



Satu Riuttalahti

Nestemäisten entsyymituotteiden valmistusprosessin optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

28.3.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Satu Riuttalahti
Otsikko:	Nestemäisten entsyymituotteiden valmistusprosessin optimointi
Sivumäärä:	31 sivua + 1 liite
Aika:	28.3.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat:	Tuotannonsuunnittelija Mirva Harjunpää Lehtori Timo Seuranen

Entsyymit toimivat biologisina katalyytteinä kemiallisissa reaktioissa. Teollisuusentsyymejä tuotetaan erilaisiin sovelluksiin eri teollisuuden aloille. Eniten entsyymejä tuotetaan elintarvike-, rehu- ja pesuaineteollisuuteen. Entsyymien kysyntä kasvaa vuosittain, koska niiden käyttö tuo yrityksille niin taloudellista kuin vastuullistakin hyötyä.

Insinööriyö tehtiin teollisuusentsyymejä valmistavalle Roal Oy:lle, jolla on kunnianhimoiset kasvutavoitteet. Työssä tutkittiin, mitkä syyt rajoittavat nestetuotteiden valmistusta sekä miten nykyistä tuotantoprosessia voidaan kehittää ennen suurempia laajennusinvestointeja.

Tuotannossa otettiin käyttöön uusi raportointilomake, jossa kerättiin tietoa tuotannon keskeytysten pituuksista sekä syistä. Työssä käytiin läpi tuotannon raportit sekä tutkittiin dataa prosessinseurantajärjestelmästä. Tarkastelujakson aikana jokainen valmistettu tuote-erä käytiin läpi ja selvitettiin syyt tuote-erän valmistuksen aikana tapahtuvista keskeytyksistä. Lisäksi tuotannon operaattoreita käytiin haastattelemassa. Haastatteluissa operaattoreilta kysyttiin mitkä työtehtävät he kokevat tuotantoa hidastaviksi tekijöiksi ja mikä taas koetaan toimivaksi nykyisessä prosessissa. Haastatteluista saatuja tuloksia verrattiin raporteista saatuihin tuloksiin.

Raporttien mukaan levysuodattimen operointi sekä raaka-aineiden hakeminen varastosta aiheuttaa eniten keskeytyksiä tuotantoon. Kontin purku sekä raaka-aineiden hakeminen varastosta mainittiin haastatteluissa eniten tuotantoa hidastavina tekijöinä.

Raporteista saatuja tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina, sillä tarkastelujakson aikana tuotantomäärät olivat poikkeuksellisen alhaisia ja lisäksi tarkastelujakson alussa keskeytyksistä kerättävän datan täyttäminen oli puutteellista.

Nykyistä tuotantoprosessia voidaan tehostaa pienilläkin toimintatapamuutoksilla, kuten tehostamalla varastotoimintoja sekä muuttamalla työskentelytapoja. Tuotantomäärien noustessa tarvitaan kuitenkin isompia investointeja, sillä nykyinen prosessi ei tule riittämään kasvaville tuotantomäärille.

Avainsanat: entsyymi, teollisuusentsyymi, formulointi, suodatus

Abstract

Author: Satu Riuttalahti
Title: Optimization of The Manufacturing Process of Liquid Enzyme Products
Number of Pages: 31 pages + 1 appendix
Date: 28 March 2023
Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Biotechnology and Food Science Engineering
Supervisors: Mirva Harjunpää, Production Planner
Timo Seuranen, Senior Lecturer

Enzymes act as biological catalysts in chemical reactions. Industrial enzymes are produced for different applications in different industries. Most enzymes are produced for the food, feed, and detergent industry. The demand for enzymes is growing every year because their use brings both economic and responsible benefits to companies.

This thesis was conducted for Roal Oy, a manufacturer of industrial enzymes, whose has ambitious growth goal. The aim was to examine what reasons limit the formulation of liquid products and how the current production process can be developed before large expansion investments.

Production reports were reviewed and data from the process monitoring system were examined. During the period under review, each manufactured batch of products was reviewed and the reasons for the interruptions during the manufacture if the batch of products were identified. In addition, production operators were interviewed. In the interviews, the operators were asked which tasks they perceive as factors that slow down production and which ones are considered to work in the current process. The results of the interviews were compared with the results obtained from the reports.

According to reports, the operation of the plate filter and collecting raw materials from the warehouse causes the most interruptions in production. Unloading the container and collecting raw materials from the warehouse were mentioned in the interviews as factors that decelerated production the most decelerate. The results obtained from the reports may not be entirely reliable, as production volumes during the period considered were abnormally low and production interruption reporting at the beginning of this period was also inadequate.

The current production process can be made more efficient even with small changes in operating methods, such as streamlining warehouse operations and changing some working methods. However, as production volumes rise, large investments are required, as the current process will not be sufficient for increasing production volumes.

Keywords: Enzyme, Industrial enzyme, Formulation, Filtration

Sisällys

Lyhenne

1	Johdanto	1
2	Roal Oy	2
3	Teollisuusentsyymit	2
3.1	Markkinat	3
3.2	Elintarvike-entsyymit	4
3.3	Rehuentsyymit	4
3.4	Tekniset entsyymit	6
3.4.1	Pesuaine-entsyymit	6
3.4.2	Tekstiiliteollisuuden entsyymit	7
3.4.3	Metsäteollisuuden entsyymit	10
3.4.4	Biopolttoaineissa käytettävät entsyymit	12
4	Entsyymien teollinen valmistaminen	12
4.1	Entsyymien tuotto	13
4.2	Jälkiprosessointi	14
4.3	Entsyymien valmistusprosessi Roal Oy:ssä	17
5	Nestetuotteiden formulointi Roal Oy:ssä	18
5.1	Tuotannon raporttien tarkastelu	20
5.2	Haastattelut	23
6	Tulosten tarkastelu	24
7	Kehityskohteet	26
8	Yhteenveto	30
	Lähteet	32
	Liite	
	Liite 1: Studentin t-testi	

Lyhenne

CIP: Cleaning in Place. Automaattinen pesujärjestelmä mm. putkistojen, säiliöiden sekä laitteistojen sisäpintojen pesuun ilman niiden suurempaa purkamista.

1 Johdanto

Entsyymit toimivat biologisina katalyytteinä kemiallisissa reaktioissa. Niitä on jo pitkään käytetty teollisuudessa eri käyttötarkoituksiin. Niiden avulla voidaan muun muassa välttyä arvokkailta laitehankinnoilta, vähentää energian käyttöä, estää haitallisten sivutuotteiden syntymistä sekä korvata haitallisten aineiden käyttöä. Entsyymit hajoavat biologisesti, joten niistä ei aiheudu ympäristölle haittaa. Monet käytetyt entsyymit on eristetty luonnossa elävistä eliöistä. Entsyymien käyttö tuo yrityksille niin taloudellista kuin vastuullistakin hyötyä. [1.]

Teollisuusentsyymejä tuotetaan hyvin erilaisiin sovelluksiin eri teollisuuden aloille. Elintarvike-, rehu- ja pesuaineteollisuus ovat suurimmat käyttäjät teollisuusentsyymeille. Muita sovelluskohteita ovat muun muassa biopolttoaineet, lääke-, kosmetiikka- ja tekstiiliteollisuus. [2.]

Roal Oy on bioteknologia-alan yritys, joka valmistaa teollisia entsyymejä eri teollisuuden aloille, kuten elintarvike-, rehu- ja selluteollisuuteen. Yrityksen tuotantolaitos sijaitsee Rajamäellä, jossa valmistetaan sekä nestemäisiä että jauhe-maisia tuotteita. Tuotteista yli 90 % päättyy vientiin. [3.]

Roal Oy on voimakkaasti kasvava yritys, jolla on kunnianhimoisena kasvutavoitteenä päästä maailman kolmen suurimaan entsyymivalmistajan joukkoon. Nykyinen tuotantoprosessi alkaa kuitenkin olemaan alimitoitettu nouseville tuotantomäärille. Ennen suurempia laajennusinvestointeja prosessi halutaan optimoida, jotta nykyistä prosessia pystytään tehostamaan. Työn tarkoituksena on tunnistaa nestetuotantoa rajoittavat tekijät sekä ehdottaa kehityskohteita, joilla nykyistä tuotantoprosessia voidaan tehostaa. Rajoittavia tekijöitä etsitään tuotannon raportointilomakkeista, prosessinseurantajärjestelmästä sekä operaattoreita haastatteleamalla.

2 Roal Oy

Roal Oy on teollisia entsyymejä valmistava bioteknologia-alan yritys. Yrityksen on perustanut vuonna 1991 silloinen Alko ja saksalainen Röhm GmbH. Alkolla on kokemusta *Aspergillus*-homeiden käytöstä jo 1950-luvulta, ja Röhmissä entsyymien parissa on työskennelty jo 1910-luvulta lähtien. Vuodesta 1999 omistajina on toiminut brittiläinen Associated British Foods ja suomalainen Anora, entinen Altia [4.]

Yritys tuottaa teollisella mittakaavalla *Aspergillus*-, *Bacillus*- ja *Trichoderma* fermentointeja, joista jalostetaan nestemäisiä ja jauhemaisia entsyymituotteita. Tuotteita valmistetaan eri teollisuuden aloille, kuten elintarvike-, rehu- ja selluteollisuuteen. Tuotteista yli 90 % menee vientiin maailmanlaajuisesti. [3.]

Tuotantolaitos sijaitsee Rajamäellä, Nurmijärven kunnassa. Tuotantolaitoksen yhteydessä toimii laadunvalvontalaboratorio. Rajamäellä sijaitsee myös tutkimus- ja tuotekehitysosasto sekä pilottitehdas, jossa uusia sovelluksia ja tuotteita kehitetään yhdessä tuotannon kanssa. [3.]

Yrityksen liikevaihto tilikaudella 2021–2022 oli 68 miljoonaa euroa. Henkilöstömäärä elokuussa 2022 oli 170 henkilöä, joista toimihenkilöitä oli 64 % ja työntekijöitä 34 %. [3.]

3 Teollisuusentsyymit

Ihmiset ovat jo satojen vuosien ajan käyttäneet entsyymejä tiedostamatta niiden toimintaa. 1800-luvulla bioteknologia alkoi kehittymään ja ensimmäiset entsyymit löydettiin. 1870 tanskalainen kemisti Christian Hansen onnistui eristämään vasikan mahasta puhdasta renniiniä eli kymosiiniä, joka toimi juoksutteena juuston valmistuksessa parantaen huomattavasti sekä tuotteiden määrää että laatua. Pian hän käynnisti renniinin teollisen tuotannon ja näin entsyymituotantoteollisuus oli saanut alkunsa. [5, s. ix.] Toisena merkittävänä teollisuusentsyymien

alkulähteenä voidaan pitää saksalaista kemistiä Otto Röhmiä, joka havaitsi vuonna 1913 haiman trypsiinin poistavan proteiinitahroja vaatteista. [6, s. xv.]

