

Jukka Tapaninen

Konepajan leikkuuneste- ja lastunke- räysjärjestelmän toiminnan tehostami- nen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

YAMK Insinööri

Automaatioteknologian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Päivämäärä: 16.2.2015

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Jukka Tapaninen Konepajan leikkuuneste- ja lastunkeräysjärjestelmän toiminnan tehostaminen 76 sivua + 29 liitettä 16.2.2015
Tutkinto	ylempi AMK
Koulutusohjelma	Automaatioteknologia
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Tuotantoinisinööri Tuomas Rytömaa Lehtori Markku Inkinen
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli yrityksen lastunkeräys- ja leikkuunestejärjestelmän toiminnan tehostaminen.</p> <p>Lastujen kierrätys organisoidaan briketöintilaitteiston kautta, jolloin lastut menevät pienempään tilaan ja niissä oleva leikkuuneste saadaan uusiokäyttöön.</p> <p>Leikkuunestejärjestelmä muutetaan toimimaan automaattisesti, kuitenkin unohtamatta manuaaliohjausta. Järjestelmän tulee huolehtia neljän Makino A77 työstökeskuksen sekä RUF briketöintilaitteiston leikkuunesteistä, niin, että leikkuunesteiden pH ja konsentraatioprosentti on halutun toimialueen sisällä, sekä leikkuunestealtaiden pinnat pysyvät niille määritellyissä raja-arvoissa. Tämän järjestelmän pitää pystyä toimimaan itsenäisesti ja valvonta tulee tapahtumaan automaattisen ohjauksen sekä vikaraportoinnin avulla.</p> <p>Järjestelmän 2D- ja 3D suunnittelu tehdään käyttämällä Auto CAD ja ProEngineering ohjelmistoja. Matemaattiseen ja toiminnalliseen simulointiin käytetään Matlab-Simulink ohjelmistoa. Data-analyysin ja ohjelmoinnin määrittelyyn käytetään DataMiner ja Siemens TIA ohjelmistoja.</p> <p>Osana lopputyötä tarkastellaan myös alustavasti investointikustannusta, takaisinmaksuaikaa sekä tulevia säästöjä. Lisäksi selvitetään myös se kuinka järjestelmää voidaan laajentaa toimimaan konepajan muiden työstökeskusten kanssa.</p>	
Avainsanat	Matlab, Simulink, briketöinti, konsentraatio,

Author(s) Title Number of Pages Date	Jukka Tapaninen Improving the collection system of cutting fluids and metal waste handling in a machine shop 76 pages + 29 appendices 16 February 2015
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Tuomas Rytömaa, Manufacturing Engineer Markku Inkinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to make company's aluminum waste handling and the cutting fluid system more efficient. The recycling of aluminum waste will be handled through briquetting because this method will save space and cost. Also the method enables the cutting fluids to be recycled.</p> <p>Cutting Fluid System will be changed to run automatically, without forgetting the manual control. The system will take care of the four Makino A77 machining centers, as well as the RUF briquetting machine cutting fluids. This ensures that the cutting fluid pH and the concentration of the desired stay, as well as cutting fluid reservoirs surfaces remain in their specified limits. This system must be able to operate independently and monitoring will take place through automatic control and fault reporting.</p> <p>Auto CAD and ProEngineering software will be used 2D and 3D desing. Mathematical and functional simulation is done by using Matlab software, which can also be found inside the built-in Simulink section. DataMiner and Louhin software are used for analyzed data and Siemens TIA software are used for definition of programming</p> <p>Finally, this thesis examines the preliminary investment costs, the payback period and future savings. The study also explains how the system can be expanded to work in a workshop with other machining centers.</p>	
Keywords	Matlab, Simulink, briqueting, concentration

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Palodexgroup	3
2.1	Yrityksen historia	4
2.2	Yrityksen nykypäivä	5
3	Konepajoista ja koneistuksesta	6
4	Metallien työstömenetelmät ja niistä syntyvät jätteet	8
4.1	Sorvaus, jyrsintä, sahaus ja poraus	8
4.2	Leikkaus	9
4.3	Hionta ja viimeistely	10
5	Lastujen käsittely	11
5.1	Lastujen kuljetus	12
5.2	Lastujen säilytys	13
6	Briketöinti	14
6.1	Palodexin briketöintilaitteisto	15
6.2	Lastunmäärä ja sen myynti	17
6.3	Briketöinnistä talteen saatu leikkuuneste.	18
6.4	Yhteenveto briketöinnistä	22
7	Leikkuunesteet	23
7.1	Leikkuu-öljyt	23
7.2	Synteettiset leikkuunesteet	23
7.3	Emulsionesteet	24
7.4	Leikkuunesteiden lisäaineet	24
7.5	Leikkuunestejärjestelmä	25
8	Leikkuunestejärjestelmän kokonaisuuden suunnittelu.	27
8.1	Saadun informaation lajittelu	32
8.2	Tislausjärjestelmä	33
9	Keskitetty leikkuunestejärjestelmä	35

9.1	Leikkuunestejärjestelmän piirtäminen	40
9.2	Järjestelmän mallinnus, säätö ja simuloinnin teko	43
9.3	Järjestelmän simulointikäyrät Matlabilla	58
10	Yhteenveto keskittävästä leikkuunestejärjestelmästä	65
11	Konsentraation mittaustiedon analysointi	66
12	Järjestelmän ohjelmoinnin suunnittelu	70
13	Yhteenveto	72
	Lähteet	75

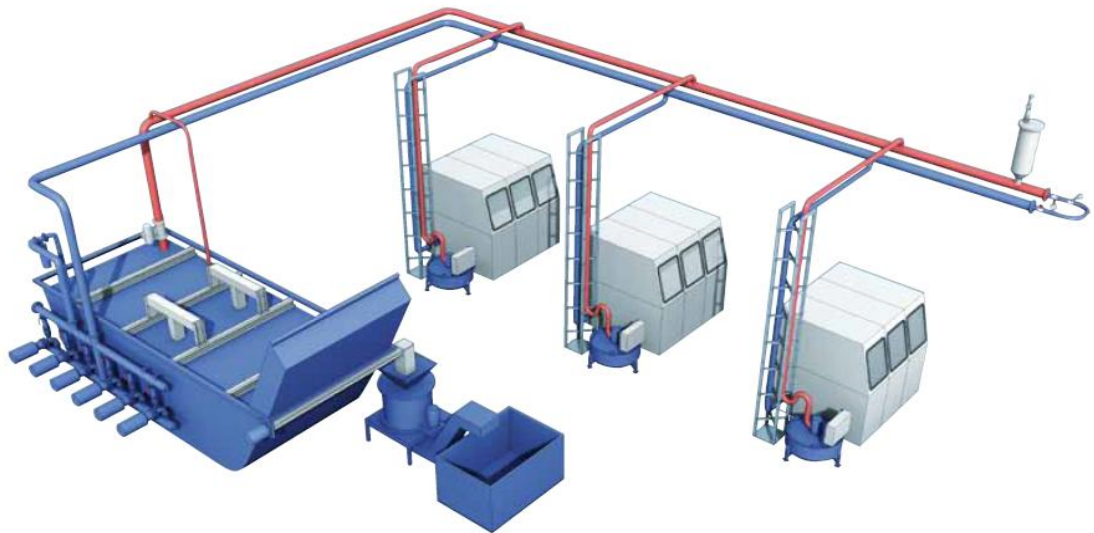
LIITTEET

	Liite 1 Hiukkaskoko työstökone 2	1
	Liite 2 Hiukkaskoko työstökone 4	2
	Liite 3 Hiukkaskoko Briketöinstä tuleva leikkuuneste.	3
	Liite 4 Nesteraportti Fuchs 1	4
	Liite 5 Nesteraportti Fuchs 2	5
	Liite 6 Pääkuva leikkuunestejärjestelmän simulaatiomalli	6
	Liite 7 Pääsäiliön simulaatiomalli	7
	Liite 8 Pääsäiliön lähtövirtauksen simulaatiomalli	8
	Liite 9 Pääsäiliön konsentraation simulaatiomalli	9
	Liite 10 Pääsäiliön tulovirtauksen simulaatiomalli	10
	Liite 11 yksittäisen työstökoneen simulaatiomalli	11
	Liite 12 Yksittäisen työstökoneen leikkuunestesäiliön simulaatiomalli	12
	Liite 13 Työstökone 1 tulovirtauksen simulaatiomalli	13
	Liite 14 Työstökone 1 lähtövirtauksen simulaatiomalli	14
	Liite 15 Työstökone 1 konsentraation simulaatiomalli	15

Liite 16 Työstökone 2 tulovirtauksen simulaatiomalli	16
Liite 17 Työstökone 2 lähtövirtauksen simulaatiomalli	17
Liite 18 Työstökone 2 konsentraation simulointimalli	18
Liite 19 Työstökone 3 tulovirtauksen simulaatiomalli	19
Liite 20 Työstökone 3 lähtövirtauksen simulaatiomalli	20
Liite 21 Työstökone 3 konsentraation simulointimalli	21
Liite 22 Työstökone 4 tulovirtauksen simulaatiomalli	22
Liite 23 Työstökone 4 lähtövirtauksen simulointimalli	23
Liite 24 Työstökone 4 konsentraation simulointimalli	24
Liite 25 Matlab ohjelmakoodi	25

1 Johdanto

Lopputyön aiheeksi valikoitui selkeä tarve muuttaa Palodexgroupin konepajan leikkuunesteiden, jätenesteiden ja lastujen käsittelyä. Asiasta oli yrityksen sisällä runsaasti keskusteltu ja päädytty siihen, että näitä järjestelmiä olisi ehdottomasti kehitettävä ja automatisoida nykypäivän tarpeisiin sopiviksi. Päähuomioksi lopputyössä otettiin leikkuunestejärjestelmän automatisointi, joka toteutuessaan tulisi säästämään yritykselle rahaa ja auttamaan myös ekologisen statuksen kasvattamisessa (kuvio 1).



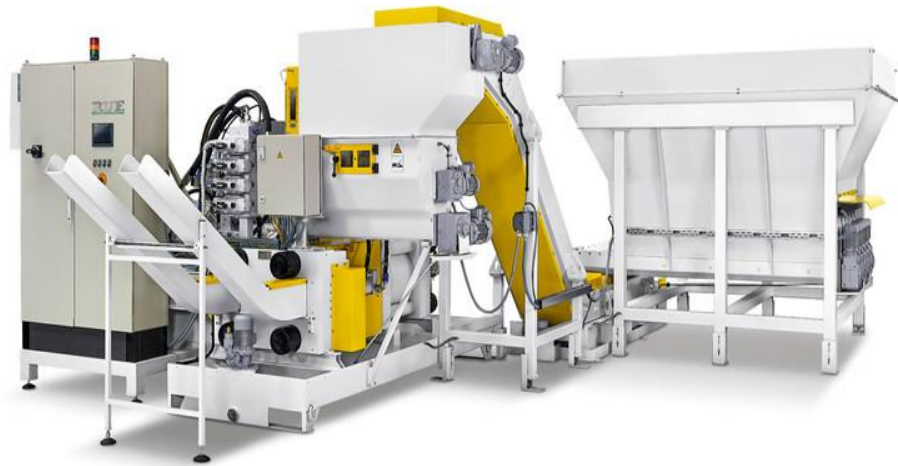
Kuvio 1. Mayfran Viavent keskitetty leikkuunestejärjestelmä. [1]

Ongelma havaittiin, kun tutkittiin kuinka paljon jätenesteitä vuonna 2013 oli kuljettu Ekokem-yhtiölle tuhottavaksi ja vastaavasti kuinka paljon puhdasta leikkuunestettä oli ostettu. Kun näitä lukuja vertailtiin muihin samassa mittakaavassa ja samoilla raaka-aineilla toimiviin tehtaisiin, huomattiin, että nämä lukemat olivat aivan liian suuria, joten muutos olisi tehtävä. Kun tehdas sijaitsee pohjavesialueella, on myös olemassa riski ympäristön ja pohjavesien saastumiseen ja lisäksi tehtaan omistajayhtiö Danaher Corporation tukee myös vahvasti ekologista tuottamista, niin tällä perusteella muutokseen on selkeä tilaus, joka pyrittäisiin ratkaisemaan siihen sopivilla menetelmillä.

Ensimmäisenä tehtävänä leikkuunestejärjestelmän uudistamisessa on selvittää se, kuinka iso järjestelmän kapasiteetin tulee olla ja minkälaisia erillisiä laitteita, laitteistoja ja ohjelmistoja sen toteuttamiseen vaaditaan. Kun tämä esisuunnitteluvaihe on valmis, niin sen jälkeen on mahdollisuus piirtää systeemin todellinen sijainti tehtaan pohjapiirustukseen ja sitä kautta varmistaa laitteiden fyysiset sijainnit ja toimintamahdollisuudet. Pohjapiirustuksen piirtämisessä kätevinä on käyttää Auto Cad ohjelmistoja, koska myös arkkitehtien tekemät alkuperäiset pohjapiirustukset tehtaan on tehty samalla formaatilla. Kun tämä on tehty ja todettu toimivaksi, pystytään siirtymään laitteiston, putkiston ja tehtaan 3D-piirustusten tekoon, jotka tehdään ProEngineering ohjelmalla.

Varsinaisen järjestelmän suunnittelu ja testaus tehdään Matlab ja Simulink-ohjelmistolla. Simulinkillä tehdään simulointimalli, joka sisältää prosessilaitteet, instrumentit sekä ohjaus- ja säätöpiirit, tämä on myös aikariippuvainen systeemistä. Tällä ohjelmistolla pystytään simulointien avulla varmistamaan matemaattisesti ja ajallisesti järjestelmän toiminnollisuus. Kun tämä on tehty, analysoidaan ja esitetään taulukkomuodossa simuloinnilla saatu data, käyttämällä siihen Louhin ja Dataminer ohjelmia. Tämä siksi, että vaikka valmiissa järjestelmässä itse ohjausjärjestelmä yhdessä automaattisen konsentraation mittauksen kanssa hoitaa säädön, niin siinä näkyy se, kuinka data taulukoituu ja sitä kautta sitä voidaan käyttää hyväksi raportoinnissa ja säätämisessä. Itse valmis leikkuunesteen puhdistusjärjestelmä tulee toimimaan Siemensin ohjausjärjestelmällä, joka tarvittaessa on laajennettu tarpeeksi kattavaksi hoitamaan koko leikkuunestejärjestelmää. Tähän lopputyöhön ei tehdä ohjelmointia valmiiksi, vaan siihen tehdään ohjelmointia varten pelkkä suunnittelu.

Lastunkuljetuksessa siirryttiin jo vuonna 2013 briketöintijärjestelmään, jossa lastut puristetaan vajaan kilon painoiseihin briketteihin ja niissä oleva leikkuuneste otetaan talteen. Tarkoituksena on pystyä puhdistamaan myös tämä neste ja kierrättää se takaisin työstökoneille. Lisäetuna tässä on myös se, että briketeistä saadaan huomattavasti parempi kilohinta markkinoilla, kuin pelkkiä lastuja myytäessä. Ongelmana lastuja sisältävissä lastukonteissa on myös lastujen sekaan jäänyt leikkuuneste, joka on kustannuserä, mutta myös ympäristöriski. Myöskin brikettikonttien varastointi on paljon helpompaa, eikä ylimääräisen leikkuunesteen valumista ympäristöön tarvitse pelätä (kuvio 2).



Kuvio 2. RUF-Briketöintilaitteisto [1]

2 Palodexgroup

Palodexgroup Oy on yritys joka toimii pään alueen kuvantamiseen liittyvällä toimialueella. Yritys suunnittelee ja valmistaa itse laitteistot ja myös vastaa myynti- ja asiakaspalveluverkostonsa ylläpitämisestä. Laitteita myydään ympäri maailmaa ja tällä hetkellä jakelijaverkosto kattaa yli 60 valtiota. Pääkonttori sijaitsee Tuusulassa, jossa myös suunnitteluyksikkö sijaitsee (kuvio 3). Tuotanto- ja toimistotiloja siellä on noin 13 000 neliometriä ja henkilökuntaa noin 400. Tämä yksikkö onkin maailman suurin hampais-ton ja pään alueen kuvantamislaitteita valmistava yksikkö. Tuoteperhettä ovat omilla tuotemerkeillä myytävät Instrumentarium dental ja Soredex tuotteet (kuvio 4).



Kuvio 3. Palodex tehdas Tuusula

2.1 Yrityksen historia

Yrityksen historian aloituspisteeksi voidaan sanoa vuotta 1945, jolloin professori Yrjö Paatero nimitettiin Helsingin yliopistoon hammaslääketieteen apulaisopettajaksi. Siellä hän julkaisi tieteellisiä tutkimuksia liittyen panoraamakuvantamiseen. Ensimmäisen tämän tyyppisen laitteen hän valmisti vuonna 1949, se oli nimeltään Paraflografi. Tässä laitteessa käytössä oli vielä suun sisäpuolelle asetettava filmi, mutta professori Paatero oli tehnyt jo kehitystyötä siitä, että hampaisto kuvattaisiin suun ulkopuolelta ja tätä kaarevaa kerroskuvaideaa hän lähti kehittämään Washingtonin yliopistoon Seattleen. [3]

Professori Paatero palasi Suomeen vuonna 1951 kehitettyään Amerikassa Pantomographi nimisen laitteen. Häntä kiinnosti kehittää tapaa, jolla röntgensäde saataisiin kohdistumaan suoraan jokaiseen hampaaseen, jolloin esimerkiksi takahampaat eivät kuvantuisi toisten hampaiden päälle. Tästä kehitystyöstä syntyi kuvantamistyyli nimeltä Orthopantomografia ja tästä toimintatavasta kiinnostui 1940-luvun lopulla Lääkintäsähkö Oy, joka silloin oli Instrumentariumin tytäryhtiö. Lääkintäsähkö Oy:n toimitusjohtaja Timo Nieminen sai tehtäväksi kaupallistaa ja luoda markkinat tällä kuvantamismenetelmällä toimiville laitteille. [3]

Tätä tutkimusta professori Paatero ja diplomi-insinööri Timo Nieminen kehittivät siihen pisteeseen, että vuonna 1964 perustettiin Ruusuvaara Oy valmistamaan teollisessa mittakaavassa näitä tuotteita, joille annettiin Ortopantomograph nimi. Tällä laitteella pystyttiin kuvaamaan koko hampaisto yhdellä valotuksella. Vuonna 1967 yhtiö vaihtoi nimensä Ruusuvaara Oy:stä Palomex Oy:n, tämä nimi tuli lyhenteenä sanoista Panoramic Layer Observing Machine EXport ja vuonna 1977 tapahtui fuusioituminen Instrumentarium imaging kanssa. Yritys sai 1970–1980 luvuilla useita arvostettuja tunnustuksia maailmalta, muun muassa Ortopantomograph perhe tunnustettiin maailman johtavaksi panoramalaiteistoksi. General Electric osti 2000- luvulla Instrumentariumin ja muodosti GE Healthcare Dental yksikön, joka myöhemmin myytiin Altor equality partners yhtiölle, jolloin yritys vaihtoi nimensä Palodex Group Oy:ksi. Viimeisimpänä käänteenä vuonna 2009 amerikkalainen Forbes 200 listattu Danaher Corporation osti yrityksen, jolloin se fuusioitui amerikkalaisen hammaskuvantamislaitte perheen kanssa. Tästä yritys saikin runsaasti synergia etuja, jolloin Tuusulan yksikön merkitys maailmanlaajuisesti alkoi kasvaa ja sen markkina-alue laajeni voimakkaasti. [3]



Kuvio 4. Instrumentarium Orthopantomograph OP-300 ja Soredex Scanora 3Dx [4]

2.2 Yrityksen nykypäivä

Tällä hetkellä yritys keskittyy vahvasti 3D-kuvantamislaitteistojen ja niiden ohjelmistojen kehittämiseen (kuvio 5). Myöskin kartiokeilatietokonetomografia yleistyy vahvasti ympäri maailmaa niin yksityisillä hammasklinikoilla kuin sairaaloissakin. Mutta vanhaa 2D extraoraali- ja infrakuvantamista ei myöskään ole unohdettu ja sitä kehitetään jatkuvasti. Myös niin sanotut kehittyvät markkinat kasvavat yhä voimakkaammin ja niille pyritään suunnittelemaan hieman edullisimpia ratkaisuja.



Kuvio 5.3D kuva OP300:n ottamana [4]

3 Konepajoista ja koneistuksesta

Konepajat ovat nimensä mukaisesti työpajoja tai tehtaita, joissa erilaisia materiaaleja käsitellään erityyppisillä työstö- ja käsittelymenetelmillä. Nämä menetelmät lukeutuvat moniin eri kategorioihin riippuen täysin siitä, millaisesta materiaalista aihiot on tehty ja mitkä ovat ne kriteerit, joilla päästään haluttuun lopputulokseen. Yksinkertaisimmat koneistukset tehdään niin sanotuilla manuaalikoneilla, joissa akseleiden liikkumisesta huolehditaan manuaalisesti tai korkeintaan yhtä akselia kerralla konevoimalla ajamalla. Näissä koneissa tyypillisesti jokainen työkalu täytyy aina ennen työstöä asettaa karalle ja mitata se. Tämä onkin osasy siihen, miksi tämän tyyppiset koneet ovat jäämässä historiaan varsinaisessa tuotannossa, eikä niitä käytetä nykypäivänä kuin korjaustoi- minnan apuna, sekä sellaisten yksittäiskappaleiden teossa, joita pystytään tekemään ilman useiden akseleiden yhteisajoa.

1970-luvun puolen välin jälkeen teollisuudessa on yleistynyt niin kutsutut CNC- ohjatut työstökoneet ja sorvit, joissa koko koneen toimintaa ohjataan tietokoneilla, joko suo- raan koneessa olevan käyttöjärjestelmän tai erillisen CAM-ohjelmiston avulla. Yleisim- piä työstökoneiden käyttöjärjestelmiä nykyään ovat: Fanuc, Siemens, Mazatrol, Okuma ja Heidenhain. CAM-ohjelmistoista yleisimmät ovat: Mastercam, Gibbscam, Surfcam. Näihin konetyyppeihin ohjelmoinnin suorittaa yleensä siihen erityisesti koulutetut henki- löt, jolloin koneistajalle jää vastualueekseen enää työkalu- ja konehuolto. Tällainen ohjelmoinnin ja operoinnin erittäminen nopeuttaa kappaleiden läpimenoaikaa, mutta ei silti ole ongelmaton. Usein koneistaja ei välttämättä ole tietoinen kaikista niistä ajovai- heista, mitä kyseinen ohjelma pitää sisällään, jolloin syntyy mahdollisuus kolareihin. Tällaiset kolaroinnit näissä isoissa koneistuskeskuksissa tekevät usein pahaa jälkeä ja aiheuttavat tuotannonseisauksen, joka maksaa tehtaalle paljon rahaa (kuvio 6).



Kuvio 6. Työstökeskus [2]

Koneistamisen suunnittelu ja optimaalisen työstökeskuksen valinta aloitetaan siinä vaiheessa, kun koneistettavasta kappaleesta saadaan piirustukset, sekä muut kappaleeseen liittyvät tiedot. Näissä tiedoissa tärkeimpinä tekijöinä ovat tarvittavat kappalemäärät, sekä se minkälaisia pintoja, reikä, koloja, upotuksia ynnä muita sellaisia kappaleeseen tulee. Sen jälkeen täytyy hahmottaa se, mistä akselisuunnasta ne on tehokkainta koneistaa. Esimerkiksi jos kyseessä on alle 10 kappaleen sarja, jota todennäköisesti ei tulla tekemään lisää, on varmasti järkevin vaihtoehto valita yksittäinen työstökeskus, jossa kappaleet voidaan koneistaa niin sanotuissa yleiskiinnittimissä. Tällöin ainoana kriteerinä on se, kuinka monta akselisuuntaa sen tekemiseen vaaditaan. Työstökeskuksia löytyy aina 3-akselisesta jopa 12-akseliseen (kuvio 7).



Kuvio 7. Palodex konopaja

Peruseriaatteena työstössä on kuitenkin se, että ahiota työstövaiheessa ei oteta turhaan irti tai kiinnitetä uudestaan, koska kappaleiden irrottaminen kesken työstön aiheuttaa aina vaaran siitä, että kappaleeseen syntyy mittavirheitä. Kun kappaleita täytyy tehdä suuria määriä, tai niistä tulee jatkuvasti tilattavia tuotanto-osia, on parempi käyttää isoja vaakakaraisia työstökoneita, joihin kappaleet tuodaan koneistettaviksi paletteihin kiinnitettyinä. Nämä paletit sijaitsevat yleensä niin kutsutussa FMS-linjastoissa, joissa niitä voi olla satojakin, lisäksi myös työstökoneita tällaisessa järjestelmässä voi olla useita, niin kuin myös latausasemia. Näihin paletteihin tehdään ensin kappalekoh-

taiset kiinnittimet, joihin aihiot asetetaan. Tällöin päästään siihen, että kappaleista pitäisi jokaisella työstökerralla tulla samanlaisia, mutta työkalujen kulumiset ja muut vastaavat tapahtumat aiheuttavat ongelmia kappalesarjojen yhdenmukaisuutta tavoitellessa.

4 Metallien työstömenetelmät ja niistä syntyvät jätteet

Metallia työstettäessä syntyy monenlaisia jätteitä, joista suurin osa on ahiosta pois työstettyä materiaalia eli metallilastuja. Työstömenetelmiä on monia muun muassa sorvaus, jyräily, poraus, sahaus, leikkaus ja hionta.

4.1 Sorvaus, jyräily, sahaus ja poraus

Nämä työstömenetelmät tuottavat melko samankaltaista jätettä. Jäte on materiaalista riippuen joko pieniä lastunpaloja, pitempää lastua tai työstössä käytettävistä työkaluista irronnutta jätettä. Nämä jätteet ovat lähes täysin kierrätettävissä ja ongelmana on yleensä lastujen vaatima suuri tilavuus, sekä niiden mukana tuleva leikkuuneste, joka pitäisi saada talteen ja uudelleenkäyttöön. Lastujen vaatiman tilan pienentämiseen käytetään yleisesti puristusmenetelmää, jota kutsutaan briketöinniksi. Tällöin lastut puristetaan haluttuun kokoon halutulla paineella, jolloin niiden tilavuus pienenee huomattavasti ja säilytysongelma poistuu. Lisäksi lastuissa oleva leikkuuneste voidaan myös ottaa talteen linkoamalla ne erillisessä linkouslaitteessa ennen puristamista tai ottaa neste talteen puristuksen yhteydessä (kuvio 8).



Kuvio 8. Metallilastu [19]

4.2 Leikkaus

Silloin kun aihioita ei saada sahattua määrämuotoisista profiileista (suorakaide-, neliö-, pyörötangot) tai muista valetuista profiileista, niin aihoiden valmistamiseen käytetään erilaisia leikkaustapoja, kuten laser-, poltto-, plasma- ja vesileikkaus. Tällaisilla leikkaustavoilla tehdyt ahiot tilataan yleensä yrityksiltä, jotka ovat erikoistuneet näihin menetelmiin. Normaalille konepajayritykselle ei ole yleensä järkevää lähteä sijoittamaan rahaa laitteisiin, joilla tällaisia leikkaustapoja suoritetaan ja lisäksi siihen joudutaan sitomaan yritykseltä tuotantotiloja sekä henkilöresursseja.

Polttoleikkaus on vanhin näistä leikkuutavoista ja nimensä mukaisesti siinä käytetään liekiksi sytytettyä happi-propaanikaasua, jolla leikataan isommasta materiaalista pienempiä aihioita. Siinä syntyvät jätteet ovat myös kierrätettäviä, mutta harvoin puristettavia, koska materiaalin sulaessa ja jäähtyessä sen ominaisuus muuttuu. Usein jäljelle jäävät jättepalat lisäksi ovat liian isoja puristettavaksi (kuvio 9). [5; 35]

Plasmaleikkaus perustuu keskitettyyn sähköiseen valokaareen, joka korkealämpötilaisen plasmasäteen avulla sulattaa materiaalin. Menetelmää kutsutaan sulatusleikkaukseksi, johon myös polttoleikkaustekniikka kuuluu. Menetelmä sopii vain materiaaleille jotka johtavat sähköä. Leikkauskaasuina käytetään lämpötilasta ja materiaalista riippuen argonia, vetyä ja typpeä, mutta joskus myös paineilma ja happi riittävät. Leikkaustapa ei synnytä juurikaan muita jätteitä kuin jättepaloja, jotka ovat kierrätettävissä, mutta eivät kokonsa puolesta sovellu puristettavaksi (kuvio 9). [6]



Kuvio 9. Polttoleikkaus ja plasmaleikkaus [5; 6]

Laserleikkauksessa käytetään hyväksi lasersädettä, joka linssin avulla suunnataan määriteltyyn pisteeseen leikkauskaasun kanssa. Leikkauskaasuna voi olla joko happi tai typpi, jolloin tämä niin sanottu polttopiste kuumenee niin paljon, että se polttaa tai höyrystää materiaalin reiän. Tämän jälkeen tätä pistettä liikutetaan eteenpäin ennalta määriteltyä reittiä pitkin ja näin aihio saadaan leikattua. Tästä menetelmästä ei paljon jätettä synny, mutta siinä joudutaan käyttämään runsaasti sähköä, joten siinä mielessä sen taloudellisuus perustuu hyvään lopputulokseen (kuvio 10). [7]

Vesileikkauksessa käytetään hyväksi korkeapaineista vesisuihkua, joka suunnataan tarkasti 0,08 - 0,23 mm suuttimesta yhteen kohtaan materiaalissa. Lisäksi vesisuihkussa on mukana hyvin hienoa hiekkaa. Vesisuihkun paine voi olla jopa 400 MPa ja sen nopeus jopa kaksinkertainen äänennopeuteen verrattuna. Menetelmä on hyvin ekologinen, eikä se tuota juurikaan jätettä (kuvio 10). [8]



Kuvio 10. Laserleikkaus ja vesileikkaus [7; 8]

4.3 Hionta ja viimeistely

Metallien hiontaan ja viimeistelyyn käytetään monia erilaisia työtapoja ja menetelmiä riippuen mihin lopputulokseen tähdätään. Käytössä on pursemyllyjä, hiontalaitteita, hiekkapuhalluskaappeja sekä kemikaaleilla tai kuumentamisella toimivia purseenpoistomenetelmiä. Hiontalaitteet ovat kaikista perinteisin vaihtoehto käsitellä kappaleita. Tyypillisesti ne ovat epäkeskohionta-, nauhahioma- ja kiinteitä hiomalaippakoneita. Näillä hiontalaitteilla syntyvä jäte on siinä mielessä ongelmallista, että se on hyvin pientä pölyä ja tämä voi aiheuttaa poistoimurissa palovaaran. Tämä jäte menne suoraan ongelmajätteisiin, eikä sitä voida uudelleen käyttää.

Pursemyllyt toimivat epäkeskopainoilla varustetuilla moottoreilla, jotka tärisyttävät allasta, jossa on hiottavia aihioita pienen nesteseoksen ja hiomakivien seassa. Hiomakivet voivat olla keraamista materiaalia, kiviä tai jopa kovaa muovia ja lisäksi niitä löytyy monenlaisina eri profiileina. Purseenpoisto perustuu siihen, että kun kappaleet tärisyvät kiviä vasten tarvittavan ajan, niin pintapurse irtoaa siitä. Jätettä tästä prosessista tulee hyvin vähän, eikä sen hävittämisessä ole isoa ongelmaa. Kyseessä on lähinnä hiomakivien vaihto aika-ajoin.

Hiekkapuhallus on pintojen hiomista paineilman ja pienten kiinteiden hiukkasten avulla. Nämä kiinteät hiukkaset voivat olla monesta eri materiaalista. Hiukkasmateriaalin valinta riippuu siitä, mitä materiaalia hiottava aine on ja siitä, minkälainen valmiiksi hiotusta pinnasta tulee. Myös se minkälaisia ominaisuuksia hiotuilla pinnoilla pitää olla, vaikuttaa hiukkasmateriaalin valintaan. Hiontahiukkasina yleisesti on käytetty siivilöityä hiekkaa, lasia, kuivajäätä ja metallijauheita. Metallijauheet ovat yleensä parempi vaihtoehto, koska niitä pystytään kierrättämään, mutta muuten jätteet pitää käsitellä ennen kuin ne hävitetään. [9]

Kemikaaleilla ja kuumentamisella tapahtuva purseen poisto perustuu siihen, että kappaleen ulkopuoliset ylimääräiset osat ovat pinta-alaltaan suuria, mutta sisältävät vain vähän massaa. Esimerkiksi niin kutsutussa TEM-menetelmässä (Thermal Energy Method) kappale suljetaan paineastiaan, johon johdetaan polttoaineen ja hapen seos. Seos sytytetään tuleen jolloin lämpötila räjähtää hetkellisesti jopa kolmeen tuhanteen asteeseen. Tämä vaihe kestää vain kolme millisekuntia, joten se ei pääse vahingoittamaan varsinaista kappaletta, vaan se hävittää purseet kaasuiksi. Tässä menetelmässä jätettä ei synny juuri ollenkaan, joten se on siinä mielessä ekologinen tapa poistaa purseet.

5 Lastujen käsittely

Konepajojen suurimpiin ongelmakohtiin kuuluu lastunkäsittely. Vaikka lastut ovat ohuita, ne sisältävät ison pinta-alan ja ovat tyypillisesti kierteisiä ja siksi tarvitsevat runsaasti tilaa. Lisäksi lastujen mukana lastukontteihin tulee yleensä runsas määrä ympäristölle haitallista leikkuunestettä. Erityisesti pohjavesialueilla sen valuminen luontoon voi aiheuttaa vakavaa haittaa. Tämän takia lastunkäsittelyn täytyy olla suunniteltua ja hallittua.

5.1 Lastujen kuljetus

Tehtaan sisällä lastujen siirtämiseksi paikasta toiseen on monia vaihtoehtoja. Pienissä tehtaissa yleisenä tapana on lastuvaunujen siirto käsivoimin tai trukin avulla keräyspaikalle, jossa se käsitellään edelleen. Jotta lastut saadaan siirtymään työstökoneelta lastuvaunuihin, käytetään hyväksi mekaanisia kuljettimia. Yleensä näillä kuljettimilla ei siirretä lastuja pitempiä matkoja. Laitteet ovat moduulirakenteisia, eli ne voidaan muokata oikeanlaisiksi tarvittavan tilanteen mukaan. Voimanlähteenä kuljettimilla toimii yleensä sähkömoottorit. Tällaiset pienet mekaaniset lastunkuljettimet ostetaan yleensä aina työstökoneen oston yhteydessä, koska lastujen toimittaminen pois koneen työstötilasta on työstökoneen toiminnan kannalta elintärkeää. [11]

Muita metallijätteen siirtovaihtoehtoja ovat esimerkiksi teräsnauhakuljettimet, jotka ovat tarkoitettu toimimaan silloin, kun siirretään lastuja pitempiä matkoja. Tämä toimii esimerkiksi kun halutaan siirtää lastut työstökoneelta suoraan lastunkäsittelypisteeseen. Tähän järjestelmään yleensä liitetään myös erillinen leikkuunestekaukalo, johon lastujen mukana oleva leikkuuneste valuu kuljetuksen aikana. Toisena samankaltaisena vaihtoehtona on myös kanavakuljetin eli harppuunakuljetin, jossa lastua siirretään työntämällä sitä eteenpäin leikkuunesteen kera omassa kanavassa. Yleensä tällainen kanava on sijoitettu työstökoneelinjojen alle, jolloin siihen ei tarvitse liittää mitään erillisiä kuljettimia. Tällöin siirretään leikkuuneste ja lastut yhdellä kertaa omiin käsittelypisteisiin, joissa niitä voidaan käsitellä tarpeen mukaan. [11]

Yhtenä vaihtoehtona lastujen siirtämiseen ovat ruuvikuljettimet, jotka toimivat täysin omalla tavallaan. Konepajan olosuhteissa nämä ovat käyttökelpoisia silloin kun halutaan siirtää vertikaalisessa suunnassa metallijätettä. Sen tilantarve ei ole iso ja se voi nostaa lastut esimerkiksi aikaisemmin mainituille teräsnauhakuljettimille, jolla lastut siirretään niiden keräyspaikkaan. Joissain työstökoneissa käytetään myös ruuvikuljettimia lastun siirtämiseen koneen sisällä. [11]

Kolakuljettimet ovat yleisiä työstökoneissa joissa lastunkoko on pieni, tai ne pyrkivät kellumaan. Silloin niitä nimensä mukaisesti kolataan eteenpäin, kunnes ne tipahtavat lastunkeräysvaunuun. Magneettikuljettimet toimivat taas nimensä mukaisesti sähkömagneeteilla. Tällöin magneetin avulla siirretään lastua joko hihnaa pitkin eteenpäin tai

se nostetaan ja siirretään se haluttuun paikkaan yhdessä kasassa. Tällä menetelmällä voidaan myös erotella esimerkiksi alumiinilastut rautalastuista jo ennen lastujen vientiä niiden käsittelypaikalle. [11]

Alipainetoimiset kuljettimet sen sijaan ovat tarkoitettu tilanteisiin, jossa siirretään nopeasti lastuja ja leikkuunestettä pitkiä matkoja. Järjestelmä toimii kuten WC, jossa huuhtelunappia painaessa nestettä valuu pönttöön ja se synnyttää toiselle puolelle alipaineen, jolloin kaikki huuhtoutuu pois. Lastut ja leikkuuneste menevät samaan paikkaan, jossa ne erotetaan toisistaan ja voidaan jälleen käsitellä (kuvio 11). [1]



Kuvio 11. Viavent alipainetoiminen kuljetusjärjestelmä [1]

5.2 Lastujen säilytys

Kun lastut on saatu haluttuun paikkaan, täytyy suunnitella kuinka niitä käsitellään ennen varastointia. Tällöin kyseeseen tulee muutamia eri tapoja, jotka riippuvat paljon siitä mitä ainetta lastut ovat ja kuinka paljon niitä on. Yksi yleinen tyyli on varastoida ne niitä varten suunniteltuihin lastukontteihin, jotka Kuusakoski, Stena tai joku muu metallien jätteenkäsittely-yritys käy tyhjentämässä aikaisemmin tehdyn sopimuksen mukaan

määräaikavälein tai tarvittaessa (kuvio 12). Ongelmana tässä on se, että lastut ovat kevyitä, mutta vaativat kokonsa puolesta ison tilavuuden. Tällöin jätteenkäsittely-yritys joutuu tyhjentämään näitä kontteja usein, eikä se ole taloudellisesti tai ekologisesti kannattavaa.



