

PROSOLOV -TUOTTEEN TUOTANNON KEHITTÄMINEN

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotantopainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2006
Hans-Henrik Hyöppönen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

HYÖPPÖNEN, HANS-HENRIK: ProSolv-tuotteen tuotannon
kehittäminen

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 34 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2006

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö käsittelee teknisiä toteutusvaihtoehtoja JRS Pharma Oy:n ProSolv-nimisen tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi. ProSolv-tuote on mikrokiteistä selluloosaa, ja sitä käytetään lääketeollisuudessa tablettien pohja-aineena. Mikrokiteinen selluloosa on sellukartongista erilaisten prosessivaiheiden kautta valmistettua jauhetta. ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvu mahdollistuisi parhaassa tapauksessa jopa 20 %.

Suunnittelussa tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja edullisimman, varmatoimisimman sekä ajallisesti nopeasti toteutettavan ratkaisun löytämiseksi. Valittu vaihtoehto ei saisi millään tavalla muuttaa tuotteen ominaisuuksia, kuten tiheyttä, partikkelikokoa, kosteutta, pH-arvoa tai puhtautta. Hygieniavaatimusten vuoksi valintaa vaikeutti osien ja laitteiden sopivuus lääketeollisuuteen.

Työtä aloitettaessa oli kolme vaihtoehtoista olemassa olevaa ideaa, joista oli selvittämättä niiden tekniset toteutusmahdollisuudet sekä kokonaiskustannukset. Näitä vaihtoehtoja selvitettyä kehitettiin yksi vaihtoehdollinen idea lisää. Kehitetty vaihtoehto osoittautui edulliseksi, varmatoimiseksi sekä nopeasti toteutettavaksi. Tätä ideaa alettiin toteuttaa käytännössä.

Avainsanat: mikrokiteinen, selluloosa, lääketeollisuus, farmaseuttinen, apuaine, prosessivaihe, prosessituotanto

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology

HYÖPPÖNEN, HANS-HENRIK: Development of ProSolv production

Bachelor's Thesis in Mechanical and Production Engineering, 34 pages, 3 appendices

Spring 2006

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with technically feasible alternatives to improve the production rate of a product called ProSolv. The work was commissioned by JRS Pharma Oy. ProSolv is micro crystalline cellulose and it is used as body material in pharmaceutical tablets. Micro crystalline cellulose is made of chemical pulp which goes through various production processes to become a prepared product. In JRS Pharma Oy's production process there might be a possibility to increase ProSolv production by over 20 %.

In the planning work different kinds of alternatives were examined to find the solution which would be most economical, most reliable and could be carried out in a short time. The chosen alternative was not to change any properties in the product, such as thickness, particle size, humidity, pH-value, or cleanliness. What made this planning work difficult was the suitability of components and appliances for pharmaceutical production.

When this project was started there were three existing ideas which had not been investigated regarding their feasibility and total costs. While investigating these alternatives one more alternative came up. This new alternative proved to be economical, reliable and it could be carried out in a short time. A decision was made to realize this alternative.

Keywords: micro crystalline, cellulose, medicine, pharmaceutical, body material, process phase, process production

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	
2	TUOTTEEN VALMISTUKSEN YKSIKKÖPROSESSIT	2
	2.1 Emcocel-tuotteen valmistuksen yksikköprosessit	2
	2.1.1 Sellunrevintä	2
	2.1.2 Hydrolyysi	2
	2.1.3 Pesu	3
	2.1.4 Neutralointi	3
	2.1.5 Konsentraationsäätö	3
	2.1.6 Sumutuskuivaus	4
	2.1.7 Seulonta ja pakkaaminen	5
	2.1.8 Näytteenotto ja analysointi	5
	2.2 ProSolv-tuotteen valmistus	6
3	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	7
	3.1 Suspension konsentraation säätö ennen tuotesäiliötä	8
	3.2 CSD-suspension in-line-sekoitus	9
	3.3 Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa	10
	3.4 Puskurisäiliö ennen tuotesäiliötä	12
4	SUUNNITTELUTYÖ	14
	4.1 Suunnittelutyön vaiheet	14
	4.2 CSD-suspension in-line-sekoitus	16
	4.2.1 Staattinen sekoitin	18
	4.2.2 MCC- ja CSD-suspensioiden syöttöpumput	19
	4.2.3 Itsestään puhdistuva suodatin	20
	4.2.4 Vaihtoehdon vaatimat muut laitteet ja osat	21
	4.2.5 Vaihtoehdon ohjaus	22
	4.3 Suspension konsentraationsäätö ennen tuotesäiliötä	23
	4.4 Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa	23
	4.4.1 Tuotesäiliön ominaisuudet	25
	4.4.2 Tuotesäiliöiden laitteet ja osat	25

4.4.3	Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat muutokset	26
4.4.4	Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat työt	26
4.5	Puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä	27
4.5.1	Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat laitteet ja osat	30
4.5.2	Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat työt	30
5	TYÖN TULOSTEN TARKASTELU	31
5.1	Tavoitteiden saavuttaminen	31
5.2	Suunnittelun onnistuminen	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	34

SANASTO

<i>CSD</i>	tulee englannin kielen sanoista Colloidal Silicon Dioxide; suomeksi hienojakoinen piidioksidi
<i>Farmakopeat</i>	erilaisille lääkeaineille määritellyt laatuvaatimukset sisältäviä kirjoja
<i>Hydrolyysi</i>	yhdisteen hajoaminen
<i>In-line-sekoitus</i>	sekoitustapahtuma, joka tapahtuu esimerkiksi tuotelinjaputkessa tuotevirtauksen etenemisen yhteydessä
<i>MCC</i>	tulee englannin kielen sanoista Micro Crystalline Cellulose; suomeksi mikrokiteinen selluloosa
<i>Monografi</i>	yksittäisen aineen laatuvaatimukset farmakopean sisällä
<i>Reaktori</i>	laite, joka on tarkoitettu jonkin reaktion aikaansaamiseen
<i>Suspensio</i>	kahden tai useamman aineen liete
<i>Viirakangas</i>	hyvin pieni- ja tiheäreikäinen kangas
<i>Yhde</i>	tiettyä käyttötarkoitusta varten tehty aukko esimerkiksi säiliöön
<i>Yksikköprosessi</i>	yksittäinen prosessivaihe, osa kokonaisprosessia

1 JOHDANTO

JRS Pharma Oy on lääketeollisuuteen mikrokiteistä selluloosaa valmistavan saksalaisen JRS Pharma GmbH+Co.KG:n Suomen tehdas, joka sijaitsee Nastolassa. JRS Pharma GmbH+Co.KG on osa saksalaista J. Rettenmaier & Söhne GmbH+Co -konsernia, ja se on yksi konsernin monista tuotannonaloista. JRS Pharman asiakkaita ovat pääasiassa yritykset, jotka valmistavat lääketabletteja.

JRS Pharma Oy:n tuotevalikoimasta on tuottoisimmaksi noussut viime vuosina ProSolv-tuote. Tämä johtuu pääosin tuotteen suuresta katteesta ja kysynnän kasvusta, jonka uskotaan nousevan vielä entisestään. JRS Pharma Oy pystyy kuitenkin tuottamaan ProSolv-tuotetta selvästi hitaammin kuin eräitä muita päätuotteitaan mikrokiteisen selluloosan suspension ja kolloidaalisen piidioksidin sekoituksen vaatiman ajan takia. Suurempi aikavaatimus aiheuttaa aiemmassa prosessivaiheessa tuotantokatkon ja seuraavaa prosessivaihetta joudutaan ajamaan mahdollista maksiminopeutta hitaammalla nopeudella, jotta vältetään sen prosessinvaiheen tuotantokatkoilta. Tämän sekoitukseen kuluvan ajan eliminoiminen voisi kasvattaa ProSolv-tuotteen tuotantonopeutta yli 20 %.

ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi on yrityksessä pohdittu erilaisia keinoja, mutta ideat ovat jääneet vain pohdintavaiheeseen. Näistä keinoista ei ole selvitetty niiden teknisiä toteutusmahdollisuuksia eikä kokonaiskustannuksia. Opinnäytetyössä suunnittelen ProSolv-tuotteen tuotannon kasvattamiseksi erilaisten keinojen teknisiä toteutusmahdollisuuksia ja kokonaiskustannuksia.

2 TUOTTEEN VALMISTUKSEN YKSIKKÖPROSESSIT

JRS Pharma Oy valmistaa pääsääntöisesti kahdeksaa erilaista tuotetta, joiden lisäksi se pyrkii valmistamaan resurssiensa mukaan asiakkaiden tilaamia normaalituotteista ominaisuuksiltaan eroavia tuotteita. Erot näiden tuotteiden välillä ovat kosteuspitoisuudessa, partikkelikoossa, tiheydessä sekä selluraaka-aineessa. ProSolv-tuote eroaa muista tuotteista vielä siinä, että siinä on lisäaineena piidioksidia. Tuotteiden raaka-aineina käytetään liukoselluloosaa, kemiallisesti puhdistettua ammoniakkivettä, väkevää suolahappoa, ionivaihdettua vettä, juomavesilaatuista verkostovettä sekä farmakopealaatuista piidioksidia. (Laakso 2004, 1–2.) JRS Pharma Oy:n päätuotteista tavallisin ja eniten valmistettu tuotettu on Emcocel 90 M.

