



Kemikaalien erillissyöttöjärjestelmän suunnittelu ja kannattavuus

Isak Laukkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

LAUKKANEN, ISAK:

Kemikaalien erillissyöttöjärjestelmän suunnittelu ja kannattavuus

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2024

Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella yritykselle uusi kemikaalinsyöttöjärjestelmä puristinhuopien viimeistyskoneelle ja arvioida järjestelmän tuomat ekologiset ja taloudelliset säästöt. Tavoitteena oli osoittaa järjestelmän toteuttaminen teoriassa mahdolliseksi ja taloudellisesti kannattavaksi.

Yrityksen tiloissa tehdyssä alkukartoituksessa selvisi, että nykyinen järjestelmä koostuu suuresta ruiskutusputkesta, jonka paineistaminen vaatii lähes 200 litraa vettä minuutissa. Tämä on tarpeellista koneella käsiteltävien tuotteiden esipesua varten, mutta se ei ole optimaalista kemikaalikäsittelyihin. Veden joukkoon syötetyt käsittelykemikaalit laimenevat erittäin paljon ja hukkaan menee pahimmillaan jopa 60 % kemikaaleista. Lisäksi eräs viimeistysprosessissa käytettävä kemikaaliliuos on valmistettava käsin, mikä vie työntekijöiltä noin 10 minuuttia työaika, jonka aikana viimeistyskoneella ei voida käsitellä tuotetta.

Järjestelmää voisi kehittää asentamalla suuren putken rinnalle pienemmän erillissyöttöputken, jonne ei tarvitse syöttää ylimääräistä vettä kemikaaliliuosten lisäksi. Uudistetussa järjestelmässä kemikaalit syötettäisiin putkesta hienona sumuna, jolloin ainetta jää enemmän tuotteeseen ja hävikit pienenevät. Säästöjä saadaan myös koneen käyntiajasta, sillä uusi järjestelmä muuttaa manuaalisen liuoksenteleprosessin automaattiseksi. Haasteena on kuitenkin pitkään putkeen kohdistuva suurehko painehäviö ja erittäin pieni tila putken asentamiselle.

Laskut osoittivat, että erillissyöttöputken toteuttaminen olisi yritykselle erittäin kannattavaa vajaan vuoden mittaisella takaisinmaksuajalla. Tarkkoja uuden järjestelmän tuomia kemikaalinsäästöjä on vaikea arvioida ilman laboratoriokokeita, mutta sen sijaan koneikasäästöistä tulevan tuoton arviointi on helpompaa. Tarkkojen järjestelmän toteuttamiskustannusten määrittely on hankalaa ja opinnäytetyössä saadut tulokset ovat suuntaa antavia. Erillissyöttöjärjestelmän käytännön toteutus vaatii lisää tutkimuksia laboratorio-olosuhteissa kemikaalien käyttäytymisen selvittämiseksi uudella syöttöjärjestelmällä.

Asiasanat: kemikaali, hävikki, painehäviö, sumutus

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical engineering
Machine automation

LAUKKANEN, ISAK:
Design and Viability of a Separate Chemical Dispensing System

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 4 pages
May 2024

The purpose of this bachelor's thesis was to design a new chemical dispensing system for a press felt finishing machine. The thesis also analysed the economic and environmental savings of the new system.

The chemical dispensing system currently in use consists of a pipe that requires almost 200 litres of water per minute to stay pressurised. This means that the chemical solutions used in the finishing process get diluted by a considerable amount which decreases their effectiveness. The company estimates that as much as 60 % of the solutions go to waste.

The system could be improved by installing a separate pipe for chemical dispensing. This pipe would be designed for the chemical dispensing only, which would also enable the use of a finer spray so more of the treatment chemicals could be absorbed by the product. The new system would also be fully automatic which means time savings in the finishing process of certain felts.

In conclusion, the new dispensing system would be a financially viable investment. Without laboratory testing, it is very difficult to define accurate numbers for chemical savings. However, the time saved by the new system would allow for increased production numbers and therefore financial gain.

Key words: chemical, waste, pressure loss, spraying.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	ALKUKARTOITUS	7
	2.1 Mekaaninen toteutus	8
	2.2 Automaatiototeutus	12
	2.3 Kemikaalien kulutus	13
3	UUDEN JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	16
	3.1 Muutosehdotus.....	16
	3.2 Erillissyöttöputki	19
	3.2.0 Vaatimukset.....	19
	3.2.1 Mitoitus	19
	3.2.2 Painehäviö.....	22
	3.2.3 Laskentaohjelma	23
	3.2.4 Laminaarinen virtaus ja Reynoldsin luku	26
	3.3 Syöttöjärjestelmä.....	27
	3.3.0 Pumppu	28
	3.3.1 Putkisto.....	32
	3.3.2 Sähkömoottori	33
	3.4 Automaatio	34
	3.5 Komponenttiluettelo ja PI- kaavio.....	35
4	LASKELMAT.....	37
	4.1 Järjestelmämuutoksen kokonaiskustannus	37
	4.2 Säästöt.....	38
	4.2.0 kemikaalin kulutus	38
	4.2.1 Koneaika	39
	4.2.2 Ympäristö	40
	4.3 Takaisinmaksuaika.....	40
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	44
	Liite 1. N2- luoksen Excel laskut.	44
	Liite 2. N3- luoksen resepti Excelissä.....	45
	Liite 3. Putkimitoitusta varten tehty Excel laskentaohjelma.....	46
	Liite 4. PI-kaavio	47

ERITYISSANASTO

r	Pyörimiskierroksesta käytetty yksikkö
Re	Reynoldsin luku.
N2	Puristinhuovan pehmennyskäsittely.
N3	Puristinhuovan hydrofiilikäsittely.
VK38	Viimeistyskone 38. Kone jolle insinööriä tehdään.
cantilever- asento	Tila, jossa koneen toinen pääty ei ole tuettuna lattiaan.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan puristinhuopatehtaan viimeistyskoneeseen taloudellisempi ja kustannustehokkaampi kemikaalisyöttöjärjestelmä. Yrityksellä on jo entuudestaan idea, miten uudistus pystyttäisiin toteuttamaan. Työn tarkoituksena on selvittää karkea ratkaisu, miten muutos toteutetaan mekaanisella- ja automaatioallasolla. Konkreettisenä lopputuloksena yritykselle syntyy työstä esimerkkiratkaisu muutoksesta ja investointilaskelmat, joissa selviää muutosinvestoinnin suuruus, säästöt sekä takaisinmaksuaika.

Järjestelmää ei suunnitella täydelliseksi, sillä tarkoituksena on osoittaa, että sen toteuttaminen on teoreettisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Järjestelmämuutoksiin yritetään tarkastella useaa eri näkökulmaa ja mahdollisuutta, sillä todellisuus poikkeaa aina hieman teoriasta.

Opinnäytetyön aihe syntyy toimeksiantajayrityksen käytännön tarpeesta mutta se on samalla myös hyvin ajankohtainen ja tärkeä. Kestävä kehitys, vihreä siirtymä ja huolehtiminen ympäristöstä ovat usein julkisuudessa esillä olevia puheenaiheita. Uudistettu kemikaalinsyöttöjärjestelmä pyrkii vähentämään tuotantoprosessin vaikutusta ympäristöön ajaen samalla taloudellista etua raaka-aineiden tarpeen vähenemisenä ja koneaikasäästönä. Opinnäytetyössä yhdistyy konetekniikan tutkinto-ohjelman aikana saatu insinööriosaaminen, sekä ympäristökysymys.

2 ALKUKARTOITUS

Yrityksen tiloissa tehdään alkukartoitus kemikaalisyöttöjärjestelmän nykyisestä tilanteesta ja selvitetään tarve muutokselle. Kartoituksessa selviää nykyisen järjestelmän toiminta, kemikaalin kulutus sekä järjestelmän vaatimat työtehtävät työntekijöiltä. Kartoitus tehdään haastatteleamalla yrityksen henkilökuntaa ja seuraamalla työprosessia.

Viimeistyskonetta käytetään puristinhuopien viimeistyskäsittelyssä, joka koostuu pääasiassa huovan pesusta, kemikaali-, lämpö-, ja kalanterikäsittelyistä. Useita kymmeniä metrejä pitkät ja jopa 13 metriä leveät puristinhuovat pyörivät viimeistyskoneessa viimeistysreseptin määrittämällä nopeudella eri työvaiheiden aikana. Pesuvaiheessa viimeistyskoneessa sijaitseva putki ruiskuttaa tuotteen leveydelle veden ja pesuaineen sekoitusta. Vesi imeytetään tuotteen läpi käyttämällä imukourua. Pesuvaiheen jälkeen samasta putkesta ruiskutetaan mahdollinen pehmennyskäsittely tai hydrofiilikäsittely tuotteeseen.

Kemikaalinsyöttöjärjestelmä hoitaa huovan pesun sekä N2- pehmennyskäsittelyn ja N3- hydrofiilikäsittelyn. N2- pehmennyskäsittelyn tarkoituksena on pehmentää rakenteeltaan jäykkä puristinhuopa, jotta sen asentaminen paperikoneeseen olisi helpompaa. N3- hydrofiilikäsittely taas kehittää puristinhuovan imuominaisuutta ajon alkaessa paperikoneella ja sillä on myös lievä pehmentävä vaikutus. Ennen mahdollista kemikaalikäsittelyä huopa pestään. Huovan peseminen on tärkeää ennen viimeistyksen lämpökäsittelyä, jotta huovan mahdollisesti sisältämä lika ei pääse palamaan tuotteeseen kiinni. Lisäksi pesun aikana huovasta poistuu muiden työvaiheiden aikana tehty vesiliukoiset merkinnät.

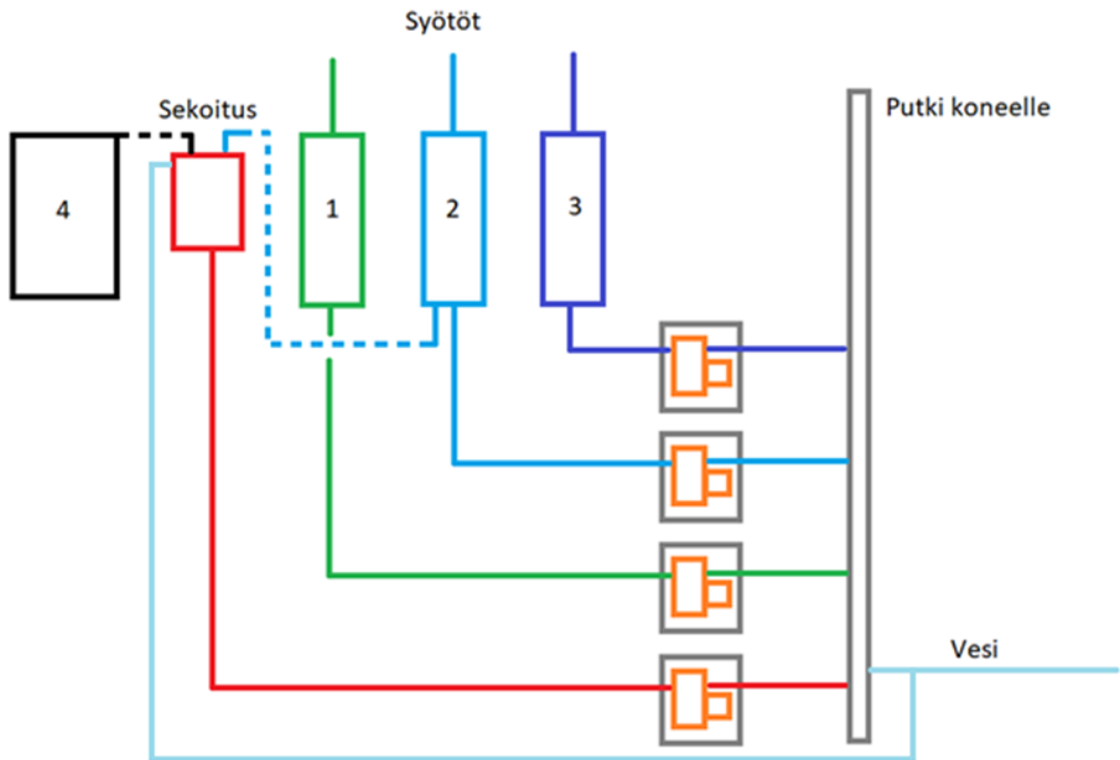
Järjestelmän suurin ongelma on kemikaalikäsittelyissä käytettävä putki, joka on suunniteltu pesua varten. Tämä tarkoittaa, että suuttimet on mitoitettu ruiskuttamaan suuria määriä ainetta. Lisäksi putki on mitoitettu hyvin paksuksi painehäviön kompensoimiseksi ja suuren vesimassan liikuttamiseen. Tämän vuoksi pienien kemikaalimäärien sekaan on syötettävä paljon vettä, jotta putki paineistuu.