Kuvio 12. Kuusakoski jätteensäilytyskontteja [11]

Toinen yleinen tapa on puristaa lastut pienempään tilaan, joko kuutioksi tai vielä pienemmiksi niin kutsutuksi briketeiksi. Tässä etuna on hyvin paljon pienempi tilan tarve ja tästä johtuen varastointiongelman helpottuminen. Myös metallin kierrätys tehostuu, kun jätteenkäsittely-yritys ei joudu kuljettamaan lastuja niin usein, vaan kerralla kyytiin mahtuu isompi kilomäärä. Lisäksi tällä tavalla pystytään hyvin myös lajittelemaan eri metallit ja tällöin jätteestä saatu korvaus on huomattavasti suurempi.

6 Briketöinti

Metallijätteen hinnan nousu on edesauttanut briketöintilaitteistojen hankkimista erityyppisiin konepajoihin ja tehtaisiin. Tämä onkin lisännyt tällaisten briketöintilaitteistojen maahantuoja ja niiden huoltoihin erikoistuneiden yritysten määrää Suomessa. Brikettiin kilohinta saattaa olla jopa 30–80 % parempi, kuin pelkistä metallilastuista saatava hinta ja kun metallit pystytään jaottelemaan eri ryhmiin, syntyy siitä yritykselle tuottoa

lisää. Lisäksi tässä prosessissa saadaan lastujen mukana tuleva leikkuuneste talteen, joten se ei aiheuta ympäristöhaittoja ja puhdistettuna neste saadaan uusiokäyttöön. Tämä leikkuunesteiden uusiokäyttö tuottaa yritykselle yllättävän suuria säästöjä, koska takaisin saatu leikkuunesteen määrä on varsin suuri. Kun nämä kaikki tekijät lasketaan yhteen, syntyy tilanne, jossa koneen takaisinmaksuaika voi olla ainoastaan muutamia vuosia. Tällaisten briketöintilaitteistoiden hinta Suomessa on noin 80 000 - 140 000 euroa riippuen täysin siitä, kuinka suurista metallilastujen käsittelymääristä on kyse ja mitä materiaalia lastut ovat. Esimerkiksi silloin kun lähdetään briketöimään kovempia aineita kuten teräslastuja, tarvitaan ennen briketöintiä lastunmurskain ja lastulinko, koska leikkuunesteenä näiden materiaalien työstössä on usein käytetty öljyä, jotka pitää saada pois lastuista ennen niiden puristusta. Tämä tapahtuu siten, että lastut murskataan ensin pieniksi palasiksi ja sen jälkeen ne lingotaan, jolloin keskipakovoimalla tapahtuu öljyn erotus lastuista (kuvio 13). [1; 10; 13; 14]



Kuvio 13. Erdwich lastunmurskain ja Manner lastulinko [13; 14]

Briketöintilaitteistot toimivat täysin hydraulisesti ja niiden päämoottoreiden tehot vaihtelevat 4 kW ja 90 kW välillä. Puristuspaine riippuu materiaalista sekä halutusta lopputuloksesta ja se voi olla jopa 5 000 kg per neliösentti. Brikettien fyysiset koot ovat usein joko 60x40 mm tai 150x120 mm.

6.1 Palodexin briketöintilaitteisto

Palodexin konepajaan hankittiin vuonna 2013 RUF briketöintilaitteisto, jonka toimitti ja asensi paikalleen Industrial Trading Helsinki yhtiö, joka on toimittanut Suomeen useita vastaavia yksiköitä eri konepajoille (kuvio 14). Tämä laitteisto suunniteltiin niin, että sillä briketöidään alustavasti ainoastaan alumiinilastuja, jonka takia briketöinnissä ei tarvita lastunmurskainta tai lastulinkoa. Tämä siksi, että leikkuunesteenä on käytetty pelkkää

emulsionesteitä, jolloin lastut voidaan viedä suoraan puristettavaksi siihen tarkoitetuilla lastuvaunuilla. Briketöintilaitteisto puristaa lastut tällä hetkellä noin 2 500 kg paineella per neliösentti ja tekee niistä brikettejä jotka painavat noin 1 kilon. Konepajassa on harkittu kuitenkin muutamien ongelmien poistamiseksi pienentää puristuspainetta 1 500 kg per neliösentti, jolloin valmiiden brikettien paino tietysti muuttuisi. Valmiit briketit viedään ja tyhjennetään kuviossa 14 näkyvällä astialla tehtaan ulkopuolella olevaan konttiin odottamaan sen pois vientiä. Suunnitelmassa on ollut myös automatisoida tämä vaihe jolloin kuljetin toimittaisi briketit suoraan ulkopuolella olevaan konttiin, jolloin henkilöstön työpanos pienenesi tältä osin.



Kuvio 14. RUF-briketöintilaitteisto Palodexin konepajassa

Industrial Trading Helsinki Oy on 1998 perustettu espoolainen yritys, jonka vetäjinä toimii Matti ja Ville Valakari. Yritys toimii konepajateollisuuden leikkuunesteiden puhdistuksen, lastunkäsittelyn ja ilman suodatuksen parissa. Lisäksi yrityksellä on maahan tuontia myös työstökoneiden erityyppisten varusteiden osalta. Tähän kuuluvat NC-pyöröpöydät ja kiinnittimet sekä nostomagneetit. [1]

Ruf Maschinenbau GmbH & Co. KG on yritys, joka valmistaa briketöintilaitteistoja Zaisertshofenissa Saksassa. Yritys on perustettu vuonna 1969 palvelemaan metsäsektorin yrityksiä, mutta vuonna 1988 yritys on siirtynyt valmistamaan briketöintilaitteistoja myös konepajayrityksille. Vuonna 2012 yritys on rikkonut jo 3 000 myydyn koneen

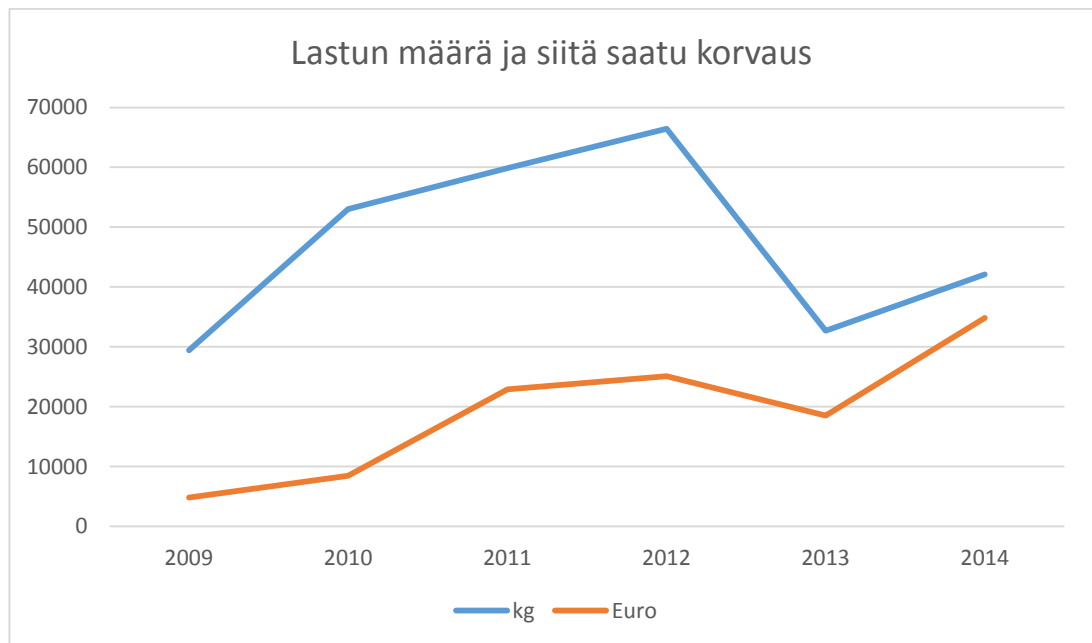
määrän yli 100:ssa eri maassa. Suomessa maahantuojana toimii Industrial Trading Helsinki Oy. [10]

Palodexillä laitteiston hankintaan päädyttiin, kun tutkittiin tarkemmin kuinka usein metallinkierrätysyritykset tyhjensivät jätekontteja ja kuinka paljon metallijätteiden kuljetuksista maksettiin, sekä paljonko metallijätteen myymisestä saatiin. Tämän lisäksi huomattiin, että käytössä olevat lastunsäilytyskontit olivat vanhoja ja vuosivat leikkuunesteitä pihamaalle. Tämä aiheutti sekä ylimäärästä työpanosta, että vaaran ympäristön saastumiselle. Koska metallijäte ei ollut puristettuna pienempään muotoon, vaativat ne myös runsaasti tilaa, sekä niiden käsittely vaati henkilöstöltä runsaasti työaikaa.

6.2 Lastunmäärä ja sen myynti

Vuoden 2014 lopussa saatiin ensimmäinen vuosi täyteen siitä, kun briketöintilaitte oli otettu käyttöön. Tällöin pystyttiin tarkastelemaan, kuinka laitteisto oli vaikuttanut metallijätteiden käsittelyyn ja siitä saataviin tuloihin (kuvio 15). Näitä tarkasteltaessa huomattiin kuinka paljon rahaa vähentyneet lastunkuljetukset kierrätysyritykseen olivat säästäneet ja kuinka paljon enemmän rahaa oli saatu myydyistä briketeistä, verrattuna metallilastuihin. Lisäksi huomattiin, että koko ympäristö konepajassa ja sen ulkopuolella oli siistiytynyt huomattavasti, jopa siinä määrin, että siitä annettiin erityismainintoja monissa eri auditoinneissa niin suomalaisilta kuin kansainvälisiltäkin toimioilta.

Kuviossa 15 näkyy se, kuinka lastuista saatu hyvitys on muuttunut siitä, kun on siirrytty briketöimään alumiinijätettä. Sininen käyrä kertoo kilomäärän, joka kunakin vuonna on toimitettu jätteen käsittelijälle ja oranssi käyrä paljonko myynnistä on saatu voittoa. Näissä käyrissä on otettu huomioon kaikki kulut, kuten esimerkiksi jätteiden vientihinnat. Briketöintilaitteisto otettiin käyttöön vuonna 2013 ja kuvassa näkyikin hyvin se, minkälaisen muutoksen se aiheutti molemmille käyrille.



Kuvio 15. Lastun määrä ja siitä saatu korvaus.

6.3 Briketöinnistä talteen saatu leikkuuneste.

Briketöinti prosessissa leikkuunestettä saatiin takaisin noin 300 litraa viikossa, jossa leikkuunesteen konsentraatioprosentti oli noin 14. Eli 100 prosenttisena leikkuunesteenä talteen tuli viikossa noin 42 litraa, joka muutettuna vuoden ajalle tekisi noin 2 200 litraa. Litrahinta Fuchsin Ecocool Ultralife A leikkuunesteellä oli suurin piirtein 6,5 euroa, joten kyseeseen tulisi noin 14 300 euron säästöt. Lisäksi säästöä lisää myös henkilökunnan työmäärän väheneminen.

Ensimmäisenä ongelmana talteen otetussa leikkuunesteessä oli se, kun se pumpattiin nauhasuodattimen läpi briketöintilaitteistolta sille varattuun säiliöön. Tällöin luultiin, että se olisi sen avulla käyttökelpoista. Mutta se alkoi ajan myötä muuttua kahdeksi tai useammaksi nestefaasiksi, eli sen pintaan nousi sekoittumatonta öljyä. Tämä johtui osaksi siitä, että neste joutui seisomaan liian pitkiä aikoja säiliössä, ilman että sitä mitenkään suodatettiin tai käsiteltiin. Tämän öljyn erottamiseen otettiin kokeeksi Saksasta öljynerotinlaite (kuvio 16), jossa oli myös UV-valo mahdollisten bakteereiden tuhoamiseksi.



Kuvio 16. MKR öljynerotuslaitteisto [1]

MKR Metzger on Monhamissa Saksassa toimiva yritys, jonka toimenkuva on nesteiden erilaisten suodatustapojen kehittäminen. Yritys on perustettu vuonna 1990 Andrei Metzgerin voimin. Nykyään yrityksessä toimii 40 ihmistä ja se toimittaa suodatinlaitteistoja Eurooppaan, Pohjois-Amerikkaan ja Aasiaan. Suomessa laitteiden maahantuojana toimii Industrial Trading Helsinki Oy.[15]

Tämä öljynerottaja toimii sillä periaatteella, että neste kerätään leikkuunestesäiliöstä nesteen pinnalla kelluvan suuttimen avulla öljynerottajan omaan säiliöön. Kun nestettä pumpataan oikealla paineella säiliössä oleviin useisiin lamelleihin alhaalta ylöspäin, pyrkii neste ja öljy erottumaan. Sen jälkeen, kun säiliö on täynnä, alkaa säiliössä olevaan ylivuototilaan valumaan leikkuunesteen pinnalle kertynyttä öljyä, joka siirretään pumpulla eri säiliöön. Samalla säiliössä oleva neste, jonka emulsio on kunnossa, valutetaan ohuena kalvona UV-valon ohi. Tämän pitäisi poistaa mahdolliset bakteerit leikkuunesteestä, ilman että se tuhoaa leikkuunesteen ominaisuuksia. Tämän jälkeen leikkuuneste olisikin valmis siirrettäväksi työstökoneelle.

Kun laitetta oli käytetty kokeeksi vajaan kuukauden, huomattiin silmämääräisesti nesteen olevan puhtaampaa, kuin ennen öljynerottimen käyttöä. Tällöin tarkoitus oli ostaa

laite, jonka hinta oli noin 10 000 euron tasolla. Ennen ostopapereiden allekirjoittamista tehtiin kuitenkin useita laboratorioskokeita Suomessa ja Saksassa nesteen laadun varmistamiseksi ja nämä kokeet antoivat puhtaat tulokset näytteille, eli niissä ei ollut mitään ylimääräisiä aineita tai bakteerikasvustoa. Tällöin kahden työstökoneen leikkuunestesuoittimet tukkeutuivat ja niistä löytyi jotain harmaata massaa. Näissä työstökoneissa käytettiin leikkuunestettä, joka oli peräisin briketöintijärjestelmästä.

Pienen harkinnan jälkeen päätettiin palauttaa laite ja alkaa tutkia johtuiko tukkeutumiset briketöintilaitteistosta tulevasta leikkuunesteestä. Useita näytteitä otettiin eri työstökonejärjestelmistä, jotta voitaisiin todeta onko briketöintikoneelta tulevassa leikkuunesteessä enemmän ylimääräisiä partikkeleita kuin muissa nesteissä. Tuloksia tutkiessa pieniä alle 5 myytä olevia partikkeleita löytyikin erittäin paljon leikkuunesteestä joka oli tullut briketöintilaitteesta. Tällaisten hyvin pienten partikkeleiden ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa mitenkään erityisesti leikkuunestesuoittimiin, joiden sisähalkaisija on huomattavasti suurempi. Ongelman todettiin aiheutuneen siitä, että leikkuuneste ei kierrä keskeytyksettä, vaan pysähtyy aina silloin, kun työstöä ei tapahdu. Välillä seisokki voi olla useita tunteja ja joskus jopa päiviä, tällöin nämä pienet partikkelit todennäköisesti alumiinisuolojen avustuksella kerääntyvät yhteen ja aiheuttavat tukoksen.

Tämän jälkeen suunniteltiin voitaisiko jollakin tapaa suodattaa paremmin tämä leikkuuneste, jotta saataisiin siitä pienet partikkelit pois. Otimme yhteyttä Bauer Water technology Oy:n Bauer-Cobolt tuotesarjan Suomen edustajaan Tomi Mähöseen, jonka kanssa haettiin ratkaisua tälle ongelmalle. Ensimmäisessä suodatussysteemikokeilussa suunniteltiin puhdistuslaitteistoa siten, että briketöintilaitteistosta pumpataan leikkuuneste 100 myyn kangassuodattimen läpi yhden kuution välisäiliöön, josta neste edelleen pumpataan kolmitieventtiilin kautta 15 myyn patruunasuodattimen läpi pääsäiliöön. Patruunasuodattimia on kaksi, jotta kun toinen patruunasuodatin tukkeutuu, niin paine-erosäätimen avulla siirretään pumppaus toiseen suodattimeen ja tukkeutunut suodatin voidaan vaihtaa. [16]

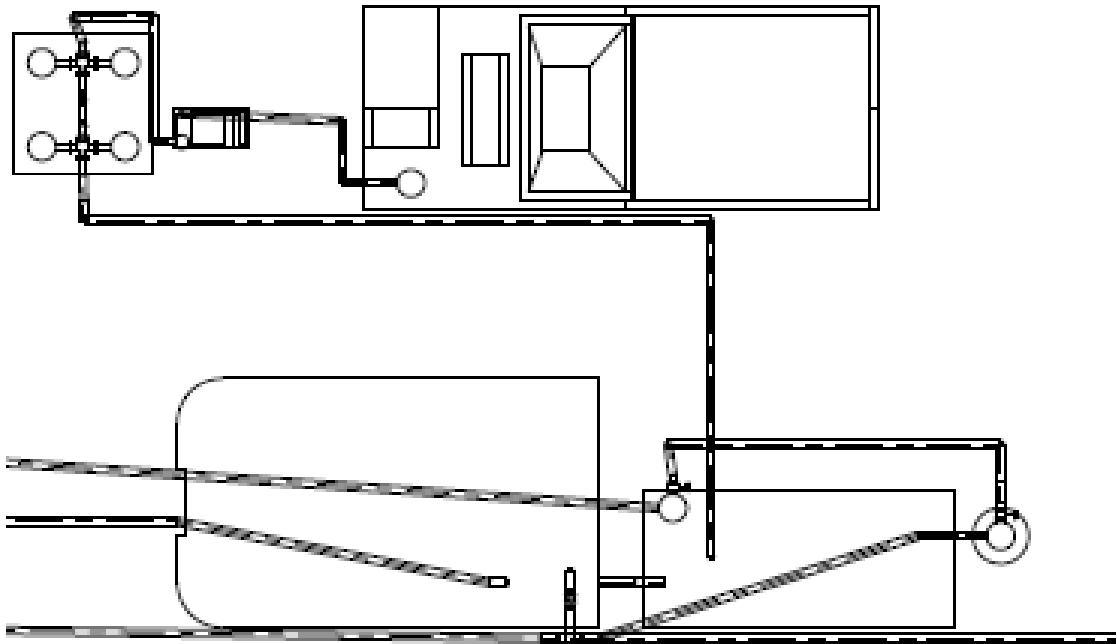
Suodatinsuunnittelun toisessa vaiheessa päädyttiin käyttämään osana ratkaisua puhdistussysteemiä, joka näkyy kuviossa 17. Se on suunniteltu suodatusjärjestelmäksi työstökoneen leikkuunesteille. Siinä käytetään neljää eri patruunasuodatusyksikköä, jotka kuitenkin toimivat pareittain (kuvio 18). Eli kaksi 50 myyn suodatinta on kytketty yhteen, niin että paineensäätöyksikkö määrittelee, kumpi patruunoista on käytössä. Tämän jälkeen neste siirtyy toiselle patruunaparille, jossa on kaksi 15 myyn pat-

ruunasuodatinta, joiden toimintaa ohjailee myös paineensäätöyksiköt. Ne määräävät kumpi patruunoista on käytössä. Tämä malli otettiin kokeiluun huhtikuussa 2014 yhdellä työstökoneista ja se on toiminut moitteettomasti, sekä leikkuunesteen laatu silmämääräisesti näyttää erittäin hyvältä. Kuten kuviossa 18 näkyy, briketöintilaitteesta neste pumpataan 100 myyn kangassuodattimen läpi välisäiliöön, josta se siirtyy 50 myyn ja 15 myyn patruunasuodattimien läpi leikkuunesteiden pääsäiliöön. Sieltä sitä kierrätetään työstökeskuksissa keskeytyksettä, niin ettei sen virtaus pääse pysähtymään liian pitkäksi ajaksi.



Kuvio 17. Patruunasuodatin

Bauer-Cobolt on tuoteperhe, joka on suunniteltu metalliteollisuuden tarpeisiin. Se pitää sisällään keskitettyjä leikkuunestejärjestelmiä ja yksittäisiä räätälöityjä nesteen käsittelyjärjestelmiä. Bauer-Cobolt kuuluu Bauer Watertechnology-yritykseen ja sen Suomen projekti-insinöörinä toimii Toni Mähönen. Yhtiön kotipaikka on tällä hetkellä Vantaalla ja yhtiön perusosaaminen ja sen kulmakivi Suomessa ja muualla maailmassa on veden puhdistusjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Mutta yritys on kuitenkin voimakkaasti lähtenyt Cobolt tuoteperheellään mukaan konepajojen ja tehtaiden leikkuunestejärjestelmien kehittämiseen ja suunnitteluun. [17]



Kuvio 18. Briketöintilaitteelta tulevan nesteen suodatus

6.4 Yhteenveto briketöinnistä

Käyttökokemusten perusteella briketöintilaitteiston toiminnasta, voidaan kertoa se, että hanke on onnistunut niin ekologisesta näkökulmasta kuin taloudellisestikin. Yritys on saanut runsaasti myönteistä palautetta konepajan siisteydestä ja tämä voidaan pitkälti lukea briketöintilaitteiston ansioksi. Nyt pystytään säilyttämään metallijätteet siististi niiden omilla paikoillaan, ilman että niistä valuisi pitkin lattiaa ja pihamaita ylimääräisiä nesteitä. Taloudellisesti säästöt voidaan nähdä suoraan tuloksista, jotka näyttävät olevan kaikki mukaan luetuina noin 34 000 Euroa vuodessa. Tämä kertoisi siitä, että järjestelmän takaisinmaksuaika olisi noin kolme vuotta, jota voidaan pitää hyvänä saavutuksena.

7 Leikkuunesteet

Leikkuunesteet on kehitetty helpottamaan työstöä, eli kun metalleja työstetään toisella kovalla aineella, syntyy siinä erittäin paljon kitkaa ja sen myötä myös lämpöä. Tämä syntyvä kuumuus aiheuttaa ongelmia työstön onnistumiseen, pois sulkien keraamiset työkalumateriaalit. Liiallinen kuumuus pyrkii sulattamaan tai halkaisemaan työstöterät ja vaurioittaa kappaleen työstöpintoja. Jotta työstötilanne saataisiin lämpötilojen ja työstettävyyden kannalta optimitilaan, niin pyritään valitsemaan siihen sopiva leikkuuneste tai öljy. Nämä leikkuunesteet voidaankin jakaa kolmeen pääkategoriaan, joita ovat leikkuu-öljyt, synteettiset leikkuunesteet ja emulsionesteet. Tämän lisäksi on suuri määrä erilaisia lisäaineita, joilla pyritään parantamaan työstön onnistuvuutta.

7.1 Leikkuu-öljyt

Leikkuu-öljyt ovat yleensä mineraali- tai eloperäisiä öljyjä. Mineraalipohjaisten öljyjen rakenne perustuu täysin hiilivetyihin ja niiden voiteluominaisuudet ovat erittäin hyvät. Öljyihin ei yleensä sekoiteta mitään muita aineita tai emulsioita, vaan niitä käytetään sellaisenaan ja tästä johtuen öljyjen käyttöikä yleensä on pitkä. Leikkuu-öljyn heikkouksena voidaan pitää sitä, että kuumentuessaan liikaa, sen voiteluominaisuudet heikkenevät ja silloin joudutaan turvautumaan EP-lisäaineisiin. Näiden lisäaineiden toiminta perustuu lisäaineessa olevaan rikkiin, fosforiin tai klooriin, jotka muodostavat kalvon kappaleen ja työkalun välille. Nämä kalvot saadaan aikaiseksi lisäaineen lisäksi lämpötilan ja paineen avulla. Leikkuu-öljyjen pitkäikäisyys johtuu siitä, että lähes vedettömässä tilassa bakteeri- ja homekasvusto ei pysty kasvamaan. [18]

7.2 Synteettiset leikkuunesteet

Synteettiset leikkuunesteet voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, joita ovat täysi- ja puolisynteettiset leikkuunesteet. Täyssynteettiset leikkuunesteet voidaan jakaa vielä kolmeen eri luokkaan, eli yksinkertaisiin liuoksiin, monimutkaisiin liuoksiin ja emulsioihin. Nämä leikkuunesteet eivät sisällä öljyjä, vaan ne ovat veden, sekä eri kemikaalien ja saippuoiden seoksia.

Yksinkertaiset liuokset pitävät sisällään ainoastaan yhdistelmiä vedestä ja erilaisista suoloista. Monimutkaiset liuokset ovat muuten samankaltaisia kuin yksinkertaiset liuok-

set, mutta niihin on lisätty synteettisiä voiteluaineita. Puolisyntheettiset leikkuunesteet puolestaan ovat käytännössä emulsiota, joissa emulsiota muodostavien aineiden osuus on suurempi ja mineraali-öljyjen osuus pienempi kuin tavallisissa emulsionesteissä. Näitä nesteitä kutsutaan yleisesti mikroemulsioksi näiden pienen pisarakoon vuoksi. Puolisyntheettisten leikkuunesteiden parhaat ominaisuudet tulevat esiin sen jäähdytyskyvyssä, kun voitelukyky sen sijaan jää heikommaksi kuin normaaleilla emulsionesteillä. [18]

7.3 Emulsionesteet

Emulsionesteiksi kutsutaan yleisesti nesteitä, jotka ovat kahden tai useamman nesteen seoksia. Näissä emulsiot määrittyvät nestepisaroiden koon mukaan, eli yli 0.1 mm pisarakoon nesteet ovat maitomaisia ja tätä pienemmän pisarakoon nesteet ovat kirkkaita. Emulsiot syntyvät yleensä veden ja öljyn seoksista. Näissä aineissa toinen nesteistä pyrkii kemikaalien avulla muodostamaan erittäin pieniä pisaroita, jolloin pintavarauksensa ansiosta se pystyy sekoittumaan toiseen nesteeseen. Lisäksi emulsioliuokseen lisätään myös erilaisia lisäaineita parantamaan lämmönkestoa, käyttöikää, sekä estämään työstölaitteisiin kohdistuvaa korroosiouhkaa. Haittapuolena emulsionesteissä on siinä helposti syntyvät home- ja bakteeriongelmat, jotka lyhentävät leikkuunesteen ikää huomattavasti. [18]

7.4 Leikkuunesteiden lisäaineet

Leikkuunesteisiin lisätään usein lisäaineita, joilla pystytään parantamaan tai poistamaan nesteessä olevia ominaisuuksia. Erityisesti pyritään tasapainottamaan nesteen pH-arvoja, jotta erilaiset kasvustot pystytään pitämään kurissa. Lisäksi usein tärkeää on päästä vaikuttamaan nesteen lämmön- ja paineensietokykyyn, sekä myös leikkuunesteen voitelukykyä on joskus hyvä päästä lisäämään.

Emulgaattorit ovat emulsion muodostamista edistäviä aineita, joissa toinen pää on yleensä pooliton ja toinen pää on polaarinen. Pooliton ominaisuus tarkoittaa sitä, että aineen elektronegatiivisuuslukujen erotus on alle 0.1 eli alhainen ja tällöin polaarilla toisella päällä onkin taipumus muuttaa ympäröivää elektronijakaumaansa ulkoisen vaikutukseen vuoksi. Yleisemmin käytettyjä kemikaaleja, jotka toimivat emulgaattoreina ovat saippuat, synteettiset vesipesuaineet sekä rasva-alkoholit. [18]

Jotkut materiaalit kuten sinkitetyt teräkset, alumiinit ja kupari vaativat leikkuunesteisiin passivointiaineiden lisäyksen, jotta päästään värihaitoista eroon. Näitä syntyy silloin kun nesteessä olevat vieraat aineet reagoivat työstökappaleen kanssa, niinpä lisäämällä tyyppiyhdisteitä ja sekundäärisiä amiineja tästä ominaisuudesta päästään eroon. [18]

Leikkuunesteet, joissa yhtenä yhdisteenä on runsas vesi, korroosio aiheuttaa ison ongelman työstettävälle materiaalille, työstökoneelle ja työkaluille. Tällöin nesteeseen täytyy lisätä boraatteja, nitraatteja ja fosfaatteja, jolloin tilanne voidaan pitää hallinnassa. Työstölaitteen ruostuminen saattaa pilata täydellisesti liukupinnat ja mittasauvat, jolloin koneen tarkkuus häviää ja työstön lopputulos ei ole toivottu.[18]

Hapettumisenestoaineilla pyritään estämään vaurioiden syntyä työstökoneille ja työkaluille. Tilanne syntyy, kun työstettävä kappale jostain syystä alkaa reagoida hapen ja leikkuunesteen kanssa. Tällöin lisättävät aineosat koostuvat fosfaateista, sulfaateista ja amiineista. Hapettuminen tuhoaa myös leikkuunestettä, jolloin sen työstöominaisuudet heikkenevät.[18]

Leikkuunesteen vaahtoaminen aiheuttaa monia ongelmatilanteita työstönaikana. Nesteen perusominaisuudet kuten jäähdytys-, voitelu- ja huuhtelukyky katoavat totaalisesti, tällöin työkalut voivat tuhoutua ja pinnanlaatu kappaleessa kärsii. Lisäksi isona ongelmana on nesteen tulviminen lattialle, kun säiliöihin ei mahdu vaahtoutunutta nestettä. Tilanteen purkamiseksi lisätään tällöin nesteeseen kalkkiyhdisteitä, suoloja, vahaemulsioita ja silikoniöljyjä. [18]

Leikkuunesteiden yksi isoimmista ongelmista on niihin syntyvät bakteeri ja sienikasvustot. Nämä tuhoavat ajan myötä leikkuunesteen kokonaan ja aiheuttavat vakavia haju- ja allergiahaittoja. Tämä ongelma on yleinen leikkuunesteissä, joissa käytetään vettä, tällöin sieni- ja bakteerikasvusto saa pinnan johon ne asettuvat. Ravintona kasvustot käyttävät leikkuunesteiden orgaanisia yhdisteitä. Näihin ongelmiin käytetään biosidejä, joita ovat muun muassa. pestisidit ja fungisidit. Biosidin käytössä yhtenä ongelmana on se, että ne ovat myrkkijä ja voivat aiheuttaa allergisia reaktioita.

7.5 Leikkuunestejärjestelmä

Leikkuunestejärjestelmät voivat olla yhdelle koneelle, koko tehtaalle tai rajatuille alueelle keskitettyjä järjestelmiä. Jokaiselle työstökoneelle on yleensä jo ostovaiheessa rä-

tälöity jonkunlainen leikkuunestejärjestelmä säiliöineen. Mutta kun prosesseja tehtaassa aletaan kehittää, joudutaan usein ensimmäiseksi miettimään voitaisiinko leikkuunestejärjestelmää muuttaa siten, että saataisiin työstökoneen käyttöaste mahdollisimman korkeaksi. Yleensä se tarkoittaa joko nestesäiliön isontamista tai useamman koneen liittämistä samaan leikkuunestejärjestelmään.

Yksittäisjärjestelmät ovat jokaisen koneen kyljessä olevia järjestelmiä, joista löytyy aina leikkuunestesäiliö ja nestepumput. Järjestelmä toimii siten, että työstökaralta suihkuteetaan läpijäähdytyksenä tai karan ulkopuolisena jäähdytyksenä leikkuuneste työstävän työkalun ja työstettävän pinnan väliin tai ainakin mahdollisimman lähelle sitä (kuvio 19). Tällöin lämpötila työstötilanteessa saadaan stabiloitua, sekä työkalu saadaan pysymään pitkään toimivana ja aihion pinta sekä työstettävät mitat haluttuina. Tällaisessa järjestelmässä nesteen laadunvalvonta tapahtuu yleensä manuaalisesti, eli koneistaja seuraa refraktometrillä leikkuunesteen konsentraatioprosentin tasoa ja ajoittain myös sen pH-arvoja. Lisäksi koneistaja arvioi leikkuunestettä sen ulkonäön ja hajun perusteella.

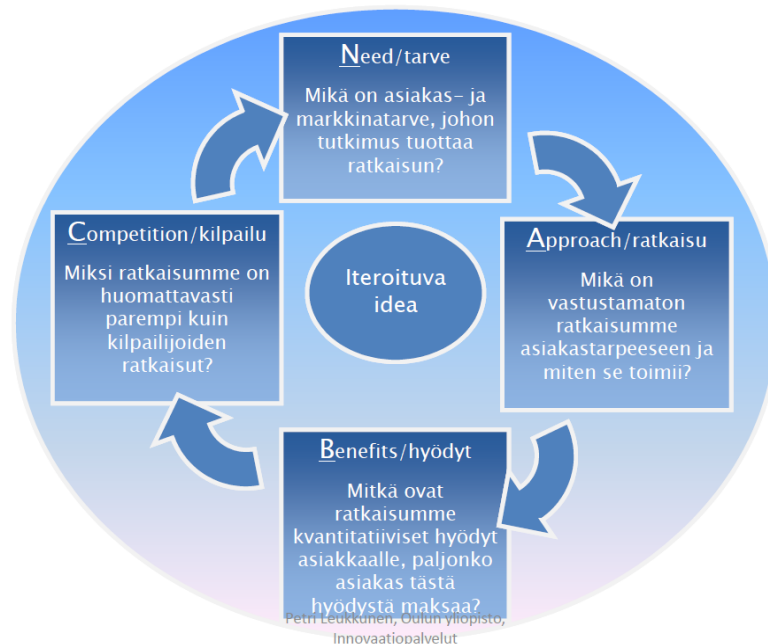


Kuvio 19. Leikkuunesteen kohdistus

8 Leikkuunestejärjestelmän kokonaisuuden suunnittelu.

Uuden projektin, hankkeen tai idean luomiseen kannattaa käyttää siihen suunnattuja työkaluja ja suunnittelumalleja. Tässä käytetään ”mindmapin” apuna Stanford Research Instituutin suunnittelemaa NABC-mallia. Mallin toiminta perustuu neljään askeleeseen, joiden avulla kyseistä ideaa iteroidaan mahdollisimman paljon. Malli on perustaltaan liiketoimintapohjainen, mutta sitä voidaan käyttää myös perustutkimuksessa. Tätä mallia käyttävät muun muassa yliopistot innovaatiotoiminnassaan sekä Tekes rahoitusmuotojensa suunnittelussa.

