



Servoventtiilin ohjaus Valmet DNA:lla

Aleksei Kardinen

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2025

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Kardinen, Aleksei

Servoventtiilin ohjaus Valmet DNA:lla

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Syyskuu 2020, 45 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikkatutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Valmet Technologies Oyj:n asiakkaila oli ollut käytössä Karhula-servoventtiilin ohjaukset. Kortteja käytettiin Moog servoventtiilien ohjaukseen. Nykyään kyseisiä kortteja ei enää valmisteta. Valmet Automationin tuotteista löytyy servoventtiilin ohjaukseen kykenevä I/O-kortti. Servoventtiilien ohjaukseen soveltuvan kortin toiminta oli testattava oikeassa prosessissa. Oli olemassa tarve varmistaa, että voidaanko tulevaisuudessa korvata vanhentuneet kortit toimeksiantajan vastaavalla tuotteella. Lisäksi oli tarve testata DNA-järjestelmän reagointinopeus nopeissa prosessimuutoksissa.

Opinnäytetyössä käytetty tutkimusmenetelmä oli kehitystutkimusmenetelmä. Kehitystutkimuksen tavoitteena oli luoda servoventtiilien testaukseen soveltuva työkalu, luoda prosessinohjaukseen soveltuvat säätimet sekä testata DNA-ympäristön kyky ohjata servoventtiiliä. Testaukset suoritettiin puristimen kuormitus-tapahtumaa simuloimalla. Tutkimuksen perusteella syntyi varmuus DNA-ympäristön nopeudesta sekä kyvystä servoventtiilin ohjauksessa. Tutkimuksella helpotettiin seuraavia testausvaiheita, jossa servoventtiilin ohjaukseen käytettyä korttia testattaisiin oikeassa prosessissa.

Työn tuotoksena syntyi säätimiä sisältävä DNA-automaatiomoduli, oikeaa prosessia mallintava simulaatiomoduli sekä käyttöliittymä. Testauksella löydettiin myös testausympäristön ääriarajat. Testauksen perusteella saatiin arvokasta tietoa, miten nopeasti DNA-järjestelmä pystyi reagoimaan nopeisiin muutoksiin prosessissa sekä reagoimaan niihin oikealla tavalla. Tutkimuksessa saatujen tietojen perusteella pystytään varmaksi sanomaan, että ainakin DNA-ympäristö kykenee reagoimaan riittävän nopeasti prosessimuutoksiin. Simuloitujen testien perusteella pystyttiin toteuttamaan oikeaa prosessia mallintava testiajo. Tulevaisuudessa toimeksiantajan asiakkaille pystytään tarjoamaan vanhentuneen kortin tilalle korvaava tuote.

Avainsanat (asiasanat)

Servoventtiili, Valmet DNA, simulaatio.

Kardinen, Aleksei

Controlling servo valves with Valmet DNA

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, April, 45 pages

Degree Programme in Electricity and Automation Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Valmet Technologies Oyj:s customers had been using Karhula servo valve control cards. These cards were used to control Moog servo valves. Nowadays, these cards are no longer in stock. Valmet Automation's products include an I/O card capable of controlling servo valves. The operation of the card suitable for controlling servo valves needed to be tested in a real process. There was a need to ensure that in the future, the outdated Karhula control cards could be replaced with the client's corresponding product. Additionally, there was a need to test the DNA system's response time to rapid process changes.

The research method implemented was development study. The goal of the research was to create a tool suitable for testing servo valves, create controllers suitable for process control, and test the DNA environment's ability to control the servo valve. The tests were carried out by simulating the press loading sequence. Based on the research, confidence was gained in the speed and ability of the DNA environment in controlling the servo valve. The research facilitated the next testing phases, where the card used to control the servo valve would be tested in a real process.

The work resulted in a DNA software module containing controllers, a simulation module simulating real process, and user control interface. The testing also identified the limits of the DNA-environment. Based on the testing, valuable information was obtained on how quickly the DNA system could react to rapid changes in the process and also respond to them correctly. Based on the information obtained from the research, it can be said that at least the DNA environment is capable of reacting quickly enough to process changes. Based on the simulated tests, a real test run can be test implemented. In the future, the client's customers can be offered a replacement solution for the outdated card.

Keywords/tags (subjects)

Servo valve, Valmet DNA, simulation

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Tutkimusasetelma ja tavoitteet	7
2	Tietoperusta	8
2.1	Toimeksiantaja	8
2.2	Paperi- tai kartonkikoneen puristin.....	9
2.3	Viivakuorma – Nippi	12
2.4	Servoventtiili	13
2.4.1	Suutinläppä-servoventtiili.....	15
2.4.2	Sähköisellä takaisinkytkennällä varustettu servoventtiili	16
2.4.3	Esiohjauksella varustettu servoventtiili.....	18
2.5	Vanhentuneet servoventtiilin ohjaamiseen tarkoitetut ohjainkortit.....	19
2.6	PID-säädin	19
2.7	Valmet DNA.....	21
2.7.1	FbCAD	22
2.7.2	Suoritus aika.....	23
2.7.3	Suoritusjärjestys.....	23
3	Simulointilaitteisto	24
3.1	Valmet ACN MR G2 prosessiohjain	24
3.2	Valmet AOI3S I/O-kortti.....	25
3.3	MOOG G631-8006B servoventtiili.....	26
3.4	Testipaikka	26
4	Totetus	27
4.1	Säädinmoduuli.....	28
4.1.1	Paikkasäädin.....	28
4.1.2	Painesäädin	29
4.1.3	Valintalogiikka	30
4.2	Simulaatiomoduuli.....	31
4.2.1	Virtauksenlaskenta	32
4.2.2	Paikanlaskenta.....	36
4.2.3	Paineenlaskenta	38
4.3	Käyttöliittymä	41
4.4	Testaus ja simulointi	43

5 Tulokset ja pohdinta	45
6 Loppusanat	47
Lähteet	48

Kuviot

Kuvio 1. Puristin osa ja radankulku (Paperikoneen puristinosa – yleistä, n.d.)	10
Kuvio 2. Yksinipillinen kaksoishuopapuristin (Paperikoneen puristinosa – yleistä, n.d.)	11
Kuvio 3. Viivakuorma	13
Kuvio 4. Suutinläppä servoventtiili (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 5)	15
Kuvio 5. Ddv servoventtiili (Electro-hydraulic valves - a technical look, 2016, 7.)	16
Kuvio 6. Esiohjausventtiilillä varustettu servoventtiili. (D691 Series PQ Servo-Proportional Valves with Integrated Electronics. N.d, 2, muokattu.)	18
Kuvio 7. Toimilohkokaavio.....	23
Kuvio 8. AOI3 I/O-kortti.....	25
Kuvio 9. Moog G631 servo venttiili Kardinen A.....	26
Kuvio 10. Testipaikka.....	27
Kuvio 11. Paikkasäädin	29
Kuvio 12. Painesäädin	30
Kuvio 13.Säätimen valintalogiikka	31
Kuvio 14. Moog kuollut alue (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 12).	32
Kuvio 15. Moog g631 virtauskaavio (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 12)	33
Kuvio 17. Virtauksen simulointi	36
Kuvio 18. Paikanlaskenta.....	38
Kuvio 19. P2 paineen käyttäytyminen männänpaikan perusteella.....	39
Kuvio 20. Paineen simulaattori.....	41
Kuvio 21. Ohjausnäyttö	42
Kuvio 22. Simulaattorin parametrinäyttö	43
Kuvio 23. Ensimmäinen testi	44
Kuvio 24. Toinen testi.....	45

1 Johdanto

Työskennellessä Valmet Technologies Oy:ssä minulle tarjoutui mahdollisuus tutkia sekä kehittää ohjausta Moog G631 servoventtiilille Valmet DNA-ympäristössä.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Valmet Technologies Oy:n Jyväskylän yksikkö. Jyväskylän yksikössä Palvelut-liiketoiminta palvelee paperi-, kartonki- sekä selluteollisuutta niiden tarpeiden mukaan. Palvelut-liiketoiminta suorittaa lisäksi myös päivitysprojekteja tilaajille. (Valmet yrityksenä, n.d.)

Toimeksiantajalla oli tarve päivittää olemassa olevia menetelmiä ja toimintatapoja koskien servoventtiilien ohjaamista. Aiemmin Moog G631-servoventtiilien ohjauksille on käytetty jo vanhentuneita ja poistuvia Karhulan valmistamia servoventtiilin-ohjainkortteja (Kielinen, 2024). Tutkimustyössä tehtiin selvitys, miten pystyttiin toteuttamaan vanhojen korttien toiminta Valmet DNA-ympäristössä. Tarkasteluun otettiin mukaan myös DNA-ympäristön reagointinopeus servoventtiilien ohjaamiseen.

Toimeksiantajalla oli jo tutkittu Valmet Automationin valmistamien ohjainkorttien soveltuvuutta servoventtiilien ohjaukseen. Soveltuvuus oli testattu, mutta testit eivät ole ottaneet kantaa todelliseen tilanteeseen, eikä järjestelmän reagointinopeutta testattu (Kielinen, 2024). Työssä jatkoin siitä, mihin ensimmäiset testit jäivät. Tutkimus toteutettiin simuloimalla Valmet DNA-ympäristöä, mikä oli ympäristön reagointinopeus muutoksiin prosessissa sekä säätimien toimintaa simulaation aikana. Testaus tapahtui simuloimalla puristimen kuormitusta paikka- ja painesäätimien avulla. Työn aikana vertailtiin erilaisia toimeksiantajalla käytössä olleita servoventtiilejä sekä toteutettiin servoventtiiliä ohjaavien säätimien viritys.

Tutkimustyö rajattiin toimeksiantajan asiakkailta käytössä oleviin Moog G631 servoventtiileihin. Servoventtiilin ohjaamista varten jalostettiin olemassa oleva Valmet DNA-sovelluspohja, johon lisättiin paikkasäätimet sekä painesäätimet. Servoventtiilin käyttäytyminen simuloitiin DNA-sovelluksessa, jota voitiin tulevaisuudessa parametroida tilanteeseen sopivaksi.

Aihe tuli valituksi sen monipuolisuuden takia. Työssä tutkittiin säätimien käyttäytymistä simuloitussa ympäristössä sekä laadittiin Valmet DNA-mallisovellukset, joita toimeksiantaja voi hyödyntää tulevilla projekteilla. Työssä tutustuttiin ja testattiin erilaisia säätimien parametrejä simuloimalla paikan muutosta sekä paineen käyttäytymistä sylinterissä.

Toimeksiantajalla oli selkeästi tarve kyseiselle työlle, koska aiemmin käytettyjä ohjainkortteja ei enää valmisteta. Toimeksiantaja hyötyi, kun servoventtiilejä voidaan nyt ohjata toimeksiantajan omilla tuotteilla sekä omilla ohjelmilla. Toimeksiantajan asiakkaille voidaan tulevaisuudessa tarjota korvaava tuote vanhentuneen tuotteen tilalle.

1.1 Tutkimusasetelma ja tavoitteet

Toimeksiantajalla oli jo aloitettu tutkimus servoventtiilien käyttäytymisestä, kun ohjaavana laitteena ei ollutkaan aiemmin laajalti käytetty ohjainkortti. Tutkimuksessa selvitettiin Valmet Automationin valmistaman I/O-kortin kykyä ohjata Moog-servoventtiiliä. Nopeus ja sopivuus oli todettu hyväksi, mutta itse testauksen laajuus ei ollut riittävää (Kielinen, 2023). Minun piti selvittää, miten DNA-prosessiohjausjärjestelmä kykenee ohjamaan servoventtiiliä ja miten nopeasti järjestelmä reagoi nopeisiin prosessimuutoksiin. Tutustuminen puristimeen, puristimella käytettäviin venttiileihin sekä hydrauliiikan toimintaperiaatteisiin piti suorittaa kokonaiskuvan hahmottamiseksi. Servoventtiilin toiminnan tulisi olla paikan sekä paineen säätöventtiilinä. Asia oli selkeästi tiedossa ja toivottu toimeksiantajan suunnasta.

Opinnäytetyö suoritettiin kehitystutkimuksena, jonka tavoitteena oli tutkia Valmet DNA-ympäristön riittävää nopeutta reagoida prosessimuutoksiin ja kehittää soveltuva simulaatioympäristö sovelluksen sekä säätimien testaamiseksi. Tutkimuksen tuloksena toimeksiantaja saisi varmistuksen siitä, että vanhentuneet ohjainkortit voidaan päivittää Valmet Automationin laitteita käytettäviksi. Tästä olisi hyötyä toimeksiantajalle tulevilla puristimien päivitysprojekteilla, koska aiemmin käytetty ohjainlaitteistoa ei enää valmistajalta saa. Aiemmin käytetty laitteisto on vielä yleisesti ja laajasti käytetty paperi- sekä kartonkikoneissa.

Opinnäytetyötä tehdessä kiinnitettiin huomiota jo aiempiin tutkimustuloksiin. Lähteinä on käytetty tietokirjallisuutta, laitteiden dokumentteja sekä haastatteluja.

2 Tietoperusta

Seuraavissa luvuissa on esitelty opinnäytetyön kannalta tärkeät asiat. Työn kannalta on tärkeää ymmärtää perusasiat servoventtiilistä, paperi- tai kartonkikoneen puristimesta, viivakuormasta, PID-säätimestä sekä Valmet DNA-ohjelmointiympäristöstä.

2.1 Toimeksiantaja

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Valmet Technologies Oyj:n Palvelut-liiketoimintalinjan BTS engineering-osasto. Valmet Technologies kuuluu Valmet Oyj:n liiketoimintaan. Valmet Oyj on maailmanlaajuinen prosessiteknologian, automaattioratkaisujen ja palveluiden toimittaja. Valmet kehittää tuotteita ja palveluita sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Lisäksi Valmet tarjoaa automaatiojärjestelmiä sekä virtauksensäätöratkaisuja. Valmetilla työskentelee noin 19000 ammattilaista ja yhtiöllä on 220 vuoden historia teollisuudessa. (Valmet yrityksenä, n.d.)

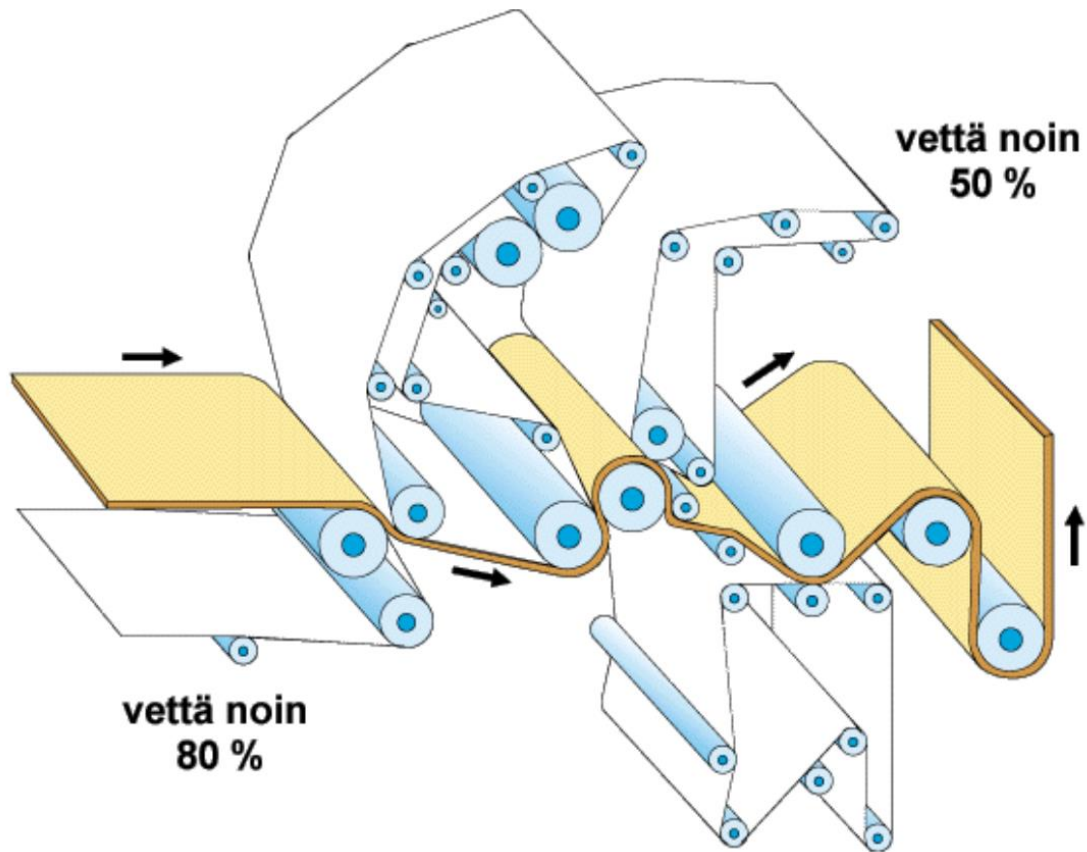
Valmet Technologies tarjoaa teknologiaratkaisuja asiakkaiden tarpeisiin. Tarjonta käsittää ratkaisuja kokonaisista tehdashankkeista aina yksittäisiin prosessikomponentteihin saakka. BTS eli Board, Paper and Tissue solutions tarjoaa ratkaisua kartonki-, paperi- sekä pehmopaperialoille. (Teknologiat, n.d.)