2.1 Emcocel-tuotteen valmistuksen yksikköprosessit

2.1.1 Sellunrevintä

Tuotteen valmistus alkaa raaka-ainesellurullan revinnällä, jossa puhdas, noin 500 kg painava sellurulla revitään repijäkoneella noin 15 mm x 200 mm kokoisiksi suikaleiksi. Tämän jälkeen suikaleet siirretään reaktoriin seuraavaa yksikköprosessia varten. (Laakso 2004, 2.)

2.1.2 Hydrolyysi

Reaktoriin siirretty revitty sellu hydrolysoidaan korkeassa lämpötilassa verkostoveden ja suolahapon avulla suspensioksi. Tästä nesteiden ja selluloosakuitujen muodostamasta suspensiosta käytetään nimitystä MCC-suspensio. Hydrolyysireaktio pysäytetään lisäämällä reaktoriin kylmää verkostovettä. Hydrolyysintiajalla ja suolahapon määrällä säädetään lopputuotteen tiheyttä. (Laakso 2004, 2.)

2.1.3 Pesu

Hydrolysoitu suspensio pestään ionivaihdettua vettä käyttäen kolmivaiheisella imurumpusuodatinlaitteistolla. Imurumpusuodatinlaitteisto toimii siten, että jokaisen rummun kehällä on viirakangas ja rummun sisällä vallitsee synnytetty alipaine. Rummun pyöriessä alipaine imee rummun etupuolella olevasta lietealtaasta MCC-suspensiota vasten rummun viirakangasta. Rummun yläpuolella on MCC-suspension päälle ionivaihdettua vettä suihkuttavia sumuttimia. Rummun sisällä vallitseva alipaine pyrkii imemään suihkutetun ionivaihdetun veden MCC-suspension läpi tuoden mukanaan epäpuhtauksia. Pesun päätarkoitus on poistaa suspension seasta suolahappo ja muut vesiliukoiset aineet. Tästä yksikköprosessista lähtien tuotteiden valmistus pyritään pitämään jatkuvana prosessina. (Laakso 2004, 3.)

2.1.4 Neutralointi

Kolmivaiheisen imurumpusuodatinlaitteiston kolmannessa lietealtaassa säädetään MCC-suspension pH-arvo neutraaliksi laimennetun ammoniakkiveden avulla (Laakso 2004, 3). Kolmannessa lietealtaassa mitataan suspension pH-arvoa ja pH-arvon poiketessa tavoitellusta, lisää tai vähentää järjestelmä automaattisesti pumpun tehoa säätämällä ammoniakkiveden määrää.

2.1.5 Konsentraationsäätö

Neutraloitu MCC-suspensio pumpataan kolmannesta lietealtaasta tuotesäiliöön, jossa suspension konsentraatio määritetään ja säädetään tavoitelluksi lisäämällä suspension joukkoon joko ionivaihdettua vettä tai valmista tuotetta, mikrokiteistä selluloosaa (Laakso 2004, 3). Tyhjän tuotesäiliön täytyminen kestää noin 4 tuntia 17 minuuttia. Kuitenkin lukuun ottamatta ensimmäisiä tuotantoerän säiliöllisiä, tuotesäiliöt eivät ole koskaan täysin tyhjiä, kun niihin aletaan syöttää uutta MCC-suspensiota. Tuotesäiliössä on yleensä pohjalla säiliön tyhjentämisen päätyttyä edellisestä

tuotesäiliön täytöstä jäänyttä MCC-suspensiota noin 10–20 % säiliön tilavuudesta. Tuotesäiliöitä tyhjennetään seuraavaan prosessivaiheeseen lähes tasaisella tilavuusvirralla. Tuotesäiliöstä tyhjentäminen seuraavaan prosessivaiheeseen vaihdetaan toisesta tuotesäiliöstä tyhjentämiseen niin sanotusti lennossa, kun toinen tuotesäiliö tulee täyteen ja on valmiina tyhjennettäväksi. Tämän syystä tuotesäiliön pohjalle jää MCC-suspensiota. ”Lennossa vaihtamisen” avulla vältetään seuraavan prosessivaiheen tuotantokatkolta, myös edellisen prosessivaiheen katko jää mahdollisimman pieneksi tai parhaassa tapauksessa vältetään katko kokonaan. Tämä toteutuu, jos konsentraatio päästään säätämään oikeaksi jo ennen kuin tuotesäiliö on tullut täyteen. Tuotesäiliöllisen täyttyminen, jonka pohjalla on vanhaa MCC-suspensiota 10–20 % säiliön tilavuudesta, kestää keskimäärin 3 tuntia 27 minuuttia. Täyttymiseen kuluvaan aikaan vaikuttaa se, kuinka paljon säiliön pohjalla on vanhaa suspensiota. Tuotesäiliön tyhjentäminen seuraavaan prosessivaiheeseen kestää keskimäärin 3 tuntia 39 minuuttia. Tyhjentämiseen kuluvaan aikaan vaikuttaa se, kuinka tyhjäksi säiliö tyhjennetään.

Tuotesäiliön ympärillä on lämmitysvaippa, jonka sisällä on vettä, jota lämmitetään höyryllä. Lämmitysvaipan avulla MCC-suspension lämpötila nostetaan tuotesäiliössä ennen seuraavaa yksikköprosessia.

2.1.6 Sumutuskuivaus

Tuotesäiliöstä MCC-suspensio pumpataan sumutuskuivaajalle. Sumutuskuivain on kierrossumuttimen, kuivaustornin ja kuivausilman kuumentamiseen käytettävän kaasupolttimen muodostama prosessi. Kierrossumutin sijaitsee kuivaustornin päällä, ja MCC suspensio syötetään kierrossumuttimen pyörivän kiekon kautta kuivaustorniin. Kierrossumuttimen kierrosluvulla säädetään lopputuotteen tavoiteltu partikkelikoko. Kuivaustornin yläpäässä kuivaustorniin puhalletaan suodatettua kaasupolttimella kuumennettua ilmaa, joka kuivaa kuivaustorniin sumutetun MCC-suspension pulverimaiseksi tuotteeksi. Kuivaustornissa vallitsevalla lämpötilalla säädetään lopputuotteen kosteuspitoisuus. (Laakso 2004, 3.) Kuivaustornissa

vallitsevalle lämpötilalle asetetaan tavoitearvo, jota automatiikka pyrkii jatkuvasti tavoittelemaan. Kuivaustornin lämpötilaa säädetään siten, että kaasupolttimen läpi puhallettavan tuloilman määrä ja lämpötila asetetaan vakioksi ja kierrossumuttimen kautta torniin syötettävän MCC-suspension määrällä säädetään kuivaustornissa vallitsevaa lämpötilaa. Kun lämpötila kuivaustornissa nousee yli tavoitearvon, sumutskuivaimelle MCC-suspensiota pumppaavan pumpun kierrokset nousevat ja MCC-suspensiota virtaa sumuttimelle enemmän jäähdyttäen näin kuivaustornin lämpötilaa. Kuivaustornin lämpötila siis laskee, kun kuivattavan tuotteen määrä kasvaa suhteessa vakiona pysyvän kuivaavan ilman määrään ja lämpötilaan nähden. Kun lämpötila kuivaustornissa laskee alle tavoitearvon, tapahtuu vastakkaisreaktio; sumutskuivaimelle MCC-suspensiota pumppaavan pumpun kierrokset laskevat ja MCC-suspensiota virtaa sumuttimelle vähemmän.

2.1.7 Seulonta ja pakkaaminen

Sumutskuivauksen jälkeen tuote seulotaan, jolloin ylisuuret partikkelit ja mahdolliset kokkareet jäävät lopputuotteen seasta pois. Tämä seulottu tuote pakataan puoliautomaattista laitteistoa apuna käyttäen tilaajan valitsemaan pakkausmuotovaihtoehtoon. (Laakso 2004, 4.) Pakkausmuotovaihtoehdot ovat laatikko, säkki, suursäkki sekä fibre-astia.

