Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

MARKUS KOIVUMÄKI

Hydraulinen liikkeenohjaus

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA
2020

Tekijä Koivumäki, Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä toukokuu 2020
	Sivumäärä 48	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi **Hydraulinen liikkeenohjaus**		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma		

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutustua hydrauliikkaan, ja hydrauliikalla toteutettuun liikkeen ohjaukseen.

Keskeisenä uutena asiana oli tutustua liikkeenohjaimen parametrointiin, käyttöönottoon ja ohjelmointiin. Sen lisäksi oli tarkoituksena tutustua ja toteuttaa väylän kautta kulkeva tiedonsiirto logiikan ja liikkeenohjaimen välille.

Parametroinnissa oli keskeisenä asiana, mitä tietoa liikkeenohjain tarvitsee, mitä diagnostiikkaa täytyy vaihtaa ja mahdolliset vikatilanteet. Mitä informaatiota/dataa logiikka, tai muu ylemmän tason ohjain tarvitsee liikkeenohjaimelta.

Opinnäytetyötä kirjoittaessa paljon jo tuttuja termejä tuli opiskeltua syvällisemmin, esimerkiksi PWM-signaali on ollut jokapäiväinen asia, jonka tekniikkaa ja toimintaa ei ole ajatellut kovin tarkasti.

Opinnäytetyö tukee samalla myös kirjoittajan omaa työelämää, sillä tulevia projekteja ajatellen, nyt on pohja sekä logiikalle että ohjaimelle. Väyläkonfiguraatio on myös selvillä. Tulevien projektien myötä voidaan ohjaimen ohjauslohkoa jatkojalostaa, jos tarvetta ilmenee.

Asiasanat

Hydrauliikka, hydraulijärjestelmät, NC-tekniikka, ohjelmoitavat logiikat

Author Koivumäki, Markus	Type of Publication Bachelor's thesis	Date May 2020
	Number of pages 48	Language of publication: Finnish

Title of publication
Hydraulic Motion Control

Degree program
Electrical and Automation Engineering

Abstract

The purpose of this thesis was to get acquainted with hydraulics, and with hydraulic motion control.

The main new thing was to get know how with the parameterization, commissioning and programming of the motion controller. In addition, the purpose was to get familiar how to implement the data transfer between the PLC and the motion controller through the data bus.

Main point of the parameterization was, what information the motion controller needed, what diagnostics needed to be changed, and possible faults. What data does the logic, or other higher-level controller need from the motion controller?

While writing the thesis, already known terms became much more familiar. For example, PWM signal as a term is used daily basis, but the technology behind it, hasn't been so clear.

For the upcoming projects, there is now platform, for the PLC and the motion controller. Configuration and the topology of the data bus is also clarified. Function block can be updated, if there is a need for it in the upcoming projects.

Key words
Hydraulics, hydraulic systems, numerical control, programmable logics

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6
2 SATATEKNIIKKA OY 7
3 BOSCH REXROTH OY 9
4 HYDRAULIIKAN PERUSTEITA 10
4.1 Käsitteitä 10
4.1.1 Hydrostatiikka 10
4.1.2 Hydrodynamiikka 12
4.1.3 Tilavuusvirta 13
4.1.4 Virtaus 14
4.1.5 Paine 15
4.1.6 Teho 15
4.1.7 Kavitaatio 16
4.2 Komponentit 17
4.2.1 Pumput 17
4.2.2 Moottorit 18
4.2.3 Sylinterit 18
4.2.4 Paineventtiilit 19
4.2.5 Virtaventtiilit 19
4.2.6 Suuntaventtiilit 20
4.2.7 Suodattimet 20
4.2.8 Paineakku 20
4.3 Hydraulikoneikko 21
4.4 Hydrauliikkakaavio 22
4.5 Hydrauliikan etuja 23
5 SÄÄDETTÄVÄT VENTTIILIT 24
5.1 Servotekniikka 24
5.1.1 Toimintaperiaate 25
5.2 Proportionaalitekniikka 25
5.2.1 High-response venttiilit 27
6 ELEKTRONIIKKA 28
6.1 Ohjaus 28
6.2 PWM-signaali 29
7 ANTURIT 32
7.1 Paine-anturit 32
7.2 Asema-anturit 32

8 HNC-LIIKKEENOHJAIN 35
8.1 Parametrointi 37
8.2 Ohjelmointi 37
9 LOGIIKKA 39
9.1 Yhteyden luominen 39
9.2 TIA-portal ohjelmointi 40
10 POHDINTA 41
LÄHTEET
LIITTEET

1 JOHDANTO

Hydrauliikka on varsinkin raskaassa teollisuudessa erittäin keskeisessä osassa. Hydrauliikalla voidaan tuottaa helposti suuria voimia, sekä erittäin tarkkoja ja nopeita liikkeitä. Esimerkiksi sellu- ja paperikoneissa on monia puristimia ja rullaimia, jotka toimivat hydrauliikalla. Terästehtaiden raskaat valssaimet toimivat erittäin tarkasti servoohjatuilla puristussylintereillä. Hydrauliikan käytännön osaajista niin suunnittelussa kuin esimerkiksi kunnossapidossa on nyt ja varmasti tulevaisuudessa pulaa.

Vaikka sähkökäytöt on jossain määrin syrjäyttänyt hydrauliikkakäyttöjä, on niin teollisuudessa kuin liikkuvassa kalustossa edelleen lukemattomia sovelluksia missä hydrauliikka on ainoa toimiva ratkaisu.

Tässä työssä on tarkoitus syventyä hydrauliikan ohjaamiseen tarkoitettuun NC-ohjaimeen ja sen liittämiseen ohjelmoitavaan logiikkaan. Tässä on keskeisenä osana käytettävät ohjaus- ja takaisinkytkentäsignaalit. Satatekniikassa tämä osaaminen on tähän asti ostettu ulkopuoliselta toimijalta. Siksi aihe on erittäin tärkeä myös tulevaisuutta ja tulevia projekteja ajatellen. Tämän opinnäytetyön on tarkoitus antaa eväitä sekä kirjoittajalle että Satatekniikalle ohjaintekniikan syvällisempään osaamiseen.

2 SATATEKNIIKKA OY

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Satatekniikka Oy. Satatekniikka Oy on perustettu vuonna 1992 Porin Musan kaupunginosaan. Yrityksen virallisena toimialana on teollisuudessa käytettävien muiden koneiden tukkukauppa (Kauppalehti www-sivut 2020.). Erityisosaamisekseen yritys kertoo kotisivuillaan hydrauliikan, pneumatiikan ja keskusvoitelujärjestelmien suunnittelun, valmistuksen, kunnossapidon ja varasosamyynnin. Näin yritys pystyy tarjoamaan kaikki järjestelmien ja laitteiden edellyttämät palvelut koko niiden elinkaaren ajalle. (Satatekniikka oy www-sivut 2020.) Satatekniikalla on toimisto-, myymälä- ja korjaamotilat Porissa Musan pienteollisuustaloissa, jonne se aikoinaan perustettiinkin. Satatekniikka Oy on laajentanut toimintaansa Pirkkalaan vuonna 2018, josta nykyisin löytää toimisto- ja korjaamotilat.

Satatekniikan tuorein julkistetut talousluvut ovat vuodelta 2018, ja silloin liikevaihto oli kasvanut 6,6 miljoonaan euroon, ja tilikauden tulos oli 811 000 euroa. Toimitusjohtajana toimii Jukka-Matti Sahi. Hänen edeltäjänään ja yrityksen perustajana toimi Ari Sahi, joka siirtyi viettämään eläkepäiviään alkuvuodesta 2019. Samana vuonna 2019 ruotsalainen Volito Automation AB hankki Satatekniikka Oy:n koko ulkona olevan osakekannan. Volito Automation omistaa useita hydraulisiin ratkaisuihin keskittyneitä yhtiöitä useassa Pohjoismaassa. Volito on yksityisesti omistettu sijoitusyhtiö. (Kotka & co. asianajotoimisto oy www-sivut 2020.)

Toimeksiantajayritys kertoo kotisivuillaan, että se pystyy tarjoamaan täyden palvelukokonaisuuden hydrauliikan ja pneumatiikan saralta. Heillä on laaja tekninen osaaminen alallaan, ja se perustuu työntekijöiden vuosikymmenten aikana kertyneeseen kokemukseen erilaisten hydrauliikka- ja pneumatiikkajärjestelmien suunnittelusta, valmistuksesta, huollosta sekä modernisoinnista. Erityisosaamista Satatekniikalta löytyy mm. kunnossapitopalveluista, personoiduista projekteista sekä korjaamon puolelta. Huoltopalveluita saa niin huoltosopimuksella, kuin yksittäisille huoltotarpeillekin. Ennakoivalla huollolla pyritään minimoimaan teollisuuden seisokkeja ja korottamaan laitteiden käyttöastetta. Korjaamolla korjataan ja huolletaan sylinterien ja pumppujen lisäksi erilaisia laitekokonaisuuksia, sekä mobiilipuolen koneita ja työkaluja. Myös paine- ja mäntäakkujen huolto ja tarkastus, sekä erilaisten tuotteiden ja osien koneistus

onnistuu. Vaihtuvien projektien suunnittelut, asennukset ja käyttöönotot, järjestelmien modernisoinnit varaosineen kuuluvat myös Satatekniikan erityisosaamiseen. Sähkö- ja automaatiotekniikka kuuluu myös yrityksen osaamisen piiriin, ja tämä opinnäytetyö perehtyykin automaatiotekniikan ja hydraulisen liikkeenohjauksen yhdistämiseen ja ratkaisuihin. Satatekniikka Oy on virallinen jälleenmyyjä muiden muassa Bosch Rexrothin, Hydacin ja Specman tuotteille (Satatekniikka oy www-sivut 2020).

3 BOSCH REXROTH OY

Bosch Rexroth Oy on vuonna 1978 perustettu ja sen virallisena toimialana on sama teollisuudessa käytettävien muiden koneiden tukkukauppa. Vuoden 2018 liikevaihto oli noin 78,4 miljoonaa euroa ja tilikauden tulos oli noin 3,3 miljoonaa euroa. Toimitusjohtajana toimii Jaakko Hämäläinen. (Kauppalehti www-sivut 2020.)

Bosch Rexroth Group on maailmanlaajuinen kone- ja rakennusteollisuuden yritysten yhteistyökumppani kehittyneen teknologiansa ja vankan osaamisensa kanssa, joka ulottuu jopa 200 vuotta taaksepäin. Konserni työllistää yhteensä yli 32 300 henkilöä ympäri maailman ja vuonna 2018 sen liikevaihto oli 6,2 miljardia euroa. Bosch Rexroth on kotisivujensa mukaan voimansiirron, ohjauksen ja liikkeenhallinnan ratkaisujen markkinajohtaja maailmanlaajuisesti. Yrityksen myynti- ja huoltoverkosto tuotantolaitoksineen kattaa yli 80 maata ympäri Eurooppaa, Yhdysvaltoja sekä kasvavien markkinoiden kuten Kiinan, Intian ja Brasilian alueilla. (Bosch rexroth www-sivut 2020.)

Suomessa Bosch Rexroth Oy:n palveluksessa on noin 100 henkilöä ja sen toimipaikat sijaitsevat Vantaalla ja Tampereella. Verkkosivujensa mukaan se tarjoaa asiakkailleen kattavat neuvonta-, suunnittelu- ja kokoonpano- sekä huoltotoiminnot, sekä käyttöönoton ja koulutuksetkin. Alihankinta- ja jälleenmyyntiverkosto on laaja. (Bosch rexroth www-sivut 2020.)

Bosch Rexroth Oy:n tuoteperheeseen kuuluu hyvin kattavasti hydrauliikan ja pneumatiikan komponentit, ohjelmistot ja suunnittelusoftat. Kaikki tässä opinnäytetyössä käytettävät komponentit, anturit, liikkeenohjaimet, ohjelmistot sekä logiikat ovat saatavilla Bosch Rexroth Oy:ltä. (Bosch rexroth www-sivut 2020).

4 HYDRAULIIKAN PERUSTEITA

Hydraulisessa tehonsiirtojärjestelmässä mekaanisesti tuotettu energia muunnetaan hydrauliseksi tehoksi. Mekaaninen teho siirtyy hydrauliseksi paineeksi ja tilavuusvirraksi. Teollisuudessa yleisesti käytettävä tehon lähde on sähkömoottori ja liikkuvassa kalustossa tehon lähteenä toimii polttomoottori. Toimilaitteessa hydraulinen energia muutetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi, yleensä sylinterin tai moottorin välityksellä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 170.)

Hydrauliikan komponenttien ominaisuudet ja testausmenetelmät varsinkin teollisuudessa ovat standardisoitu. Esimerkiksi nimellispaineet, liitäntämitat ja komponenttien koot ovat standardisoitu. Euroopassa standardoinnista vastaa ja huolehtii CETOP (European Oil Hydraulic and Pneumatics Comitee), ISO (International Organization for Standardization) sekä DIN (Deutsches Institut für Normung). SFS (Suomen standardisoimisliitto) standardit ovat näistä johdettuja tai suoria käännöksiä. (Keinänen & Kärkkäinen 2005,170)

4.1 Käsitteitä

4.1.1 Hydrostatiikka

Hydrostaattinen paine on paine, joka vallitsee esimerkiksi öljyllä täytetyn avoimen säiliön pohjalla. Paine on riippuvainen ainoastaan nestepinnan korkeudesta, esimerkiksi säiliön muodolla ei ole merkitystä. Yksinkertaistetusti paine säiliön pohjalla on suurempi kuin pinnalla. (Exner ym. 1997, 23.)

Nykyaikaisissa hydraulijärjestelmissä, hydrostaattista painetta käytetään hyväksi esimerkiksi hydrauliikkapumpun imulinjan paineistukseen. Tämä otetaan huomioon, kun suunnitellaan hydrauliikkakoneikkoa. Pumppu pyritään asettamaan öljysäiliön alapuolelle. Hydrostatiikkaa käytetään myös suurien puristimien puristusmännän esitäytössä. Tässäkin säiliö asennetaan suoraan puristusmännän yläpuolelle. Puristussylinterin ja säiliön välissä on vain lautasventtiili, jota ohjataan auki. Lautasventtiilin on myös kestettävä puristuspaine. Samalla öljysäiliö saadaan lattiatasosta esimerkiksi noin kolmen

metrin korkeuteen. Sen lisäksi pumppuhuone voidaan suunnitella kellaritilaan. Tästä saadaan helposti kuudesta kahdeksaan metriä korkeuseroa. Paine voidaan laskea kaavasta 1. Paine tulee kaavasta muotoon 1 Pa = 1 N/m². Perusyksiköissä Pa=kg/(m·s²). Kahdeksan metrin korkeuserolla saadaan pumpun imuaukkoon kaavan perusteella (öljyntiheydellä 900 kg/m3) 70632 Pascalia, eli noin 0,7 baria (1 bar=100000Pa). (Keinänen & Kärkkäinen, 2005,172). Tällaisella järjestelyllä isoissa järjestelmissä voidaan harkita imulinjan syöttöpumppujen pois jättämistä. Järjestelmästä saadaan yksinkertaisempi ja energiatehokkaampi. Hydrostaattista painetta voidaan käyttää hyväksi myös säiliön pinnan korkeuden mittaukseen.

$$p = \rho \times g \times h \quad (1)$$

Jossa

ρ = *nesteen tiheys* $[kg/m^3]$

g = *maan vetovoiman kiihtyvyys* $[9{,}81 m/s^2]$

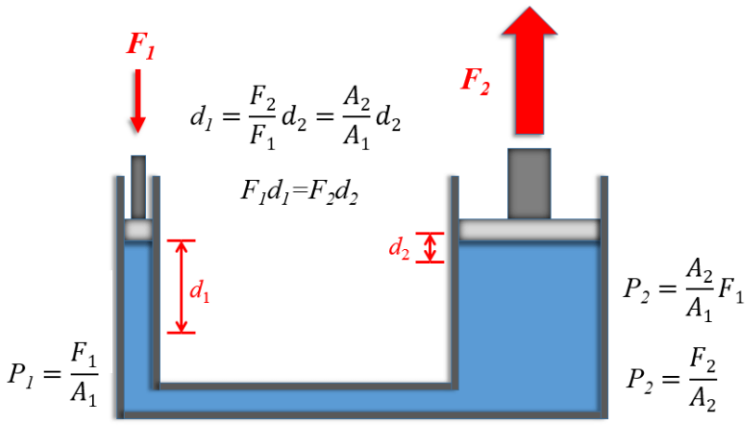
h = *nestepatsaan korkeus* $[m]$

p = *paine* $[Pa]$

$$p = 900\ kg/m^3 \times 9{,}81 m/s^2 \times 8m = 70632\ Pa$$

Tilanne muuttuu, kun suljetussa tilassa olevaan nesteeseen vaikuttaa ulkopuolinen voima. Tässä kohtaa kuvaan astuu Pascalin laki. Paine jakautuu tasaisesti kaikille pinnoille. Hydrauliikassa esimerkiksi sylinterissä. Tämä saa sylinterin männän liikkumaan, jos se voittaa sekä potentiaalienergian että kineettisen energian aiheuttaman vastavoiman. (Exner ym. 1997, 24.)