Askeleet ovat ”need” eli tarve, joka muodostetaan ongelmasta, kehityskohteesta tai ideasta. ”Approach” eli ratkaisu tulee seuraavana askeleena ja tässä pyritään löytämään työkalut siihen, kuinka kehityshanke toteutetaan. Kolmantena askeleena tulee ”benefits” eli hyödyt, tässä osiossa todetaan, kuinka paljon tämä kehityshanke tulee tuottamaan ja esimerkiksi mikä on sijoituksen takaisinmaksuaika. Neljäntenä askeleena on ”competition” eli kilpailu ja tässä lopputyössä se tarkoittaa vertailua uuden ja tämän hetkisen järjestelmän kanssa. Yleensä tässä NABC-mallissa tarve ja kilpailu ovat avainroolissa ja niistä muodostuu ratkaisut ja hyödyt. Alla olevassa kuviossa 20 voi nähdä mallin rakenteen. [20]



Kuvio 20. NABC-malli [20]

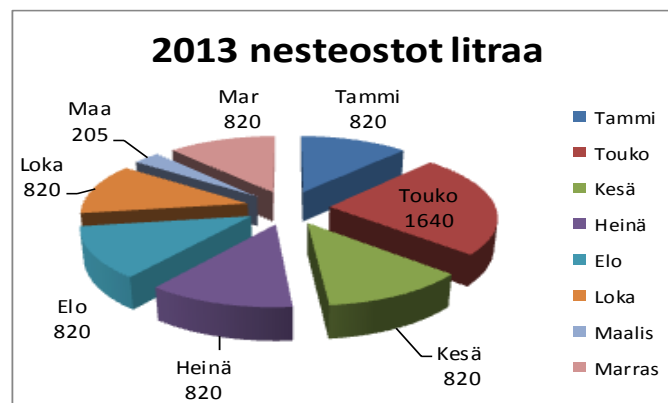
Tarve tähän leikkuunesteen puhdistusjärjestelmän suunnitteluun syntyi siitä, että konepajan toiminnassa huomattiin useita ikäviä ja toistuva tapahtumia, jotka aiheuttivat ongelmia. Leikkuunesteiden käyttöikä oli jostain syystä erittäin lyhyt ja leikkuuneste huonontuessaan aiheutti vakavia hajuhaittoja. Työstökoneista tulvi usein leikkuunesteitä lattioille, joka puolestaan aiheutti ympäristö- ja turvallisuusriskejä. Lisäksi huonolaatuinen leikkuuneste vaikutti työkaluihin ja työstölaatuun huonontaan niitä.

Ratkaisuna lähdettiin tutustumaan muiden konepajojen toimintaan ja sitä kautta löytämään joku toinen yritys, jolla on ollut samanlaisia ongelmia. Kun asioita oli tarpeeksi laajalti tutkittu, huomattiin se, että ehkä keskitetty leikkuunestejärjestelmä olisi avain tämän ongelman ratkaisuun. Tämän jälkeen oltiin yhteydessä eri suunnittelijoihin ja järjestelmien myyjiin, joilta saatiin tarvittavat lisäinformaatiot. Tietoina saatiin järjestelmien kustannukset, toimitusajat ja niiden toimintatavat. [16; 21; 22; 23; 24; 25; 26]

Kun kaikki tiedot oli saatu, päästiin laskemaan ja suunnittelemaan minkälaista hyötyä tällainen järjestelmä toisi. Heti aluksi tietoja analysoitaessa, huomattiin, että tällä keskitetyllä puhdistusjärjestelmällä pystyttäisiin pääongelmat helposti poistamaan. Eli yhdessä pääsäiliössä olevan leikkuunesteen tilaa pystytään kontrolloimaan paremmin, kuin silloin, kun se sijaitsee useammassa eri yksikössä. Myös sen konsentraatio- ja pH-arvoja voidaan mitata ja säätää yksinkertaisesti tarpeen mukaan. Lisäksi työstökoneisiin tulevat pinnanvalvontajärjestelmät estävät leikkuunesteiden tulvimiset lattioille.

Kun tietojen analysoinnissa menttiin syvemmälle, saatiin tietoja, joiden mukaan leikkuunesteen elinkaari voidaan nostaa jopa viiteen vuoteen. Sen lisäksi yhdessä säiliössä olevan nesteen haihtumispinta-ala on huomattavasti pienempi, joten nesteen haihtuminen hengitysilmaan tai muualle pienenee. Myös työkalujen ikä pitenee huomattavasti, koska tällöin päästään koneistamaan kappaleita juuri oikeanlaisella ja vahvuisella leikkuunesteellä ja lisäksi kappaleiden työstettävät pinnat pysyvät parempilaatuisena. Etuna tulee myös se, että kun konekohtaiset leikkuunesteiden puhdistusjärjestelmät poistuvat, antaa se lisäpinta-alaa konepajalle muuhun käyttöön. Jos keskitettyä leikkuunestejärjestelmää vertaa konekohtaiseen leikkuunestesysteemiin, voi laskelmien ja muista yrityksistä saatujen tietojen valossa olettaa, että 100 prosenttisen leikkuunesteen vuotuinen käyttö voisi tipahtaa noin kolmasosaan nykyisestä. Eli siitä syntyisi säästö joka puoltaisi tällaiseen keskitettyyn leikkuunestejärjestelmään siirtymistä.

Kuviosta 21 näkee vuoden 2013 leikkuunesteostot, eli ostomäärä koko vuonna oli vajaa 7 000 litraa. Siitä ei varsinaisesti löydy tietoa, kuinka useasti eri työstökoneille leikkuunesteet on vuoden aikana vaihdettu, mutta laskennallisesti 10 prosentin sekoitus-
suhteella veden kanssa, se tarkoittaa 70 000 litraa käyttövalmista leikkuunestettä. Leikkuunesteen käyttö jakautuu konepajassa neljän ison vaakakaraisen koneen lisäksi kuuden CNC-työstökeskuksen ja kolmen sorvikeskuksen välille. Tietoja eri koneiden käyttämistä leikkuunestemääristä ei ole saatavissa, joten tässä joudutaan arvioimaan leikkuunesteiden käyttöä työstökonekohtaisesti.



Kuvio 21. Nesteostot

Arvion mukaan neljän vaakakaraisen ja kahden eniten työstöaikaa käyttävien pystykaristen työstökoneiden leikkuunestekulutus on vähintään noin 2/3 koko kulutuksesta. Tällöin tämä vastaisi noin 4 700 litran vuosikulutusta 100 prosenttisesti leikkuunesteessä. Nämä kuusi konetta ovatkin tulossa ensimmäisenä tämän uuden keskitetyn leikkuunestejärjestelmän piiriin, joten näiden työstökoneiden leikkuunesteiden kulutuksen tutkiminen on ensiarvoisen tärkeää. Emulsionesteen litrahinta on ollut vuonna 2013 noin 8 euroa ja sen muodostuminen on riippunut toimittajasta, tehtaasta, työstettävästä materiaalista, sekä tässä tapauksessa punnan kurssista, joka on ollut vuonna 2013 oston kannalta epäsuotuisa. Leikkuunesteiden vuosittaiseksi ostohinnaksi määritty näiden koneiden osalta noin 37 600 euroa.

Tätä tapausta tutkiessa oletettiin että työstökoneille on vaihdettu uudet leikkuunesteet keskimäärin kuuden-kahdeksan kuukauden välein, joten siihen menisi vuodessa maksimissaan noin 1 200 litraa 100 prosenttista leikkuunestettä. Tästä voidaan todeta se, että jonnekin häviää näiden koneiden osalta vuodessa noin 3 500 litraa 100 prosenttis-

ta leikkuunestettä. Hävikki muodostuu pää-asiallisesti normaalista haihtumisesta, jota työstön aikana tapahtuu, mutta nestemäärä joka kirjataan hävikkinä, on kuitenkin liian suuri koneiden kapasiteetteihin nähden, joten asiaa tutkittiin lisää.

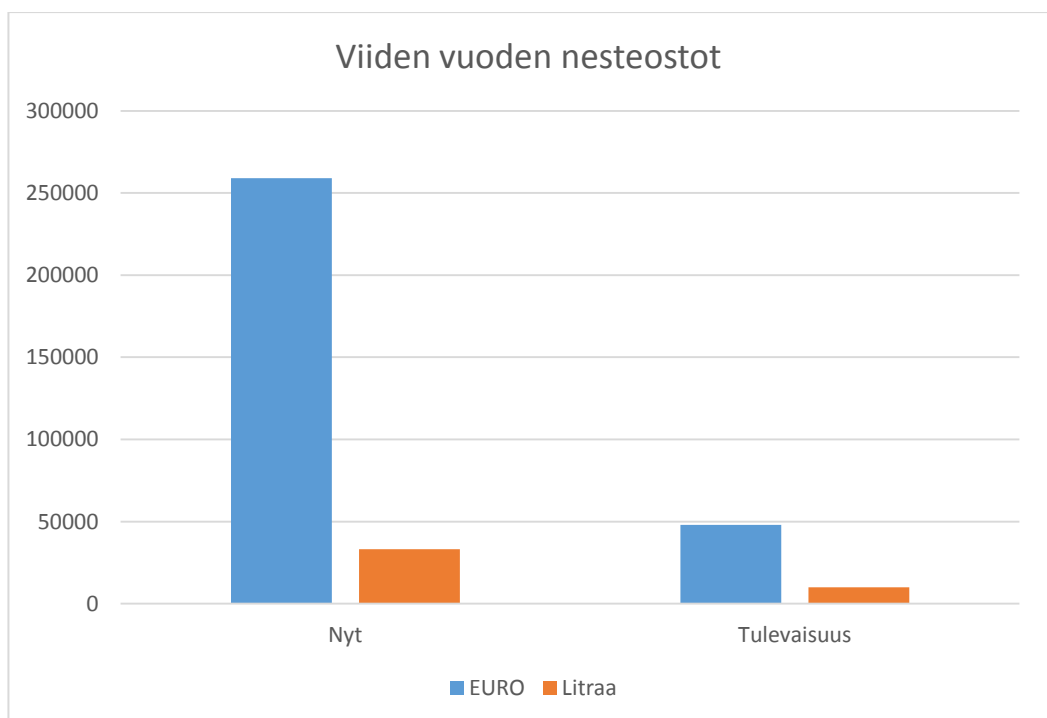
Tämän informaation perusteella aloitettiin tutkimus työstökoneiden poistoilman leikkuunestepitoisuuksien mittaamiseksi ja kuinka kanavissa kulkevaa höyrystynyttä leikkuunestettä voitaisiin uusiokäyttää. Ongelmaksi muodostui jo käytössä oleva ion-plast ilmanpuhdistuslaitteisto, jonka toiminta pyrki estämään uuden suodatusmenetelmän kokeilun. Kun kaikkien säätöjen ja erityyppisten kuristuslaippojen avulla saatiin Filtermist suodatuslaite työstökoneen katolle asennettua ja toimimaan, niin silloin pystyttiin saamaan lisää informaatiota poistoilmassa olevasta leikkuunesteestä (kuvio 22). Ensimmäisen kuukauden aikana suodatin keräsi yhdeltä työstökoneelta noin 15–20 litraa leikkuunestettä viikossa ja takaisin saadun leikkuunesteen konsentraatioprosentti oli noin 20 prosenttia. Joten sen mukaan 100 prosenttista leikkuunestettä saatiin takaisin 3-4 litraa viikossa, joka tekisi kaikki kuusi konetta mukaan lukien noin 900-1 200 litraa 100 prosenttista leikkuunestettä vuodessa.



Kuvio 22. Filtermist suodatinjärjestelmä

Näiden tietojen perusteella voidaan todeta, että liiallista leikkuunesteen haihtumista tapahtuu työstökoneissa, sekä myös koneiden vieressä olevilla yksitaisilla leikkuunesteiden puhdistusjärjestelmillä. Syynä siihen on se, että näiden puhdistusjärjestelmien yhteenlaskettu haihtumispinta-ala on liian suuri.

Näiden tietojen perusteella, kun leikkuunesteiden vaihtoväli kasvatetaan neljään tai jopa viiteen vuoteen ja kaikki mahdolliset leikkuunesteiden uudelleen käyttömahdollisuudet on huomioitu. Pystytään leikkuunesteen käyttö konepajassa pienentämään vajaseen kolmasosaan nykyisestä. Kuviossa 23 näkyy kuinka radikaali muutos olisi viiden vuoden aikana. Näin ollen pystyy keskitetyllä leikkuunestejärjestelmällä säästämään hyvien ja siistien työstö-ominaisuuksien lisäksi myös rahaa. Eli näiden aikaisemmin mainittujen faktojen yhteenlaskettuna säästönä tulee olemaan yli 40 000 Euroa vuodessa. Näin suunniteltuna laitteiston takaisinmaksuaika olisi noin kolme vuotta



Kuvio 23. Viiden vuoden nesteostot

8.1 Saadun informaation lajittelu

Maailmanlaajuisesti leikkuunesteiden puhdistusjärjestelmiä valmistavia yhtiöitä on monia ja myös laitteiden välittäjiä. Saaduista informaatioista koettiin parhaaksi rajoittaa toimittajat Europan alueelle niin, että heillä on myös toimiva huoltosysteemi Suomessa. Tässä kartoituksessa loppusuoralle pääsivät Industrial Trading Helsinki (Mayfran), Bauer-Cobolt ja Vivex (kuvio 24). Nämä yhtiöt ja heidän edustajansa tekivät tarjoukset leikkuunestejärjestelmän toimittamisesta, tutustuttuaan konepajan toimintaan ja sen kapasiteetteihin. Hinnat pyörivät noin 90 000 - 170 000 euron välillä riippuen siitä, millälaisia ominaisuuksia järjestelmältä vaadittiin.



Kuvio 24. Bauer-Cobolt leikkuunesteen puhdistusyksikkö [17]

8.2 Tislausjärjestelmä

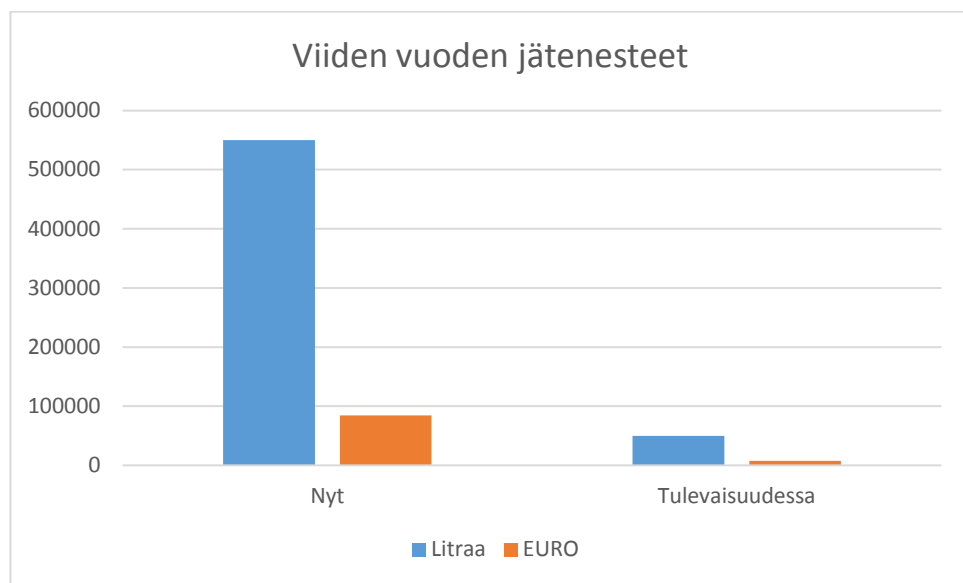
Lisänä järjestelmän suunnittelussa oli myös tislausjärjestelmän yhdistäminen keskitettyyn leikkuunestejärjestelmään. Tämä toisi mahdollisuutta koordinoida vielä paremmin koko leikkuunesteen elinkaarta ja saada siitä myös vielä enemmän ekologisesti uskottava (kuvio 25). Tällaiset tislauslaitteistot perustuvat alipaineessa matalalla lämpötilalla tapahtuvaan kiehumiseen, jolloin vesi höyrystyy ja leikkuunesteessä olevat muut aineosat siirtyvät jätteisiin. Vesihöyry jäädytetään takaisin nestemäiseksi ja sen jälkeen tämä tislattu vesi voidaan joko huuhdella viemäriin, tai ottaa uusiokäyttöön leikkuunestejärjestelmässä



Kuvio 25. Tislausjärjestelmä [17]

Niin sanottuja ongelmallisia jätenesteitä, jotka sisältävät leikkuunestettä ja tehtaassa muuten käytettyjä puhdistusnesteitä, syntyy vuodessa Palodexin konepajassa melkein 110 000 litraa ja tämä koko määrä täytyy toimittaa Ekokemille käsiteltäväksi. Kuljetusmäärät per kuljetuskerta vaihtelevat 5 000 - 10 000 litraan välillä, joten kuljetuskertoja tulee vuosittain vähintään 12. Jokainen nesteensiirto-operaatio maksaa ja jokaisella siirtokerralla on riski valumiin. Lisäksi tehtaalla alueella liikkuu muutenkin paljon kuljetusautoja ja ihmisiä, joten jos on mahdollista vähentää tankkiautojen liikkumista alueella, on se suotavaa.

Tämän jätenesteen rakenteen tutkimisen jälkeen, laitetoimittajat päätyivät siihen tulokseen, että tislausprosentti jätenesteelle olisi noin 90. Tämä tarkoittaa sitä, että 90 prosenttia jätenesteestä saadaan tislattua ja vain 10 prosenttia menee jätteeksi. Kun tässä tapauksessa jätenesteen määrä vuodessa on noin 110 000 litraa, saadaan siitä tislattuna vetenä uusiokäyttöön noin 100 000 litraa ja jäteliejua tulee ainoastaan 10 000 litraa eli yksi kuljetusautollinen. Tämä ei pelkästään luo ympäristöystävällistä kuvaa, vaan tuottaa myös huomattavasti säästöjä. Litrahinta tuhottavaksi menevälle nesteelle oli vuonna 2014 noin 0.15 euroa, joten säästö vuodessa olisi noin 15 000 euroa. [17]

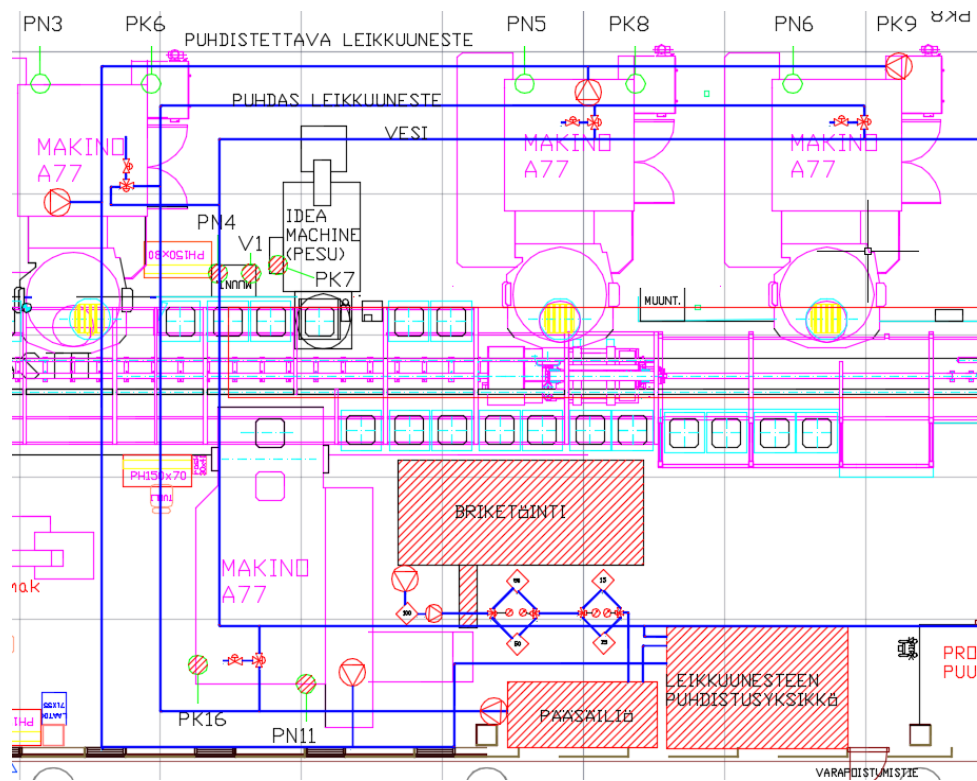


Kuvio 26. Viiden vuoden jätenesteet

Tämä järjestelmä otettiin käyttöön Palodexgroupin konepajassa vuosien 2014 ja 2015 vaihteessa. Järjestelmän valmisti Veolia, joka on yksi maailman suurimmista jäte- ja vesiteknologian osaajista. Maahantuonnista ja paikalleen asennuksesta vastasi Bauer Watertechnolgy Oy

9 Keskitetty leikkuunestejärjestelmä

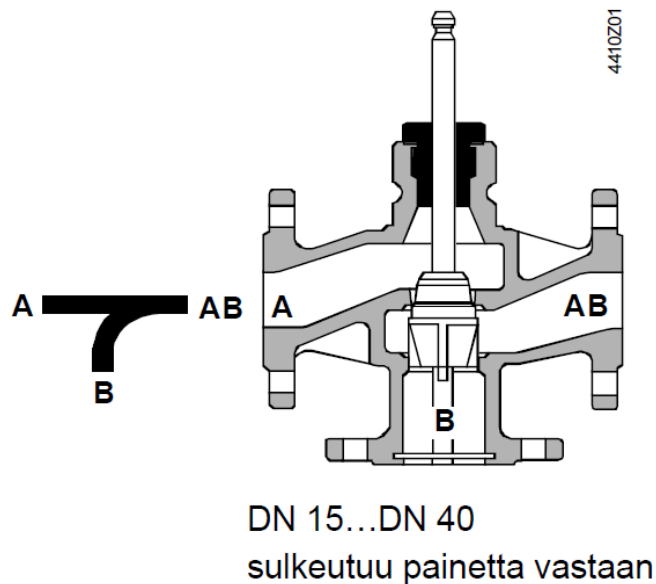
Ennen keskitetyn leikkuunestejärjestelmän suunnittelun aloittamista, pitää konepajasta löytää tarvittava lattiapinta-ala, jonne laitteet voidaan asettaa. Siinä on hyvä käyttää konepajasta jo löytyviä pohjapiirustuksia. Yleensä tällaiset piirustukset ovat DWG-muodossa ja kätevin tapa niiden muokkaamiseksi on käyttää jotain Auto deskin tuotetta, kuten tässä käytetään AutoCAD:a. Keskitetyn leikkuunestejärjestelmän perusperiaate ja rakenne on esitetty kuviossa 27. Järjestelmässä on kolme eri putkilinjastoa, joilla laitteiden väliset virtaukset toteutetaan. Vesilinja toimii normaalilla verkkopaineella ja on kytketty talon omaan kylmävesiverkostoon tai tislauslaitteesta tulevaan veteen. Puhdas leikkuunestelinja tulee pääsäiliöstä, jonka maksimitilavuus on 10 000 litraa ja sieltä leikkuuneste jaetaan taajuusmuuntajalla varustetulla pumpulla työstökeskuksiin. Puhdistettava leikkuuneste tulee jokaiselta koneelta omalla paluupumpulla leikkuunesteiden puhdistusyksikköön, jossa se puhdistetaan ja siirretään pääsäiliöön. Briketöinti-koneelta tuleva leikkuuneste toimitetaan sen sijaan omien puhdistusyksiköiden jälkeen pääsäiliöön.



Kuvio 27. Leikkaus konepajan pohjapiirustuksesta

Leikkuunesteen puhdistusyksikkö sisältää säiliön jossa on 100 prosenttista leikkuunestettä, vesiverkkokytkenät, kangassuodattimet, öljynerotusyksikön ja koko järjestelmää ohjaavan ohjausyksikön. Tällaisia puhdistusyksiköitä harvoin itse kannattaa alkaa rakentaa, vaan parempi on suunnitella ne toiminnot, jotka yksikköön haluaa, ja tilaa yksikön sellaisena. Esimerkiksi tässä tapauksessa yksikön ohjaus tapahtuisi Siemensin ohjausjärjestelmällä, joka tulee myös ohjaamaan työstökoneilla olevia venttiileitä, pintantureita ja muita säätöön liittyviä elementtejä. Myöskin yksiköstä pitää löytyä on-line konsentraatio- ja pH-mittaus ja kaikista näistä toiminnoista saatu data pitää saada ulos haluttuna aikana ja halutussa muodossa. Esimerkiksi Excel-pohjalle tehdyt tietokannat ovat hyviä, koska niitä voidaan helposti ja tehokkaasti analysoida.

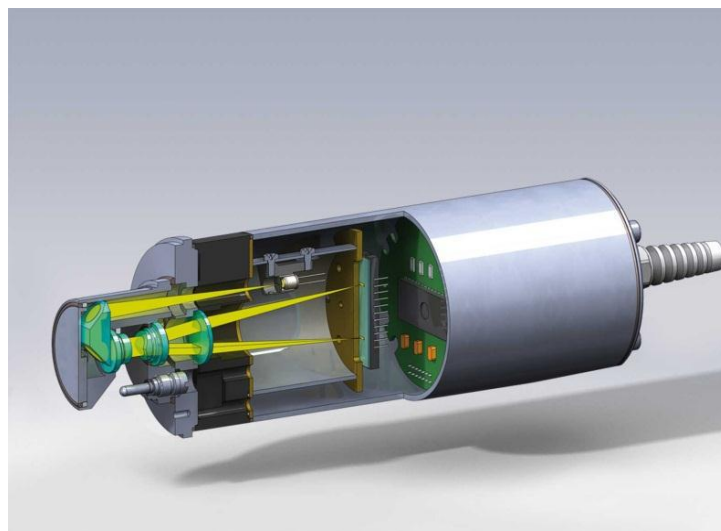
Tässä systeemissä puhdistusyksikkö on määräävä tekijä koko keskitetyssä leikkuunestejärjestelmässä. Se ottaa vastaan koneilta tulevan puhdistettavan leikkuunesteen ja puhdistaa sen, jonka jälkeen se siirtää puhtaan leikkuunesteen pääsäiliöön. Pääsäiliössä konsentraatiota mitataan on-line mittalaitteella ja sitä säädetään 100 - prosenttisen leikkuunesteen ja veden sekoituksella. Sekoittimena toimii kolmitieventtiili (kuvio 28) tai sekoituspumppu, johon on kytketty toimilaitte. Myös jokaisella työstökeskuksella on kolmitieventtiili tai sekoituspumppu, magneettiventtiili, työstökoneen säiliön pintavahti sekä paluupumppu, joita kaikkia Siemensin ohjausyksikkö myös kontrolloi.



Kuvio 28. Kolmitieventtiilin halkaisukuva [28]

Pääsäiliö pitää sisällään kaksi erilaista pintavahtia esimerkiksi ultraääni ja koho, sen lisäksi säiliön ja puhdistusyksikön kombinaatissa on kaksi taajuusmuuntajalla varustettua pumppua, joiden maksimitehot ovat noin 400 litraa minuutissa, mutta toiminta-alue tulee olemaan noin 200 litraa minuutissa. Toinen pumpuista pumppaa puhdistimelta pääsäiliöön ja toinen pääsäiliöstä työstökeskuksille. Lisäksi pääsäiliössä voi olla erillinen öljynkeräyssysteemi, jos tarve vaatii. Tämä tulee toimimaan joko öljyskimmeri tyypisesti, tai ylimääräisen kellukeimurin avulla. Pääsäiliön leikkuunesteen konsentraatio pidetään seitsemässä prosentissa ja sitä mitataan automaattisesti kahden tunnin välein tai aina kun nestettä lisätään, tai sitä lähtee työstökoneille. PH-arvo pyritään pitämään noin kahdeksassa ja sitä mitataan automaattisesti kerran vuorokaudessa. Näitä molempia arvoja voidaan mitata niin usein kuin halutaan, mutta useampi päivittäinen mittaus ei tuo asialle lisäarvoa.

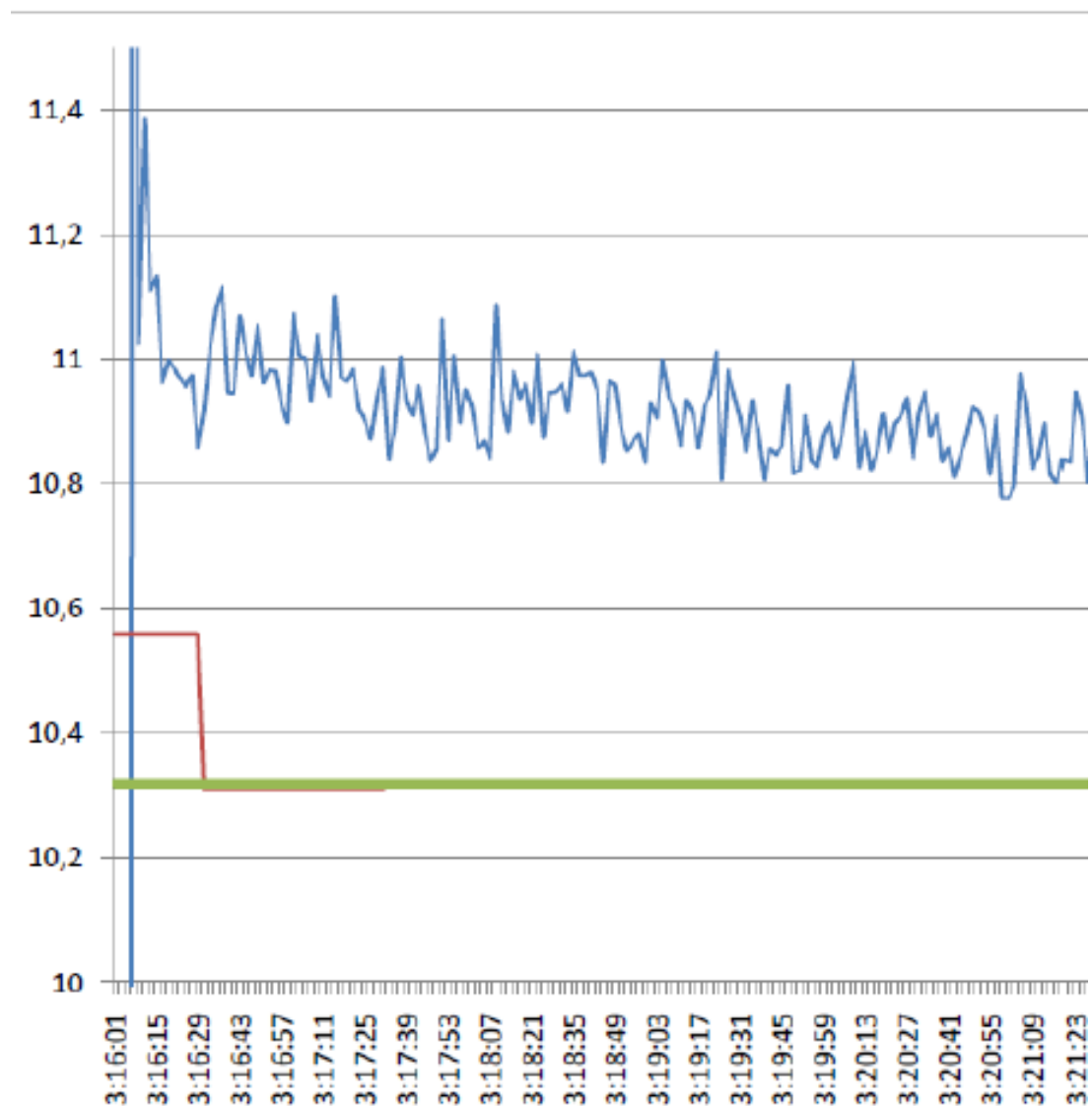
Leikkuunesteen konsentraation jatkuva automaattinen mittaus ei ole täysin yksinkertaista tai halpaa. Mutta se on tärkeää leikkuunesteen toimintakunnon varmistamiseksi ja sitä kautta se vaikuttaa työkalujen sekä työstön varmaan toimivuuteen. Tällainen PIOX R400 konsentraatiomittari (kuvio 29) perustuu valoon ja prismaan, joiden avulla se tutkii nesteen ominaisuutta. Laitteen sisällä kohdistetaan led-valo prisman pintaa kohden kun leikkuunestettä on siinä tietty kerros välissä. Tämän jälkeen prismasta heijastuu valo eri vaiheiden läpi CCD-kennolle, josta tämän heijastumisen avulla saadaan tarkasti tietää esimerkiksi mikä leikkuunesteen konsentraatioprosentti on.



Kuvio 29. Fleximin PIOX R400 on-line konsentraatio mittain [29]

Mittaustulokset saa raportoitua ja talletettua joko erilliselle Excel tiedostolle tai kuvion 30 mukaisesti aikaleimoilla varustetulle graafiselle käyrälle. Tämän tyyppisten laitteiden hinnat pyörivät noin 10 000 - 12 000 euroa kieppeillä, mutta myöskin markkinoilla on halvempia laitteita jotka mittaavat leikkuunesteen höyrystymisestä sen konsentraatioprosentin. Ainoana ongelmana tässä mittaustavassa on se, että mittaustulos saadaan ainoastaan yhdestä elementistä veden lisäksi. Joten emulsionesteestä, joka on eri aineiden sekoitus, pitäisi löytää se aineosa jolla konsentraatioprosentti voidaan määritellä.

[30; 31]



Kuvio 30. Mittaustuloksia konsentraatiomittarilla [29]

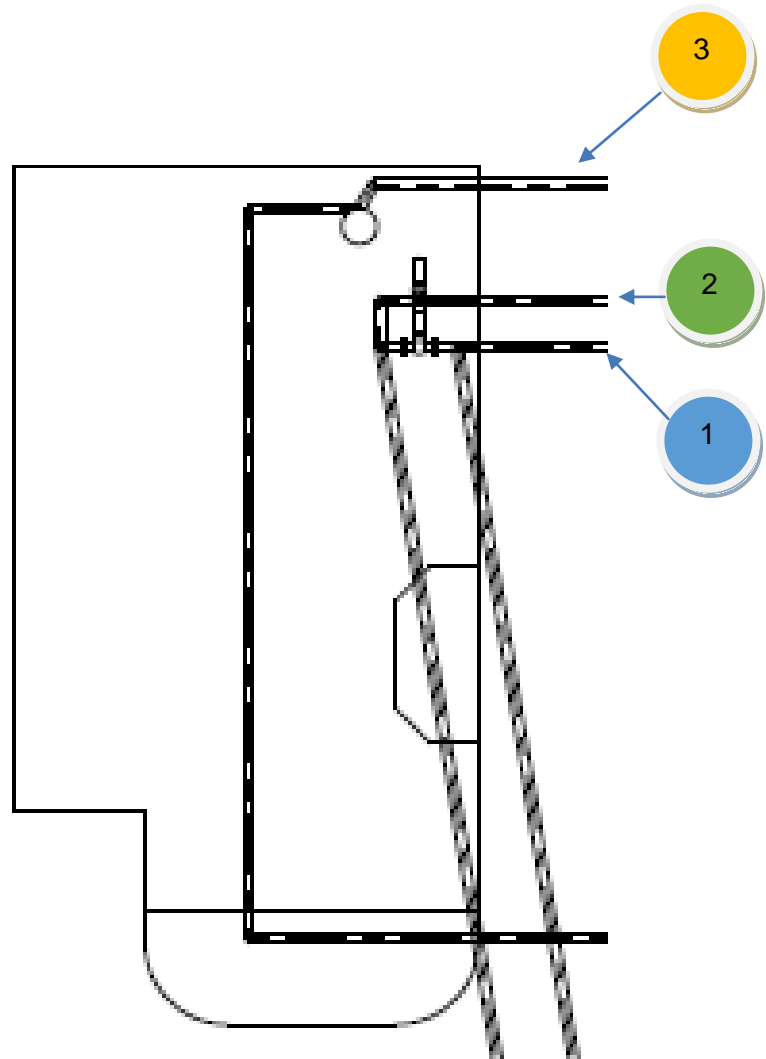
Tässä keskitetyssä leikkuunestejärjestelmässä konsentraatiomittareita voi olla toiminnassa joko pääsäiliön luona yksi ja jokaisella työstökeskuksella oma, tai pelkästään yksi, joka toimii puhdistusyksikön kanssa. Jos jokaisella koneella on oma konsentraation mittaussyksikkö, toimii järjestelmä tietysti nopeammin ja tarkemmin ja väärän datan esiintyminen on epätodennäköisempää. Mutta tämä on tietysti kustannuskysymys, koska mittauslaitteet, niiden asentaminen ja kalibrointi maksaa. Yhdellä leikkuunesteen konsentraatiomittarilla voidaan sen sijaan toimia siten, että samalla lailla kun otetaan näyte pääsäiliöstä, voidaan esimerkiksi pienillä alipainepumpuilla ottaa näyte jokaisen työstökoneen paluupumpun jälkeisestä leikkuunesteestä ja mitata kaikkien yksiköiden leikkuunesteiden näytteet samalla mittarilla, mutta eri aikaan.

Tästä herää varmasti kysymys, että miksi säätää ja kontrolloida tarkasti jokaisen koneen leikkuunesteen konsentraatioita. Vastauksena on, että mahdollisesti tehtaassa ajetaan eri koneilla erityyppistä työstöä ja myöskin kappaleita voidaan tehdä erilaisista materiaaleista. Esimerkiksi alumiinia työstettäessä normaalimenetelmillä, konsentraatioprosentti voi hyvin olla kuudesta kahdeksaan. Mutta kun porataan tai kierteitetään pitkiä reikä esimerkiksi teräsvaluun, voidaan hyvinkin tarvita jopa 15 % konsentraatiota, jotta työkalut eivät hajoa aihioon ja työstöjälki on hyväksyttävää.