Palvelut-liiketoimintalinja tarjoaa palveluita ja ratkaisuja asiakkaiden toimintojen luotettavuuden, kustannustehokkuuden, kapasiteetin sekä laadun parantamiseksi. Liiketoimintalinja tarjoaa ratkaisuja, tehtaiden ja laitosten parannuksia, seisokkipalveluita, varaosia sekä komponentteja, ulkoistuspalveluita sekä kulutusosia. Lisäksi myös asiakkaiden huolto- sekä kunnossapidosta huolehtiminen on osa palvelut-liiketoimintaa. Asiakkaat ovat pääasiassa sellu-, paperi- sekä energiateollisuudessa. (Valmetin liiketoimintalinjat, n.d.)

BTS Global Engineering on Palvelut-liiketoiminnan suunnitteluosasto. BTS Global Engineering toteuttaa päivitys- sekä uusintaprojekteja asiakkaan olemassa oleviin paperi- kartonki- sekä pehmopaperikoneisiin. Suunnitteluosasto pystyy palvelemaan jokaista koneen osa-aluetta, perälaatikolta rullaimelle sekä myös pituusleikkuria. (Peltomäki, 2025.)

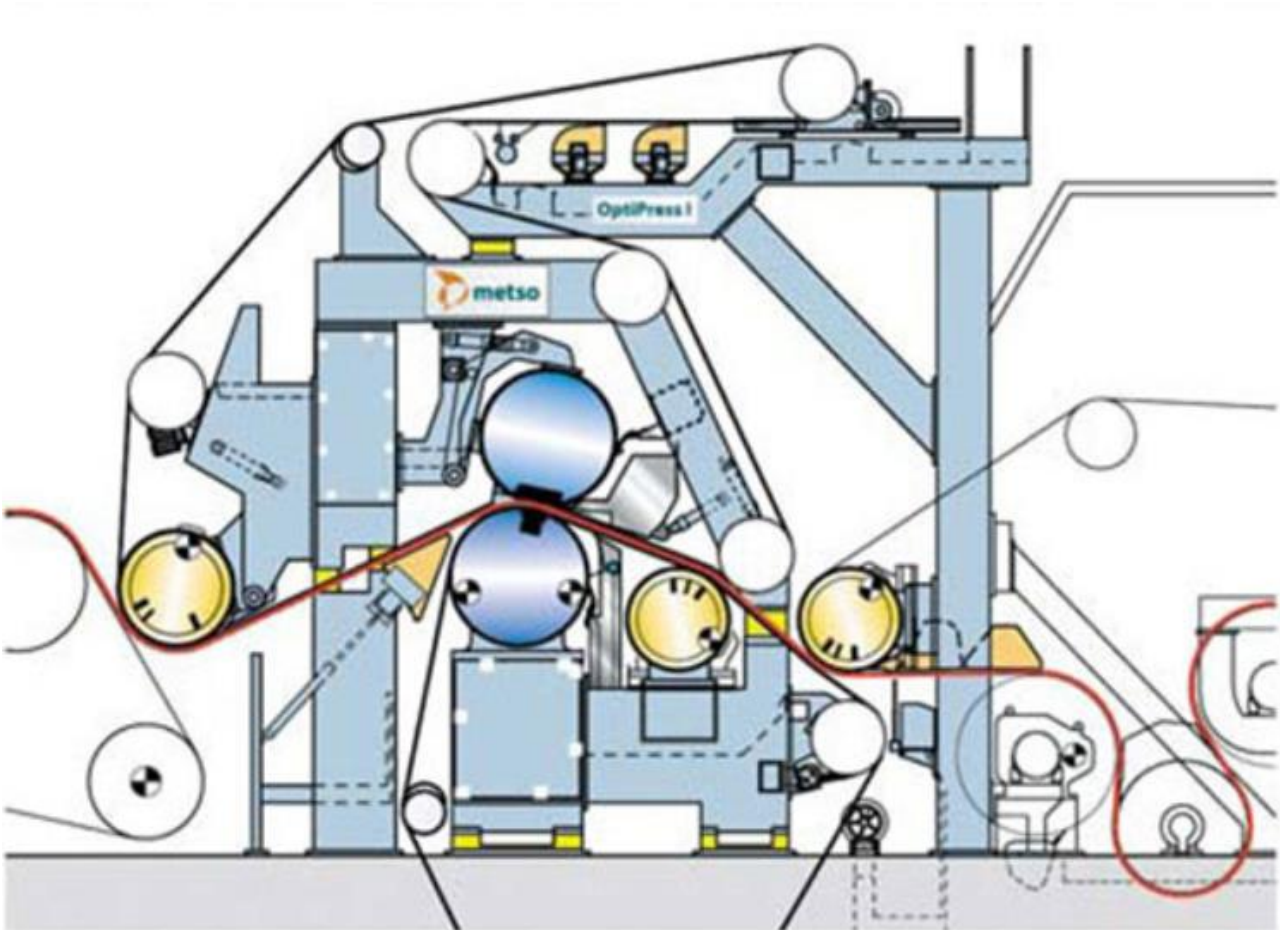
2.2 Paperi- tai kartonkikoneen puristin

Työssä testattavana ollut servoventtiili on ollut käytössä muun muassa puristimen kuormituksen ja liikkeiden tarkkaan säätämiseen. Puristinosan sekä puristimen kuormituksen tärkeys korostuu koko paperin- tai kartonginvalmistusprosessin kokonaisuudessa. Puristinosan tehtävänä paperi- tai kartonkikoneessa on poistaa ylimääräinen vesi viiraosalla muodostuneesta rainasta. Alempana (ks. kuvio 1.) on esitetty radankulku puristimen läpi sekä tapahtuva vedenpoisto. Perälaatikossa viiraosalla muodostunut raina puristetaan kuivaimelle sopivaksi, jolloin rainasta alkaa muodostua paperi- tai kartonkirata. Puristamalla pienennetään rainan paksuutta ja kasvatetaan kuitujen kontaktipinta-alaa. Puristimelle viiraosalta tultaessa rainan märkäpitoisuus on luokkaa 80 %, mutta puristimelta siirtyessä kuivatusosalle märkäpitoisuus on pudonnut noin puoleen. Puristaessa rainan tilavuutta pienennetään ja samalla poistuu vesi, jolle ei jää enää tilaa rainassa. Puristimen tehtävänä onkin myös saavuttaa rainassa riittävä märkälujuus, että raina siirtyy katkomatta kuivatusosalle. Puristus tapahtuu varoen. Alussa telojen välinen viivakuorma on pientä ja useamman telakokonaisuuden muodostamat nipit nostattavat puristusvoimaa radan liikkuesssa puristimen läpi. (Paperikoneen puristinosan tehtävät, n.d.)



Kuvio 1. Puristin osa ja radankulku (Paperikoneen puristinosa – yleistä, n.d.)

Paperi- tai kartonkikoneen puristin on hyvin tärkeä koko valmistusprosessille; laite on näin ollen todella monimutkainen kokonaisuus. Puristinosa suunnittelussa pyritään optimoimaan yhdistämällä nippikuormien säädöt, kudosten valinta, vedenkäsittely sekä käytettävyys. Erilaisia puristinrakenteita voi olla esimerkiksi yksinippinen tai kaksinippinen puristinosa, kolmenippinen keskitelallinen puristinosa kenkäpuristimella tai jopa neljällä nipillä varustettu puristin. (Paperikoneen puristin – yleistä, n.d.)



Kuvio 2. Yksinipillinen kaksoishuopapuristin (Paperikoneen puristinosa – yleistä, n.d.)

Yläpuolella (ks. kuvio 2) näkyy yksinipillisen kaksoishuopapuristimen tärkeät osat. Valkoisena pienempinä on esitettyä huovanjohtoon käytetyt telat. Niiden tehtävänä on johtaa puristimen huopia sekä pitää niiden kireys sopivana. Raina ja siitä muodostuva rata liikkuu kahden huovan välissä puristimen nipin läpi. Kuviossa nippi muodostuu kahden sinisen telan väliin. Kellertävänä on esitetty imutelat. Ensimmäisenä vasemmalla on pick-up imutela. Pick-up imutelan tehtävänä on siirtää edellisestä työvaiheesta viiraosalta raina puristin huovalle. Jälkimmäiset kuvassa näkyvät kellertävät telat ovat kaikki myös imuteloja. Imuteloilla poistetaan ylimääräinen vesi huovasta sekä jo muodostuvasta paperiradasta. Sinisellä puristimen keskellä on esitetty varsinaiseen puristukseen käytettävät telat. Siniset telat muodostavat kenkäpuristimen rakenteen, joka on

tässä tapauksessa yksinipillinen. Moninipillisessä puristimessa sinisten telojen kokonaisuuksia voi olla useampi. (Paperikoneen puristin – yleistä, n.d.)

2.3 Viivakuorma – Nippi

Nippi muodostuu kahden vastakkaisen esimerkiksi puristimen telan kitaan. Puristustapahtumaa kutsutaan nipiksi. Kahden telan välistä nippiä mitataan viivapaineella (ks. kuvio 2). Viivapaine on riippuvainen teloihin kohdistuneesta voimasta sekä telan leveydestä. Kun tiedetään kohdistuva voima, saadaan laskettua vaadittu paine alla näkyvää yhtälöä (1) hyödyntäen. Laskentaan tulee vielä painehäviöt mukaan, joita ei testauksessa tarkasteltu.

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

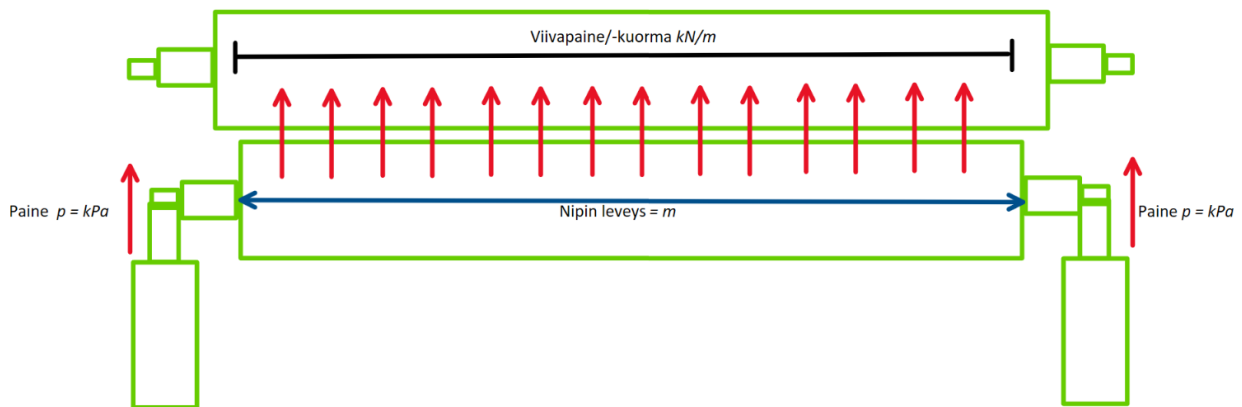
missä p = paine
 F = voima
 A = pinta-ala

Viivapaineen yksikkö on kN/m ja sen laskentaan voidaan hyödyntää Hertzin yhtälöä (2), jota käytetään selvittämään viivakuorman vaatima nippipaine. Laskentaan tarvitaan muodostuneen nipin leveys (telojen välinen kosketus leveys) ja keskimääräinen nippipaine. Mitä enemmän teloja painetaan yhteen, sitä isompi voima kohdistuu telojen väliin. Näin ollen kuormitus eli viivakuorma kasvaa. (Häggbloom-Ahnger ja Komulainen 2000, 200.)

$$q = p * L \quad (2)$$

missä p = paine
 q = viivakuorma
 L = nipin leveys

Opinnäytetyössä tutkittiin kapealla telanipillä varustettua puristinta. Telanipin rakenne on yksinkertaisesti vain kaksi sileää telaa, joista toinen voi olla kiinteästi paikallaan ja toinen on liikkuva tela. Liikutettavan telan päissä on sylinterit, jotka saavat aikaan telan liikkeit. Ohjattua puristimen liikettä, jossa telat liikutetaan toisia vastaan nipin aikaansaamiseksi, kutsutaan kuormitukseksi. Kuormitusta säädetään ohjaamalla sylintereiden liikettä paikan/virtauksen ja paineen avulla. Testauksessa käytetty puristimen kuormitusmenetelmä oli telan ohjaaminen lähelle toisen telan kosketuspintaa ja siirtyminen sen jälkeen säätämään viivakuormitusta sylinterissä vallitsevan paineen avulla. Testauksen tarkoitus oli korvata vanhentunut ohjainkortti servoventtiilille kehittämällä sopiva säädinpiiri. Säätäessä kuormitusta simulaatiopiirin avulla ei otettu oikean prosessin aiheuttamat painehäviöt, kitkat ja vastukset huomioon.



Kuvio 3. Viivakuorma

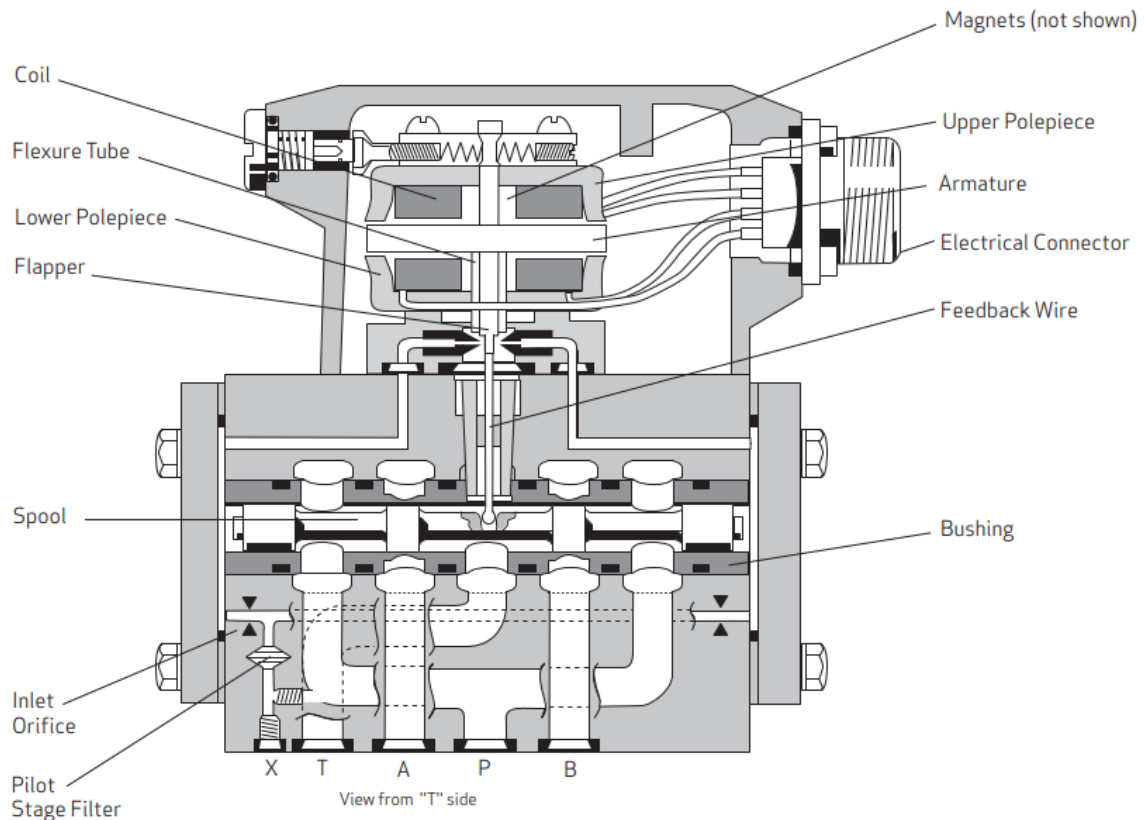
2.4 Servoventtiili

Servoventtiilit ovat osa sähköhydraulisia toimilaitteita, joita käytetään toimilaitteiden ohjauksiin sekä liikkeiden sähköhydraulisiin toteutuksiin. Servoventtiileillä voidaan toteuttaa vaativia mekatronisia koneita ja järjestelmiä. Ero perinteisiin on/off-solenoidiventtiileihin on portaaton ohjauksen säätö. Servoventtiilit ovat jatkuvatoimisia ja varustettu takaisinkytkennällä. Takaisinkytkentä on todellisen lähtösuureen mittausta, joka tarkoittaa, että venttiilillä ohjattu suure mitataan säätämisen jälkeen ja tieto tuodaan takaisin venttiilille tulevan ohjearvon ja lähtösuuren arvon erotuksena.