Pascalin lakiin perustuu siis käytännössä kaikki hydraulinen voimansiirto. Voimien suhde on suoraan verrannollinen pinta-alojen suhteeseen (Kuva 1). Hydrauliikassa käytettävät paineet ovat niin korkeita, että nestepatsaan aiheuttamaa hydrostaattista painetta ei laskelmissa yleensä tarvitse ottaa huomioon. (Inkinen & Tuohi, 2011, 305.)



Kuva 1. Pinta-alojen ja voimien suhde (Target-hydraulics www-sivut. 2017, mukaillen)

Pinta-alojen suhde paineenkorottimena on hyvä muistaa myös sylinterikäyttöä ja sen ohjausta mietittäessä. Yleensä sylinterissä männän puoli suunnitellaan isomman pinta-alansa takia tekemään varsinainen työ. Kaksitoimisessa sylinterissä, esimerkiksi puristimissa tai leikkureissa varren puolen tehtäväksi jää liikkeen palautus. Otetaan esimerkiksi puristimen sylinteri, jonka männän halkaisija on 300mm. Varren halkaisija on 280mm. Pinta-alojen suhteeksi tulee noin 1:7,76. Jos männän puolelle tuodaan Paine 300 baria ja jostain syystä, esimerkiksi venttiilin virhetoiminnon vuoksi varren puolen öljy ei pääse purkautumaan tankkiin, nousee varren puolelle 2300 barin paine. Näin suuri paine riittää monissa tapauksissa hajottamaan sylinterin metallirakenteet. Tämä voidaan estää monella tapaa suunnitteluvaiheessa, esimerkiksi työlinjakohtaisella paineenrajoituksella.

4.1.2 Hydrodynamiikka

Hydrodynamiikassa tehoa siirtyy paineen sijasta liikkuvan nesteen välityksellä. Rudi A. Langin mukaan hydrodynaamisissa käytöissä vaikuttavat sekä dynamiikan että statiikan lait. Siksi hydraulitekniikassa ei voi tehdä karkeaa jakoa hydrostaattisiin ja hydrodynaamisiin järjestelmiin, vaan molemmat ovat vaikuttavina ja täytyy ottaa huomioon. (Exner, ym. 1997, 24.)

4.1.3 Tilavuusvirta

Tilavuusvirta hydraulijärjestelmissä ilmoitetaan muodossa litraa minuutissa(l/min). SI-järjestelmän yksikkö on kuutiometriä sekunnissa (m^3/s). Tilavuusvirta lasketaan kaavasta (2) nopeuden ja pinta-alan tulona. Hydrauliikkapumppujen kierrostilavuus ilmoitetaan cm^3/kierros. Jos voimanlähteenä on oikosulkumoottori, on teoreettinen kierrosluku normaalisti 1500r/min (50 Hz vaihtovirta ja kahden napaparin moottori). Tilavuusvirran kaavasta (3) voidaan laskea, että esimerkiksi 1 cm^3/r pumpun tilavuusvirta on 1500 r/min moottorilla 1500 cm^3/min, eli 1,5 l/min (Keinänen & Kärkkäinen, 2005,173). Käytännössä tästä vähennetään vielä oikosulkumoottorin jättämä, sekä pumpun volyyminen hyötysuhde, pumpputyypistä riippuen.

$$Q = A \times v \quad (2)$$

Jossa

Q = tilavuusvirta $[m^3/s]$

A = putken poikkipinta-ala $[m^2]$

v = virtausnopeus $[m/s]$

$$Q = V \times n \quad (3)$$

Jossa

Q = tilavuusvirta $[m^3/s]$

V_k*=kierrostilavuus* $[m^3/r] =$

n = pumpun pyörimisnopeus $[r/min]$

$$Q = 1 \times 10^{-6} m^3/r \times 1500\, r/min$$

$$Q = \ 0{,}0015 m^3/min \approx 1{,}5\ l/min$$

Kaavasta (2) voidaan ratkaista myös virtausnopeus. Suositellut virtausnopeudet hydrauliikkajärjestelmissä näkyvät kuvassa 2. Karkeasti voidaan ajatella, että paluulinja mitoitetaan isommaksi kuin painelinja, ja imulinjan koko määräytyy pumpun imuaukon mukaan. Imuputki täytyy siis olla halkaisijaltaan vähintään pumpun imuaukon kokoinen.

	Yläraja [m/s]	Suositus [m/s]
Imujohdot	≤ 1,0 –1,5	0,5 –1,0
Painejohdot	≤ 6,0	4,0 –5,0
Paluujohdot	≤ 3,0 –4,0	2,0 –3,0

Painetaso [MPa]	Suositus [m/s]
6,3 –10	4,5
10 –16	5,0
16 – 25	5,5
25 – 40	6,0

Kuva 2. Suositellut virtausnopeudet (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 217)

4.1.4 Virtaus

Hydraulijärjestelmissä virtaus pyritään pitämään lähtökohtaisesti laminaarisena. Laminaarinen virtaus on tasainen eikä siinä esiinny pyörteitä. Kaikki nestehiukkaset siis liikkuvat samaan suuntaan. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005,175). Todellisuudessa järjestelmissä esiintyy aina turbulenttista virtausta. Pyörteitä syntyy esimerkiksi, kun neste kohtaa esteitä. (Inkinen & Tuohi, 2011, 319.)

Reynoldsin luvulla voidaan laskea, onko virtaus laminaarista vai turbulenttista. On kokeellisesti testattu, että kun *Re*<2000 on virtaus laminaarista ja kun *Re*>3000, virtaus on turbulenttista. *Re* 2000-3000 alueella on virtaus epästabiilia ja vaihtelee laminaarisen ja turbulenttisen välillä. (Inkinen & Tuohi, 2011, 335.)

Reynoldsin luku voidaan laskea kaavasta, jossa on nesteen kinemaattinen viskositeetti, *v* on nopeus(m/s), *d* on putken halkaisija(m). Esimerkiksi ISO VG-32 luokan öljy ($32\mathrm{mm}^2/\mathrm{s} = 32 * 10^{-6}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$), putken halkaisija 15mm ($15 * 10^{-3}\mathrm{m}$) ja virtausnopeus 4m/s saadaan laskukaava, tästä tuloksena Re=1875, eli virtaus on laminaarista.

$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (4)$$

Jossa

v (nyy) = kinemaattinen viskositeetti $[m^2/s]$

v = nopeus [m/s]

d = halkaisija [m]

$$Re = \frac{4m/s * 15 * 10^{-3}m}{32 * 10^{-6}m^2/s} = 1875$$

ISO VG-luokan numero tulee vanhasta yksiköstä 1 stoki = 1St = 100cSt, 1 senttistoki = $1\mathrm{mm}^2/\mathrm{s}$. Nykyinen SI-yksikkö on m^2/s (Inkinen & Tuohi, 2011, 334). ISO VG luokan viskositeetit ilmoitetaan 40 ºC:ssa. Hydrauliikkajärjestelmien lämpötila pyritään yleensä suunnittelemaan tuohon lämpötilaan.

Oikeastaan kaikki hydrauliikan ohjaus ja säätö perustuu paine-eron, eli häviöiden tuottamiseen, joten järjestelmissä esiintyy aina turbulenttista virtausta. Turbulenttista virtausta käytetään hyväksi myös, kun uusien hydrauliikkakäyttöjen putkilinjastoja puhdistetaan huuhtelemalla. Huuhtelussa pyritään aina saamaan putkeen turbulenttinen virtaus. Näin epäpuhtaudet saadaan paremmin putkessa liikkeelle.

4.1.5 Paine

Paine on skalaarisuure ja verrannollinen voiman suuruuteen. Paine lasketaan jakamalla voima, sillä pinta-alalla, johon se kohdistuu. Eli p = F/A (kaava 5). Yksikkö on N/m^2. SI-erityisnimi on pascal (Pa). Hydrauliikkajärjestelmissä käytetään kerrannaisyksikköä Mpa ($1 * 10^6 Pa$) tai yksikköä bar($0{,}1 Mpa$). Myös Psi(lbf/in²) yksikkö tulee usein vastaan. 1 psi on 6,89476 kPa eli noin 0,069 baria. (Inkinen & Tuohi, 2011, 301.)

$$p = F/A \quad (5)$$

Jossa

p = *paine [Pa]*

F = *voima [N]*

A = *pinta-ala* $[m^2]$

4.1.6 Teho

Tehon tarve riippuu hydrauliikkajärjestelmän paineesta sekä tilavuusvirrasta (kaava 6). kaavalla (7) saadaan teho suoraan kW muotoon. Tällä kaavalla pääsee helposti ajatukseen, minkäkokoisen sähkömoottorin järjestelmä vaatii. Paine voidaan laittaa kaavaan myös paine-erona. Näin voidaan laskea esimerkiksi venttiilin tai moottorin kuluttama teho. Tarkemmissa laskelmissa täytyy huomioon ottaa myös hyötysuhteet (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 180).

$$P = p \times Q \quad (6)$$

Jossa

P = *teho* [W]

p = *paine* [Pa]

Q = *tilavuusvirta* [m^3/s]

$$P = \frac{p \times Q}{600} \quad (7)$$

Jossa

P = *teho* [kW]

p = *paine* [bar]

Q = *tilavuusvirta* [l/min]

4.1.7 Kavitaatio

Kavitaatiossa virtaavan nesteen paine alenee alle ilmankehänpaineen. Kun paine laskee riittävästi saavuttaa se höyrystymispisteen, ja alkaa kiehua. Jopa normaalilämpötiloissa. Pääsääntöisesti tämä tuottaa ongelmia hydrauliikassa pumpun imulinjassa. Alipaine syntyy liian nopeasta virtauksesta, nestemassan kiihdytyksestä ja imukanavan virtausvastuksesta. Kun neste, hydrauliikassa siis useimmiten öljy höyrystyy, täyttyy pumpun kammio imujakson aikana vain osittain öljyllä. Lopputila on höyryä. Tämän seurauksena pumpun suoritusarvot laskevat oleellisesti. Kun paine jälleen kasvaa, höyrykuplat iskeytyvät kokoon ja aiheuttavat paikallisesti erittäin suuria paineita. Tämä paine voi irrottaa metallihiukkasia pumpusta ja vaurioittaa pumpun sylinterien pintoja (mäntäpumpuissa, kuva 3). Hydrauliikkaöljy sisältää myös aina ilmakuplia sekä liuennutta ilmaa. Tätä ilmakuplakavitaatiota esiintyy järjestelmässä vielä helpommin. Se aiheuttaa esimerkiksi öljyn ennenaikaista pilaantumista. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 299.)

Kavitaatiota voidaan ehkäistä oikealla hydrauliikkajärjestelmän suunnittelulla. Esimerkiksi säiliön oikein mitoittamisella. Sijoittamalla hydrauliikkapumppu säiliönpinnan alapuolelle, kuten hydrostatiikan luvussa mainitaan. Oikealla viskositeetilla, sekä öljyn lämpötilan mitoituksella on myös tärkeä rooli kavitaation eliminoimisessa.

Kuva 3. Kavitaation aiheuttamaa kulumaa mäntäpumpun jakolevyssä (Target-hydraulics www-sivut. 2017)

4.2 Komponentit

4.2.1 Pumput

Yksinkertaistettuna pumpun tehtävä on muuttaa mekaaninen energia hydrauliseksi energiaksi, tilavuusvirraksi ja paineeksi. Pumpun valintaan vaikuttaa esimerkiksi käytettävä neste, suunniteltu painealue, pyörimisnopeus, käyttölämpötila, melutaso. Hydrauliikkapumput toimivat pääsääntöisesti syrjäytysperiaatteella. Öljy siirtyy pumpussa imupuolelta painepuolelle. (Exner ym. 1997, 57.)

Eri rakenteisia pumpputyyppejä ovat esimerkiksi ulko- ja sisähammaspyöräpumppu, hammasrengaspumppu, ruuvipumppu, siipipumppu, radiaali- ja aksiaalimäntäpumppu. Yksinkertaisissa ja edullisissa järjestelmissä yleisesti käytetään ulkohammaspyöräpumppuja.

Teollisuuden isommissa hydrauliikkajärjestelmissä käytetään yleisesti aksiaalimäntäpumppuja. Aksiaalipumppu periaatteella toimivalla säätötilavuuspumpulla saadaan suunniteltua erittäin dynaamisia järjestelmiä (kuva 4). Säätötilavuuspumpun voi varustaa paineen, tilavuusvirran tai tehonsäätimillä, sekä näiden yhdistelmillä. Säätimet voi olla mekaanisia, hydraulisia tai sähköisesti ohjattuja. Uusimmilla pumppuohjaimilla voidaan ohjata myös sähkömoottorin pyörimisnopeutta.

Kuva 4. Rexroth A10 sarjan säätötilavuuspumppu elektronisilla säätimillä (Bosch rexroth www-sivut 2020)

4.2.2 Moottorit

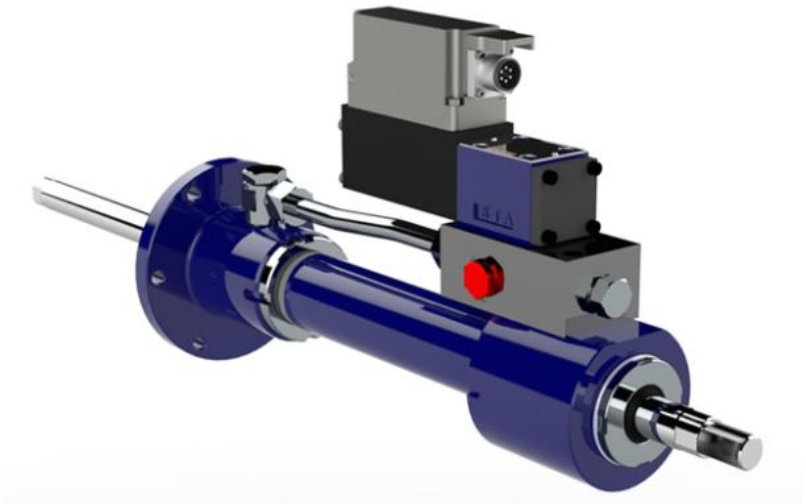
Moottorin tehtävä on muuttaa hydraulinen energia takaisin mekaaniseksi energiaksi. Moottorit ovat rakenteeltaan ja tyypeiltään hyvin lähellä pumppuja. Joitain moottorityyppejä voi käyttää myös pumppuina. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 263.)