Kuviossa 31 näkyy jokaisella työstökeskuksella olevat toimilaitteet. Ylin putki (keltainen) on linja puhdistettavaksi menevälle leikkuunesteelle ja jokaiselta työstökoneelta on oman paluupumpunsa avulla liitántä tähän linjaan. Paluupumppu on normaali tyhjiö- tai repijäpumppu jonka toiminta-alue on noin 50 litraa minuutissa. Pumppu käynnistyy silloin kun työstökoneen oman leikkuunestesäiliön pinta-anturiin määritelty yläraja ylittyy ja pysähtyy viimeistään silloin kun anturin alaraja alittuu. Vaikka työstökoneen leikkuunesteen säiliö olisi kokoajan ylärajan ja alarajan välissä menemättä niistä koskaan yli tai ali käynnistyy pumppu joka tapauksessa tunnin välein ja ajaa nesteepinnan säiliön alarajalle.

Keskimmäinen putki (vihreä) on puhtaan leikkuunesteen linja ja alempi putki (sininen) on vesilinja varustettuna takaiskuventtiilillä. Nämä molemmat linjat yhdistetään jokaisella työstökoneella toimilaitteella varustetulla kolmitieventtiilillä, tai sekoituspumpulla oikeassa suhteessa. Eli kun halutaan säätää esimerkiksi työstökoneelle seitsemän prosenttia vahvaa leikkuunesteseosta, täytyy ohjausyksikön tietää mikä on pääsäiliössä olevan leikkuunesteen vahvuus, sekä työstökoneella tällä hetkellä oleva leikkuunes-

teen pitoisuus. Tällöin ohjaus säättää automaattisesti venttiilin oikeaan suhteeseen. Jotta työstökoneen pinnankorkeuden säätö olisi toimiva, on jokaisella työstökeskuksessa kolmitieventtiilin lisäksi magneettiventtiili, joka sulkee ja avaa leikkuunesteen virtauksen työstökoneelle.

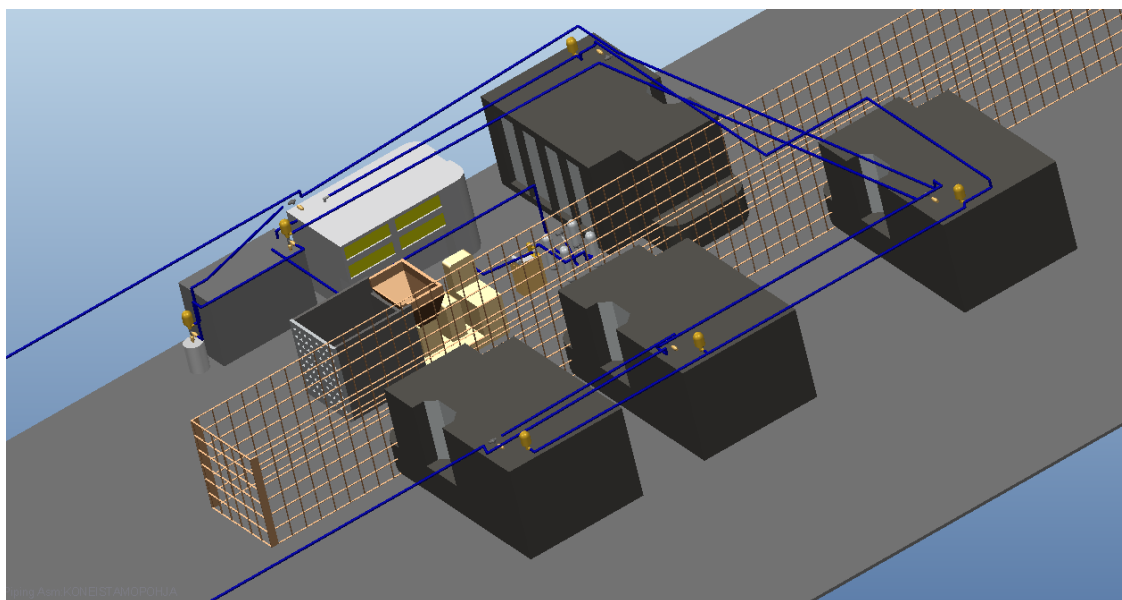


Kuvio 31. Kytkenät työstökoneessa

9.1 Leikkuunestejärjestelmän piirtäminen

3D kuvan piirtäminen leikkuunestejärjestelmästä ja sen liitännöistä, venttiileistä ja putkistosta auttaa järjestelmän suunnittelun viimeistelemisessä. Piirto-ohjelmana käyte-

tään Creo Pro Engineering 3D suunnittelutyökalua. Kuviossa 32 näkyy missä laitteistot, putkistot ja pumput tulevat olemaan. Piirustuksessa näkyy neljä Makino A77 vaakakaraista työstökoneetta, sekä niiden välissä oleva FMS-linjasto. Lisäksi siihen on sijoitettu RUF-briketöintilaitteisto, leikkuunesteen puhdistusjärjestelmä sekä pääsäiliö.



Kuvio 32. Yleiskuva konepajasta

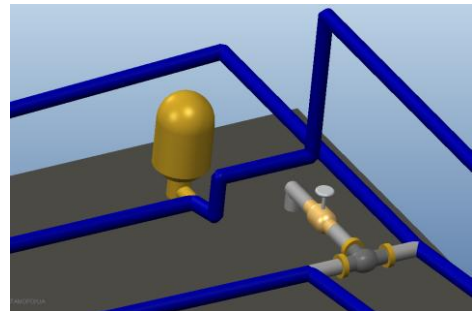
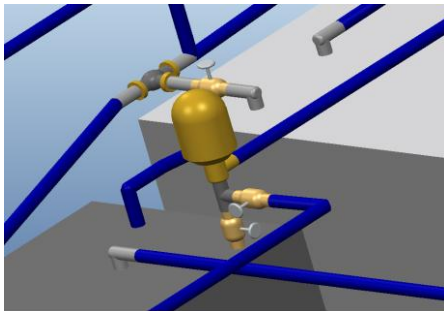
Kuviosta 33 näkyvät pääsäiliön yläpuoliset kytkennät, sekä jokaisella työstökoneella olevat liitokset. Vasemmanpuolimmaisessa kuvassa näkyy taajuusmuuntajalla ohjattu pumppu, jossa on kaksi sisäänmenoa ja yksi ulostulo, sekä kaksi toimilaitteella varustettua magneettiventtiiliä, jotka toimivat sulku- ja avausventtiileinä.

Päälinja joka lähtee pumpulta ja toimii niin kauan normaalisti, kun työstökoneisiin ajetaan noin 7 prosentista leikkuunestettä. Silloin kun jostain syystä jollekin työstökoneista tarvitaan nostaa konsentraatio suuremmaksi kuin pääsäiliössä olevan leikkuunesteen pitoisuus, pumppu lopettaa toimintansa ja linja pääsäiliöön sulkeutuu. Tällöin linja kaksi aukeaa ja toisella pumpulta pumpataan 100 prosentista leikkuunestettä sille työstökoneelle, jonka konsentraatiota halutaan nostaa. Työstökoneessa olevan kolmitieventtiilin tai sekoituspumpun toimilaitteessa määritellään oikea asento venttiilille, jotta veden ja leikkuunesteen suhde on oikea halutun konsentraation saavuttamiseksi. Tämän jälkeen tämän työstökoneen magneettiventtiili aukeaa ja leikkuuneste virtaa työstökoneeseen, sekä täyttää sen säiliön ylärajan mittaan asti. Tietysti tänä aikana muiden työstökoneiden magneettiventtiilit eivät ole auki. Kun tämä operaatio on tehty, palataan normaaliin

toimintaan. Tämä toimintatapa edellyttää kuitenkin sitä, että työstökoneiden leikkuunesteiden kierrätysyksi on etukäteen suunniteltu. Tämä ominaisuus voidaan helposti ohjelmoida ohjausjärjestelmän sisälle.

Vasemmanpuoleisessa kuviossa 33 näkyy myös leikkuunesteen tuloliitäntä pääsäiliöön briketöintilaitteistolta. Lisäksi siinä on liitäntäputki puhdistuslaitteesta pääsäiliöön ja tuloletku puhdistettavalle leikkuunesteelle, jota tulee työstökoneilta. Puhdistuslaitteen katolla näkyy myös kolmitieventtiili toimilaitteineen, jossa on liitännät vedelle ja 100 prosenttiselle leikkuunesteelle sekä magneettiventtiili, joka säätää sen, milloin järjestelmään lisätään nestettä. Sääto sille minkä vahvuista leikkuunestettä pääsäiliöön lisätään, riippuu täysin siitä mikä pääsäiliön konsentraatioprosentti on.

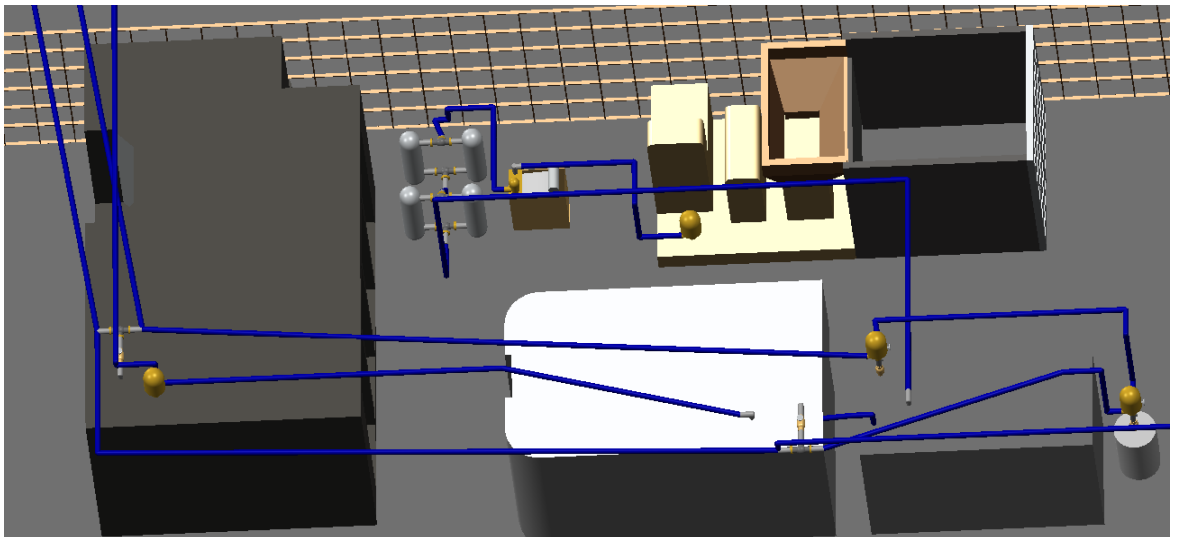
Oikeanpuoleisessa kuvassa 33 näkyvät liitännät, jotka ovat jokaisella työstökoneella. Kaikilla työstökoneilla on oma paluupumppunsa, joka on liitetty samaan linjaan muiden työstökoneiden kanssa ja tämä linja menee suoraan leikkuunesteiden puhdistusyksikölle. Lisäksi siinä näkyy kolmitieventtiili ja magneettiventtiili toimilaitteineen. Tähän liittyvät puhdas leikkuuneste ja vesi. Siinä leikkuunesteseos säädetään haluttuun konsentraatioon, riippuen siitä mikä konsentraatio työstökoneen ja pääsäiliön leikkuunesteillä on.



Kuvio 33. Pääsäiliön leikkuunestepumppu ja työstökoneen liittymät

Kuviossa 34 näkyy liitännät pääsäiliössä ja se, kuinka briketöintilaitteistosta tuleva leikkuuneste puhdistetaan ennen pääsäiliöön viemistä. Kuviossa 34 näkyy, kuinka kuviossa 33 kuvattu linja kaksi on kytketty, eli 100 prosenttisen leikkuunesteen säiliöön on liitetty taajuusmuuntajalla varustettu pumppu, jossa on kaksi ulostuloa, joissa molemmissa on magneettiventtiilit toimilaitteineen. Linja kaksi menee toisen pumpun liittymän

kautta puhtaan leikkuunesteen linjastoon ja toimii vain silloin, kun aikaisemmassa kapaleessa kerrotut ehdot täyttyvät. Muuten päälinja 100 prosenttisen leikkuunesteen säiliöstä puhdistuslaitteelle toimii normaalisti sille annettujen ehtojen mukaisesti. Kuviossa 34 taka-alla on myös esillä briketöintilaitteiston leikkuunesteen puhdistusjärjestelmä. Eli briketöintilaitteistolta pumpataan talteen saatu leikkuuneste 100 myyn kangassuodattimen läpi välisäiliöön, jossa on myös öljyskimmeri. Sieltä se pumpataan ensimmäisille patruunasuodattimille, jotka suodattavat 50 myyhyn asti. Tämän jälkeen se siirtyy 15 myyn patruunasuodattimille, joista läpi mentyään se voidaan ajaa pääsäiliöön. Patruunasuodattimissa on paineensäätöpiirit, joilla voidaan tarkkailla suodattimien likaisuutta ja nesteenpainetta. Jos jossain näistä piireistä syntyy ongelmia, voidaan se osa ohittaa, tai tarvittaessa keskeyttää koko prosessi.



Kuvio 34. liitännät pääsäiliössä sekä briketöintilaitteiston liitännät.

9.2 Järjestelmän mallinnus, säätö ja simuloinnin teko

Järjestelmän säätöä suunnitellessa käytettiin hyväksi Terho Jussilan luentomateriaalia (31). Siellä on kerrottu se, minkälaisen matemaattisen pohjan tällainen säätöjärjestelmä vaatii, joten poimin sieltä tähän muutamia keskeisiä kaavoja. Ensimmäisessä kaa-

vassa tarkastellaan leikkuunesteen osatilavuutta W joka sisältää kertolaskun V :n (nesteen tilavuus) ja c :n (leikkuunesteen konsentraatio) välillä. [31]

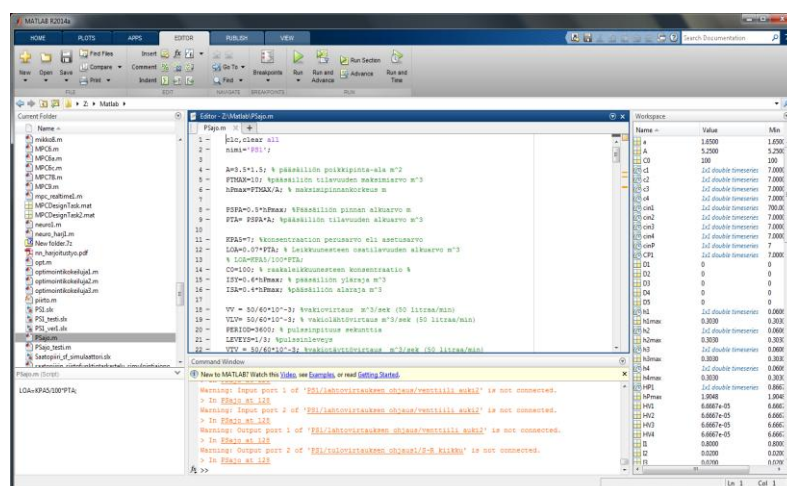
$$W = c \times V, 0 \leq c \leq 1$$

Edeltävää kaavaa soveltamalla saadaan aikaiseksi kaavat, joilla konsentraation säätö saadaan yksinkertaisesti tehtyä. Säiliön sisään tulevan nesteen konsentraatio-arvo annetaan c_{in} termillä, joka kerrotaan q_{in} termillä, joka tarkoittaa nesteen sisään virtauksen määrää. Tämä kertolasku vähennetään kertolaskusta, jossa c kerrotaan q_{out} termillä, joka puolestaan merkitsee sitä, paljonko nestettä järjestelmästä poistuu. [31]

$$\dot{W} = c_{in} \times q_{in} - (c \times q_{out})$$

$$c_{out} = c = W/V$$

Mallituksen, simuloinnin ja suunnittelun työkaluksi valittiin Matlab-ohjelmisto, joka on lyhenne sanoista matrix laboratory. Tämä suunnittelutyökalu on The MathWorks -yhtiön ylläpitämä numeeriseen laskentaan tarkoitettu tietokoneohjelmisto, joka sisältää siinä käytettävän ohjelmointikielen. Matlab itsessään sisältää työkaluja matriisien käsittelyyn, funktioiden ja datan visualisointiin, algoritmien toteuttamiseen, käyttöliittymien luomiseen, sekä pintoja, joilla voidaan luoda vuorovaikutuksia muilla kielillä luotujen ohjelmien kanssa. Peruskokoonpanon lisäksi ohjelmistoon on saatavilla lukuisia lisätyökaluja (toolbox), joiden avulla mukaan voidaan lisätä monia erityisaloja koskevia toiminnollisuuksia tai esimerkiksi mahdollisuuksia symboliseen laskentaan. [32]



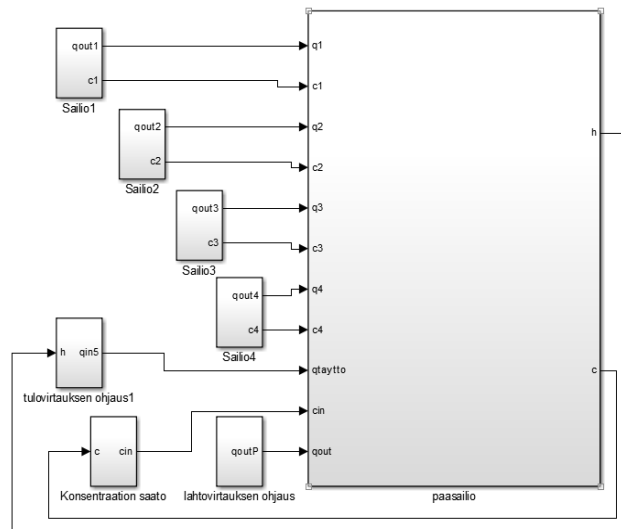
Kuvio 35. Matlab käyttöliittymän yleisnäkymä

Mathlabin historia alkaa siitä, kun Cleve Moler 1970-luvulla aloitti sen kehittämisen opiskelijoidensa apuvälineeksi ja pian Matlab levisikin muidenkin yliopistojen ja matemaattisten yhteisöjen käyttöön. Vuonna 1984 Cleve Moller, Jack Little ja Steve Bangert perustivat The MathWorks yhtiön ja kaupallistivat Matlabin. Simulink on Matlabin lisäohjelma, jolla pystytään mallintamaan, analysoimaan ja simuloimaan dynaamisia järjestelmiä eri teknisen laskennan osa-alueilla. Toimivaksi tämän tekee se, että järjestelmät voivat olla joko lineaarisia tai epälineaarisia ja niissä voi olla aikariippuvuutta. Aikariippuvuuskin voidaan määritellä siten, että se voi olla diskreettiä, jatkuvaa tai näiden sekoitusta. [32]

Matlabin sisälle rakennetussa Simulinkissä on graafinen käyttöliittymä, jonka avulla malli voidaan luoda käyttämällä lohkokaaavioita, jotka koostuvat lohkoista ja signaaliviivoista. Nämä Simulink-lohkokaaviot voivat sisältää monia erilaisia matemaattisia operaatioita, kuten Matlab-koodia ja se sisältää kaikki suunniteltavaan järjestelmään tulevat sisäänmenot ja ulostulot. Lohkokaaviot ovat myös hierarkkisia, mikä mahdollistaa sekä ylhäältä alaspäin että alhaalta ylöspäin tyyllisen lähestymistavan mallia luotaessa. [32]

Säätöpiiri suunniteltiin Simulinkillä rakennetun simulaattorin avulla, koska siinä voi visuaalisesti helposti eritellä kaikkia sisäänmenoja, sekä muita komponentteja mitä kokonaisjärjestelmä pitää sisällään. Säätöjärjestelmän olisi voinut tehdä myöskin pelkäämään koodaamalla se Matlabiin, mutta silloin olisi joka tapauksessa pitänyt järjestelmän ohjelmointia varten määrittää kaikki sisääntulot, uloslähdöt ja lohkot.

Kuviossa 36 on säätöjärjestelmän Simulink-malli. Kuvassa näkyy suurimpana lohkona pääsäiliö, joka pitää sisällään runsaasti tuloja ja lähtöjä. Tähän on liitetty jokaisen neljän eri työstökoneen säiliöt, joista jokainen pitää sisällään lukuisia eri säätöpiiriä. Lisäksi pääsäiliöön liittyy vielä tulovirtauksen ja lähtövirtauksen ohjaus sekä konsentraation säätö



Kuvio 36. Järjestelmä kuvattuna Simulinkillä

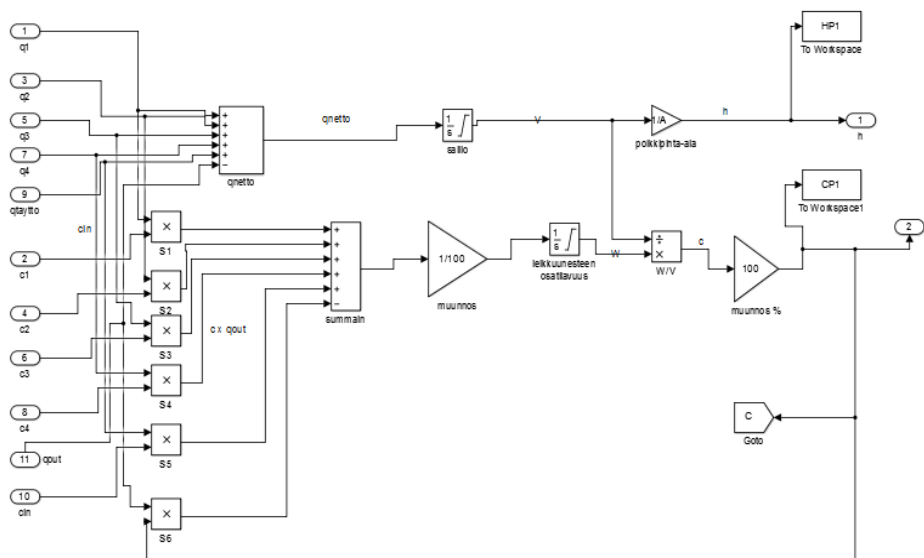
Seoksen tilavuusvirtauksiin liittyvät liitännät on joka puolella säätöpiirissä merkitty q -alkuisilla termeillä ja kyseisten virtausten konsentraatioon liittyvät asiat ovat c -alkuisia termejä. Lisäksi säiliöiden pinnankorkeutta merkitään h -termillä. Kuviossa 37 näkyy järjestelmän pääsäiliön toimintatapa, eli kuvan vasemmassa reunassa näkyy kaikki samat sisään tulot ja oikeassa reunassa samat uloslähdöt kuin kuviossa 36. Lisäksi oikeassa reunassa on ulostuloja simulointia varten.

Pääsäiliö toimii siten, että jokainen työstökone lisää sinne leikkuunestettä puhdistuslaitteen kautta, eli kuvassa se näkyy q -alkuisilla termeillä, jotka menevät q_{netto} nimiseen lohkon. Tässä kaikilla muilla sisäänmenoilla paitsi yhdellä on + etumerkki, joka ilmaisee sen, että ne lisäävät pääsäiliöön leikkuunestettä. Ainoa - merkinen on pääsäiliöstä työstökoneille lähtevä väylä. Tämän lisäksi kaikista näistä liittymistä menee myös liitäntä S -alkuisille lohkoille, joissa konsentraatioprosenttia määrittelevät c -alkuiset tulot kerrotaan säiliökohtaisesti q -alkuisten tulojen kanssa. Tämän jälkeen nämä siirtyvät summainlohkon. S_6 niminen tekijä toimii fyysisenä takaisinkytkentänä, tämä on miinusmerkinen, koska näin saadaan säiliössä oleva seoksen osatilavuus W ja tilavuus V oikeaan tilavuuteen.

Ylempi piirilinja kuvaa säiliössä olevan nesteen kokonaistilavuutta ja pinnankorkeutta, joten q_{netto} nimisen lohkon jälkeen tulee varsinaisen säiliön pinnan määrittelyt. Kun säiliön lohko kaavion toimintamenetelmää aukaisee, niin pitää se sisällään kytkennät

varsinaisella Matlilla tehtyyn koodiin, eli alkuarvona (initial condition) on PTA ja hajonnan ylä-arvona (upper saturation limit) on PTMAX. Tämän jälkeen piiri jatkuu vahvistimella, jossa senhetkinen tilavuusarvo kerrotaan $1/A$ termillä, jotta saadaan pinnankorkeus h .

Toisen piirilinjan summainlohkosta tulee signaalinarvo vahvistimelle nimeltä muunnos, jossa arvo kerrotaan $1/100$ luvulla, jotta konsentraatioarvot saadaan muunnettua alueelta 0-100 prosenttia alueelle nolla-yksi. Sen jälkeen, se vietään toimintalohkolle nimeltä leikkuunesteen osatilavuus, jossa lohkon sisältä löytyy leikkuunesteen alkuarvona termi LOA. Sille on Matlabin ohjelmakoodissa annettu arvo, jossa hajonnan yläarvona toimii PTMAX. Tämän jälkeen molemmat piirilinjat yhdistetään lohkon W/V . Lohkossa tapahtuu jakosuoritus, jonka ulostulona saadaan pääsäiliössä olevan nesteen konsentraatio. Tämän jälkeen signaalin arvo siirtyy vahvistimelle nimeltä muunnos %, jossa se kerrotaan arvolla 100, jotta saadaan luku takaisin prosentuaaliseksi. Konsentraatio-arvo on kytketty inputiksi myös Goto-lohkoon, jolla signaalia voidaan siirtää langattomasti simulaattorin sisällä. Tällä vältetään lukuisten ja päällekkäisten signaaliviivojen aiheuttama monimutkaisuus ja epähavainnollisuus simulaattorin ulkoasussa



Kuvio 37. Pääsäiliön toimintamekanismi

```

A      =3.5*1.5;      % pääsäiliön poikkipinta-ala m^2
PTMAX  =10;          % pääsäiliön tilavuuden maksimiarvo m^3
hPmax  =PTMAX/A;     % maksimipinnankorkeus m
PSPA   =0.5*hPmax;   % Pääsäiliön pinnan alkuarvo m

```

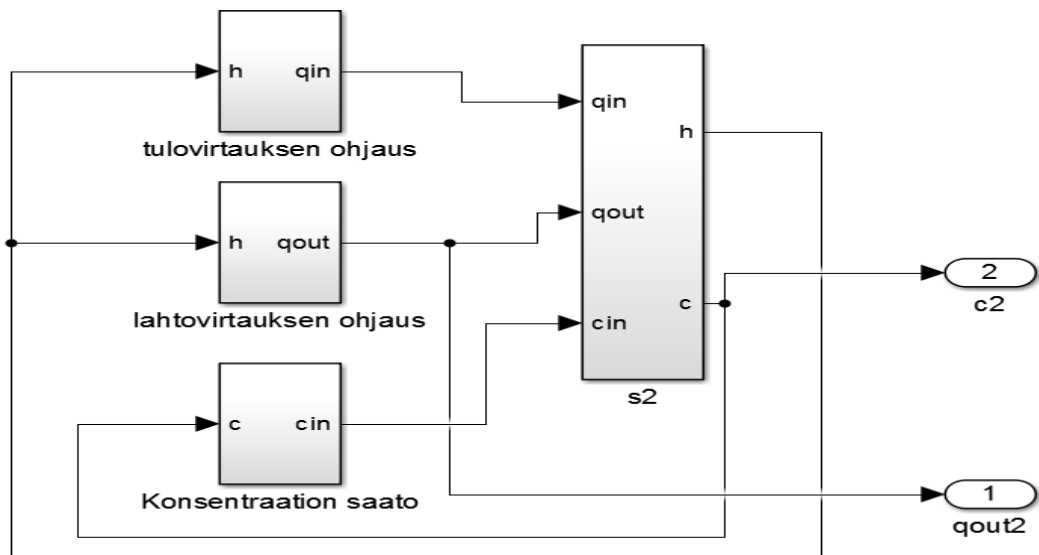
```

PTA      = PSPA*A;          % pääsäiliön tilavuuden alkuarvo m^3
KPA5     = 7;              % konsentraation perusarvo eli asetusarvo
LOA      = 0.07*PTA;      % Leikkuunesteen osatilavuuden alkuarvo m^3
C0       = 100;          % raakaleikkuunesteen konsentraatio %
ISY      = 0.6*hPmax;     % pääsäiliön yläraja m^3
ISA      = 0.4*hPmax;     % pääsäiliön alaraja m^3
VV       = 50/60*10^-3;   % vakiovirtaus m^3/sek (50 litraa/min)
VLV      = 50/60*10^-3;   % vakiolähtövirtaus m^3/sek (50 litraa/min)
PERIOD   = 3600;         % pulssinpituus sekuntia
LEVEYS   = 1/3;         % pulssinleveys
VTV      = 50/60*10^-3;   % vakiotäyttövirtaus m^3/sek (50 litraa/min)
P5       = 0.001;        % vahvistus
I5       = 1/50;         % Integraatio
D5       = 0;           % dervointi
IA5      = KPA5*100/C0;   % integraattorin alkuarvo

```

Kuvio 38. Ote ohjelmakoodista

Jokaisella työstökoneella on samanlainen ohjausjärjestelmä, joka on esitetty kuviossa 39. Se muodostuu leikkuunestesäiliöstä, tulovirtauksen ja lähtövirtauksen ohjauksesta sekä konsentraation säädöstä



Kuvio 39. Työstökoneen säätöpiirin rakenne

Kuviossa 41 näkyy työstökoneen leikkuunestesäiliön simulointimalli, josta näkyy vasemmalla reunassa sisääntulot ja oikealla reunassa ulostulot, sekä simulointitulosten

tallennukseen tarvittavat lohkot. Simulointimalli on perusrakenteeltaan samanlainen kuin pääsäiliössä, mutta huomattavasti vähemmällä sisääntuloilla ja uloslähdöillä.

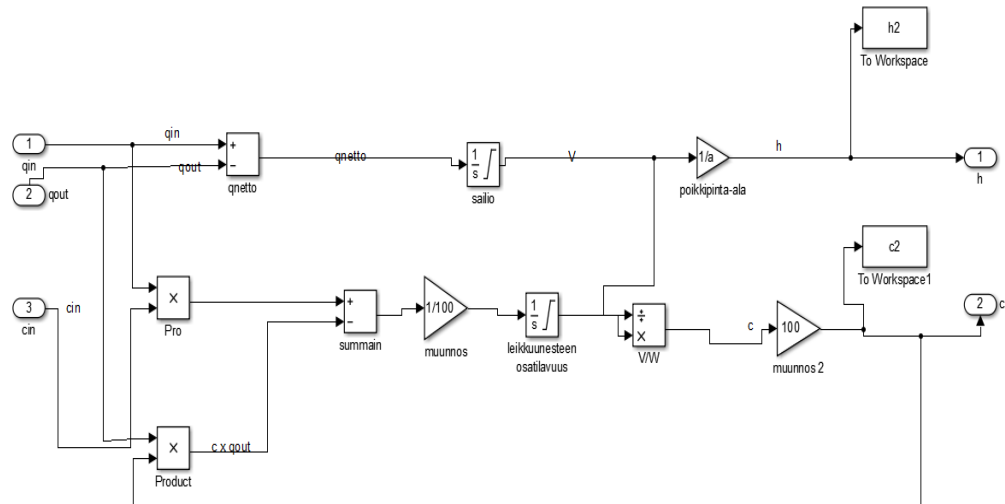
Leikkuunestesäiliö pitää sisällään kolme sisääntuloa ja kaksi uloslähtöä. Sisääntuloissa määritellään säiliöön tuleva leikkuuneste (q_{in}), säiliöstä lähtevä leikkuuneste (q_{out}), sekä sisään tulevan nesteen konsentraatio (c_{in}). Uloslähdöissä määritellään pinnan korkeus (h), joka vaikuttaa tulovirtauksen ja lähtövirtauksen ohjaukseen. Lisäksi ulostulona on konsentraatio (c), joka vaikuttaa niin työstökoneen säiliön, kuin koko järjestelmän konsentraation säätöön. Eroavaisuudet löytyvät säiliö ja leikkuunesteen osatilavuus nimisten toimintalohkojen sisältä. Säiliölohkon sisälle alkuarvoksi (initial condition) on määritelty termi S2A ja maksimiarvoksi (upper saturation limit) termi S2MAX. Leikkuunesteen osatilavuuden toimintalohkon alkuarvoksi S2LOA ja maksimiarvoksi S2MAX. Nämä termit on määritelty Matlabiin tehtyyn simuloinnin ajotiedostoon, josta ote näkyy kuviossa 40.

```

a          =3.3*0.5;           % työstökoneen säiliön poikkileikkaus m^2
S2MAX     =0.5;               % työstökoneen säiliön maksimiarvo m^3
h2max     =S2MAX/a;          % maksimipinnankorkeus m
HV2       = 4/60*10^-3;      % Hävikki nesteessä
S2PA      =0.5*h2max;        % säiliö 2 pinnan alkuarvo m
S2A       =S2PA*a;           % työstökoneen säiliön alkuarvo m^3
S2LOA     =0.07*S2A;         % työstökoneen leikkuunesteen osatilavuuden
alkuarvo
KPA2      =7;                % konsentraation perusarvo
VAIHE2    =1000;             % pulssin vaiheen viivästys
P2        =10;               % vahvistus
I2        =1/50;             % Integraatio
D2        =0;                % derivointi
IA2       = KPA2*PTA/LOA;     % integraattorin alkuarvo

```

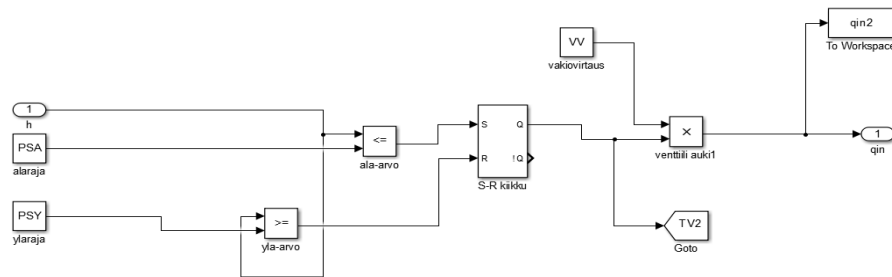
Kuvio 40. Ote ohjelmakoodista



Kuvio 41. Työstökoneen leikkuunestesäiliön simulointimalli

Kuviossa 42 näkyy millainen on jokaisen työstökoneen tulovirtauksen ohjauspiiri. Vasemmalla on pinnan mittaustieto h ja oikealla ulostulo q_{in} , lisäksi tässä on erilaisia muita termejä, jotka myös löytyvät määriteltynä ohjelmakoodista kuviossa 40. Piiri on toteutettu loogisilla operaattoreilla ja SR-kiikulla.

Säätöpiirin toimintatapaa aukaistaessa, vasemmalta lähtiessä löytyvät lohkot joiden nimet ovat PSA (työstökoneen säiliön ala-arvo) ja PSY (työstökoneen säiliön yläarvo). Näistä tieto siirtyy vertailu-operaattoreihin, joissa ala-arvoa verrataan pienempi tai yhtä suuri operaattorilla ja yläarvoa suurempi tai yhtä suuri operaattorilla säiliön pinnankorkeuteen (h). Jos pinta on alarajalla tai sen alla, siirtyy signaali tästä SR-kiikku kytkimen set-pinnille, josta tulee aukaisukäsky venttiilin toimintalaitteelle. Kun pinta nousee ylärajaan tai sen yli, siirtyy sieltä tieto kytkimen reset-pinnille, jolloin venttiilille tulee ohjauskäsky mennä kiinni. Tämä venttiilin asetustieto siirtyy myös Goto lohkon termin TV2 avulla tarvittaviin paikkoihin muualla simulaattorissa. Lohko venttiili auki 1 pitää sisällään edellä mainitun signaalin lisäksi tulon lohkolta vakiovirtaus, jossa nimellä VV on ohjelmakoodissa määritelty vakiovirtaus, joka jokaiselle työstökoneelle tulee. Tämä on laskettu pääsäiliön taajuusmuuntajalla ohjatun lähtöpumpun, putkistojen ja venttiilin kapasiteetin mukaan.