Näin pystytään kompensoimaan häiriövaikutuksia ohjausjärjestelmässä. Servoventtiileissä on usein myös sisäisen karan asennon mittaus. Karan asennon mittaus toimii takaisinkytkentänä, joka auttaa kompensoimaan esimerkiksi kulumisesta aiheutuvia ohjausvirheitä tai kertoo venttiilin ohjauslogiikalle luistimen liikkeen muutoksen tapahtuneen. Servo- ja proportionaaliventtiilin eron määrittää ISO 5598-standardi. Standardissa sanotaan, että samanlaisella toimintaperiaatteella toimiva proportionaaliventtiili eroaa servoventtiilistä karan peiton suuruudesta karan ollessa keskiasennossa. Proportionaaliventtiilillä peitto on yli 3 % ja servoventtiilissä peitto on alle 3 %. Peiton suuruus vaikuttaa ”kuolleen alueen” suuruuteen venttiiliin ohjauksessa lähellä venttiilin karan keskiasentoa. (Airila 2004, 52.)

Servoventtiililyypppejä, mitä esimerkiksi Moog-valmistaja valmistaa, ovat suutinläpällä varustetut servoventtiilit, suoraan karaan kiinnittyvillä vääntömoottoreilla varustetut venttiilit sekä esiohjatut venttiilit. Suurin ero venttiilien välillä on erilaisten kokojen sekä käyttötarkoitusten lisäksi karan asennon mittauksessa eli onko takaisinkytkentä mekaaniseen voimaan vai sähköiseen asennon mittaukseen perustuva.

2.4.1 Suutinläppä-servoventtiili

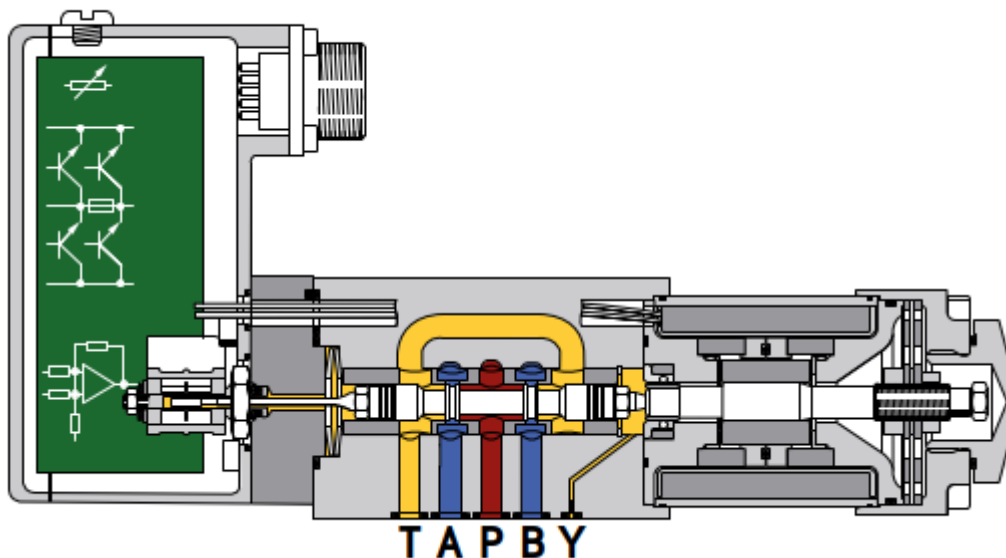


Kuvio 4. Suutinläppä servoventtiili (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 5)

Suutinläpällä varustetun servoventtiilin, joka on esitetty ylempänä (ks. kuvio 4.), ohjaus tapahtuu muuttamalla venttiilin sisällä olevan ohjausluistimen ”spool”, tekstissä jatkossa kara, asentoa. Karan asennon muutokset aikaansaavat portaattoman virtauksen tai paineen muutoksen lähtökana- vissa A tai B. Ohjauskaran asentoa muutetaan mekaanisella suutinläpällä ”flapper”. Lämpän asen- nonohjaus tapahtuu yleensä vääntömoottoria ”armature” käyttäen. Lämpän yläpuoli on kiinnitetty vääntömoottorin akseliin ja taipuisa alapuoli on hydraulikanavassa. Lämpän taipuisan pään ”feed- back wire” alapuolella on pallo, joka on yhteydessä karan keskikohtaan. Kun lämpän asento muut- tuu, kasvaa lämpään yhteydessä olevissa suuttimissa paine-ero kanavien välillä. Kapea kanava on yhteydessä karaan sen molemmissa päissä. Paine-eron kasvaessa oikean ja vasemman kanavan vä- lillä aikaansaa karan sivuttaisliikkeen. Kun lämpän asento muuttuu esimerkiksi oikealle, karan päissä olevissa suuttimissa paine-ero kasvaa vasemmalla puolella oikeaa puolta suuremmaksi. Paine-ero

muuttaa karan asentoa. Suutinläpän ja karan välillä oleva takaisinkytkentäjousi jännittyy pyrkien kumoamaan vääntömoottorin aikaansaaman väännön. Kun väännön tasapaino on saavutettu servoventtiilissä, läppä on siirtynyt keskiasentoon ja suuttimien aiheuttama paine-ero on tasaantunut. Tasapaino aiheuttaa karan uuden asennon vääntömoottorille annetun ohjausvirran mukaisesti ja takaisinkytkentäjousi on taipuneena. Taipuman aiheuttama vastavoima toimii takaisinkytkentänä servoventtiilin ohjauksessa ja tämä tekee tästä venttiilistä mekaanisella takaisinkytkennällä varustetun servoventtiilin. Eli takaisinkytkentä perustuu mekaaniseen jousen taipumaan aiheuttamaan voimaan. Taipuma toimii varmenteena myös, että luisti/kara liikkuu ja taipuma ylläpitää ohjainlaitteella vaadittua asentoa. Yleensä myös lähtösuuren muutos kertoo, että ohjausjärjestelmä tottelee ja ohjauskäskyt ovat menneet perille. Suutinläpällä varustettu venttiili sopii sovelluksiin, joissa laskentaelektronikka toteutetaan muilla, kuin venttiilin sisäänrakennetuilla menetelmillä sekä tavoitellaan pienempää virran käyttöä tuottamaan suuriakin karan liikuttamiseen vaadittuja voimia. (Airila 2004, 52.)

2.4.2 Sähköisellä takaisinkytkennällä varustettu servoventtiili



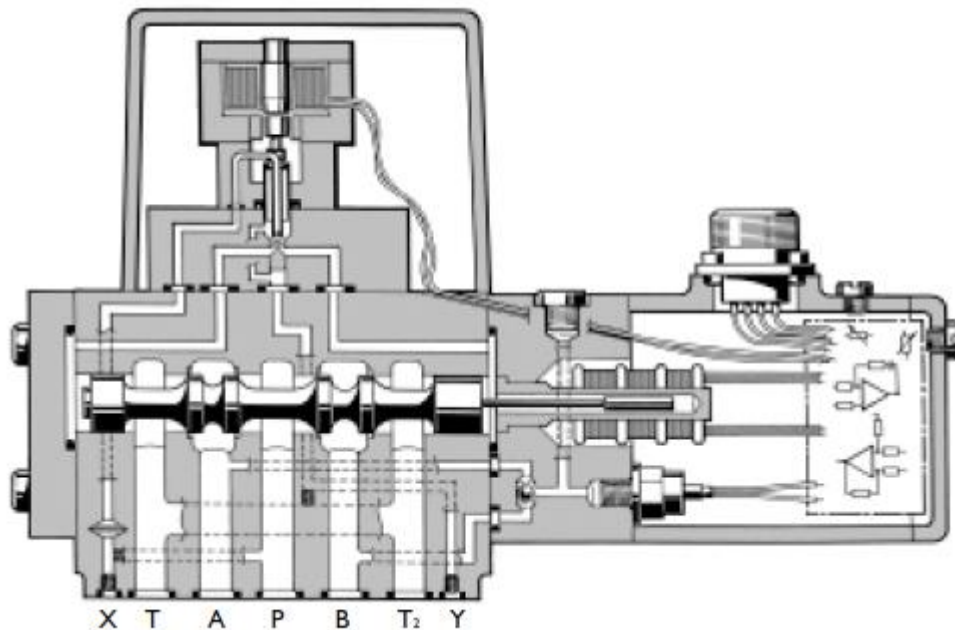
Kuvio 5. Ddv servoventtiili (Electro-hydraulic valves - a technical look, 2016, 7.)

Tässä venttiilityypissä (ks. kuvio 5.) lineaarivoimamoottori ohjaa karan asentoa sen molempiin suuntiin. Moottorin ohjaaman akselin (karan) ja näin ollen koko venttiilin ohjauksen keskiasento on jousikuormitettu. Kun venttiilin moottorille syöttämä virta on 0 A, kara palautuu jousen avulla keskiasentoon. Keskiasento toimii myös toiminnan aloitusasemana. Venttiilin karan asennon mittaava asentoanturi on kiinnitetty karan toiseen päähän moottoria vastapäätä. Karan asentoanturi toimii takaisinkytkentänä ohjaussignaaleille. Digitaalinen käyttö- ja ohjauselektronikka voi olla sisäänrakennettu venttiiliin. Elektronikka mahdollistaa säädetyn arvon virtaus- tai paineen takaisinkytkennän venttiilin sisäänrakennettuun säätimeen, jolloin eliminoidaan tarve rakentaa erillinen logiikka säätämistä varten. (D636-D638 series valves operating instructions 2005, 7–9.)

Esimerkiksi Moog:n valmistamat DDV eli Direct Drive Valves, servoventtiilit D636/D638, ovat ohjattu suoraan venttiilin ohjausluistimeen yhteydessä olevalla lineaarivoimamoottorilla, joka tuottaa tarvittavaa voimaa sen liikuttamiseen. DDV-venttiilin ohjaamiseen käytetään karan asennon säätöä. Venttiilin ohjaussignaali (karan asennon muutos) syötetään venttiilielektronikkaan. Asentoanturi mittaa karan todellisen asennon ja välittää tämän tiedon venttiilielektronikkaan. Elektronikka vertaa karan todellista asentoa, karan ohjaussignaalia ja muodostaa tarvittavan virran lineaarivoimamoottorin käyttämiseksi, joka sitten ohjaa karan oikeaan asentoon. (mts. 2005, 9.)

Suoraan karaan yhteydessä olevilla toimilaitteilla varustetut servoventtiilit vaativat enemmän virtaa tuottamaan saman karan liikuttamiseen vaaditun voiman, mitä esimerkiksi suutinläpällä varustettu venttiili tuottaa. (mts. 2005, 24.)

2.4.3 Esiohjauksella varustettu servoventtiili.



Kuvio 6. Esiohjausventtiilillä varustettu servoventtiili. (D691 Series PQ Servo-Proportional Valves with Integrated Electronics. N.d, 2, muokattu.)

Esiohjauksella varustettua servoventtiiliä (Kuvio 6.) ohjataan esiohjaustoimielimen asentoa muuttamalla. Esimerkiksi Moog:n valmistama D691-sarjan servoventtiili on varustettu Moog:n ”Servo-Jet” -teknologialla. Esiohjaukseen käytetään pääventtiilin yläpuolella pienempää vääntömoottorilla varustettua karan esiohjaukseen sopivaa suutinläppää. Karan asennon muutokseen käytetään pääventtiilin karan molemmin puolin kiertävää nestettä eli toimintaperiaate ja karan liikuttaminen tapahtuu samalla tavalla, kuin ylempänä esitetystä suutinläpällä varustetussa venttiilissä. Karan asennon mittaus on toteutettu suoraan karaan kiinnittyvällä anturilla, eli venttiilin takaisinkytkentä on sähköinen. (D691 Series PQ Servo-Proportional Valves with Integrated Electronics, n.d. 2.)

Esiohjatut venttiilit ovat servoventtiilityypeistä suurimmat. Niiden toimintaperiaate saa aikaan suuren karan liikuttamiseen vaaditun voiman käyttäen pientä esiohjauspainetta. (mts. 2.)

2.5 Vanhentuneet servoventtiilin ohjaamiseen tarkoitetut ohjainkortit

Työssä korvattavat ohjainkortit olivat varustettu sisäisellä elektroniikalla. Sisäinen elektroniikka oli varustettu I/O-tuloilla sekä I/O-lähdöillä. Laskentaa suoritettiin sisäisesti nopealla säädöllä. Ohjainkortille tuotiin mittaussignaali. Signaalien perusteella elektroniikan säätimet tekivät tarvittavat prosessimuutokset. Muutoksien avulla servoventtiili sai ohjaussignaalin. Ohjainkortti kykeni ohjaamaan servoventtiiliä suoraan mittauksien perusteella.

Näitä kortteja on toimeksiantajan asiakkaila laajasti käytössä, mutta valmistajalta ei niitä ole enää saatavilla. Työssä pyrittiin rakentamaan vastaava laskenta sekä ohjaustoiminto Valmet DNA-ympäristössä. (Kielinen, 2025.)

2.6 PID-säädin

PID-säädin on osa prosessin automaattista säätöpiiriä. Harju ja Marttinen (2000) mainitsevat kaikkien teollisten prosessien tarvitsevan säätöä ja ohjausta. Prosessit koostuvat osaprosesseista, joissa on säätöpiirejä. Eli tarvittavilla säätöpiireillä ohjatut osaprosessit yhdessä muodostavat ison kokonaisuuden eli prosessin. Suuri kokonaisuus koostuu sähköisistä tai mekaanisista ilmiöistä. Paperinvalmistus on prosessi, kun taas valmistuksessa tarvittava puristustapahtuma on osaprosessi. Itse puristusta voidaan vielä pilkkoa lisää osaprosesseihin. Säätäminen eroaa tavallisesta ohjauksesta siten, että ohjauksessa prosessia säädetään ohjaamalla ilman tietoa säädettävän suureen todellisesta tilasta. Säätäminen säätöpiirissä perustuu yleensä takaisinkytkentänä saatavaan informaation mittausrvoon, esimerkiksi säädettävän suureen todellisesta tilasta. Eli säätöprosessia otetaan huomioon säädettävän suureen todellisen arvon vaikutuksesta prosessinohjaukseen. Säätämisen tavoitteena on päästä lähemmäksi haluttua arvoa ohjausarvoa säätämällä. Prosessisäädin

tarvitsee asetusarvon sekä mittausarvon ja säädin luo näiden perusteella ohjausarvon. (Harju ja Marttinen 2000, 9–10; Kuisma 2015, 6–9.)

Säädin ohjaa toimilaitetta luomalla toimilaitteelle sen asennon vaativan arvon eli ohjausarvon. Säädin saa järjestelmästä asetusarvon eli säädettävän suureen ja säätimeen tuodaan ohjattavan suureen mittausarvo. Mittausarvo tuodaan säätimeen takaisinkytkentänä ja säätimeen viedään asetusarvon ja todellisen mitatun arvon eroarvo. Takaisinkytkentä voi olla negatiivinen tai positiivinen. (Harju ja Marttinen 2000, 9–10.)