Teollisuudessa yleisimpiä ovat geroottorimoottorit ja radiaalimäntämoottorit. Geroottorimoottorilla saavutetaan hyvä momentti jo pienillä kierroksilla. Isommissa käytöissä käytetään radiaalimäntämoottoreita. Radiaalimäntämoottorilla päästään jopa 2000kNm momentteihin asti kierrosnopeuksilla 0-400rpm (Bosch Rexroth www-sivut 2020).

4.2.3 Sylinterit

Sylinterin tehtävä on muuttaa hydraulinen energia mekaaniseksi, yleensä lineaariseksi liikkeeksi. Säätöpiirien sylinterit ovat pääsääntöisesti kaksitoimisia, eli niitä ajetaan molempiin suuntiin hydraulisesti. Puristimien puristussylinterit ovat yksitoimisia uppomäntäsylintereitä, jotka palautuvat joko niiden päällä olevan massan avulla tai apusylinterien avulla. Tarkoissa asemasäädöissä ohjausventtiili tuodaan mahdollisimman lähelle sylinteriä, tai voidaan integroida suoraan sylinteriin kuten kuvassa 5. Tällä

tavalla saadaan eliminoitua putkistoista ja letkuista tuleva jousto. Vaikka öljyn kokoonpuristuminen on erittäin pientä, tarkoissa säädöissä tulee sekin ottaa huomioon.



Kuva 5. Sylinteri integroidulla ohjausventtiilillä (Bosch rexroth www-sivut 2020)

4.2.4 Paineventtiilit

Paineventtiileitä käytetään järjestelmän paineen säätöön. Paineenrajoitusventtiili rajoittaa järjestelmän paineen suunniteltuun arvoon. Säätötilavuuspumpulla toteutetuissa vakiopaine- tai kuormantuntevissajärjestelmissä, paineenrajoittimen tehtäväksi jää vain ylikuormitussuojaus. Paineenalennusventtiileitä käytetään, jos jokin järjestelmän liike vaatii pienemmän paineen. Paineventtiileitäkin on saatavilla sähköisesti säädettävinä proportionaaliventtiileinä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 223.)

4.2.5 Virtaventtiilit

Virtauksensäätöventtiileitä käytetään liikenopeuksien säätämiseen haluttuun arvoon. Yksinkertaisimmillaan se toteutetaan kuristamalla toimilaitteelle menevää öljyä neulaventtiilillä. Vakiotilavuuspumpuilla toteutetuissa järjestelmissä tämä tarkoittaa, että ylimääräinen tilavuusvirta menee paineenrajoittimen läpi takaisin tankkiin aiheuttaen öljyn lämpenemistä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 228.)

4.2.6 Suuntaventtiilit

Suuntaventtiileillä ohjataan liikkeen suuntaa sekä sen pysäytys. Suuntaventtiiliä voidaan ohjata manuaalisesti käsivivulla, sähköisesti, paineilmalla tai hydrauliikalla esiohjattuna (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 235). Teollisuudessa yksinkertaiset ohjausliikkeet ovat pääsääntöisesti toteutettu sähköisesti ohjatuilla suuntaventtiileillä.

4.2.7 Suodattimet

Suodattimien tehtävä on erottaa öljystä siihen järjestelmästä ja sen ulkopuolelta irtoavat epäpuhtaudet. Järjestelmissä on yleensä, ainakin huohotin suodatin ja paluusuodatin. Näiden lisäksi voi olla myös painesuodatin sekä sivukiertosuodatin.

Painesuodatin suojaa järjestelmää pumpusta irtoavilta metallipartikkeleilta ja sen lisäksi estää mahdollisessa pumppuvauriossa koko järjestelmän vaurioitumisen. Paluusuodatin poistaa öljystä siihen venttiileistä ja toimilaitteista irronneet epäpuhtaudet, esimerkiksi tiivisteiden kulumisesta tulevat partikkelit. Huohotin estää ilmassa olevien epäpuhtauksien sekoittumisen öljyyn. Näiden lisäksi voidaan järjestelmään liittää myös sivukiertosuodatin. Sivukiertosuodattimessa on normaalisti oma kierrätyspumppu. Tähän samaan piiriin usein liitetään myös öljyn jäähdytin. (Exner ym. 1997 279-284.)

4.2.8 Paineakku

Nesteet, hydrauliikassa yleensä öljy, ovat käytännössä kokoon puristumattomia. Se ei siis kykene varastoimaan itseensä energiaa (vertaa esimerkiksi paineilmajärjestelmät). Jotta järjestelmä voi varastoida energiaa, asennetaan siihen paineakku. Yksinkertaisimmillaan paineakku on rakenteeltaan yksitoiminen jousipalautteinen sylinteri. Tässä rakenteessa jousivoima varastoi energiaa. Toinen ja yleisempi vaihtoehto on typellä esitäytetyt rakkoakut. Näissä paineen järjestelmässä noustessa, typpi puristuu kokoon ja varastoi Energiaa. Akun tehtävä järjestelmässä on tasata hetkellisiä tilavuusvirran piikkejä. Vaihtoehtoisesti voidaan järjestelmän pumppu ja sähkömoottori suunnitella pienemmäksi ja paineakku varastoi energiaa suuremmalle tilavuusvirran tarpeelle.

Akku voi myös suojata järjestelmää ja toimilaitteita paineiskuilta. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 200-201.)

Akkua voidaan hyödyntää myös energian talteenotossa. Esimerkiksi isoissa nostureissa vaaditaan suuri määrä energiaa nostovaiheessa. Alas ajettaessa taas liike tulee alas omalla painolla. Tämä energia voidaan ottaa talteen paineakkuun ja käyttää jälleen nostoliikkeen yhteydessä (Kumar, 2019, kpl 27.5). Vastaavalla periaatteella toimivia järjestelmiä on esimerkiksi työkoneiden hydrostaattisissa voimansiirroissa. Näissä jarrutusenergia ohjataan paineakkuihin. Työstökoneissa paineakut toimivat vertikaalisen liikkeen vastapainona. Tällä järjestelmällä kevennetään sähköservomoottorin kuormaa ylös ajossa.

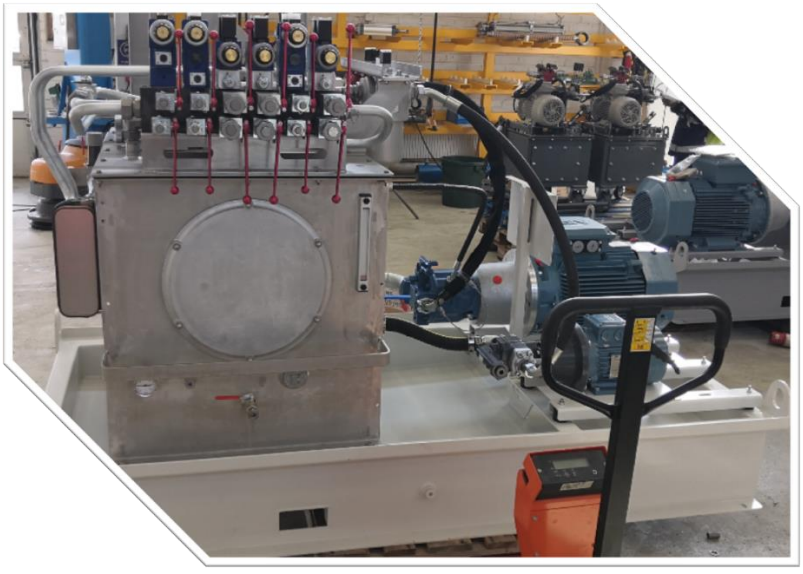
4.3 Hydraulikoneikko

Hydraulikoneikko sisältää kaikki tarvittavat komponentit mekaanisen energian muuttamiseen hydrauliseksi energiaksi. Teollisuudessa koneikot on aina mitoitettu jonkun tietyn koneen tai sen osan hydraulisen energian tuottamiseen. Esimerkiksi paperi- tai sellukoneen koko matkalla saattaa olla jopa neljä koneikkoa tai enemmän. Myös ohjausventtiilit on voitu integroida koneikon yhteyteen. Pienemmissä järjestelmissä voidaan käyttää sarjatuotettuja pienkoneikoita, jotka ovat hinnaltaan edullisia.

Koneikon tavallisimmat komponentit ovat:

- Öljysäiliö. Öljysäiliö on suunniteltu ja mitoitettu kyseiseen järjestelmään. Karkeasti mitoitettuna öljysäiliö on noin kolme kertaa isompi kuin pumpun tuotto(l/min). Esimerkiksi jos pumppu tuottaa 100 l/min, säiliön tilavuus on noin 300 litraa.
- Valuma-allas. Valuma-allas mitoitetaan niin että koko säiliön tilavuus mahtuu siihen. Joissain tapauksissa voidaan vaatia, että koko järjestelmän öljytilavuus mahtuu valuma-altaaseen.
- Tehonlähde. Teollisuudessa pääsääntöisesti sähkömoottori. Liikkuvassa kalustossa polttomoottori.
- Pumppu. Pumppu mitoitetaan tuottamaan järjestelmän vaatima tilavuusvirta.

- Paineenrajoitusventtiili. Paineenrajoittimen tehtävä on rajoittaa järjestelmän maksimipaine haluttuun arvoon. Vakiopainejärjestelmissä sen tehtäväksi jää ylikuormitussuojaus.
- Suodattimet. Järjestelmästä riippuen, mutta vähintäänkin ilma- ja paluusuodatin.
- Painemittari tai paineenmittausliitin. Paineen mittaus on tärkeä sekä käyttöönotossa että järjestelmän toiminnan tarkkailussa.
- Lämmitin. Yleensä sähkövastus. Lämmitystä tarvitaan pitämään öljyn viskositeetti järjestelmälle sopivana.
- Jäähdytys. Ilmajäähdytin tai vesilämmönvaihdin. Jäähdytin suojaa järjestelmää ylikuumenemiselta. Normaaliolosuhteissa järjestelmän kuumeneminen on hyvä selvittää. Kuumeneminen viittaa usein järjestelmässä kasvaneeseen ohivuotoon.
- Anturit. Säiliö täytyy varustaa vähintäänkin visuaalisilla pinnankorkeuden ja lämpötilan mittareilla.

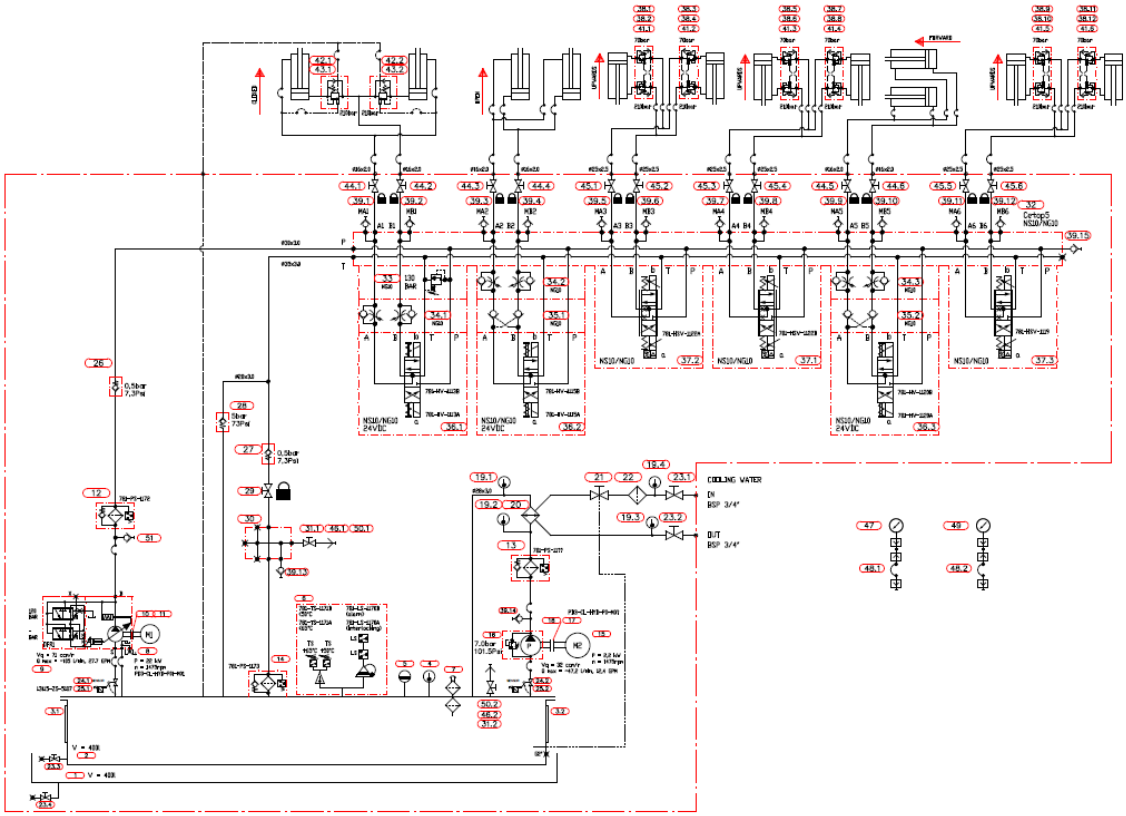


Kuva 6. Hydrauliikkakoneikko (Satatekniikka 2019)

4.4 Hydrauliikkakaavio

Hydrauliikkakaaviosta selviää järjestelmän toiminta. Kaaviossa on esitetty käytetyt komponentit numeroituna ja niistä on tehty osaluettelo mistä löytyy vähintäänkin tyyppi ja valmistaja. Eri paineventtiileiden säätöarvot merkataan kaavioon.

Sähköisesti ohjattuihin venttiileihin on hyvä liittää myös yhtenevät merkinnät sähkökaaviosta. (Paavilainen, 2009, 80.)



Kuva 7. Esimerkki hydrauliikkajärjestelmän kaaviosta (Satatekniikka 2019)

4.5 Hydrauliikan etuja

Hydrauliikkajärjestelmällä pystytään kuljettamaan suuria voimia teknisesti haastaviin rakenteisiin yksinkertaisilla ratkaisuilla. Niin pyörivä kuin lineaarinenkin liike on helppo toteuttaa. Toimilaitteet ovat yksinkertaisia ja kestävät rasitusta haastavissakin olosuhteissa (vertaa esimerkiksi sähköservolla toteutetut lineaariliikkeet ja hydrauliikkasylinterit). (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 171.)

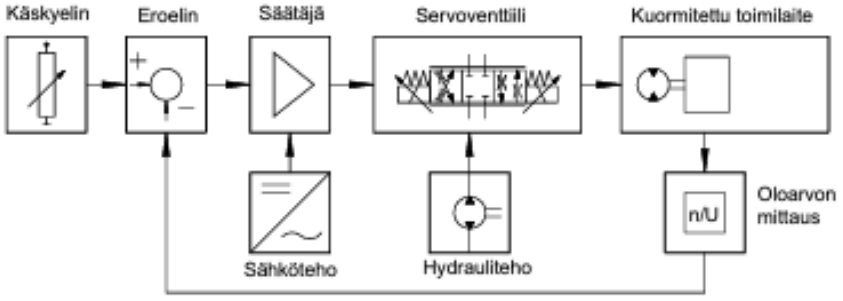
5 SÄÄDETTÄVÄT VENTTIILIT

Säädettävät venttiilit on alun perin kehitetty korvaamaan tavallisia on/off suuntaventtiileitä. Säätö voi olla nopeuden, eli tilavuusvirran tai paineen sekä tehon säätöä. Säätö voi tapahtua mekaanisesti, hydraulisesti tai sähköisesti. Nykypäivänä yleisin tapa on sähköinen säätö.