2.1 Mekaaninen toteutus

Järjestelmä koostuu kolmesta välisäiliöstä (1, 2 ja 3 kuviossa 1), yhdestä sekoitussäiliöstä ja neljästä pumpusta (kuva 1). Kaikki komponentit ovat pienessä huoneessa tehtaan lattiatason alapuolella. Välisäiliöitä syötetään lattiatasolla olevista kolmesta 1500- litran metallisäiliöstä, jotka täytetään tarvittaessa IBC-kontista. Kun säiliö tyhjenee, on lattiatason alapuolella olevassa kolmessa pienemmässä välisäiliössä vielä hieman varaa, jotta aine ei lopu kesken.



KUVA 1. Välisäiliöt ja sekoitussäiliö (takana) pumppuineen viimeistyskoneen alla.



KUVIO 1. Kaavio nykyisestä annostelujärjestelmästä.

Sekoitussäiliö on olemassa N3- liuoksen valmistusta varten. Liuos koostuu vedestä ja kahdesta kemikaalikomponentista. Ensimmäinen kemikaalikomponentti tulee yhdestä välisäiliöstä (2, kuviossa 1) ja toinen kemikaalikomponentti tulee erillisestä kemikaalisäiliöstä (4, kuviossa 1 ja kuva 2), joka sijaitsee samassa tilassa välisäiliöiden kanssa. Molemmat kemikaalikomponentit on annosteltava käsin pieniin nk. mehukannuihin (katkoviivat kuviossa 1), joilla ne siirretään sekoitussäiliöön. Annostelu tapahtuu säiliöstä 4 käsipumpulla ja säiliöstä 2 pientä hanaa käyttämällä.



KUVA 2. Käsipumpattava kemikaalisäiliö ja annostelukannu.

Oikeiden kemikaalimäärien selvittämiseksi työntekijä käyttää Microsoft Exceliin tehtyä laskentaohjelmaa (liite 1 ja 2). Veden annostelu tapahtuu automaattisesti, mutta työntekijän on syötettävä veden määrä automaatiologiikalle itse (kuva 3). Koko N3- liuksen valmistusprosessiin kuluu noin 10 minuuttia, jonka aikana koneen tuotanto seisoo. Työolosuhteet eivät ole optimaaliset, sillä etenkin 2. säiliöstä aineen ottaminen asettaa työntekijän epäergonomiseen työasentoon, sillä hana sijaitsee lähellä lattiaa (kuva 1). Kemikaalien kuljettaminen ja annosteleminen käsin aiheuttaa myös vaaran altistua tuotannossa käytettäville kemikaaleille.



KUVA 3. Veden syötön säätely N3- liuokselle.

Kaikki tuotantoprosessissa tarvittavat aineet syötetään putkeen, joka vie kemikaalit ja veden ruiskutettavaksi tuotteeseen. Varsinainen ruiskutusjärjestelmä on noin 14 metriä pitkä putki, johon on asennettu magneettiventtiiliohjattu suuttimia noin 190 millimetrin välein. Kuvassa 4 näkyy käytössä oleva ruiskutusputki ja leveydenmittalaitteen kisko.



KUVA 4. Nykyinen kemikaalinsyöttöjärjestelmä (Maarit Miettinen).

Putken suuri leveys johtuu tuotteiden koosta, sillä kemikaalikäsittelyt on voitava tehdä huovan koko leveydelle. Huovat voivat olla myös erilevyisiä, jolloin käsittelyihin tarvitaan eri määrä suuttimia. Tämä on järjestelmässä hoidettu magneettiventtiileillä, joita koneenhoitaja voi määrätä avattavaksi tai suljettavaksi, jotta kemikaalia saadaan annosteltua oikean kokoiselle alueelle.

Ruiskutuksen aikana putki oskilloi hitaasti puolelta toiselle noin 200 mm iskupituudella. Tämä tehdään, jotta aineet levittyisivät mahdollisimman tasaisesti tuotteen pinnalle. Ylimääräinen neste imeytetään tuotteen läpi imulaatikon avulla (kuva 4 vasen alakulma), jonka jälkeen ne ohjataan viemäriin. Putkeen jääneet ylijäämäkemikaalit pestään käsittelyprosessin loppuksi veden avulla viemäriin.

2.2 Automaatiototeutus

Viimeistyskonetta ohjataan käyttämällä Siemensin ohjelmoitavaa logiikkaa. Suurinta osaa koneen toiminnoista ohjataan koneen hoitopäässä olevalla tietokonejärjestelmällä. Automaatio helpottaa työntekijöiden fyysisen työn määrää. Lisäksi automaatiolla voidaan varmistaa, että tuotteet käsitellään täsmälleen samalla tavalla.

Koneen automaatiologiikka hoitaa pesuun ja N2- pehmennyskäsittelyyn tarvittavien nesteiden valmistuksen ja annostelun. Tämän mahdollistamiseksi välisäiliöt ja sekoitussäiliö on kytketty pumppuihin, joilla niistä pumpataan ainetta automaattisesti työvaiheen sitä vaatiessa. N3- liuoksen annostelu tuotteeseen tapahtuu myös automaattisesti, vaikka työntekijä valmistaa sen itse.

Pumppuja pyöritettävät sähkömoottorit ovat taajuusmuuntajaohjattuja. Taajuusmuuttaja muuttaa sähkömoottorin sähköverkon taajuutta ja mahdollistaa portaattoman nopeudensäädön. Taajuusmuuntajat on kytketty konetta ohjaavaan logiikkaan.

2.3 Kemikaalien kulutus

Kaikissa putkistoissa esiintyy painehäviötä. Ruiskutusputken painehäviön kompensoimiseksi putki on ylimitoitettu. N2- ja N3- kemikaaliliuosten käyttömäärät eivät ole erittäin suuria tuotekohtaisesti, joten paineen ylläpitämiseksi suureen putkeen on myös syötettävä ylimääräistä vettä. Suuren vesimäärän vuoksi hyvin paljon kemikaalia menee hukkaan ja liuokset laimenevat merkittävästi. Suuttimet on mitoitettu huovan pesua varten, jolloin hienon kemikaalisumun sijaan putkesta tulee suuri ruisku.

Senior R&D engineer Johanna Rökmanin mukaan jopa 60 % N2- käsittelyn kemikaaleista ja 30–40 % N3- käsittelyn kemikaaleista menee hukkaan. Tuotekehitys on laskenut N2- ja N3- liuosten ainemäärät laboratorio-olosuhteissa, jossa ei oteta huomioon viimeistyskoneella käytössä olevaa valtavaa vesimäärää, jonka sekaan kemikaalit pumpataan. Vaadittavan laadun saavuttamiseksi kemikaaleja on syötettävä järjestelmään huomattavasti enemmän. N2- käsittelyn suurempi hukkamäärä johtuu sen kemikaalikomponenteista, jotka ovat vesiliukoisia. N3- liuoksen toinen kemikaalikomponentti ei ole vesiliukoinen, joten hyötysuhde kasvaa hieman.

Yritykseltä saatujen tietojen mukaan VK38 viimeisteli vuonna 2023 59 % tehtaalta tulleista huovista. Sovelletaan tätä tietoa kemikaalinkulutustietoihin, jotta saadaan karkea käsitys VK38:n käyttämien viimeistyskemikaalien määrästä. Taulukosta 1 voidaan havaita, että VK38:lla käytettyjen N2- ja N3- käsittelykemikaalien määrä vuonna 2023 on ollut yhteensä 7 658 kg. Yhteensä nämä kemikaalit ovat kustantaneet yritykselle 59 429 euroa.

TAULUKKO 1. Käsittelykemikaalien kulutus vuonna 2023 VK38:lla.

Aine	Vuosikulutus 2023 (kg)	Kokonaiskustannus (€)
Kemikaali 1	2 385	2 885
Kemikaali 2	2 819	14 335
Kemikaali 3	2 454	42 209
Yhteensä	7 658	59 429

Lasketaan, kuinka paljon kemikaaleja on mennyt hukkaan vuonna 2023 hyödyntämällä 60 % ja 40 % hukka-arvioita. Kemikaalia 1 käytetään molemmissa kemikaaliliuoksissa. Lasketaan sen suhde N2- ja N3- liuosten välillä tarkempien kustannuslaskelmien saavuttamiseksi kaavalla 1, jossa V_{N3} on kemikaalin määrä N3- liuoksessa ja V_{N2} on kemikaalin määrä N2- liuoksessa. Pitoisuudet saadaan N2- ja N3- liuosten Excel resepteistä (liite 1 Ja liite 2). Käytetään huovan koon hypoteettista maksimiarvoa 13 x 40 m. Tällöin kemikaalia 1 N2- liuoksessa on 47,8 litraa ja N3- liuoksessa 10,4 litraa.

$$V\% = \frac{V_{N3}}{V_{N2}} \cdot 100\% \quad 1$$

$$\frac{10,4 \text{ l}}{47,8 \text{ l}} \cdot 100\% = 21,757\% \approx 22\%$$

Kemikaalia 1 käytetään N3- liuoksessa 22 % ja N2- liuoksessa 78 %. Lasketaan seuraavaksi kemikaalin 1 määrällinen hävikki kaavalla 2 ja muiden kemikaalien hävikki kaavalla 3. Tulokset esitetään taulukossa 2.

$$Hävikki_{kemikaali1 N2} = m_{kemikaali1 N2} \cdot V\%_{kemikaali1 N2} \cdot hävikki\% \quad 2$$

$$Hävikki_{Kemikaali1 N2} = 2385 \text{ kg} \cdot 0,78 \cdot 0,60 = 1116 \text{ kg}$$

$$Hävikki_{Kemikaali 2 tai 3} = m_{kemikaali 2 tai 3} \cdot hävikki\%_{Kemikaali 2 tai 3} \quad 3$$

$$Hävikki_{Kemikaali 2} = 2819 \text{ kg} \cdot 0,60 = 1691 \text{ kg}$$

Taulukko 2. Käsittelykemikaalien hävikit vuonna 2023 VK38:lla

Aine	Hävikki %	Hävikki (kg)	Hävikki (€)
Kemikaali 1 N2	60 (78 %)	1 116	1 350
Kemikaali 1 N3	40 (22 %)	210	254
Kemikaali 2	60	1 691	8 599
Kemikaali 3	40	982	16 890
Yhteensä N2		2 807	9 949
Yhteensä N3		1 192	17 144
Yhteensä	49	3 999	27 063

Tuotekehityksen antamien tietojen perusteella lasketuilla arvoilla, menee N2- liuoksesta viemäriin noin 2 807 kg eli 9 949 euron edestä kemikaaleja vuodessa. N3 liuoksen kohdalla taas 40 % hävikillä laskettuna vuosihukka on noin 1 192 kg tai 17 144 €. Taulukosta 2 voidaan havaita, että kemikaalien määrällinen 3 999 kg hukka on yli 50 % hankintamäärästä ja taloudellinen 27 063 € hukka on hie- man alle 50 % hankintahinnasta.