Tarvittava logiikka ja laskenta hoidetaan Harjun ja Marttisen (2000) mukaan prosessiohjausjärjestelmissä. Valmet DNA on prosessinohjausjärjestelmä, jolla pystytään luomaan ja myös ohjamaan prosessisäätimiä. (mts. 2000, 10.)

Kuisma (2015), Harju ja Marttinen (2000) mainitsevat prosessidynamiikan keskeisempänä prosessin säätöön vaikuttavana tekijänä. Sen mukaan prosessi muuttuu tulon seurauksena tietyssä ajassa. Dynamiikan takia säätöpiiriä luodessa on syytä huomioida asetusarvojen muutokset sekä häiriöt. Virittämällä säädin voidaan kompensoida viiveet, häiriöt sekä muut tunnetut prosessin aiheuttamat häiriökäyttäytymiset. (Harju ja Marttinen 2000, 9; Kuisma 2015, 6–9.)

Säätimen viritystapoja on perinteiset Zieglerin ja Nicholsin virityssääntöjä hyödyntävät tavat sekä niiden pohjalta jatkokehitetty kokeellisiin säätöihin perustuvat menetelmät. Myös automaattiset sovellukset viritämiseen on olemassa helpottamaan ja saavuttamaan jossain tilanteessa laadultaan parempaa viritystä. (Harju ja Marttinen 2000, 11.)

PID-säädin on Kuisman (2015) mukaan teollisuudessa yleisemmin käytetty säädin. PID on lyhenne sanoista Proportional-Integral-Derivative eli suhde-integroiva-derivoiva säädin. PID-säätimestä yleisemmin käytetään pelkkää PI-valintaa eli muodostuu pelkkä suhde ja integroiva säädin, jolla pystytään ohjaamaan suurimman osan teollisuusprosesseista. (Kuisma 2015, 55)

Pelkkä P-säädin muodostaa ohjaussuureen toimilaitteelle pelkän asetusarvon ja mittausarvon suhteesta eli eroarvosta. Pelkällä P-säädöllä prosessin ohjauksessa on poikkeama. Kun säätimeen ero-

arvon laskentaan lisätään integraali, saadaan laskulla kompensoitua ohjaus poikkeamaa. Jos tarkastellaan esimerkiksi säätimen sekä prosessin käyttäytymistä, niin integraali termillä voidaan päästä lähemmäksi vaadittua asetusarvoa. Integroiva termi kuitenkin voi lisätä prosessin värähtelyä eli säätimen lähtö ”hyppii” arvosta 0–100 % nopeasti. Värähtelemällä päästään jossain tapauksessa asetusarvolle. Ennen sitä kuluva aika voidaan kompensoida tuomalla säätimen laskentaan eroarvon derivaatta. Näin muodostuu PID-säädin, jolla päästään suhdesäädön avulla lähelle asetusarvoa. Integraalin avulla hienosäädetään ohjausarvoa lähemmäksi asetusarvoa. Derivaatalla poistetaan värähtelyt ja poikkeamat entisestään. Kuisman mukaan eroarvon Derivaatalla ei voida tehdä ihmeitä, vaan se on herkkä säätöpiirin ominaiselle pitkälle viiveelle sekä reagoi herkästi prosessin suurille muutoksille. Joten PID-säätimen viritys on myös tärkeää, jotta säätöpiiristä saadaan toimiva ja vaaditun mukainen. PID-säädintä voidaan virittää kokeilumenetelmällä eli haetaan kokeilemalla toimivat arvot parametreille. Toinen tapa on käyttää olemassa olevia taulukoituja viritysparametrejä. Myös erilaisten virityssovelluksien käyttäminen on mahdollista PID-säätimen vityksessä. (mts. 2015, 55–56.)

2.7 Valmet DNA

Valmet DNA on DCS eli Distributed Control System, joka tarkoittaa hajautettua ohjausjärjestelmää. DNA soveltuu paperi-, kartonki- sekä pehmopaperiteollisuuteen. Osa ratkaisusta soveltuu vedyn ja energian tuotantoon sekä meriteollisuuteen. Valmet DNA-tuoteperhe käsittää ratkaisuja ohjaustarpeisiin kuten prosessiohjaukseen, koneohjaukseen, laadunvalvontaan ja kunnonvalvontaan. Järjestelmä on skaalautuva ja se voidaan näin räätälöidä erilaisiin tarpeisiin. (Valmet DNA Distributed Control System, n.d.)

Hajautettu ohjausjärjestelmä soveltuu suurien kokonaisuuksien ohjaamiseen. Kaikki järjestelmän osa-alueet ovat kytkeytyneenä toisiinsa. Näin ollen prosessien käsittelyä voidaan jakaa useamman aseman kesken. Valmet DNA-tuoteperhe käsittää kokonaisuuden, joka voi sisältää prosessiasemia, ohjaimia, tiedonkeruuasemia, toimintavarmuusasemia sekä rajapintoja, millä erilaisia prosesseja voidaan ohjata. (Distributed control system, n.d.)

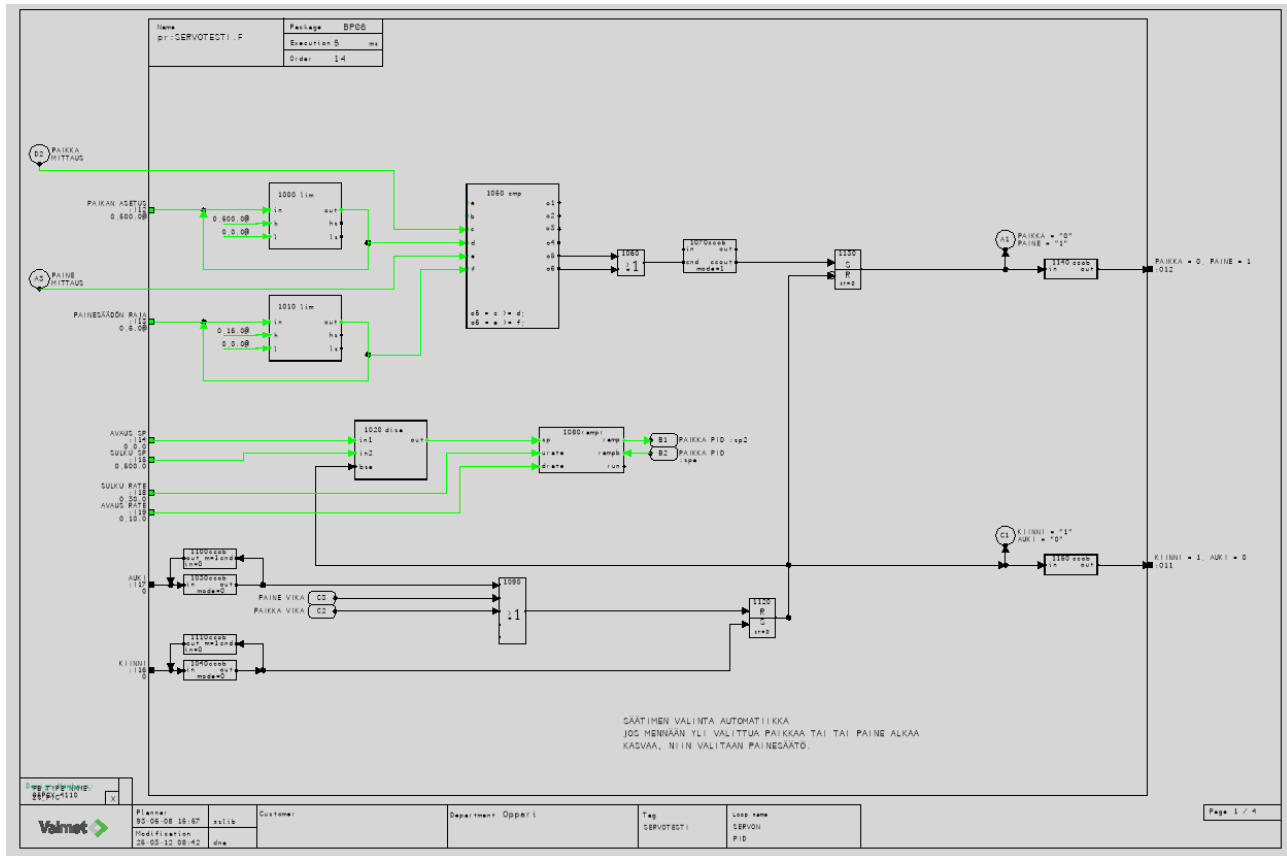
2.7.1 FbCAD

FbCAD on Valmet DNA-sovellussuunnittelussa käytetty sovellussuunnittelu menetelmä. FbCAD eli lohkokaaviomenetelmä on tehty havainnollistamaan sovellussuunnittelua. Lohkokaavio-ohjelmoinnilla muodostetaan automaatiokielineen ohjelma eli automaatiomoduli. Automaatiomoduli voi sisältää useamman konfigurointimoduulin. Valmis automaatiomoduli voidaan ladata sovelluspalvelimelle. (Automation language Collection 2021, 12.)

Valmet DCS-järjestelmä koostuu erilaisista käsittelypalvelimistä. Käsittelypalvelimet käsittelevät erilaisia moduuleita. Prosessiohjauspalvelin voi käsitellä automaatiomoduleita, toimintamoduuleita, I/O-moduuleita sekä niihin liittyviä tyyppisiä. Operointipalvelin käsittelee kuvamoduuleita, sekä niihin liittyviä tyyppisiä. Palvelimet keskustelevat keskenään väylän kautta. Moduulit kommunikoivat keskenään lähettämällä ja vastaanottamalla tarvittavia tietoja. (mts. 2021, 11.)

Lohkokaavio suunnittelumenetelmään käytetään CAD-työkalua, jolla suunnitellaan toimilohkokaavioita. Toimilohkokaaviot (ks. kuvio 7.) koostuvat konfigurointimoduuleista, I/O-toiminnoista sekä positio-, operointi-, tapahtuma- ja historiamoduuleista. Lohkokaaviomenetelmä mahdollistaa muodostamaan CAD-ohjelmistoon pohjautuvan suunnittelun. Lohkokaaviokuvat ovat samalla myös automaatiomodulin graafinen dokumentti. (Funcion block cad manual fi-2021, 12.)

Lohkokaaviokuvat voivat sisältää erilaisia grafiikkaobjekteja, blokkeja sekä attribuutteja. Lohkokaaviokuvat voidaan ladata järjestelmäpalvelimelle tietokantaselaimen kautta. Selain osaa käsitellä sekä tarkastaa kaavioiden eheyden. (mts. 2021, 12.)



Kuvio 7. Toimilohkokaavio

2.7.2 Suoritus aika

Suoritus aika on automaatiomoduulin parametroitava aika, joka esitetään millisekunneissa. Jakson aika määrittää automaatiomoduulin suoritusajan eli mikä aika kuluu yhden ohjelman suoritus kerran suorittamiseen. Suoritus aika on testin ja simuloinnin toimivuuden kannalta tärkeä parametri. Jakson ajan on oltava nopeampi, kuin testattavan servoventtiilin syklin aika. Saman prosessin automaatiomoduulit pitää suorittaa ohjelman toimivuuden kannalta samalla jakson aikana. (Function Block CAD Manual (fi) C2021, 2021, 33.)

2.7.3 Suoritusjärjestys

Suoritusjärjestys on automaatiomoduulin parametroitava tieto. Suoritusjärjestyksellä esitetään järjestystä, missä ohjelman vaiheessa kokonainen automaatiomoduuli suoritetaan. Suoritusjärjestys onkin useammassa automaatiomoduuleiden kokonaisuuksissa onnistuneen laskennan kannalta

tärkeä parametri. Automaatiomoduurin sisällä olevilla lohkoilla ja osilla voi olla oma ”sisäinen” järjestys. Sisäisten toimintojen järjestys kertoo, missä automaatiomoduurin suoritusvaiheessa toiminto suoritetaan. (mts. 2021, 33.)

3 Simulointilaitteisto

Seuraavassa osiossa kerrotaan, millainen simulointilaitteisto oli käytössä testien suorittamiseen. Koska toimeksiantajalla ei ollut suoraan varastossa olevaa servoventtiiliä, päädyttiin suorittamaan Valmet DNA-ohjelmointiympäristössä venttiilin sekä säätimien käyttäytymistä simuloimalla. Testejä varten luotiin Valmet DNA-ympäristössä olemassa olevista lohkokaaaviomalleista tähän simulointiin räätälöidyt automaatiomoduurit.

Tulevaisuudessa testi suoritetaan oikeilla komponenteilla, jolloin pystytään vielä varmistamaan simuloinnin tulokset. Testin kannalta tärkeitä asioita olivat servoventtiili, nopea I/O-kortti, prosessiohjain, testipaikka sekä tarvittavat mittaukset, joita tarvittiin säädössä.

3.1 Valmet ACN MR G2 prosessiohjain

ACN MR G2 on Valmet Automationin valmistama prosessiohjain. Ohjainta käytetään muiden Valmet ACN I/O-tuoteperheen tuotteiden kanssa. Prosessiohjain voidaan asentaa erilaisille asennusalustoille ja asennusalustat ovat kiskoasenteisia. Prosessiohjain liitetään järjestelmään 10/100 Mbit/s Ethernet-järjestelmäväylän avulla. Liityntä on kahdennettu, joten kaksi Ethernet liitintä on käytössä varmennukseksi. Kenttäväylään liittymiseen käytetään kahdennettua 10/100Mbit/s Ethernet-väylää. I/O-yksiköiden välillä liityntä hoidetaan 1,5 Mbit/s 12 Mbit/s tai 24 Mbit/s asynkronisella RS-485-sarjaväylällä. Asynkroniset sarjaväylät ovat asennusalustojen sisäisiä ja niitä voidaan kytkeä sarjaan. Jos I/O-sarjaväyläliityntä yksiköitä (asennuslevyjä) on enemmän kuin kaksi, ylimääräiset ryhmät kytkeytyvät tavallisen 10/100 Mbit/s Ethernet-väylän kautta. Prosessiohjaimessa löytyy yksi 1 Gbit/s tiedonsiirtonopeuteen kykenevä Ethernet-pohjainen yleiskäyttöön soveltuva I/O-väylä. (ACN MR G2:n (D202652L) tekninen käsikirja 2022, 9–11.)

Eli prosessiohjain asennetaan asennusalustalle, joka asentuu suoraan kiskolle. I/O-alustat kytkeytyvät RS-485-väylän avulla suoraan MR-asennusalustan rinnalle. I/O-alustoille liitetään I/O-kortit, kortit juttelevat prosessiohjaimen kautta keskenään. Jos alustoja tarvitaan enemmän, kytkeytyy

ylimääräiset alustat Ethernet-väylän kautta. Järjestelmään ja muihin prosessiohjaimiin liitytään Ethernet-väylän avulla.

3.2 Valmet AOI3S I/O-kortti

Testien kannalta oleellisin kortti on analogista lähtösignaalia tuottava AOI3S I/O-kortti (ks. kuvio 8,). Kortilla pystyy ohjaamaan suutinläpällä varustettua servoventtiiliä suoraan ilman tarvittavaa lisävirtaa. Kortti kytketään nopealle aluslevylle, joka on yhteydessä ACN MR G2-prosessiohjaimen. AOI3S I/O-kortti on Valmet Automationin valmistama ACN M120-tuoteperheeseen kuuluva analogialähtöyksikkö. Valmistajan mukaan kyseisellä kortilla pystytään antamaan nopeuta +/- virtaviestejä servoventtiileille ja servoventtiiliohjaimille. ACN MR G2-prosessiohjaimen rinnalla I/O-kortti kykenee 5ms kiertoajan sykliin. I/O-kortilla onnistuu tavallisen 0/4-20 mA virtasignaalin lisäksi -100...+100 mA muodostaminen. (AOI3S (D201887L) Analog Output Unit, Isolated Outputs, -100 mA...+100 mA – Technical manual 2023, 5.)