5.1 Servotekniikka

Servotekniikalla viitataan yleensä laitteistoon, jossa tulo- ja lähtösignaaleja valvotaan. Järjestelmä on siis jatkuvassa ohjaus kierrossa. Järjestelmässä voi olla esimerkiksi asemasäätö. Tässä liikettä tai paremminkin liikkeen tuottavan toimilaitteen asemaa mitataan soveltuvalla asema-anturilla. Aseman oloarvo (kuva 8) viedään vahvistinkortille, jossa sitä verrataan järjestelmästä (esimerkiksi ohjelmoitava logiikka) tulevaan ohjearvoon. Hydrauliikkajärjestelmässä säätö voi olla asema-, voima-, tai liikenopeussäätöä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 289.)

Hydrauliikkajärjestelmässä keskeinen osa säädössä on servoventtiili. Teollisuudessa servoventtiilin on monissa sovelluksissa syrjäyttänyt high-response (regel-venttiilit) proportionaaliventtiilit. Servojärjestelmien säätimet ovat pääsääntöisesti PID-säätimiä.

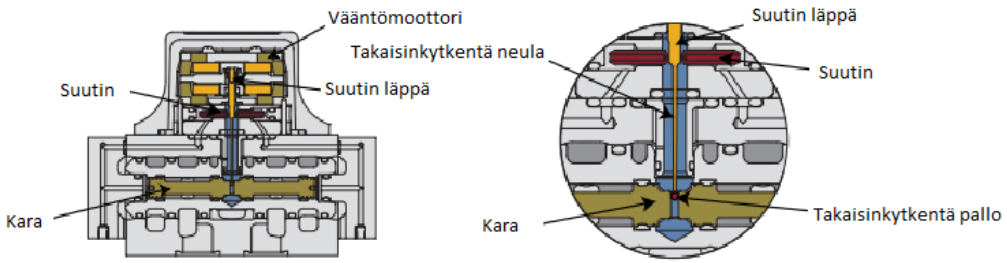


Kuva 8. Säätöjärjestelmän periaatekaavio (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 289)

5.1.1 Toimintaperiaate

Hydrauliset servoventtiilit ovat pääsääntöisesti kaksiasteisia venttiileitä (kuva 9). Kaksiasteisuus tarkoittaa tässä yhteydessä, että erittäin pienellä sähkövirralla (alle 1W), ohjattavan vääntömoottorin (ensimmäinen aste) ohjaus vahvistetaan hydraulisesti ohjaamaan venttiilin pääluistia (toinen aste). Servon vääntömoottori on virtaohjattu kestomagneetti. Kolmiasteisessa servossa, kaksiasteiseen servoon on lisätty vielä suurempi pääluisti. Kolmiasteisella servolla päästään yli 1000 l/min vaativiin ohjauksiin (Airila, 2006, luku 5,53). Esimerkiksi metalliteollisuuden valsseissa voi törmätä kolmiasteisiin servoihin.

Servoventtiilien heikkoutena voidaan pitää niiden lika herkkyyttä, toisin sanoen servot tarvitsevat erittäin hyvän öljynsuodatuksen (3-5 mikronia). Servot ovat myös erittäin kalliita verrattuna proportionaaliventtiileihin. Eri valmistajilla on myös eri tekniikkaa hyödyntäviä servoja, esimerkiksi lineaarimoottorilla toteutettuja ensimmäisen asteen ohjauksia.

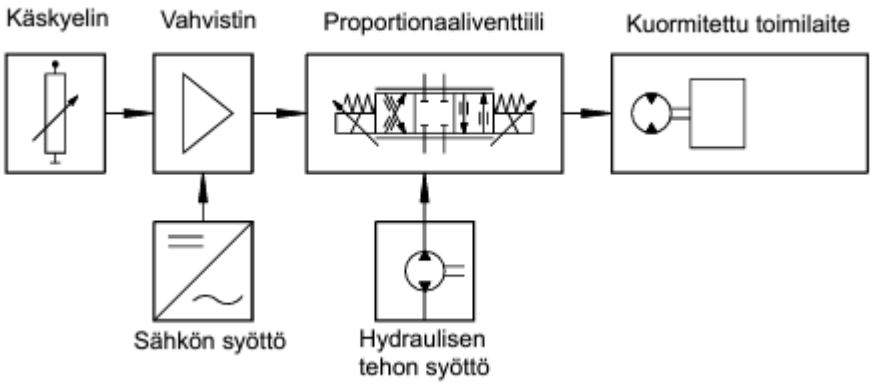


Kuva 9. Kaksiasteinen servoventtiili. (Moog, 2012)

5.2 Proportionaalitekniikka

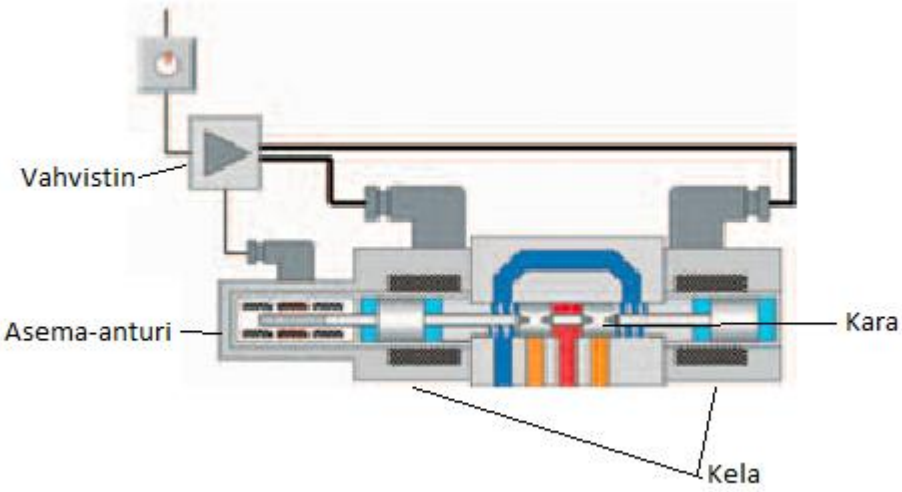
Proportionaalitekniikalla viitataan hydrauliikassa laitteisiin ja järjestelmiin, joissa toimilaitteen ulostulo seuraa lähtösignaalia portaattomasti (Keinänen & Kärkkäinen, 2005,286). Perinteisiä proportionaaliventtiileitä käytetään avoimenpiirin (kuva 10) säädöissä nopeuden ohjaukseen. Proportionaaliventtiilillä on helppo tehdä liikkeen portaattomia kiihdytyksiä ja hidastuksia. Paine- ja virtauksensäätöventtiilit toimivat myös proportionaalitekniikalla. Proportionaaliventtiili vaatii vahvistinkortin, joka

vahvistaa ohjaussignaalin kelan vaatimaksi ohjausvirraksi. Vahvistinkortti voi olla erillinen sähkökaappiin asennettava, tai integroitu venttiiliin.



Kuva 10. Avoin säätöpiiri (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 286)

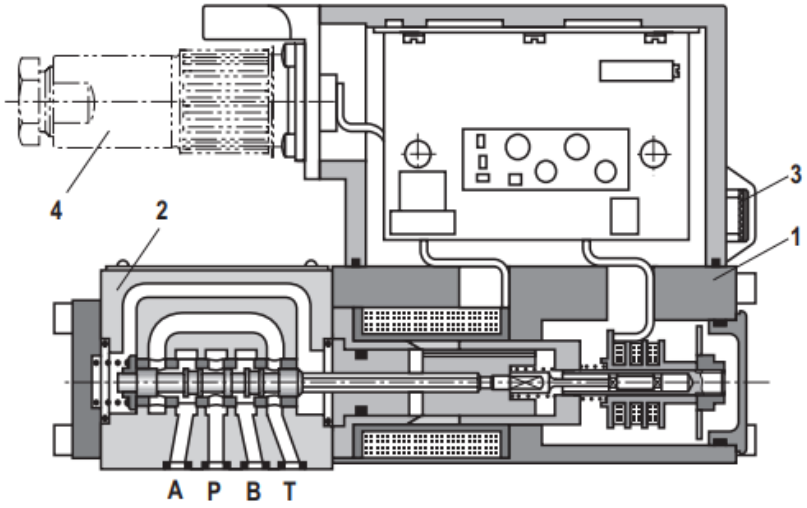
Tavallisten suuntaproportionaaliventtiilien ominaisuudet ei riitä suljetulla säätöpiirillä toteutettuihin asemaohjauksiin. Sitä voidaan kuitenkin käyttää esimerkiksi pienempää tarkkuutta vaativassa kahden akselin synkroniajossa, eli tasatahtiajossa.
Proportionaaliventtiilin toistotarkkuutta voidaan parantaa lisäämällä venttiiliin karan asematakaisinkytkentä (kuva 11).



Kuva 11. Proportionaaliventtiili karan asematakaisinkytkennällä. (Keinänen & Kärkkäinen, 2005, 287)

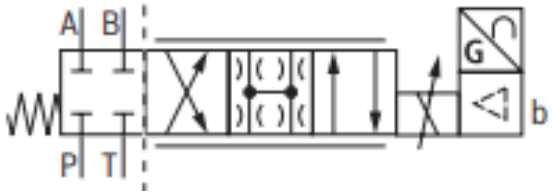
5.2.1 High-response venttiilit

High-response venttiilit (myöhemmin regelventtiilit) on kehitetty proportionaaliventtileistä. Regelventtiilissä proportionaalimagneetin jäykkyyttä ja nopeutta on lisätty. Myös karan asematakaisinkytkentää on parannettu (Airila, 2006, luku 5,57). Kuten aiemmin todettu, regelventtiilit (kuva 12) on syrjäyttänyt servot teollisuudessa. Regelventtiilin etuja servoventtiileihin on yksinkertaisempi rakenne ja edullisempi hinta. Yksinkertaisemman rakenteensa ansiosta, öljyn puhtausaste ei tarvitse olla servoventtiilien vaatimusten tasolla.



Kuva 12. Regelventtiili (Bosch rexroth www-sivut 2020)

Venttiilissä on vain yksi kela, joka säätää karan asemaa jäykkää jousta vasten. Tästä syystä venttiilissä on neljäs ns. ”fail-safe” asento (Kuva 13). Tämä asento kytkeytyy, kun venttiilistä katoaa ohjausjännite. Regelventtiili ohjattuna ohjelmoitavalla liikkeenohjaimella, onkin nykyään erittäin dynaaminen ja monikäyttöinen liikkeenohjain.



Kuva 13. Fail-safe asento (Bosch rexroth www-sivut 2020)

6 ELEKTRONIIKKA

6.1 Ohjaus

Proportionaaliventtiilin vahvistimen ohjaussignaalina on joko 4-20mA virtaviesti, 0-10V tai +-10V jänniteviesti. Yksinkertaisimmillaan esimerkiksi 0-10V ohjausviestin voi toteuttaa jännitteenjakokytkennällä (kuva 14). Kaaviosta (8) voidaan laskea tarvittava vastukset jännitteen muodostamiseen. Käytettävät potentiometrit ovat normaalisti 1-10kΩ (Bosch Rexroth, 2012). Otetaan esimerkiksi 5 kΩ potentiometri, jännite 24V. Tarvittava ulostulo siis 0-10V.

$$R1 = \frac{R2 \times VCC}{V1} - R2 \quad (8)$$

Jossa

*R2 = Potentiometri 5 k*Ω

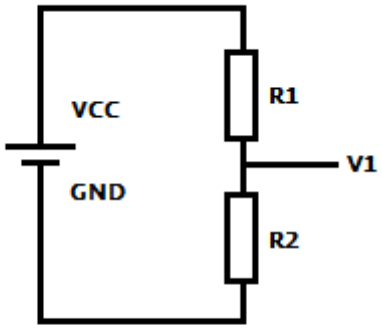
VCC = Käyttöjännite 24 VDC

V1 = ohjausjännite maksimi 10 VDC

*R1 = Tarvittava etuvastus k*Ω

$$R1 = \frac{5\ k\Omega \times 24\ VDC}{10\ VDC} - 5k\Omega$$

$$R1 = 7k\Omega$$

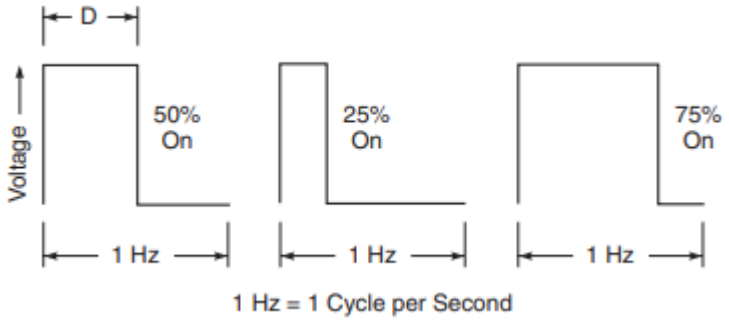


Kuva 14. Jännitteenjakokytkentä (Hutasu www-sivut, 2017)

Käytännössä teollisuuden sovelluksissa kuitenkin käytetään erilaisia D/A- ja A/D-muuntimia signaalien käsittelyssä. Muuntimet suojaavat signaalia häiriöiltä ja jännitepiikeiltä. Logiikoihin saa myös analogiaulostulokortteja.

6.2 PWM-signaali

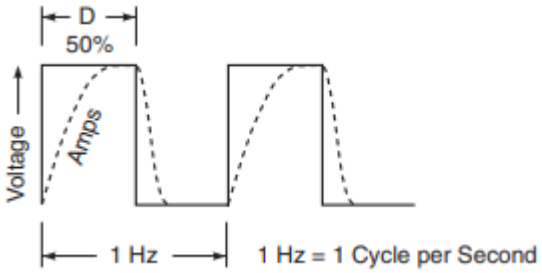
Vahvistinkortilta proportionaalimagneetille menevä ohjausvirta on käytännössä aina PWM-signaalia. PWM on lyhenne sanoista pulse width modulation. Kelan tehoa ei siis säädetä jännitettä muuttamalla tai virtaa rajoittamalla etuvastuksella. Pulssin leveysmodulaatiossa jännite pysyy vakiona ja virtaa säädetään pulssin leveydellä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jännitettä katkotaan vakiotaajuudella. Virtaa säädetään pulssin päällä ja poissa(on/off) aikojen suhdetta säätämällä. Kuten kuvassa 15 näkyy. Esimerkiksi 50% pulssisuhteella, virta on 50% maksimivirrasta. Maksimivirta määräytyy venttiilityypin mukaan. (Hydraforce www-sivut, 2011.)



Kuva 15. Pulssin leveysmodulaatio (Hydraforce www-sivut, 2011)

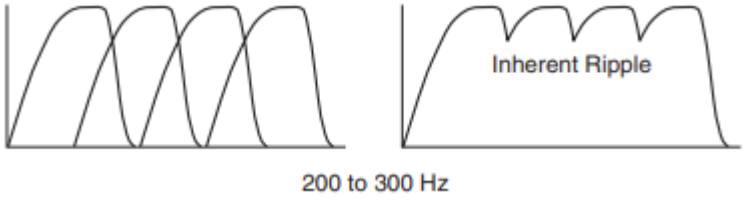
PWM-taajuus valitaan venttiilityypin ja järjestelmän mukaan. Proportionaaliventtileissä käytetään yleensä matalataajuuksista alle 400Hz modulointia. Esimerkiksi servoissa käytetään korkeataajuuksista signaalia, yleensä yli 5000Hz.

Jotta venttiilin toistotarkkuutta saadaan parannettua, venttiilin kara pyritään pitämään pienessä liikkeessä. Matalilla PWM-taajuuksilla syntyy ohjausvirtaan automaattisesti ikään kuin signaalin sivutuotteena värinää(dither). Värinä syntyy kelan induktanssin ansiosta. Kelan induktanssi aiheuttaa sen, että virta ei ehdi seurata jännitteen muutosta (Kuva 18).