Nykyään teollisuusentsyymejä tuotetaan mikrobien avulla moniin eri sovelluksiin ja niiden avulla saavutetaan niin taloudellista kuin vastuullistakin hyötyä. Entsyymien käytöllä on muun muassa päästy eroon haitallisista kemikaaleista, arvokkaista laitteista ja aikaa vievistä prosesseista sekä vähennetty energiakustannuksia. [1.]

3.1 Markkinat

Vuonna 2021 teollisten entsyymien markkina-arvo oli 6 miljardia USA:n dollaria. Suurimmat markkinat ovat Pohjois-Amerikassa, mutta Aasiassa on nopein markkinakasvu. Covid-19-pandemia vaikutti markkinoiden kasvuun raaka-aineiden toimitusvaikeuksien vuoksi, mikä vaikutti maailmanlaajuisesti useisiin loppukäyttäjätöimialoihin. Esimerkiksi biopolttoaineteollisuuden tuotanto väheni 3,6 % vuodesta 2020, mikä vaikutti negatiivisesti myös teollisuusentsyymien markkinoihin. [2.]

Keskipitkällä aikavälillä teollisten entsyymien kysynnän ennustetaan kasvavan, koska kemikaalien käyttöä koskevat ympäristönormit ja -määräykset lisääntyvät. Vuosina 2023–2028 entsyymiteollisuuden vuosittaisen kasvun (CAGR) ennustetaan olevan yli 6 %. [2.]

Elintarvike- ja juomateollisuuden osuus on yli 30 % markkinoista, ja se on nopeimmin kasvava sovellusala johtuen väestön ja ostovoiman kasvusta. Kuluttajat ovat entistä kiinnostuneempia elintarvikkeiden laadusta, elintarviketurvallisuudesta sekä paremmista ravintoarvoista. Entsyymien avulla pystytään vastaamaan kuluttajien vaatimukseen elintarvikkeista. [2.]

3.2 Elintarvike-entsyymit

Elintarvike-entsyymejä käytetään laajasti elintarvikkeiden valmistuksessa. Niiden avulla on päästy eroon haitallisista aineista, kuten bromaatista ja natriumbisulfiitista. Entsyymien laajamittainen käyttö elintarvikkeissa alkoi 1970-luvulla, kun amylaaseja alettiin käyttämään tärkkelyssiirappien valmistuksessa sokeriteollisuudessa. [7; 8.]

Leivonnassa entsyymejä käytetään säilyvyyden, taikinan rakenteen sekä käsiteltävyyden parantamiseen. Amylaasit parantavat säilyvyyttä ja ksylanaasit taas vaikuttavat taikinan rakenteeseen. Lipaasien avulla taikinassa voidaan korvata emulgointiaineet, mikä parantaa myös taikinan käsiteltävyyttä. [8.]

Mehujen valmistuksessa pektinaasien avulla voidaan parantaa marjojen ja hedelmien saantoa puristuksessa sekä tuoda mehuun kirkkautta. Pektinaaseja käytetään myös viinin valmistuksessa saannon parantamiseen sekä vapauttamaan väriaineita rypäleistä. Panimoteollisuudessa vierteen viskositeettiä voidaan vähentää β -glukanaasien avulla sekä parantaa suodatettavuutta. [8.]

Meijeriteollisuudessa entsyymeillä on pitkät perinteet etenkin juuston valmistuksessa. Kymosiini pilkkoo maidon kaseiiniproteiinia, ja saa maidon juoksettuun. Vähälaktoosisten tuotteiden valmistuksessa käytetään laktaasientsyymiä pilkkomaan maidon laktoosia. [9, s. 90–92.]

3.3 Rehuentsyymit

Rehuteollisuudessa entsyymejä käytetään tukemaan tuotantoeläinten ravintoainesten saantia sekä vähentämään ympäristökuormitusta. Käytetyimmät entsyymit rehuotteissa ovat fytaasit ja ksylanaasit. Rehuissa käytetään myös muun muassa β -glukanaaseja, mannanaaseja sekä proteaaseja parantamaan rehun ravintoarvoja. Käytettävä entsyymi riippuu mitä kasvia rehussa käytetään. Taulukossa 1 on esitetty entsyymien käyttökohteita rehuissa. [10, s. 153; 6, s. 215.]

Taulukko 1. Entsyymien käyttö rehutuotteissa [11, s. 631].

Entsyymi	Kohdesubstraatti	Rehutuote
Fytaasit	Fytiinihappo	Kasvipерäiset ainesosat
β -Glukanaasit	β -glukaani	Ohra, kaura, ruis
Ksylanaasit	Arabinoksytaanit	Vehnä, ruis, ohra, kuitu- mainen kasvimateriaali
α -Galaktosidaasit	Oligosakkariinit	Soija, palkokasvit
Proteaasit	Proteiinit	Kasviproteiinilähteet
Amylaasit	Tärkkelys	Viljan jyvät, palkokasvit
Lipaasit	Lipidit	Rehutuotteiden lipidit
Mannanaasit, sellulaasit, hemisellulaasit, pektinaasit	Soluseinä	Kasvipерäiset ainesosat, kuitumaiset kasviaineet

Ksylanaasia lisätään etenkin vehnäpohjaisiin rehuihin lisäämään viljan sulavuutta, mikä edistää tuotantoeläimen painonnousua. β -glukanaasia käytetään ksylaanasin tavoin ohrapitoisessa rehussa [6, s.211–213.]

Fytaasi lisää rehun fosforipitoisuutta sekä edistää eläinten luustonkasvua ja aineenvaihduntaa. Fytaasi korvaa nykyään epäorgaanisen fosforin rehuissa, jota lisäämällä rehuihin eläimet pystyvät hyödyntämään kasvin omaa fosforia. Epäorgaanisen fosforin lisäyksen takia ravinnon kokonaisfosforin määrä nousee liian korkeaksi, mikä aiheuttaa fosforin päätyksen lannan mukana ympäristöön. Fytaasin lisäämisellä saadaan vapautettua kasvista fytiinihappona varastoitu fosfori saataville, jolloin eläimet pystyvät helpommin hyödyntämään kasvin

omaa fosforia. Fytaasin käytöllä voidaan vähentää ympäristön fosforipäästöjä. [6, s. 215.]

Proteaaseja ja amylaaseja lisätään rehuihin yhdessä ksylanaasin ja β -glukanaasin kanssa. Proteaasit pilkkovat rehussa olevat proteiinit pienemmiksi partikkeleiksi, jolloin eläin pystyy hyödyntämään proteiinit tehokkaammin ravinnosta. Amylaasit vastaavasti edistävät tärkkelyksen imeytymistä ravinnosta. Amylaaseja käytetään erityisesti maissipohjaisessa ravinnossa siipikarjalla ja nuorilla sioilla. [6, s. 216–217.]

3.4 Tekniset entsyymit

3.4.1 Pesuaine-entsyymit

Pesuaineissa entsyymejä käytetään monista syistä. Niiden tehtävä on toimia tahrannoistajina ja ne mahdollistavat alaisemmat pesulämpötilat, mikä säästää energiaa. Lisäksi entsyymien lisäys vähentää haitallisten kemiakaalien, kuten fosfaattien, käyttöä pesuaineissa. [12, s. 139.]

Vaatteissa oleva lika sisältää muun muassa proteiineja, rasvoja, verta, ruohoa, tärkkelystä ja erilaisia pigmenttitahroja. Etenkin pigmenttitahrat, kuten porkkana, tomaatti ja viini, ovat hankalia poistettavia. [6, s. 155–157.]

Proteaasit ja amylaasit poistavat proteiini- ja tärkkelystahroja. Lipaasien avulla rasvatahroja voidaan poistaa alhaisissa lämpötiloissa. Puuvillakankaissa sellulaasit pureutuvat pieniin likahiukkasiin poistamalla selluloosasäikeitä langan pinnalta. [6, s. 160.]

Proteaasit ovat vakiintuneita raaka-aineita pesuaineissa, ja ne ovat yleisimmin käytettyjä entsyymejä pesuaineissa. Ne tehoavat moniin likatahroiin, kuten vereen ja ruuhon. Proteaaseilla on myös valkaisevia ominaisuuksia. [6, s. 164, 167.]

Amylaasit ovat myös vakiinnuttaneet paikkansa pesuaineissa. Ne toimivat alhaisemmissa lämpötiloissa ja vähentävät kemikaalien käyttöä pesuaineissa. Niiden tehtävänä on poistaa tärkkelystä sisältäviä tahroja. Amylaasit ja proteaasit toimivat yhdessä pesuprosessin aikana. Molempia käytetään sekä jauhemaisissa että nestemäisissä pesuaineissa. [6, s. 168–170.]

Lipaasit toimivat alhaisissa lämpötiloissa poistaen rasva- ja öljytahroja. Lipaasit toimivat jo esipesuvaiheessa, mutta niiden paras teho saavutetaan useiden pesusyklien jälkeen. Lipaasit jatkavat toimintaansa myös kuivausprosessin aikana ja toimivat sekä narulla kuivattaessa että rumpukuivauksessa. [6, s. 171–172.]

Sellulaasien tehtävä pesuaineissa on pehmentää kuituja sekä kirkastaa värejä. Ne soveltuvat niin valkaiseviin pesuaineisiin, kuin värilliselle pyykille suunnattuihin pesuaineisiin. Sellulaaseja lisätään usein jauhemaisiin pesuaineisiin. [6, s. 174.]

3.4.2 Tekstiiliteollisuuden entsyymit

Tekstiiliteollisuudessa entsyymejä käytetään kankaiden ja vaatteiden viimeistelyssä, etenkin biokiillotuksessa ja farkkukankaan pesussa. Kankaiden käsittelyssä on aiemmin käytetty happoja, emäksiä sekä hapettimia, jotka ovat vahingoittaneet kuituja ja lisäksi päätyneet jätevesiin. Amylaasien ja sellulaasien avulla kemikaaleista on päästy eroon.