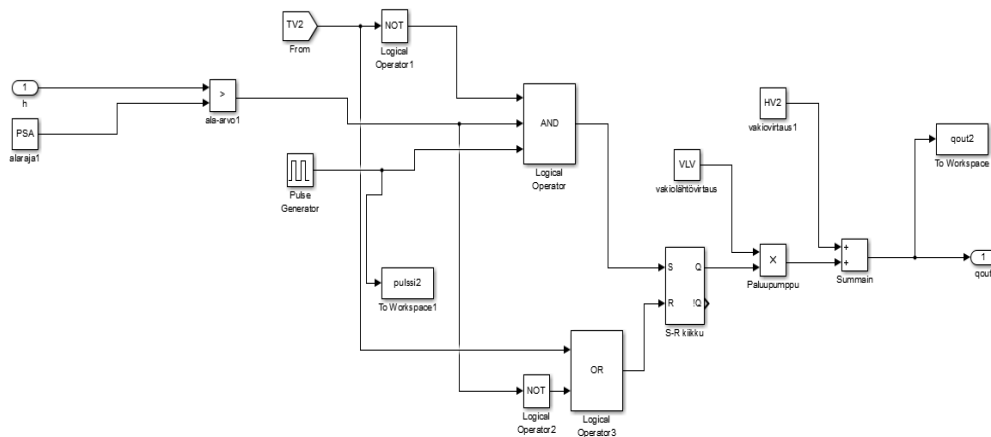
Kuvio 42. Työstökoneen leikkuunestesäiliön tulovirtauksen ohjauspiiri

Lähtövirtauksen ohjauksessa näkyy kuviossa 43 vasemmalla sisääntulossa pinnankorkeus h ja oikealla ulostulossa q_{out} . Järjestelmän toimintaperiaatetta aukaistaessa tarkemmin, näkyy vasemmalla lohko alaraja, jonka termi on PSA (työstökoneen säiliön ala-arvo), josta tieto siirtyy suurempi kuin loogiselle operaattorille, jossa sitä verrataan työstökoneen leikkuunestesäiliön pinnankorkeuteen.

Ylemmästä piirikaaviorivissä tulee samalla tietoa lohkolta nimeltä From termillä TV2 (tulovirtaus2) tulovirtauksen ohjauspiiristä, onko venttiili auki vai ei. Tähän lisätään vielä pulssigeneraattori jonka sisälle on määritelty erilaisia termejä. Sieltä löytyy esimerkiksi amplitudi, joka pulssilla on yksi, jolloin sitä ei tarvitse ohjelmassa erikseen huomioida. Aikaperiodina on termi PERIOD, joka ohjelmakoodissa on määritelty 3600 sekunnin mittaiseksi. Lisäksi pulssinleveytenä toimii termi LEVEYS ja vaiheen viivästystä ilmaistaan termillä VAIHE 2. Tämä aikakytkentä on simulaattorissa tässä vaiheessa vain sen takia, että se helpottaa simulointia. Lopulliseen säätöjärjestelmään lähtövirtaus tullaan määrittelemään järjestelmän kapasiteetin mukaan. Sitä tuleeko siihen aikaohjaus, ei tässä vaiheessa ole tiedossa.

Kaikki ylläolevat tiedot siirtyvät and operaattoriin, jossa niiden arvo tutkitaan. Jos signaalin arvo niissä kaikissa on TRUE, siirtyy tieto SR-kiikulle set-pinniin, josta se käynnistää työstökoneen leikkuunesteen paluupumpun. Tällöin leikkuuneste lähtee puhdistettavaksi puhdistusyksikköön. Jos vertailuoperaattorilta "suurempi kuin" tai lohko TV2 tulee signaalille arvo TRUE, siirtyy tieto OR-operaattorille, joka antaa reset käskyn paluupumpulle jolloin se ei käynnisty tai se pysähtyy. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jos tulovirtaus on päällä tai säiliön pinta on pienempi kuin ala-arvo, ei paluupumpu voi käynnistyä.

Paluupumpun käynnistyslohkoon on lisätty sisääntulo lohkolta nimeltä vakiolähtövirtaus, joka on nimetty termillä VLV. Tällä termillä määritellään ohjelmakoodissa se leikkuunesteen tilavuusvirtaus, jonka työstökoneen leikkuunestesäiliön paluupumppu siirtää puhdistusyksikölle puhdistettavaksi. Piirikaaviota eteenpäin mentäessä, tulee eteen vielä yksi toimintalohko, joka on nimetty summaimeksi. Tässä tehdään kytkentä, jossa pumpulla poistettavaan nesteeseen lisätään leikkuunesteen haihtumismäärä työstökoneella työstön aikana.



Kuvio 43. Työstökoneen lähtövirtauksen ohjauksen säätöpiiri

Konsentraation säätöpiirissä on käytetty hyväksi PID-säädintä (Proportional-Integral-Derivative-säädin), jossa säätimen ulostulo u koostuu kolmesta eri termistä. Tyypillisesti säätimen lähtö on esitetty kuviossa 44. Siinä käytetään sisäänmenona erosuuretta e , joka on asetusarvon ja mittausarvon erotus. Suhdeosa (P) muodostaa säätimen ulostuloon erosuureeseen verrannollisen (Proportional) termin. Tällöin P-osan ulostulon itseisarvo on sitä suurempi, mitä kauempana asetusarvosta säädettävän suureen mittausarvo on. Vahvistus K_p puolestaan määrää säätötoimenpiteen voimakkuuden. P-termille on melko tyypillistä se, että se ei pysty yksinään kompensoimaan säätövirhettä kokonaan. Vakioasetusarvolle saatava säätövirhe, saatetaan kuitenkin saada eliminoiduksi integroivien häiriöttömien prosessin P-säädössä. Säätövirheen loppuarvon poiketessa nollassa sitä kutsutaan pysyvän tilan virheeksi. [33]

Integroiva osa (I) integroi erosuuretta ajassa. Sen ulostulo on suhteessa paitsi erosuureen suuruuteen, mutta riippuu myös sen kestoajasta. Integroivan termin vahvistuksena tässä kaavassa käytetään integrointivahvistusta K_I . Säätimen integroinnin ansiosta vakioasetusarvolle saatava säätövirhe voidaan eliminoida monissa sovelluksissa silloinkin, kun P-säädöllä ei siihen pystytä. Integroivalla säädöllä on muitakin etuja. Se auttaa muun muassa vakiohäiriöissä ja lineaarisesti muuttuvien asetuservojen aiheuttamien säätövirheiden eliminoinnissa. Etujen saavuttaminen saattaa kuitenkin edellyttää mittaukselta sopivaa tarkkuutta. Joissakin sovelluksissa pelkkä I-säätö ei kuitenkaan tule kysymykseen vaan myös P-termi tarvitaan riittävän stabiiliuden, vaimennuksen ja tehokkuuden saavuttamiseksi. [33]

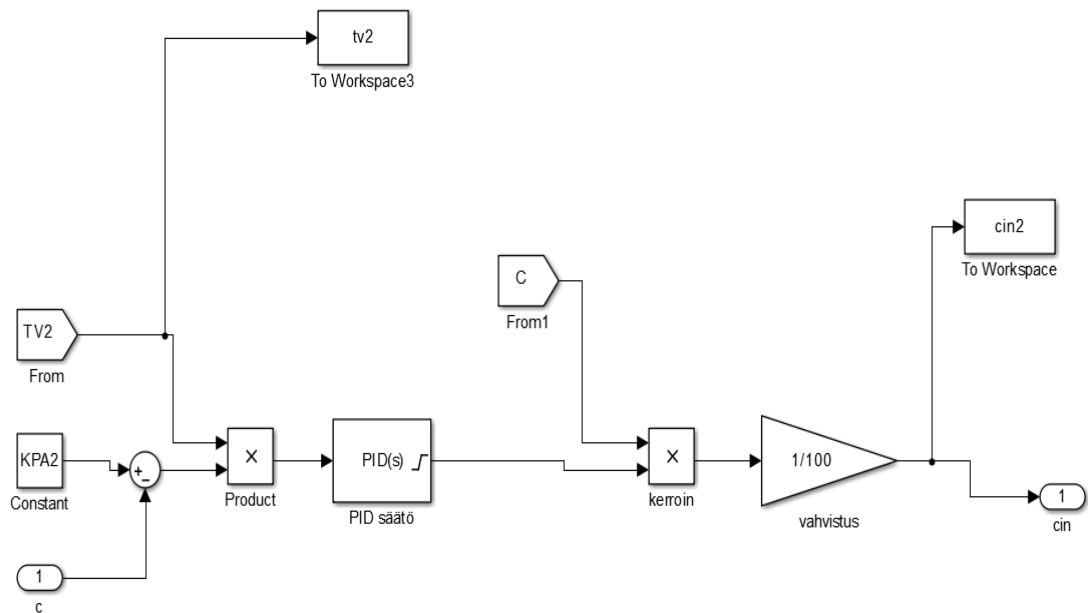
Derivoiva osa (D) huomioi erosuureen muutosnopeuden. Niinpä D-termin parametria K_D kutsutaan derivointivahvistukseksi. Derivoivaa osaa kutsutaan myös ennakoivaksi, koska se pyrkii kompensoimaan poikkeaman jo siinä vaiheessa, kun se vasta on muodostumassa. Sen käyttö helpottaa stabilointia, vaimennuksen ja tehokkuuden saavuttamista. Valitettavasti derivointi vahvistaa erosuureeseen mahdollisesti sisältyvää korkeataajuista kohinaa, jonka mittausfunktion kohina aiheuttaa. Säätimen outputista saattaa tällöin tulla niin kohinainen sisäänmeno toimilaitteelle, että toimilaitteen toiminnasta tulee liian rauhaton. Tästä syystä derivoivaa osaa ei tarvitse välttämättä käyttää, elleivät muut syyt pakota sen käyttöön. [33]

$$u = K_{p\varepsilon} + K_I \int \varepsilon dt + K_D \frac{d\varepsilon}{dt}$$

Kuvio 44. PID-säädin

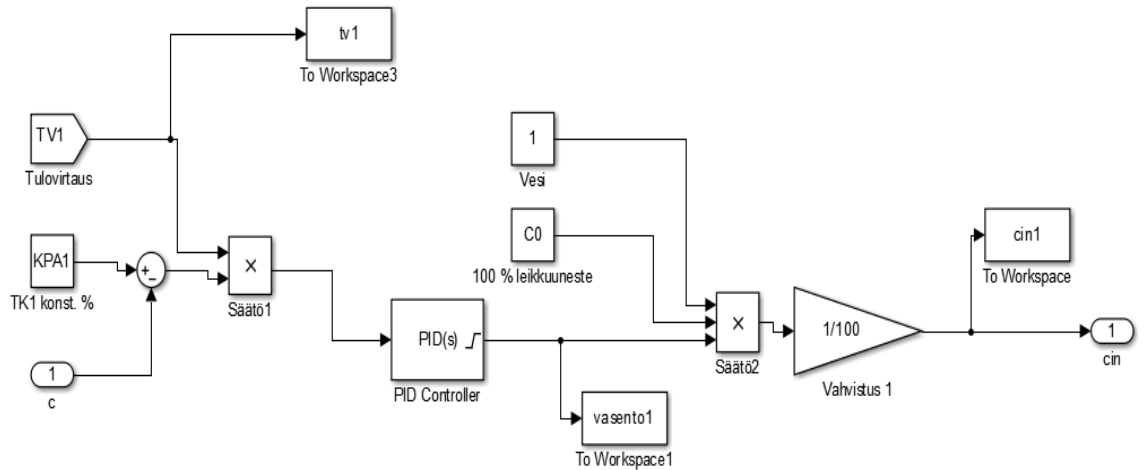
Kuviossa 45 näkyy kuinka konsentraatiota säädetään jokaisella työstökoneella. Vasemmalla näkyy sisääntulo c ja oikealla ulostulo cin. Säättöpiirin toimintaa aukaistaessa vasemmalla ylimpänä on tuloventtiilin asentotieto TV2 ja sen alla Lohko jonka terminä on KPA2 (konsentraation perusarvo). Näiden yhdistäminen tarkoittaa sitä, että venttiilin 2 ollessa kiinni PID-säätimelle välitettävä erosuuren arvo pakotetaan nolnaan, jolloin PID-säädin luulee, että säätö on kohdallaan ja PID-säätimen lähtö pysyy ennallaan. PID-säätimen sisältä löytyy vahvistus P, Integraattori I ja derivaattori D, sekä lukematon määrä muita parametrejä. Tässä olen nimennyt ne jokaisen työstökoneen numeroinnin perusteella, Eli kun tässä on kyseessä työstökone 2, niin termien nimitykset ovat P2, I2 ja D2. Nämä kaikki on määriteltynä ohjelmakoodissa.

Eteenpäin kaaviota mennessä seuraavana lohkona on kerroin lohko, jossa pääsäiliöstä tulevan leikkuunesteen konsentraatiolla kerrotaan PID-säätimeltä tuleva venttiilin asento-ohje. Tämän jälkeen piirissä kerrotaan saatu tieto vielä vahvistuksella 1/100, jotta arvo saadaan kertoimeksi. Tästä se siirtyy ulostuloon cin, joka löytyy työstökoneen leikkuunestesäiliön sisääntuloista.



Kuvio 45. Konsentraatioprosentin säätöpiiri työstökoneella

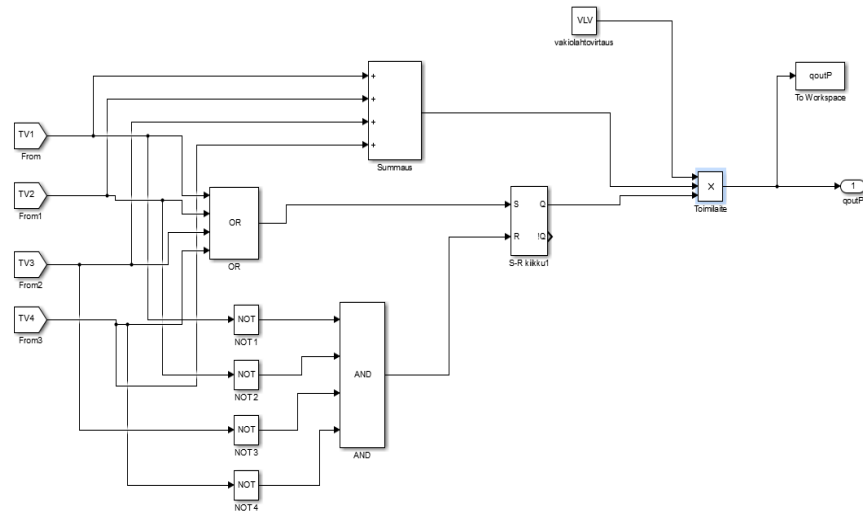
Kuviossa 46 näkyy, mitä erilaisuuksia työstökoneen konsentraation säätöpiirissä on, silloin kuin leikkuunesteen konsentraatioprosentti halutaan säätää suuremmaksi kuin pääsäiliössä oleva neste. Lisäyksiä on lohko nimeltä 100 % leikkuuneste, jonka termillä on C0 sekä vedelle tehty eri lohko, jonka arvo on yksi. Termi C0 on myös määritelty ohjelmakoodiin. Se mahdollistaa sen, että työstökoneen kolmitieventtiilissä konsentraatio säädetään 100 % leikkuunesteen ja veden sekoituksella, eikä pääsäiliön nesteen avulla.



Kuvio 46. Työstökone 1 konsentraation säätöpiiri

Kuviossa 47 näkyy pääsäiliön lähtövirtauksen säätö, jossa peruseriaate on se, että se leikkuunesteen määrä, mikä työstökoneilta sinne tulee, niin sama määrä pumpataan takaisin työstökoneille. Koska lähtövirtauksessa määräävänä tekijänä on pääsäiliön leikkuunesteen pinta, on vasemmassa reunassa neljä lohkoa, joissa tulee informaatio tulovirtauksista jokaisesta työstökoneesta. Näistä tieto menee kolmelle eri lohkolle, joista kaksi on loogisia operaatioita ja yksi on summain. Summain lohossa lasketaan kaikki tulovirtaukset yhteen, jotta tiedettäisiin kuinka paljon leikkuunestettä saapuu kaiken aikaa pääsäiliöön. Sieltä tieto kulkee toimilaite nimiselle lohkolle, jossa sen jatko käsitellään.

Keskimmäisessä piirilinjassa oleva OR-operaattori toimii ehtona, että kun mikä tahansa neljästä tulovirtauksesta on päällä, siirtyy tällöin signaali SR-kiikulle set-pinniin, josta se siirtyy toimilaite nimiselle lohkolle ja käynnistää lähtövirtauksen. Eli jos mikään näistä tulovirtauksista ei ole päällä menee informaatio taas and-operaattorin kautta kytkimen reset pinniin ja lähtövirtausta ei käynnisty. Toimilaitelohkossa on siis sisääntuloina summaimesta saatu tieto leikkuunesteen määrästä, vakiolähtövirtauslohkosta tuleva VLV-arvo, joka on määritelty ohjelmakoodissa ja signaali SR-kiikusta.

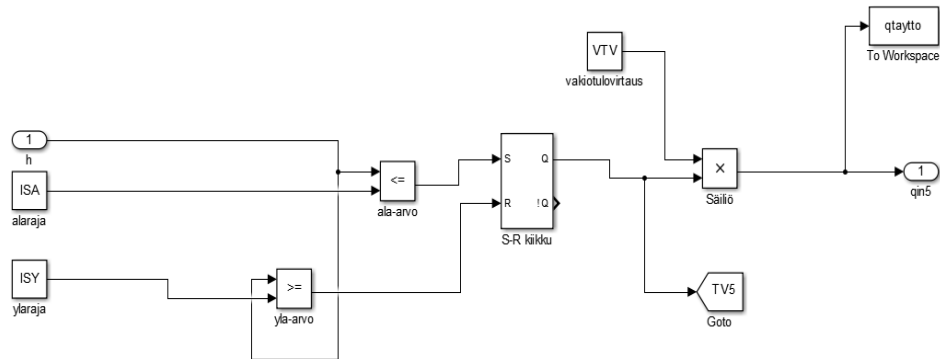


Kuvio 47. Pääsäiliön lähtövirtauksen säätökaavio

Kuviossa 48 näkyy millainen on pääsäiliön tulovirtauksen ohjauspiiri. Piiri on samankaltainen työstökoneen tulovirtauksen säätöpiirin kanssa. Vasemmalla on pinnankorkeutta osoittava h termi ja oikealla ulostulona qin5 termi, lisäksi tässä säätöpiirissä on joi-tain lohkoja, joita edellä ei ole mainittu, mutta ne löytyvä ohjelmakoodista (kuvio 38).

Säätöpiirin toimintatapaa aukaistaessa, vasemmalta lähtiessä löytyvät lohkot, joiden nimet ovat ISA (pääsäiliön pinnan ala-arvo) ja ISY (pääsäiliön pinnan yläarvo). Näistä tieto siirtyy vertailu-operaattoreihin, joissa ala-arvoa verrataan ”pienempi tai yhtä suuri kuin” operaattorilla ja yläarvoa ”suurempi tai yhtä suuri kuin” operaattorilla säiliön pin-nankorkeuteen (h). Jos pinta on alarajalla tai sitä vähemmän, siirtyy signaali tästä SR-kiikun set-pinnille, josta tulee aukaisukäskey venttiilin toimintalaitteelle. Kun pinta nou-see ylärajaan tai sen yli, siirtyy sieltä tieto kytkimen reset-pinnille, jolloin venttiilille tulee ohjauksikäsky mennä kiinni. Tämä arvo siirtyy myös Goto lohkon termin TV5 (tulovirtaus 5) avulla muualle koko säätöjärjestelmän osiin, jotta säätöjärjestelmä toimisi moitteet-tomasti.

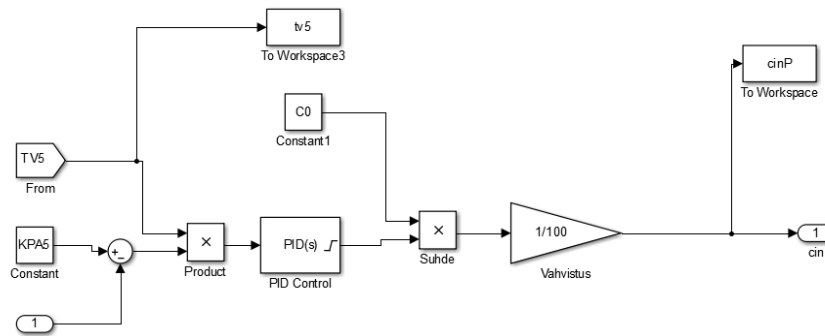
Lohko säiliö pitää sisällään edellä mainitun signaalin lisäksi myös tulon lohkolta vakio-tulovirtaus, jossa nimellä VTV on ohjelmakoodissa määritelty vakiovirtaus. Tämä on laskettu työstökoneiden lähtöpumppujen sekä putkistojen kapasiteettien mukaan.



Kuvio 48. Pääsääliön tulovirtauksen simulointimalli

Kuviossa 49 on pääsääliön konsentraation säätöpiiri. Säätöpiiri on samankaltainen työstökoneiden leikkuunesteiden konsentraation säätöpiirin kanssa, eli vasemmalla näkyy sisääntulo c ja oikealla ulostulo cin . Säätöpiirin toimintaa aukaistaessa vasemmalla ylimpänä on tulovirtauksesta tuleva informaatio TV5 ja sen alla lohko jonka terminä on KPA5 (konsentraation perusarvo pääsääliössä). Nämä termit viedään kertoimelle yhdistettäväksi, mutta kuitenkin niin, että konsentraation mittausta (c) otetaan huomioon.

Eteenpäin piirikaaviota mentäessä, seuraavana tulee PID-säädin, jossa venttiilinasennon hienoviritys tapahtuu. PID-säätimen sisältä löytyvät termit vahvistus P5, Integraattori I5 ja derivaattori D5, sekä muutamia muita ominaisuuksia. Nämä kaikki löytyy määriteltynä ohjelmakoodista (kuviokuva 38). Seuraavaksi piirikaaviossa tulee lohko nimeltä suhde, jossa kerrotaan PID-säätimestä tuleva venttiilin asento-ohje pääsääliöstä tulevalla konsentraatio-arvolla (C0), jotta oikean vahvuista leikkuunestettä tulisi pääsääliöön. Viimeisenä tässä piirissä kerrotaan saatu tieto vielä vahvistuksella 1/100, jotta arvo saadaan alueelle nolla-yksi. Tästä se siirtyy ulostuloon cin , joka löytyy pääjärjestelmän leikkuunestesäiliön sisääntuloista.



Kuvio 49. Pääsäiliön konsentraation simulointimalli

9.3 Järjestelmän simulointi Matlabilla

Kun järjestelmä on suunniteltu, sen kokonaisuuden toiminta voidaan testata ja varmistaa simuloinnilla. Tämä onnistuu tässä tapauksessa helposti Matlabilla, koska itse järjestelmä on suunniteltu siinä olevalla Simulink-ohjelmistolla. Kuviossa 50 näkyy ohjelmakoodista se kohta, kuinka simuloinnin piirto toimii. Piirtokäskyjen perässä suluisissa olevat termit löytyvät Simulink lohkokaavioista ja niiden tarkoitus siellä on ainoastaan se, että niillä saadaan informaatio simulaatiomallista mitattavaksi juuri halutusta kohdasta. Ikkunointi puolestaan kertoo sen, kuinka monta käyrää ja missä kohtaa niitä simulaatiokuvassa on. Piirtokäskyjen ohjelmakoodissa muita määryksiä ovat käyrien nimeämiset ja niiden akseleiden toiminnan selvitys.

```
figure(3) % kuvan numerointi
clf % poistaa edeltävien kuvien tiedot
subplot(511) % ikkunointi
plot(CP1) % piirtokäsky
ylabel('KONSENTRAATIO % '); % y-akselin teema
legend("PÄÄSÄILIÖ"); % Nimitys
subplot(512) % ikkunointi
plot(c1) % piirtokäsky
ylabel('KONSENTRAATIO % '); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 1'); % Nimitys
subplot(513) % ikkunointi
plot(c2) % piirtokäsky
ylabel('KONSENTRAATIO % '); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 2'); % Nimitys
subplot(514) % ikkunointi
```



```

plot(c3) % piirtokäsky
ylabel('KONSENTRAATIO % '); % y-akselin teema
legend ('TYÖSTÖKONE 3'); % Nimitys
subplot(515) % ikkunointi
plot(c4) % piirtokäsky
ylabel('KONSENTRAATIO % '); % y-akselin teema
legend ('TYÖSTÖKONE 4'); % Nimitys

```

Kuvio 50. Ote ohjelmakoodista

Edeltävä koodi piirtää kuviossa 52 esiintyvät käyrät, joissa on kuvattu se, kuinka pääsäiliön ja työstökoneiden konsentraatioprosentit muuttuvat aikajanassa. Aikajan pituus tässä simuloinnissa on 10 000 sekuntia, joka tunneissa mitattuna on vajaa kolme. Tämä aikajana riittää hyvin testaamaan järjestelmän toiminnan, koska puhdistussyklin pituudeksi leikkuunestejärjestelmässä on määriteltä tunti.

Ensimmäisenä käyränä kuvassa 52 on pääsäiliön leikkuunesteen konsentraatio. Alkuarvona on seitsemän, josta se pikkuhiljaa lähtee nousemaan, johtuen siitä että työstökone yhden konsentraatioprosentti halutaan pitää lähellä viittätoista. Tämä pääsäiliön konsentraatio ei kuitenkaan koskaan ylitä yhdeksää, joten se on täysin sallittavaa. Muiden säiliöiden osalta käyrät näyttävät sen, että konsentraatioiden muutokset pysyvät kymmenysten sisällä. Ainoastaan työstökone yhden kohdalla konsentraatioprosentti käyttäytyy hieman erityyppisesti, koska työstökoneen leikkuunestesäiliön täyttöön käytetään 100 % leikkuunestettä.

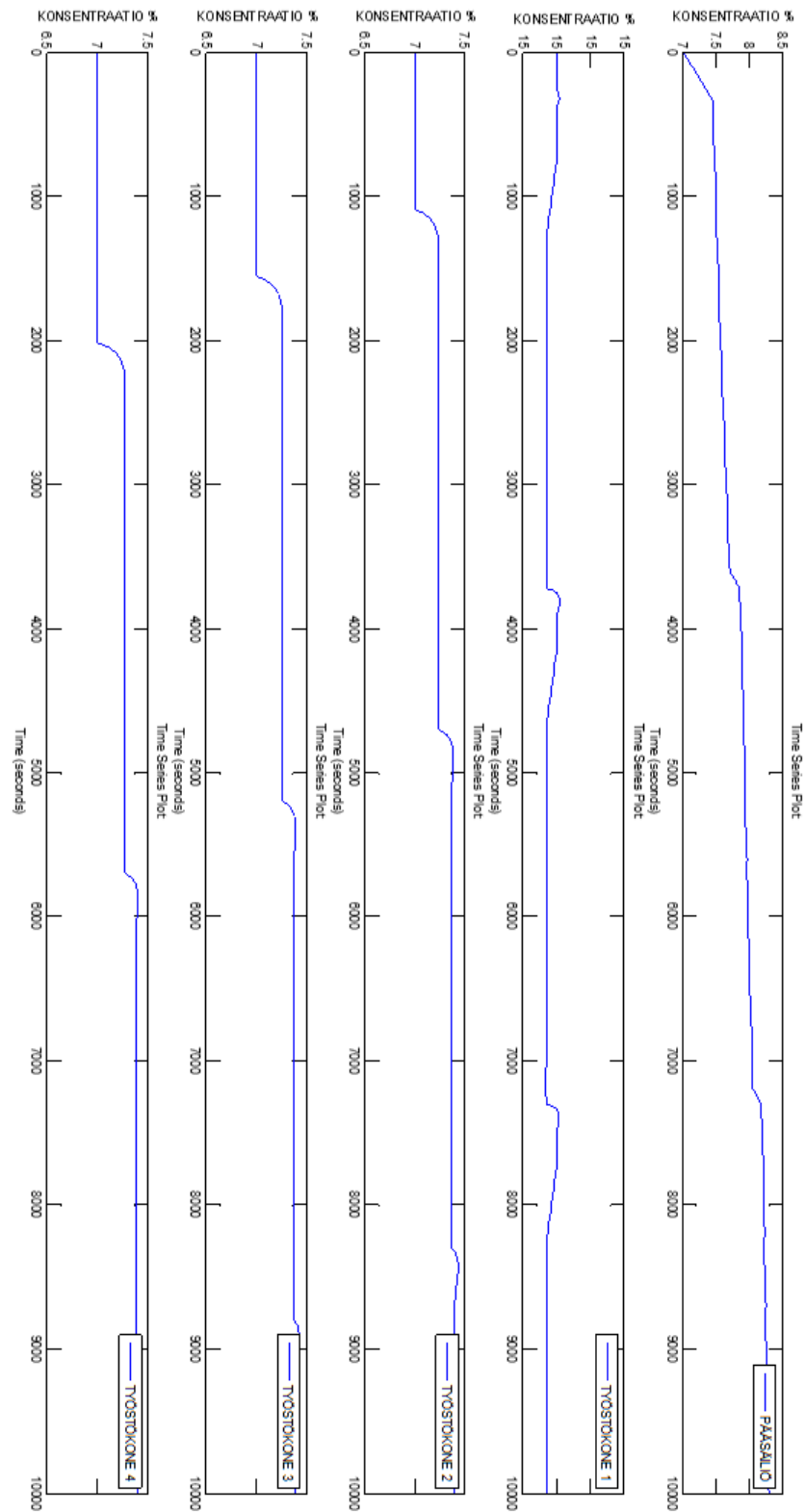
Koska 10 000 sekunnin aikajana ei ole tarpeeksi pitkä järjestelmän lopulliseen testaamiseen, käytän sen testaamiseen aikajanaa, jonka pituus on yli kolme vuotta. Tämän määrittely näkyy kuviossa 51 ja lopputulos graafisesti kuviossa 53. Siinä näkyy selvästi se, että käyrät pysyvät hyvin niille määritellyissä hajontavälissä, eikä mitään ylimääräisiä toimintoja tai piikkejä niissä näy.

```

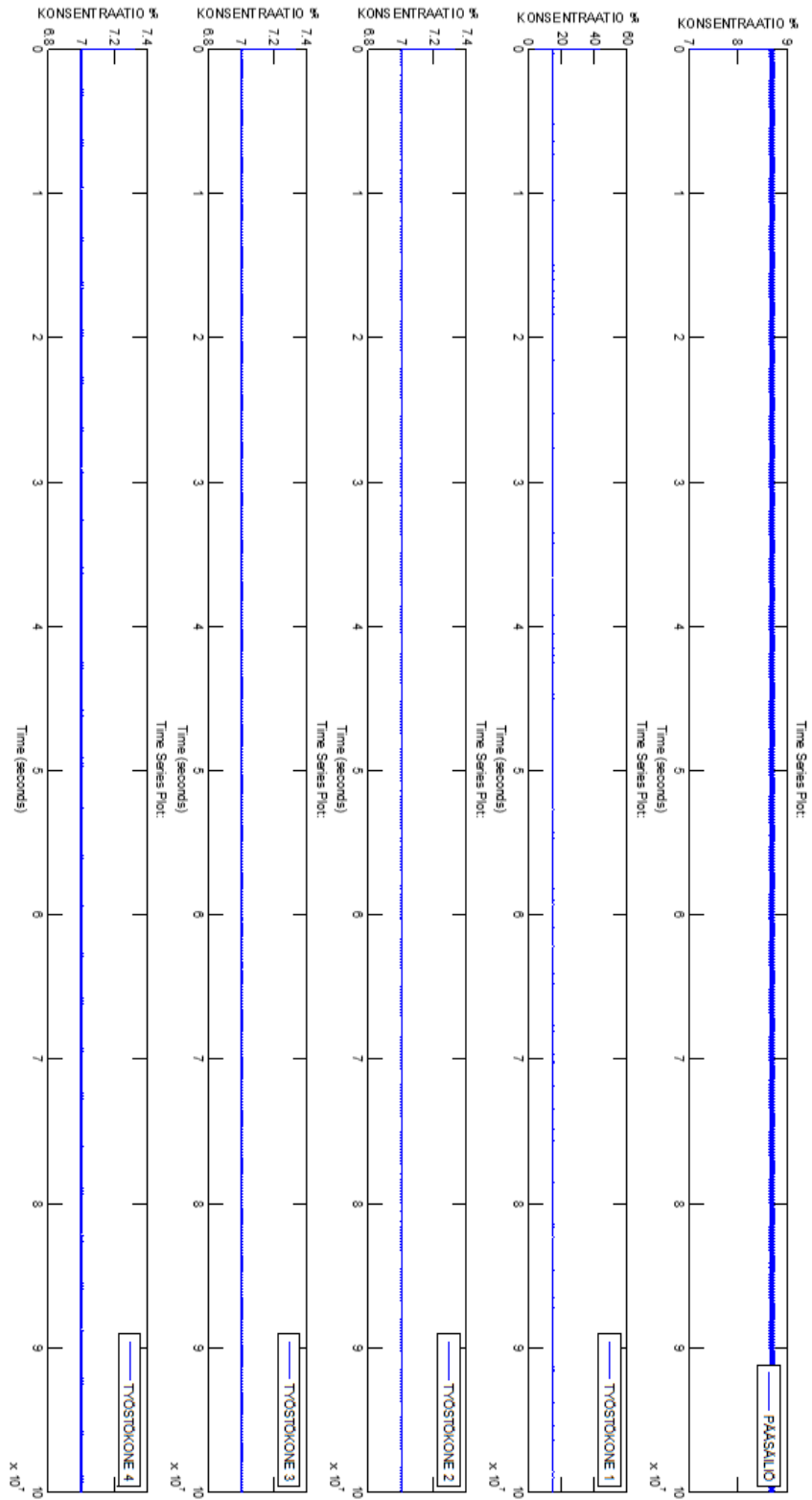
Tsim=10^7; % simulointiaika sekunneissa
maxstep = 1000; % maksimi mittausaskel mittauksessa
sim (nimi, Tsim); % simuloinnin määrittely

```

Kuvio 51. Ote ohjelmakoodista



Kuvio 52. Pääsäliliön ja työstökoneiden leikkuunestesäiliöiden konsentraatioprosentit



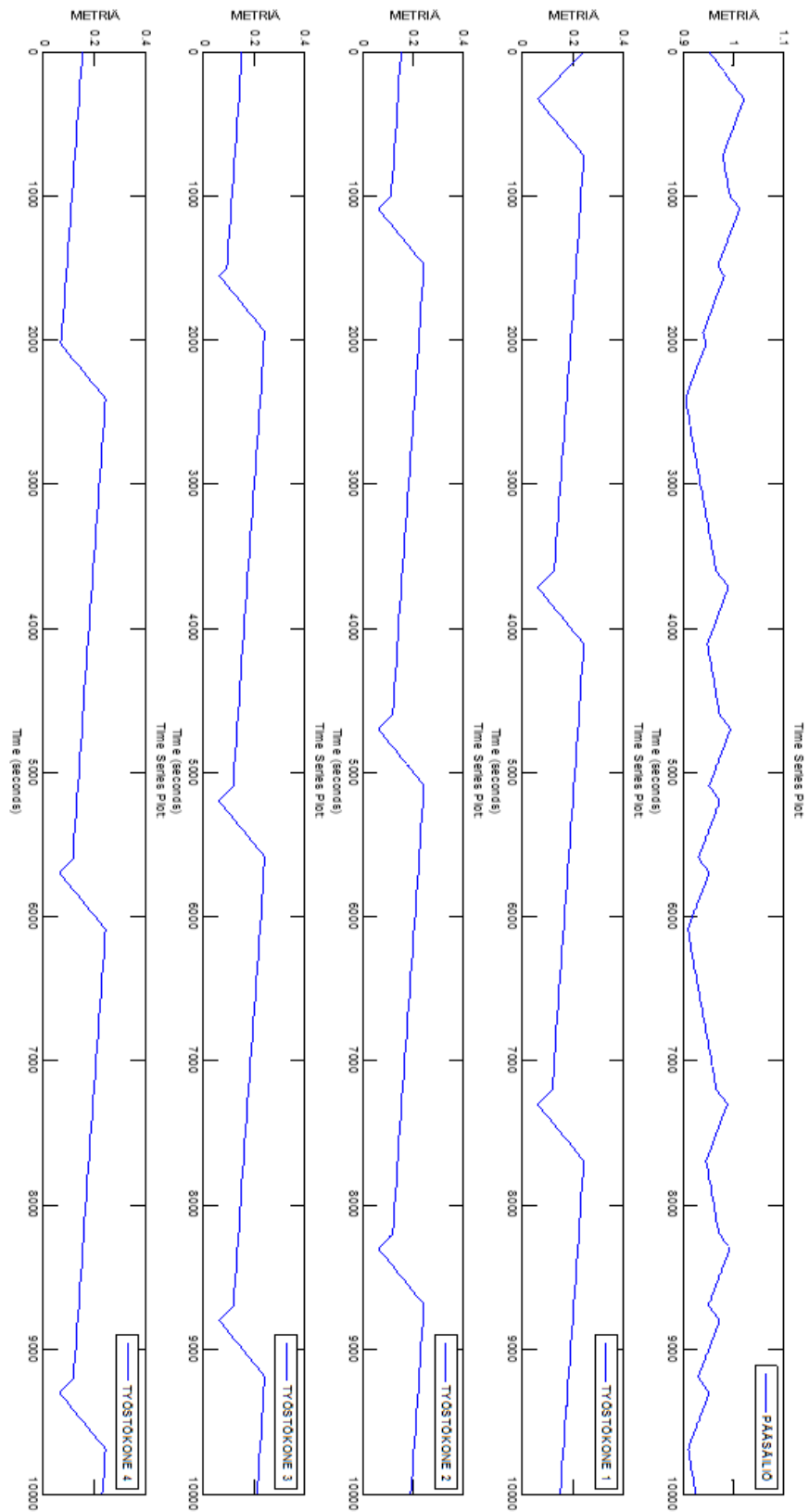
Kuvio 53. Säiliöiden leikkuunesteen konsentraatio 3 vuoden aikaperiodilla.