2.1.8 Näytteenotto ja analysointi

Valmistusprosessin aikana MCC-suspensiosta ja kuivatusta lopputuotteesta otetaan näytteitä eri ominaisuuksien määrittämiseksi. Näytteiden perusteella säädetään MCC-suspension ja lopputuotteen ominaisuuksia. Konsentraation säätövaiheessa jokaisesta täydestä MCC-suspensiosäiliöstä otetaan näyte konsentraation määrittämiseksi, jonka perusteella suspension konsentraatiota säädetään. Tuotteen pakkausvaiheessa otetaan tietyin väliajoin näyte pakattavasta lopputuotteesta kosteuden ja partikkelikoon määrittämiseksi. Tulosten perusteella säädetään tarvittaessa tuotteen kosteutta ja

partikkelikokoa. Lopputuotteesta otetut tuotenäytteet analysoidaan ja hyväksytään laadunvalvontalaboratoriossa NF (USA:n), EP (Euroopan) ja JP (Japanin) farmakopeoiden ja JRS Pharman tuotespesifikaatioiden mukaisesti. (Laakso 2004, 4.)

2.2 ProSolv-tuotteen valmistus

ProSolv-tuotteen valmistusprosessi on pääosin sama kuin Emcocel-tuotteen valmistusprosessi, mutta konsentraationsäädön jälkeen MCC-suspensioon sekoitetaan tietty määrä kolloidaalisen piidioksidin ja ionivaihdetun veden muodostamaa suspensiota. Tästä kolloidaalisen piidioksidin ja ionivaihdetun veden muodostamasta suspensiosta käytetään nimitystä CSD-suspensio (CSD = Colloidal Silicon Dioxide). MCC- ja CSD-suspension vähimmäissekoitusajan on testaamalla havaittu olevan 30 minuuttia (Laakso 2003, 2). Tässä ajassa kolloidaalista piitä tarttuu kiinni tasaisesti kaikkiin MCC-suspensiossa oleviin sellukuituihin. Käytännössä ProSolv-tuotteen valmistusprosessissa kuluva lisäaika verrattuna Emcocel-tuotteen valmistusprosessiin on kuitenkin yli 30 minuuttia yhtä tuotesäiliöllistä kohden. Lisäaikaa yhtä tuotesäiliöllistä kohden kertyy keskimäärin 38 minuuttia. Tämä aika muodostuu CSD-suspension sekoittamiseen kuluvan ajan lisäksi CSD-suspension lisäämiseen ja henkilöstön käytännössä suorittamaan työhön kuluvasta ajasta. ProSolv-tuotteen valmistuksessa syntyy lisäaikaa verrattuna Emcocel-tuotteen valmistukseen lisäksi siinä, että sitä joudutaan syöttämään tuotesäiliöstä sumutskuivaimelle pienemmällä tilavuusvirralla kuin Emcocel-tuotetta. Tämä johtuu siitä, että pyritään välttymään prosessin loppupäässä, sumutskuivauksessa, tuotantokatkoilta, koska yhden tuotesäiliöllisen valmistamiseen kuivausvalmiuteen kuluu ProSolv-tuotannossa enemmän aikaa kuin Emcocel-tuotannossa. Jos siis ProSolv-tuotetta syötettäisiin sumutskuivaimelle samalla tilavuusvirran määrällä kuin Emcocel-tuotetta, jouduttaisiin prosessin loppupää pysäyttämään tyhjäksi kuivatun tuotesäiliöllisen jälkeen, koska toinen tuotesäiliöllinen ei olisi vielä valmis kuivaukseen. Tuotantoprosessin prosessikaavio on esitetty kuviossa 1.

mutta niistä oli selvittämättä niiden tekniset toteutusmahdollisuudet: tarpeelliset oheislaitteet ja osat sekä vaihtoehtojen kokonaiskustannukset. Nämä kolme vaihtoehtoa toimivat suunnittelutyöni ensimmäisenä lähtökohtana. ProSolv-tuotannon kasvattamisen suunnittelun tärkeimpänä vaatimuksena oli, etteivät lopputuotteen ominaisuudet muutu entisestään.

Ennalta pohdittuja vaihtoehtoja ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi olivat suspension konsentraationsäätö ennen tuotesäiliöitä, CSD-suspension in-line-sekoitus sekä kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa. Näiden edellä mainittujen vaihtoehtojen suunnitteluvaiheessa syntyi vielä yksi idea ProSolv-tuotteen tuotannon kasvattamiseksi; puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä.

Suunnittelun päätavoitteena oli valita taloudellisesti paras vaihtoehto tavoitteen saavuttamiseksi. Toteutuksella tuli olla alle kahden vuoden takaisinmaksuaika. Toinen tärkeä tavoite suunnittelussa oli valita mahdollisimman helposti ja nopeasti toteutettava vaihtoehto. Suunnittelun kolmas merkittävä tavoite oli valita varmatoiminen vaihtoehto. Tärkeä tekijä suunnittelussa oli myös se, ettei tuotantoprosessin ohjaus juurikaan rasittaisi prosessihenkilöstöä nykyistä enempää. Suunnittelua hankaloittavana tekijänä oli laitteiden hygieniasoveltuvuus lääketeollisuuteen. Lääketeollisuudessa on noudatettava erityisen tarkkaa hygieniää ja näin ollen tuotteen kanssa kosketuksissa olevat laitteistot sekä niissä käytettävien osien tulee olla vähintään elintarvike- tai lääketeollisuuden käyttöön hyväksytyjä.

3.1 Suspension konsentraation säätö ennen tuotesäiliöitä

Prosessin pesuvaiheen kolmannesta lietealtaasta mitataan MCC-suspension konsentraatiota, jonka perusteella automatiikka lisää kolmanteen lietealtaaseen ionivaihdettua vettä suhteessa tulevan MCC-suspension määrään nähden saavuttaakseen tavoitellun konsentraation. Niin kauan, kun konsentraatio poikkeaa tavoitellusta, kiertää kolmannesta lietealtaasta lähtevä suspensio takaisin kolmanteen lietealtaaseen, kunnes saavutetaan oikea konsentraatio ja suspensio päästetään

virtaamaan tuotesäiliöön. Näin ollen tuotesäiliöön voidaan lisätä CSD-suspensio jo ennen tai samanaikaisesti, kun MCC-suspensiota syötetään tuotetankkiin. Tällöin tuotesäiliöön edellisen tyhjennyksen jälkeen jäänyt määrä vanhaa MCC+CSD-suspensiota täytyy kirjata ylös ennen kuin tankkiin aletaan lisätä uutta suspensiota. Kirjaaminen tehdään sen takia, että voidaan laskea, kuinka paljon uutta MCC- ja CSD-suspensiota voidaan syöttää tuotesäiliöön MCC- ja CSD-suspensioiden oikean suhteen saavuttamiseksi.

3.2 CSD-suspension in-line-sekoitus

CSD-suspensio syötetään injektoimalla tuotesäiliöstä sumutuskuivaajalle menevään MCC-suspension tuotelinjaputkeen. CSD-suspensio injektoidaan pumppaamalla sitä oikeassa suhteessa MCC-suspensioon nähden MCC-suspensiota sumutuskuivaajalle pumppaavan pumpun jälkeen tuotelinjaputkessa olevan t-haaran kautta. Injektointikohdan jälkeen tuotelinjaputkessa on staattinen sekoitin, joka synnyttää virtaukseen turbulenttivirtauksia. Staattisessa sekoittimessa ei itsessään ole mitään liikkuvia osia, vaan turbulenttivirtaukset syntyvät, kun tuotevirta kohtaa staattisessa sekoittimessa olevat siivekkeet. Siivekkeet synnyttävät erisuuntaisia pyörrevirtauksia, jotka saavat aikaan kolloidaalisen piin tasaisen tarttumisen kaikkien MCC-suspensiossa olevien sellukuitujen kanssa. Sumutinkuivaajalle syötettävää in-line -sekoitettua MCC+CSD-suspensiota voidaan syöttää samalla tilavuusvirralla kuin aikaisemminkin tuotesäiliössä sekoitettua. Näin CSD-suspension lisäämiseen ja sekoittamiseen tuotesäiliössä kuluva aika jää kokonaan pois. CSD-suspension in-line-sekoitus -vaihtoehdon prosessikaavio on esitetty kuviossa 2.

kuinka tyhjäksi tuotesäiliö tyhjennetään.