Sellulaaseja käytetään myös biokiillottamisessa puuvilla- ja muilla selluloosakuiduilla. Sellulaasi myös pehmentää puuvillakuituja ja saa ne näyttämään pidempään uuden näköisiltä. Niitä käytetään myös farkkukankaan käsittelyyn. Aikaisemmin farkkukankaasta tehtiin kuluneen näköisiä hohkakivipesulla rumpukoneessa. Kivien käyttö kulutti kankaan kuituja likaa sekä rikkoi pesukoneita ja aiheutti kivipölyä. Sellulaasien avulla edellä mainituista ongelmista on päästy eroon, ja lisäksi sellulaasit kuluttavat kangasta hellävaraisemmin, jolloin kangas pysyy laadukkaana käsittelystä huolimatta. Muita käytettyjä entsyymejä

tekstiiliteollisuudessa on muun muassa proteaasit, pektinaasit ja lakkaasit. Taulukossa 2 on esitetty entsyymien käyttöä tekstiiliteollisuudessa. [12, s. 141–142.]

Taulukko 2. Entsyymien käyttö tekstiiliteollisuudessa [6, s. 220].

Entsyymi	Sovellus	Tekninen hyöty	Toiminta
Amylaasi	Puuvillankaanliisterinpoisto	Tärkin poiston lisääminen	Tärkin poistaminen kuiduista
Sellulaasi	Puuvillan bio-kiillotus	Nukan poisto	Heikkolaatuisen kankaan näyttäminen laadukkaammalta
	Farkkukankaan kivipesu	Poistaa indigon selektiivisyyden	Farkkukankaan "kuluttaminen"
Pektinaasi	Puuvillan pesu	Pektiin hydrolysointi	Pektiin ja vahan poisto
Katalaasi	Valkaisu	Peroksidin hajoaminen	Valkaisuaineiden neutralointi
Lakkaasi	Valkaisu	Valkaisuaineen valmistus	Valkaisun tehostaminen
	Valkaisuväri	Kromoforin hajoaminen	Farkkukankaan "kuluttaminen"
	Jäteveden puhdistus	Väriaineen hapetus	BOD:in vähentyminen jätevedessä
Glukoosi oksidaasi	Valkaisu	Vetyperoksidin entsyymaattinen tuottaminen	Valkaisun tehostaminen
Proteaasi	Villan pesu	Suomujen poisto	Estää kutistumista
	Farkkukankaan kivipesu	Estää indigoon sitoutumisen proteiinin välityksellä	Takaisinvärjäytymisen vähentäminen

Tekstiiliteollisuudessa on paljon potentiaalia entsyymien käytölle, mutta materiaalien käsittelyssä käytetyt äärimmäiset pH- ja lämpötilaolosuhteet asettavat rajoitteita entsyymien käytölle, koska niiden ominaisuudet voivat heikentyä käsittelyn aikana. Tutkimustyötä tehdään jatkuvasti, jotta entsyymien käyttöä voidaan edelleen lisätä tekstiiliteollisuudessa, jotta tekstiilien tuotanto olisi ympäristöystävällisempää. [13, s. 114.]

3.4.3 Metsäteollisuuden entsyymit

Sellu- ja paperiteollisuudessa käytetään paljon kemikaaleja, jotka aiheuttavat muun muassa ympäristön saastumista ja ongelmia jäteveden käsittelyssä. Sellulaasien, hemiselullaasit, pektinaasit ja lipaasit vähentävät kemikaalien käyttöä. Niitä voidaan käyttää useissa kohteissa paperi- ja selluteollisuudessa, kuten

- tehostamaan sellun liukenemistä
- lisäämään kuidun joustavuutta
- poistamaan hartseja sekä
- tehostamaan valkaisu. [6, s. 143.]

Taulukkoon 3 on koottu tarkemmat käyttökohteet entsyymeille metsäteollisuudessa.

Taulukko 3. Metsäteollisuuden entsyymit. * 1. Mekaaninen massanvalmistus, 2. Paperin valmistus, 3. siistaus, 4. sulfaattisellun valkaisu, 5. mekaaninen massanvalmistus/paperin valmistus. [6, s. 232.]

Entsyymi	Fysikaaliskemiallinen muokkaus	Prosessi *	Tekniset hyödyt
Sellobiohydrolaasi	Mikrofibrillaatio	1	Energian säästö kuitujen jauhatuksessa, kuitujen joustavuuden lisääys
Endoglukanaasi	Polymeerin hajotus	2	Helpottaa paperikoneen ajettavuutta, paperin korkea tilavuuspaino
Sellulaasimixi	Polymeerin hajotus	3	Tehostaa mustepartikkelien vapautumista
Endoksylanaasi	Polymeerin hajotus	4	Tehostaa ligniinin erottavuutta
Endomannanaasi	Polymeerin hajotus	4	Tehostaa ligniinin erottavuutta
	Heikentää kolloidien stabiilisuutta	5	Helpottaa paperikoneen ajettavuutta
Lakkaasi	Polymerisointi	5	Lignaaniin polymeerointi prosessivedessä kuitujen funktionalisointi
Lipaasi	Kuitujen hydrofiilisyyden lisääys	5	Lujuusominaisuuksien lisääntyminen mekaanisessa massanvalmistuksessa, helpottaa paperikoneen ajettavuutta

Kuluttajien tietoisuus ympäristönsuojelunormien ylläpitämisestä kasvattaa tulevaisuudessa kloorittoman valkaistun paperin myyntiä. Biovalkaisu on ympäristöystävällisempi verrattuna perinteisiin sellunvalkaisutekniikoihin, jotka vaativat suuria kustannuksia ja saastuttavat ympäristöä. Sellu- ja paperiteollisuuden

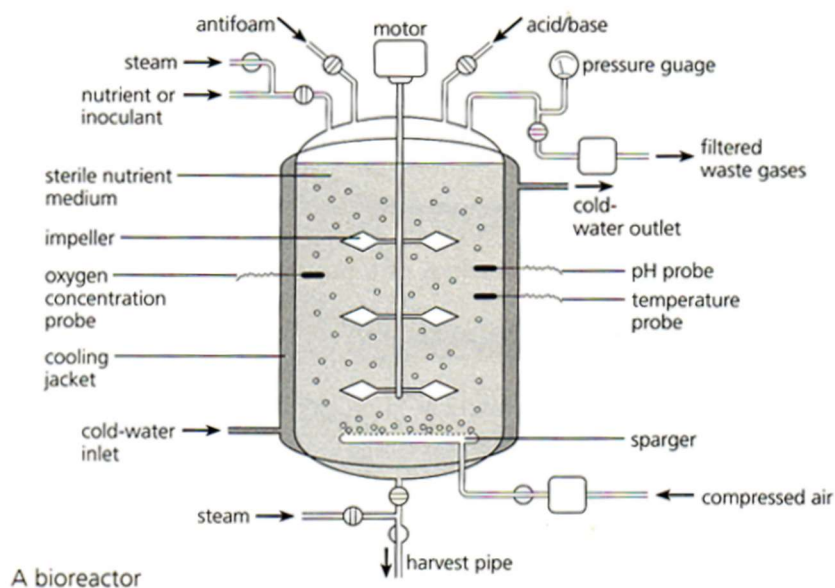
muuttuminen kestävämmäksi vaati vihreämpään tuotantoon mukautumista ja tutkimus- ja tuotekehitykseen investoidaankin paljon, jotta tuotanto olisi kestävä tulevaisuudessa. [14, s. 1–2.]

3.4.4 Biopolttoaineissa käytettävät entsyymit

Biopolttoaineita tuotetaan biokemiallisilla prosesseilla. Biopolttoaineet jaetaan kolmeen kategoriaan sen mukaan, mikä on polttoaineessa käytettävä raaka-aine. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineeksi luokitellaan bioalkoholit, kuten etanoli, butanoli ja propanoli, jotka valmistetaan sokeri- ja tärkkelyskasveja fermentoimalla. Toisen sukupolven biopolttoaineet on valmistettu selluloosasta, joka ei ole peräisin elintarvikekasveista. Kolmannen sukupolven biopolttoaineet ovat levästä ja mikrolevästä peräisin. Biopolttoaineissa käytetään lipaaseja, sellulaaseja, hemisellulaaseja (ksylaansia), pektinaasia ja lakkaasia. Tarvittava katalyytti riippuu siitä, mistä raaka-aineesta biopolttoaine valmistetaan. [15, s. 294–310.]

4 Entsyymien teollinen valmistaminen

Entsyymejä valmistetaan teollisesti kasvattamalla eli fermentoimalla mikrobeja fermentorissa (kuva 1). Mikrobeja käytetään entsyymien teollisessa valmistuksessa, koska ne kasvavat nopeasti halvoilla raaka-aineilla ja pystyvät tuottamaan korkeita proteiinipitoisuuksia sekä solun sisälle (intraseellulaariset entsyymit) että kasvuliuokseen (ekstrasellulaariset entsyymit). [9, s.112.]



Kuva 1. Kaaviokuva tyypillisestä fermentorista [16]

Geenitekniikan avulla mikrobeja pystytään muokkaamaan siten, että ne tuottavat sellaisia entsyymejä, mitä ne eivät luonnollisesti tuota, tai saadaan ylituottamaan entsyymiä. Lisäksi geenitekniikka mahdollistaa haitallisten entsyymien tuoton kokonaan, jotta vältetään arvokkailta puhdistusoperaatioilta. [9, s.112.]

4.1 Entsyymien tuotto

Entsyymien teollisessa valmistuksessa kasvatusmenetelmänä käytetään joko panosprosessia (batch), panossyöttöprosessia (fed-batch) tai jatkuvatoimista prosessia. Panoskasvatuksessa kaikki raaka-aineet syötetään fermentoriin kasvatuksen alussa ja prosessilla on selkeä alku ja loppu. Kasvatuksen jälkeen biomassaa kerätään talteen ja fermentori pestään ennen uutta kasvatusa. [12, s. 103.]

Panossyöttöprosessissa on kaksi vaihetta: panos- ja syöttövaihe. Panosvaihe päättyy yleensä eksponentiaalisen kasvuvaiheen lopussa tai hiililähteen loppuessa. Syöttövaiheessa fermentoriin lisätään raaka-ainetta joko pulsseina tai jatkuvana syöttönä. Syöttövaiheessa alkaa varsinainen entsyymien tuottovaihe ja sitä jatketaan, kunnes saavutetaan maksimisaanto. [9, s. 129–130.]

Panosyöttöprosessissa on pidempi tuotantoaika verrattuna panosprosessiin, minkä ansiosta päästään korkeisiin tuotepitoisuuksiin. Panosprosessiin verrattuna myös tuotesaanto ja tuottavuus paranevat panossyöttöprosessissa. [9, s. 130.]

Jatkuvatoimisessa prosessissa fermentoriin lisätään ja siitä poistetaan liuosta jatkuvasti tasaisella nopeudella. Työskentelytilavuus pidetään vakiona fermentorissa. Jatkuvatoimisessa prosessissa saavutetaan usein parempi tuottavuus panosprosesseihin verrattuna. Panosprosesseihin verrattuna jatkuvaan prosessiin liittyy kuitenkin suurempi kontaminaatoriski. Huolellisella aseptisellä työskentelyllä voidaan kuitenkin vähentää kontaminaatiota. [9, s. 131.]