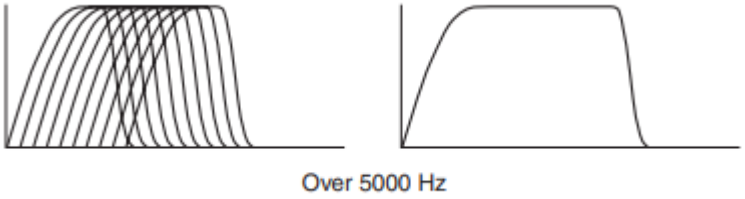
Kuva 18. Jännite ja virta pulssit (Hydraforce www-sivut, 2011)

Kun taajuus on riittävän suuri kuten kuvassa 19, tulee virtapulssista värisevää, joka aikaansaa venttiilin karan värinän halutun aseman kohdalla. Tämän ansiosta venttiilin toistotarkkuus paranee. Taajuus ei saa olla liian alhainen, koska se voi tietyn rajan alittuessa saada koko järjestelmän värähtelemään.



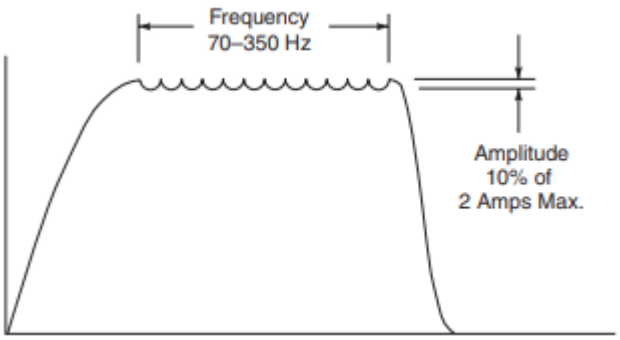
Kuva 19. Virtapulssi (Hydraforce www-sivut, 2011)

Korkeataajuuksisessa signaalissa kuten kuvassa 20, PWM-signaalin aiheuttama värinä katoaa käytännössä kokonaan.



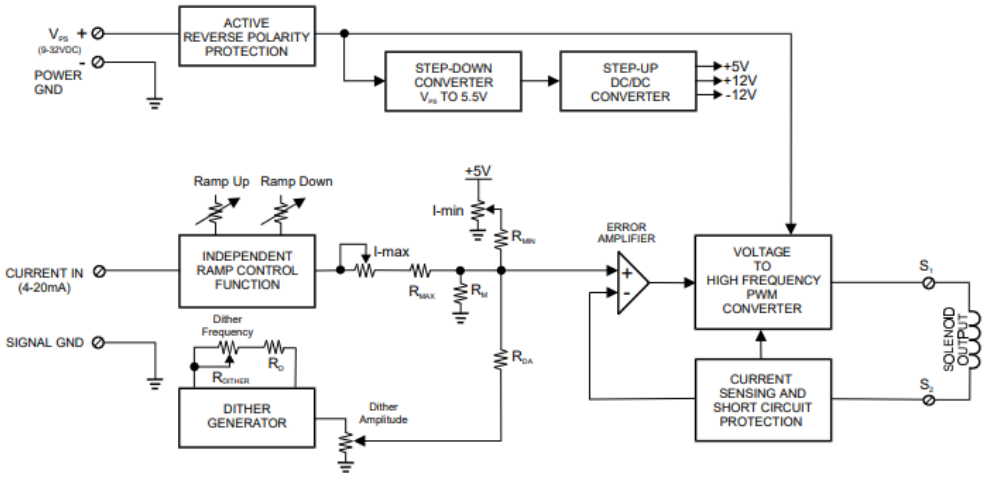
Kuva 20. Korkeataajuuksinen signaali (Hydraforce www-sivut, 2011)

Korkeataajuuksisen pulssin päälle voidaan lisätä värinä (dither) joka on tuotettu erillään (kuva 21). Tämän järjestelyn etuna on, että värinän taajuus on riippumaton kelalle menevästä virrasta. Molempia voidaan säätää erikseen. Värinä(dither) on tyypillisesti 70-350Hz, venttiilityypin mukaan. (Hydraforce www-sivut, 2011.)



Kuva 21. Korkeataajuuksiseen signaaliin lisätty värinä(dither) (Hydraforce www-sivut, 2011)

Kuvassa 22 näkyy yksinkertaistettu lohkokaavio vahvistinkortista, jossa on erillinen värinä generaattori (dither generator). Vahvistinkortilta pystyy säätämään myös virran nousu ja lasku aikoja (ramp up, ramp down), sekä minimi ja maksimi virtaa.



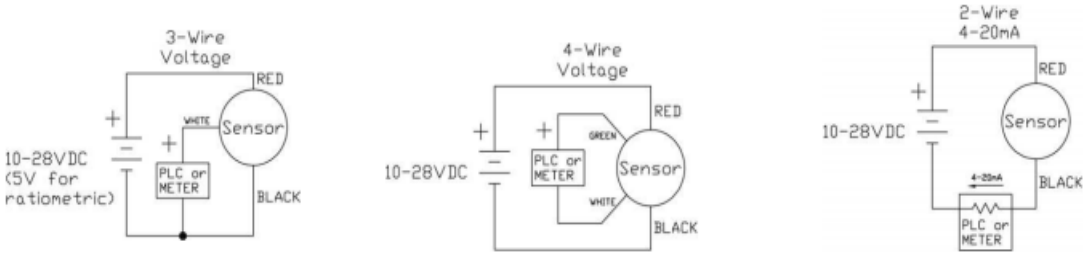
Kuva 22. Vahvistinkortin lohkokaavio (Hydraforce www-sivut, 2011)

7 ANTURIT

Hydraulisessa liikkeenohjauksessa käytetään tyypillisesti paineantureita sekä asema-antureita. Esimerkiksi erillisiä voima-antureita ei välttämättä tarvita, koska voima voidaan laskea paineen ja sylinterin pinta-alan perusteella. Huomioon täytyy ottaa myös mahdollinen vipuvarsi. Pyörivässä liikkeessä voidaan käyttää perinteistä takometriä. Joitain suhteellisen epätarkkoja nopeusohjauksia on myös toteutettu virtaus antureilla.

7.1 Paine-anturit

Paineantureita on eri toimintaperiaatteella toimivia. Sähköiset paineanturit perustuvat paineen aiheuttamaan sähköisen ilmiön muutokseen. Esimerkiksi kapasitanssin, resistanssin tai induktanssin. Painelähettimessä mitattu suure muutetaan sähköiseksi viestiksi (Parikka & Tervo, 1999). Lähtösignaaleja on esimerkiksi 4-20mA, 0-10V, tai 0-5V. 4-20mA virtaviestin etuna on sensorin tai johtimen rikkoutumisen diagnosointi virta-alueen ulkopuolella (alle 4-mA, tai yli 20mA). Antureita on 2-,3- tai 4-johtimisena. Kuvassa 23 näkyy niiden kytkennässä ilmenevät eroavaisuudet.



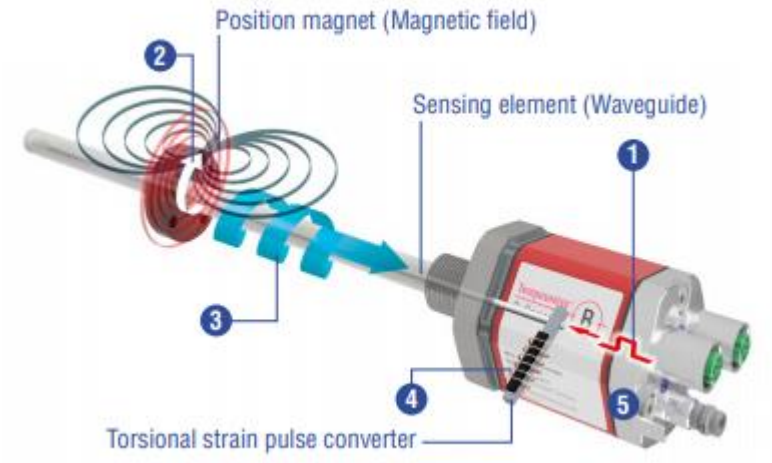
Kuva 23. Paineanturin kytkentä (Te connectivity www-sivut, 2019)

7.2 Asema-anturit

Hydrauliikkasylinterin asemointiin käytetään pääsääntöisesti absoluuttiantureita. Varsinkin kahdella sylinterillä toteutetussa tasatahtiajossa on äärimmäisen tärkeää, että sylinteri ei hukkaa asemaansa. Mekaaniset rakenteet eivät yleensä kestä hydrauliikkasylinterien vääntövoimaa.

Yksi käytetyimmistä antureista on hydrauliikkasylinterin sisälle asennettava Magnetostriktiivinen anturi. ”Magnetostriktiivinen anturin toiminta perustuu Wiedemann-ilmiöön. Aksiaalisessa magneettikentässä oleva sauva kiertyy, kun sen läpi johdetaan virta, näin aiheutetaan johdinta kiertävä magneettikenttä. Anturissa on putkeen sijoitettu ohut johdin. Näiden ympärillä on liikkuva rengasmagneetti, joka aikaansaa aksiaalisen magneettikentän. Johtimeen lähetetään virtapulssi, joka tuottaa johtimen ympärille sitä kiertävän magneettikentän. Kahden magneettikentän törmäyskohdassa putki kiertyy. Kiertymä etenee johtimessa kumpaankin suuntaan (ultra)äänen nopeudella. Anturin rungon puoleisen pään kiertymä vaimennetaan heijastusten välttämiseksi. Lähetetty virtapulssi on käynnistänyt tarkkuusintegraattorin, tai pulssigeneraattorin. Kiertymäaalto pysäyttää laskennan, jolloin ääniaallon kulkuajasta voi laskea tarkasti kestomagneetin sijainnin” (Airila, 2006, luku 4,21-22).

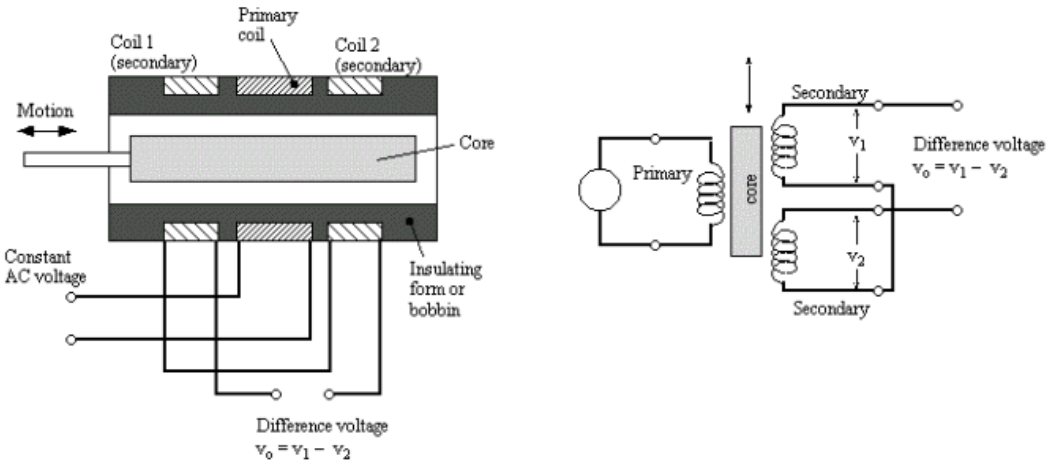
Magnetostriktiivisia antureita löytyy yli 7000mm pituuksiin. Mallista riippuen voidaan se kytkeä suoraan tiedonsiirtoverkkoon (esimerkiksi Profinet, Profibus, Ethercat, CANbus). Malleja löytyy myös analogiaviestillä (esimerkiksi 4-20 mA). Myös SSI-liitäntä (Synchronous Serial Interface) löytyy. SSI-liitännästä saa vaihtoehtoisesti binääri- tai Graykoodin, 24-,25, tai 26 bittisenä. (MTS sensors www-sivut, 2020.)



Kuva 24. Magnetostriktiivinen anturi (MTS sensors www-sivut, 2020)

Lyhemmissä sylintereissä on käytetty myös (alle 600mm) LVDT-antureita (linear variable Variable Diffferential Transformer). LVDT-anturia käytetään lähes kaikissa

proportionaaliventtiileissä karan asematakaisinkytkennässä (Airila, 2006, Luku 4,19). Kuvassa 25 näkyy anturin toimintaperiaate.



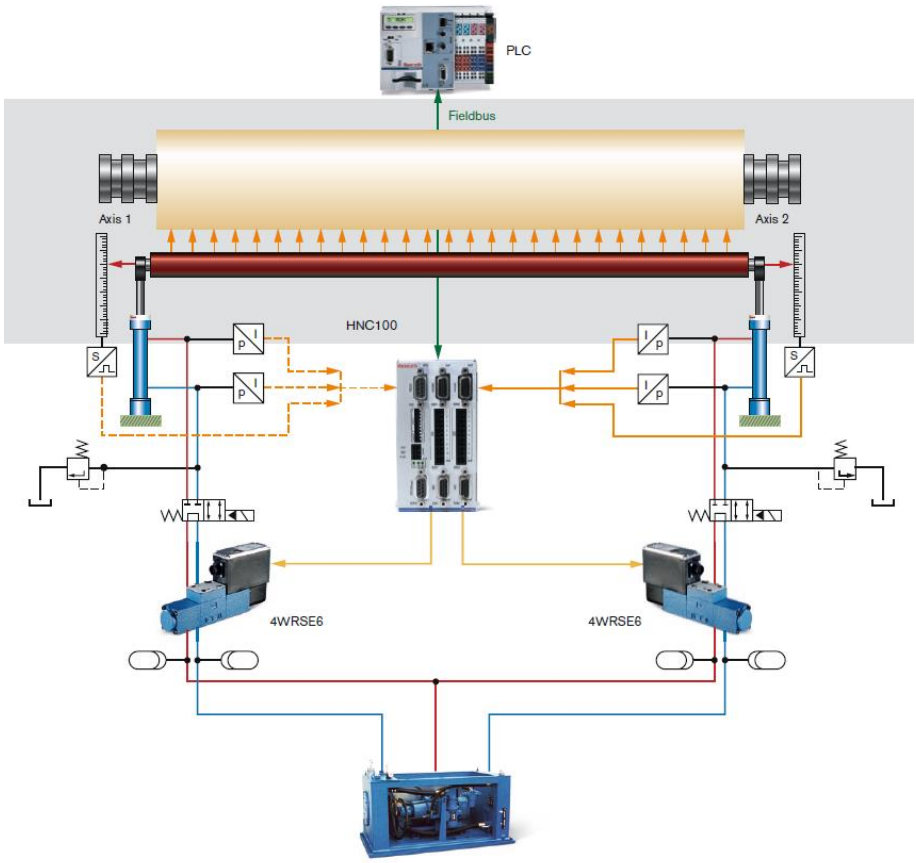
Kuva 25. LVDT-anturi (Instrumentation Tools www-sivut, 2018)

Muita lineaariliikkeen mittaukseen käytettyjä antureita ovat esimerkiksi lineaaripotentiometrit. Potentiometri on myös absoluuttianturi. Myös pulssiantureita käytetään.

8 HNC-LIIKKEENOHJAIN

Bosch Rexrothin VT-HNC100...3X liikkeenohjain on erityisesti hydrauliseen liikkeenohjaukseen suunniteltu ohjelmoitava liikkeenohjain. HNC-ohjain soveltuu suljetun säätöpiirin ohjaukseen. Ohjaimesta on saatavilla eri versiot yhdestä neljään akselin ohjaukseen. (Bosch Rexroth, 2014.)