Kolmannesta lietealtaasta pumpataan suodatettua MCC-suspensiota 1. tuotesäiliöön, jossa MCC-suspension konsentraatio säädetään oikeaksi. Tämän jälkeen MCC-suspensioon lisätään CSD-suspensiota ja näitä sekoitetaan vähintään 30 minuutin ajan. Kun 1. tuotesäiliöön on syötetty maksimimäärä MCC-suspensiota ja siihen aletaan lisätä CSD-suspensiota, vaihdetaan samanaikaisesti kolmannesta lietealtaasta MCC-suspension syöttäminen 1. tuotesäiliön sijasta 2. tuotesäiliöön. Kun 1. tuotesäiliön MCC-suspensio ja CSD-suspensio ovat sekoittuneet valmiiksi MCC+CSD-suspensioksi, aletaan 1. tuotesäiliöstä syöttää suspensiota sumutuskuivaajalle. Samanaikaisesti 2. tuotesäiliöön pumpataan vielä MCC-suspensiota, kunnes saavutetaan MCC-suspension tavoiteltu maksimimäärä. Tämän jälkeen 2. tuotesäiliöön aletaan lisätä CSD-suspensiota, samanaikaisesti kolmannesta lietealtaasta MCC-suspension syöttäminen vaihdetaan 2. tuotesäiliön sijasta 3. tuotesäiliöön. 1. tuotesäiliöstä syötetään MCC+CSD-suspensiota sumutinkuivaajalle tästä hetkestä eteenpäin vielä noin 42 minuutin ajan. Kun 2. tuotesäiliössä MCC- ja CSD-suspensio ovat sekoittuneet ja 1. tuotesäiliöstä on syötetty MCC+CSD-suspensiota sumutinkuivaajalle siihen asti, että tuotesäiliössä alkaa olla suspensiota jäljellä alle 20 % tuotesäiliön tilavuudesta, vaihdetaan sumutuskuivaajalle MCC+CSD-suspension syöttäminen 2. tuotesäiliöstä. 3. tuotesäiliöön syötetään tällä hetkellä vielä MCC-suspensiota, kunnes saavutetaan MCC-suspension tavoiteltu maksimimäärä. Tämän jälkeen 3. tuotesäiliöön aletaan lisätä CSD-suspensiota ja samanaikaisesti vaihdetaan kolmannesta lietealtaasta MCC-suspension syöttäminen 3. tuotesäiliön sijasta 1. tuotesäiliöön. 2. tuotesäiliöstä syötetään MCC+CSD-suspensiota sumutinkuivaajalle tästä hetkestä eteenpäin vielä noin 42 minuutin ajan. Näin muodostuu jatkuvasti vapaata tilaa mihin syöttää kolmannesta lietealtaasta suodatettua MCC-suspensiota, eikä edellisessä prosessivaiheessa aiheudu tuotantokatkoa. Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa -vaihtoehdon prosessikaavio on esitetty kuviossa 3.

Kun 1. tuotesäiliöstä syötetään MCC- ja CSD-suspension muodostamaa MCC+CSD-suspensiota sumutuskuivaajalle ja 2. tuotesäiliö, johon syötetään kolmannesta lietealtaasta suodatettua MCC-suspensiota, tulee tavoiteltuun MCC-suspension maksimimäärään, laitetaan puskurisäiliön pohjaventtiili kiinni. Kolmannesta lietealtaasta MCC-suspension syöttö jatkuu puskurisäiliöön. Puskurisäiliöön voidaan tarvittaessa syöttää MCC-suspensiota noin 1 tunnin ja 15 minuutin ajan 27,18 l/min tilavuusvirtauksella, kunnes puskurisäiliö on täynnä. Kuitenkin CSD-suspension lisäämiseen tuotesäiliöön, sen sekoittamiseen MCC-suspension kanssa sekä henkilöstön käytännössä suorittamaan työhön kuluu yhteensä keskimäärin 38 minuuttia, jonka aikana puskurisäiliöön kerkeää kertymään MCC-suspensiota 1033 litraa. Kun sumutuskuivaajalle tyhjennettävä 1. tuotesäiliö on vaihdettu täynnä olevaan 2. tuotesäiliöön, johon on sekoitettu CSD-suspensio, avataan puskurisäiliön pohjaventtiili ja ohjataan MCC-suspensio vahaaseen 1. tuotesäiliöön. Näin edellisessä prosessivaiheessa ei aiheudu tuotantokatkoa, koska on koko ajan vapaata tilaa, mihin syöttää suodatettua MCC-suspensiota. Puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä -vaihtoehdon prosessikaavio on esitetty kuviossa 4.

muutoksia. Tulin siihen tulokseen, että eniten muutoksia nykyiseen prosessiin vaatisi ”CSD-suspension in-line-sekoitus” -vaihtoehto. Toiseksi eniten muutoksia nykyiseen tuotantoprosessin toimintaan vaatisi ”konsentraation säätö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehto. ”Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa” -vaihtoehto eli kolmas tuotesäiliö MCC- ja CSD-suspension sekoittamiseen ei oikeastaan muuttaisi muiden yksikköprosessien toimintaa millään tavalla, mutta se vaatisi nykyisen konsentraation säätö -prosessivaiheen ohjauksen automatisointia.

Aloin ensimmäisenä suunnitella ”CSD-suspension in-line-sekoitus” -vaihtoehdon teknisiä toteutusmahdollisuuksia. Kuitenkin siinä samalla kävin läpi myös muiden vaihtoehtojen toteutusmahdollisuuksia aina niiltä osin, jotka koskivat muitakin vaihtoehtoja kuin in-line-sekoitusta. Jo suunnittelun alkuvaiheessa päätimme JRS Pharma Oy:n toimitusjohtaja Jouko Virtasen sekä kunnossapitopäällikkö Kari Loposen kanssa pitämässämme palaverissa unohtaa kokonaan ”suspension konsentraation säätö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehdon. Vaihtoehdon poisjättämisen syynä oli tuotteen valmistuksessa tuotteen laadun suhteen syntyvien riskien mahdollisuus.

Kun suunnittelu ”CSD-suspension in-line-sekoitus” -vaihtoehdon kohdalla oli edennyt tiettyyn pisteeseen, totesimme yhdessä Jouko Virtasen ja Kari Loposen kanssa parhaaksi keskeyttää myös tämän vaihtoehdon suunnittelu. Tämän vaihtoehdon suunnittelutyön keskeyttämisen syyksi muodostuivat vaihtoehdon kokonaiskustannusten arvioimisen vaikeus, tekniseen toteutukseen kuluva aika sekä vaihtoehdon epävarmuus toiminnan kannalta, etenkin poikkeustilanteissa. Tämän vaihtoehdon toteuttamisen kokonaiskustannuksia olisi lisännyt huomattavasti toteutukseen kuluvan ajan aiheuttama tuotantoprosessin seisottaminen.

Suunnitellessani ”Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa” -vaihtoehtoa kehitin samalla uuden vaihtoehdon ProSolv-tuotannon kasvattamiseksi. Tämä vaihtoehto syntyi kolmannen tuotesäiliön kokonaiskustannusten noustessa korkeiksi; aloin miettiä edullisempaa vaihtoehtoa kolmannen tuotesäiliön tilalle. Pohdin erikokoisen

ja erilaisen käyttötavan vaihtoehtoa kolmannen tuotesäiliön tilalle ja näin päädyin pienempään, prosessissa ennen tuotesäiliöitä sijoitettavaan puskurisäiliöön eli ”puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehtoon. Kun puskurisäiliö-vaihtoehdon kokonaiskustannukset alkoivat hahmottua sekä ”kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa” -vaihtoehdon kokonaiskustannukset näyttivät nousevan suuriksi, päätimme Jouko Virtasen ja Kari Loposen kanssa pitämässämme palaverissa jättää ”kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa” -vaihtoehdon ja saattaa loppuun ”puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehdon teknisten toteutusmahdollisuuksien suunnittelun. Tämä päätös perustui puskurisäiliö-vaihtoehdon huomattavasti alhaisempiin kokonaiskustannuksiin, helposti ja nopeasti toteutettavuuteen sekä vaihtoehdon varmatoimisuuteen. Tämän vaihtoehdon tuotantoprosessin ohjaus ei myöskään rasittaisi prosessihenkilöstöä nykyistä enempää.

4.2 CSD-suspension in-line-sekoitus

”CSD-suspension in-line-sekoitus” -vaihtoehdon suunnittelutyö alkoi ajatuksesta, miten olisi viisainta toteuttaa vaihtoehdon toteutuksen vaatimia muutoksia nykyisessä tuotantoprosessissa. Tämä vaihtoehto olisi mahdollista toteuttaa kahdella eri tavalla. Joko niin, että kuivaustornin lämpötilaa säädettäisiin kuten nykyisessäkin prosessissa sumutuskuivaimelle syötettävän suspension määrällä, tai niin, että suspension massavirta sumutuskuivaimelle olisi vakio ja kuivaustornin lämpötilaa säädettäisiin tuloilman lämpötilaa muuttamalla. Jos vaihtoehto toteutettaisiin tällä ensimmäisellä tavalla, pitäisi kuivaustornin lämpötilan muutoksen ohjata sekä MCC-suspension syöttöä että CSD-suspension syöttöä säilyttäen suspensioiden oikean keskinäisen suhteen. Kuitenkin MCC-suspension määrä CSD-suspensioon nähden on moninkertainen ja niiden syöttämiseen käytettäisiin täysin erikokoisia pumppuja. Pumppujen tuotot pumppujen kierroslukuihin nähden eivät muutu samoissa suhteissa ja näin pumppujen tuoton muutos kuivaustornin lämpötilan muutoksen suhteen olisi vaikea, mutta ennen kaikkea aikaa vievä työ säätää oikeaksi. Varsinkin kuivauksen häiriötilanteissa, kuten lämpötilan äkillisissä muutoksissa kuivaustornissa, MCC- ja CSD-suspension keskinäinen suhde saattaisi olla vaikea pitää tavoiteltuna. Jos

vaihtoehto toteutettaisiin toisella tavalla, niin että suspension tilavuusvirta sumutskuivaimelle olisi vakio ja kuivaustornin lämpötilaa säädettäisiin tuloilman lämpötilaa säättämällä, vaatisi vaihtoehto tasaisen suspension tuotevirran. Suspension tuotevirran tasaaminen edellyttäisi erilaisten muutosten toteuttamista prosessissa. Ensimmäiseksi nykyinen sumutskuivaimelle suspensiota syöttävä lohkoroottoripumppu tulisi vaihtaa tasaisemman tuotevirran synnyttävään epäkeskoruuvipumppuun. Toiseksi tuotelinjaputkessa sumutskuivauksen syöttöpumpun jälkeen oleva suspensiosta kokkareita suodattava patruunasuodatin tulisi muuttaa käsin vaihdettavasta itsestään puhdistuvaksi suodattimeksi.