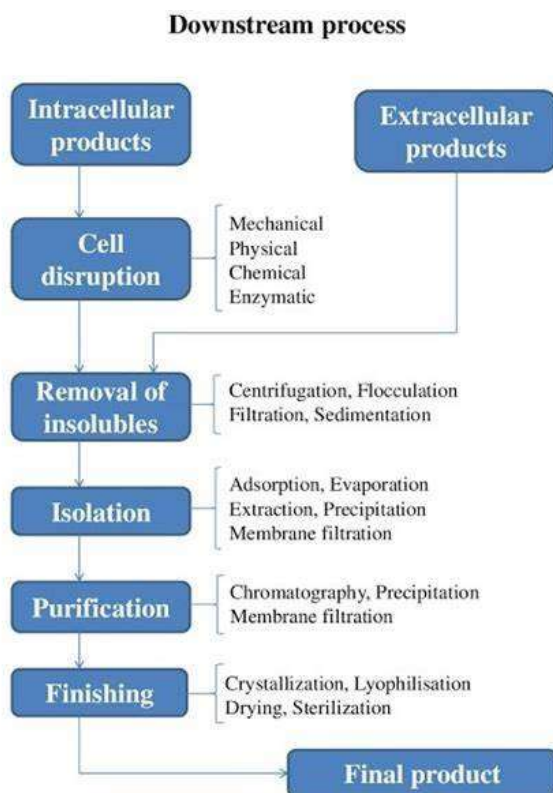
Solut tarvitsevat kasvaakseen hiilen- ja typenlähteen, mineraaleja, ilmaa sekä happea. Happoa ja emästä tarvitaan happamuuden säätöön sekä vaahdonestoainetta estämään liuoksen liiallista vaahtoamista. Hiilenlähteenä entsyymikasvatuksessa käytetään yleensä sokerisiirappeja, kuten melassia tai glukoosia, koska ne ovat edullisempia verrattuna kiteiseen sokeriin. Joidenkin mikrobien kasvatuksessa hiilenlähteenä voidaan käyttää selluloosaa, laktoosia sekä maltodekstriiniä, jotka ovat myös edullisia raaka-aineita. Viljakasveja voidaan käyttää sellaisten mikrobien kasvatuksessa, jotka pystyvät hydrolysoimaan tärkkelyksen glukoosiksi. Hiilenlähteet sisältävät usein typpeä, jolloin typpeä ei välttämättä tarvitse lisätä kasvualustaan. Lisätyppilähteenä käytetään tavallisesti ammoniumsuoloja, kuten ammoniumsulfaattia tai -fosfaattia. Myös ammoniakkia käytetään typen lähteenä. [9, s. 123–124.]

Onnistuneessa fermentoinnissa on tärkeää, että solulla on optimaaliset olosuhteet kasvuun. Kasvuun vaikuttavat lisäravinteen syöttö, pH, lämpötila, happi, ja muut ympäristön olosuhteet. [12, s. 94.]

4.2 Jälkiprosessointi

Jälkiprosessoinnin tarkoituksena on kerätä solut talteen kasvatusliuoksesta. Tavoitteena on saada mahdollisimman aktiivinen ja puhdas tuote. Prosessissa

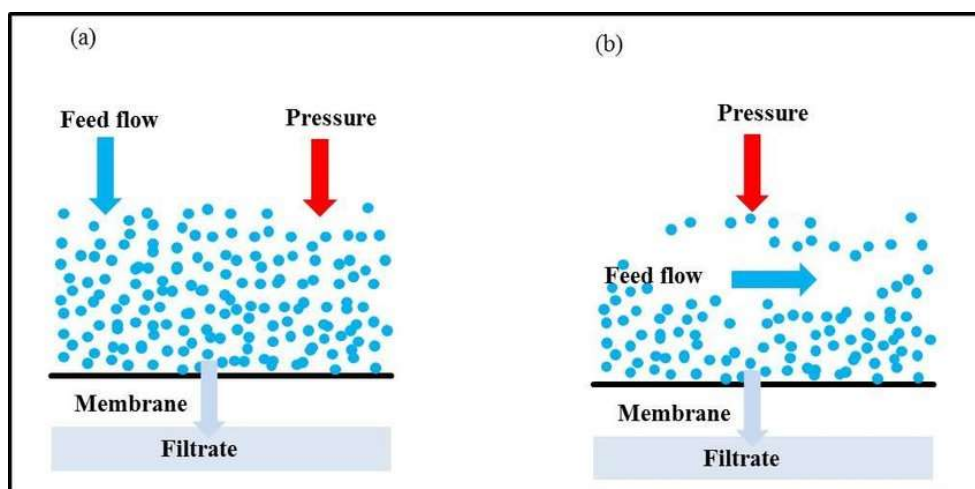
käytetään muun muassa flokkulaatio-, suodatus-, saostumis- ja kromatografiatekniikoita. Kuvassa 2 on esitetty kaaviokuva jälkikäsittelyprosessin vaiheista. [17, s. 68]



Kuva 2. Jälkikäsittelyprosessin vaiheet [18]

Flokkulaatio on fysikaalinen prosessi, jossa epävakaa solupartikkelit saadaan kerääntymään yhteen muodostamaan suurempia soluflokkeja. Flokkulaatiossa käytetään yleensä synteettisiä polymeerejä, polyelektrolyyttejä. Polymeerit lisätään liuokseen ennen suodatusta, sillä suurempia soluflokkeja on helpompi suodattaa kuin yksittäisiä soluja. Polymeerien lisäksi liuokseen voidaan lisätä muita suodatusapuaineita, kuten piimaata ja inaktiivista hiiltä. Niiden tarkoituksena on nopeuttaa suodatusta sekä estää suodattimen tukkeutumista estämällä suodatuskakun kokoonpuristumista sekä huokoisuuden alentumista. [9, s. 187, 191; 6, s. 54.]

Suodatusmenetelmänä käytetään joko ns. perinteistä suodatusta (dead-end) tai tangentiaalivirtaussuodatusta (tangential flow, TFF tai cross-flow). Dead-end-suodatuksessa liuos virtaa suoraan suodatinpintaa kohden, ja cross-flow-suodatuksessa liuos virtaa väliainekerroksen suuntaisesti (kuva 3). Dead-end-tyyppisiä suodattimia ovat muun muassa vakuumirumpusuodatin, painesuodatin sekä levysuodatin. Kalvosuodattimissa käytetään cross-flow-tekniikkaa. Ultra-suodatus on tyypillinen kalvosuodatusmenetelmä, jota käytetään entsyymiliuosten konsentroinnissa. [9, s. 185–187.]



Kuva 3. Kaaviokuva dead-end ja cross-flow-suodatuksista, (a) dead-end-suodatus, (b) cross-flow-suodatus [19, s. 17]

Kromatografia perustuu aineen jakautumiseen kahden eri faasin välillä. Faasit ovat kiinteä faasi ja liikkuvan faasi. Kiinteään faasiin lisätään liikkuvaa faasia, eli eluointiliuosta, jossa on mukana tuotekonsentraattia, jolloin komponenttien erottuminen perustuu erilaisiin vuorovaikutuksiin kiinteän faasin kanssa. Retentio-aika riippuu eluointinopeudesta, liikkuvan faasin happamuudesta, lämpötilasta, käytetystä kiinteästä faasista sekä reaktorin koosta. [9, s. 193.]

Jälkiprosessoinnin lopuksi suoritetaan formulointi, jonka ensisijaisena tarkoituksena on minimoida entsyymiaktiivisuuden vähentyminen säilytyksen, kuljetuksen ja käytön aikana. Toissijainen tarkoitus on mikrobikontaminaation estäminen, sameuden vähentäminen sekä esteettisten seikkojen kuten värin ja hajun

optimointi. Moniin näihin voidaan vaikuttaa kasvatusliuoksessa käytettävillä raaka-aineilla sekä jälkiprosessoinnilla. Kalvosuodatuksella, adsorptiolla, kromatografialla, kiteytyksellä sekä saostamisella voidaan poistaa hajuun, sameuteen sekä väriin vaikuttavia epäpuhtauksia. Sameutta voidaan minimoida eniten, kun formulaatio tapahtuu lähellä entsyymien isoelektristä pistettä hydrofiilillä liuottimilla, kuten glyserolilla tai propyleeniglykolilla. Mikrobiologista kontaminaatiota voidaan välttää suodatuksella, hapattamisella ja vapaan veden minimoimisella. [6, s. 65–67.]

Stabiloivia aineita lisätään konsentraattiin yleensä 10–30 massaprosenttia ja suojoja (natriumklodiri ja ammoniumsulfaatti) 1–5 massaprosenttia. Entsyymejä voidaan stabiloida myös immobilisoimalla sekä lisäämällä entsyymisubstraattia. Homogenisointi sekä pakkaus luokitellaan yleensä formulointiin. Lopputuotteen laimennus tai yhdistäminen muiden tuotteiden kanssa on myös osa formulointia. [9, s. 201–202.]

4.3 Entsyymien valmistusprosessi Roal Oy:ssä

Solujen tuotto aloitetaan laboratoriossa, jossa mikrobia kasvatetaan ravistelupullossa. Kun mikrobibiomassa on saavuttanut kiihtyvän kasvun vaiheen, se siirrostetaan aseptisesti ympäfermentorin. Lopullinen kasvatus tapahtuu pääfermentorissa. Kasvatusliuoksessa käytettävät raaka-aineet ovat elintarvike- ja rehulaatuisia. Fermentointialusta steriloidaan höyryllä. Fermentointi suoritetaan aerobisissa olosuhteissa, kunnes ravintoaineet on kulutettu loppuun. Tyypillinen fermentointi kestää noin 7 vuorokautta. Tuottoa, sokeripitoisuutta ja puhtautta mitataan päivittäin. [20.]

Kasvatuksen jälkeen liuos jäädytetään ja siirretään harvesteriin. Liuos suodatetaan useampaan otteeseen ja suodatuksessa käytetään apuaineina piimaata ja/tai flokkulanttia. Suodos konsentroidaan haluttuun tilavuuteen tai kuivaainepitoisuuteen. Konsentraatista analysoidaan entsyymiaktiivisuus, pH sekä mikrobiologinen puhtaus. Tarvittaessa konsentraatti voidaan vielä suodattaa uudelleen, jos sen mikrobiologinen puhtaus ei ole halutulla tasolla. [20.]