3 UUDEN JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

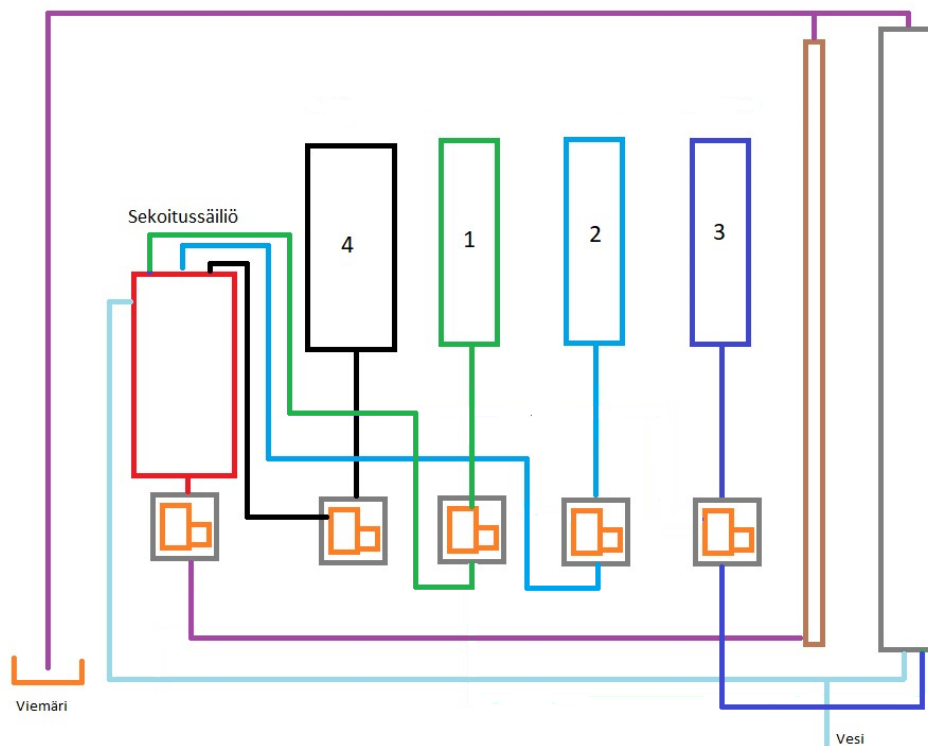
3.1 Muutosehdotus

Alkukartoituksessa kävi ilmi, että järjestelmässä on useampi kehityskohde. Yritys on ideoinut, että kemikaalinsyötön voisi tulevaisuudessa toteuttaa käyttämällä erillistä putkea käsittelykemikaalien syötöille. Käytännössä tämä tarkoittaa, että järjestelmä koostuisi kahdesta putkesta. N2- ja N3 käsittelyt tehtäisiin erillissyöttöputken avulla ja pesu toteutettaisiin edelleen vanhalla ruiskutusputkella.

Erillissyöttöputken halkaisijaa pyritään pienentämään, jolloin kemikaaliliuosten sekaan ei tarvitse sekoittaa suurta vesimäärää. Tällöin kemikaalien ruiskutus voidaan toteuttaa hienolla sumulla, jolloin liuosten laimeneminen vähenisi merkittävästi ja teoriassa kemikaalia jää tuotteeseen myös enemmän kiinni. Kemikaalisyötöt voitaisi myös viedä mahdollisimman lähelle annostelualueetta, jolloin kemikaalia vaihdettaessa putken tyhjentämisessä menisi hukkaan huomattavasti vähemmän kemikaalia.

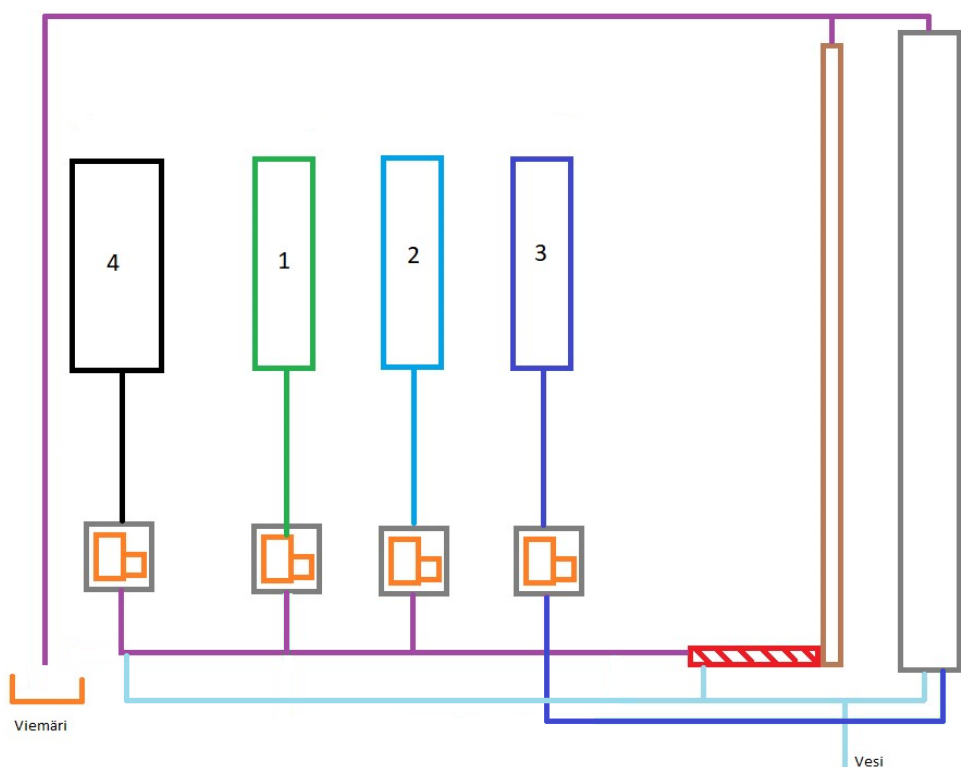
Järjestelmän välisäiliöt ja niiden täyttökontit säilyvät ennallaan ja samanlainen järjestely on mahdollista järjestää myös erilliselle kemikaalisäiliölle (Säiliö 4 kuviossa 1). Nykyinen säiliö on 250 litraa, kun taas kontit ovat 1500 litraa. Tuotekehityksen kanssa käydyssä selvityksessä kävi ilmi, että kemikaali säilyy tarpeeksi kauan säilytettäväksi suuremmassa kontissa.

N3- liuoksen valmistamiseen on kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa sekoitussäiliö säilytetään järjestelmässä, jolloin liuoksen valmistus tapahtuu samalla tavalla kuin nykyisessä järjestelmässä, mutta automaattisesti. Tässä tilanteessa N3- liuoksen pumppaus toteutettaisiin vain yhtä pumppua käyttämällä (kuvio 2). Järjestelmään tarvitsisi tehdä tällöin pienempiä muutoksia. N3- liuoksessa käytettävät kemikaalit pitää pystyä johtamaan sekoitussäiliöön automaattisilla pumpuilla. Teoriassa voisi olla myös mahdollista johtaa kemikaalit sekoitussäiliöön painovoimaa hyödyntäen, sillä säiliöiden välisen korkeuseron vuoksi järjestelmissä on hieman painetta valmiiksi. Tässä ratkaisussa myös N2 liuos pumpattaisiin ensin sekoitussäiliöön.



KUVIO 2. Vaihtoehto, jossa liuokset valmistetaan sekoitussäiliöön.

Toinen vaihtoehto on hankkiutua kokonaan eroon sekoitussäiliöstä ja sen sijaan käyttää kemikaalien sekoittamiseen staattista sekoitusputkea. Tällöin liuoksen valmistus ja annostelu toteutetaan ajamalla useaa pumppua samaan aikaan, kuten N₂-liuoksen pumppauksessa (kuvio 3). Kemikaalikomponentit pumpataan suoraan staattisen sekoittimen läpi, jossa ne sekoittuvat veden kanssa. Vaihtoehdossa on kiinnitettävä erityistä huomiota paineen tuottamiseen.



KUVIO 3. Kemikaalinsyöttöjärjestelmä, jossa käytetään staattista sekoitinta.

On myös otettava huomioon mahdolliset häiriötilanteet. Jos kuvion 2 järjestelmässä jonkin välisäiliön pumppu ei käynnisty, ei sekoitussäiliöön annosteltava kemikaalipanos valmistu, jolloin sitä ei myöskään tulla sumuttamaan tuotteelle. Järjestelmään tulee mittaus, jolla varmistetaan, että nesteitä on liuoksessa oikea määrä ennen sekoitussäiliön tyhjentämistä. Kuvion 3 järjestelmässä taas on kiinnitettävä erityishuomiota pumppujen toiminnan valvomiseen. Yhdenkin pumpun hajoaminen voi aiheuttaa jonkin kemikaalikomponentin täyden puuttumisen, jolloin käsiteltävä tuote voi mennä pilalle.

Myös kemikaaliannosteluun liittyvät laskennat, joita työntekijät ovat aikaisemmin tehneet Microsoft Excel laskentatyökalulla N3- liuoksen valmistukseen voidaan automatisoida. N3- liuoksen valmistamiselle ja annostelulle voidaan käyttää samaa ratkaisua, kuin N2- liuokselle. Tällöin koneen logiikka laskee ja annostelee kemikaalit automaattisesti.

3.2 Erillissyöttöputki

Uusi kemikaalinsyöttöjärjestelmä suunnitellaan yrityksen idean mukaan käyttämällä erillissyöttöputkea. Tämä mahdollistaa entisen järjestelmän toiminnan koneessa pesua varten, mutta mahdollistaa N2- ja N3- käsittelyiden kemikaalikäytön optimoinnin.

3.2.0 Vaatimukset

Erillissyöttöputken on oltava tarpeeksi pitkä, jotta koko tuotteen leveydelle saadaan annosteltua käsittelykemikaaleja. Annostelu nykyisellä järjestelmällä tapahtuu noin 13,10 m leveällä alueella. Suuttimien on siis katettava vähintään 13,10 m mittainen alue tuotteen leveyssuunnassa olettaen, että sumutuskeila on samanlainen, kuin nykyisessä järjestelmässä. Lisäksi on otettava huomioon, että annosteltavan kemikaalin määrä muuttuu huovan leveyden mukaan. On siis valittava putken leveys siten, ettei virtausnopeus kasva liian suureksi leveimpiä tuotteita käsiteltäessä. Suuret virtausnopeudet kuluttavat putkistoa käänkökohdissa ja aiheuttavat suuremman painehäviön, joka vaikuttaa negatiivisesti järjestelmän energiatehokkuuteen. Hyvin pienet virtausnopeudet taas tarvitsevat suuremman putken, jolle ei järjestelmässä ole välttämättä tilaa. (Aspiration energy.)

Yksi nykyisen järjestelmän suurimpia ongelmia on erittäin suuri vedentarve. Erillissyöttöputki yritetään mitoittaa, jotta sen toiminta ei vaadi ylimääräisen nesteen lisäämistä N2- ja N3 liuoksiin. Tämä tulee helpottamaan kemikaalikäytön optimointia, sillä kun ylimääräinen vesi poistetaan ruiskutustilanteesta, on kemikaaliruiskutus mahdollista tehdä hienommalla sumulla.

3.2.1 Mitoitus

Mitoituksessa käytetään apuna koneessa käytössä olevan ruiskutusputken ulottuvuusmittoja. Tällöin oletetaan, että suuttimia tulee erillissyöttöputkeen saman verran, kuin nykyisessä järjestelmässä. Tiedetään, että N3- käsittelyssä putkessa kulkee enimmillään nestettä 14 litraa minuutissa, kun taas N2- käsittelyssä 12 litraa minuutissa ja yleisesti suuttimet toimivat noin 3 bar paineella. Sisähalkaisi-

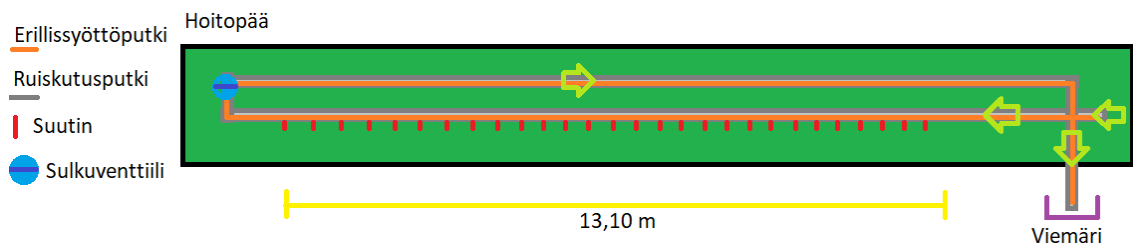
jan on oltava tarpeeksi suuri tämän nestemäärän liikuttamiseen. Laskuissa käytetään suurinta tilavuusvirtaa, eli 14 litraa minuutissa, sillä tämä vaatii eniten tilaa putken sisältä.