Kuvio 8. AOI3 I/O-kortti

3.3 MOOG G631-8006B servoventtiili

Testeissä simuloitu servoventtiili on MOOG:n G631-tuoteperheeseen kuuluva suutinläppäventtiili (ks. kuvio 9). Suutinläpällä toteutettu mekaaninen venttiilinkaran asennon takaisinkytkentä. Kyseinen venttiili ei sisällä laskentaelektroniikkaa eli säätöön vaikuttava laskenta suoritettava siihen soveltuvalla ohjainkortilla. Säätimen laskenta on suoritettava joko aiemmin mainitulla vanhentuneella kortilla tai Valmet DNA-ympäristössä. Ohjaussignaalina käytetään -100+100 mA virtaviestejä, jotka ovat suoraan verrannollisia venttiilin karan asentoon. Venttiilin syklinäika, eli venttiilin karan liike ääriasennosta vastakkaiseen ääriasentoon on 18 ms. Venttiili soveltuu pääasiassa virtauksen säätöön. Paine-eron venttiilin kanavien välillä ollessa 16 MPa on virtaus noin 115 l/min venttiilin läpi. (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2018, 3–12.)



Kuvio 9. Moog G631 servo venttiili Kardininen A

3.4 Testipaikka

Alun perin tutkimukset piti suorittaa toimeksiantajan testipaikalla. Testipaikka sisälsi hydraulikkasyylinterin. Hydraulikkasyylinterin (ks. kuvio 10) liikkeitä on voinut vastustaa siihen liitettynä olevalla sähkömoottorilla. Kaksi hydraulikkaletkua oli kiinnitettyä sylinterin kumpaankin päähän ja toinen linja oli varustettu paineenlähettimellä. Ajatus oli lisätä myös paikkamittaus sylinterille.

Paikkamittausta olisi käytettävä ensin liikkeen säätämiseen ja sitten tarvittavat ohjelmalliset muutokset tekisivät vaihdon painesäätöön.



Kuvio 10. Testipaikka

4 Totetus

Tutkimustyö aloitettiin tutkimalla Valmetin tarjoamaa testipaikkaa, etsimällä Valmetin varastosta löytyviä venttiileitä sekä tutkimalla niiden ominaisuuksia. Aiemmissa testeissä oli käytössä prosessiasema sekä servo venttiilien ohjaukseen kykenevät I/O-kortit. Valmetin Jyväskylän varastoissa ei löytynyt tähän työhön soveltuvaa servoventtiiliä, sillä kaikki venttiilit olivat laskentaelektronikalla varustettuja tai lisävirtaa vaativia. Löytyneisiin venttiileihin ei voinut hyödyntää servo-ohjaukseen kykenevää I/O-korttia. Valmistajalta selvitettiin tarvittavan servoventtiilin hintaa sekä sen valmistusaikaa. Valmistusaika uudelle venttiilille olisi ollut 14 viikkoa. Koska servoventtiilin saamisessa olisi mennyt noin kauan, päätettiin suorittaa testaus simuloimalla prosessin käyttäytymistä DNA-ohjelmointiympäristössä. Simuloimalla prosessia tutkittiin, miten nopeasti DNA-ympäristö pystyy

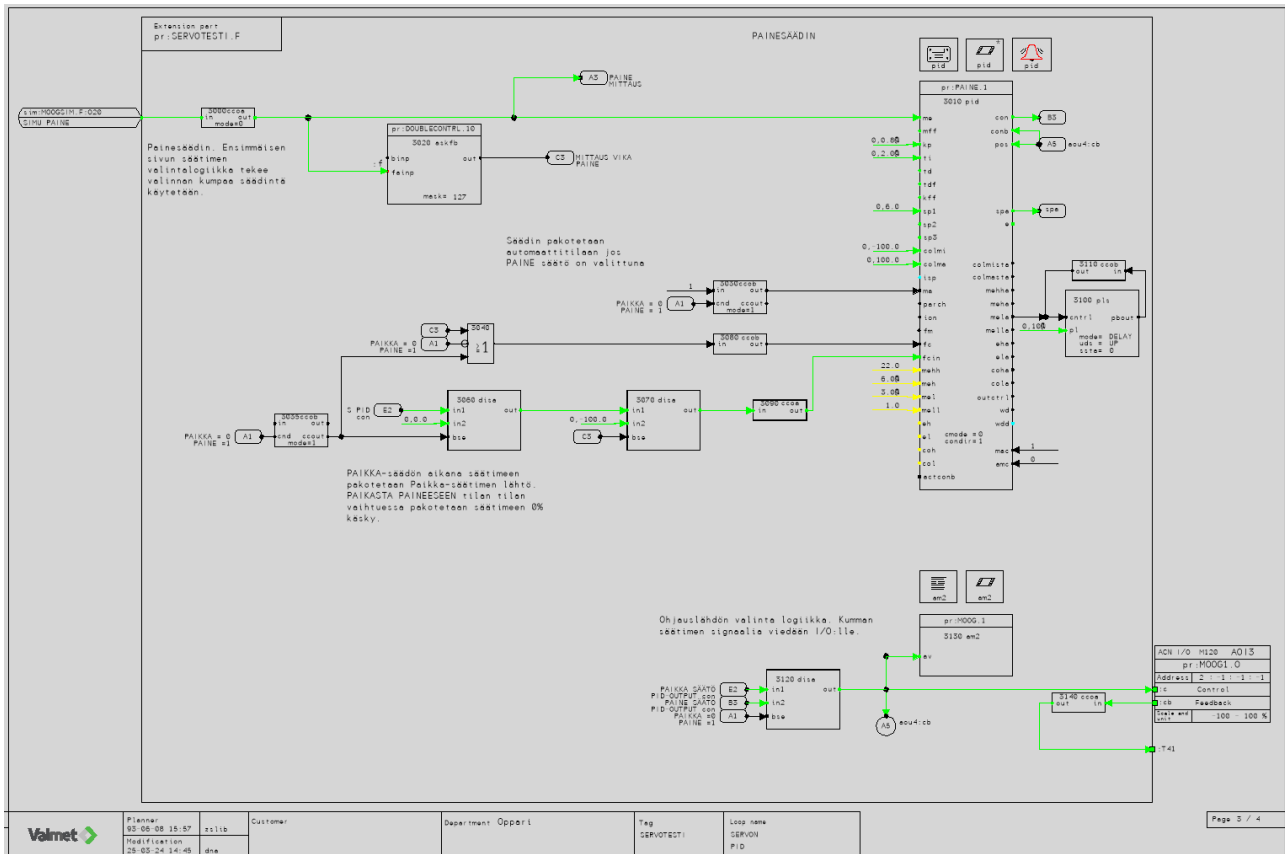
reagoimaan nopeisiin paineen nousuihin ja DNA-ympäristön kykyä kääntää ohjaus painesäädölle. Työssä rakennettiin vanhentuneen ohjainkortin korvaava tuote Valmet DNA-suunnittelu-ympäristössä. Uusi ratkaisu piti sisällään tarvittavan logiikan sekä laskennan. Valmet DNA-ympäristö tarvitsi myös soveltuvan simulaatiopiirin, jossa itse prosessin käyttäytyminen simuloitiin. Tutkimuksia varten rakennettiin kolme automaatiomoduaalia: säätimiä sisältävä moduuli, simulaattorimoduuli sekä käyttöliittymä.

4.1 Säädinmoduuli

Soveltuvan logiikkamoduulin etsiminen aloitettiin tutkimalla olemassa olevia ratkaisuja. Valmetilla oli ollut useampi puristimen kuormitukseen soveltuva mallikaavio olemassa. Päädytty käyttämään vanhempaa löytynyttä moduulia, jota alun perin käytettiin perälaatikon syöttöpaineen säätämiseen. Moduulissa oli kaksi säädintä rinnakkain. Tämä ratkaisu vaikutti selkeältä, koska kaksi säädintä samassa piirissä vähensivät syntyvää viivettä. Alkuperäistä moduulia muutettiin siten, että säätimien vaihtologiikkaperiaate sekä pakotukset pysyivät ennallaan. Paikkasäädössä käytettiin mittaustietona simuloitua paikkalähetintä ja paineensäädössä simuloitua paineenlähetintä. Säädön vaihtologiikka suoritettiin erillisellä sivulla ja logiikka oli järjestyksessä aina ensimmäinen. Puristimen kuormitusta ohjattiin erillisestä käyttöliittymästä.

4.1.1 Paikkasäädin

Paikkasäädin (ks. kuvio 11) oli omalla simulaatio-ohjelman sivulla. Jos paikkasäätö valittiin, säädin muodosti ohjaussignaalin servoventtiilille. Säätimen lähtö pakotettiin painesäätimen pakotusarvoksi. Näin onnistui toisen säätimen vaikutuksen kumoaminen. Säädin siirtyi käyttämään ennalta aseteltua asetusarvoa, kun valintalogiikkaan rakennettuja ohjausnappeja käytettiin. Ennalta aseteltua asetusarvoa myös porrastettiin, jotta simuloitu liike olisi reaalitylannetta mallintava. Porrastusta voitiin nopeuttaa käyttäjän syöttämällä arvoilla.



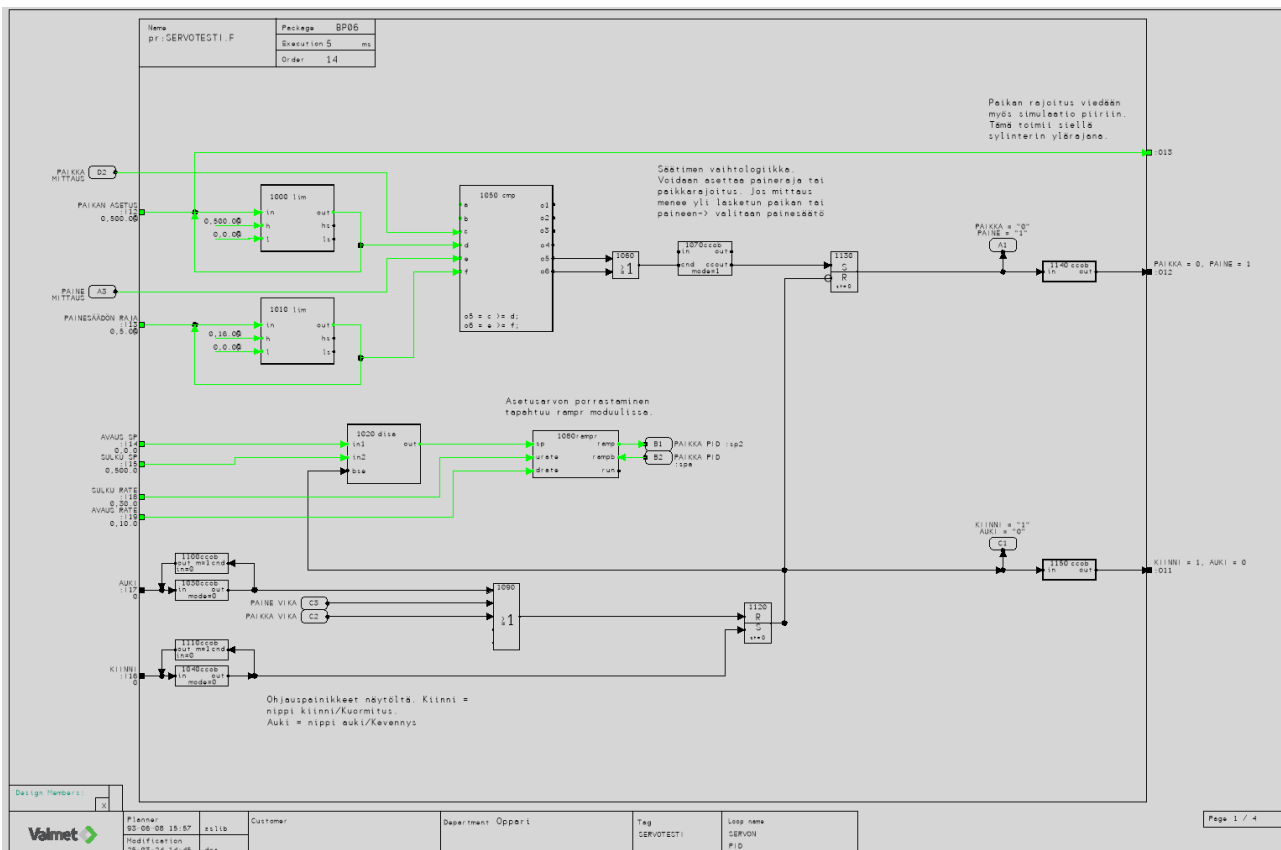
Kuvio 12. Painesäädin

4.1.3 Valintalogiikka

Simuloitu kuormitustapahtuma ohjattiin käyttämällä käyttöliittymässä näkyviä painikkeita. Kiinnipainiketta painaessa ohjattiin nippiä kiinniasentoon. Auki-painiketta käytettäessä avattiin nippi. Käyttöliittymästä voitiin asettaa kohdan millimetreinä, mihin mäntä ajettiin kiinni- sekä auki tilanteissa. Käyttäjä pystyi myös valita nopeuden, jolla liike suoritettiin. Normaalitylanteessa nippiä ohjattiin paikan avulla. Nipin ohjaus siirtyi käyttämään painesäätöä automaattisesti, kun ennalta määritetyt rajoitukset ylitettiin. Painesäädöstä siirtyminen paikkasäätöön tapahtui vain, kun käytettiin nipin avauspainiketta.

Alla kuviossa 13 on esitetty säätimien vaihtologiikka. Vaihtologiikan ennalta määritetyt rajoitusparametrit olivat paikka- sekä painerajoitukset. Nipin ohjauksessa valittiin aina painesäätö, jos paikkarajoitus tai paineenrajoitus ylitettiin. Valintalogiikan valinta ohitti aina toisen säätimen, eli vain yksi säädin on kerrallaan käytettävissä.

Simulaation kannalta oleellista oli seurata, kuinka nopeasti säädön tila vaihtuu, kun rajoitusehdot täyttyivät sekä kuinka nopeasti pystyttiin vaihtaa ohjausta paikkasäädöstä painesäätöön ennen kuin vahinkoja ehtii tapahtua. Vahingot voivat olla liian kova paine nipissä ja sen seurauksena ai-neelliset vahingot.



Kuvio 13. Säätimen valintalogiikka

4.2 Simulaatiomoduli

Testin kannalta simulaatiossa piti simuloida paikan muutosta sekä paineen käyttäytymistä kuormituksessa. Simulaatiossa toteutettiin virtauksen mallinnus, paikan mallinnus sekä paineen mallinnus. Simulaattorissa käytetyt lähtörajapinnat siirtyivät suoraan säädinmoduuliin ja toimivat siellä mittaustietoina. Säätimen lähtö siirrettiin simulaattorille ja sillä ohjattiin virtausta. Simulaatiomodulissa pyrittiin mallintamaan mahdollisimman tarkasti oikeaa kuormitusprosessia. Kaikki rakennettiin tiedoissa olevan virtauksen ympärille.