Lopputuotteet ovat joko nestemäisiä tai jauhemaisia. Nestemäiset tuotteet valmistetaan sekoittamalla konsentraattiin suoloja, stabilointiaineita ja vettä. Valmis liuos suodatetaan, ja suodatuksen jälkeen tuote on valmis pakattavaksi. Nestetuotteita pakataan IBC-kontteihin, kanistereihin, tynnyreihin tai suoraan säiliöauttoon. Nestetuotannosta kerrotaan lisää luvussa 5. [20.]

Jauhetuotteet valmistetaan kuivaamalla konsentraatti. Kuivattuun tuotteeseen sekoitetaan kantoainetta ja kasviöljyä. Jauhetuotteet pakataan elintarvikelaatuksiin suursäkkeihin tai pikkusäkkeihin. [20.]

5 Nestetuotteiden formulointi Roal Oy:ssä

Vuonna 2022 nestemäisiä lopputuotteita valmistettiin noin 9 200 tonnia. Tässä määrässä on mukana myös stabiloitavat puolivalmisteet. Nestetuotannossa formuloidaan sekä stabiloitavia puolivalmisteita että ”bulkkeja”, jotka ovat nestemäisiä lopputuotteita.

Puolivalmistesäiliöitä on viisi kappaletta ja ne ovat tilavuudeltaan 45 m³. Tuoterät valmistetaan sekoitussäiliöissä, joita on yhteensä kuusi kappaletta. Säiliöt ovat tilavuudeltaan 15, 45 sekä 75 m³. Stabiloitavien puolivalmisteiden formuloinnissa tuote-eriin voidaan lisätä stabilointiaineita sekä säilöntäaineita tai suoloja.

Lopputuotteiden formuloinnissa voidaan käyttää joko suoraan konsentraattia tai puolivalmistetta. Jonkin verran tuotteissa käytetään myös jauhemaisia entsyymejä. Lopputuote voi koostua yhdestä entsyymistä tai useiden entsyymien sekoituksesta.

Nstemäiset entsyymit annostellaan joko automaattikkaa käyttäen säiliöstä toiseen tai pumpataan IBC-konteista purkulinjaa pitkin säiliöön. Kontinpurussa pumpattavaan konttiin liitetään letku, jota pitkin tuote pumpataan linjaan. Pumppu käytetään manuaalisesti kontin purussa, eli operaattori sammuttaa itse pumpun aina kontin tyhjentyessä ja käynnistää pumpun uudelleen, kun uusi

kontti on valmiina. Tyhjät kontit huuhdellaan vedellä ennen pesuun vientiä. Kontit kuljetetaan pesuun kolmannelle osapuolelle.

Kuten puolivalmisteisiin, myös lopputuotteisiin lisätään stabilointiaineita, säilöntäaineita sekä suoloja. Stabilointiaineet ovat pääosin nestemäisiä, yhdestä raaka-aineesta on käytössä myös kiteinen muoto. Stabilointiaineet ovat omissa säiliöissä, ja ne saadaan siirrettyä automatiikalla suoraan säiliöstä toiseen. Stabilointiainelinjaa pitkin annostellaan myös tuotteisiin tuleva vesi.

Jauhemaisia komponentteja annostellaan kiinteiden lisäaineiden annosteluasemalta, jossa on käytössä viisi tuotesuppiloa. Suppiloihin 1–4 voidaan annostella suursäkillinen raaka-ainetta ja suppilo 5 on niin sanottu käsiainesuppilo, johon raaka-ainetta mahtuu noin 400 kg kerralla. Tähän suppiloon raaka-aineet annostellaan pikkusäikeistä. Tuotesuppiloista raaka-aine saadaan annosteltua automatiikalla haluttuun säiliöön.

Säilöntäaineita annostellaan yleensä pieniä määriä, joten niiden annostelu tapahtuu kanisterista suoraan säiliön luukusta. pH:n säätöön käytettävät raaka-aineet saadaan annosteluta suoraan säiliöstä automatiikalla.

Suurin osa lopputuotteista suodatetaan ennen pakkausta. Suodatus tapahtuu levysuodattimella, ja suodatuksen apuaineena käytetään piimaata. Valmiista tuotteesta mitataan muun muassa entsyymiaktiivisuus sekä mikrobiologinen puhtaus. Jos entsyymiaktiivisuus on jäänyt liian alhaiseksi, tuote voidaan uudelleen prosessoida lisäämällä siihen entsyymiä sekä muita raaka-aineita. Toisinaan tuote joudutaan suodattamaan uudelleen, jos sen mikrobiologinen puhtaus ei ole halutulla tasolla.

Tehtaalla on kaksi pesukeskusta, joiden kautta tapahtuu säiliöiden ja siirtolinjojen automaattinen pesu CIP (Cleaning in Place) -linjaa pitkin. Levysuodattimet eivät ole osana CIP-linjaa, muuten kuin siirtolinjan osalta. Itse suodattimet sekä piimaan annostelusäiliö joudutaan kuitenkin pesemään käsin. Pesuvaiheita on kolme: esihuuhtelu, desinfiointiaineella pesu, sekä loppuhuuhtelu. Pesuun käytetään matalapainepesuria, jonka kautta myös desinfiointiaine annostellaan.

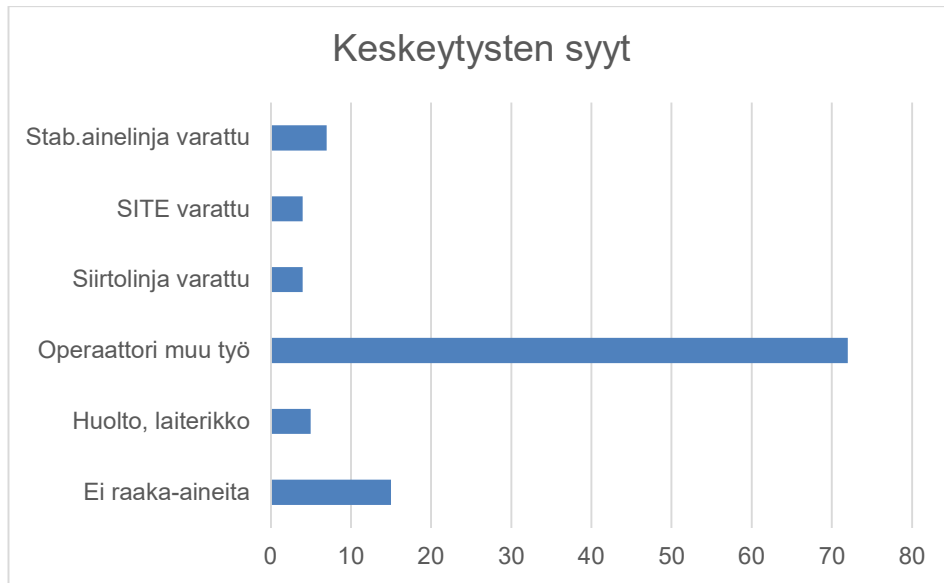
Ennen pesua suodattimesta poistetaan suodatinpahvit sekä suurimmat jäämät suodatuskakusta, jotta vältetään suodatusmateriaalin joutuminen jäteveeseen. Suodatusjätteet viedään pihalla olevalle jätelavalle, josta ne päätyvät joko kompostoitavaksi tai energijakeeksi.

5.1 Tuotannon raporttien tarkastelu

Joulukuussa 2022 tuotannossa otettiin käyttöön uusi raportointilomake neste-
tuotteiden formulointiin. Uuteen raportointipohjaan lisättiin kohta tuote-erän kes-
keytykselle. Tällä hetkellä tuote-erien valmistus tapahtuu muiden töiden ohella
ja valmistuksen aikana tulee lähes aina keskeytyksiä. Uuden lomakkeen tarkoi-
tuksena on löytää syyt, jotka aiheuttavat keskeytyksiä nestetuotantoon. Lomak-
keessa valittiin pudotusvalikosta syy keskeytykselle, ja lisäksi oli mahdollista kir-
joittaa tarkentavia selitteitä keskeytyksen syyille.

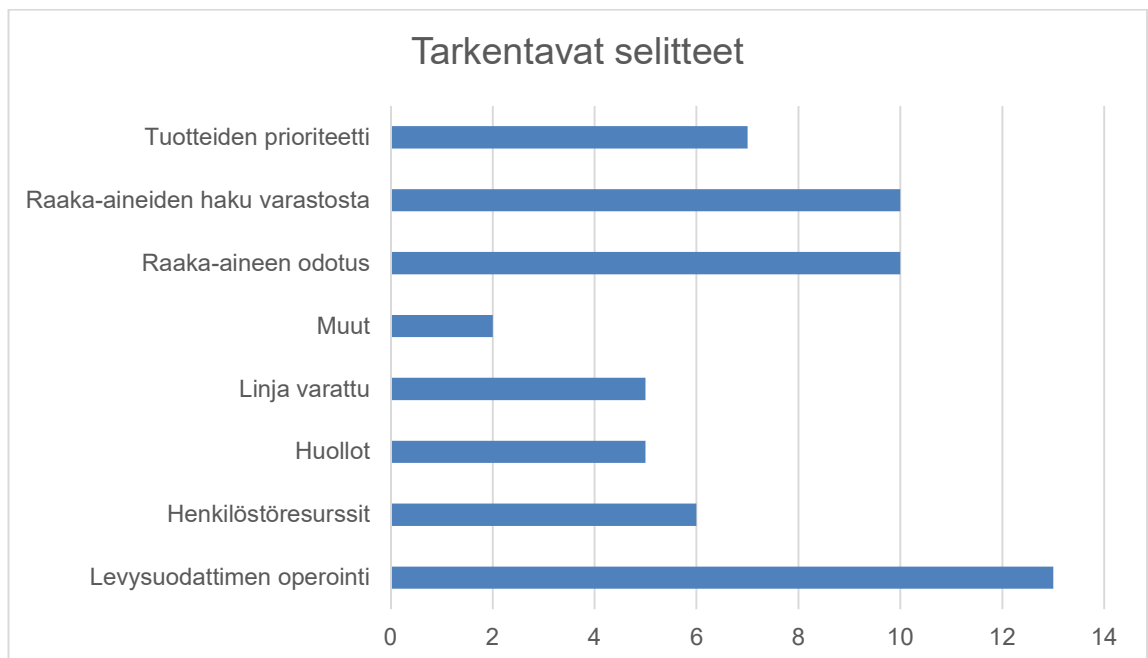
Tarkastelujakson aikana 9.12.2022–28.2.2023 formuloitiin yhteensä 72 tuote-
erää, joista kuusi oli stabiloitavia puolivalmisteita. Lisäksi kolme tuote-erää jou-
duttiin uudelleenprosessoimaan alhaisen entsyymiaktiivisuuden vuoksi. Koko-
naistuotantomäärä oli noin 1 900 tonnia.