Tilavuusvirta kuvaa, kuinka suuri tilavuus nestettä virtaa putkessa tietyssä aikana. Koneessa, johon erillissyöttöputki asennetaan, käsitellään eri kokoisia tuotteita, jolloin tilavuusvirran määrä vaihtelee myös. Tämä riippuu käytössä olevien suutinten määrästä. Kun putken halkaisija pysyy vakiona, mutta tilavuusvirta muuttuu, muuttuu samalla myös virtausnopeus putkessa. Tämä voidaan todistaa tilavuusvirran kaavalla (kaava 4), jossa Q on tilavuusvirta, A on putken poikkipinta-ala ja v on nesteen virtausnopeus putken sisällä. (Chopey, 2004.)

$$Q = A \cdot v$$

4

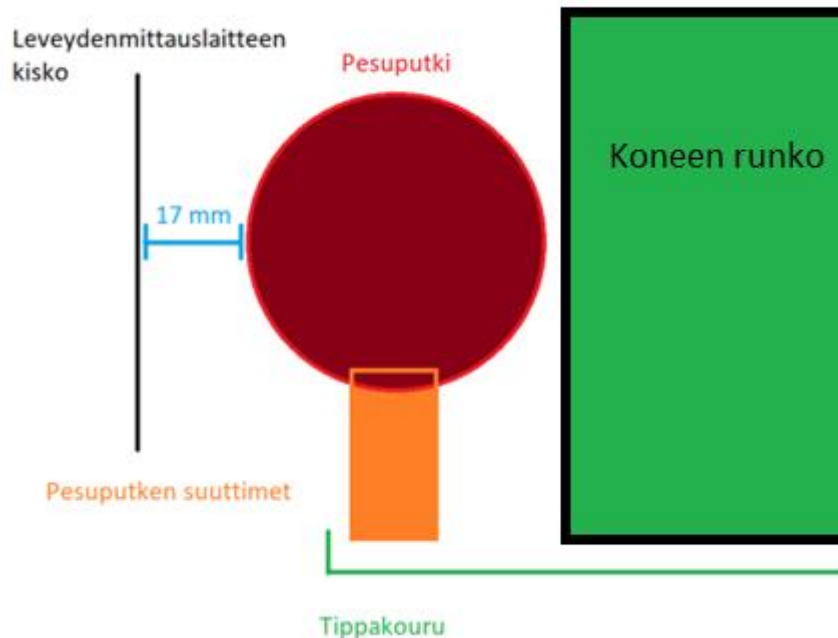
Tila, jonne yritys on suunnitellut erillissyöttöputken asennettavaksi, on erittäin pieni. Asentaminen samaan rakenteeseen nykyisen putken kanssa on looginen ratkaisu, sillä erillissyöttöputken on voitava tehdä oskilloivaa liikettä mahdollisimman laajan kemikaalipeiton saavuttamiseksi. Tällöin oskillointimekanismi olisi jo ennestään olemassa. Kuviossa 4 on esitelty erillissyöttöputken asennussuunnitelmaa koneeseen.



KUVIO 4. Erillissyöttöputki VK38:ssa.

Nykyisen putken lähetyvillä kulkee huovan leveydenmittauslaitteen tukikisko (kuva 4), joka rajoittaa erillissyöttöputkelle saatavilla olevan tilan noin 17 millimetriin. Putken alla on myös tippakouru, jonka tarkoituksena on estää märistä suuttimista nesteen tippumisen huovalle pesu- ja kemikaalikäsittelyvaiheiden ulkopuolella. Tippakourua on mahdollisesti pidennettävä kattamaan myös erillissyöttöputken alueelle. Lisäksi putki ei tulisi osumaan VK38:n kiristystelaan huovan

vaihdon aikana, sillä se olisi leveydenmittalaitteen kiskon takana suojassa. Tilanne on tarkemmin esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Leveydenmittauslaitteen kiskon ja putken väliin jäävä tila.

Virtausnopeuksissa on käytetty referenssinä Salhydron (Virtausnopeus, Salhydro) suositeltuja virtausnopeuksia. Järjestelmässä tilausvirta tulee suurimmillaan olemaan noin 14 litraa minuutissa tai $233 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ ja painetaso on noin 3 baria. Tällöin suositeltu virtausnopeus paineistetulle putkelle on 3–5 metriä sekunnissa. Hitaampi nopeus on yleensä parempi vaihtoehto, sillä se on energiatehokkaampi ja laitteistolle kestävämpi ratkaisu (Aspiration energy.) Valitaan virtausnopeudeksi siis 3 m/s.

Lasketaan erillissyöttöputken halkaisija kaavalla 5, jossa d on putken sisähalkaisija, Q on tilavuusvirta ja v nesteen virtausnopeus.

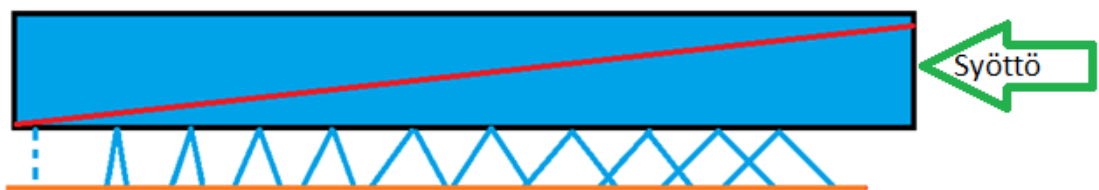
$$d = 2 \times \sqrt{\frac{Q}{\pi \times v}}$$

$$d = 2 \times \sqrt{\frac{233 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{\frac{s}{\pi \times 3 \frac{\text{m}}{s}}}} = 0,00995 \text{ m} \approx 9,95 \text{ mm}$$

Erillissyöttöputken sisähalkaisijaksi sopii kaavan mukaan noin 10 mm putki. Mittoitus ei ole kuitenkaan niin yksiselitteistä, sillä vaikka 10 mm:n putken läpi pääsee teoriassa virtaamaan tarvittava tilavuusvirta halutulla nopeudella, aiheutuu putkessa kitkasta ja putkiston komponenteista johtuvaa painehäviötä.

3.2.2 Painehäviö

Sumutuksen kannalta on oleellista, että paine pysyy erillissyöttöputkessa mahdollisimman lähellä 3 baria. Kaikissa paineistetuissa järjestelmissä tapahtuu kuitenkin painehäviötä. Painehäviö tarkoittaa kahden pisteen välisen paineen laskua. Painehäviöön vaikuttaa kaikki järjestelmään lisättävät komponentit, kuten venttiilit, putket ja kuristimet. Myös putkiston geometrialla on usein merkittävä vaikutus. (Hauser, 1996.) Painehäviön vuoksi kemikaalia sumuttuisi putken alkupäästä haluttu määrä ja putken toisessa päässä ei välttämättä ollenkaan (Hawthorne n.d) (Kuvio 6). Suuttimien yli tapahtuu täysi painehäviö, sillä suuttimet ovat yhteydessä ympäristöön, jota ei ole erikseen paineistettu (PNR, n.d). Tällä ei ole kuitenkaan itsessään vaikutusta putken sisäiseen painehäviöön.



KUVIO 6. Painehäviön vaikutus sumutukseen. Punainen viiva kuvaa painetta.

Painehäviötä voidaan kompensoida usealla eri tavalla, esimerkiksi lisäämällä erillissyöttöputkeen sisääntuloja kemikaalille useasta eri pisteestä. Todennäköisesti helpoin tapa kompensoida painehäviötä on kuitenkin ylivoimattomalla putki, jolloin sen sisältö toimii painekattilan tavoin (Ijas, 2024). Tällainen ratkaisu on jo käytössä nykyisessä putkessa. Huonoja puolia on ylimääräinen nesteen syöttö, jotta paine pysyy putkessa tarpeeksi korkealla ja kasvava tilantarve.

VK38 on suunniteltu pysymään cantilever- asennossa huovan vaihtoa varten, joka tarkoittaa, että koneen toisen puolen on oltava irti lattiasta. Tämän vuoksi koneen alapuolelta tuleva kemikaalinsyöttöputki voidaan viedä koneeseen vain sen toiselta puolelta. Tämä on otettava huomioon, mikäli erillissyöttöputkelle on tarpeellista tuoda ylimääräisiä kemikaalisyöttöpisteitä.

3.2.3 Laskentaohjelma

Erillissyöttöputken painehäviön laskemisen helpottamiseksi tehdään laskentaohjelma Microsoft Exceliin. Ideana on, että ohjelman avulla olisi helppoa kokeilla eri kokoisten putkien sisähalkaisijoiden merkitystä erillissyöttöputken painehäviöön.

Ohjelmaan syötetään haluttavat lähtötiedot (KUVIO 7), joita ovat tilavuusvirta, putken pituus, suuttimien välinen etäisyys, vaadittu paine ja haluttu virtausnopeus, joiden avulla putken halkaisija lasketaan kaavalla 1. Ohjelma laskee myös jokaisen suuttimen vaatiman tilavuusvirran ja näin ollen putkessa tapahtuvan virtausnopeuden muutoksen. Painehäviö lasketaan kaavoilla 6 (mihai 2020) ja 7 mahdollisimman monipuolisten tulosten saamiseksi. Putken eri kokojen vaikutusten vertaamiseksi sisällytetään ohjelmaan putken ylirajoituskerroin. Kaavoilla lasketaan jokaisen suuttimen yli tapahtuva painehäviö.

$$p = p_1 - 6,05 \left(\frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \right) \cdot 10^5 \cdot l \quad 6$$

Kaava 6, jossa p on paine suuttimen kohdalla, p_1 on paine aikaisemman suuttimen kohdalla, Q on tilavuusvirta suuttimen kohdalla, C on putken sisäpinnan karheus, d on putken halkaisija ja l suuttimen väli.

$$p = p_1 - \lambda \frac{l \rho v^2}{10^5} \quad 7$$

Kaava 7, jossa p on paine suuttimen kohdalla, p_1 on paine aikaisemman suuttimen kohdalla, λ on kitkavastuskerroin, d on putken halkaisija, l suuttimen väli, ρ on putkessa virtaavan nesteen tiheys ja v on virtausnopeus.

Tilavuusvirta	14 l/min
Putken pituus	13,1 m
Suuttimien väli	0,19 m
Vaadittu paine	3 Bar
Max sallittu painehäviö	0,2 Bar
Virtausnopeus	3 m/s
Ylimiöitus	0 %
Putken C- arvo	120
Fluidin viskositeetti	0,003 Pa*s
Fluidin tiheys	998 kg/m ³
Purkautumiskerroin	0,7
Suuttimen reiän koko	0,4572 mm
	Älä koske
	Arvoja saa muuttaa
	Eri arvoja kannattaa kokeilla

KUVIO 7. Lähtöarvojen syöttö laskentaohjelmaan.

Lähtöarvojen syöttämisen jälkeen järjestelmä osaa laskea tarvittavan putken sisähalkaisijan, putkessa tapahtuvan tilavuusvirran muutoksen, kun nestettä suututetaan suuttimista ja tämän vaikutuksen virtausnopeuden muutokseen (kuvio 8). Sen jälkeen ohjelma esittää kunkin suuttimen kohdalla olevan paineen kahdella eri kaavalla laskettuna reynoldsin luvun (Re) kanssa.

TAVALLINEN PUTKI		Tilavuusvirta		Putken halkaisija		Virtausnopeus		Paine		Re
Suuttimen nro	l/min	m ³ /s	mm	m	m/s	Bar	Bar			
0	14	0,00023	14,93	0,01		1,33	3,00	3,00	9931	
1	13,83093	0,00023	14,93	0,01		1,32	3,00	2,99	9812	
2	13,66186	0,00023	14,93	0,01		1,30	3,00	2,99	9692	
3	13,49291	0,00022	14,93	0,01		1,29	2,99	2,98	9572	
4	13,32406	0,00022	14,93	0,01		1,27	2,99	2,97	9452	
5	13,15532	0,00022	14,93	0,01		1,25	2,98	2,97	9332	
6	12,98668	0,00022	14,93	0,01		1,24	2,98	2,96	9213	
7	12,81815	0,00021	14,93	0,01		1,22	2,98	2,96	9093	
8	12,64971	0,00021	14,93	0,01		1,20	2,97	2,95	8974	
9	12,48137	0,00021	14,93	0,01		1,19	2,97	2,95	8854	

KUVIO 8. Excel- laskentaohjelman tulosruutu.

