power 2.5	1
4	Johdonsuojakatkaisija 6A Merlin Gerin multi9 C60N 1B6 6KA	1
5	2-as. valintakytkin Kraus & Naimer A200	1
6	3-as. valintakytkin Kraus & Naimer A178	1
7	Painonappi+LED Telemecanique ZBE-101 (NO), ZBV-B4, XB4	1
8	35mm asennuskisko DIN EN 50022	0,3 (m)
9	Johdinkouru Weidmüller 25x40	0,7 (m)
10	Holkkitiiviste PG 9	2
11	Holkkitiiviste PG 11	1
12	Holkkitiiviste PG 13,5	2
13	Päätypuristin Phoenix Contact CLIPFIX35	2
14	Metallikalvovastus 500 Ω	1
15	Riviliitin Phoenix Contact UK 2.5N	17
16	Sähköjohto Draka 18 V2 PVC sininen 1,5 mm <sup>2</sup>	2,2 (m)
17	Sähköjohto AJ K2 musta 1,0 mm <sup>2</sup>	4,2 (m)
18	Sähköjohto Draka sininen 0,5 mm <sup>2</sup>	3,6 (m)
19	Sähköjohto 3x1,5 mm <sup>2</sup> pistotulpalla 5 m	1
20	Johdinholkki 1,5 mm <sup>2</sup>	14
21	Johdinholkki 1,0 mm <sup>2</sup>	23
22	Johdinholkki 0,5 mm <sup>2</sup>	20
23	Tarrapidike Phoenix Contact	2
24	Kutistesukka d3	1
25	Kaapelisuoja halk.8mm	0,7 (m)
26	Tarrakiinnike Phoenix Contact	5
27	Itsepor. ruuvi lieriökanta 3,8x13	8
28	Kuusiokoloruuvi M6x65	2
29	Kuusiomutteri M6	2

2 (2)

KAUKO-OHJAIMEN OSAT		
30	Kytentäkotelo Ensto CUBO S 75 x 125 x 75mm	1
31	35mm asennuskisko DIN EN 50022	0,1 (m)
32	Riviliitin Phoenix Contact UK 2.5N	10
33	Painonappi Telemecanique XB4 BA51, ZBE-101 (NO)	1
34	Potentiometri 5 k $\Omega$	2
35	Metallikalvovastus 6.8 k $\Omega$	2
36	Kutistesukka d3	2
37	Holkitiiviste PG 11	1
38	Itsepor. ruuvi lieriökanta 3,8x13	2
39	Signaalikaapeli Nomak 4x2x0.5+0.5	5 (m)
40	Sähköjohto Draka sininen 0,5 mm <sup>2</sup>	1,2 (m)
41	Johdinholkki 0,5 mm <sup>2</sup>	11
PAINEEN MITTAUS		
42	Elektroninen painekeytkin Suco 0570-467 14-1-001	1
43	Sähköjohto Gamakabel 5x1,0 mm <sup>2</sup>	4 (m)
44	Johdinholkki 1,5 mm <sup>2</sup>	5
MAGNETTIVENTTIILI		
45	2/2 magneettiventtiili, kalvotoiminen 1/2" Invensys 85204-501	1
46	Kela 24VDC Ceva G-B-33 10W	1
47	Pistoke mpm B-12	1
48	Sähköjohto Gamakabel 2x1,0 mm <sup>2</sup>	3 (m)
49	Johdinholkki 1,0 mm <sup>2</sup>	2

## Liite 8. Painemittauksen kuvaajat

1 (2)

Käyrä nro: 24

- ei paineen säädintä
- laukaus hiekkaan (täyttöaste 100cm)

10.9.2013

- syöttölinjan pit. 19m
- MG-vent. aukkiolo aika: 250ms

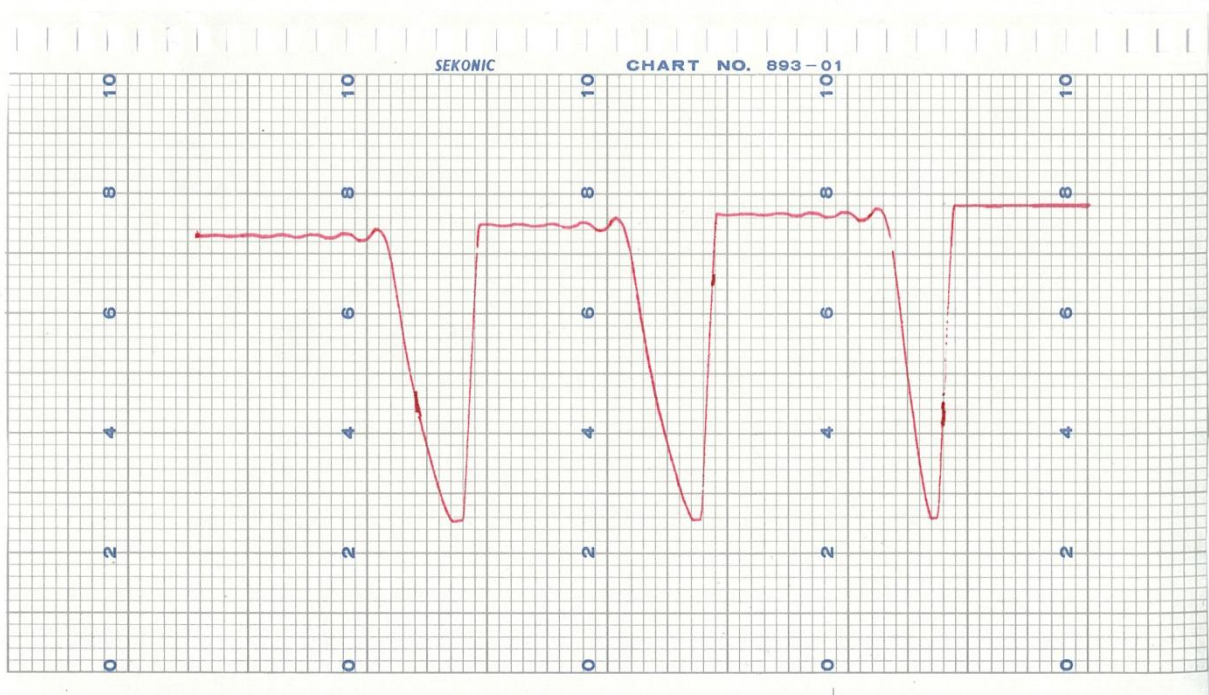


Käyrä nro: 25

- ei paineen säädintä
- laukaus hiekkaan (täyttöaste 100cm)

10.9.2013

- syöttölinjan pit 50m
- MG-vent. aukkiolo aika: 400ms



2 (2)

Käyrä nro: 28

- painesäädin on (rajoitettu 5,5 bariin)
- laukeus hiellekaurin (täyttöaste 100cm)

11.9.2013

- syöttölinjan pit. 19m
- MG-vent. audioloikka: 250ms