Tarkastelujaksolla formulointiin käytettiin aikaa keskimäärin noin 20 tuntia. For-
muloinnin keskeytyksistä raportoitiin yhteensä 107 kertaa. Keskeytysaika oli
keskimäärin noin 7 tuntia. Formuloiduista tuote-eristä 16 saatiin valmistettua il-
man raportoituja keskeytyksiä. Keskeytysten syyt on koottu kuvaan 4.



Kuva 4. Keskeytysten syyt tarkastelujakson aikana.

Eniten keskeytyksen syyksi valittiin ”operaattori muu työ”. Sen osuus oli 62 % kaikista valinnoista. Operaattoreilla oli mahdollisuus kirjoittaa tarkentavia selitteitä keskeytyksen syyllä. Tarkentavia selitteitä kirjattiin yhteensä 58 kertaa, ja ne on koottu kuvaan 5.

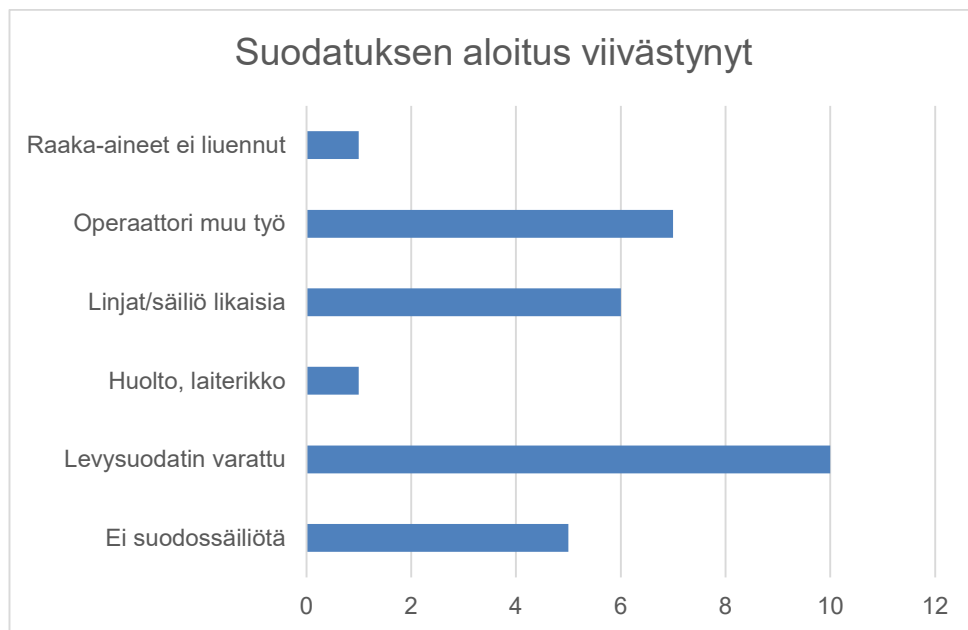


Kuva 5. Tarkentavat selitteet keskeytysten syyille tarkastelujaksolla.

Tarkentaviin selityksiin oli kirjattu eniten levysuodattimen operointiin liittyviä työtehtäviä kuten pesut, pahvitukset sekä suodatuksen valvonta. Toiseksi eniten keskeytyksiä on aiheuttanut raaka-aineiden haku varastosta sekä raaka-aineen odotus. Nämä kumpikin merkittiin 10 kertaa syyksi tuotannon keskeytykseen.

Suurin osa tuote-eristä suodatetaan ennen pakkausta. Tarkastelujakson aikana suodatettiin 58 tuote-erää. Suodatukseseen käytettiin aikaa keskimäärin noin 5 tuntia. Kolmen tuote-erän suodatuksessa jouduttiin suorittamaan välipesu kesken suodatuksen.

Suodatuksen viivästymisestä raportoitiin yhteensä 30 kertaa. Väli aika formuloinnin ja suodatuksen välissä oli keskimäärin noin 13 tuntia. Syyt suodatuksen viivästymiseen on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Syyt suodatuksen aloituksen viivästymiselle.

Eniten syyksi suodatuksen viivästymiselle merkittiin ”levysuodatin varattu”, jonka osuus oli 33 %. Toiseksi eniten syyksi merkittiin ”operaattori muu työ”. Tässä kohtaa lomaketta ei ollut mahdollisuutta kirjata tarkempaa selitettä, joten tämän osalta ei päästä täyteen varmuuteen todellisista syistä, jotka viivästyttivät

suodatuksen aloitusta. Lisäksi joidenkin tuote-erien kohdalla oli jäänyt kokonaan merkitsemättä, jos tuote-erää ei päästy heti suodattamaan.

5.2 Haastattelut

Operaattoreita haastateltiin, koska haluttiin selvittää heidän näkemyksiään tuotantoa hidastavista tekijöistä sekä verrata haastattelujen tuloksia prosessista saatuun dataan. Operaattoreissa on pitkään yrityksessä työskennelleitä, jotka tuntevat prosessin erittäin hyvin, sekä muutama operaattori, jotka ovat työskennelleet yrityksessä vähemmän aikaa tai siirtyneet yrityksen sisällä uuteen tehtävään. Haastatteluihin osallistui 9 operaattoria, ja ne suoritettiin useana päivänä helmikuun 2023 aikana. Operaattoreilta kysyttiin haastatteluissa minkä he kokevat tuote-erien valmistuksessa haasteelliseksi ja aikaa vieväksi, ja minkä taas toisaalta helpoksi ja toimivaksi.

Helppona ja toimivana kaikki operaattorin mainitsivat kaikki automatiikalla hoituvat työtehtävät, kuten stabilointiaineiden sekä jauhemaisten aineiden annostelun. Joskin operaattorit toivoivat molempiin lisää kapasiteettia, sillä stabilointiaineet loppuvat usein kesken annostelun ja jauhemaisten aineiden annosteluun toivottiin yksi suursäkkiasema lisää, jotta käsiannostelusta päästäisiin eroon tai sitä saataisiin vähennettyä.

Kontin purku mainittiin jokaisessa haastattelussa aikaa vievänä ja tuotantoa hidastavana tekijänä, etenkin sellaisten tuote-erien formuloinnissa, jossa purettavia kontteja on paljon. Kontin purku on työvaihe, joka sitoo operaattorin yksistään siihen työtehtävään, eikä samalla voi hoitaa muita työtehtäviä. Operaattorit toivoivat, että tilalle saataisiin jokin toisenlainen systeemi, joka veisi vähemmän aikaa, tai vaihtoehtoisesti puolivalmistesäiliöiden määrää lisättäisiin. Myös lisäoperaattorin palkkaamista ehdotettiin työkuorman jakamiseen.

Raaka-aineiden haku varastosta koettiin myös aikaa vievänä. Etenkin niissä tapauksissa, kun raaka-aine ei ole helposti saatavilla varastohyllyssä, vaan sen

etsimiseen/esille ottoon kuluu turhaa aikaa. Haastatteluissa operaattorit nostivat esille, että nykyistä varastosysteemiä olisi tarpeen muuttaa toimivammaksi.

Haastatteluissa nousi esille myös tuotannosuunnittelun ja raaka-aineiden tilausten tarkkuus. Operaattorit kokevat turhauttavaksi etenkin ne tilanteet, kun raaka-aine loppuu kesken annostelun.

6 Tulosten tarkastelu

Tarkastelujaksolla raporttien mukaan eniten keskeytyksiä tuotantoon on aiheuttanut levysuodattimen operointi sekä raaka-aineiden haku varastosta. Kun näitä tuloksia verrataan haastatteluissa mainittuihin asioihin, raaka-aineiden haku varastosta on työtehtävä, joka nousi merkittävänä tekijänä kummassakin tapauksessa esille. Haastatteluissa eniten mainintoja saanut kontin purku ei kuitenkaan raporteissa näkynyt tuotantoa hidastavana tekijänä. Syynä tähän on alhaiset tuotantomäärät tarkastelujaksolla, jolloin kontin purulle on löytynyt riittävästi aikaa eikä se ole estänyt muiden töiden tekemistä.

Joulukuussa 2022 formulointiin käytettiin aikaa keskimäärin noin 10 tuntia enemmän kuin tammi- ja helmikuussa 2023. Joulukuun pitkiä valmistusaikoja selittää huollot, raaka-aineiden odotus sekä siirtolinjojen vapautumisesta aiheutuvat keskeytykset. Tarkastelujaksolla neljän tuote-erän formulointi kesti yli 24 tuntia, kun formulointiajasta vähennetään keskeytyksiin kulunut aika. Näissä kaikissa on yhteistä, että kiinteiden komponenttien annosteluun on mennyt verrattain pitkä aika. Prosessinseurantajärjestelmästä tutkittiin mahdollista syytä pitkille annosteluajoille. Syyksi löydettiin bakteerikasvatuksen suodatus. Samaan aikaan on suodatettu erittäin huonosti suodattuvaa kasvatusta, jonka suodatuksen aikana joudutaan suorittamaan useita välipesuja. Tämä näkyy suoraan lopputuotteiden formuloinnissa siten, että tuotteiden valmistus keskeytyy lähes kokonaan silloin, kun bakteerikasvatuksen suodatus on meneillään.

Tämä on yrityksessä ollut jo tiedossa, ja helmikuussa fermentointiosastolla operaattoreiden työnjakoa muutettiin hieman. Tuotanto pyörii keskeytymättömässä

kolmivuorossa, ja tuotannossa työskentelee neljä operaattoria, joista kullakin on omat vastualueet. Vastuualueita muutettiin helmikuussa siten, että yhden operaattorin vastuulle tuli vain nestetuotteiden valmistus. Työkuormaa kuitenkin voidaan edelleen jakaa operaattoreiden kesken tasaisemmin, jos jollakin operaattorilla on liikaa työkuormaa. Lisäksi tuotannossa työskentelee päiväoperaattori arkisin noin klo 8–16. Päiväoperaattori on helpottamassa työkuorman jakamista.

Muutos työnjaossa ei juurikaan näkynyt tarkastelujakson aikana. Helmikuussa tuote-erien formulointiin käytettiin keskimäärin lähes sama aika, kuin tammikuussa, mutta formuloinnin keskeytysaika oli keskimäärin lyhyempi helmikuussa kuin tammikuussa. Ilman raportoituja keskeytyksiä saatiin tammikuussa formuloitua isompi osa kuin helmikuussa.