Tilavuusvirta on laskettu kaavalla 8, jossa Q_1 on aikaisemman suuttimen kohdalla oleva tilavuusvirta, μ on suuttimen purkautumiskerroin, A suuttimen reiän pinta-ala, Δp paineen muutos suuttimen yli ja ρ nesteen tiheys. Virtausnopeus on laskettu kaavalla 9, joka on johdettu kaavasta 4. Suuttimen reiän kokoreferenssi otettiin suuttimen valmistajan esitteestä (Spraying Systems Co n.d).

$$Q = Q_1 - \mu A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad 8$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad 9$$

Reynoldsin luku on laskettu kaavalla 10, jossa Re on Reynoldsin luku, D on putken sisähalkaisija, v on nesteen virtausnopeus, ρ on nesteen tiheys ja μ on nesteen viskositeetti.

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad 10$$

Kokeillaan syöttää laskentaohjelmaan putken alkuarvot kuvion 7 mukaisesti. Saadaan tulokset kuviossa 9.

TAVALLINEN PUTKI		Tilavuusvirta		Putken halkaisija		Virtausnopeus	Paine		Re
Suuttimen nro	l/min	m ³ /s	mm	m	m/s	Bar	Bar		
0	14	0,00023	9,95	0,01	3,00	3,00	3,00	9931	
1	13,83093	0,00023	9,95	0,01	2,96	3,00	2,95	9812	
2	13,66186	0,00023	9,95	0,01	2,93	2,97	2,90	9692	
3	13,4936	0,00022	9,95	0,01	2,89	2,94	2,85	9572	
4	13,32613	0,00022	9,95	0,01	2,86	2,92	2,81	9453	
5	13,15943	0,00022	9,95	0,01	2,82	2,89	2,76	9335	
6	12,9935	0,00022	9,95	0,01	2,78	2,86	2,72	9217	
7	12,82831	0,00021	9,95	0,01	2,75	2,84	2,67	9100	
8	12,66386	0,00021	9,95	0,01	2,71	2,81	2,63	8984	
9	12,50013	0,00021	9,95	0,01	2,68	2,79	2,59	8867	
10	12,3371	0,00021	9,95	0,01	2,64	2,77	2,55	8752	
11	12,17476	0,00020	9,95	0,01	2,61	2,74	2,51	8637	
12	12,01311	0,00020	9,95	0,01	2,57	2,72	2,47	8522	
13	11,85211	0,00020	9,95	0,01	2,54	2,70	2,44	8408	
14	11,69176	0,00019	9,95	0,01	2,51	2,68	2,40	8294	
15	11,53206	0,00019	9,95	0,01	2,47	2,66	2,37	8181	
16	11,37297	0,00019	9,95	0,01	2,44	2,64	2,33	8068	

KUVIO 9. Erillissyöttöputken painehäviö laskettu Excel ohjelmalla.

Punaisella värillä on merkitty alue, jolla paine laskee 0,2 baaria alkuarvosta. Kokeillaan ylivoimittua putkea lähelle 17 mm maksimihalkaisijaa. Otetaan huomioon, että putken ainevahvuuden ja mahdollisen kiinnitysmekanismien on mahduttava 17 mm tilaan. Yrityksen mukaan noin 20 mm sisähalkaisija putkelle on kuitenkin mahdollista toteuttaa tarvittaessa. Sisällytetään tätä varten budjettiin 5000 € mekaaniselle muutokselle, jotta erillissyöttöputkelle voidaan tehdä tarvittava tila.

Ylimoitettun erillissyöttöputken painehäviö näkyy kuviossa 10. koko putken pituudella painehäviö on vain 0,03 baaria. Painehäviö alkaa jo olemaan niin pieni, että lisää syöttökohtia ei välttämättä tarvita putkeen ollenkaan. Ylimoittamisen

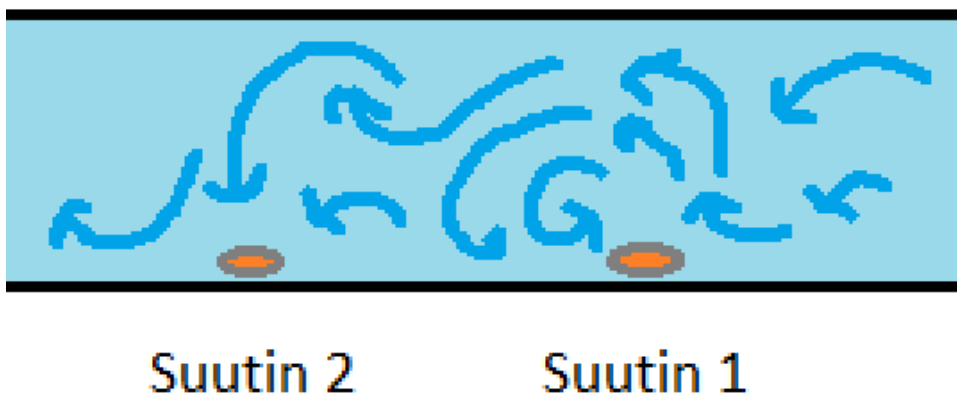
kanssa täytyy kuitenkin olla varovainen, sillä suuri ylimitoitus aiheuttaa osin saman ongelman, kuin nykyisessä putkessa. Suuttimet eivät ole kuitenkaan yhtä suuret, joten kemikaalien syöttö pystytään pitämään edelleen vakaana, mutta suuren putken paineistaminen vaatii jälleen enemmän nestettä, joten kemikaaleja täytyisi syöttää järjestelmään hieman enemmän, jolloin myös hukat kasvavat, kun kemikaalivaihdon yhteydessä putki on tyhjennettävä.

TAVALLINEN PUTKI		Tilavuusvirta		Putken halkaisija		Virtausnopeus	Paine		Re
Suuttimen nro	l/min	m ³ /s	mm	m	m/s	Bar	Bar		
0	14	0,00023	19,90	0,02	0,75	3,00	3,00	4966	
1	13,83093	0,00023	19,90	0,02	0,74	3,00	3,00	4906	
2	13,66186	0,00023	19,90	0,02	0,73	3,00	3,00	4846	
3	13,49282	0,00022	19,90	0,02	0,72	3,00	3,00	4786	
4	13,32381	0,00022	19,90	0,02	0,71	3,00	2,99	4726	
5	13,15482	0,00022	19,90	0,02	0,70	3,00	2,99	4666	
6	12,98586	0,00022	19,90	0,02	0,70	3,00	2,99	4606	
7	12,81692	0,00021	19,90	0,02	0,69	2,99	2,99	4546	
8	12,64801	0,00021	19,90	0,02	0,68	2,99	2,99	4486	
9	12,47912	0,00021	19,90	0,02	0,67	2,99	2,99	4426	
10	12,31026	0,00021	19,90	0,02	0,66	2,99	2,99	4366	
11	12,14141	0,00020	19,90	0,02	0,65	2,99	2,98	4307	
12	11,97259	0,00020	19,90	0,02	0,64	2,99	2,98	4247	
13	11,80379	0,00020	19,90	0,02	0,63	2,99	2,98	4187	
14	11,63502	0,00019	19,90	0,02	0,62	2,99	2,98	4127	
15	11,46626	0,00019	19,90	0,02	0,61	2,99	2,98	4067	
16	11,29752	0,00019	19,90	0,02	0,61	2,99	2,98	4007	

KUVIO 10. 20 mm erillissyöttöputkeen kohdistuva painehäviö.

3.2.4 Laminaarinen virtaus ja Reynoldsin luku

Putkessa virtaava neste voi olla turbulenttista tai laminaarista. Turbulenttinen virtaus tarkoittaa, että virtaavassa nesteessä esiintyy paljon pyörteitä, kun taas laminaarinen virtaus on pyörteetön. Turbulenttisessa virtauksessa syntyvä painehäviö on suurempi ja niin ollen myös järjestelmän energiankulutus kärsii. Lisäksi putken halkaistussa pinta-alassa ei paine pysty olemaan täysin tasainen pyörteilyn vuoksi (Kuvio 11). Venttiileihin halutaan saada mahdollisimman tasainen paine ruiskutuksen optimaalisen toiminnan takaamiseksi, joten paineen halutaan olevan mahdollisimman tasainen putken sisällä. Virtauksesta pyritään tekemään laminaarinen. Laminaarisessa virtauksessa taas ei esiinny pyörteitä, sillä jokainen hiukkanen kulkee samaan suuntaan, ja putken reunoilla oleva neste ei liiku ollenkaan. Tällöin ainut kitkahäviö tulee nesteen rakennehiukkasten törmäilystä (Ijas 2024).



KUVIO 11. Esimerkki turbulenttisesta virtauksesta putkessa

Nesteen virtauksen laadun voi määrittää Reynoldsin luvun (Re) avulla. Putkivirtauksessa nesteen virtaus on laminaarista, kun Re on alle 2300. Laskentaohjelman avulla selviää, että Re 2300 on erittäin haastavaa saavuttaa erillissyöttöputken koko leveydelle, sillä putkea pitäisi ylittää erittäin paljon.

Virtausnopeus pienenee putkessa, kun kemikaalia sumutetaan ulos. Tällöin virtaus voi tietyssä kohtaa putkea muuttua turbulenttisesta laminaariseksi. Tällöin painehäviöt voivat olla laskuissa esiintyviä arvoja pienempiä.

3.3 Syöttöjärjestelmä

Uutta järjestelmää varten säiliössä 4 (kuvio 1) kemikaalin säilytys voidaan vaihtaa samanlaiseen konttiin, kuin missä muutkin aineet ovat. Tämä mahdollistaa nesteen helpon täyttämisen ja pumppauksen. Tuotekehityksen mukaan kemikaali säilyy 24kk. Kahdessa vuodessa tapahtuvien N3- käsittelyiden määrä tulee tyhjentämään suuren kontin. Tarvittaessa pumppaaminen voidaan toteuttaa käyttämällä nykyistä tynnyriä ja hyödyntämällä tynnyripumppuja. Pesujärjestelmä pidetään ennallaan, eli pesuaine syötetään nykyiseen putkeen.

Erillissyöttöputken syöttö toteutetaan sekoitussäiliötä käyttämällä. N2- ja N3- liuokset valmistetaan automaattisesti sekoitussäiliöön, jonka jälkeen se pumpataan yhtenä kemikaalipanoksena erillissyöttöputkeen. Ratkaisu mahdollistaa yksinkertaisen tavan paineen tuottamiselle ja avaa lisää vaihtoehtoja pumppuvalinnalle, sillä annostelupumppujen tuottoaikaa voidaan muuttaa.

Putki on myös voitava pestä eri työvaiheiden välillä erilaisten käyttökemikaalien vuoksi. Nykyisessä putkessa on tämän vuoksi sulkuventtiili ja u käännös. Erillissyöttöputken pesu toteutetaan samalla tavalla, jolloin pesuvaiheessa sekoitussäiliöön syötetään vettä, joka pumpataan putkeen huuhtelevaan nesteeseen viemäriin.

3.3.0 Pumppu

Uudessa järjestelmässä pumpataan N2- ja N3- käsittelyiden kemikaalit sekoitussäiliöön, josta valmis liuos pumpataan erillissyöttöputkeen. Käytännössä sekoitussäiliön täyttö olisi mahdollista järjestää painovoiman avulla, mutta investointilaskentojen vuoksi mitoitetaan järjestelmään pumput ja niitä pyörittävät sähkömoottorit.

Sekoitussäiliön ja välisäiliöiden pumput on mitoitettava oikean kokoisiksi, jotta niiden energiankulutus, sekä käyttöikä olisivat optimaaliset. Sekoitussäiliön pumputon on oltava myös säädettävä, sillä vaadittava tuotto muuttuu tuotteen leveyden mukaan. Nykyisessä järjestelmässä tuoton säätö on toteutettu ajamalla pumppuja oikosulkumoottorilla, jonka nopeutta ohjataan taajuusmuuntajalla. Uudessa järjestelmässä Pumppua käytetään vain sekoitussäiliön täyttämiseen, joten pumppausaika ei ole niin kriittinen. Säiliö voidaan täyttää esimerkiksi pesuvaiheen aikana. Pumppujen tuottoa on kuitenkin hyvä pystyä säätämään, jotta pumppausajat eivät kasva liian pitkiksi tai lyhyiksi.