Ohjain soveltuu moniin eri teollisuuden sovelluksiin. Ohjaimeen voi myös ohjelmoida tarvittavia sekvenssejä. Järjestelmästä riippuen, voidaan käyttää voimaohjausta, paikoitusohjausta tai molempia. Kahden tai useamman akselin tasatahtiajo (synkroni) voidaan myös toteuttaa suhteellisen helposti master-, slave-ohjauksena (Bosch Rexroth, 2014). Ohjain liitetään ylemmän tason ohjaimeen kenttäväylällä (Profibus DP, Profinet RT, Ethernet/IP). Rexrothin sivuilta löytyy tarvittavat GSD (General Station Description) tiedostot eri väylille.



Kuva 26. Lohkokaavio Rullaimesta (Bosch Rexroth, 2020)

Kuvassa 26 näkyy esimerkki HNC-ohjauksella toteutetusta rullaimesta. Kahdella erillisellä ohjauspiirillä ja asemointiantureilla toteutetulla ohjauksella, saadaan rullasta tasavahva.

Ohjaimeen voidaan liittää analogia-antureita (0-10V, +-10V, 4-20mA) pulssianturi tai Gray-koodattu SSI-absoluuttianturi. Yhtä akselia kohden on tavallisesti asema-anturi sekä kaksi paineanturia. Gray-koodi on kehitetty binäärilukujen pohjalta. Se eroaa binäärikoodista siinä, että lukujen välillä vain yhden bitin tila muuttuu. Hyvä esimerkki tästä on luvusta 7, lukuun 8 nousu. Binäärilukuna muutos on 0111:stä 1000:n. Eli kaikkien bittien tila muuttuu. Gray-koodin muutos 0100:sta 1100:n. Eli vain yhden bitin tila muuttuu. Mekaanisista vasteajoista ja ohjelman kiertoajoista tuleva virhe voidaan näin minimoida. Binäärinä lukuvirhe voi olla esimerkiksi 1111 tai 0000 eli 0 tai 15. Gray-koodilla lukuarvo on joko 0100 tai 1100, eli 7 tai 8. Eli virhe marginaali on huomattavasti pienempi. (Christiano, 2016.) Kaaviossa 26 näkyy neljän bitin gray-koodit.

Desimaali	Binääri	Gray-koodi
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111

Kaavio 27. Gray-koodi ja binääriluvut.

8.1 Parametrointi

Ohjaimen parametrointi tapahtuu käyttäen Rexrothin WIN-PED ohjelmaa. Ohjelmistosta on olemassa versiot 6 ja 7. Ohjelma on ilmainen ja se on ladattavissa Rexrothin nettisivuilta. Parametrointi tapahtuu helpoiten ethernet-väylän kautta. Ohjauksen sekä ohjelman kiertoajan voi määrittää. Ohjain pystyy 1ms:n kiertoaikaan/akseli. Eli kahden akselinohjain 2ms kiertoaikaan.

Asema-anturin tyyppi määritetään, joko SSI- tai pulssianturi, sekä anturin resoluutio, databittien määrä ja anturin kellotaajuus. Ohjaimessa on myös yhteensä 11 kappaletta digitaalituloja/lähtöjä jotka voidaan määrittää esimerkiksi käsiajoihin. Lähtöinä niitä voidaan käyttää akselin tilatietojen tuontiin logiikalle (maksimivirta 20mA) (Liite1). Myös väylän kautta kulkevaa virtuaalista IO:ta voidaan käyttää määrityksiin.

Asemaohjauksen, voimaohjauksen ja nopeusohjauksen arvoja pystyy kaikkia säätämään ja määrittämään jokaiselle akselille erikseen. Asemaohjauksen rajat voidaan määrittää, sekä maksimi kiihtyvyydet.

Paineohjauksessa (liite 2) voidaan syöttää sylinterin tyyppi ja mitat suoraan ohjelmaan. Ohjelma laskee sylinterin pinta-alat ja pinta-alaeron. Voimien laskeminen voidaan jättää ylemmän tason ohjaimelle. Siinä täytyy ottaa huomioon muut ulkopuoliset tekijät, esimerkiksi vipuvarsi.

8.2 Ohjelmointi

Ohjelmointi tapahtuu samalla WIN-PED ohjelmalla. Jokaiselle akselille on oma ohjelma sekä yhteinen apuohjelma (auxiliary program). Ohjelmointi kieli on NC-tyyppistä ohjelmointia. Ohjelmassa on omat ohjeet ja lista käytetyistä G-komennoista. Yksi esimerkki on G01 komento (Liite 3). Tällä komennolla määritetään asema, kiihdytys, hidastus, nopeus sekä loppunopeus.

Ohjelmaan voi tallettaa R-parametrejä, joihin voi tallentaa oikeastaan mitä tahansa liikkeenohjaukseen tarvittavaa tietoa (asema, nopeus, paine ym.) ja niitä voidaan kutsua ohjelmassa. R-parametrin arvoja pääsee myös muuttamaan väylän kautta.

Ohjelmassa voidaan käyttää IF ehtolauseita. IF lauseella voidaan esimerkiksi asettaa tai resetoida tuloja, tai kutsua tiettyä aliohjelmaa. Aliohjelmat nimetään L-kirjaimella (esimerkiksi L100). Jos ohjaimella ajetaan pelkkää tasatahtiajoa, ei toiselle akselille tarvita välttämättä omaa erillistä ohjelmaa. Tasatahtiajo aktivoidaan ohjelmassa M35 käskyllä.

9 LOGIIKKA

Logiikkana oli käytössä Siemensin S7-1500 sarjan logiikka. Siemensin ohjelmoimiseen ja konfigurointiin tarvitaan Siemensin TIA-Portal ohjelmisto. S7-1500 vaatii ohjelmointiin Step7 Professional lisenssin. Testilaitteistoon oli liitettynä Basic sarjan 4”näyttö. Basic sarjan näytöille riittää WinCC Basic lisenssi.

9.1 Yhteyden luominen

Yhteyden luomiseen tarvitaan GSD-tiedosto. Tiedostot löytyvät valmistajan internet sivuilta. Jokaiselle väylätyypille on oma tiedosto. Profibus väylää varten ohjaimessa on dippi kytkimet profibus osoitetta varten. IP-osoitteen pääsee määrittämään samalla kun ohjelma on löytänyt sen verkosta. Parametroinnissa käytettävän tietokoneen IP-osoite on hyvä asettaa manuaalisesti ennen ohjaimen skannausta, jotta välttää mahdolliset kommunikointi ongelmat.

Ennen yhteyden luomista täytyy parametrointi vaiheessa määrittää logiikan kanssa vaihdettava data. Se määritetään Bus manager lehdellä WIN-PED ohjelmassa (liite 4). Ohjain voi lähettää maksimissaan 128 tavua dataa, sekä vastaanottaa saman määrän. Datan pituus voi olla joko 2 tai 4 tavua eli 16 tai 32 bittiä. Vaihdettavaksi dataksi voidaan määrittää esimerkiksi virtuaaliset IO-signaalit, asematieto, painetieto. Myös R-parametrit voidaan asettaa väylän kautta.

Tässä työssä käytettiin yhteyden luomiseen Siemensin S7-1500 logiikkaa. Satatekniikassa oleva HNC-ohjain on tyypiltään kaksiakselinen. Parametrointi tapahtuu Ethernet-väylän kautta. Liityntä logiikkaan Profibus väylän kautta. Siemensin logiikassa ei ole suoraan profibus väylää. Tästä syystä täytyi käyttää Siemensin IE/PB LINK verkkoadapteria. Adapteri toimii yhdyskäytävänä Profinet ja Profibus verkon välillä (Liite5). Profinetin puolella sille annetaan oma IP-osoite. Profibus puolella se toimii Masterina ja sille annetaan myös oma Profibus osoite. HNC lisätään Profibus väylään. Profibus osoite määritetään dippi kytkimillä ohjaimen etupaneelista. Ohjaimen Profibus osoite täytyy määrittää oikein myös väyläadapterissa.

Kun GSD-tiedosto on asennettu Siemensin TIA-portal ohjelmaan, se löytyy Profibus laitteiden kirjastosta Rexroth kansiosta (Liite 6). Lähettävä ja vastaanotettava data täytyy vastata ohjaimessa määritettyä dataa. TIA-portal määrittää osoitteet automaattisesti, tai ne voi määrittää käyttäjä itse.

9.2 TIA-portal ohjelmointi

Kun väylä on saatu rakennettua, voidaan aloittaa ohjelman kirjoittaminen. HNC:n parametrit näkyvät nyt suoraan logiikan sisään- ja ulostuloina (Liite 7). Niihin voidaan viitata suoraan ohjelmassa (esim. QW40, tai suoraan yhteen bittiin Q40.0, inputit IW40 ja I40.0) Jos vaihdettava data on 4 tavua, käytetään kaksoissanaa (DWORD). Rexrothilta ei saanut valmista ohjauslohkoa (FB) tähän HNC malliin. Ohjelmointi aloitettiin rakentamalla oma ohjauslohko, jota voidaan sitten monistaa, jos on enemmän kuin yksi ohjain projektissa. Virtuaalisilla ohjausbiteillä, voidaan esimerkiksi HNC:stä kutsua tiettyä aliohjelmaa. Voidaan nimetä ne suoraan lohkossa (TIA-portal) esimerkiksi asemointiajo, paineohjaus ym.

10 POHDINTA

Jo heti alkuvaiheessa oli todettava, että hydraulinen liikkeenohjaus on käsitteenä ehkä liian laaja käsiteltäväksi opinnäytetyössä. Pyrin kuitenkin ottamaan olennaisimmat asiat mitkä tulee vastaan päivittäisessä työssä. Asiat, jotka on hyvä ymmärtää hydrauliikasta, sähkötekniikasta ja logiikasta, voidakseen rakentaa toimivia ohjausjärjestelmiä.
Satatekniikan testipenkissä oleva HNC on jostain syystä tilattu profibus väyläliitynnällä. Tämä aiheutti paljon ylimääräistä työtä, koska Siemensin logiikat tulevat profinet liitynnällä. Profibus laajennus täytyy tilata logiikkaan erikseen. Porfibus väyliä on vielä paljon käytössä ja se on toimivaa tekniikkaa. Se on kuitenkin jo osaltaan vanhentunutta tekniikkaa, ja hitaampi väylä kuin esimerkiksi Profinet. Toisaalta tästä syystä väylätekniikka tuli tutuksi täysin uudella tavalla, koska jouduin käyttämään aikaa erittäin paljon väyläadapterin, eli IE/PB Linkin käyttöönottoon. Ensimmäiseksi selvisi, että se täytyy määrittää välityspalvelimeksi (Proxy) jotta se lähettää ja vastaanottaa kaiken datan. Jos sen määrittää vain yhdyskäytäväksi, ei se ainakaan kyseisessä testikytkennässä liikuttanut dataa, vaan ainoastaan pystyi konfiguroimaan osoitteet ym.

HNC on erittäin monipuolinen hydrauliikkaan tarkoitettu ohjain. Se on todettu teollisuudessa varmatoimiseksi kokonaisuudeksi. Vika on yleensä löytynyt ohjelmointi virheistä, jos jotain ongelmia on ollut. HNC:n kehitystyö Rexrothilla on loppunut ilmeisesti jo jokin aika sitten, ja Rexroth myy sitä vain varaosana. Tilalle on tullut esimerkiksi VT-HMC liikkeenohjain, jota saa yhden ja kahden akselin ohjaukseen. HMC:n ohjelmoimiseen käytetään Codesys pohjaista Rexrothin Indraworks ohjelmistoa. Ohjainta ohjelmoidaan PLC-open (IEC 61131-3) kirjastoja käyttäen. Sen lähestyttävyys on varmasti helpompaa ohjelmoijalle, joka ei ole G-koodi ohjelmointia tehnyt. HMC:lle löytyy myös jonkinlaiset funktio kirjastot, sekä TIA-portalille että Step7 classicille.

Olisi ollut mielenkiintoista päästä vertaamaan näitä kahta eri akseliohjainta. Uudempaa HMC:tä ei kuitenkaan ole tullut monessakaan projektissa vielä vastaan, eikä olisi ollut kustannustehokasta tilata sellaista vain tutustumistarkoitukseen. Rexrothilta löytyy myös ohjelmoitavia logiikoita. Näihin käy sama Indraworks ohjelma

ohjelmointiin. Indraworks on edullinen, vain joitain satoja euroja. Vertaa esimerkiksi Siemens TIA Portal. Basic lisenssit ovat edullisia, mutta niissä on paljon rajoituksia. STEP7 Professional ja WINCC Comfort/Advanced lisenssien hinnat nousevat jo tuhansiin euroihin.

Olisi paljon muutakin uutta tekniikkaa saatavilla hydrauliikan liikkeenohjaukseen. Esimerkiksi pumppuohjaimet, jotka ohjaavat myös taajuusmuuttajaa tai servomoottoria. Teollisuudessa merkittävä osuus hydrauliikkajärjestelmistä on vakiopaine järjestelmiä. Näissä kyseisillä ohjaimilla voidaan saada merkittäviä energia säästöjä. Ohjausjärjestelmistä saadaan myös monipuolisempia, kun siihen lisätään moottorin ohjaus taajuusmuuttajalla. Näitä järjestelmiä on jo monella valmistajalla ollut tarjolla jonkin aikaa. Niitä tulee kuitenkin päivittäisessä työssä toistaiseksi harvoin vastaan.

LÄHTEET

Airila, M. 2006. Mekatroniikka. Helsinki. 7.painos: Otatieto Oy.

Bosch Rexroth. 2012. Bosch Rexroth datalehti. Electric amplifiers. RE30052/02.12.

Bosch Rexroth. 2014. Bosch Rexroth datalehti. Digital axis control. RE30139-B/12.14

Bosch Rexroth. 2020. Bosch rexroth www-sivut. Hägglund drives. https://www.boschrexroth.com/fi

Bosch rexroth www-sivut 2020. Viitattu 10.5.2020. https://www.boschrexroth.com/fi

Christiano, M. 2016. Gray code basics. Tekninen artikkeli. Viitattu 10.5.2020. https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/gray-code-basics/

Exner, H., Freitag, R., Geis, Dr. -Ing. H., Lang, R., Oppolzer, J., Schwan, P., Sumpf, E., Ostendorf, U., Reik, M. 1997. Hydraulitekniikan perusteet ja komponentit. Mannesmann Rexroth Gmbh.

Hutasu www-sivut. 2017. Jännitteenjakokytkentä. Viitattu 10.4.2020. https://www.hutasu.net/elektroniikka/teoriaa/jannitteenjakokytkenta-jannitejako/

Hydraforce www-sivut. 2011. Electronics in the mobile equipment industries. Viitattu 12.5. http://www.hydraforce.com/Electro/Elec-pdf/3-440-1.pdf

Inkinen, P., & Tuohi, J. 2011. Insinöörifysiikka. Keuruu. 7.painos: Otava.

Instrumentation Tools www-sivut. 2018. What is LVDT? Viitattu 20.4.2020. https://instrumentationtools.com/what-is-lvdt/

Kauppalehti www-sivut 2020. Viitattu 15.4.2020. https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/satatekniikka+oy/0880024-8

Keinänen, T., & Kärkkäinen, P. 2005. Automaatiojärjestelmien hydrauliikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

Kotka & co. asianajotoimisto oy www-sivut 2020. Viitattu 15.2020. https://kotkaco.fi/satatekniikka-oyn-osakekanta-myytiin-volito-automation-ablle/

Kumar, M. 2019. Fluid mechanics and hydraulic machines. Intia: Pearson India Education Services Pvt. Ltd.