Haastatteluissa kaikki operaattorit mainitsivat kontin purun olevan työvaihe, joka vie paljon työaika, ja se on lisäksi työvaihe, joka käytännössä sitoo operaattorin yksistään vain siihen työtehtävään. Raporttien tarkastelussa havaittiin, että tarkastelujaksolla sellaisten tuote-erien formulointiin, joihin entsyymiä annosteltiin kontista, käytettiin keskimäärin vähemmän aikaa, kuin niiden tuote-erien formulointiin, joihin entsyymi saatiin annosteltua suoraan säiliöstä.

Ero selittyy sillä, että säiliöstä annostellaan enemmän suuriin tuote-eriin, joiden formulointiin lähtökohtaisesti kuluu enemmän aikaa. Haluttiin kuitenkin selvittää, onko formulointiin kuluvalle ajalle tilastollisesti merkitsevää eroa kontti- tai säiliöannostelun välillä. Tarkastelujakson aikana entsyymejä annosteltiin yhtä paljon niin säiliöistä kuin konteistakin. Lisäksi pieni osa entsyymiannosteluista oli jauhemaisia.

Tilastollisessa testauksessa selvitettiin ensin, eroavatko eri annostelutapojen varianssit merkitsevästi toisistaan luottamustasolla 95 %. Tähän käytettiin niin sanottua pika-f-testiä, jolla saatiin selvitettyä kaksisuuntaisen f-testin p-arvo. P-arvoksi saatiin 0,002, mikä on pienempi kuin 0,05, joten varianssit eroavat tilastollisesti merkitsevästi. Tämän tuloksen perusteella suoritettiin studentin kahden

otoksen t-testi olettaen varianssit eri suuriksi (liite 1). T-testin p-arvoksi saatiin 0,651, mikä on suurempi kuin 0,05, joten testin johtopäätöksenä on, että kontti- ja säiliöannostelun välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa tarkastelujakson aikana.

7 Kehityskohteet

Levysuodattimen operointi aiheutti eniten keskeytyksiä tuotantoon tarkastelujakson aikana. Levysuodatin on hyvin manuaalisesti operoitava laitteisto. Operaattorin täytyy suodatuksen aikana käydä lisäämässä piimaa-vesiseosta useaan otteeseen suodatuksen aikana, riippuen suodatusmäärästä sekä -nopeudesta. Pienien tuote-erien kohdalla riittää usein yksi säiliöllinen piimaa-vesiseosta suodatuksen aikana, mutta etenkin isojen tuote-erien kohdalla suodatus voi kestää useita tunteja, jolloin säiliötä täytyy käydä täyttämässä suodatuksen aikana.

Piimaa-vesiannostelu olisi hyvä saada automaattiseksi, jotta operaattorin ei tarvitsisi vähän väliä käydä täyttämässä säiliötä. Huolena tässä on noussut se, että silloin kukaan ei kävisi suodattimen luona, vaan suodatin olisi käynnissä pahimmassa tapauksessa tuntikausia ilman valvontaa. Tähän ratkaisuna olisi valvontakameroiden lisääminen myös levysuodattimien luokse. Tuotannossa on useissa kohdissa valvontakameroita, mutta levysuodattimien luona ei ole yhtään valvontakameraa. Operaattori voisi kameroiden avulla seurata suodattimien tilannetta valvomosta käsin. Lisäksi operaattorilla voisi olla tarkastuslista, joka kuitenkin vaatisi suodattimella käynnin esimerkiksi kaksi kertaa vuoron aikana.

Lisäksi tulevaisuuden investointina levysuodattimelle olisi hyvä pohtia suodatusjätteen käsittelyyn uutta systeemiä. Nykyisin operaattori poistaa suodatinpahvit ja suodatuskakun jätekuuppaan, joka tyhjennetään pihalla olevalle jätelavalle. Levysuodattimet sijaitsevat tehtaan 2. kerroksessa ja suodatusjätettä saattaa pudota kuupan kyydistä kuljetuksen aikana. Kuoppaa kuljetetaan trukin avulla ja

kuupasta kipataan jätteet lavalle trukin kyydistä. Toisinaan kuoppa putoaa myös jätelavalle. Työturvallisuuden ja entsyymijätteen leviämiseen ympäri tehdasta voisi välttää jätekuljettimilla, joita pitkin jätteet kulkeutuisivat jätelavalle.

Levysuodattimen automatisointi sekä valvontakameroiden tuominen valvomoon vähentäisi operaattorien käyntiä tuotantotiloissa, millä voitaisiin vähentää entsyymialtistumisia. Kaikilla tehtaalla työskenteleviltä mitataan entsyymialtistumista vuosittain sekä lisäksi tuotannon entsyymipitoisuuksia mitataan noin kerran kuukaudessa. Tuotantotiloissa käytetään hengityksensuojaimia, joilla estetään entsyymipölyn kulkeutuminen hengitysteihin. Altistumisia kuitenkin tapahtuu suojaimista huolimatta, joskin määrät ovat selkeästi vähentyneet suojainten käyttöönoton jälkeen.

Kolmasosa nykyväestöstä omaa perimän, joka voi aiheuttaa herkistymistä entsyymeille. Osuus on kasvanut muiden allergioiden yleistymisen kanssa. Aiempi allergiatausta, astma tai tupakointi voi lisätä riskiä herkistyä entsyymeille. Herkistymisessä henkilölle kehittyy vasta-aineita entsyymimolekyylejä vastaan. Altistumisen jatkuessa voi kehittyä entsyymiallergia. Entsyymiallergiassa oireina on heinänuhan kaltaisia oireita ja altistumisen jatkuessa voi kehittyä astma. Perimään ei voida vaikuttaa, mutta oikeilla työskentelytavoilla sekä oikeanlaisilla suojaimilla voidaan vähentää riskiä entsyymialtistumiselle. [21.]

Kontin purku, joka nousi merkittävänä tekijänä esille haastatteluissa ei näkynyt hidastavana tekijän tuote-erien formuloinnissa tarkastelujakson aikana. Syynä tähän on uskottavasti alhaiset tuotantomäärät, jonka johdosta tuotanto oli sujuvaa ja kontin purulle oli riittävästi aikaa. Tuotantomäärien noustessa on hyvä kuitenkin ottaa huomioon operaattoreiden kokemukset asiasta.

Kontin purkua voisi tehostaa siten, että purettavat kontit tuotaisiin purkupaikan läheisyyteen siten, että molempien valuma-altaiden päälle pystyy asettamaan kontin. Nyt hyvin usein kontit on tuotu purkupaikalle siten, että toiselle valumaaltaalle pääsy on estetty ja vain yksi valuma-allas on käytössä. Kahden valumaaltaan käyttö nopeuttaa kontin purkua, koska operaattori voi heti toisen kontin

tyhjennyttyä siirtää letkun täyteen konttiin ja aloittaa toisen kontin pumppaamisen saman tien. Kun toinen kontti on purussa, operaattori ehtii sillä aikaa käydä huuhtelemassa tyhjän kontin ja nostaa uuden kontin tyhjän valuma-altaan päälle.

Haastatteluissa ehdotettiin, että puolivalmistesäiliöiden kapasiteettiä lisättäisiin, jotta kontin purku vähenisi etenkin isojen tuote-erien kohdalla. Puolivalmisteita ei kuitenkaan voida säilyttää pitkiä aikoja säiliössä mahdollisen korroosioriskin vuoksi. Tämän vuoksi kontin purkuun olisi hyvä löytää kokonaan uusi systeemi, jossa olisi käytössä esimerkiksi vakuumpumppu, jotta kontin purku olisi entistä nopeampaa ja sujuvampaa.

Haastatteluissa nousi esille, että operaattorit kokevat turhautumista, kun stabilointiaine loppuu kesken annostelun. Nyt tarkastelujaksollakin raaka-aineen odotus oli yksi suurimmista syistä tuotannon keskeytykselle. Stabilointiaineiden tilauksiin voisi lisätä ennakoitua, jotta välttyttäisiin raaka-aineen loppumiselta kesken annostelun. Lisäksi tuotteiden valmistusjärjestyksessä voisi kiinnittää entistä enemmän huomiota siihen, että ei aloiteta sellaisen tuote-erän valmistusta, johon ei ole saapunut kaikkia tarvittavia raaka-aineita.

Stabilointiainesäiliöihin voisi lisätä pintahälytyksen, joka ilmoittaa, kun stabilointiaine on vähissä, jolloin raaka-aineen tilausprosessi saataisiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa etenemään. Tulevaisuuden investoinneissa olisi myös hyvä miettiä ainakin yhden stabilointisäiliön lisäämistä, sillä tuotantomäärien noustessa myös stabilointiaineiden kulutus kasvaa.

Nykyiset varastotilat ovat liian pieniä kasvaville tuotantomäärille. Varastosta joutuu usein etsimään haluamaansa raaka-ainetta, ja pahimmassa tapauksessa tarvittava raaka-aine on hyllyn perällä ja operaattorilla menee turhaa työaikaa hyllyn tyhjentämisessä ja takaisin täyttämässä. Etenkin kesätyöntekijöillä voi tähän operaatioon kulua yllättävän pitkä aika, varsinkin jos trukilla ajo ei ole harjaantunutta. Varastohyllyt ovat usein hyvin sekavat ja samaa raaka-ainetta voi olla useassa eri hyllyssä. Etenkin kiireessä koetaan, että ei ole aikaa selvittää

eränumeroiden perusteella, mikä on vanhinta erää ja pitäisi käyttää ensin pois, jotta FIFO (First in First Out) toteutuu.

Olisi hyvä, että jokaisella raaka-aineella olisi oma hyllyväli ja selkeästi merkitty paikka. Etenkin sellaiset raaka-aineet, joita käytetään usein, olisi hyvä löytyä aina tietyistä paikasta, jotta niiden etsimiseen ei kulu turhaa työaikaa.

Lisäksi varastosaldojen seurantaan olisi hyvä ottaa käyttöön jokin digitaalinen seurantajärjestelmä, joka olisi liitettynä toiminnanohjausjärjestelmään. Nykyisin operaattori joutuu ilmoittamaan vuorotyönjohtajalle kulutetun raaka-aineen määrän. Vuorotyönjohtaja kuittaa manuaalisesti toiminnanohjausjärjestelmään kulutetut raaka-aineet. Digitaalisella laitteistolla vuorotyönjohtajien työkuormaa saataisiin hieman helpotettua, kun raaka-ainekulutuksia ei tarvitsisi merkata manuaalisesti. Lisäksi digitaalisesta järjestelmästä operaattori voisi suoraan tarkistaa mistä hyllystä raaka-aine löytyy, joten myös operaattorin työaikaa säästyy muihin tehtäviin.