Seuraavaksi aloin suunnitella, miten CSD-suspension in-line-sekoitus voitaisiin käytännössä toteuttaa ja mitä kaikkia laitteita ja osia toteutus vaatisi. JRS Pharman Yhdysvalloissa sijaitsevassa mikrokiteistä selluloosaa valmistavassa tehtaassa on CSD-suspension sekoittaminen toteutettu staattisella sekoittimella. Staattinen sekoitin on asennettu sumutskuivaimelle suspensiota syöttävän pumpun jälkeen. CSD-suspensio injektoidaan MCC-suspension tuotelinjaputkeen epäkeskoruuvipumpulla syöttämällä välittömästi ennen tuotelinjaputkessa olevaa staattista sekoitinta.

Suspensioiden sekoittamisen lisäksi vaihtoehto vaatisi CSD-suspension syöttämiseen pumpun ja pumpulle taajuusmuuttajan, kaksi kappaletta 3-tie palloventtiilejä toimilaitteilla, joilla sekoituslinja voidaan ohittaa, toimilaitteet itsestään puhdistuvan suodattimen säiliön venttiileille sekä vesiventtiilin toimilaitteella. Näiden lisäksi vaihtoehdon tekninen toteuttaminen vaatisi ruostumattomasta teräksestä, AISI 304 -materiaalista valmistettua 38 mm ja 76,1 mm meijeriputkea ja meijerimutkia, ja venttiilien toimilaitteille rajakytkimet sekä toimilaitteiden ohjaamiseen ohjausventtiilit. In-line-sekoitus-vaihtoehdon ohjaaminen toteutettaisiin jo JRS Pharma Oy:n prosessin ohjauksessa olevalla ohjelmoitavalla IPM-SIXNET-keskusyksiköllä. Ohjauksen toteuttaminen vaatisi kuitenkin uuden I/O-kortin.

4.2.1 Staattinen sekoitin

Staattinen sekoitin on sekoitin, jossa ei itsessään ole mitään liikkuvia osia, vaan turbulenttivirtaukset syntyvät, kun tuotevirta kohtaa staattisessa sekoittimessa olevat siivekkeet. Siivekkeet synnyttävät erisuuntaisia pyörrevirtauksia, jotka saavat aikaan kolloidaalisen piin tasaisen tarttumisen kaikkien MCC-suspensiossa olevien sellukuitujen kanssa.

CSD-suspension in-line -sekoittamiseen staattinen sekoitin olisi ollut turvallisin vaihtoehto, koska sen toimivuudesta oli jo näyttöä JRS Pharman Yhdysvalloissa sijaitsevassa tehtaassa. Staattinen sekoitin ei kuitenkaan siellä yksin toiminut toivotulla tavalla, vaan sekoitusta jouduttiin vahvistamaan lisäämällä staattisen sekoittimen jälkeen kolloidimylly. Yhdysvalloissa sijaitsevan JRS Pharman tehtaan prosessi on hieman erilainen ja suurempi kuin Nastolassa sijaitsevan tehtaan, eikä näin ollen siellä toimivia prosesseja voi suoraan toteuttaa Nastolan tehtaan prosessissa.

Etsittyäni ja kilpailutettuani staattisen sekoittimen toimittajia valitsin staattiseksi sekoittajaksi STATIFLO SERIES 200 MOTIONLESS MIXER -sekoittimen. Sekoittimen toimittaja mitoitti antamieni valmistusprosessin tietojen perusteella oikean kokoisen sekoittimen JRS Pharma Oy:n tarpeisiin. Tietoja, joita sekoittimen toimittaja tarvitsi mitoittamiseen, olivat MCC- ja CSD-suspension viskositeetti, sakeus, sekoittimen kohdalla tuotelinjassa vallitseva tilavuusvirta, tuotelinjassa vallitseva paine sekä tuotelinjaputken sisähalkaisija. Nämä tiedot selvitin JRS Pharma Oy:ssä prosessin valvomoon kirjautuvien tai aiemmin kirjattujen arvojen keskiarvoja laskemalla sekä itse mittaamalla. Staattisen sekoittimen hinta on 4470 € Liitteessä 1 on tarkempia hintatietoja oheislaitteineen.

4.2.2 MCC- ja CSD-suspensioiden syöttöpumput

JRS Pharma Oy:n nykyisessä prosessissa on suspensiota sumutuskuivaimelle syöttävänä pumppuna lohkoroottoripumppu. Lohkoroottoripumpun synnyttämä virtaus on pulssimaista eikä tämän takia riittävän tasaista in-line-sekoitus-vaihtoehdon toteuttamiseen. JRS Pharman Yhdysvaltojen-tehtaassa epäkeskoruuvipumppu on todettu toimivaksi tähän tarkoitukseen sen riittävän tasaisen virtauksen synnyttämisen vuoksi. Myös CSD-suspension syöttö on siellä toteutettu pienemmällä epäkeskoruuvipumpulla. Epäkeskoruuvipumpun tasaisen virtauksen synnyttäjänä on pumpun roottorin muoto ja ruuvitoimintaan perustuva liike, joka pitää pumpattavan aineen koko ajan tasaisesti liikkeessä.

Pumppuja valitessani pyysin tarjouksia elintarviketeollisuuden sopivista epäkeskoruuvipumpuista eri toimittajilta. Toiset toimittajista mitoittivat sumutuskuivaajalle suspensiota syöttävän pumpun antamieni vanhan lohkoroottoripumpun arvojen perusteella, toiset taas antamieni prosessin tietojen perusteella, joita olivat tuotteen viskositeetti, pumpun jälkeen vallitseva vastapaine, pumpulta vaadittava maksimitilavuusvirtaus, tuotelinjaputken sisähalkaisija sekä tuotteen nostokorkeus. Nämä tiedot selvitin JRS Pharma Oy:ssä prosessin valvomoon kirjautuvien tai aiemmin kirjattujen arvojen keskiarvoja laskemalla sekä itse mittaamalla ja laskemalla. CSD-suspension injektioimiseen tarvittavan pumpun mitoittamiseen minun piti selvittää injektointilinjassa vallitseva paine, putken sisähalkaisija sekä CSD-suspension tilavuusvirta. Tilavuusvirran laskin ensiksi selvittämällä MCC- ja CSD-suspension tuotesäiliöön sekoitettavan määrän suhteen. Samalla suhteella laskin CSD-suspension tilavuusvirran MCC-suspension tilavuusvirtaan nähden. Paineeksi arvioin hieman suuremman arvon kuin MCC-suspensiolinjassa vallitseva paine. Putken halkaisijaksi arvioin tulevan 13 mm.

Pumppujen valintaan vaikutti myös pumpun staattorikumin materiaali, sen soveltuvuus lääketeollisuuden. Myös mekaanisen akselitiivisteiden pintojen materiaali vaikutti valintaan. MCC-suspension syöttöpumpuksi valitsin ALLWEILER AE 2N 100-ID/111 -pumppu. CSD-suspension syöttöpumpuksi valitsin ALLWEILER ANBP

3.2 E21 -pumpun. Juuri näiden pumppujen valitsemisen perusteena olivat pumppujen edulliset hinnat vastaaviin kilpailijoihin nähden. Pumppujen tarkemmat koodit ja hinnat ovat liitteessä 1.