Moog. 2012. Design of long-life servo valves. Tekninen artikkeli. https://www.moog.com/content/dam/moog/literature/ICD/Moog%27s_approach_to_design_of_long_life_servo_valves_september_2012_no_security-white-paper-en.pdf

MTS sensors www-sivut. 2020. Magnetostrictive linear position sensors. Viitattu 18.5.2020. http://www.mtssensor.de/fileadmin/medien/download/Data_Sheet_R_V/Data_Sheet_R-SeriesV_RH5_SSI_552001_EN.pdf

Paavilainen, H. 2009. Hydrauliikka 1. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

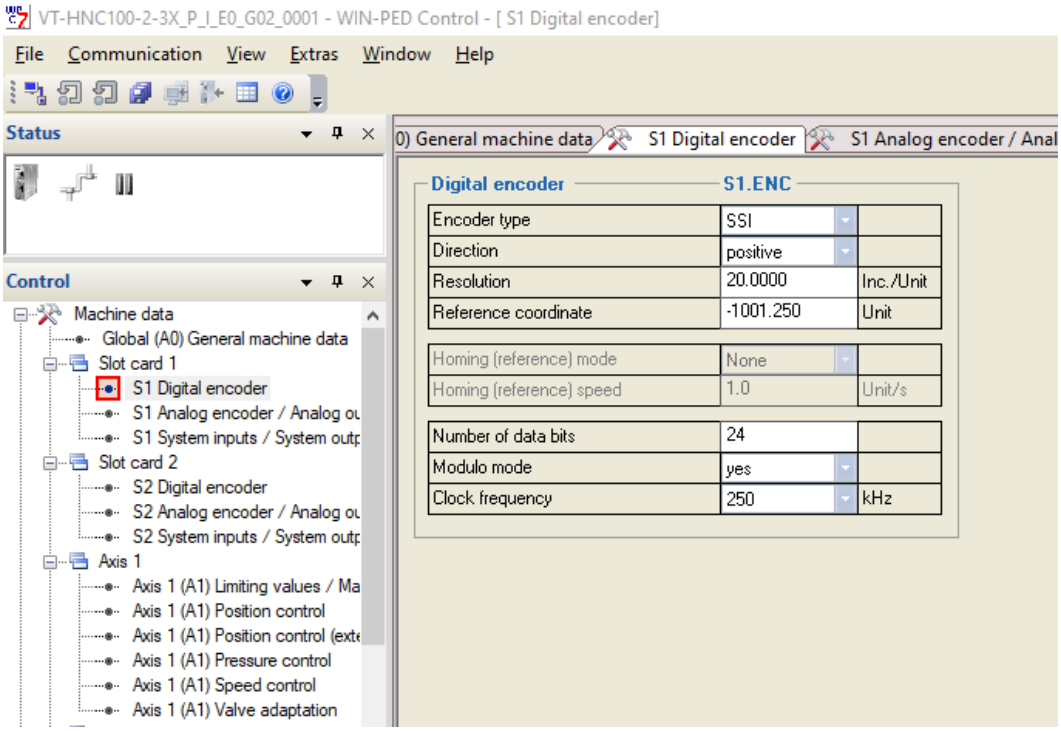
Parikka, R., & Tervo, J. 1999. Anturit hydrauliikan mittauksissa. Tekninen artikkeli. https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/1999/VALB417.pdf

Satatekniikka oy www-sivut 2020. Viitattu 10.4.2020. https://www.satatekniikka.fi/yritys/

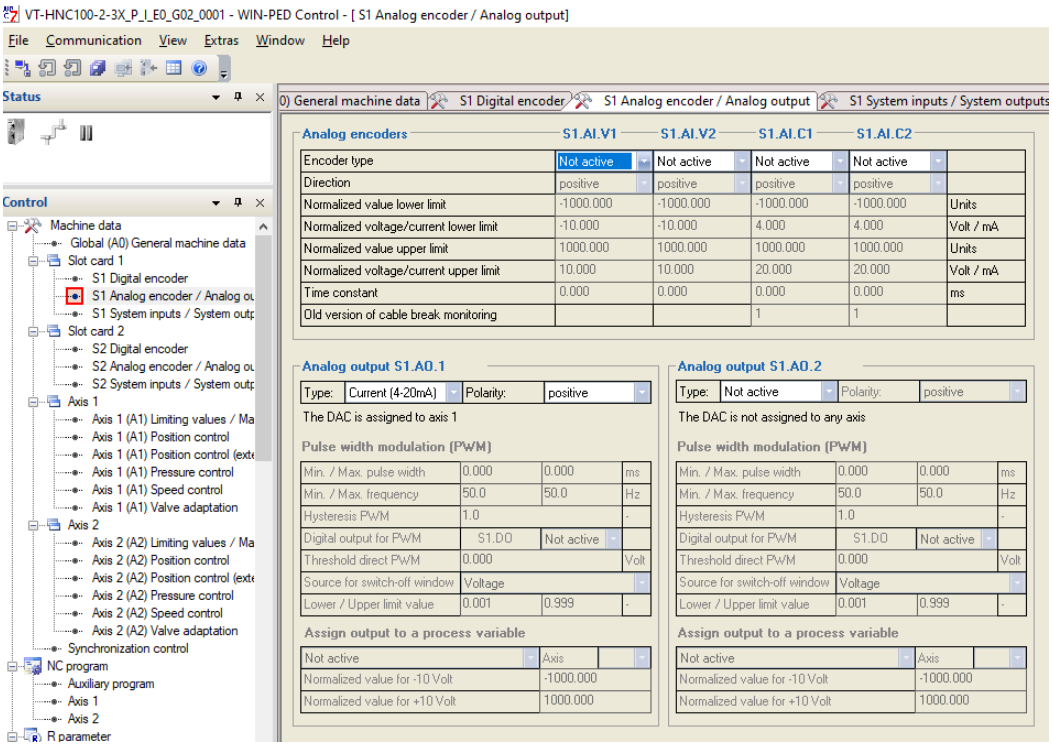
Target-hydraulics www-sivut.2017. Viitattu 7.5.2020. https://www.target-hydraulics.com/hydraulic-power-pack-ebook/

Te connectivity www-sivut. 2019. Installation wiring guide. Viitattu 6.5.2020 https://www.te.com/

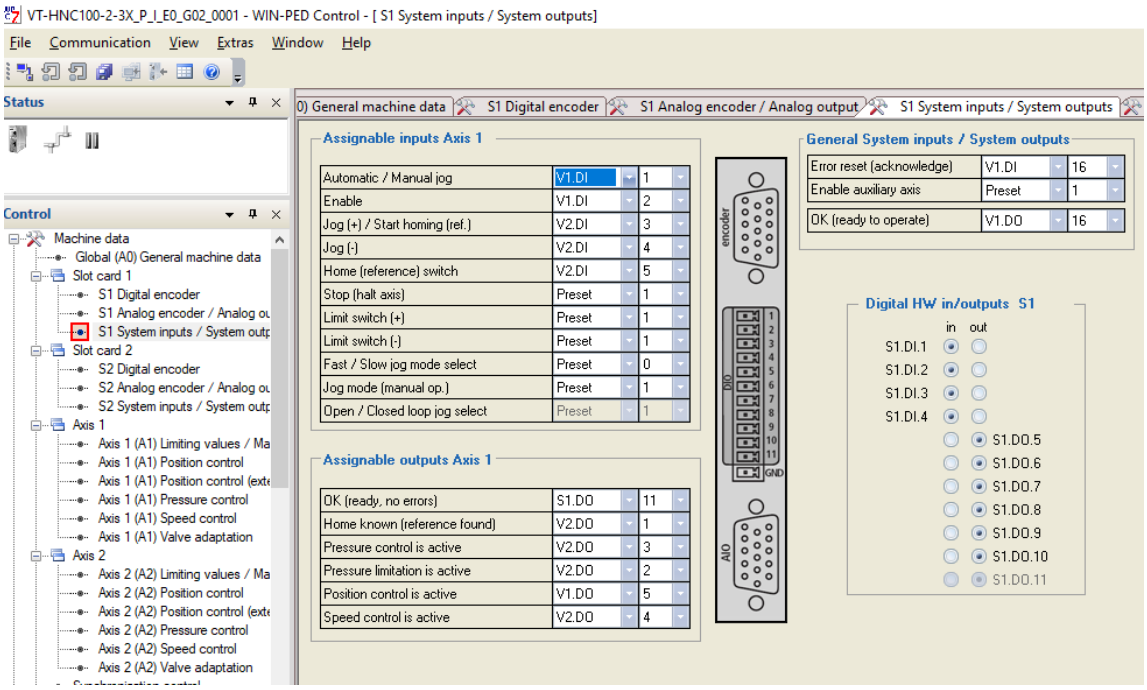
HNC-parametrointi.



Asentoanturi.

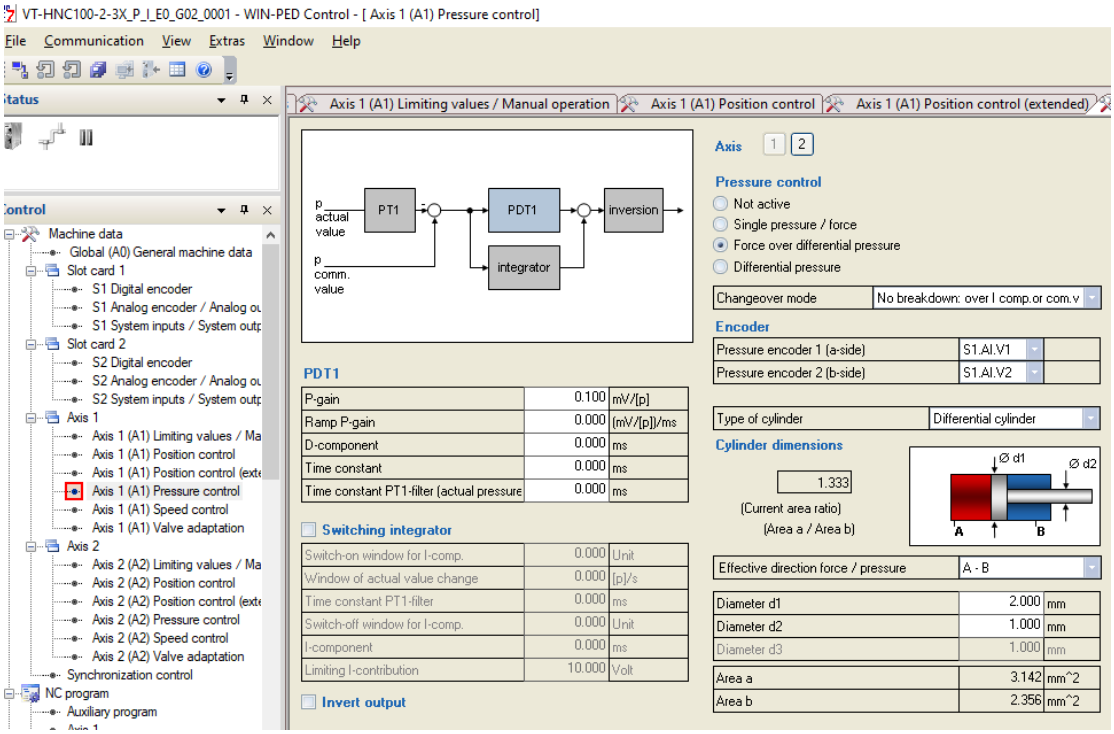


Analogiset sisään- ja ulostulot.

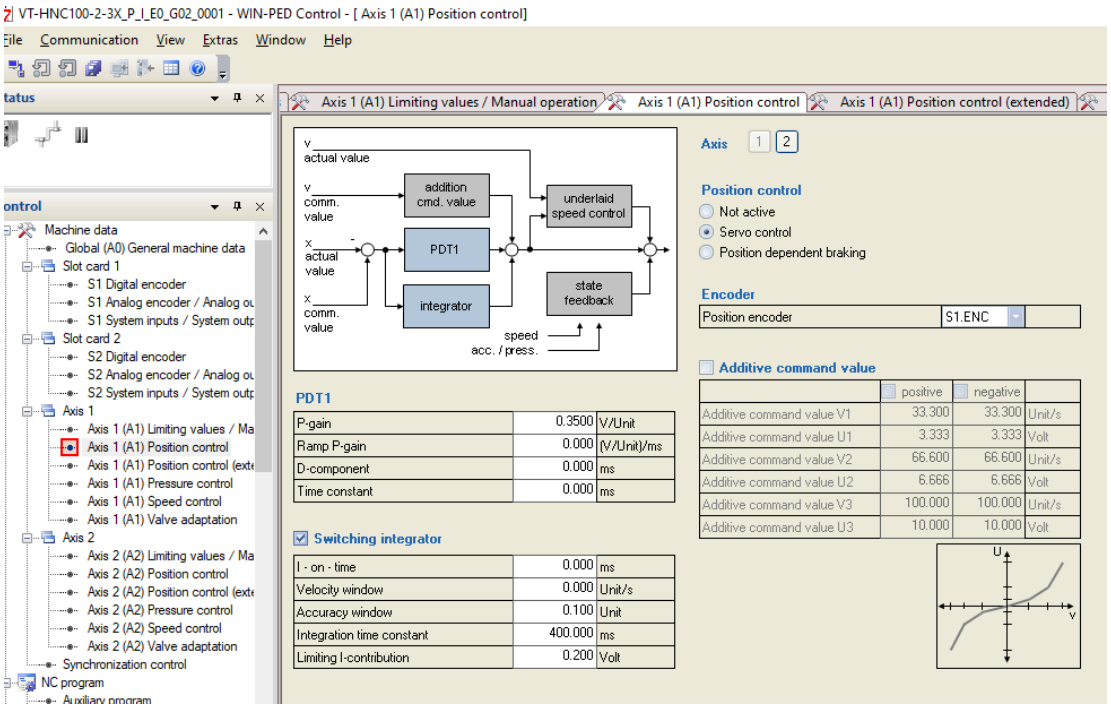


IO:n määritys.

HNC-parametrointi

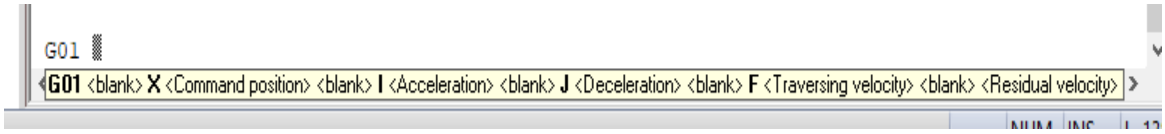


Paineohjauksen määritykset.



Asemaohjauksen määritykset.