4.2.1 Virtauksenlaskenta

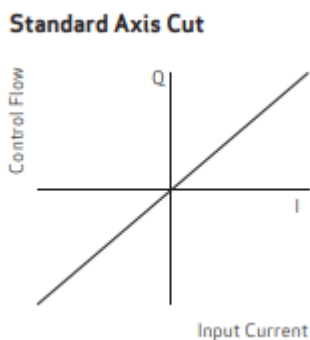
Virtauksen laskemiseksi käytettiin olemassa olevia simulaatiopiirejä, jotka sisälsivät säädönlähdön skaalauksen sekä muunnoksen mittaussignaaliksi. Otettiin käyttöön tavallisen virtaussimulaattori-piirin, missä oli skaalauslaskenta (3) valmiina.

$$Qn = \frac{(a-c)*(d-e)}{(b-c)+e} \quad (3)$$

missä

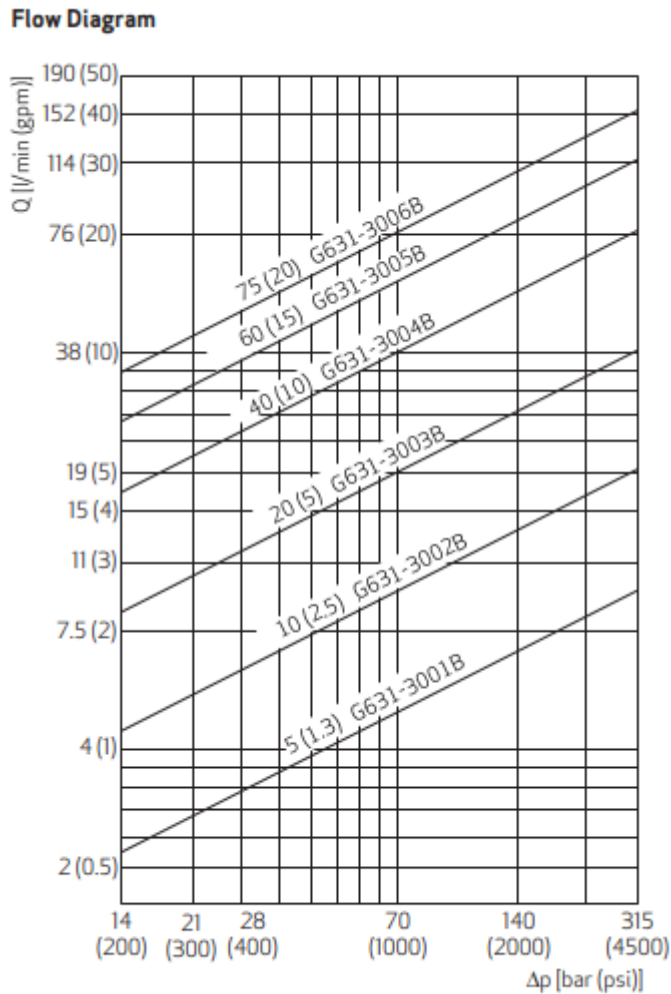
- Qn = nimellisvirtaus
- a = Säätimen ohjaussignaali
- b = Ohjauksen maksimiarvo
- c = Ohjauksen minimiarvo
- d = nimellisvirtauksen maksimiarvo
- e = nimellisvirtauksen minimiarvo

Moog-servoventtiilin datalehdessä selvisi, että ohjaussignaali vastasi suoraan lineaarisesti venttiilin läpi olevaa virtausta (ks. kuvio 14.) Tilanne päti silloin, kun venttiilinkaran keskiasennossa kuollut alue oli olematon.



Kuvio 14. Moog kuollut alue (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 12).

Tarkistettiin datalehdessä löytyvän G631 servoventtiilin virtauskaaviota (ks. kuvio 14) Kaaviosta selvisi, että nimellispaine-eron ollessa 16 MPa, nimellisvirtaus on noin 115 l/min. Tästä tehtiin johdopäätös, että venttiilin ohjaussignaali -100...+100 % vastaa lineaarisesti -115...+115 l/min nimellisvirtausta (ks. kuvio 15) (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2018, 12)



Kuvio 15. Moog g631 virtauskaavio (Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series, 2021, 12)

Todellisen virtauksen laskentaan valmistaja (Moog) käytti yhtälöä (4). Todellisen virtauksen laskentaan vaikutti todellinen paine-ero, nimellisvirtaus sekä nimellispaine-ero. Nimellisvirtaus tuli servoventtiilin ohjaussignaalin skaalauksesta ja se käsiteltiin Moog-kertoimella ohjelmassa. Paine-eron

muuttuminen ohjelman edetessä vaikutti suoraan simuloituun todelliseen virtaukseen ja sitä verrattiin datalehdessä löytyvään kaavioon.

$$Q = Q_n \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_n}} \quad (4)$$

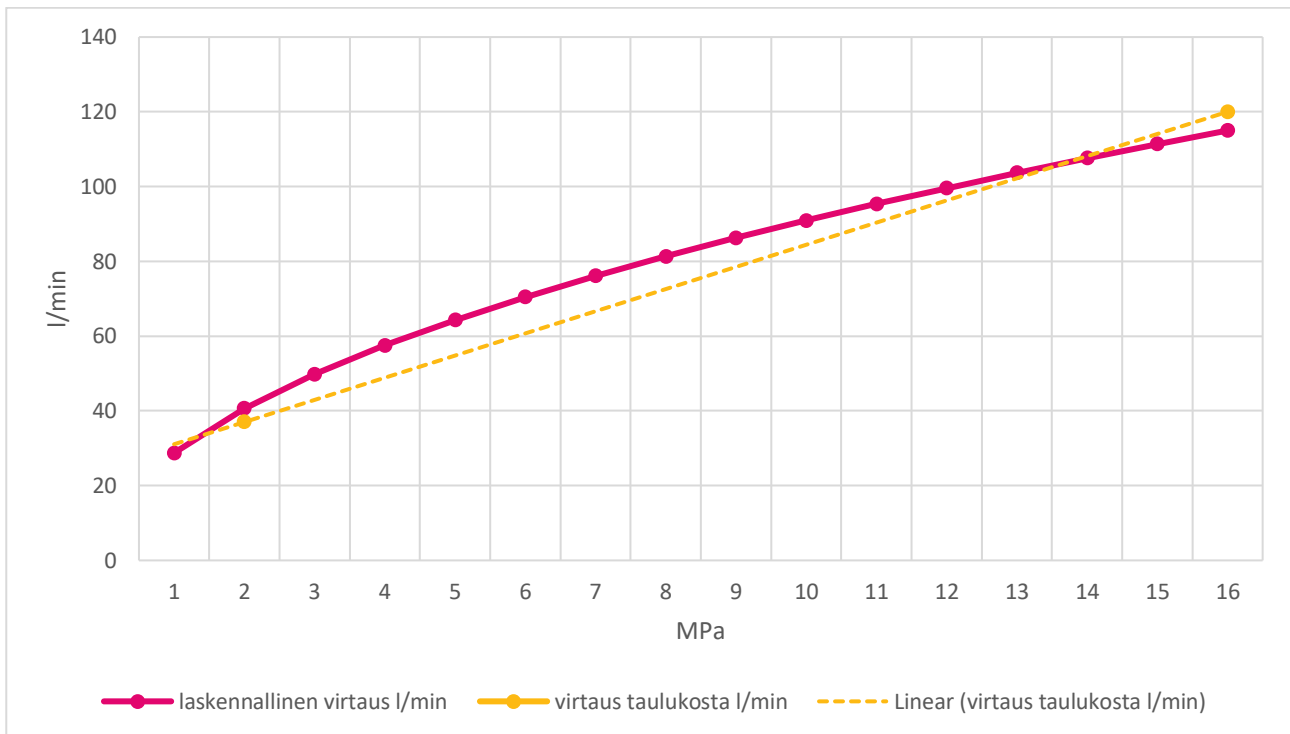
missä Q = todellinen virtaus

Q_n = nimellisvirtaus

ΔP = paine-ero

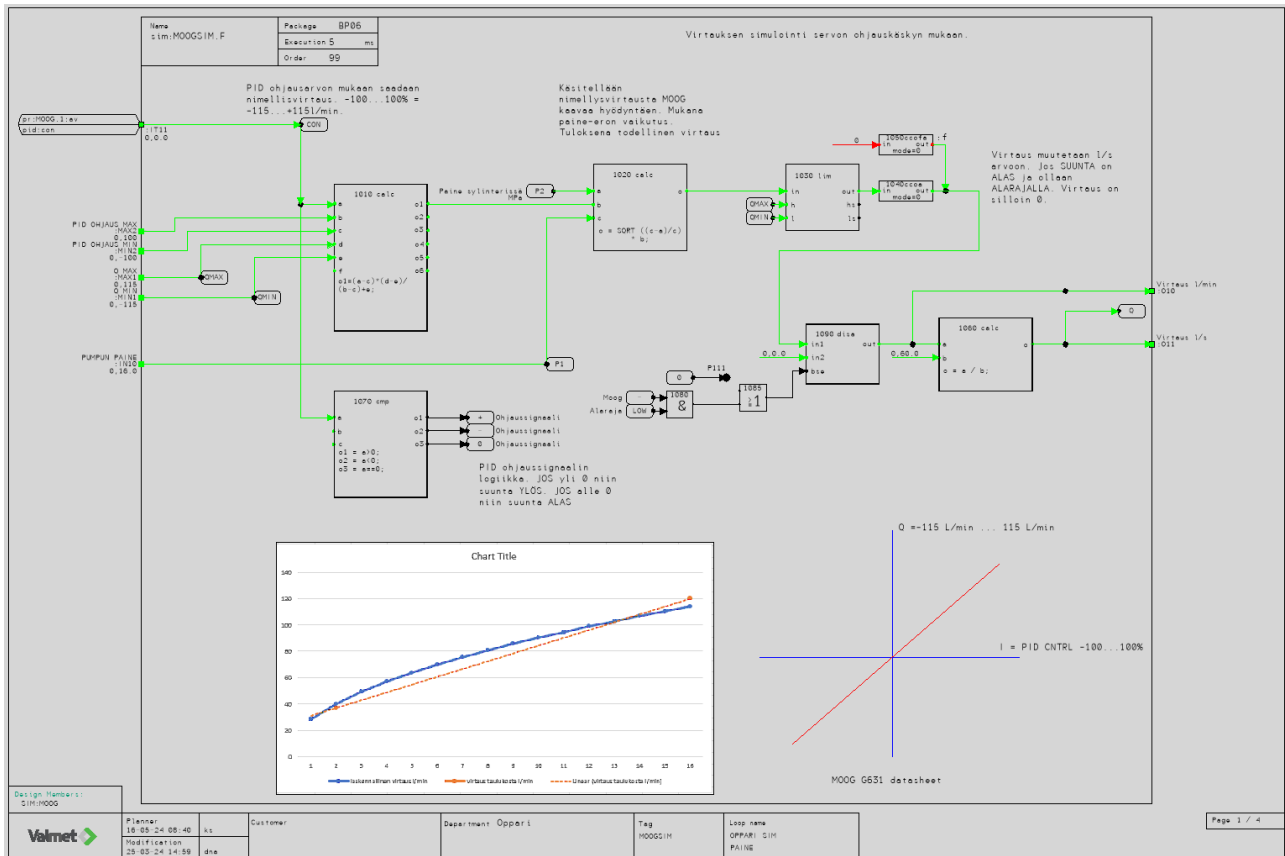
ΔP_n = nimellis paine-ero

Koska valmistajan virtauskaaviosta ei pystynyt silmämääräisesti päättelemään tarkkaa lukua virtaukselle tietyn paine-eron aikana, otettiin minimi- ja maksimipisteet käyttöön taulukosta ja piirrettiin lineaarinen viiva pisteiden välille. Ajatus oli alun perin käyttää ohjelmassa taulukkoa, josta muodostuneen paine-eron avulla ohjelma valitsisi sopivan esiasetetun virtauksen. Todettiin, että Moogin kaavasta muodostuvaa kerrointa käyttämällä saadaan tarkempi virtauslaskenta (ks. kuvio 16). Virtauskaaviosta silmämääräisesti todentamalla ei saatu tarkkoja vakioarvoja, mitä esimerkiksi olisi voinut tallentaa taulukkoon ohjelmassa.



Kuvio 16. Laskennallinen virtaus

Kuviossa 17 on esitetty virtauksen simuloinnissa käytetyt periaatteet. Eli ohjaussignaali skaalattiin nimellisvirtaukseksi. Sen jälkeen suoritettiin todellisen virtauksen laskenta paine-eron perusteella. Virtausta käsiteltiin vielä erilaisilla rajoittimilla. Virtausarvo skaalattiin l/s muotoon, jota tarvittiin paikkasimuloinnissa. Samalle lohkoavion sivulle luotiin logiikka sylinterin männän suunnalle; ol-tiinko siirtymässä positiiviseen suuntaan eli ylöspäin tai negatiiviseen suuntaan eli alaspäin. Männän suunnan logiikka oli tärkeä paineensimuloinnin sekä paikansimuloinnin kannalta.



Kuvio 16. Virtauksen simulointi

4.2.2 Paikanlaskenta

Paikansimulointi toteutettiin hyödyntämällä todellista virtaustietoa. Ohjelmassa arvo käsiteltiin vielä suoritusajan kertoimella. Paikanlaskenta muodostettiin lasketun öljyntilavuuden perusteella. Tilavuuden simuloiminen tapahtuu silmukkatoimintoa hyödyntäen. Silmukassa uusi arvo lisättiin aina edelliseen arvoon jokaisella ohjelmakerroksella. Koska ohjelmakerros on 5 ms ja virtausarvo on l/s, niin kerroin tarvitaan muuten liian nopeasti kasvavalle öljyntilavuudelle. Lisäämällä arvo edelliseen arvoon saadaan laskettua muodostunut öljyntilavuus sylinterissä. Tapa on selitetty alla näkyvässä yhtälössä (5).

$$a1 + (a2 * cycl) = a1 \quad (5)$$

missä $a1 = \text{tilavuus}$

$a2 = \text{virtaus}$

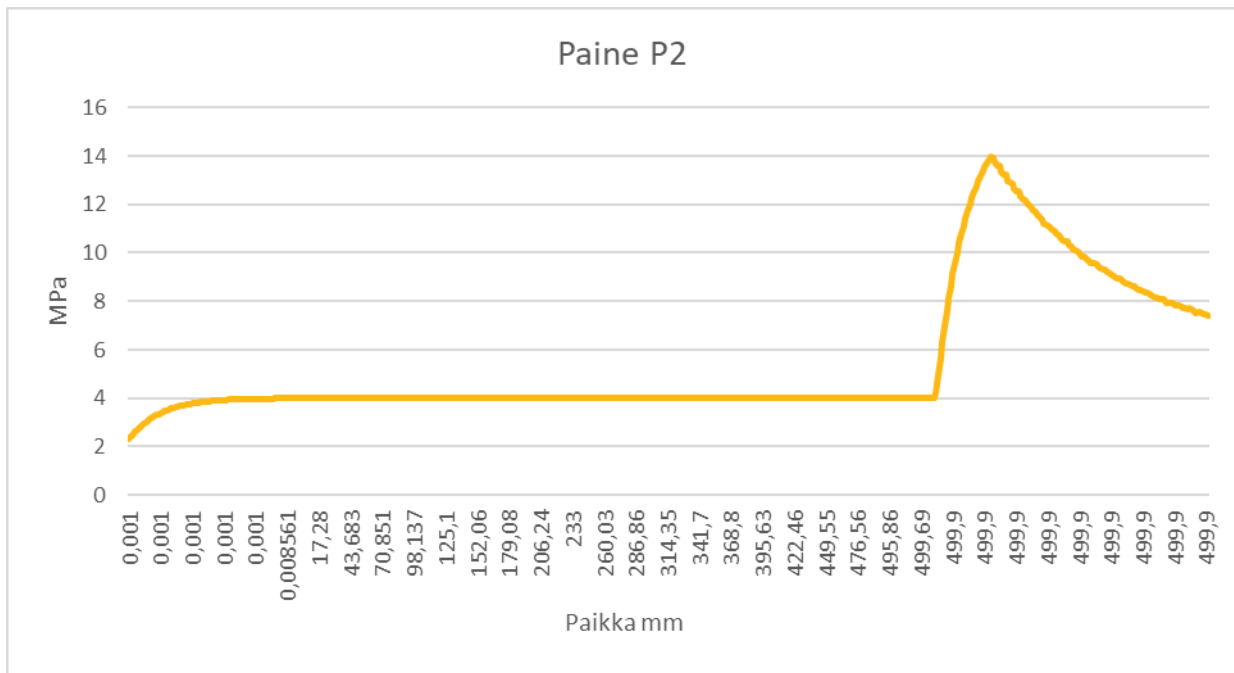
$cycl = \text{suoritusajan kerroin}$

Muodostuneen öljytilavuuden perusteella pystyttiin laskemaan muodostuneen öljyn pinnantaso. Pinnantason perusteella voitiin päätellä sylinterin sisällä olevan männän paikka. Laskentaan käytettiin alla näkyvää yhtälöä (6).

$$S = \frac{V_{\text{ö}}}{V_s} * H \quad (6)$$

missä $S =$ männänpaikka
 $V_{\text{ö}} =$ öljyn tilavuus
 $V_s =$ sylinterin tilavuus
 $H =$ sylinterin korkeus

Männänpaikan simuloinnissa (ks. kuvio 18) otettiin huomioon kuorman aiheuttama vastus liikkeelle. Jos simuloitu paine on pienempi kuin kuorman aiheuttama paine, voidaan silloin liikkua vain alaspäin. Jos simuloitu paine ylittää kuorman aiheuttaman paineen, silloin kuorma voi liikkua vain ylöspäin. Paikan laskentaan lisättiin myös häiriöt. Häiriöt esitettiin viiveen sekä siirtofunktion avulla. Siirtofunktion tehtävä oli suodattaa lähtösignaalia. Häiriöt otettiin mukaan, koska testauksessa paikkasäätö oli aina häiriötöntä. Viimeisenä suoritettavan rajoittimen ylä- ja alarajan rajapinnat toimivat ääri rajojen indikaattoreina. Rajat olivat tärkeitä paineen simuloinnissa.