Pumpun mitoitusta varten on laskettava pumpulta tarvittava tuotto, ja kierroslavuus. Tämä tehdään määrittämällä N2- ja N3- kemikaaliliuoksille suurimmat ja pienimmät tilavuudet niille suunnitelluissa Excel laskentaohjelmissa (liite 1 Ja liite 2) Lisäksi laskentaohjelmilla selviää, että suurin mahdollinen tilavuusvirta tulisi olemaan noin 14 l/min.

Pumpun kierroslavuus lasketaan kaavalla 11, jossa Q on vaadittava tuotto, n on pumpun kierrosnopeus ja η pumpun volumetrinen hyötysuhde. Käytetään oletuskierrosnopeutena 750 rpm, joka on kahdeksan napaisen oikosulkumoottorin pyörintänopeus Suomen sähköverkon taajuudella. Hyötysuhteeksi oletetaan noin 90

%. Pumpun kierrostilavuuden mitoituksessa otetaan huomioon pienimmän kemikaalimäärän pumppausaika, joka yritetään mahdollisimman suuren pumppaus-tarkkuuden vuoksi pitää noin 30 sekunnin mittaisena yrityksen toiveen mukaan. Suurimman kemikaalimäärän pumppaamisen on voitava onnistua pesuvaiheen aikana koneaikasäästöjen saavuttamiseksi. Pesuvaiheeseen käytetty aika riippuu huovan koosta, mutta pienimmänkin mahdollisen (noin 15 m) pitkän huovan pesuun aikaa menee noin 15 minuuttia. Suurimman pumppausajan olisi siis oltava vähemmän kuin 15 minuuttia.

$$Q_{pumppu} = \frac{Q}{n \times \eta} \quad 11$$

$$Q_{k1 \min} = \frac{\frac{1,2l}{30s}}{750 \text{ rpm} \cdot 0,90} = 3,556 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{rev} \approx 3,6 \frac{cm^3}{rev}$$

Muille nesteille lasketaan myös suurimmat ja pienimmät pumpputilavuudet kaavalla 11. Taulukossa 3 esitetyt tilavuusvirrat on laskettu kaavalla 12. Suluissa esitetty aika kertoo, kuinka kauan kemikaalin pumppaamiseen menee, mikäli pumppua pyöritetään 3000 rpm nopeudella.

$$Q = V_{kierros} \cdot n \quad 12$$

$$Q_{k1} = 3,556 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{r} \cdot 3000 \frac{r}{min} = 177,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s} \approx 178 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

TAULUKKO 3. Pumppujen kierrostilavuudet kemikaaleille

Aine		Tarvittava määrä (l)	Kierrostilavuus (cm ³ /r)	Tilavuusvirta (m ³ /s)
Kemikaali 1 (N3)	Min	1,2	3,6	45·10 ⁻⁶
	Max	10,4	3,6	178·10 ⁻⁶ (1 min)
Kemikaali 3	Min	0,4	1,2	15·10 ⁻⁶
	Max	3,1	1,2	60·10 ⁻⁶ (51 s)
Kemikaali 1 (N2)	Min	5,5	3,6	45·10 ⁻⁶
	Max	47	3,6	178·10 ⁻⁶ (4,5 min)
Kemikaali 2	Min	3,6	10,7	133·10 ⁻⁶
	Max	31,2	10,7	535·10 ⁻⁶ (1 min)
Sekoitussäiliö			5,2	233·10 ⁻⁶

Kemikaalipumppujen kierrostilavuudeksi valitaan aina pienimmän arvon mukaan laskettu vaihtoehto, jotta kemikaalien annostelu saadaan toteutettua mahdollisimman tarkasti. Pumppujen pyörimisnopeutta voidaan tarvittaessa kasvattaa joko vähentämällä sähkömoottorin käyttämien napaparien määrää tai käyttämällä taajuusmuuntajaa. Nykyään monet säädettävät pumput sisältävät jo valmiiksi mitoitettun sähkömoottorin ja taajuusmuuntajan.

Taulukossa 3 esitetyt pienimmät kierrostilavuudet käyvät hyvin pieniksi. Tarvittaessa voi olla hyödyllistä tarkastella, voiko pumppuja ajaa pienemmällä pyörimisnopeudella, jolloin kierrostilavuutta voidaan kasvattaa. Kemikaali-pumppujen kierrostilavuudeksi valitaan aina pienimmän arvon mukaan laskettu vaihtoehto, jotta kemikaalien annostelu saadaan toteutettua mahdollisimman tarkasti.

Pumpun tyyppi on myös valittava viskositeetin ja paineentarpeen mukaan. Väli-säiliöiden pumppauksessa ei vaadita suurta paineentuottoa, sillä neste lasketaan suoraan sekoitussäiliöön. Sekoitussäiliön pumppu taas vastaa erillisyöttöputkessa olevasta paineesta, joten sen oikeinmitoitus on tärkeää. Sekoitussäiliön pumppu voisi olla esimerkiksi keskipakopumppu. Kierrosnopeudesta riippuen sama pumpputyyppi voisi sopia myös välisäiliöihin. Mikäli pumput eivät toimi hyvin alhaisilla kierrosnopeuksilla voidaan järjestelmässä käyttää annostelussa esimerkiksi ruvipumppua suuren tarkkuuden saavuttamiseksi tai kiertolohkopumppuja, jotka ovat käytössä järjestelmässä tällä hetkellä.

Pumpun pyörittämiseen vaadittavan tehon laskemiseksi on tuoton lisäksi selvitetävä pumpulta vaadittava nostokorkeus. Nostokorkeus on arvo, joka kertoo pumpun maksimaalisen paineentuoton. Nostokorkeuteen lasketaan putken kokonaispituus ja korkeuden muutos (Clen n.d). Kappaleessa 3.2.3 Selvisi, että mitoittamalla erillissyöttöputken halkaisijaksi noin 20 mm suuruiseksi, on painehäviö häviävän pieni. Samaa putkikokoa voidaan käyttää sekoitussäiliölle asti, jolloin putkiston pituutta ei tarvitse ottaa mukaan nostokorkeuden laskemiseen. Pumpulta vaaditaan tällöin 2,5 metrin nostokorkeus. Paineentarve voidaan selvittää hydrostaattisen paineen kaavalla. Hydrostaattinen paine lasketaan kaavalla 13, jossa ρ on fluidin tiheys, h on nestepatsaan korkeus ja g putoamiskiihtyvyys

$$p = \rho hg \quad 13$$

Laskuissa käytetään tiheyden arvona veden tiheyttä, sillä kemikaalien tiheydet ovat suurempia tai yhtä suuria ja tiheyden kasvaessa myös hydrostaattinen paine kasvaa.

$$997 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,5m \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 24,4 Pa \approx 0,25 bar$$

Kun säiliöt ovat täynnä, kohdistuu alakerran letkuihin noin 0,25 bar paine.

Erillissyöttöputken sumuttimet alkavat toimimaan 3 bar paineella, joten pumpulta vaadittava kokonaispaine on 3,25 baria. Putkistoon tulevat komponentit ja esimerkiksi suunnanmuutokset aiheuttavat myös painehäviötä, joten lisätään laskuun 1 barin ylimitoitus, sillä todellisuus poikkeaa teoriasta.

Seuraavaksi on selvitetävä, kuinka suurella teholla pumppua pyöritetään. Käytetään kaavaa 14, jossa P_a on pumpun akseliteho, eli pumpun pyörittämiseen vaadittava paine, n on hyötysuhde ja Q_p on tilavuusvirta. Laskuissa käytetään taulukon max tilavuusvirtaa ja 1 bar painetta sekä 0,8 hyötysuhdetta. Sekoitussäiliön pumpulle 4,25 bar. Tulokset esitetään taulukossa 4 (Motiva, 14.)

$$P_a = \frac{Q_p \cdot p}{\eta}$$

$$P_a = \frac{178 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s} \cdot 100000 Pa}{0,8} = 22,25 W \approx 22,3 W$$

TAULUKKO 4. Pumppujen vaatimat tehot

Aine	Teho (W)
Kemikaali 1	22,3
Kemikaali 3	7,5
Kemikaali 2	67
Sekoitussäiliö	124

3.3.1 Putkisto

Kemikaalit pumpataan välisäiliöistä sekoitussäiliöön. Putkien pituudet ja halkaisijat on selvitettävä sopivan sähkömoottorin valitsemista varten. Lasketaan putkien sisähalkaisijat kaavalla 5. Virtausnopeutena käytetään 1 m/s, sillä pienillä nopeuksilla saadaan aikaiseksi myös pienimmät painehäviöt. Taulukossa 5 esitetään kemikaalisyöttöjen putkikoot ja likimääräiset pituudet.

$$2 \times \sqrt{\frac{178 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2 \frac{m}{s}}} = 15,05 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

Pidetään sekoitussäiliön sijainti samana. Säiliöiden väliset etäisyydet pumppuun ovat noin 3–4 metriä. Kustannuslaskelmissa otetaan huomioon koko järjestelmän uusiminen, joten mitoitetaan järjestelmälle uusi sekoitussäiliö. N2- ja N3- liuosten suurin mahdollinen määrä tulisi olemaan 112 l. Yritys on toivonut, että sekoitussäiliöstä tehtäisiin noin 200 l kokoinen, mahdollisten tulevaisuuden järjestelmämuutosten vuoksi.

TAULUKKO 5. Kemikaalisyöttöjen putket.

Aine	Halkaisija	Pituus
Kemikaali 1	15 mm (DN 15)	3 m
Kemikaali 3	8,7 mm (DN 10)	3 m
Kemikaali 2	26 mm (DN 25)	4 m

3.3.2 Sähkömoottori

Pumput tarvitsevat sähkömoottorin pyöriäkseen. Oikosulkumoottorin kierrosnopeus riippuu verkkovirran taajuudesta, jolla sitä ajetaan ja moottorin napaparien määrästä. Nopeutta voidaan muuttaa esimerkiksi käyttämällä vaihteistoa tai taajuusmuuntajaa. Oikosulkumoottorit sietävät myös hyvin ylikuormittamista, sillä niiden rakenteessa ei ole rikkoutuvia osia. Ylikuormitustilanteissa on kuitenkin varmistettava, että moottori saa tarpeeksi hyvän jäähdytyksen, sillä ylikuumeneminen voi aiheuttaa moottorin rikkoutumisen. Erittäin pienillä pyörimisnopeuksilla moottorin sisäinen jäähdytin ei välttämättä myöskään pyöri tarpeeksi nopeasti, jotta moottori saisi tarpeeksi viilennystä.

Tässä sovelluksessa moottorin on kyettävä tuottamaan pumpun avulla noin 3 barin paine ja liikuttamaan oikeaa määrää nestettä. Moottorin mitoittaminen tehdään laskemalla pumpun tarvitsema akselimomentti kaavalla 15 (Motiva, Energiatehokkaat pumput). Käytetään moottorin hyötysuhteena 0,8 ja taajuusmuuntajan hyötysuhteena 0,95

$$P_m = \frac{P_a}{\eta_m \cdot \eta_{tamu}} \quad 15$$

$$P_m = \frac{22,3 \text{ W}}{0,8 \cdot 0,95} = 29,3 \text{ W}$$

TAULUKKO 6. Sähkömoottoreilta vaadittu minimiteho.

Aine	Teho (W)
Kemikaali 1	29,3
Kemikaali 3	9,9
Kemikaali 2	88,2
Sekoitussäiliö	163

Voidaan havaita, että pumppujen vaatimat tehot ovat hyvin pieniä. Todellisuudessa järjestelmään ei välttämättä edes tarvita pumppuja välisäiliöiden ja sekoitussäiliön välille. 1500 litran säiliöt sijaitsevat noin 2.5 metriä aiheuttaen välisäiliöihin hydrostaattista painetta.