Toinen järjestelmän toiminnan kannalta tärkeistä simuloinnin kohteista on se, kuinka leikkuunesteiden pinnat säiliöissä kehittyvät aikajanassa. Kuviossa 54 säiliöiden nesteiden pinnankorkeutta simuloidaan vajaan kolmen tunnin aikajanassa, kuten aikaisemmin kuviossa 52 esitetyissä konsentraatioprosenttien mittauskäyrissä.

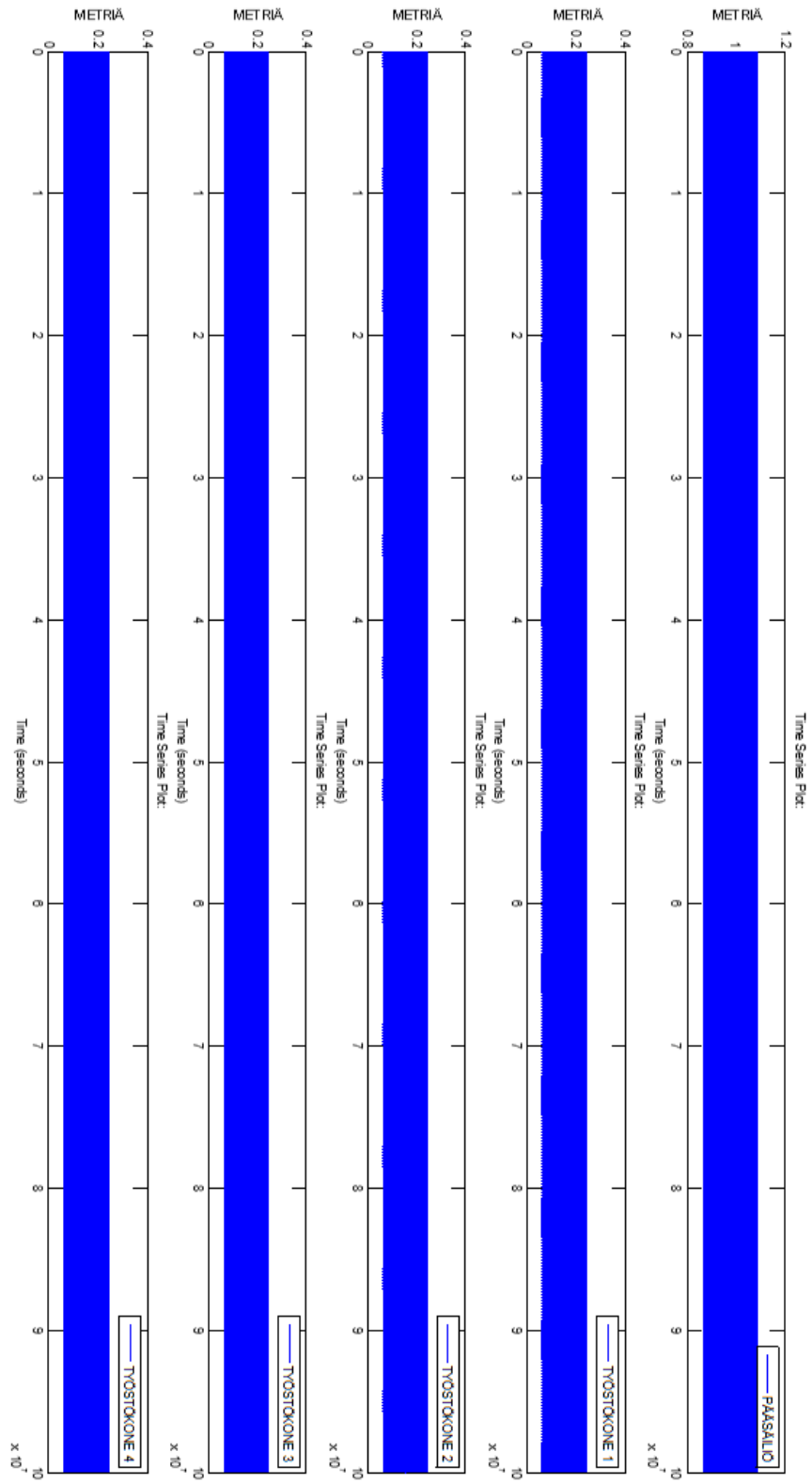
Kuviossa ensimmäinen käyrä kuvaa pääsäiliön pinnankorkeutta, joka vaihtelee vajaan kahdenkymmenen sentin haja-arvojen sisällä maksimiarvon ollessa vähän yli metrin. Tämä pinnankorkeus ja vaihteluvälit ovat täysin toimintarajojen sisällä. Myös työstökoneiden leikkuunestesäiliöiden pinnankorkeudet näyttävät hyviltä ja sopivat niille annettujen toimintarajojen sisään.

Kuten konsentraation säädön simuloinnissa, on tärkeää myös pinnankorkeuden osalta tehdä aikajanassa pitkä simulointi, joka näkyy kuviossa 55. Eli kuvassa näkyvät siniset palkit kuvaavat reilun kolmen vuoden aikana pinnankorkeuksissa tapahtuvia vaihteluja. Vaihteluväli näkyy yhtenä palkkina, koska aikajana on sen verran pitkä ja mittausaskel siihen verrattuna pieni. Tulokset näyttävät kuitenkin hyviltä ja pysyvät toimintarajojen sisäpuolella.

Tällaiset pitkät simuloinnit eivät tietenkään kerro sitä, että järjestelmä toimisi yhtä moitteettomasti, kuin simulaatio näyttää. Vaan se on varmaa, että kolmen vuoden aikana tulee tapahtumaan seisokkeja, laitteistojen vikaantumisia ja muita järjestelmän toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Niitä on mahdoton ottaa huomioon tämän tyyppisissä simuloinneissa, mutta ne eivät heikennä kumminkaan sitä, että järjestelmän toimintakyky matemaattisesti näissä simuloinneissa on varmistettu



Kuvio 54. Pääsäiliön ja työstökonesäiliöiden pinnankorkeus aikajanassa



Kuvio 55. Säiliöiden pinnankorkeus 3 vuoden aikaperiodilla

10 Yhteenveto keskittävästä leikkuunestejärjestelmästä

Ohjausjärjestelmässä on aina tieto siitä kuinka paljon leikkuunestettä koko järjestelmä pitää sisällään, eikä se missään vaiheessa ylitä pääsäiliössä olevaa kapasiteettiä. Lisäksi järjestelmässä on kaiken aikaa tieto siitä, ettei mikään järjestelmässä olevan työstökoneen leikkuunestemäärä ole oman toimialueensa ala- tai yläpuolella. Varsinainen nestetase järjestelmässä tulee olemaan kokoajan tasapainossa, joka tarkoittaa sitä, että jokaisessa säiliössä poistuva neste korvautuu uudella. Myöskin varsinainen puhdistusyksikkö kuvataan säätöjärjestelmän tässä vaiheessa yhteen pääsäiliön kanssa, koska ei ole vielä tiedossa kuinka kauan nesteen puhdistamisessa menee aikaa. Lisäksi tähän järjestelmään ei ole lisätty vielä briketöinnistä tulevaa leikkuunestettä. Tämä lisätään säätöjärjestelmään viimeistelyvaiheessa. Sitä kuinka paljon uutta leikkuunesteseosta järjestelmään täytyy päivittäin automaattisesti lisätä, ei tässä vaiheessa ole vielä huomioitu, vaan se toiminto lisätään järjestelmän viimeistelyvaiheessa.

Varsinaisina säätölaitteina järjestelmässä toimivat, jokaiselta työstökoneelta ja pääsäiliöstä löytyvät toimilaitteella varustetut kolmitieventtiilit tai sekoituspumput. Nämä asetuvat oikeaan suhteeseen veden kanssa on-line konsentraatiomittauksen avulla. Jottei kolmitieventtilistä tai sekoituspumpusta pääse valumaan leikkuunestettä jostain syystä vesijärjestelmään täytyy vesiliitännässä olla takaiskuventtiilit, jotka estävät sen.

Työstökoneiden tyhjennys tapahtuu konekohtaisilla paluupumpuilla, jotka tulevat käynnistymään joko aikaperiodilla tai silloin kun puhdistusyksikköön on mahdollista pumpata lisää leikkuunestettä siten, että pumppu pysähtyy silloin, kun pinnan alaraja saavutetaan. Lisäksi pumppu käynnistyy myös silloin, kun nestepinta työstökoneesta on jostain syystä ylittänyt ylärajan. Tämän systeemin toiminnollisuus pitää sisällään myös leikkuunesteen puhdistusjärjestelmän kapasiteetin varmistamisen, jottei se ylitä sen kapasiteettiä.

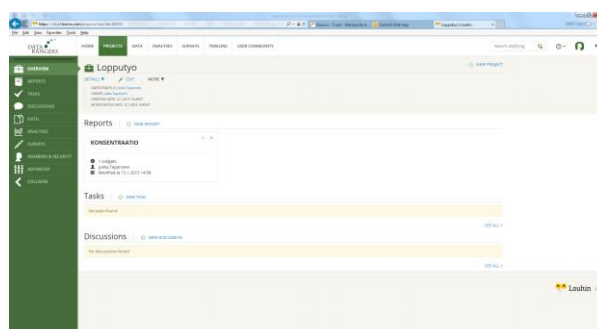
Työstökoneen täytön logiikka toimii puolestaan niin, että silloin kun työstökoneen nestepinta on saavuttanut alarajan tai pääsäiliöstä halutaan pumpata puhdistettua leikkuunestettä työstökoneelle nestetaseen tasapainottamiseksi, käynnistyy pääsäiliössä oleva pumppu ja työstökoneella olevat säätöyksiköt aktivoituvat. Eli kolmitieventtiili tai sekoituspumppu asettuu haluttuun asentoon, joka määräytyy tiedolla pääsäiliön ja työstökoneen leikkuunesteiden konsentraatiosta. Tällöin tiedetään se minkälaisella suhteella säätölaite sekoittaa tulevan leikkuunesteen veden kanssa ja kun tämä operaatio on

valmis, magneettiventtiili aukeaa työstökoneella. Leikkuunesteen täyttö jatkuu siihen saakka, kunnes lähestytään ylärajaa, jolloin magneettiventtiili sulkeutuu. Työstökoneiden leikkuunestesäiliöiden täytön ja tyhjennyksen alarajat ja ylärajat täytyy olla hieman eri korkeudella, jotta järjestelmä toimii sykleittäin.

Silloin kun työstökoneetta jostain syystä halutaan ajaa manuaalisesti, löytyy jokaiselta työstökoneelta täyttöpainike, jota painaessa pääsäiliön pumppu käynnistyy ja työstökoneella oleva magneettiventtiili aukeaa sekä säätöjärjestelmä muuttuu siihen asentoon, että sinne virtaa vain pääsäiliöstä tulevaa leikkuunestettä. Tällöin minkään muun työstökoneen magneettiventtiilit eivät voi olla auki.

11 Konsentraation mittaustiedon analysointi

Koska tätä lopputyötä tehdessä käytössä ei ollut Fleximin online konsentraation mittauslaitetta, eikä myöskään minkäänlaista siitä saatua mittausraporttia, niin simuloitiin sen toimintaa käyttämällä Louhin- ja Dataminer ohjelmistoja. Nämä ohjelmistot on kehittänyt DataRangers niminen ohjelmistoyritys. Yritys on erikoistunut kehittyneisiin analytiikkaratkaisuihin ja dataintensiiviseen konsultointiin. Niinpä yrityksen tekemät ohjelmistot pystyvät käyttämään hyväksi datankeruussa ja sen analysoinnissa kaikennäköistä informaatiota sanoista numeroihin. Myös tämä informaatio pystytään visualisoida hyvin monella erilaisella tavalla, lähtien normaaleista palkeista aina monimutkaisiin 3D kuviin. Louhin ohjelman etusivu ja ulkonäkö näkyy kuviossa 56, siinä näkyy liitettyinä konsentraatio niminen raportti, joka analysoidaan Dataminer ohjelmistolla. Tämä raportti on Excel-pohjainen tiedosto, johon simulaatiomallista on kerätty dataa pääsäiliön ja työstökoneiden leikkuunestesäiliöiden konsentraation kehittymisestä. Tästä ohjelmakoodista näkyy ote kuviossa 57. [34]




```
Kuvio 56. Louhin
filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'A1';
xlswrite(filename,CP1,sheet,xlRange)
filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'B1';
xlswrite(filename,c1,sheet,xlRange)
filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'C1';
xlswrite(filename,c2,sheet,xlRange)
filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'D1';
xlswrite(filename,c3,sheet,xlRange)
filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'E1';
xlswrite(filename,c4,sheet,xlRange)
```

Kuvio 57. Ote ohjelmakoodista

Kuviossa 58 näkyy minkälaisen taulukon Matlab-ohjelmisto näillä tiedoilla rakentaa. Jokaiselle työstökoneelle, sekä pääsäiliölle on määritelty yksi kolumni ja sen sisälle lukematon määrä rivejä, jotka kuvaavat mittaustuloksia. Oikeasti konsentraation online mittauksessa ei tämmöistä datamäärää tule, vaan konsentraatio mitataan ainoastaan silloin, kun työstökoneelle ollaan lisäämässä leikkuunestettä, eli noin kerran tunnissa, sekä silloin kun pääsäiliötä täytyy täyttää uudella leikkuunesteseoksella.

Import - Z:\Matlab\PS_konsentraatio.xlsx

IMPORT VIEW

Range: A1:E64372

Variable Names Row: 1

Column vectors
Matrix
Cell Array
Table

Replace

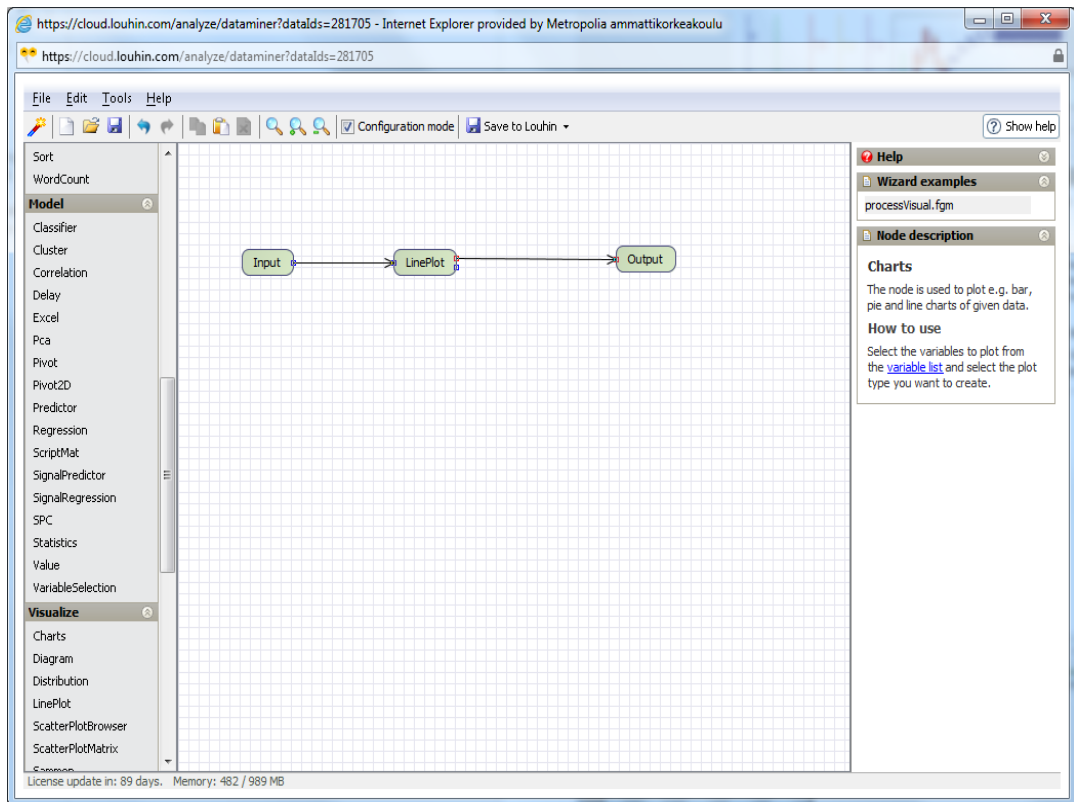
SELECTION IMPORTED DATA

PS_konsentraatio.xlsx

	A	B	C	D	E
	VarName1	VarName2	VarName3	VarName4	VarName5
	Number	Number	Number	Number	Number
17922	8.6643	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17923	8.6643	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17924	8.6644	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17925	8.6644	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17926	8.6644	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17927	8.6645	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17928	8.6645	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17929	8.6645	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17930	8.6646	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17931	8.6646	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17932	8.6646	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17933	8.6647	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17934	8.6647	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17935	8.6647	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17936	8.6647	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17937	8.6648	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17938	8.6648	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17939	8.6648	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17940	8.6649	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17941	8.6649	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17942	8.6649	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17943	8.6650	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17944	8.6650	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17945	8.6650	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17946	8.6651	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17947	8.6651	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17948	8.6651	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17949	8.6652	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17950	8.6652	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17951	8.6652	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17952	8.6652	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17953	8.6653	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17954	8.6653	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17955	8.6653	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17956	8.6654	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17957	8.6654	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17958	8.6654	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17959	8.6655	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17960	8.6655	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17961	8.6655	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17962	8.6656	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17963	8.6656	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17964	8.6656	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034
17965	8.6657	15.0000	7.3183	7.3110	7.3034

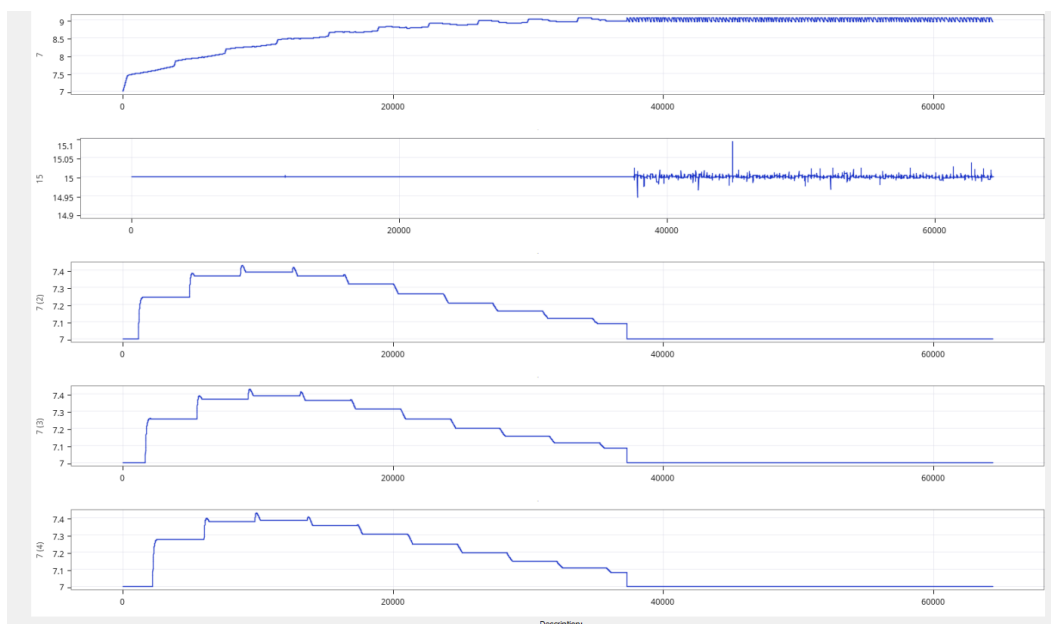
Kuvio 58. Taulukko konsentraatio-arvoista

Datan analysointi olisi voitu tehdä myös Louhimella, mutta tässä käytetään Dataminer-ohjelmistoa. Tällaiseen yksinkertaisen analyysiin tekemiseen ei tarvita muita tekijöitä kuin sisääntulo analyysitapa ja ulostulo. Nämä näkyy kuviossa 59.



Kuvio 59. Dataminer

Tämä analyysi tuottaa kuviossa 61 näkyvät käyrät, jotka ovat konekohtaisesti eriteltyinä. Käyrät näyttävät samalta kuin Matlabin rakentamat käyrät, mutta eroavaisuutena näissä on se, että kuviossa 61 olevat pisteet piirtyvät käyriin otosmäärien mukaan, joita tässä 10 000 sekunnin määrässä on yli 60 000.

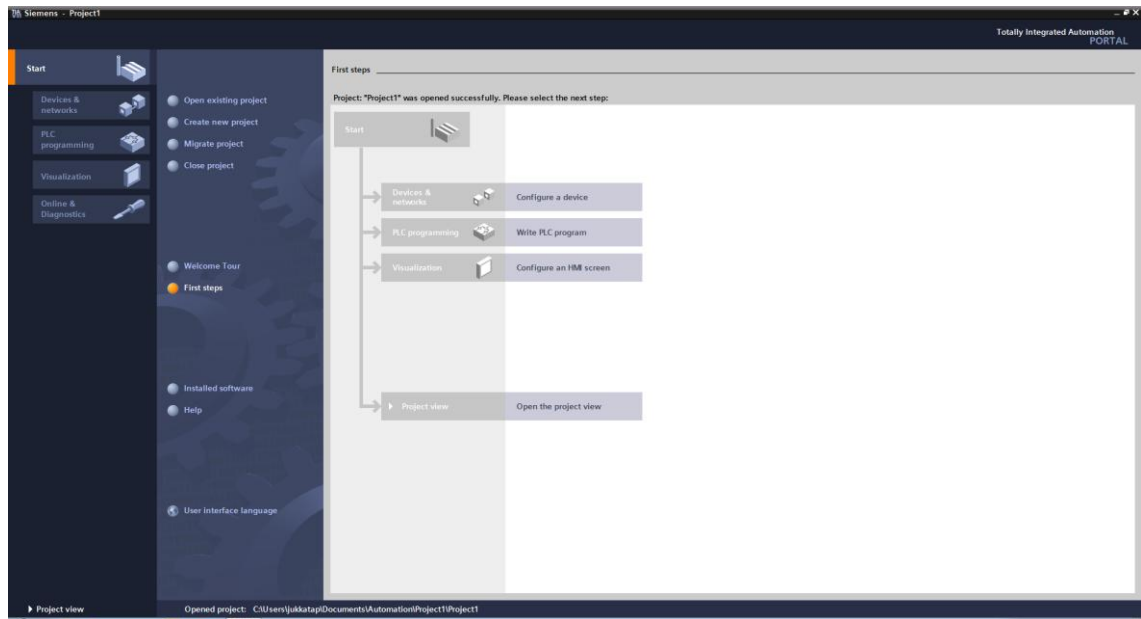


Kuvio 60. Tulokset dataminerilla

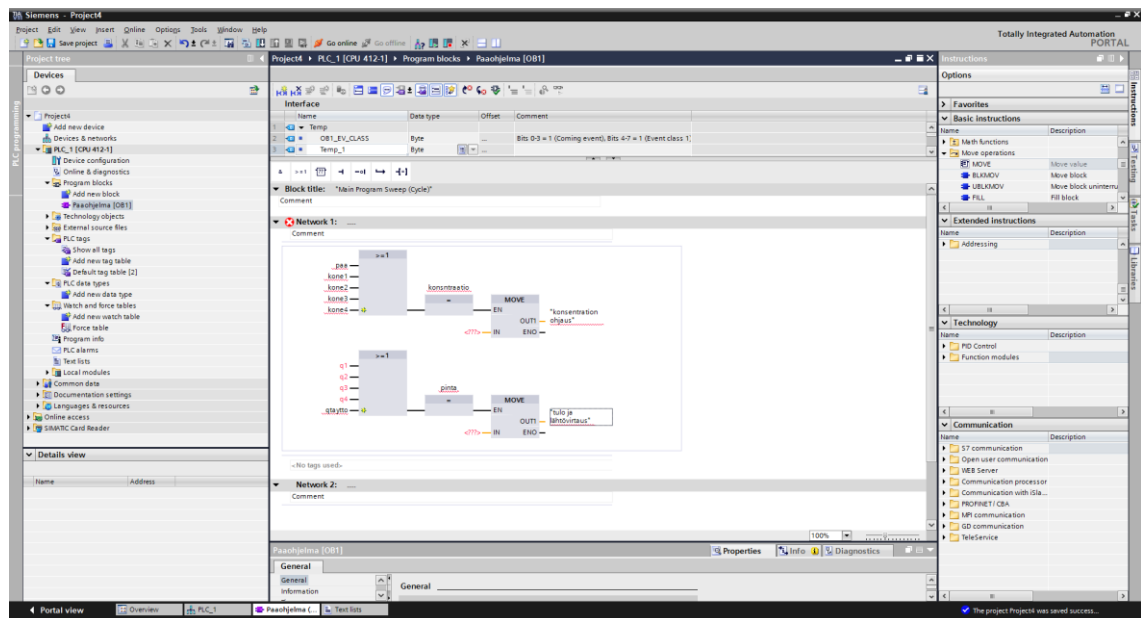
12 Järjestelmän ohjelmoinnin suunnittelu

Leikkuunestejärjestelmän ohjelmointi voidaan suorittaa monella erityyppisellä tavalla, mutta tässä on otettu ole esimerkkiohjelmaksi Siemens TIA (Totally Integrated Automation). Ohjelmisto on julkaistu vuonna 2011 ja se on kehitetty step 7 ohjelmistoversion päälle. TIA:ssa on lähdetty kehittämään visuaalisuutta, joka vanhemmissa step ohjelmistoissa on aina ollut hieman kömpelöä. Varsinkin TIA:an tehdyillä ohjelmapaketeilla pystytään asettamaan ja ohjelmoimaan ohjelmistot, sekä niiden toimintaa ohjaavat näytöt ja niitä ohjaavat tietokonejärjestelmät yhteen ja samaan pakettiin lähes täysin graafisia ohjelmointipintoja käyttämällä (kuvio 61).

Kuviossa 62 olen asetellut ohjelmointitilaan muutamia lohkoja, jotka kuvaavat pääsääntöön kytkentöjä. Näitä ei ole kuitenkaan mitenkään määritelty toimivaksi, joten kuvassa oleva ryhmitys ei ole toimiva. Tässä haluttiin vain esitellä se, kuinka Simulink ohjelmistossa määritellyistä lohkoista voidaan poimia sisääntulot sekä uloslähdöt helposti ja määrittellä niiden osoitteet ja toiminnat tähän ohjelmaan.



Kuvio 61. Siemens TIA



Kuvio 62. TIA ohjelmointiympäristö

13 Yhteenveto

Lopputyön aiheena oli suunnitella leikkuunesteen puhdistusjärjestelmän toiminta ja säätö Palodexgroupin konepajaan, sekä selvittää se, kuinka jätelastujen puristusjärjestelmä on lähtenyt toimimaan ja mitä etuja, sekä säästöjä se yritykselle on tuonut. Lähtökohtana keskitetyn leikkuunestejärjestelmän suunnittelemisessa oli se, että konepajassa käytettiin leikkuunesteitä aivan liian suuria määriä ja osaksi siitä johtuen Ekokehille toimitettavan ongelmajätteen määrä oli suuri. Lisäksi useat työstökoneiden tulvimiset ja siitä syntyneet erilaiset ongelmat ja myöskin se, että keskitetyllä leikkuunestejärjestelmällä pystyttäisiin pienentämään puhdistuslaitteiden tarvitsemaa lattiapinta-alaa, olivat määräävänä näkökohtina asiassa.

Jätelastujen puristusjärjestelmä, eli briketöintilaitteisto osoittautui varsin hyväksi investoinniksi kaikin puolin. Laitteiston avulla pystyttiin keskittämään ja kontrolloimaan erittäin hyvin jätelastujen keräysjärjestelmää, sekä lastujen varastointia. Tämä pelkästään tuo säästöjä siinä, ettei lastukontteja tarvitse niin usein tyhjentää ja tämän vuoksi myös vähentynyt liikenne tuo ekologista näkökulmaa asiaan. Lisäksi vanhassa metallijätteen varastointijärjestelmässä oli isona ongelmana siellä oleva suuri leikkuunesteen määrä, joka aiheutti valumia tehtaan sisälle sekä piha-alueelle.

Toisena ja vielä enemmän säästöjä tekevänä asiana laitteiston toiminnassa oli se, että kun jätelastut oli puristettu briketeiksi, saatiin siitä huomattavasti korkeampi hinta, kuin lastuina toimitetusta samasta materiaalista. Lisäksi puristuslaitteessa saatiin jätelastujen seassa oleva leikkuuneste talteen, josta tulikin lopuksi yllättävän suuri säästökohde. Tämä kuitenkin vaati sen, että tämä takaisin saatu leikkuuneste saataisiin puhdistettua tarpeeksi hyvin. Tässä aluksi olikin suuria ongelmia, mutta lopuksi ongelmat ratkaistiin ja tämän leikkuunesteen puhdistusjärjestelmän asennus alkoi tammikuussa 2015.

Heti alussa oli selvää se, ettei varsinaista leikkuunesteiden puhdistusyksikköä kannata itse suunnitella ja tehdä, koska markkinoilla on useita eri valmistajien tekemiä ratkaisuja. Tämän jälkeen olikin selvä se, että keskitytään ainoastaan siihen, kuinka tällainen järjestelmä saadaan optimoitua toimimaan mahdollisen tehokkaasti ja kuinka sitä kautta saadaan suurimmat säästöt yritykselle.

Aluksi konepajan pohjapiirustuksista selvitettiin alue, johon puhdistusyksikön laitteistot kannattaisi sijoittaa. Kun paikka oli löydetty, piirrettiin uuteen leikkuunestejärjestelmään tulevat laitteet siihen ja näin varmistettiin se, että nämä laitteet pystyvät fyysisten mittojen puolesta toimimaan siellä. Tämän jälkeen suunniteltiin se, kuinka putkistot ja muut laitteet sijoittuisivat konepajaan ja tulisivatko ne haittaamaan jollain tapaa konepajan toimintaa. Nämä alustavat piirustukset tehtiin Auto CAD ohjelmistolla.

Pohjapiirustukset eivät kuitenkaan täysin riitä varmistamaan sitä, kuinka laitteet, putkistot ja venttiilit toimisivat puhdistusjärjestelmässä. Tämän takia täytyi piirtää konepaja vielä 3D kuvana, johon sijoiteltiin kaikki tähän järjestelmään liittyvät osat. Nämä 3D piirustukset antavat mahdollisuuden katsella laitteiden liitännöitä ja toimintaa eri kuvakulmista, jolloin mahdolliset suunnitteluvirheet voidaan löytää helpommin. Nämä piirustukset tehtiin Creo Pro Engineering ohjelmistolla. Kun edellä mainitut vaiheet olivat valmiina, pystyttiin suunnittelemaan varsinainen järjestelmä ja sen toiminnollisuus. Tässä vaiheessa valittiin sekä suunnitteluun että simuloitiin käytettäväksi Matlab-ohjelmistoa ja siinä olevaa Simulink osiota, sekä valmiin järjestelmän toiminnanohjauksessa Siemensin ohjaussysteemiä.

Simulinkin simulaatiomallin toiminnollisuuden sekä Matlabin ohjelmakoodin avulla luotiin toiminta- ja säätöjärjestelmä systeemiin. Tässä järjestelmässä on mukana neljä erillistä työstökoneetta leikkuunestesäiliöineen, leikkuunesteen puhdistusjärjestelmä, sekä varsinainen pääsäiliö, jonka kautta koko järjestelmä toimii. Järjestelmän toiminta-periaatteena on se, että yksi työstökoneista vaatii isomman konsentraatioprosentin leikkuunesteeseensä kuin pääsäiliössä oleva leikkuuneste on. Muut kolme konetta toimivat suurin piirtein samalla leikkuunesteen konsentraatiolla kuin pääsäiliö.

Järjestelmän säätömekanismin tärkeimpänä osana on niin sanottu konsentraation online mittaus, jonka avulla koko säätö tapahtuu. Mittaus tapahtuu ennalta määritellyinä hetkinä ja tämän avulla toimintajärjestelmässä olevat kolmitieventtiilit tai sekoituspumput toimilaitteineen pystyvät säätämään leikkuunesteen konsentraation automaattisesti oikealle tasolle. Lisäksi magneettiventtiilit toimilaitteineen huolehtivat nesteen siirron oikeasta ajoituksesta ja sen määrästä. Lisäksi vesilinjastossa käytetään takaiskuventtiilejä estämään leikkuunesteen vuotoja sinne.

Tuloksena saatiin suunniteltua järjestelmä, joka toimii moitteettomasti, kun sen toiminnollisuutta tutkitaan matemaattisesti ja simuloidaan aikaisemmin mainitulla ohjelmistol-

la. Tietenkin kun järjestelmää aletaan asentamaan fyysisesti paikalleen, tuo se varmasti täysin uusia ongelmia eteen, joita tällaisessa simuloinnissa ei pysty havaitsemaan.

Erikoisuutena tässä järjestelmässä on yhden koneen täysin muista koneista poikkeava konsentraatioprosentti, joka on jossain määrin haastava toteuttaa. Tämä suunniteltu säätöjärjestelmä osoittaa sen, että tällainen toiminnollisuus näyttäisi simulointien perusteella olevan mahdollista. Lisäksi oletetaan, että myöskin kolmitieventtiilit tai sekoituspumput toimivat ajatellulla tavalla. Simulaattorin hyvät tulokset perustuvat vahvoihin oletuksiin myöskin konsentraation on-line mittauksen toimivuudesta, eli simuloinneissa, joissa osassa ajettiin järjestelmää yli kolmen vuoden aikaperiodilla 1000 sekunnin maksimi mittausaskeleella, ei tänä aikana syntynyt mitään vakavia poikkeamia leikkuunestesäiliöiden pinnankorkeuksissa tai konsentraatioprosenteissa. Tässä ainoana ongelmakohtana oli se, kuinka vältetään niin sanottu ylitäyttö, eli tilanne jolloin leikkuunesteen määrä järjestelmässä ylittää sen kapasiteetin. Sen poistamiseksi säädössä huomioitiin se, kuinka paljon leikkuunestettä haihtuu työstön aikana ja paljonko koko järjestelmään sen myötä täytyy sitä lisätä. Järjestelmä ei ole vielä täysin aukoton, vaan se täytyy viimeistellä silloin kun laitteet ovat fyysisesti omilla paikoillaan ja esimerkiksi nesteiden kulkuaikaviiveet ovat tiedossa.

Koska käytössä ei ollut mitään laitetta ohjelmistoinen, jolla voitaisiin mitata on-line tilassa konsentraatioprosenttia, pystyttiin osoittamaan sen toiminnollisuus ohjelmistoilla, joilla oikeasti tehdään erityyppisiä data-analyyssejä. Tähän valittiin DataRangersin Louhin- ja DataMiner ohjelmistot, joilla käsiteltiin dataa samalla tavalla, kuin konsentraatioprosentin säätölaite sen tekisi. Jotta simulointi onnistuisi, tehtiin Matlabin ohjelmakoodiin toiminnollisuus, joka siirtää Simulink-ohjelmistossa olevilta datan mittauspaikoilta haluttu informaatio Excel-tiedostoihin, joista ne purettiin Louhimelle ja DataMainerille. Siellä data käsiteltiin ja tulostettiin ulos käyrinä, jotta nähtäisiin se, kuinka konsentraatioprosentin automaattinen mittalaite tekisi sen ohjelmistoinen. Lopuksi lopputyössä esiteltiin lyhyesti Siemensin ohjelmointiympäristön ulkoasua ja millä lailla ohjelmointi tapahtuisi.

Leikkuunesteen puhdistusjärjestelmän fyysinen asentaminen ja sen säätäminen Palodexgroupin konepajaan tapahtuu aikaisintaan vuonna 2016, riippuen kuitenkin täysin siitä minkälaisia investointeja tällä välin konepajaan tarvitaan.