Kuvio 18. P2 paineen käyttäytyminen männänpaikan perusteella

Valmet DNA-ohjelma (ks. kuvio 20) varustettiin vaihtofunktiologiikalla, jolla suoritettiin painearvojen valinta ja arvojen siirtyminen P2 paineeksi. P2 painearvo oli sylinterissä vallitseva paine eli servoventtiilin jälkeinen paine. Koska simuloinnissa hyödynnettiin paine-eroa Δp , niin P2 paine muuttui ja P1 oli simuloitu pumpun syöttöpaine 16MPa. Paine-eron laskentaan käytettiin alla näkyvää yhtälöä (7).

$$p1 - p2 = \Delta p \quad (7)$$

missä $p1$ = tulopaine
 $p2$ = lähtöpaine
 Δp = paine-ero

Normaalin liikkeen aikana ja silloin, kun ei mäntä ei ollut ääriarajoilla, niin servoventtiilin jälkeinen paine oli ollut vakio. Päätettiin, että kuorman liikuttamiseen vaadittu paine olisi 4 MPa. Koska ohjelmassa oli käytetty vaihtofunktioita, vakiopaineen ehtoja lisättiin. Vakiopaineen ehdot toteutuivat, kun mikä tahansa seuraavista oli totta: mäntä ei ollut ylä- eikä alarajoilla, mäntä oli alarajalla

ja sen liike olisi ylöspäin, tai paikkasäätö oli valittuna ja mäntää liikuteltaisiin alaspäin. Vakiopaine siirrettäisiin P2 arvoksi. Tämä oli vaadittu liikutusaine, jos aiemmin mainitut ehdot täyttyvät.

Männän paikan ylärajalla paineenlaskentaan tuli mukaan nesteen puristumiskerroin. Puristumiskerrointa hyödyntävä laskenta onnistui, kun tiedettiin nesteen tilavuus tarkastelutilanteen alussa, nesteessä havaittu tilavuudenmuutos sekä ominaispuristumiskerroin. Vakion puristumiskertoimen avulla voitiin laskea muodostunut paineen muutos, kun nesteen tilavuus puristuu kokoon puristuksen aikana. Männän liikkeen yläpäässä tapahtuu nesteen puristuminen, mikä simuloi ohjelmassa äkillistä paineen nousua eli korkeapainetta. Paineen nousuun käytettiin yhtälöä (8), millä saatiin lasketuksi syntyvä paine nesteen tilavuusmuutoksen aikana. (Kauranne & Kajaste, Vilenius 2013, 88.)

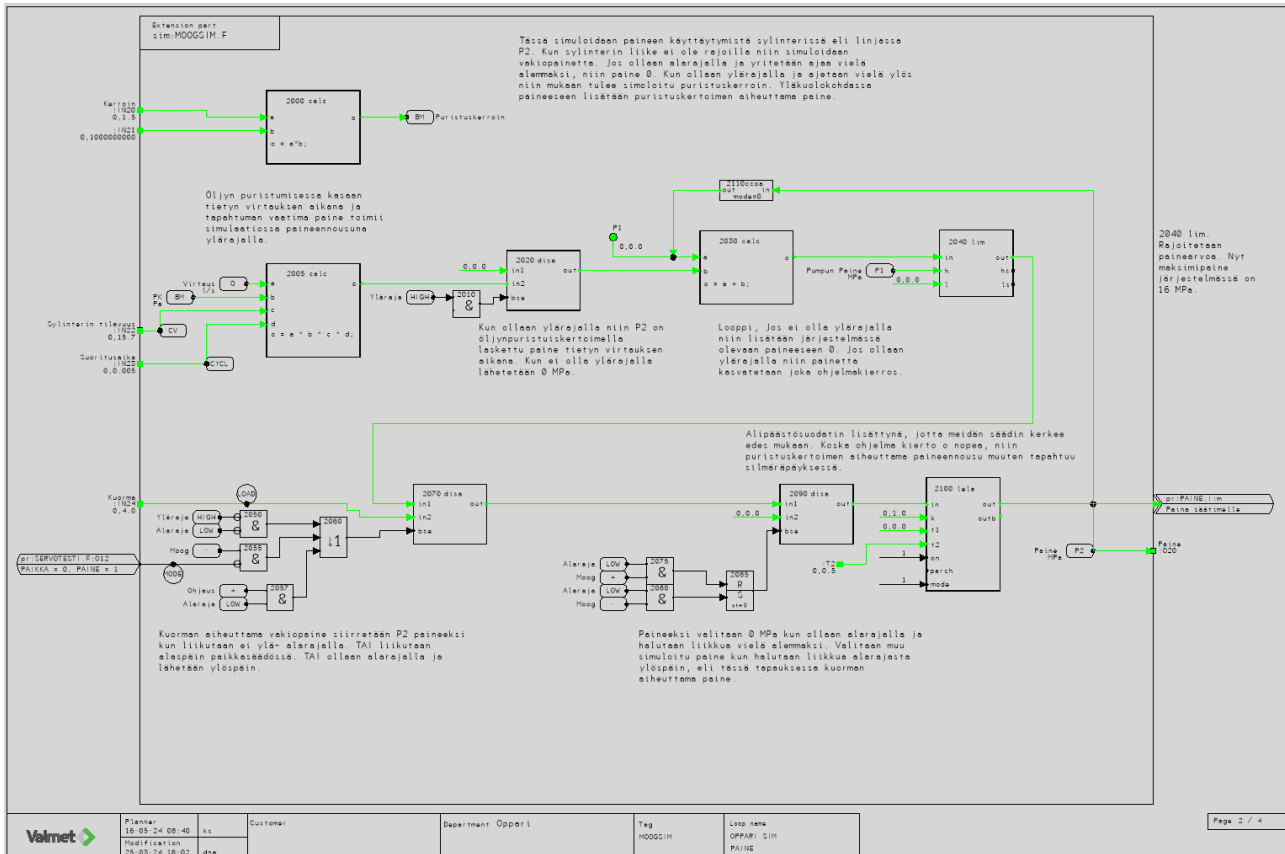
$$\Delta P = \Delta V * Kf * V0 \quad (8)$$

missä ΔV = Muutos tilavuudessa
 Kf = Puristumiskerroin
 $V0$ = Tilavuus ennen paineen nousua
 Δp = Muutos paineessa

Testauksessa käytettiin puristumiskertoimena arvoa 1,5 GPa. Puristumiskerrointa käyttämällä voitiin simuloida äkillistä paineen nousua männän ollessa yläasennossa. Paineen nousua vielä hillittiin asettamalla rajoitukset, jonka ylärajana oli pumpun maksimipaine 16 MPa. Logiikka oli rakennettu siten, että ehtojen täytyessä siirrettiin P2 paineeksi korkeapaine.

Minimipaineen vaatimukset täyttyivät silloin, kun männän paikka oli alarajalla ja yritettiin liikkua alaspäin. Siinä tapauksessa P2 paineeksi lähetettiin 0 MPa.

P2 paineen simuloinnissa oli käytetty silmukkaa. Normaalitilanteessa paineen arvoa kasvatettaisiin arvolla 0, korkeapainetilanteessa ohjelma kierrättäisi jatkuvalla kierrolla korkeapainearvoa järjestelmässä. Rajua paineen nousua hillittiin ennen silmukkaa siirtofunktiolohkolla, joka toimii alipäästösuodattimena. Silmukan jälkeen paine rajoitettiin pumpun tuottaman paineen 16 MPa maksimiarvolla.



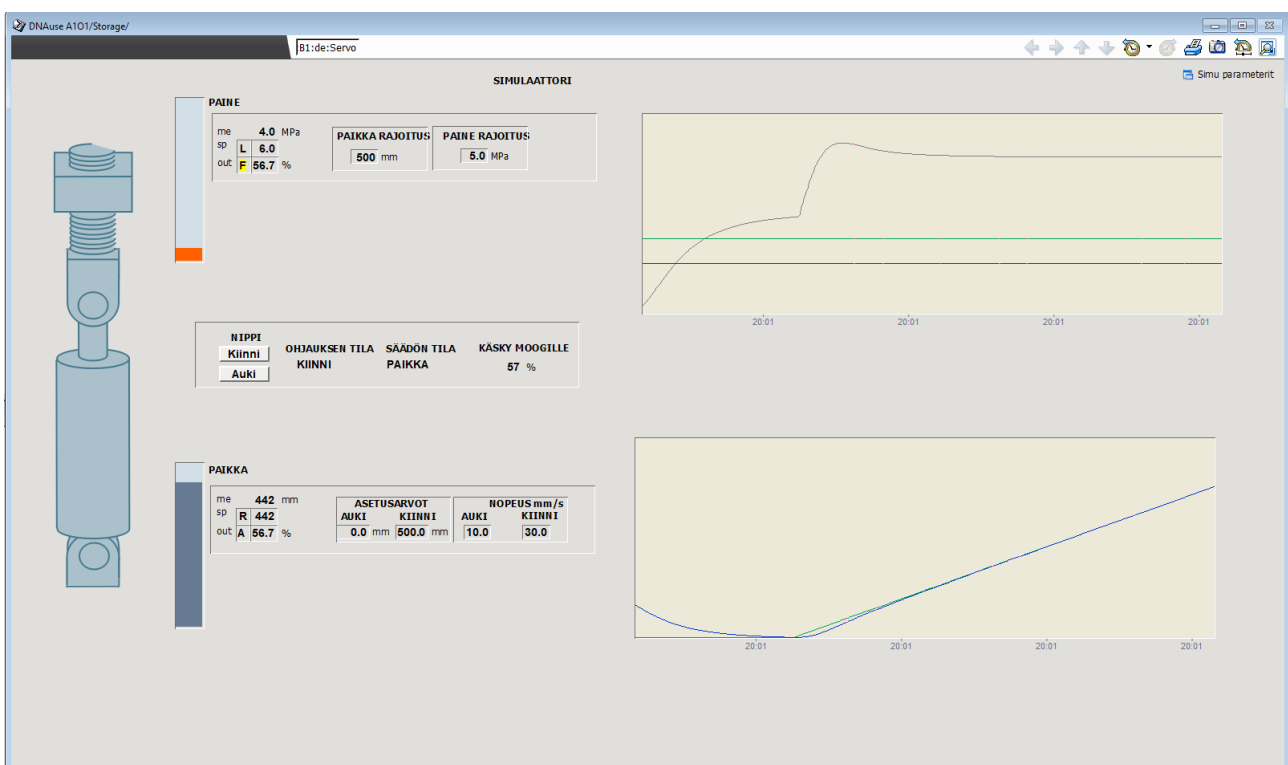
Kuvio 19. Paineen simulaattori

4.3 Käyttöliittymä

Ohjaamisen sekä parametroidin helpottamiseksi valmistettiin käyttöliittymä havainnollistamaan muutoksia prosessissa. Näyttöön (ks. kuvio 21) lisättiin myös nopea trendi ja sitä varten rakennettiin taulukkoon tallentavat analogiset historiamoduulit. Koska ohjelman kiertoaika oli lyhyt ja piti saada mahdollisimman paljon tarkkaa tietoa, niin konfiguroitiin historiamoduulia tallentamaan 512 tietopistettä 20 sekunnin aikana. Testauksesta tarvittiin paljon tietoa, jotta tulokset olisivat päteviä. Ratkaisuna löydettiin sopiva tarkasteluväli, joka oli 20 s tiedon tallennusvälin ollessa 40 ms. Liian lyhyt tiedon tallennusväli aiheutti ongelmia tallennuksen kanssa ja tämän seurauksena tallennettuja tietopisteitä menetettiin. Tämä ongelma ilmeni, kun testattiin 10 ms tallennusväliä. Testauksessa tarkasteltiin myös näytteenottoväliä. Näytteenottovälin tarkastelulla pyrittiin löytämään

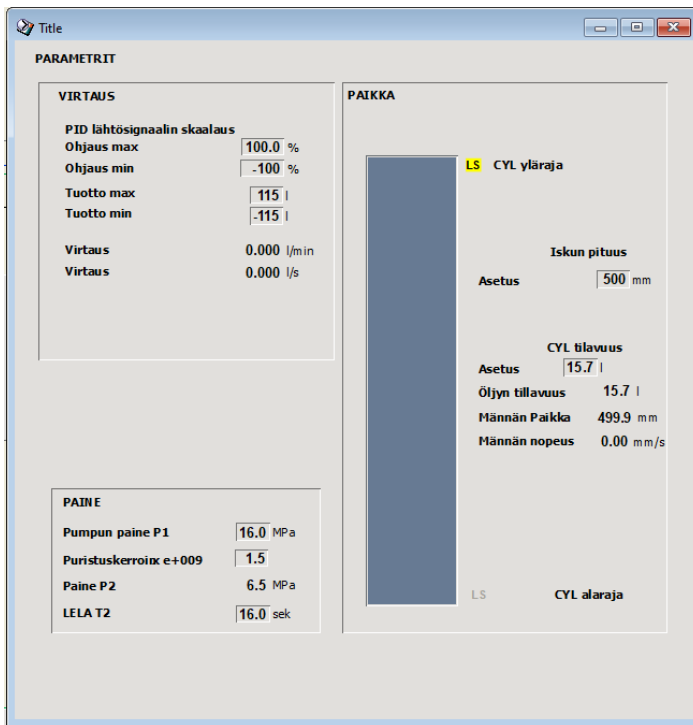
ohjelman suoritusaikaa vastaava arvo. Tarkastelu oli tehtävä, jotta voitiin varmistua järjestelmän reagoitakyvystä. Ohjelman suoritus aika oli 5 ms, mutta näytteenottovälin pienentäminen alle 6 ms ”kaatoi” koko prosessiaseman. Näytteenottovälin saaminen yhtä lyhyeksi, kuin ohjelman suoritus aika epäonnistui yrityksistä huolimatta. 6 ms näytteenottovälillä saatiin kuitenkin riittävän tarkkaa tietoa järjestelmän kyvyistä.

Kummatkin säätimet saivat oman trendinsä, joissa näkyi tärkeimmät tiedot. Painesäätimen trendiin tuotiin myös paikan mittaustiedot sekä säätimen vaihtologiikan valinnan tiedot.



Kuvio 20. Ohjausnäyttö

Simulaattorin parametointia varten tehtiin oma parametri-ikkuna (ks. kuvio 22) Ikkunasta pystyi parametroimaan simuloinnin laskennassa oleellisia arvoja. Ikkunasta pystyttiin parametroimaan skaalauksen arvoja, eli vaikuttaa simuloituihin virtausmääriin tietyllä venttiilin avaumalla. Paikanlaskennassa oleelliset arvot, eli sylinterin tilavuus sekä korkeus ovat käyttäjän säädettävissä. Painesäätimien asetettavat arvot voitiin myös syöttää järjestelmään parametri-ikkunan kautta. Puristumiskertoimen arvo oli parametroitava tieto. Ikkunassa näkyvät indikaattorit auttoivat käyttäjää testauksessa.