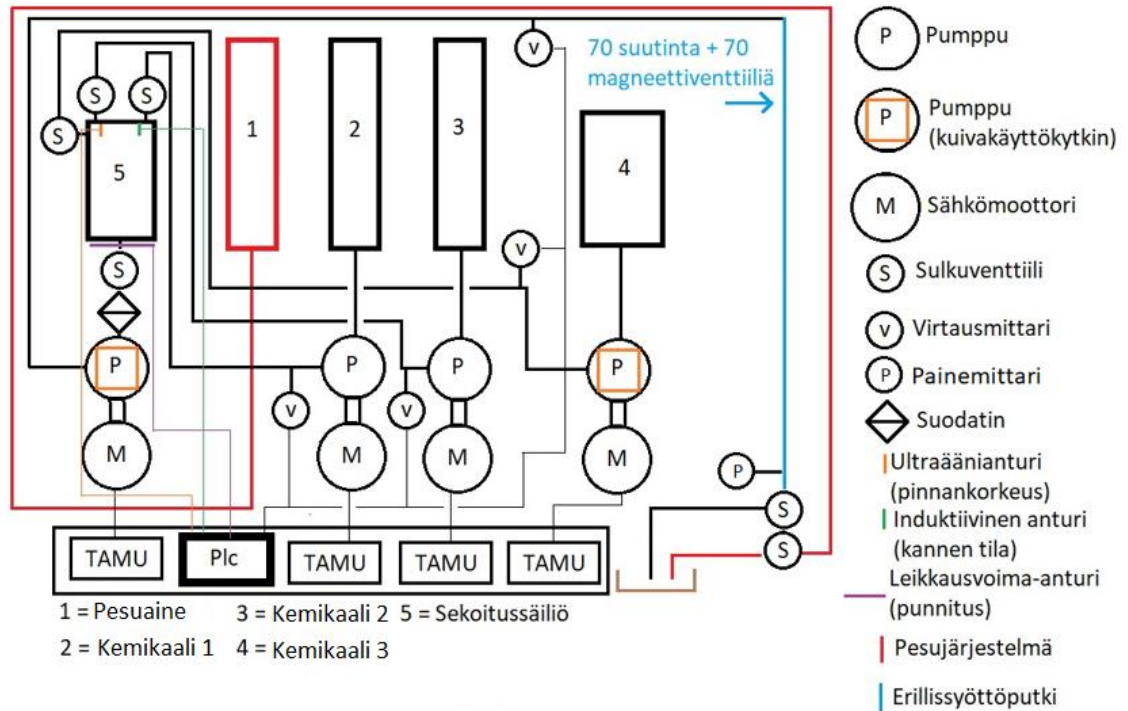
3.4 Automaatio

Uusi järjestelmä on täysautomaattinen. N2- ja N3- liuokset valmistetaan sekoitussäiliöön automaattisesti, jolloin koneenhoitajalta ei tarvita ylimääräisiä toimenpiteitä. N3- liuoksen tilavuuden laskut hoidetaan automaatiologiikalla samalla tavalla, kuin N2- liuos on tehty aikaisemmin. Tällöin työntekijän ei tarvitse itse laskea kemikaalimääriä Excel ohjelmalla.

Järjestelmään lisättävät sähkömoottorit vaativat taajuusmuuntajan nopeudensäätöä varten ja sekoitussäiliön pumppu ja tynnyripumppu kuivakäyttökytkimet. Koneen logiikkaan on lisättävä uusien moottorien ohjaus, sekä laskut N3- liuosten valmistusta sekä syöttöä varten. Erillissyöttöputkeen asennetaan myös virtausmittaus ja paineenmittaus. Uusien komponenttien ja toimintojen vuoksi logiikan ohjelmointia pitää hieman muuttaa.

3.5 Komponenttiluettelo ja PI- kaavio

Järjestelmän havainnollistamiseksi piirretään PI- kaavio. Kuviossa 12 on yksinkertaistettu PI- kaavio, jossa näkyy putkiston, ja komponenttien liitokset. Tarkempi PI-kaavio on lisätty liitteeksi (Liite 4).



KUVIO 12. PI-kaavio erillissyöttöjärjestelmästä.

Taulukossa 7 On esiteltyä erillissyöttöjärjestelmään tarvittavat komponentit hintatietoineen. Pumppujen hinta-arviot on saatu valmistajan (KSB) sivuilta. Muiden komponenttien hintatiedot on saatu yrityksen henkilökunnalta.

TAULUKKO 7. Komponenttiluettelo.

Komponentti	Kpl	Materiaali	Kappalehinta (yht) (€)
Sähkömoottori 29,3 W	1		Sisältyy pumppuun
Sähkömoottori 9,9 W	1		Sisältyy pumppuun
Sähkömoottori 88,2 W	1		Sisältyy pumppuun
Sähkömoottori 163 W	1		Sisältyy pumppuun
Pumppu 3,6 cm^3/r	1		1 000
Pumppu 1,2 cm^3/r	1		1 000
Pumppu 10,7 cm^3/r	1		1 000
Pumppu 5,2 cm^3/r	1		2 000
Taajuusmuuntaja	4		800 (3 200)
Putki DN 10 3 m	1	Haponkestävä teräs	
Putki DN 15 3 m	1	Haponkestävä teräs	
Putki DN 20 20 m	1	Haponkestävä teräs	
Putki DN 25 4 m	1	Haponkestävä teräs	
Magneettiventtiilit	70		64 (4 480)
Suuttimet	70		10 (700)
Sulkuventtiilit	5		500
Kuivakäyttökytkin	2		123 (246)
Virtausmittari	5		3 200 (16 000)
Painemittari	1		600
Sekoitussäiliö 200 l	1		5 000
Sekoitinelementti	1		500
Ultraäänianturi	1		Sisältyy säiliön hintaan
Induktiivinen anturi	1		Sisältyy säiliön hintaan
suodatin	1		50
Yhteensä			36 276

4 LASKELMAT

Kappaleessa lasketaan muutosinvestoinnin kokonaiskustannus, sen tuomat säästöt ja takaisinmaksuaika.

4.1 Järjestelmämuutoksen kokonaiskustannus

Kokonaiskustannuksiin lasketaan järjestelmään tarvittavien komponenttien yhteenlaskettu hinta, asennuskustannukset ja optio VK38 mekaanisesta muutoksesta. Koneen seisakkiakaa ei oteta huomioon, sillä se on huomioitu jo huopien vuosittaisessa tuotossa. Erillissyöttöputken asentaminen voi olla mahdollista myös toisen, kauemmin kestävän työvaiheen, esimerkiksi koneen modernisoinnin yhteydessä.

Asennuskustannuksia on vaikeaa arvioida tarkasti, sillä järjestelmä on hyvin teoreettisella tasolla. Kustannusarviot on tehty yrityksen työntekijöiden kanssa, joilla on aikaisempaa kokemusta vastaavanlaisista projekteista. Luvut voivat todellisuudessa vaihdella. Kustannuslaskelmissa yritettiin pessimistisempää arviota. Taulukosta 7 voidaan nähdä, että järjestelmän yhteenlasketut kustannukset ovat 71 276 euroa.

TAULUKKO 8. Erillissyöttöjärjestelmän kokonaiskustannukset.

	Kustannus
Komponentit	36 276
Mekaaninen asennus	16 000
Sähkö- ja automaatioasennus	14 000
Koneen mekaaninen muutos	5 000
Yhteensä	71 276

4.2 Säästöt

4.2.0 kemikaalin kulutus

Kappaleessa 2.3 esitettiin kemikaalien kulutus ja hinnat. Selvisi, että N2- ja N3-käsittelykemikaaleja menee vuodessa viemäriin noin 24 000 €, kun kemikaalien ostohinta on noin 60 000 €. Tämä tarkoittaa, että jopa 40 % hankintasummasta menee hukkaan.

Käsittelykemikaalit laimenevat huomattavasti vähemmän, sillä niitä ei enää annostella tuotteelle ylimääräisen veden kera. Tämän vuoksi kemikaalien määriä liuoksissa on mahdollista vähentää, mikäli erillissyöttöputki otetaan käyttöön. Nykyisessä järjestelmässä kemikaalia menee myös paljon viemäriin ruiskutusveden mukana. Erillissyöttöputkessa ei ole ylimääräistä vettä, jolloin kemikaalisumu on hienompaa, jonka pitäisi ainakin teoriassa vähentää viemäriin päätyvän aineen määrää.

Järjestelmää on mahdotonta tehdä täysin hukattomaksi. Liuosten sumutuksessa kaikki hiukkaset eivät osu huopaan tai jää siihen kunnolla kiinni. Lisäksi putkistoon jää hieman kemikaaleja käsittelyiden jälkeen. Senior R&D engineer Johanna Rökmanin arvioi, että pienin mahdollinen kemikaalien hukkamäärä voisi olla noin 10–15 % luokkaa. Taulukossa 9 Lasketaan 15 % hävikillä kemikaalien hinnat N2- ja N3 käsittelyliuoksissa.

TAULUKKO 9. Säästöt kemikaalien hukkaa vähentämällä.

Aine	Hävikki %	Hävikki (kg)	Hävikki (€)	Säästöt (€)
Kemikaali 1 N2	15 (78 %)	279	338	1 012
Kemikaali 1 N3	15 (22 %)	79	96	158
Kemikaali 2	15	423	3 644	4 955
Kemikaali 3	15	368	6 330	10 560
Yhteensä N2		702	3 982	5 967
Yhteensä N3		447	6 426	10 718
Yhteensä		1 149	10 408	16 685

Lähes 17 000 € suuruisten säästöjen ansiosta kemikaaleja menisi aikaisemman 24 000 € sijaan vain reilun 10 000 € arvosta viemäriin. Suurin osa rahallisista kuluista johtuu Kemikaalista 3, jonka hankintahinta on huomattavasti muita kemikaaleja suurempi. Kilokohtaista kulutusta seurattaessa huomataan, että viemäriin menevien kemikaalien määrä on vain noin 1000 kg vuodessa aikaisemman 4000 kg sijaan.

Veden säästö tulee olemaan erittäin suuri. Nykyisessä järjestelmässä vettä kuluetaan noin 165 l/min kemikaaliliuosten sisältämän vesimäärän lisäksi. Erillissyöttöputkeen tulee vain kemikaaliliuosten vaatima vesimäärä, joka syötetään suoraan sekoitussäiliöön. Koska erillissyöttöputkeen ei syötetä erillistä vettä, tulee etenkin N2- liuoksen pitoisuus muuttumaan. On tärkeää, että pehmennysainetta ei mene huopaan liikaa, sillä se voi aiheuttaa laatuongelmia. Erillissyöttöjärjestelmä mahdollistaa kemikaalien pitoisuuden vähentämisen liuoksissa, jotta tuotteeseen ei tule liikaa aineita. Tämä lisää säästöjä entisestään.

4.2.1 Koneaika

Suurin osa säästöistä saadaan koneikasäästönä. Uusi kemikaalinsyöttö-järjestelmä on täysin automaattinen, jolloin työntekijän ei tarvitse mennä valmistamaan N3- liuosta käsin. Säästetty koneaika tulee olemaan noin 10 minuuttia jokaisen huovan kohdalla, johon tehdään N3- käsittely. Vuonna 2023 VK38 viimeisteli 1715 huopaa, joista 345 oli N3-käsitelty. Keskimääräinen käsittelyaika on noin 5,1 tuntia. Kun otetaan huomioon noin 345 N3- käsittelyn saavaa huopaa, johon

menee tällä tuotantoajalla 1760 tuntia. Tuottoajasta häviää noin 10 minuuttia, tehden uudesta käsittelyajasta 4,94 tuntia. pystytään koneella käsittelemään 356 N3- huopaa. Keskiaverto huovan koon ja neliöhinnan avulla laskettu kate yritykselle tulee olemaan noin 66 836 €. vuodessa.

4.2.2 Ympäristö

Erillissyöttöjärjestelmän vaikutus ympäristöön on merkittävä. Aikaisemmin kemikaalikäsittelyissä syötettiin 165 l/min vettä kaikkien liuosten sekaan. Erillissyöttöputken järjestelmä ei tarvitse tätä vesisyöttöä, joten veden säästö tulee olemaan merkittävä. Lisäksi viemäriin laskettavan kemikaaliliuoksen määrä vähenee ainakin teoriassa.