4.2.3 Itsestään puhdistuva suodatin

Kuivaustorniin suspensiota syöttävän pumpun jälkeen on tuotelinjassa patruunasuodatin, joka poistaa suspension seasta ylisuuriksi jääneitä sellukuituja tai muodostuneita kokkareita, jotka saattaisivat tukkia kierrossumuttimen. Suodatin tulee vaihtaa puhtaaseen aina kun suspension syöttö sumutskuivaimelle vaihdetaan tuotesäiliöstä toiseen. Tämä patruunasuodattimen vaihtaminen tapahtuu niin, että tuotevirta ohjataan venttiiliä kääntämällä kulkemaan aina vuorotellen toista reittiä, jossa on puhdas suodatin. Tämä likainen suodatin huuhdellaan puhtaaksi ja asetetaan paikoilleen taas seuraavaa vaihtoa varten. Aina kun suodatin vaihdetaan puhtaaseen, aiheutuu prosessissa hetkellinen virtauksen epätasaisuuden aiheuttama häiriö. Kun suodatin on puhdas, pääsee sen lävitse virtaamaan sumutskuivaimelle hetkellisesti enemmän suspensiota kuin hetkeä aiemmin ja tämä jäähdyttää kuivaustornin lämpötilaa hetkellisesti. Kun kuivaustornin lämpötila laskee, säättää se suspensionsyöttöpumppua pudottamaan kierroksia ja suspension virtaus laskee. Tässä ajassa suodattimeen alkaa olla kuitenkin jo sen verran kertynyt sitä läpäisemättömiä kuituja, että suspension virtaus kuivaustorniin laskee säädettyä enemmän ja se taas aiheuttaa kuivaustornissa hetkellisen lämpötilan nousun. Vie hetken aikaa ennen kuin virtaus ja kuivaustornin lämpötila tasaantuvat normaaliksi. Tästä syystä in-line-sekoitus-vaihtoehto vaatisi itsestään puhdistuvan suodattimen, joka ei aiheuttaisi virtauksessa suuria vaihteluja.

JRS Pharma Oy:ssä oli jo olemassa manuaalisesti toimiva itsestään puhdistuva suodatinjärjestelmä, mutta se oli poistettu käytöstä järjestelmän manuaalisen käytön vuoksi. Itsestään puhdistuvan suodattimen toimintaperiaatteena on suodatinpatruunan sisällä pyörivä ruuvi, joka kaapii suodattimen sisäpintaan jäävät suodattimen läpäisemättömät kuidut tai kokkareet. Ruuvi pyöriessään kuljettaa suodattimen

sisäpintaan jääneitä kokkareita kohti ruuvin alkupäätä, jossa kokkareet putoavat pieneen säiliöön. Tämä säiliö tarvitsee puhdistaa aina tietyin aikaväleihin sulkemalla säiliön yläpäässä oleva venttiili, sen jälkeen avaamalla säiliön alapäässä oleva venttiili ja suihkuttamalla vettä säiliöön. Nämä venttiilit oli saatava automaattisesti aukeaviksi ja sulkeutuviksi oikeassa järjestyksessä tietyin väliajoin, ennen kuin tämä järjestelmä voitaisiin ottaa uudelleen käyttöön.

Etsin venttiileille sopivia toimilaitteita. Vain säiliön ylä- ja alapään venttiileille löytyi sopivat toimilaitteet, mutta vesiventtiilille sopivaa toimilaitetta ei löytynyt. Venttiileille valitsin auki-asentoon paineilmailla ja kiinniasentoon jousen voimalla toimivat toimilaitteet. Venttiilit tarvitsivat vielä magneettiventtiilit toimilaitteiden ohjaamista varten. Vesiventtiilin tilalle täytyi valita uusi toimilaitteellinen venttiili sekä toimilaitteen ohjaamiseen magneettiventtiili. Venttiilien mallit ja hinnat ovat liitteessä 1.

4.2.4 Vaihtoehdon vaatimat muut laitteet ja osat

In-line-sekoitus-vaihtoehto pitäisi toteuttaa ohituslinjana venttiileistä kääntämällä joko käyttöön tai pois käytöstä, jotta se voitaisiin ottaa nopeasti käyttöön ProSolv-tuotannossa ja ottaa pois käytöstä muiden tuotteiden tuotannon aikana. Etsin venttiilien toimittajilta elintarviketeollisuuden hyväksytyjä 3-tie venttiileitä, mutta niitä oli yllättävän vaikea löytää. Löysin kuitenkin Koltek MH -merkkisiä 3-tie venttiilejä. Venttiilien tulisi olla kooltaan 38 mm ja venttiilien kaikkien liittimien tulisi olla SMS-kierteillä eli meijerikierteillä. Näille venttiileille löytyivät toimilaitteet, KH 631, samalta toimittajalta. Toimilaitteeksi valitsin 90 astetta kääntyvän, molempiin suuntiin paineilman voimalla toimivan toimilaitteen, koska jos paineilman syötössä tulisi jokin ongelma, ei venttiili kääntyisi itsestään toiseen ääriasentoon, vaan jäisi viimeksi asetettuun asentoon. Valitsin myös toimilaitteille rajakytkimet, jotka kertovat prosessin valvomoon venttiilin asennon. Toimilaitteita ohjataan magneettiventtiileillä. Venttiilien, toimilaitteiden ja rajakytkimien hinnat ovat liitteessä 1.

Seuraavaksi otin selvää, kuinka paljon elintarviketeollisuuden hyväksytyt meijeriputki ja -mutka maksavat. JRS Pharma Oy:n prosessissa on tuotelinjaputket materiaaliltaan joko ruostumatonta terästä, AISI 304 tai haponkestävää terästä AISI 316. Tähän kohteeseen sopisi kuitenkin AISI 304 -materiaali, joka on hieman halvempaa kuin AISI 316 -materiaali. Tämän vaihtoehdon toteuttamiseen tarvittavaa meijeriputken määrää en kuitenkaan ehtinyt laskemaan, kun tämän vaihtoehdon suunnittelutyö päätettiin lopettaa.

4.2.5 Vaihtoehdon ohjaus

In-line-sekoitus-vaihtoehdon ohjauksen toteuttaminen osoittautui jo ajatuksen tasolla kaikkein vaikeimmaksi osaksi tämän vaihtoehdon toteutusprosessia. Jouko Virtasen ja Kari Loposen kanssa päätimme, että in-line-sekoituksen ohjaus toteutettaisiin JRS Pharma Oy:ssä jo olemassa olevalla ohjelmoitavalla IPM-SIXNET-ohjausjärjestelmällä. IPM-SIXNET-ohjausjärjestelmällä ohjataan osaa nykyisestä tuotantoprosessista. Ohjauksen toteuttaminen pitäisi sisällään kuivaustornin lämpötilan ohjauksen ja In-line-sekoituslinjan käyttöönotto ja käytöstä poisotto -venttiilien ohjaamisen valvomosta käsin. Se, mikä ohjauksesta tekisi haasteellisen toteuttaa, olisi kuivaustornin lämpötilan säädön muuttaminen suspension määrällä - ohjautuvasta tuloilman lämpötilalla -ohjautuvaan. In-line -sekoituksen ohjauksen toteuttaminen ei laitekustannuksiltaan olisi kovin suuri, ohjauksen toteuttaminen vaatisi vain yhden uuden I/O-kortin vanhan ohjausjärjestelmän lisäksi. Pyysin muun JRS Pharma Oy:n prosessin ohjauksen toteuttaneelta yritykseltä suuntaa-antavan tarjouksen toteutuskustannuksista, mutta ohjauksen toteuttamiseen kuluvaa aikaa oli vaikea etukäteen arvioida. Yritys olisi toteuttanut ohjauksen ohjelman kirjoituksen, käyttöönoton ja säädön sekä toiminnan testauksen.

Tässä vaiheessa suunnittelua päätimme Jouko Virtasen ja Kari Loposen kanssa pitämässä palaverissa unohtaa tämän vaihtoehdon. Vaihtoehdon poisjättämisen lopullisena syynä oli ensimmäiseksi lopullisten kokonaiskustannusten vaikea arviointi. Tämän aiheutti kuivaustornin lämpötilan ohjauksen muutokseen kuluvan

ajan vaikea arviointi. Itse ohjauksen muutoksen toteuttamisesta muodostuvat kustannukset eivät olisi juuri mitään verrattuna siihen, kuinka paljon kustannuksia syntyisi ohjauksen toteuttamiseen kuluvana aikana tuotannon seisottamisesta. JRS Pharma Oy:ssä tuotantoprosessi toimii ympäri vuorokauden eikä näin ollen ohjauksen muutoksen toteuttamista voitaisi toteuttaa ilman että tuotantoa keskeyttäisiin. Muissa jäljellä olevissa ProSolv-tuotannon kasvattamisen vaihtoehdoissa suurin osa teknisestä toteutuksesta pystyttäisiin toteuttamaan ilman, että tuotantoa jouduttaisiin keskeyttämään. In-line-sekoitus-vaihtoehdon poisjättämisen toinen syy oli toiminnan epävarmuus verrattuna muihin jäljellä oleviin vaihtoehtoihin ProSolv-tuotannon kasvattamiseksi.