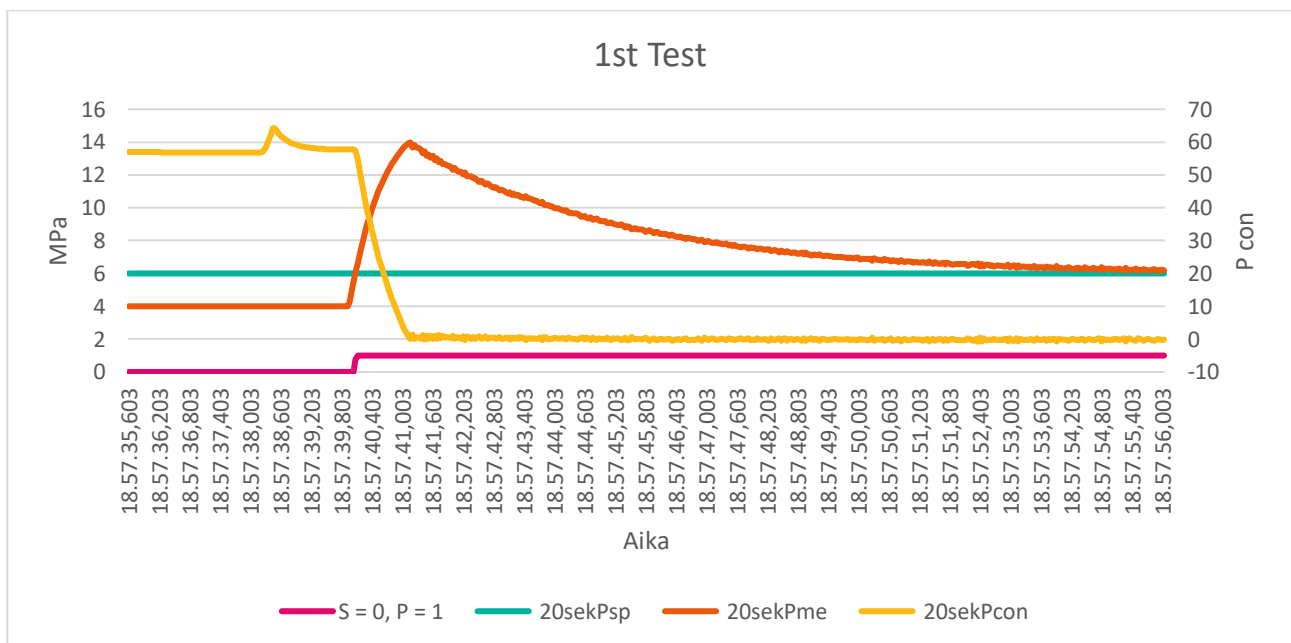
Kuvio 21. Simulaattorin parametrinäyttö

4.4 Testaus ja simulointi

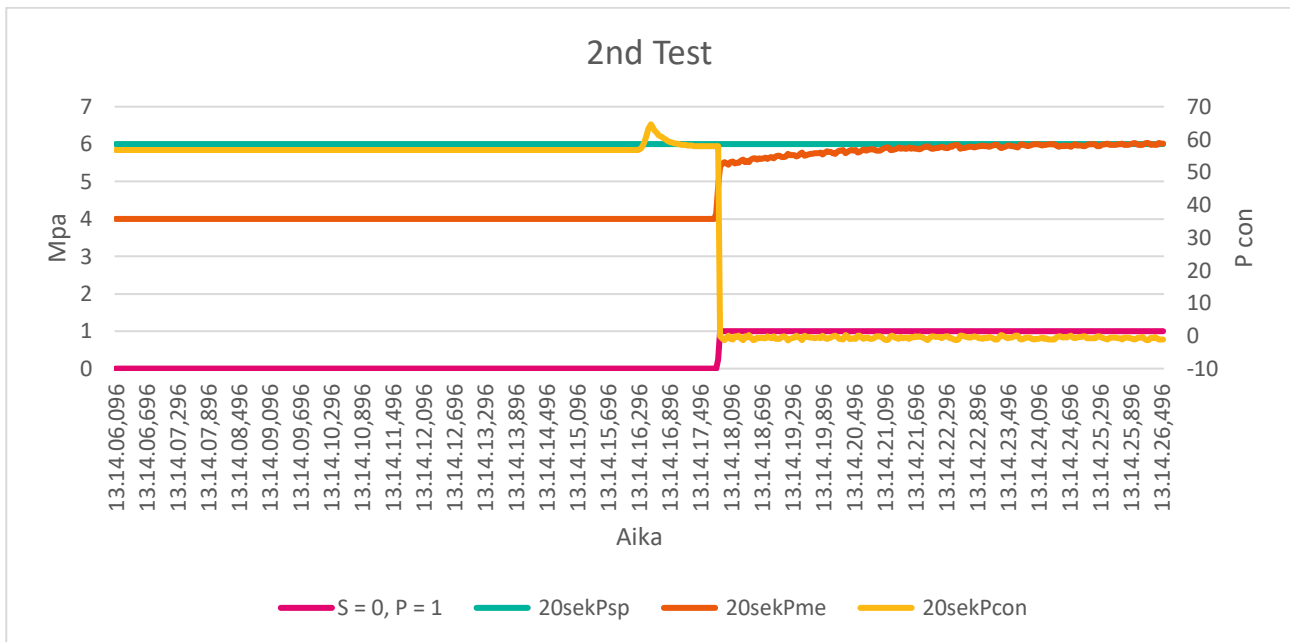
Ohjelman testaamiseen käytettiin FbCAD-työkalusta löytyvää ”Test” toimintoa sekä rakennettua käyttöliittymää. Tallennetut tietopisteet trendeistä saatiin vietyä Excelliin jatkotutkimuksia varten. Alussa testattiin kaikki puristimen ohjaustoiminnot ja tarkasteltiin simulaation käyttäytymistä. Simulaation tarkastelulla pyrittiin löytämään virheitä ohjelmalogiikassa. Tuloksien perusteella lisättiin alipäästösuodatin paineelle. Alipäästösuodatin hillitsi äkillistä paineen nousua ja lievensi pulssimaisen ”piikin” painemittauksessa. Paikanmittauksen simulointiin lisättiin viive sekä alipäästösuodatin, koska virtausmäärät olivat todella suuria. Ilman lisättyjä häiriöitä simuloivia lohkoja paikansäätö oli aina häiriötön. Säätimien viritys toteutettiin kokeilumenetelmällä. Paikkasäätimen parametrit olivat testauksessa $k_p = 9$ ja $t_i = 2$. Painesäätimen parametrit olivat $k_p = 1.2$ ja $t_i = 8$. Ensimmäisissä testeissä raja-arvot paineen nousulle järjestelmässä olivat 6 MPa ja painesäätimen asetusarvo oli 6 MPa.

Ensimmäisen testaustilanteen aikana (ks. kuvio 23), paikkasäätön ollessa käytössä, paikkasäädön jälkeinen painesäädön asettuminen asetusarvoon kesti huomattavan pitkään. Ongelma oli ollut

valintalogiikan ominaisuus, joka oli rakennettu siten, että pakotettiin aina jommankumman säätimen lähtöä pakko-ohjauksena toiseen säätimeen. Tämän seurauksena säätimen vaihtotilanteessa painesäätimeen jäi yhden ohjelmankierroksen ajaksi ohjausarvo. Ratkaistiin ongelma ”nollamalla” painesäätimen lähtö vaihtotilanteessa. Korjauksella nopeutettiin painesäätimen asettamista asetusarvoon (ks. kuvio 24) Lisäksi muutettiin ongelman seurauksena ajoparametrejä oikeaa prosessia vastaaviksi. Uudet parametrit olivat painerajoitus 5MPa ja painesäätimen asetusarvo 6 MPa. Oikeassa prosessissa huomataan ensin paineen nousu ja sitten nostetaan paine asetusarvoon. Alussa tehtiin siten, että paineen nousu ehti nousta kriittisen rajan yli ja kytkeytynyt painesäädin yritti pudottaa painetta asetusarvoa vastaavaksi.



Kuvio 22. Ensimmäinen testi



Kuvio 23. Toinen testi.

Kummassakin testissä selvisi, että valintalogiikan säädötilan vaihtuminen vei aikaa noin 40 ms. Todellisuudessa tämä arvo on varmasti vieläkin nopeampi. Testatessa nopealla tallennusvälillä saatiin arvoksi 20 ms. Tallennusvälin pienentäminen, jotta tallennuspisteiden aikavälit olisivat lyhyemmät, aiheutti ongelmia tiedontallennuksen kanssa. Konsultoitu toimeksiantajaa ja 40 ms säädinten vaihto aika oli ollut riittävän nopeaa puristimen kuormituksen ohjauksessa. DNA-järjestelmä kykeni suorittamaan riittävän nopean tilanvaihdon. Ensimmäisessä testauksessa, ilman säätimen nollausta, järjestelmän paine kävi noin 14 MPa arvossa. Toisessa testissä, korjausten jälkeen, paine ei noussut asetusarvoa korkeammaksi eli oli maksimissaan 6 MPa.

5 Tulokset ja pohdinta

Tärkeimpänä tuloksena opinnäytetyössä syntyi servoventtiiliin sekä I/O-kortin testaukseen kelpaava säädinpiiri sekä käyttöliittymä. Simuloidussa ympäristössä pystyttiin virittämään säätimet tarpeeksi lähelle oikeita arvoja ja tarkastaa ohjelmointiympäristön nopeuden riittävyys. Säätimet oli viritetty käyttämällä parametroitava paikka- ja painesimulaattoria. Simulaattorin toiminta perustui olemassa olevaan servoventtiiliin parametreihin. Suure, mitä simuloitiin säätimen lähdön avulla, oli virtaus. Virtaus oli valmistajan määrittelemän arvon mukainen ja kyseisen arvon perusteella simuloitiin servon käyttäytyminen. Virtauksen avulla onnistui paikan simulointi. Simuloidun paikan

avulla onnistui painesimulointi. Tavoitteet saavutettiin vain simuloituissa olosuhteissa. Simulointia varten on luotu sopiva käyttöliittymä. Käyttöliittymästä onnistui säädinten testaus ja niiden parametointi. Käyttöliittymässä olevan trendin avulla pystyi tarkastelemaan prosessin käyttäytymistä simuloinnin aikana. Toimeksiantajan mukaan säädin sekä käyttöliittymä olivat riittäviä tulevaisuuden käytännön testeihin.

Tärkeimpänä tietona, mitä simuloinnissa saatiin, oli ohjelmointiympäristön nopeus valitsemaan tilanteeseen sopiva säädin, eli säädinten vaihto oli toiminut oikein. Testauksessa saatiin selville arvokas tieto historiamoduulin ääriarjoista sekä lisäksi kehitettiin käytännön testeihin soveltuva DNA-automaatiomoduli, jota voi jatkossa parametroida.

Voidaan siis todeta, että ohjelmointiympäristö kykenee seuraamaan nopeita prosessin muutoksia, kykenee reagoimaan muutokseen vaadituilla tavoilla ja järjestelmällä onnistuu nopea datan tallennus. Käytännön testeissä ainakaan ohjelmointiympäristö ei ole rajoittavana tekijänä. Testeissä ollut parametroitava säätimiä sisältävä automaatiomoduli saadaan viritettyä todellista tilannetta vastaavaksi tulevaisuudessa oikean prosessin testiajojen aikana.

Servoventtiili mitä olisi pitänyt testata kykenee ainakin simuloituissa olosuhteissa nopeisiin prosessimuutoksiin. Tämä on vielä tulevaisuudessa varmistettava oikeilla testeillä. Itse venttiili kykenee ohjaamaan suuriakin virtauksia ja sen karaan liikuttamiseen vaadittu virta on pientä. Käytännöntestien perusteella voidaan tulevaisuudessa varmistua, onko venttiili riittävä sellaisenaan ohjaamaan vaadittuja kuormitussyntereitä. Koska venttiili ei sisällä laskentalogiikkaa niin voidaan toteuttaa vastaava riittävän nopea laskenta Valmet DNA-ohjelmointiympäristössä. Kun logiikka on toteutettu DNA:ssa, sen parametointiin voi vaikuttaa paljon enemmän, kun sisäänrakennettuun logiikkaan.

Työn tuloksena pystyttiin eliminoimaan vanhentuneet ohjainkortit ja korvata ne Valmet tuotteilla säätölogiikan osalta. Aikaisemmin oli jo testattu I/O-kortin sopivuutta ohjaamaan G631-venttiiliä. Voidaan aikaisempien testien perusteella sanoa, että kortti kykenee jatkossakin ohjata kyseistä servoventtiiliä. Pullonkaulaksi jää enää servoventtiilin kyky ohjata prosessia sekä servoventtiilin nopeus, kun ohjausympäristön rajat tiedetään.

Mielestäni opinnäytetyössä on saavutettu tärkeät tulokset, vaikkei päästy testaamaan I/O-korttia käytännön testeissä. Toteutunut säädinpiiri kelpaa pohjaksi paikan ja paineen perusteella säädetävään kuormitukseen. Käyttöliittymä soveltuu tuleviin testeihin kuormituksen ohjaukseen, parametrintiin sekä tiedonkeruun.

6 Loppusanat

Tahdon osoittaa kiitokset Valmetille työn toimeksiannosta, sekä kaikille työtä mahdollistaneille tahoille. Erityskiitokset Jari Kieliselle, joka toimii ohjaajana tutkimustyössä. Työ oli mielenkiintoinen ja haastava. Oli kiinnostava päästä syventämään omaa tietämystä aiheesta sekä toteuttaa työ oikeaa prosessia mukaillen.

Lähteet

ACN MR G2:n (D202652L) tekninen käsikirja. 2021. Laitteen tekninen käsikirja. Vain sisäiseen käyttöön. Valmet Automation Oy. Revisio 6. Viitattu 20.04.2024

AOI4C (D201477L) Analog Output Unit, Isolated Outputs, 20mA – Technical manual. 2023. Laitteen tekninen käsikirja. Vain sisäiseen käyttöön. Valmet Automation Oy. Revisio 5. Viitattu 20.04.2024

AOI3S (D201887L) Analog Output Unit, Isolated Outputs, -100mA...+100mA – Technical manual. 2023. Laitteen tekninen käsikirja. Valmet Automation Oy. Vain sisäiseen käyttöön. Revisio 6. Viitattu 20.04.2024

Airila, M. 1999. Mekatroniikka. Viides, korjattu painos. Helsinki: Otatieto Gaudeamus.

D636/D638 operating instructions. 2005. Käyttöohjeet PDF-tiedostonmuodossa. Moog Inc. Viitattu 23.2.2024 https://www.moog.com/literature/ICD/d636_d638seriesvalves-om.pdf

D635 series valves. N.d. Käyttöohjeet PDF-tiedostonmuodossa. Moog Inc. Viitattu 23.2.2024 <https://www.moog.com/literature/ICD/D635seriesvalves.pdf>

Distributed control system. N.d. Artikkelin Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 22.03.2025 <https://www.valmet.com/automation/control-systems/>

Function Block Cad Manual (fi) C2021. 2021. Käyttöohjeet. Valmet Automation Oy. Vain sisäiseen käyttöön. Revisio 7. Viitattu 18.03.2025

Servo Valves Pilot Operated flow control valve with analog interface G631/631 Series. 2021. Käyttöohjeet PDF-tiedostonmuodossa. Moog Inc. Viitattu 14.2.2024 <https://www.moog.com/content/dam/moog/literature/ICD/g631seriesvalves.pdf>

Harju, T. Marttinen, A. 2000. Säädetekniikan koulutusmateriaali. Kurssimateriaali PDF-tiedostonmuodossa. Control Cad. Espoo. Viitattu 24.3.2024. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1426/pid_kirja_1-1.pdf

Kielinen, J. 2024. Automation Manager, Paper&Finishing Technology. Valmet Technologies Oy. Haastattelu 15.12.2024

Kielinen, J. 2025. Automation Manager, Paper&Finishing Technology. Valmet Technologies Oy.
Haastattelu 05.03.2025

Kuisma, A. 2015. Sääntötekniikan perusteita. Aineisto Sääntötekniikan perusteet- opintojakson materiaaleissa Jyväskylän ammattikorkeakoulussa.

Palvelut liiketoimintalinja. 2024. Artikkelin Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 13.2.2024
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/palvelut/>

Paperikoneen puristin – yleistä, n.d, Koulutusmateriaali Knowpap verkkopalvelussa. Viitattu 02.06.2024 https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/press_section/0_pmps_general/frame.htm

Paperikoneen puristinosan tehtävät. N.d. Koulutusmateriaali Knowpap verkkopalvelussa. Viitattu 26.03.2025 https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/press_section/1_introduction/frame.htm?zoom_highlightsub=puristin

Peltomäki, J. 2025. Manager, Automation Engineering. Valmet Technologies Oy. Haastattelu 25.03.2025

Press section frame. N.d. Koulutusmateriaali Knowpap palvelussa. Viitattu 20.2.2024

Teknologiat. N.d. Yritysesittely Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 27.03.2025 <https://www.valmet.com/fi/teknologiat/>

Valmet DNA Distributed Control System. N.d. Artikkelin Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 22.03.2025 <https://www.valmet.com/automation/control-systems/dna/>

Valmet yrityksenä. N.d. Yritysesittely Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 26.03.2025
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/>

Valmetin liiketoimintalinjat. N.d. Liiketoiminnan esittely Valmet Oyj:n verkkosivuilla. Viitattu 26.03.2025 <https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/yritys/liiketoimintalinjat/>