Lähteet

- 1 Industrial Trading Helsinki Oy < www.ith.fi > Luettu 10.02.2014
- 2 DMG MORI kotisivut < <http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/nmv/nmv5000dgc> > Luettu 12.11.2014
- 3 Paloviesti PalodexGroupin oma tiedotuslehti
- 4 Palodexgroup kotisivut < www.palodexgroup.com > Luettu 28.2.2014
- 5 Averno kotisivut < <http://www.avemet.fi/> > Luettu 12.11.2014
- 6 Wikipedia artikkeli plasmaleikkaus <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Plasmaleikkaus> > Luettu 9.4.2014
- 7 Wikipedia artikkeli laserleikkaus <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Laserleikkaus_\(teollisuus\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Laserleikkaus_(teollisuus))> Luettu 9.4.2014
- 8 Wikipedia artikkeli vesisuihkuleikkaus <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Vesisuihkuleikkaus>> Luettu 9.4.2014
- 9 Wikipedia artikkeli hiekkapuhallus <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Hiekkapuhallus>> Luettu 9.4.2014
- 10 RUF kotisivut < <http://www.brikettieren.de/en/home/>> Luettu 24.4.2014
- 11 Leikko- projekti tutkimusraportti <https://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/LEIKKO/YhteenvetoraporttiLEIKKO.pdf> Luettu 13.5.2014
- 12 Kuusakoski kotisivut <http://www.kuusakoski.fi/Yrityksille/Lavat-ja-astiat/> Luettu 13.5.2014
- 13 Erdwich kotisivut <<http://www.erdwich.com/en/shredding-machines/erdwich-single-shaft-shredder.html>> Luettu 14.5.2014
- 14 Lanner kotisivut <<http://www.lanner.de/>> Luettu 14.5.2014
- 15 MKR kotisivut <<http://www.mkr-metzger.de/index.php/en>> Luettu 14.5.2014
- 16 Keskustelu Toni Mähönen 10.2.2014 Palodexgroup
- 17 Bauer Watertechnology Oy kotisivut < www.bauer-cobolt.com> Luettu 10.02.2014
- 18 Petrus Suokas Metallipajojen leikkuunesteiden käsittely <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74015/Metallipajojen%20leikkuunesteiden%20k%C3%A4sittely.pdf?sequence=1>> Luettu 26.2.2014
- 19 Kuvapankki vastavalo <<http://www.vastavalo.fi/sorvi-sorvaus-konepaja-keraysmetallia-243758.html>> Luettu 20.8.2014

- 20 Oulun yliopisto nabc-malli
<<http://www.oulu.fi/yliopisto/tutkimus/tuki/keksinn%C3%B6t-ja-liikeideat/tutli-rahoitus/nabc-malli>> Luettu 3.9.2014
- 21 Keskustelu Seppo Leino 23.5.2014 Salon Metalelektro
- 22 Keskustelu Tomi Savinainen 13.6.2014 Sandvik Mining and Construction Finland Oy Lahti
- 23 Keskustelu Kari Lyytikäinen 26.6.2014 Agco Power Linnavuori Tampere
- 24 Keskustelu Pekka Hoikkala 26.6.2014 ATA-Gears Tampere
- 25 Keskustelu Matti Valakari ja Ville Valakari. 10.2.2014 Palodexgroup
- 26 Keskustelu Ismo Hyttinen 10.2.2014 Palodexgroup
- 27 Siemens kolmitieventtiilit
<[https://extra.siemens.fi/SBTesitteet.nsf/JulkaisutWeb/2CE96374DB2DE4C4C2257290003D382B/\\$file/N4420fi.PDF](https://extra.siemens.fi/SBTesitteet.nsf/JulkaisutWeb/2CE96374DB2DE4C4C2257290003D382B/$file/N4420fi.PDF)> Luettu 15.12.2014
- 28 Fleximin PIOX R400 artikkeli <http://hantor.fi/wp-content/uploads/2011/02/Laboratoriotarkkuutta_suoraan-prosessiin_av1_2011-.pdf> Luettu 16.06.2014
- 29 Hantor-mittaus kotisivut <<http://hantor.fi/>> Luettu 16.6.2014
- 30 Puhelinkeskustelu Hannu Toroi 30.06.2014 Stig Wahlström Oy
- 31 Tampereen teknillinen yliopisto systeemitekniikan laitos yliopiston lehtorin Terho Jussilan luontomateriaali systeemitekniikan perusteista sivut 38–44
- 32 Wikipedia artikkeli Matlab <<https://fi.wikipedia.org/wiki/MATLAB>> Luettu 25.11.2014
- 33 Wikipedia artikkeli PID-säädin <<http://fi.wikipedia.org/wiki/PID-s%C3%A4%C3%A4din>> Luettu 25.11.2014
- 34 Datarangers kotisivut < <http://www.datarangers.fi/?language=fi#thinking>> Luettu 1.9.2014
- 35 Wikipedia artikkeli polttoleikkaus < <http://fi.wikipedia.org/wiki/Polttoleikkaus> > Luettu 09.4.2014

Liite 1 Hiukkaskoko työstökone 2



RAPORTTI

1(1)

MV

25.4.2014

Bauer Watertechnology Oy
Toni Mähönen
Jaakonkatu 2
01620 Vantaa

Lab.nro H41734

Hiukkaskokojakauman määrittäminen

Näyte PaloDEx Group Oy, Tuusula / Koneistamo / 2. kone (14.4.2014)
Leikkuunestejärjestelmä

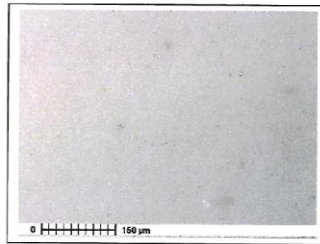
Tutkittava neste Leikkuuneste

Tulokset Kumulatiivinen hiukkaslaskenta

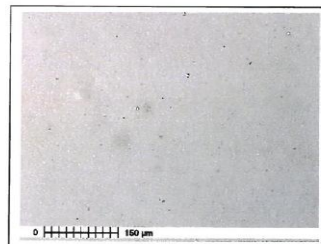
Hiukkaskoko	Hiukasmäärä (kpl) / 100 ml näytettä
>5 µm	340.000
>15 µm	2.200
>25 µm	480
>50 µm	60
>100 µm	10

Kaikki yli >50 µm hiukkaset olivat kuitumaisia.

Mikroskooppikuvat 25 ml näytemäärä / 0,8 µm (abs.) kalvosuodatin, halk. 47 mm
kuvat 1-2: suurennos: 165x, kuvat 3-4: suurennos: 330x,
kuvat 5-6: suurennos 83x



kuva 1



kuva 2:

Oy Colly Company Ab

PL 103 (Hankasuontie 3 A) Puhelin 029 006 150
00381 HELSINKI Telefax 029 006 1150

Sähköposti Sales@Colly.fi
Internet www.colly.fi

Nordea 207518-37552 Y-tunnus 0107262-0
Sampo 800016-115454 ALV rek.



Liite 2 Hiukkaskoko työstökone 4



RAPORTTI

1(1)

MV

25.4.2014

Bauer Water Technology Oy
Toni Mähönen
Jaakonkatu 2
01620 Vantaa

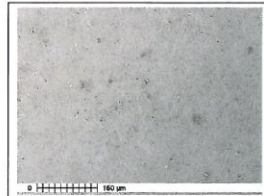
Lab.nro H41735

Hiukkaskokojakauman määrittäminen

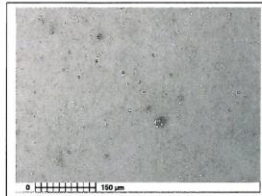
Näyte	PaloDEX Group Oy, Tuusula / Koneistamo / 4. kone (14.4.2014) Leikkuunestejärjestelmä	
Tutkittava neste	Leikkuuneste	
Tulokset	Kumulatiivinen hiukkaskeskitys	
	Hiukkaskoko	Hiukkasmäärä (kpl) / 100 ml näytettä
	>5 µm	1.800.000
	>15 µm	4.800 (osa puoliikiinteitä tms. ei-kovia)
	>25 µm	600
	>50 µm	0
	>100 µm	0

Tutkitusta 10 ml näytelmästä ei havaittu >30 µm kokoisia hiukkasia.

Mikroskooppikuvat
10 ml näytettä / 0,8 µm (abs.) kalvosuodatin, halk. 47 mm
kuvat 1-2: suurennos: 165x, kuvat 3-4: suurennos: 330x
kuvat 5-6: suurennos 63x



kuva 1



kuva 2:

Oy Colly Company Ab

PL 103 (Hankasuontie 3 A) Puhelin: 029 006 150
00391 HELSINKI Telefaks: 029 006 1150

Sähköposti: Sales@Colly.fi
Internet: www.colly.fi

Nordica 207518-37552
Sampo 630018-154544

Y-tunnus 0107262-0 Kotipaikka Helsinki
ALY rek.



Liite 3 Hiukkaskoko Briketöistä tuleva leikkuuneste.

MV

26.3.2014

Bauer Watertechnology Oy
Toni Mähönen
Jaakonkatu 2
01620 Vantaa

Lab.nro H41537

Hiukkaskokojakauman määrittys

Näyte Palodex, Tuusula / Briketöinti (18.3.2014)
Briketöintikone / RUF

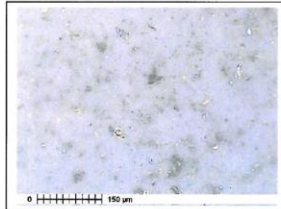
Tutkittava neste Leikkuuneste-emulsio

Tulokset Kumulatiivinen hiukkaslaskenta

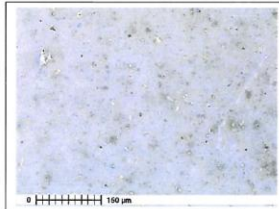
Hiukkaskoko	Hiukkasmäärä (kpl) / 100 ml näytettä
>5 µm	53.000.000
>15 µm	3.300.000
>25 µm	480.000
>50 µm	33.000
>100 µm	600

Kaikki yli >100 µm hiukkaset olivat kuitumaisia.

Mikroskooppikuvat 2 ml näytemäärä / 0, 8 µm (abs.) kalvosuodatin, halk. 47 mm
kuvat 1-3: suurennos: 165x, kuvat 4-6: suurennos: 330x



kuva 1



kuva 2:

Oy Colly Company Ab

PL 103 (Hankasuontie 3 A) Puhelin 029 006 1150 Sähköposti Sa.es@Colly.fi Nordea 207516-37552 Y-tunnus 0107262-0 Kotipaikka Helsinki
00391 HELSINKI Telefax 029 006 1150 Internet www.colly.fi Sampo 630016-1154544 ALV rek.



Liite 4 Nesteraportti Fuchs 1

FUCHS LUBRICANTS (UK) PLC



TECHNICAL SERVICES - LAB REPORT

For Internal Use Only

Customer
PaloDex Group
O/O Fuchs oil Finland, Wairtnie 36, FI-65200 VAASA

Report No: T201400540
Sampled: 14 - Mar - 2014
Received: 1 Apr 2011

Type of Product
Deposit: A

Sample Taken From
Nozzle

Analysis

Test	Method	Result
Appearance		Grey Paste
Aerobic Bacteria (Organisms/ml)		Nil
Fungal Activity		Nil

Metal Analysis (ppm)

Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Pb	Si	Sr	Zn
ND	984	52	3846	619	ND	436	15830	ND	1911
B	Ba	Ca	Cd	Mn	Mo	Na	Ni	P	Sb
618	ND	1130	ND	10	ND	840	ND	6440	ND
	Li	S	Sr	Ti	V	W			
	ND	ND	ND	ND	ND	ND			

Remarks

From the elemental analysis of the submitted sample this material appears to consist of metal fines, hard water salts and coolant residue, possibly including antifoam additive from the level of silicon.

Date: 17 Apr 2014

Ref: HANLEY/T201100518

Signed:

Name: Mick James

Page 1 of 1

Hanley Plant
New Century Street
Hanley Stoke on Trent
ST1 5HU England
Telephone +44 (0)8701 200 400
Fax +44 (0)1782 302073
Email contact-uk@fuchs-uk.com



BS EN ISO 9001 and QS 9000
Certificate No. FM37672

The information contained herein is believed to be correct at time of publication. No warranty expressed or implied is given concerning the accuracy of the information or the suitability of the products. FUCHS reserves the right to modify and change its products and specifications without prior notice.

Registered Office: New Century Street, Hanley, Stoke on Trent, ST1 5HU, England. Registered in England No 300293

Liite 5 Nesteraportti Fuchs 2

FUCHS LUBRICANTS (UK) PLC



TECHNICAL SERVICES - LAB REPORT

For Internal Use Only

Customer

PaloDex Group
 OJ Fuchs oil Finland, Wolffstr 36, FI-05200 VAASA

Report No: T201400629
 Sampled: 14 - Mar - 2014
 Received: 4 - Apr - 2014

Type of Product

EcoCool Ultralife A Emulsion

Sample Taken From
 Machine Sump

Analysis

Test	Method	Result
Appearance		Grey Opaque
Free Oil (%)		Trace
pH	GA3	9.3
Conc. by Refract. %		10.5
Acid Titration		10
Tramp Oil		0.2
Corrosion (% Area Stained)	IP287	0.2
Bloodie (ppm)	GA10	1800
Aerobic Bacteria (Organisms/ml)		Nil
Fungal Activity		Nil
Solids ppm	GA 29	35

Metal Analysis (ppm)

Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Pb	Si	Sn	Zn
ND	38	3	8	15	72	22	6	ND	26
B	Ba	Ca	Cd	Mn	Mo	Na	Ni	P	Sb
ND	ND	73	ND	2	ND	ND	1	133	ND
Li	S	Sb	Ti	V	W				
ND	90	ND	ND	ND	ND				

Remarks

From the analysis of the submitted sample note the slightly high concentration of this fluid. Elemental analysis and solids content indicate only a low level of contamination.



BS EN ISO 9001 and QS 9000
 Certificate No. FM37672

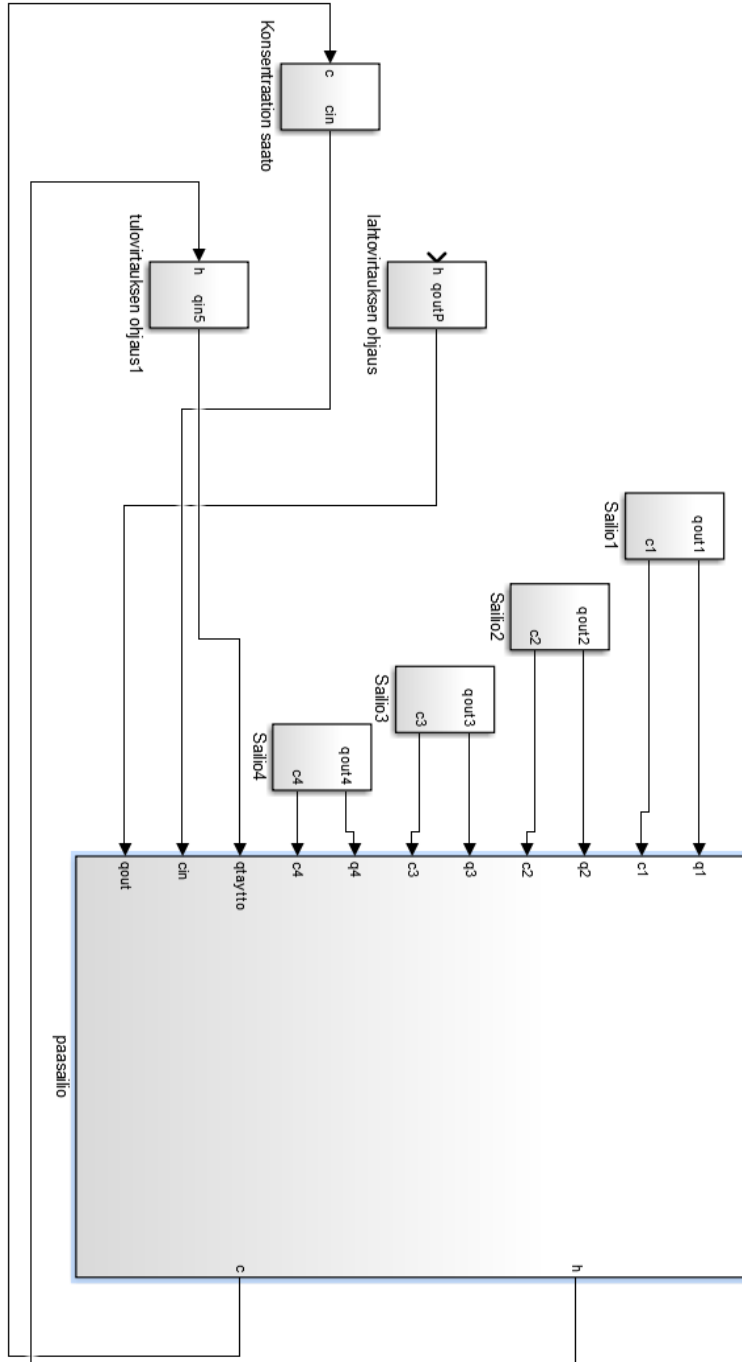
The information contained herein is believed to be correct at time of publication. No warranty expressed or implied is given concerning the accuracy of the information or the suitability of the products. FUCHS reserves the right to modify and change its products and specifications without prior notice.

Registered Office: New Century Street, Hanley, Stoke on Trent, ST1 5HU, England. Registered in England. No 300293

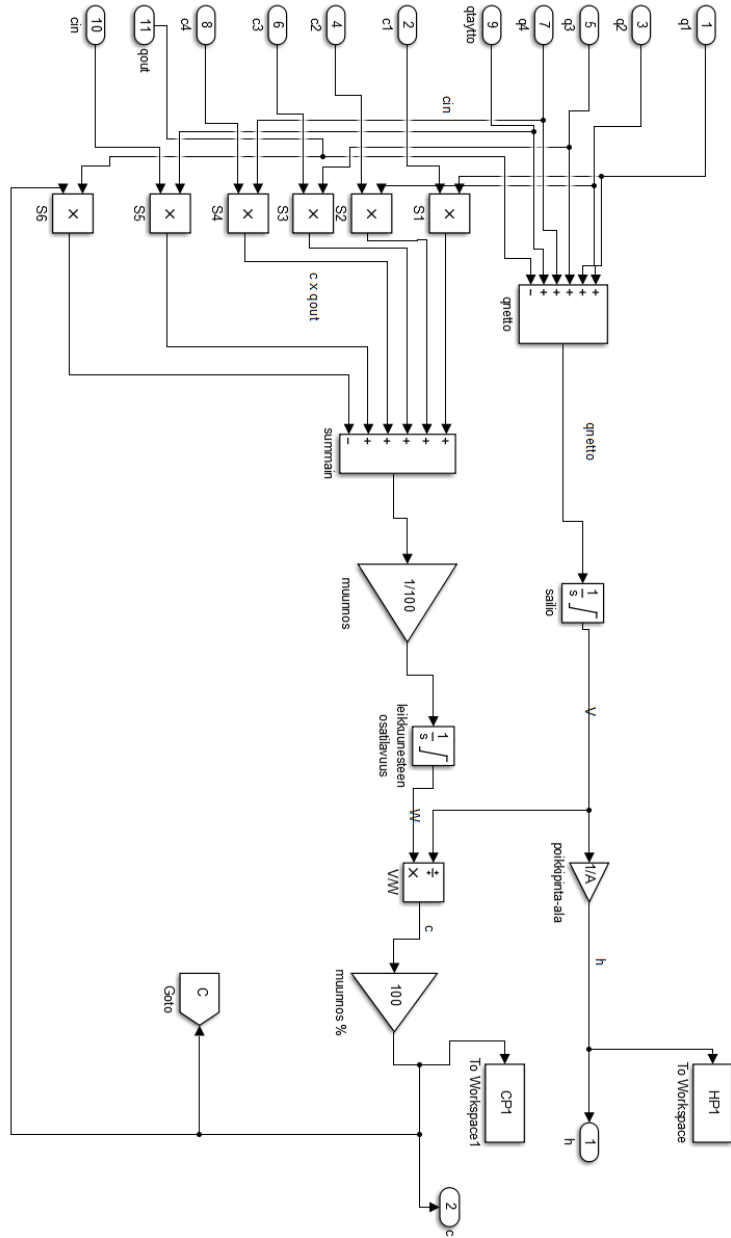
Page 1 of 2

Hanley Plant
 New Century Street
 Hanley, Stoke on Trent
 ST1 5HU, England
 Telephone +44 (0)8701 200 400
 Fax +44 (0)1782 202073
 Email contact-uk@fuchs-oil.com

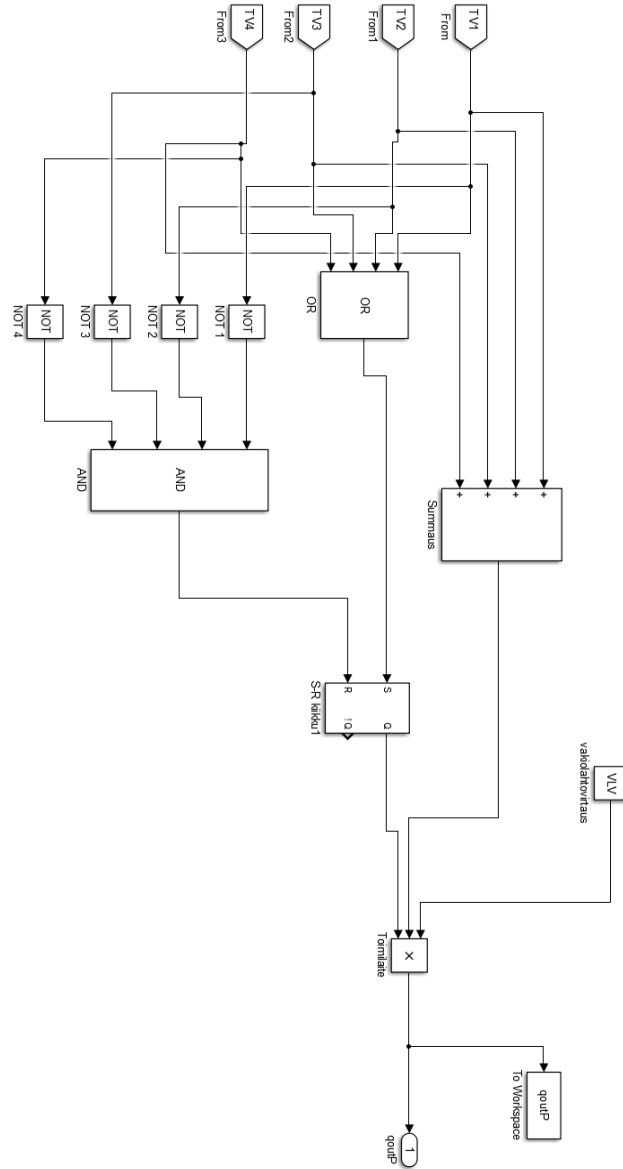
Liite 6 Pääkuva leikkuunestejärjestelmän simulaatiomalli



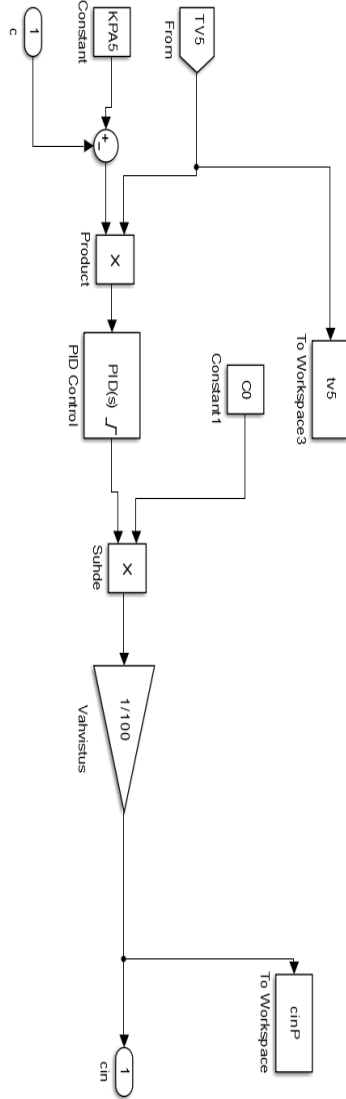
Liite 7 Pääsääliön simulaatiomalli



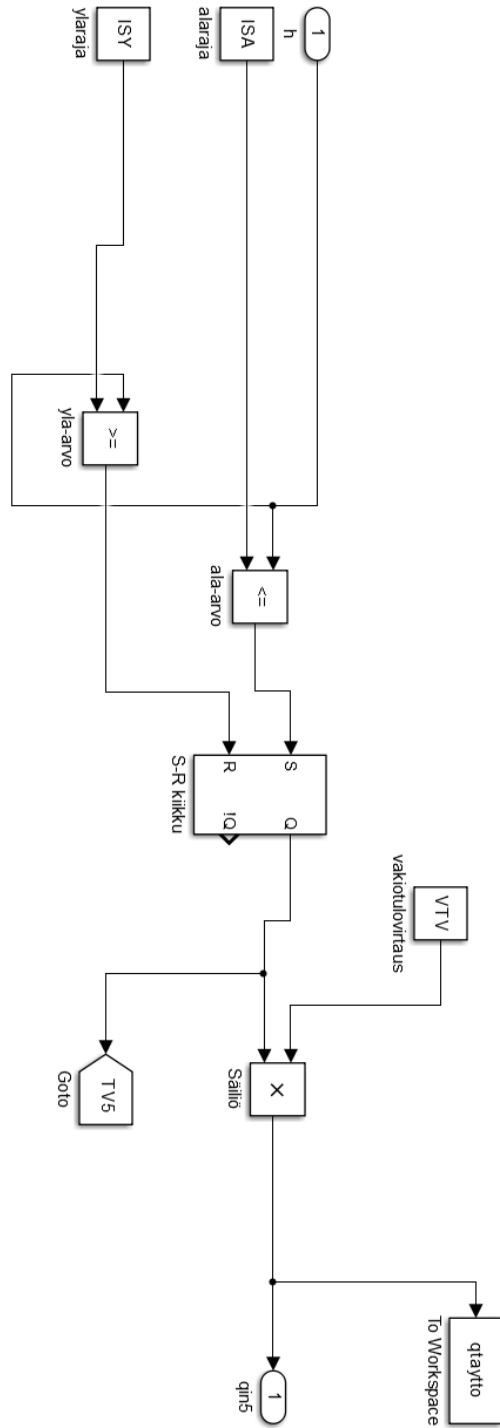
Liite 8 Pääsailiön lähtövirtauksen simulaatiomalli



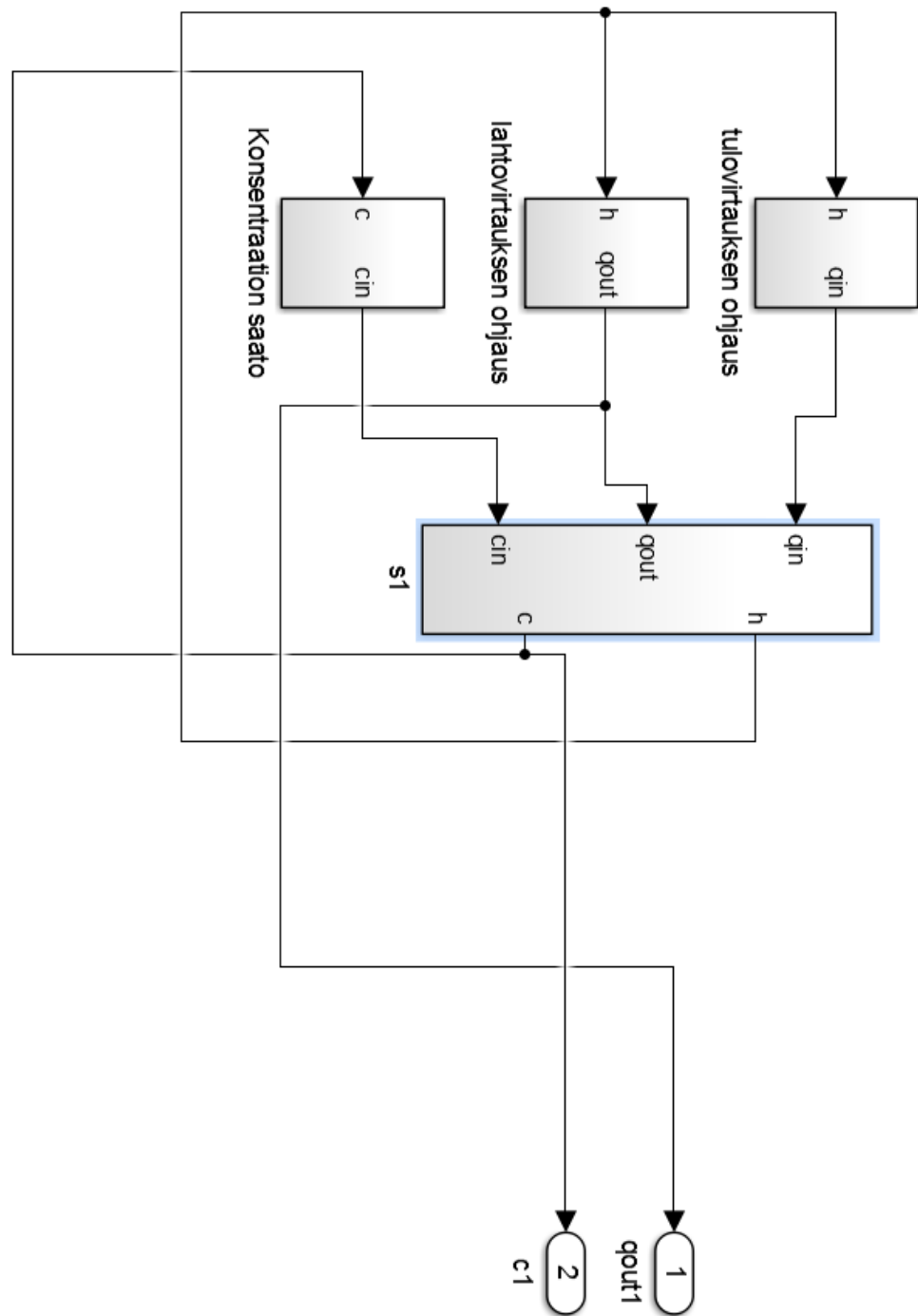
Liite 9 Pääsailiön konsentraation simulaatiomalli



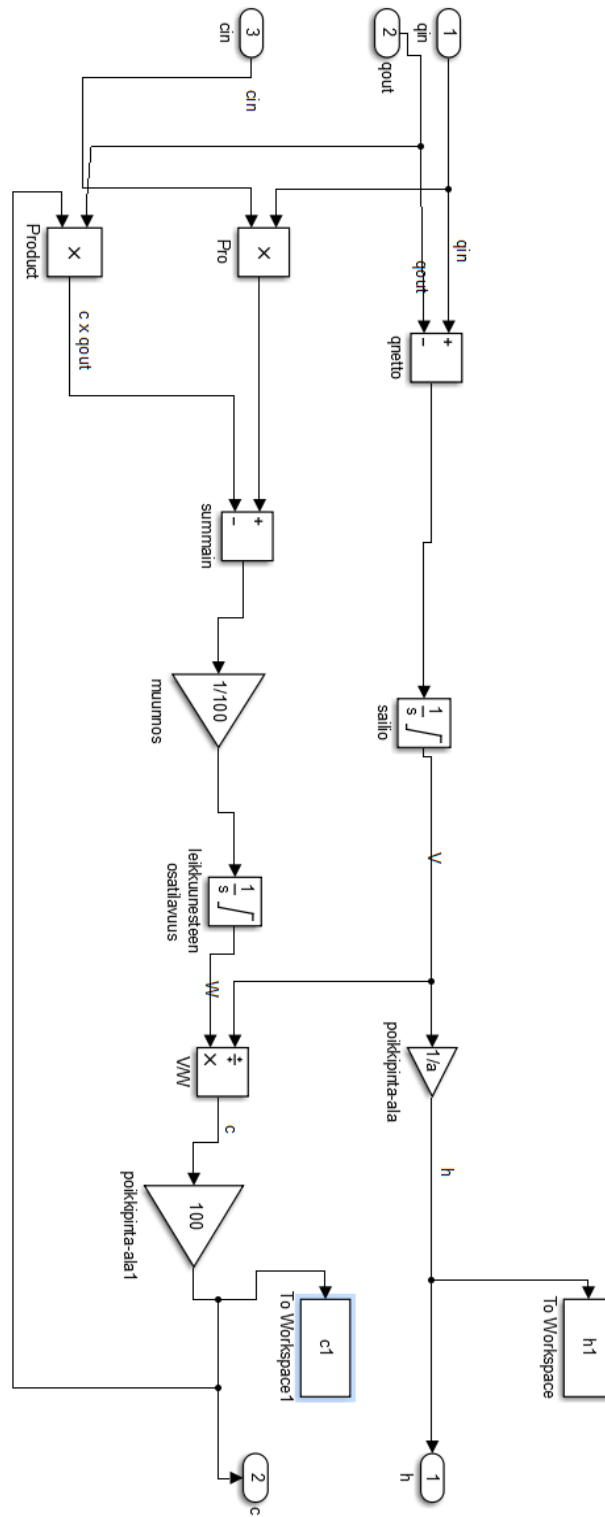
Liite 10 Pääsällön tulovirtauksen simulaatiomalli



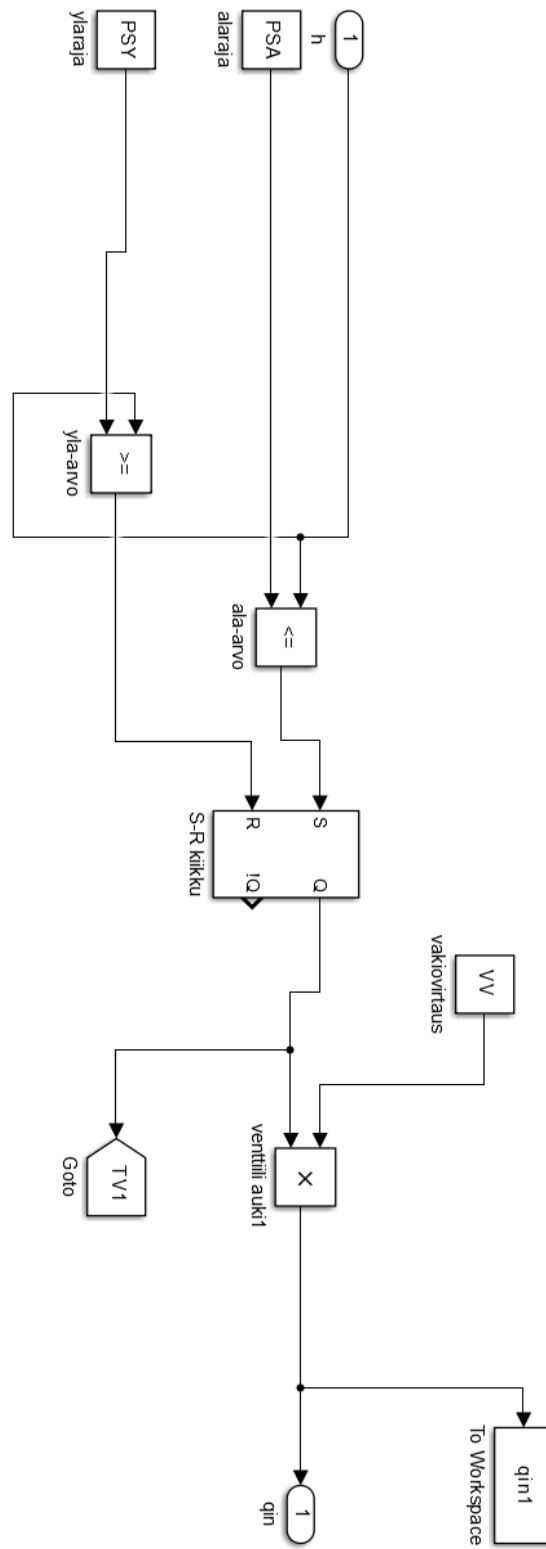
Liite 11 yksittäisen työstökoneen simulaatiomalli