4.3 Suspension konsentraationsäätö ennen tuotesäiliöitä

Suunnittelun jo alkuvaiheessa pitämässämme palaverissa, jossa olivat minun lisäksi JRS Pharma Oy:n toimitusjohtaja Jouko Virtanen sekä kunnossapitopäällikkö Kari Loponen, päätimme keskeyttää ”suspension konsentraationsäätö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehdon suunnittelun. Totesimme palaverissa, että tässä vaihtoehdossa, missä MCC-suspensio on jo syötetty tuotesäiliöön ennen kuin kaikki CSD-suspensio on tuotesäiliöön syötetty, ei loppuvaiheessa syötetyn MCC-suspension sellukuituihin kolloidaalinen pii välttämättä tarttuisi tasaisesti suspensioiden sekoittamiseen käytetyn ajan vähyyden vuoksi. Vaikka se määrä MCC-suspensiota, joka syötettäisiin tuotesäiliöön viimeisen puolen tunnin aikana, olisi vain noin 800 litraa, ei tästä aiheutuvaa riskiä haluttu ottaa. MCC- ja CSD-suspension sekoittamiseen kuluva aikaa ei todennäköisesti tällä vaihtoehdolla olisi saatu täysin eliminointua.

4.4 Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa

”Kolmas tuotesäiliö ennen sumutuskuivaajaa” -vaihtoehdon suunnitteluprosessi lähti liikkeelle jo valmiiksi tuotesäiliöstä pyydetyn tarjouksen ympärille vaadittavien osien suunnittelusta. JRS Pharma Oy:n tuotantopäällikkö Hannu Laakso oli nimittäin

Olemassa olevien tuotesäiliöiden laitteet ja osat ovat edelleen hyvin toimivia eivätkä kaipaakaan muutoksia, joten kolmanteen tuotesäiliöön tulevat osat ja laitteet voivat hyvin olla samoja tai vastaavanlaisia. Laitteiden ja osien selvittäminen kävi suhteellisen helposti, koska suurin osa näistä laitteista ja osista oli kirjattuna kunnossapidon kansioihin.

4.4.1 Tuotesäiliön ominaisuudet

Tarjouspyynnössä esitetty tuotesäiliö on materiaaliltaan ruostumatonta terästä, AISI 304. Tuotesäiliön uloimpana kerroksena on 100 mm paksu mineraalivillaeristys sekä tämän ja säiliöpinnan välissä lämmitysvaippa, joka täytetään vedellä ja lämmitetään höyryllä. Tuotesäiliössä on 11 kW:n moottorilla varustettu lapasekoitin.

Lapasekoittimen ja sen moottorin koon oli mitoittanut tuotesäiliön tarjouksen antaja JRS Pharma Oy:n antamien tuotteeseen liittyvien tietojen perusteella.

4.4.2 Tuotesäiliöiden laitteet ja osat

Kolmannen tuotesäiliön sekoittimen moottori tarvitsisi myös taajuusmuuttajan pyörimisnopeuden ohjaukseen. Taajuusmuuttajien mallit ja koot ovat huomattavasti muuttuneet, joten taajuusmuuttajaksi piti valita aivan eri malli, mitä vanhoissa tuotesäiliöissä on. Taajuusmuuttajaksi sopii aivan pelkistetty malli 11 kW:n teholle, joten valitsin taajuusmuuttajaksi Vacon NXL 0031 5C2H1. Säiliöiden pinnankorkeusmittaus on toteutettu paineanturilähettimeillä VEGA D 84. Säiliöiden lämpötilanmittaus on toteutettu tavallisella lämpötila-anturilla PT-100.

Tuotesäiliöiden suspensiolinjojen tulo- ja lähtöventtiilit ovat AISI 304 -materiaalia olevia Koltek MH 3-tie venttiilejä SMS-kierteillä, tuloventtiilit 38 mm:n kokoisia ja lähtöventtiilit 76,1 mm:n kokoisia. Tuotesäiliölle tulevassa ionivesilinjassa sekä tuotesäiliöille tulevassa CSD-suspension linjassa annosteluventtiileinä käytetään läppäventtiilejä LKP, kooltaan 38 mm, SMS-kierteillä ja materiaaliltaan AISI 304. Tuotesäiliöiden lämmitysvaipan höyryventtiileinä ovat Honeywell K-23422.

Tuotesäiliöiden osat, tarkemmat nimet ja hinnat ovat liitteessä 2.

4.4.3 Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat muutokset

Kolmas tuotesäiliö -vaihtoehdon toteuttaminen vaatisi sen, että sekä nykyisessä prosessissa olevat käsikäyttöiset tuotesäiliöiden suspensiolinjojen venttiilit sekä kolmannen tuotesäiliön mukana tuomat suspensiolinjojen venttiilit muutettaisiin toimilaitteilla valvomosta ohjattaviksi venttiileiksi. Nykyisiin Koltek MH 3-tie venttiileihin saa suoraan liitettyä Koltek KH -toimilaitteen. Toimilaitteita tulisi olla kolmea eri mallia, kohteen mukaan. Toimilaitteiden mallit ovat: KH 631, joka on kaksiasentoinen 90 astetta kääntyvä; KH 632, joka on kaksiasentoinen 180 astetta kääntyvä ja KH 633, joka on kolmeasentoinen 180 astetta kääntyvä. Kaikki toimilaitteet tulisi olla paineilmalla joka asentoon toimivia toimilaitteita, koska jos paineilman syötössä tulisi jokin ongelma, ei venttiili kääntyisi itsestään toiseen asentoon vaan jäisi viimeksi asetettuun asentoon. Toimilaitteita ohjattaisiin magneettiventtiileillä ja kaikki toimilaitteet olisi oltava varustettuja jokaisen asennon rajakytkimillä, jotta valvomossa tiedettäisiin, että venttiilit ovat varmasti halutuissa asennoissa. Venttiileiden ohjaus toteutettaisiin JRS Pharma Oy:ssä jo olemassa olevalla ohjelmoitavalla IPM-SIXNET-ohjausjärjestelmällä. Ohjauksen toteutus vaatisi olemassa olevaan ohjausjärjestelmään 2 uutta I/O-korttia. Myös valvomossa oleva ohjausjärjestelmän käyttöohjelmisto, CitectSCADA vaatisi lisenssin uusimisen, kun ohjausjärjestelmään lisättäisiin tämän vaihtoehdon toteuttamisen vaatima määrä tuloja ja lähtöjä.

4.4.4 Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat työt

Työt, joita kolmas tuotesäiliö-vaihtoehdon toteuttaminen vaatisi, ovat säiliön paikalleen haalaus ja asennus, työskentelytason rakentaminen, venttiilien ja toimilaitteiden asennus, käyttöenergian vienti ja kytkentä, ohjauksen ohjelman teko ja käyttöönotto sekä putkistojen rakentaminen. Näistä töistä lähetin tarjouspyynnöt

kolmelle eri toimittajalle. Koska tuotesäiliöissä on höyryllä lämmitettävä lämmitysvaippa, vaatisi kolmas tuotesäiliö myös höyrylinjan jatkamista säiliön asennuspaikalle. Pyysin höyrylinjan jatkamisesta myös kustannusarvion JRS Pharma Oy:lle höyryä toimittavalta toimittajalta. Annettujen työtarjousten hinnat ovat liitteessä 2.

4.5 Puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä

Kehitettyäni ”Puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehdon, mietin, mitä muutoksia se vaatisi nykyiseen prosessiin. Tulin siihen tulokseen, että nykyinen prosessi pysyisi lähes ennallaan. Ainoastaan kolmannesta lietealtaasta syötettävän MCC-suspension reitti tuotesäiliöön muuttuisi puskurisäiliön kautta kulkevaksi kiertoreitiksi. Tuotesäiliöiden suspension tulo- ja lähtöventtiilit tulisi myös muuttaa toimilaitteilla valvomosta ohjattaviksi venttiileiksi samalla, kun puskurisäiliön vaatimat uudet venttiilit tulisivat olemaan toimilaitteilla ohjattavia. Ohjaus valvomosta toteutettaisiin niin sanotulla sekvenssiohjauksella; yhdellä toimintakäskyllä kaikki venttiiliryhmän venttiilit kääntyisivät toiminnan vaatimiin asentoihin. Tämä muutos tulisi toteuttaa, sillä venttiilien lukumäärä kasvaisi ja näin todennäköisyys vääriin suspension ohjauksiin käsikäyttöisillä venttiileillä olisi suurempi. Tämä helpottaisi erityisesti prosessihenkilöstön toimintaa.

Vein suunnittelua eteenpäin piirtämällä puskurisäiliön sekä siihen liittyviä laitteita ja osia AutoCad-ohjelmalla jo aiemmin piirtämäni prosessissa olevien tuotesäiliöiden kuvaan (kuvio 6). Piirustuksen tarkoituksena oli itselleni hahmottaa, mitä laitteita ja osia säiliön ympärillä on ja tulisi olla.