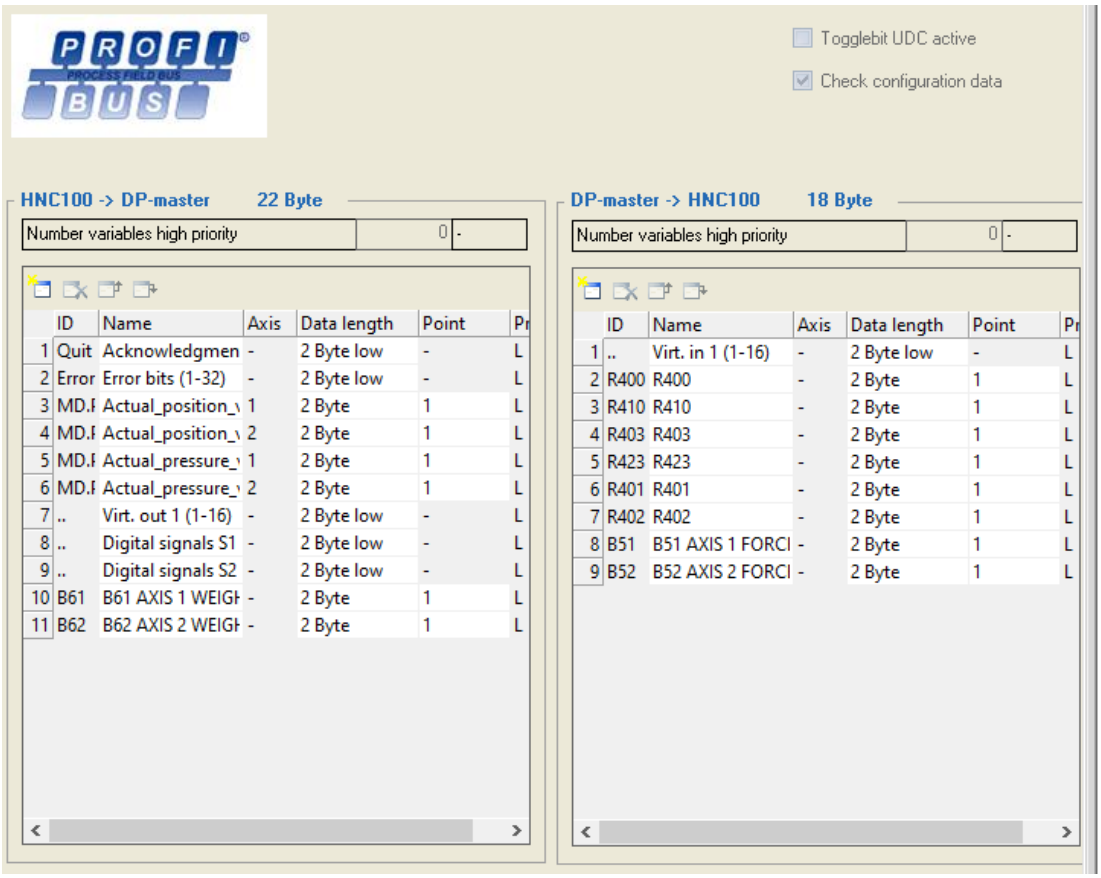
NC-ohjelma



Ohjelma antaa ohjeita G-komentojen käytöstä.

```
;                                   MAIN PROGRAM / HAUPTPROGRAMM
;=============================================================================
===============
C00=MD.P000.2
G01 XC00 I10 J10 F10 0              ;DRIVE MASTER SAME LEVEL
G04 F2                              ;WAIT THAT AXIS IN PLACE
M35                                 ;ACTIVATE PARALLEL DRIVE ***********
L00
IF V1.DI.3=1 JSR L100.001           ;JOG UP
IF V1.DI.4=1 JSR L200.001           ;JOG DOWN
IF V1.DI.5=1 JSR L300.001           ;PARALLEL STEP DOWN
IF V1.DI.6=1 JSR L400.001           ;PARALLEL DOWN
IF V1.DI.7=1 JSR L500.001           ;PARALLEL UP
JMP L00
;
m02
;
;=============================================================================
===============
;                                 SUBROUTINES / UNTERPROGRAMME
;=============================================================================
===============
L100
M35                                 ;ACTIVATE PARALLEL DRIVE
G01 XR200 IR201 JR202 FR203 0       ;JOG DRIVE UP
L110
IF V1.DI.3=1 JMP L110               ;CHECK COMMAND
STOP                                ;STOP
M17
;*****************************
L200
M35                                 ;ACTIVATE PARALLEL DRIVE
G01 XR210 IR201 JR202 FR203 0       ;JOG DRIVE DOWN
L210
IF V1.DI.4=1 JMP L210               ;CHECK COMMAND
STOP                                ;STOP WITH RAMP
M17
;*****************************
L300
M35                                 ;ACTIVATE PARALLEL DRIVE
G01 XR210 IR201 JR202 FR213 0       ;STEP_DRIVE
L390
IF V1.DI.5=1 JMP L390               ;CHECK THAT COMMAND DONE
STOP
M17
;*****************************
L400
M35                                 ;ACTIVATE PARALLEL DRIVE
G01 XR210 IR211 JR212 FR213 0       ;DRIVE DOWN
L410
IF V1.DI.6=1 JMP L410               ;CHECK COMMAND
STOP R212                           ;STOP WITH RAMP
M17
;*****************************
```

Esimerkki NC-ohjelmasta.



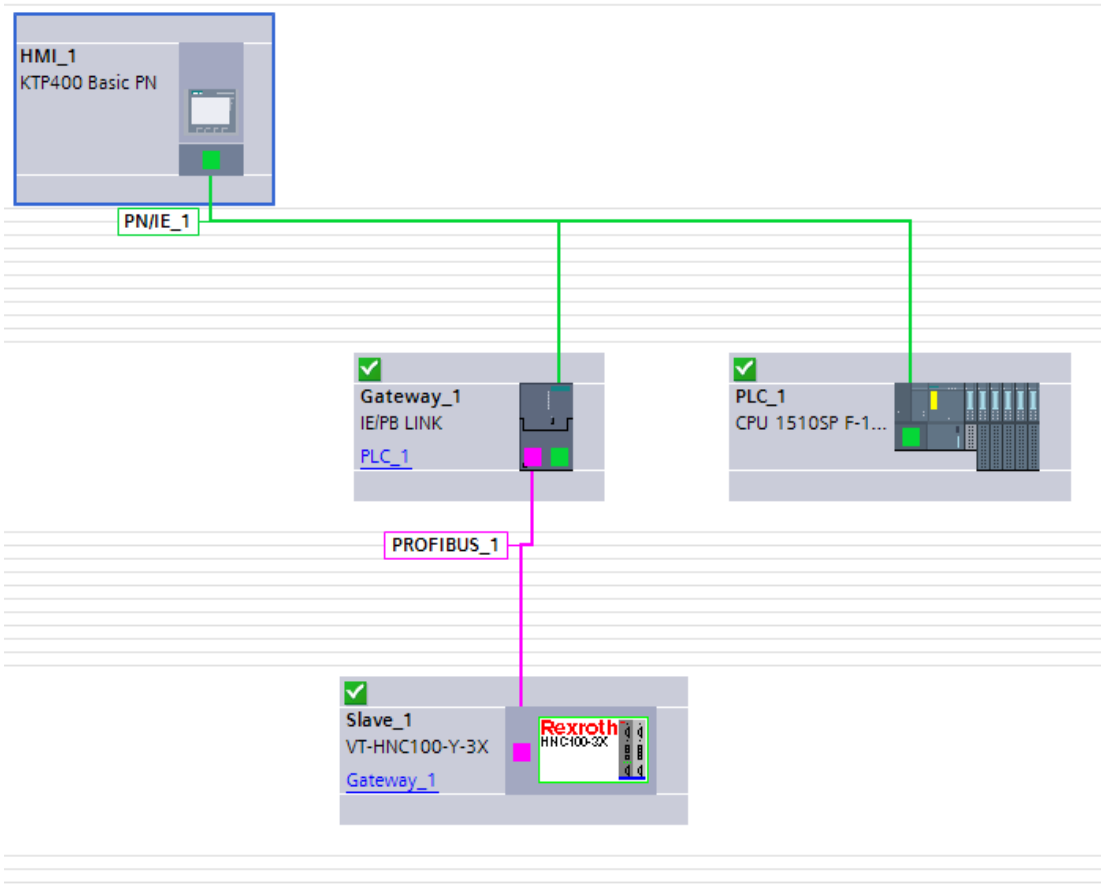
	ID	Name	Axis	Data length	Point	Pr
1	Quit	Acknowledgmen	-	2 Byte low	-	L
2	Error	Error bits (1-32)	-	2 Byte low	-	L
3	MD.I	Actual_position_\	1	2 Byte	1	L
4	MD.I	Actual_position_\	2	2 Byte	1	L
5	MD.I	Actual_pressure_\	1	2 Byte	1	L
6	MD.I	Actual_pressure_\	2	2 Byte	1	L
7	..	Virt. out 1 (1-16)	-	2 Byte low	-	L
8	..	Digital signals S1	-	2 Byte low	-	L
9	..	Digital signals S2	-	2 Byte low	-	L
10	B61	B61 AXIS 1 WEIGH	-	2 Byte	1	L
11	B62	B62 AXIS 2 WEIGH	-	2 Byte	1	L

	ID	Name	Axis	Data length	Point	Pr
1	..	Virt. in 1 (1-16)	-	2 Byte low	-	L
2	R400	R400	-	2 Byte	1	L
3	R410	R410	-	2 Byte	1	L
4	R403	R403	-	2 Byte	1	L
5	R423	R423	-	2 Byte	1	L
6	R401	R401	-	2 Byte	1	L
7	R402	R402	-	2 Byte	1	L
8	B51	B51 AXIS 1 FORCI	-	2 Byte	1	L
9	B52	B52 AXIS 2 FORCI	-	2 Byte	1	L

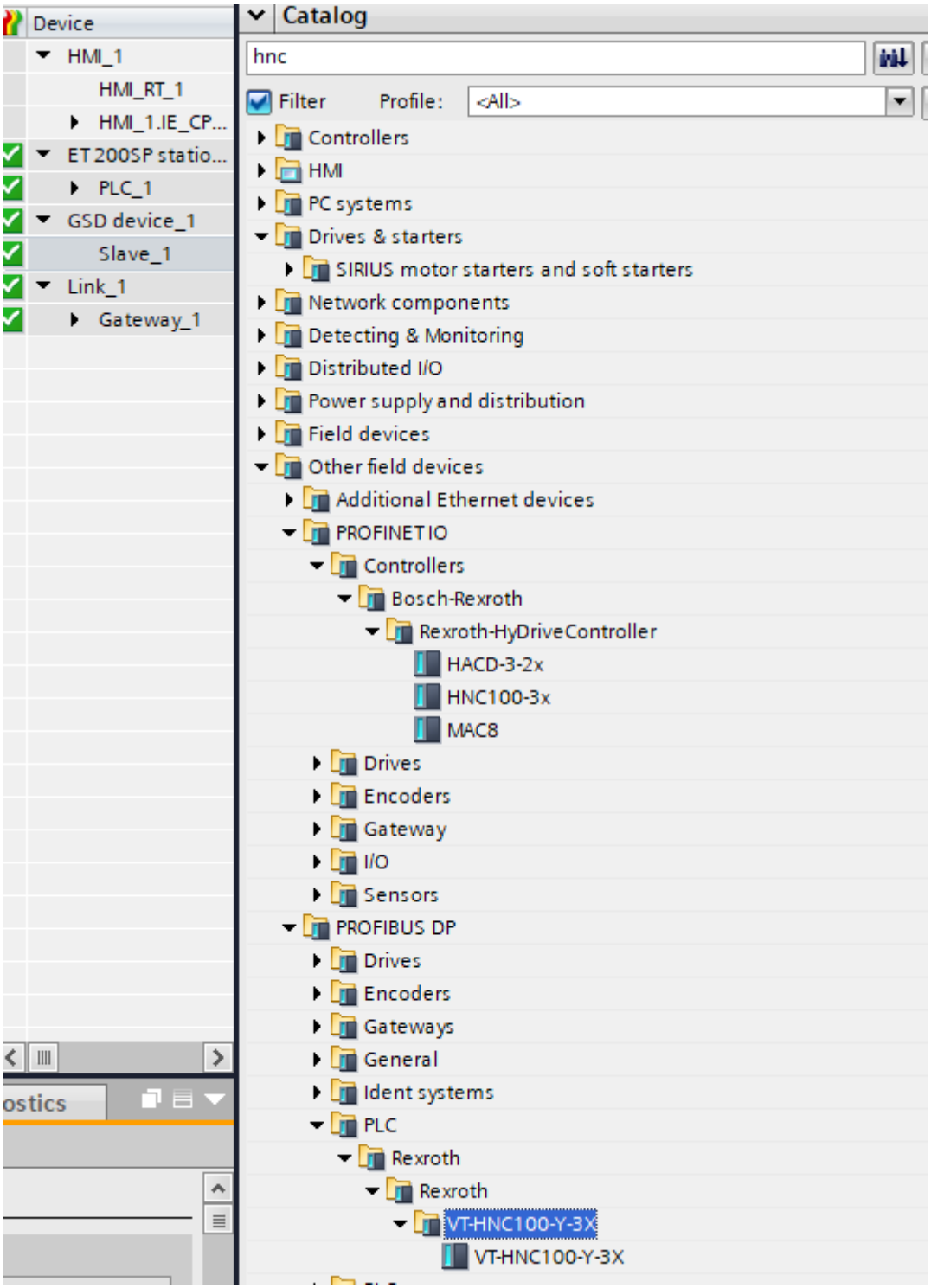
Vaihdettavan datan määritys HNC.

	...	Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type	Articl
✓		Slave_1	0	0			VT-HNC100-Y-3X	
✓		2 byte value <- HNC_1	0	1	22...23		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_2	0	2	24...25		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_3	0	3	26...27		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_4	0	4	28...29		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_5	0	5	30...31		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_6	0	6	32...33		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_7	0	7	34...35		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_8	0	8	36...37		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_9	0	9	38...39		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_10	0	10	40...41		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value <- HNC_11	0	11	42...43		2 byte value <- HNC	
✓		2 byte value -> HNC_1	0	12		18...19	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_2	0	13		20...21	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_3	0	14		22...23	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_4	0	15		24...25	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_5	0	16		26...27	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_6	0	17		28...29	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_7	0	18		30...31	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_8	0	19		32...33	2 byte value -> HNC	
✓		2 byte value -> HNC_9	0	20		34...35	2 byte value -> HNC	
			0	21				
			0	22				

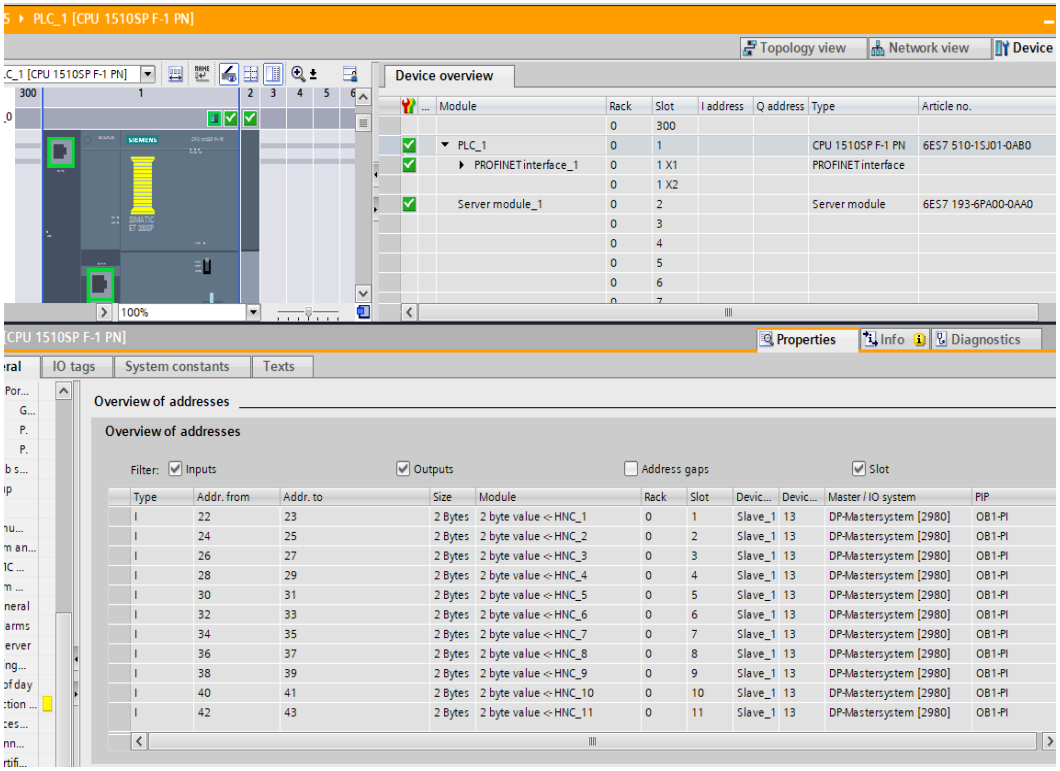
Vaihdettavan datan määritys TIA portal.



Väylä konfiguraatio.



Ohjain laitekirjastossa.



Osoitteet logiikassa.