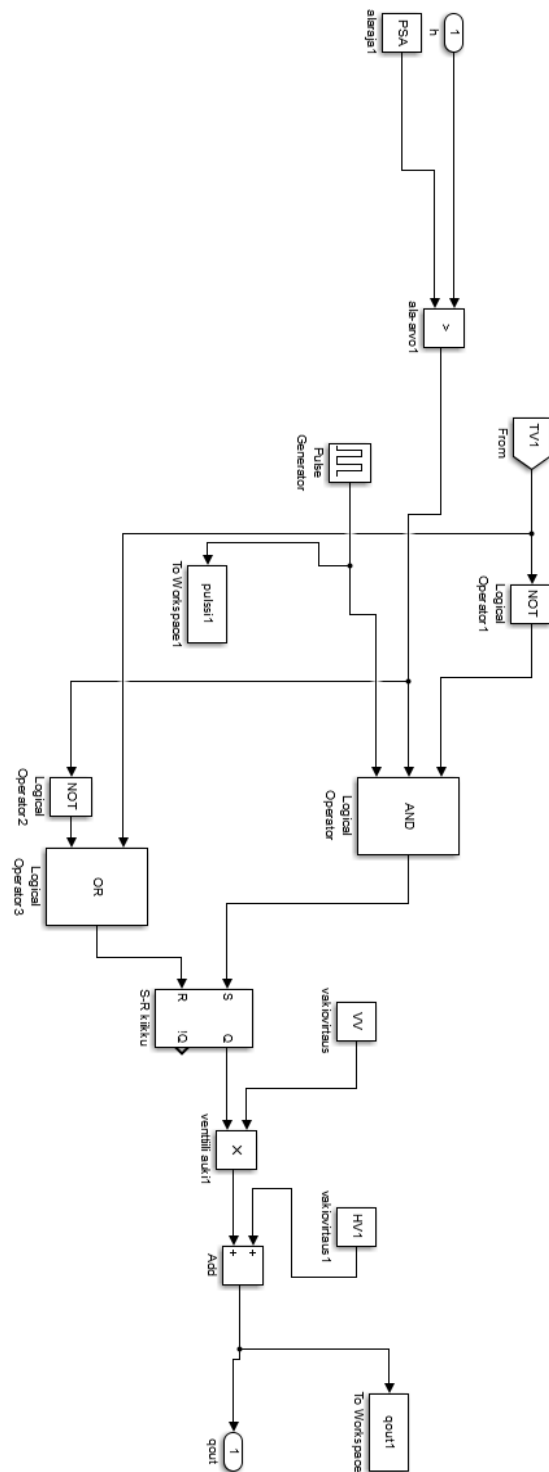
Liite 12 Yksittäisen työstökoneen leikkuunestesäiliön simulaatiomalli



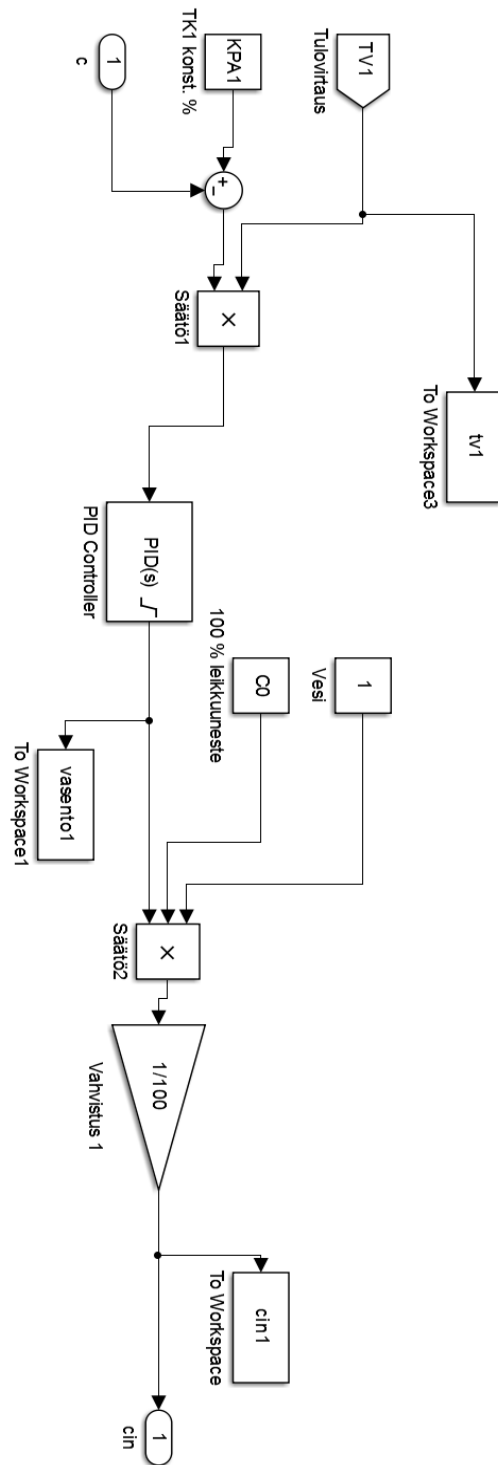
Liite 13 Työstökone 1 tulovirtauksen simulaatiomalli



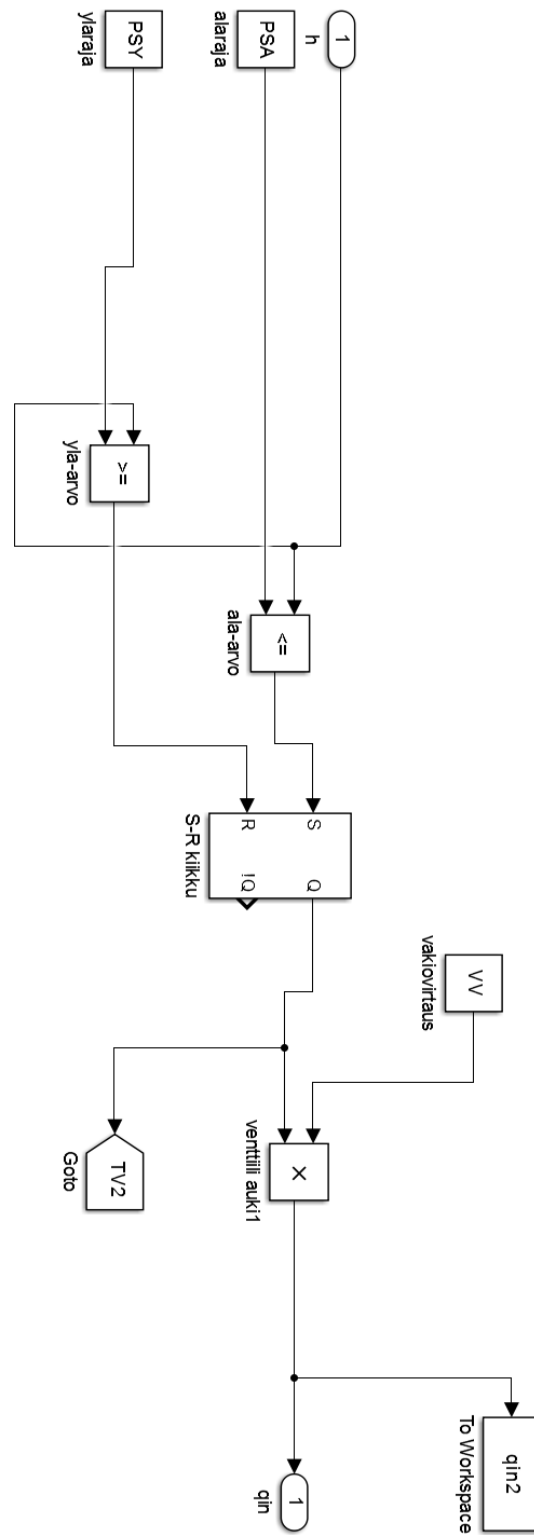
Liite 14 Työstökone 1 lähtövirtauksen simulaatiomalli



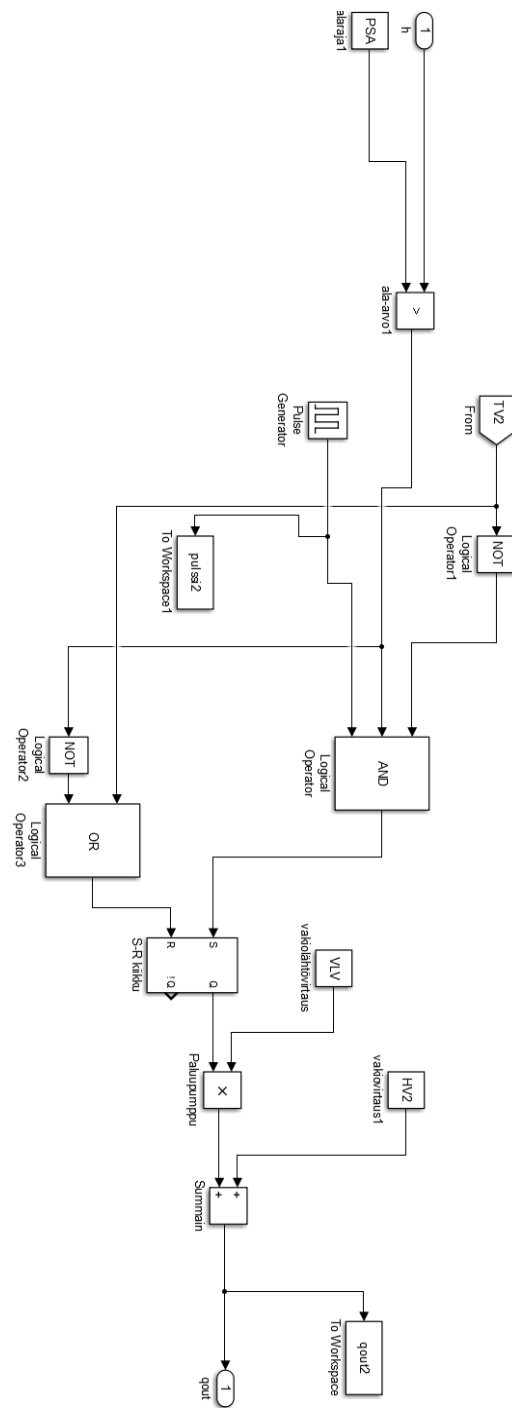
Liite 15 Työstökone 1 konsentraation simulaatiomalli



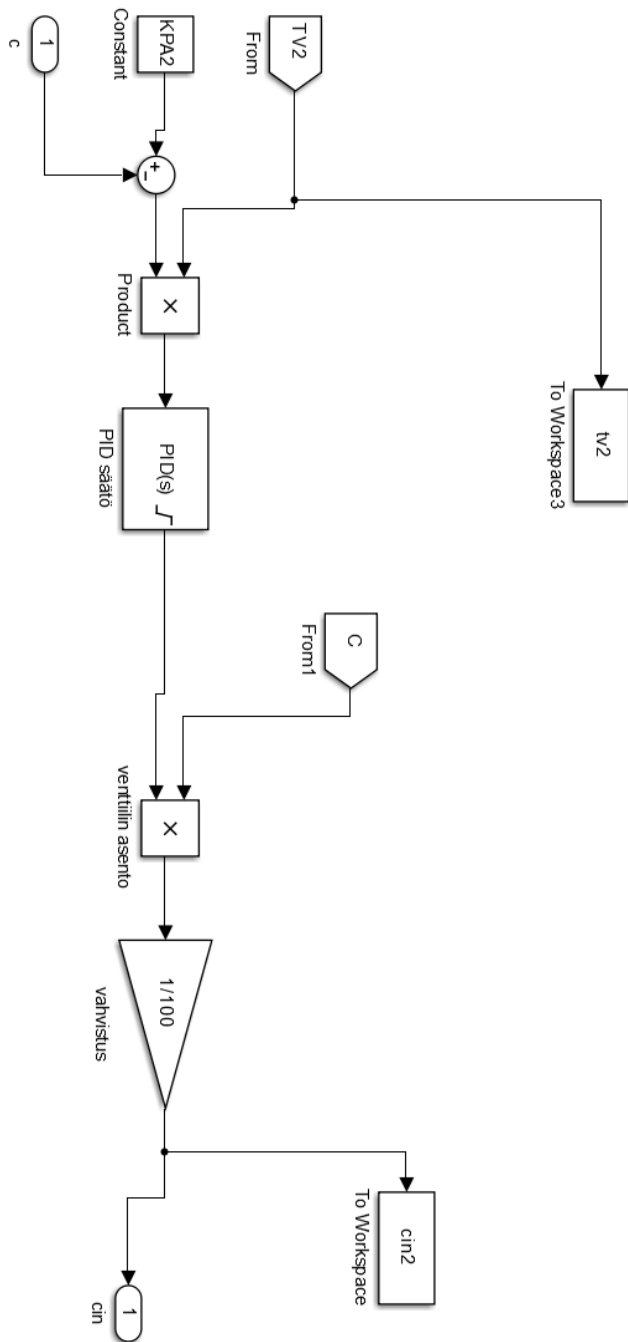
Liite 16 Työstökone 2 tulovirtauksen simulaatiomalli



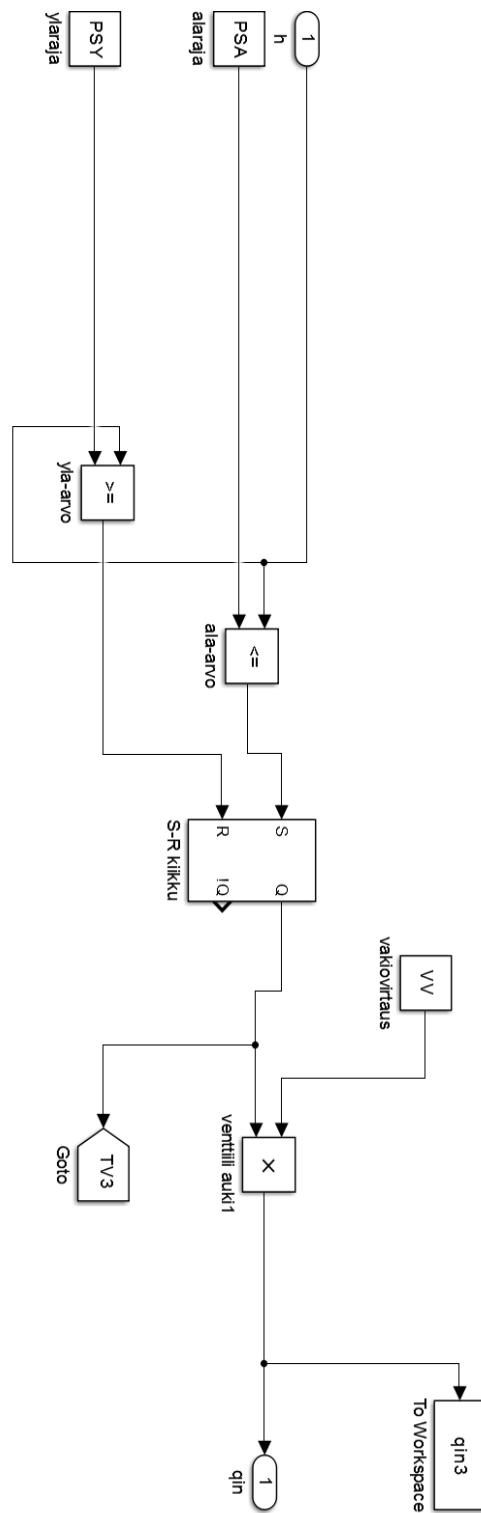
Liite 17 Työstökone 2 lähtövirtauksen simulaatiomalli



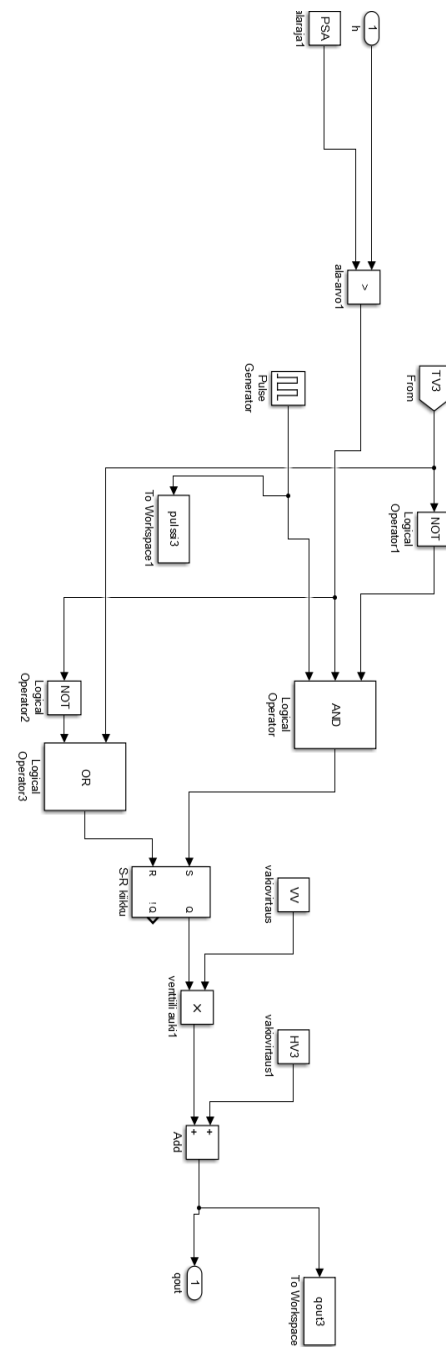
Liite 18 Työstökone 2 konsentraation simulointimalli



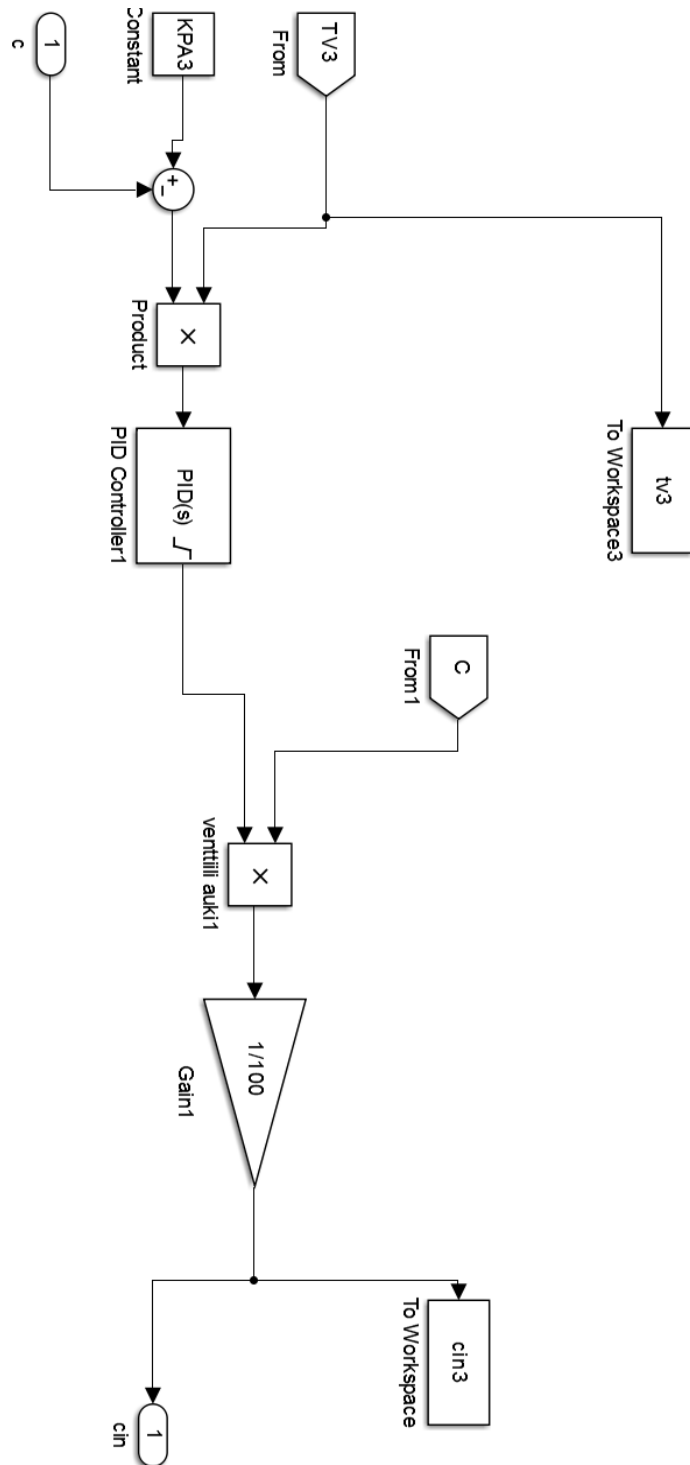
Liite 19 Työstökone 3 tulovirtauksen simulaatiomalli



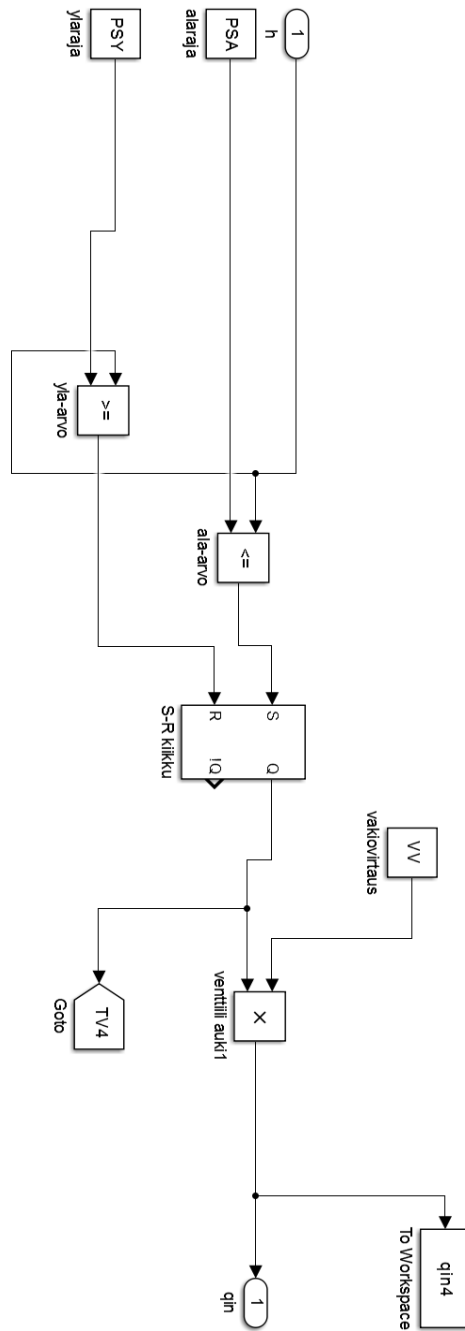
Liite 20 Työstökone 3 lähtövirtauksen simulaatiomalli



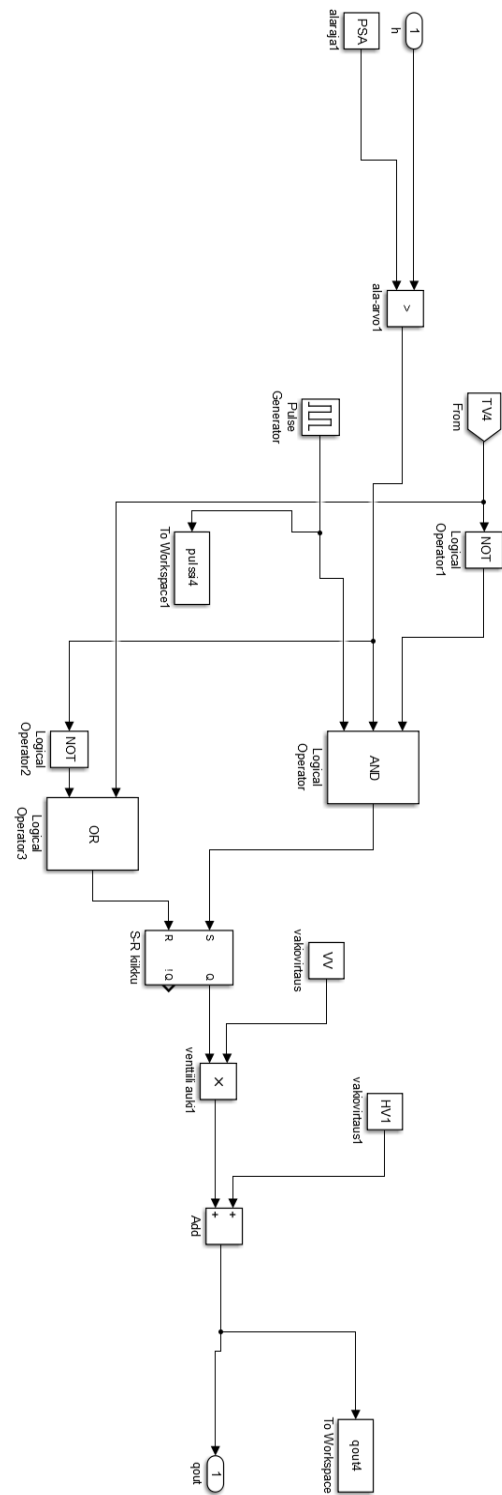
Liite 21 Työstökone 3 konsentraation simulointimalli



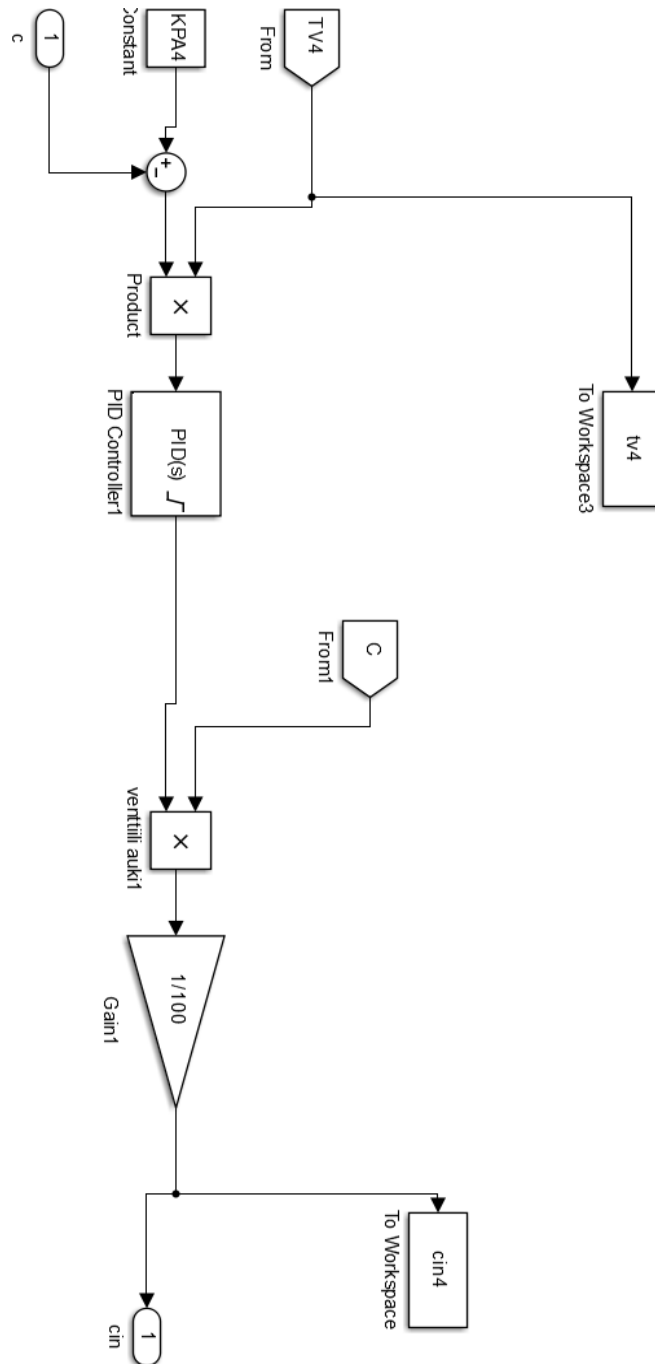
Liite 22 Työstökone 4 tulovirtauksen simulaatiomalli



Liite 23 Työstökone 4 lähtövirtauksen simulointimalli



Liite 24 Työstökone 4 konsentraation simulointimalli



Liite 25 Matlab ohjelmakoodi

```

clc,clear all
nimi='PS1';

A          =3.5*1.5;      % pääsäiliön poikkipinta-ala m^2
PTMAX     =10;          % pääsäiliön tilavuuden maksimiarvo m^3
hPmax     =PTMAX/A;     % maksimipinnankorkeus m

PSPA      =0.5*hPmax;   % Pääsäiliön pinnan alkuarvo m
PTA       = PSPA*A;    % pääsäiliön tilavuuden alkuarvo m^3

KPA5      =7;          % konsentraation perusarvo eli asetusarvo
LOA       =0.07*PTA;   % Leikkuunesteen osatilavuuden alkuarvo m^3

C0        =100;        % raakaleikkuunesteen konsentraatio %
ISY       =0.6*hPmax;  % pääsäiliön yläraja m^3
ISA       =0.4*hPmax;  % pääsäiliön alaraja m^3

VV        = 50/60*10^-3; % vakiovirtaus m^3/sek (50 litraa/min)
VLV       = 50/60*10^-3; % vakiolähtövirtaus m^3/sek (50 litraa/min)
PERIOD    =3600;       % pulssinpituus sekunttia
LEVEYS    =1/3;        % pulssinleveys
VTV       = 50/60*10^-3; % vakiotäyttövirtaus m^3/sek (50 litraa/min)

P5        =0.001;      % vahvistus
I5        =1/50;       % Integraatio
D5        =0;          % dervointi
IA5       = KPA5*100/C0; % integraattorin alkuarvo

% SÄILIÖ 1

a         =3.3*0.5;    % työstökoneen säiliön poikkileikkaus m^2
S1MAX     =0.5;       % työstökoneen säiliön maksimiarvo m^3
h1max     =S1MAX/a;   % maksimipinnankorkeus m

HV1       = 4/60*10^-3; % Hävikki nesteessä
S1PA      =0.8*h1max   % säiliö 1 pinnan alkuarvo m
S1A       =S1PA*a;    % työstökoneen säiliön tilavuuden alkuarvo
m^3
S1LOA     =0.15*S1A;  % työstökoneen leikkuunesteen osatilavuuden
alkuarvo m^3
KPA1      =15;        % konsentraation perusarvo eli asetusarvo %
VAIHE1    =0;         % pulssin vaiheen viivästys % sekuntteja
PERIOD1   =4600;     % pulssinpituus sekuntteina

P1        =5;         % vahvistus
I1        =0.08;      % Integraatio
D1        =0;         % derivointi
IA1       =KPA1*100/C0; % KPA1*PTA/LOA; %integraattorin alkuarvo

PSA       =0.2*h1max  % työstökoneen säiliön alaraja m^3
PSY       =0.8*h1max  % työstökoneen säiliön yläraja m^3

```

% SÄILIÖ 2

```

a          =3.3*0.5;          % työstökoneen säiliön poikkileikkaus m^2
S2MAX     =0.5;              % työstökoneen säiliön maksimiarvo m^3
h2max     =S2MAX/a;          % maksimipinnankorkeus m

HV2       = 4/60*10^-3;      % Hävikki nesteessä
S2PA      =0.5*h2max;        % säiliö 2 pinnan alkuarvo m
S2A       =S2PA*a;          % työstökoneen säiliön alkuarvo m^3
S2LOA     =0.07*S2A;        % työstökoneen leikkuunesteen osatilavuuden
alkuarvo

KPA2      =7;                % konsentraation perusarvo
VAIHE2    =1000;            % pulssin vaiheen viivästys

P2        =10;               % vahvistus
I2        =1/50;             % Integraatio
D2        =0;                % derivointi
IA2       = KPA2*PTA/LOA;    % integraattorin alkuarvo

```

%säiliö 3

```

a          =3.3*0.5;          % työstökoneen säiliön poikkileikkaus
S3MAX     =0.5;              % työstökoneen säiliön maksimiarvo m^3
h3max     =S3MAX/a;          % maksimipinnankorkeus m

HV3       = 4/60*10^-3;      % Hävikki nesteessä
S3PA      =0.5*h3max;        % säiliö 2 pinnan alkuarvo m
S3A       =S3PA*a;          % työstökoneen säiliön alkuarvo
S3LOA     =0.07*S3A;        % työstökoneen leikkuunesteen osatilavuuden
alkuarvo

KPA3      =7;                % konsentraation perusarvo
VAIHE3    =1500;            % pulssin vaiheen viivästys

P3        =10;               % vahvistus
I3        =1/50;             % Integraatio
D3        =0;                % derivointi
IA3       = KPA3*PTA/LOA;    % integraattorin alkuarvo

```

% säiliö 4

```

a          =3.3*0.5;          % työstökoneen säiliön poikkileikkaus
S4MAX     =0.5;              % työstökoneen säiliön maksimiarvo m^3
h4max     =S4MAX/a;          % maksimipinnankorkeus m

HV4       = 4/60*10^-3;      % Hävikki nesteessä
S4PA      =0.5*h4max;        % säiliö 2 pinnan alkuarvo m
S4A       =S4PA*a;          % työstökoneen säiliön alkuarvo
S4LOA     =0.07*S4A;        % työstökoneen leikkuunesteen osatilavuuden
alkuarvo

KPA4      =7;                % konsentraation perusarvo
VAIHE4    =2000;            % pulssin vaiheen viivästys

P4        =10;               % vahvistus
I4        =1/50;             % Integraatio
D4        =0;                % derivointi

```

```

IA4      = KPA4*PTA/LOA; % integraattorin alkuarvo

Tsim     =10000;          % simulointiaika sekunneissa
maxstep  = 1;            % maksimi mittausaskel mittauksessa
sim( nimi ,Tsim);        % simuloinnin määrittely

filename = 'PS_pinnat.xlsx';
%HP1 = {'Time'};
sheet    = 1;
xlRange  = 'A1';
xlswrite(filename,HP1,sheet,xlRange)

filename = 'PS_pinnat.xlsx';
%A = {'Time','Temperature'; 12,98; 13,99; 14,97};
sheet    = 1;
xlRange  = 'B1';
xlswrite(filename,h1,sheet,xlRange)

filename = 'PS_pinnat.xlsx';
%HP1 = {'Time','Temperature'};
sheet    = 1;
xlRange  = 'C1';
xlswrite(filename,h2,sheet,xlRange)

filename = 'PS_pinnat.xlsx';
%A = {'Time','Temperature'; 12,98; 13,99; 14,97};
sheet    = 1;
xlRange  = 'D1';
xlswrite(filename,h3,sheet,xlRange)

filename = 'PS_pinnat.xlsx';
%HP1 = {'Time','Temperature'};
sheet    = 1;
xlRange  = 'E1';
xlswrite(filename,h4,sheet,xlRange)

filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet    = 1;
xlRange  = 'A1';
xlswrite(filename,CP1,sheet,xlRange)

filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet    = 1;
xlRange  = 'B1';
xlswrite(filename,c1,sheet,xlRange)

filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet    = 1;
xlRange  = 'C1';
xlswrite(filename,c2,sheet,xlRange)

filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet    = 1;
xlRange  = 'D1';
xlswrite(filename,c3,sheet,xlRange)

```

```

filename = 'PS_konsentraatio.xlsx';
sheet    = 1;
xlRange  = 'E1';
xlswrite(filename,c4,sheet,xlRange)

vasentol (end)

figure(3) % kuvan numerointi
clf % poistaa edeltävien kuvien tiedot
subplot(511) % ikkunointi
plot(CP1) % piirtokäskey
ylabel('KONSENTRAATIO %'); % y-akselin teema
legend('PÄÄSÄILIÖ'); % Nimitys
subplot(512) % ikkunointi
plot(c1) % piirtokäskey
ylabel('KONSENTRAATIO %'); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 1'); % Nimitys
subplot(513) % ikkunointi
plot(c2) % piirtokäskey
ylabel('KONSENTRAATIO %'); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 2'); % Nimitys
subplot(514) % ikkunointi
plot(c3) % piirtokäskey
ylabel('KONSENTRAATIO %'); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 3'); % Nimitys
subplot(515) % ikkunointi
plot(c4) % piirtokäskey
ylabel('KONSENTRAATIO %'); % y-akselin teema
legend('TYÖSTÖKONE 4'); % Nimitys

figure(4)
clf
subplot(511)
plot(HP1)
ylabel('METRIÄ');
legend('PÄÄSÄILIÖ');
%ylabel('HP_1 [m]');
subplot(512)
plot(h1)
ylabel('METRIÄ');
legend('TYÖSTÖKONE 1');
subplot(513)
plot(h2)
ylabel('METRIÄ');
legend('TYÖSTÖKONE 2');
subplot(514)
plot(h3)
ylabel('METRIÄ');
legend('TYÖSTÖKONE 3');
subplot(515)
plot(h4)
ylabel('METRIÄ');
legend('TYÖSTÖKONE 4');

figure(2)
clf
subplot(411)
plot(cin1)

```

```
ylabel('VENTTILIN ASENTO %');  
legend ('TYÖSTÖKONE 1');  
subplot(412)  
plot(cin2)  
ylabel('VENTTILIN ASENTO %');  
legend ('TYÖSTÖKONE 2');  
subplot(413)  
plot(cin3)  
ylabel('VENTTILIN ASENTO %');  
legend ('TYÖSTÖKONE 3');  
subplot(414)  
plot(cin4)  
ylabel('VENTTILIN ASENTO %');  
legend ('TYÖSTÖKONE 4');
```