Tämä oli siinä mielessä hyvä, sillä puskurisäiliön tulisi olla mitoiltaan mahdollisimman pieni pinta-alaltaan, mutta korkea suuremman hydrostaattisen paineen aikaansaamiseksi pienellä ainemäärällä. Tämän mahdollisen asennuspaikan pinta-alan perusteella ja säiliön tilavuuden perusteilla laskin säiliölle pinta-alan sekä korkeuden. Puskurisäiliön tulisi myös olla mineraalivillalla eristetty, ettei suspension lämpötila pääsisi laskemaan liikaa suspension jouduttua olemaan puskurisäiliössä kauemmin, koska suspension lämmittäminen tuotesäiliöissä vaatisi tällöin entistä enemmän energiaa ja aikaa.

Puskurisäiliöön tulevan tuotelinjaputken sisähalkaisijan tulisi olla sama kuin jo aiemmin suoraan tuotesäiliöille menevän tuotelinjaputken halkaisijan eli 38 mm. Säiliön pohjasta lähtevän tuotelinjaputken sisähalkaisijan tulisi olla 76,1 mm. Näin ollen pohjaventtiilin auetessa puskurisäiliön sisältö, joka on yleensä noin 1033 litraa, tyhjenee suuremmalla tilavuusvirralla eli nopeammin kuin sinne tulee uutta suodatettua suspensiota. Laskin *Bernoullin* ja tilavuusvirran yhtälöitä apuna käyttäen puskurisäiliöstä lähtevän tuotelinjaputken oikean halkaisijan. Bernoullin yhtälön avulla selvitin suspension purkautumisnopeuden puskurisäiliöstä. Tilavuusvirran yhtälön avulla laskin purkautumisnopeuden tilavuusvirran. Halkaisijaa laskiessani en ottanut huomioon MCC-suspension viskositeettiarvoa, vaan käytin veden viskositeettiarvoa, koska MCC-suspension tarkkaa viskositeettiarvoa ei ole selvitetty JSR Pharma Oy:ssä. Laskiessani en myöskään huomioinut putkiston aiheuttamaa vastusta. Tulokseksi sain, että 76,1 mm sisähalkaisijan putkella 1033 litran vesimäärän purkautumisen tilavuusvirta olisi noin 1229 litraa minuutissa. Tämä olisi noin 45-kertainen puskurisäiliöön tulevan MCC-suspension tilavuusvirtaan verrattuna, joten MCC-suspension viskositeettiarvoa ja putkiston aiheuttamaa vastusta huomioimatta, säiliöstä lähtevän putken sisähalkaisijaksi 76,1 mm olisi riittävä.

Puskurisäiliötä suunnitellessani sain ajatuksen, että jos puskurisäiliö olisikin varustettu mittalasilla, voitaisiin sen kautta suorittaa myös määräaikaiset kalibroinnit, kuten CSD-suspension annostelu tuotesäiliöihin sekä ionivaihdetun veden annostelu

tuotesäiliöihin. Aikaisemmin nämä kalibroinnit on suoritettu erillisillä siirrettävillä kalibrointiastioilla, mikä on osoittautunut käytännössä hieman hankalaksi. Tällä mahdollisuudella saataisiin myös kalibrointiin käytetty CSD-suspension määrä syötettyä takaisin CSD-suspensiosäiliöön, eikä näin ollen suspensio menisi hukkaan.

4.5.1 Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat laitteet ja osat

Pyysin mitoittamastani puskurisäiliöstä tarjouksia kolmelta säiliön valmistajalta. Säiliön materiaalin tulisi olla ruostumatonta terästä, AISI 304. Säiliön kansi vaatisi kaksi kappaletta 38 mm täyttöyhdetä, 500 mm sisäänmenoaukon eli niin sanotun miesluukun ja 168 mm huohotinyhteen, joka vastaa lähinnä paineenpoistoaukkoa. Säiliön pohjassa olisi oltava yhde pinnankorkeutta mittaavalle paineanturille sekä tyhjennysyhte. Myös moottorilla varustettu lapasekoitin tarvittaisiin. Säiliön lieriöosassa tulisi olla mitoitettu mittalasi 5 litran asteikkovälein.

Vaihtoehdon venttiileiden ja sekoittimen ohjaus toteutettaisiin JRS Pharma Oy:ssä jo olemassa olevalla ohjelmoitavalla IPM-SIXNET-ohjausjärjestelmällä. Ohjausjärjestelmän toteutus vaatisi olemassa olevan ohjausjärjestelmän lisäksi yhden I/O-kortin.

Puskurisäiliön vaatimat muut laitteet ja osat olisivat samoja kuin mitä ”kolmas tuotesäiliö ennen sumutskuivaajaa” -vaihtoehdon toteutus olisi vaatinut, mutta laitteita ja osia tarvittaisiin vähemmän. Tämän takia minun ei tarvinnut enää pyytää osista ja laitteista tarjouksia. Puskurisäiliön osat ja hinnat ovat liitteessä 3.

4.5.2 Vaihtoehdon toteutuksen vaatimat työt

Työt, joita puskurisäiliö-vaihtoehdon toteuttaminen vaatisi, ovat säiliön paikalleen haalaus ja asennus, venttiilien ja toimilaitteiden asennus, käyttöenergian vieni ja kytkentä, ohjauksen ohjelman tekeminen ja käyttöönotto sekä putkistojen

rakentaminen. Näistä kaikista töistä tein tarjouspyynnöt kolmannen tuotesäiliön vaatimista töistä tekemieni tarjouspyyntöjen yhteydessä. Annettujen työtarjousten hinnat ovat liitteessä 3. Puskurisäiliön vaatimaa työskentelytasoa ei tarvitsisi erikseen rakentaa, koska puskurisäiliölle varatussa paikassa on olemassa ovitaso, joka jäisi noin metrin puskurisäiliön kantta alemmaksi. Ovitaso olisi puskurisäiliön välittömässä läheisyydessä ja toimisi näin ollen samalla puskurisäiliön työskentelytasona.

5 TYÖN TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Suunnittelun tavoitteena oli valita taloudellisesti paras vaihtoehto ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi. Toteutuksella tuli olla alle kahden vuoden takaisinmaksuaika. Taloudellisesti parhaaseen vaihtoehtoon pääsemisen ehtona oli, että vaihtoehtoa päästäisiin toteuttamaan mahdollisimman pitkälle ilman tuotantoprosessin keskeyttämistä. Myös vaihtoehdon nopea toteutettavuus sekä varmatoimisuus olivat tavoitteina parhaan ratkaisun valinnassa. Vaihtoehdon vaatimuksena oli, ettei se muuttaisi tuotteen ominaisuuksia millään tavoin entisestään.

ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi valittiin lopulta ”puskurisäiliö ennen tuotesäiliöitä” -vaihtoehto. Tätä vaihtoehtoa lähdettiin toteuttamaan käytännössä. Puskurisäiliö-vaihtoehdon lopullisen valinnan perusteina olivat sen edullinen hinta, varmatoimisuus sekä nopea toteutettavuus muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Puskurisäiliö mahdollisesti eliminoisi kokonaan nykyisessä valmistusprosessissa piin sekoituksesta aiheutuvan lisäajan. Puskurisäiliö-vaihtoehto saavutti teoriassa laskettuna kahden vuoden takaisinmaksuajan asettaman rajoituksen suunnitelman toteuttamiselle. Puskurisäiliö-vaihtoehtoa ollaan tämän päättötyön kirjoittamisen aikana toteuttamassa, mutta sitä ei vielä ole saatu käyttövalmiiksi

tuotannossa.

Suunnitteluprosessissa eniten aikaa vei ”CSD-suspension in-line-sekoitus” -vaihtoehdon suunnittelu. Vaihtoehto piti sisällään niin paljon ennalta tuntemattomia asioita, joita selvittäessä kului paljon aikaa.

5.2 Suunnittelun onnistuminen

Suunnittelun voidaan katsoa onnistuneeksi sekä JRS Pharma Oy:n että minun osaltani. JRS Pharma Oy sai takaisinmaksuaikaan suhteuttaen edullisen vaihtoehdon ProSolv-tuotteen tuotantonopeuden kasvattamiseksi. Itse taas opin tämän työn kautta paljon muun muassa prosessituotannon laitteiden ja osien toiminnasta, yksittäisten prosessivaiheiden toiminnoista ja niiden keskinäisistä yhteyksistä sekä teollisuudessa käytävästä hintojen kilpailuttamisesta ja kaupankäynnistä. Tutkimuksen kulku, omat valinnat ja työn loppuunsaattaminen ovat antaneet minulle valmiuksia ja pohjaa mahdollisille tuleville kehityksenalaisille työtehtäville. Suunnittelutyöni toi esille teollisuuden laajaa tutkimuskenttää, johon minulla tulevaisuudessa on nyt mahdollisuus yhä tarkemmin perehtyä.

LÄHTEET

Julkaisemattomat lähteet

Laakso, H. 2003. Prosolv-tuotanto. Työohje numero: NS004.T15-03. JRS Pharma Oy, Nastola.

Laakso, H. 2004. Tuotteiden valmistus. SOP numero: NS004-05. JRS Pharma Oy, Nastola.