4.3 Takaisinmaksuaika

Järjestelmän toteutuskustannukset ja tuomat säästöt huomioiden voidaan laskea investoinnin takaisinmaksuaika kaavalla 16. Takaisinmaksuaika kuvaa investoinnin kannattavuutta.

$$\text{Maksuaika} = \frac{\text{Kustannukset}}{\text{Tuotto}} \quad 16$$

$$\text{Maksuaika} = \frac{71\,276 \text{ €}}{83\,521 \frac{\text{€}}{v}} = 0,85 v$$

Laskuista voidaan havaita, että takaisinmaksuaika on erittäin lyhyt. Kustannuksia on vaikea arvioida tarkasti, mutta vaikka ne olisivat kaksinkertaiset, pysyisi takaisinmaksuaika alle kahdessa vuodessa. Tämä tekee erillissyöttö-putkijärjestelmän toteuttamisesta erittäin kannattavan.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella uusi kemikaalinsyöttöjärjestelmä VK38:lle. Tehtaan tiloissa tehdyn alkukartoituksen aikana esille tulleiden kehityskohteiden pohjalta suunniteltiin esimerkkiratkaisu uuden järjestelmän mekaanisesta- ja automaatiototeutuksesta, joiden pohjalta laskettiin investoinnin kokonaiskustannus. Työn aikana tietoa kerättiin haastatteleamalla yrityksen asiantuntijoita ja hakemalla tietoa useista kirjallisista lähteistä. Opinnäytetyö osoittaa, että erillissyöttöputki on teoreettisesti mahdollinen toteuttaa ja taloudellisesti kannattava investointi.

Uuden järjestelmän tuomat taloudelliset hyödyt ovat merkittäviä. Ympäristöllisiä säästöjä on vaikea arvioida suoraan kemikaalikulutuksen osalta ilman laboratorikokeita. Veden kulutus tulee kuitenkin vähenemään merkittävästi N2- ja N3-käsittelyissä putkimuutoksen vuoksi. Suurin säästö tulee koneaikasäästöistä, joiden avulla N3- huopia saadaan tehtyä arviolta noin 10 enemmän vuodessa.

Opinnäytetyössä käytettyjä lukuja sähkö- ja automaatiomuutoksen kustannuksista sekä mekaanisen muutoksen kustannuksista oli hyvin vaikeaa arvioida, joten lopulta päädyttiin arvioimaan kustannuksia yrityksen asiantuntijoiden kanssa aikaisempien projektien pohjalta. Vaikka opinnäytetyössä esitettävät laskut perustuvat todellisiin arvioihin ja tietoihin, luvut järjestelmän mahdollisista säästöistä sekä tuotoista eivät ole kuitenkaan absoluuttisia, sillä todellisuus poikkeaa aina teoriasta.

Aiheen valinta oli onnistunut, vaikka se tuottikin välillä haasteita. Etenkin putken painehäviön pohtiminen ja laskeminen vaati paljon aiheeseen perehtymistä. Tämä kuitenkin korosti insinöörikoulutuksen onnistumista. Koulutuksessa opetettiin tiedon ja taidon lisäksi insinööriltä vaadittavia ongelmanratkaisutaitoja. Kyseinen ajattelutapa auttoi työtä tehdessä, vaikka kaikki ei aina ollut itsestään selvää. Yrityksen henkilökunta auttoi myös haasteissa tarvittaessa. Aikataulusuunnitelma onnistui lähtökohtaisesti hyvin. Yrityksen henkilökuntaan olisi kannattanut olla yhteydessä aikaisemmin ongelmien ilmaantuessa ja aikataulusuunnitelma oli ehkä hieman

liian optimistinen, koska esimerkiksi kustannuslaskelmien vaatimien tietojen saaminen osoittautui oletettua hankalammaksi.

Erillissyöttöjärjestelmän suunnitteluvaiheessa käytännön toteutukseen liittyen tuli useita erilaisia ideoita. Vaikka opinnäytetyössä päädyttiin tietynlaiseen ratkaisuun toteutuksen osalta, on erilaisia vaihtoehtoja yritetty tuoda raportissa myös esille. Tämä voi olla hyödyllistä, mikäli järjestelmän toteuttamista aletaan suunnittelemaan todellisuudessa. Erilaisten suuttimien testaaminen voi olla esimerkiksi kannattavaa, kuten option miettimistä erillissyöttöputken asentamisesta huovan paperipuolelle ja kemikaalin 3 säiliön muuttaminen muiden säiliöiden kaltaiseksi.

Vaikka taloudelliset tulokset suosivat erillissyöttöputken toteuttamista, on silti syytä tehdä laboratoriokokeita todellisen tilanteen selvittämiseksi. Kemikaalin imeytyminen tuotteeseen hienommalla kemikaalisumulla syötettynä on epävarmaa ja imulaatikon käytön tarvetta kemikaalikäsittelyiden aikana kannattaa myös tutkia. Testeissä voidaan saada myös tarkempi näkemys järjestelmän vaikutuksesta hukkamääriin.

LÄHTEET

Aspiration energy. Why Pipe Sizing and Flow rate is important? Blogi 12.2.2019. Viitattu 1.4

<https://aspirationenergy.com/why-pipe-sizing-and-flow-rate-is-important/>

Chopey, N., 2004, Handbook of Chemical engineering calculations. Third edition. New York: McGraw-Hill. Viitattu 6.5

Clen. Näin valitset oikean pumpun. Verkkosivu. Viitattu 18.3.2024

<https://www.clen.fi/i/nain-valitset-oikean-pumpun/23/>

Hauser, B., 1996, Practical hydraulics handbook. Second edition. Boca Raton: CRC Press. Viitattu 5.4

Hawthorne. Factoring in pressure compensation. Verkkosivu. Viitattu 25.3.2024

<https://www.hawthorne-gardening.com/education/designing-an-efficient-drip-irrigation-system/factoring-in-pressure-compensation/>

Ijas, M., lehtori. 2024. Haastattelu 10.4.2024. Tampereen ammattikorkeakoulu. Ei litterointia.

mihai. Pressure drop in sprinkler systems. MTS DNC 18.5.2020. Artikkel. Viitattu 28.3

<https://www.mtsdnc.com/post/pressure-drop-in-sprinkler-systems>

Motiva. Energiatehokkaat pumput. Opas. Viitattu 18.3.2024,

https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf

PNR. Spray engineering handbook. Esite, 32. Viitattu 26.3

<https://pnmordic.fi/tuoteluettelo/pdf/Technical-Manual.pdf> KAAVAT

Salhydro. Virtausnopeus. Verkkosivu. Viitattu 15.3.2024

<https://www.salhydro.fi/fi/virtausnopeus>

Spraying Systems Co. Fine spray nozzles. Esite 1-12. Viitattu 26.3

https://www.spray.com/-/media/dam/industrial/usa/sales-material/catalog/cat75hyd_metric_fine-spray_e.pdf

LIITTEET

Liite 1. N2- liuksen Excel laskut.

PIILOTETTU

Liite 2. N3- liuksen resepti Excelissä.

PIILOTETTU

Liite 3. Putkimitoitusta varten tehty Excel laskentaohjelma

1(2)

AutoSave - Pakkimoittelu - Sheet1

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Automate Help

Formulas: $=H82*(SC514*(PI()*((SC515/1000)/(2*2))^2)*SQRT((2*H82*100000)/(SC513))*1000^5)$

Ilmavirta	14 l/min
Keuhkokuorman	11.4 l/min
Suuttimien latti	0.15 l/min
Vaadittu paine	3 Bar
Max sallittu painehäviö	0.2 Bar
Virtausnopeus	3 m/s
Virtausnopeus	100%
Putken C-arvo	120
Suuttimien suhteellinen	0.002 (pa-%)
Putkikulutuskerroin	0.7
Suuttimien rän koko	0.4572 mm

HUOMIO! Tavallisessa putkessa putken sisähalkeaja pyyry valkoina. Painehäviön vaikutusta kitta ja putken tyhjentyminen, kun tilavuusvirta pienenee liian paljon putki ei enää täyty ja tapahtuu täysi painehäviö.

Tilavuusvirran muutos suuttimien yli l/min
Suuttimien lukumäärä 68.94736842 kpl

Suuttimien ero	Ilmavirta l/min	Putken halkiaja mm	Virtausnopeus m/s	Paine Bar	Re
0	14	0.00023	19.90	0.02	0.75
1	13.83993	0.00023	19.90	0.02	0.74
2	13.66198	0.00023	19.90	0.02	0.73
3	13.49282	0.00023	19.90	0.02	0.72
4	13.32881	0.00022	19.90	0.02	0.71
5	13.15482	0.00022	19.90	0.02	0.70
6	12.98588	0.00022	19.90	0.02	0.70
7	12.81692	0.00021	19.90	0.02	0.69
8	12.64801	0.00021	19.90	0.02	0.68
9	12.47912	0.00021	19.90	0.02	0.67
10	12.31028	0.00021	19.90	0.02	0.66
11	12.14141	0.00020	19.90	0.02	0.65
12	11.97259	0.00020	19.90	0.02	0.64
13	11.80379	0.00020	19.90	0.02	0.63
14	11.63500	0.00019	19.90	0.02	0.62
15	11.46626	0.00019	19.90	0.02	0.61
16	11.29752	0.00019	19.90	0.02	0.61
17	11.12881	0.00019	19.90	0.02	0.60
18	10.96011	0.00018	19.90	0.02	0.59
19	10.79142	0.00018	19.90	0.02	0.58
20	10.62276	0.00018	19.90	0.02	0.57
21	10.45411	0.00017	19.90	0.02	0.56
22	10.28548	0.00017	19.90	0.02	0.55
23	10.11687	0.00017	19.90	0.02	0.54
24	9.948272	0.00017	19.90	0.02	0.53
25	9.77968	0.00016	19.90	0.02	0.52
26	9.611123	0.00016	19.90	0.02	0.51
27	9.44257	0.00016	19.90	0.02	0.51
28	9.274031	0.00015	19.90	0.02	0.50
29	9.105508	0.00015	19.90	0.02	0.49
30	8.936994	0.00015	19.90	0.02	0.48
31	8.768494	0.00015	19.90	0.02	0.47
32	8.600000	0.00014	19.90	0.02	0.46
33	8.431513	0.00014	19.90	0.02	0.45
34	8.263066	0.00014	19.90	0.02	0.44

2(2)

35	8.094612	0.00013	19.90	0.02	0.43
36	7.926099	0.00013	19.90	0.02	0.42
37	7.757736	0.00013	19.90	0.02	0.42
38	7.589312	0.00013	19.90	0.02	0.41
39	7.420898	0.00012	19.90	0.02	0.40
40	7.252493	0.00012	19.90	0.02	0.39
41	7.084096	0.00012	19.90	0.02	0.38
42	6.915707	0.00012	19.90	0.02	0.37
43	6.747327	0.00011	19.90	0.02	0.36
44	6.578953	0.00011	19.90	0.02	0.35
45	6.410587	0.00011	19.90	0.02	0.34
46	6.242228	0.00010	19.90	0.02	0.33
47	6.073875	0.00010	19.90	0.02	0.32
48	5.905529	0.00010	19.90	0.02	0.31
49	5.737188	0.00010	19.90	0.02	0.31
50	5.568853	0.00009	19.90	0.02	0.30
51	5.400523	0.00009	19.90	0.02	0.29
52	5.232198	0.00009	19.90	0.02	0.28
53	5.063877	0.00008	19.90	0.02	0.27
54	4.895561	0.00008	19.90	0.02	0.26
55	4.727249	0.00008	19.90	0.02	0.25
56	4.558941	0.00008	19.90	0.02	0.24
57	4.390637	0.00007	19.90	0.02	0.24
58	4.222336	0.00007	19.90	0.02	0.23
59	4.054038	0.00007	19.90	0.02	0.22
60	3.885743	0.00006	19.90	0.02	0.21
61	3.717451	0.00006	19.90	0.02	0.20
62	3.549161	0.00006	19.90	0.02	0.19
63	3.380876	0.00006	19.90	0.02	0.18
64	3.212588	0.00005	19.90	0.02	0.17
65	3.044300	0.00005	19.90	0.02	0.16
66	2.876023	0.00005	19.90	0.02	0.15
67	2.707743	0.00005	19.90	0.02	0.15
68	2.539464	0.00004	19.90	0.02	0.14
69	2.371187	0.00004	19.90	0.02	0.13
70	2.202911	0.00004	19.90	0.02	0.12
71	2.034635	0.00003	19.90	0.02	0.11
72	1.866361	0.00003	19.90	0.02	0.10
73	1.698086	0.00003	19.90	0.02	0.09

Liite 4. PI-kaavio