Tuotantomäärien noustessa on hyvä pohtia myös lisäoperaattorin palkkaamista jokaiseen vuoroon helpottamaan työkuorman jakamista. Nestemäisten lopputuotteiden tekoa edistäisi, jos jälkikäsitteystä vastaisi kaksi operaattoria, kuten ennen työnjaon uudistamista sekä olisi erikseen nestetuotannosta vastaava operaattori. Päiväoperaattorista on toki apua työkuorman jakamisessa, mutta ilta- ja yövuorojen sekä viikonloppujen kuormitusta ei voida jakaa yhtä hyvin kuin arkisin, jolloin päiväoperaattori on paikalla. Lisäksi lisäoperaattorin palkkaaminen helpottaisi myös poissaolotilanteissa, jolloin etenkin nestetuotanto keskeytyy, jos tuuraajaa ei saada paikalle.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa nestetuotantoa hidastavat tekijät ja esittää keinoja, joilla nykyistä tuotantoprosessia voidaan tehostaa ennen suurempia laajennusinvestointeja. Työssä käytiin läpi tuotannon raportointilomakkeet sekä haastateltiin tuotannon työntekijöitä. Raporteista saatuja tuloksia verrattiin haastatteluista saatuihin tuloksiin. Lisäksi tuotannon seuranta järjestelmästä tutkittiin myös työtä tukevaa dataa.

Raporttien mukaan tuotantoa eniten hidastava tekijä tarkastelujakson aikana oli levysuodattimen operointi. Kyseessä on melko manuaalinen laitteisto, joka vaatii paljon operaattorin työaika. Tämä ei juurikaan kuitenkaan haastatteluissa noussut esille, muuten kuin työtehtävien päällekkäisyyksien osalta. Kehitysideana ehdotettiin, että laitteistoa automatisoitaisiin, jotta operaattorilta vapautuisi työaika muiden työtehtävien hoitamiseen.

Toiseksi eniten raporttien mukaan tuotantoa hidastaa raaka-aineiden haku varastosta. Useat operaattorit mainitsivat tämän työtehtävän vievän paljon turhaa aikaa. Kehitysideana ehdotettiin varastohyllyjen uudelleen järjestämistä sekä raaka-aineiden keräilyä valmiiksi.

Haastatteluissa eniten mainintoja saanut kontin purku ei näkynyt tarkastelujakson aikana tuotantoa hidastavana tekijänä. Lisäksi tarkastelujaksolla havaittiin, että tuote-erien formulointi, johon entsyymit annostellaan suoraan säiliöstä, kesti keskimäärin kauemmin kuin niiden tuote-erien formulointi, joihin entsyymit annosteltiin konteista. Konttiannostelu on kuitenkin hyvin manuaalinen työtehtävä ja sitoo yhden operaattorin käytännössä yksistään siihen työtehtävään. Kehitysideana ehdotettiin, että kontin purkuun otetaan molemmat valuma-altaat käyttöön, jotta kontin purkua saadaan tehostettua. Lisäksi tulevaisuudessa investoinneissa olisi hyvä miettiä vaihtoehtoja ratkaisua kontin purulle.

Työn haasteena oli tarkasteluajanjaksolle osuneet alhaiset tuotantomäärät. Kokonaiskapasiteetti verrattuna tarkastelujakson aikana kapasiteetti oli vaajakäytöllä. Alhaiset tuotantomäärät johtuvat yleisestä varastotasojen laskusta.

Koronkriisi sai aikaan hamstraamisilmion toimitusaikojen kasvettua ja toisaalta tiettyjen raaka-aineiden saatavuuden heikennyttyä. Tämän vuoksi asiakkaiden kysyntä tuotteita kohtaan kasvoi merkittävästi, ja toisaalta myös omia varastoja oli kasvatettava tarjonnan turvaamiseksi. Kysynnän tiedettiin jossakin vaiheessa laskevan takaisin normaalille tasolle tai jopa vähän alle, koska varastoon tehdyistä puskureista voitaisiin luopua tilanteen parannuttua. Tuotantomäärät kuitenkin yllättäen alkoivat laskemaan juuri joulukuussa 2022, kun tarkastelujakso aloitettiin. Lisäksi tarkastelujakson loppuvaiheessa alkanut ahtaajien lakko vaikutti tuotantoon siten, että joidenkin tuote-erien valmistusta siirrettiin raaka-aineiden saatavuusongelmien vuoksi. Tarkastelujakso on kuitenkin vain pieni notkahdus tuotantomäärästä ja pitkän ajanjakson ennustetrendi on nouseva.

Toisena haasteena työssä oli raportointilomakkeiden melko puutteellinen täyttäminen joulukuussa. Keskeytyksiä oli merkitty melko hyvin, mutta niissä tapauksissa, kun keskeytyksen syyksi valittiin ”operaattori muu työ”, operaattorit jättivät usein kirjoittamatta tarkentavan selitteen keskeytyksen syyllä. Tammikuun puolivälissä operaattoreita kehoitettiin kiinnittämään huomiota lomakkeiden täyttämiseen, ja sillä oli positiivista vaikutusta. Joulukuussa tarkentavien selitteiden osuus niissä tapauksissa, kun syynä oli ”operaattori muu työ” oli 22 %, tammikuussa 42 % ja helmikuussa 94 %. Muutosta siis tapahtui merkittävästi ja keskeytysten syistä päästiin paremmin selville tarkastelujakson edetessä.

Lomakkeiden puutteellisen täyttämisen vuoksi työssä saatuja tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina. Raportointilomake olisi täytynyt esitellä operaattoreille kunnolla ennen tarkastelujakson alkamista, jotta lomakkeen täyttäminen olisi ollut tehokkaampaa heti alusta lähtien. Yrityksen olisi hyvä tehdä vastaavanlainen tutkimus silloin, kun tuotantomäärät ovat lähellä maksimikapasiteettia, jolloin päästäisiin näkemään, ovatko tässä työssä saadut tulokset luotettavia.

Työtä voidaan haasteista huolimatta kuitenkin pitää onnistuneena, sillä joitakin tuotantoa hidastavia tekijöitä tunnistettiin ja nykyistä tuotantoprosessia pystytään tehostamaan pienilläkin toimintatapamuutoksilla ennen suurempia laajenusinvestointeja.

Lähteet

- 1 Heiskanen, Piia & Mankinen Sini-Tuulia. 2004. Entsyymit teollisuudessa. Verkkoaineisto. <<https://web.archive.org/web/20170118060217/http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/entsyymit/teollisuus.html>>. Luettu 1.2.2023
- 2 Industrial Enzymes market - growth, trends, covid-19 impact, and forecast (2023- 2028). Verkkoaineisto. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/industrial-enzymes-market>>. Luettu 11.1.2023.
- 3 Yritys. Verkkoaineisto. Roal. <<https://www.roal.fi/en/yritys/>>. Luettu 9.1.2023.
- 4 Maailmanluokan entsyymivalmistaja – juuret sekä tuotanto vahvasti Rajamäellä. Verkkoaineisto. Roal. <<https://www.roal.fi/yritysesittely/>>. Luettu 9.1.2023.
- 5 Polaina, Julio & MacCape, Andrew P. 2007. Industrial Enzymes Structure, Function and Applications. Dordrecht: Springer.
- 6 Wolfgang, Aehle. 2007. Enzymes in Industry. 3rd. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- 7 Elintarvike-entsyymit. Verkkoaineisto. Roal Oy. <https://www.roal.fi/tuoteportfolio/#elintarvike_entsyymit>. Luettu 10.1.2023.
- 8 Kruus, Kristiina. 2018. Entsyymeistä on moneksi elintarviketeollisuudessa. Verkkoaineisto. Kehittyvä elintarvike. <<https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/valmistus-ja-lisaaineet-tuotekehitys/ke-1-2018-valmistus-ja-lisaaineet-entsyymeista-on-moneksi-elintarviketeollisuudessa/>>. 28.2.20218. Luettu 10.2.2023.
- 9 Aittomäki, Esa; Eerikäinen, Tero; Leisola, Matti; Suominen, Ilari & von Weymarn, Niklas. 2002. Bioprosessitekniikka. Porvoo: WSOY.
- 10 Torres-Pitarch, A.; Manzannilla, E.G; Gardiner, G.E. & O'Doherty, J.V. 2019. Systematic review and meta-analysis of the effect of feed enzymes on growth and nutrient digestibility in grow-finisher pigs: Effect of enzyme type and cereal source. Animal Feed Science and Technology. Volume 251, s. 153–165.

- 11 Ravindran, V. 2013. Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research*. Volume 22, Issue 3, s. 628–636.
- 12 Waites, Michael J.; Morgan, Neil L., Rockey, John S. & Highton, Gary. 2009. *Introduction to Industrial Microbiology*. 9th. ed. Oxford: Blackwell Publishing.
- 13 Mahdu, Amit & Chakraborty, J.N. 2017. Developments in application of enzymes for textile processing. *Journal of Cleaner Production*. Volume 145, s. 114–133.
- 14 Sharma, Aarjoo; Balda, Sanjeev; Gupta, Naveen; Capalash, Neena & Sharma, Prince. 2020. Enzyme cocktail: An opportunity for greener agro-pulp biobleaching in paper industry. *Journal of Cleaner Production* Volume 271, s. 1–7.
- 15 Sing, Renu; Langyan, Sapna; Rohtagi, Bharti; Darjee, Sibananda; Khandelwal, Ashish; Shrivastava, Manoj; Kothari, Richa; Mohan, Har; Raina, Shubham; Kaur, Japleen & Singh, Anita. 2022. Production of biofuels option by contribution of effective and suitable enzymes: Technological developments and challenges. *Materials Science for Energy Technologies*. Volume 5, s. 294–310.
- 16 Fermenter. 2012. Verkkoaineisto. Andrew Biology. <<http://andrewbiology.blogspot.com/>>. Luettu 12.1.2023
- 17 Fasim, Aneesa; More, Veena S; More, Sunil S. 2021. Large-scale production of enzymes for biotechnology uses: *Current Opinion in Biotechnology*. Volume 69, s. 68–76.
- 18 Adarsh, Pandey. 2020. Downstream Processing and its steps. Verkkoaineisto. *Microbiology Notes*. <<https://microbiologynotes.org/downstream-processing-and-its-steps/>>. 25.6.2020. Luettu 15.2.2023
- 19 Baseer, Abdul. 2020. Surface Crosslinked Gelatin Nanoparticles As New Tool for the Delivery of Hydrophilic Macromolecular Drugs. Thesis. Abasyn University. ResearchGate.
- 20 Manufacturing process for liquid product. 2021. Yrityksen sisäinen dokumentti. Roal Oy.
- 21 Entsyymiturvallisuus ja työtavat. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Roal Oy.

Studentin t-testi

	<i>Kontti</i>	<i>Säiliö</i>
Keskiarvo	0,78137	0,85011
Varianssi	0,58182	0,18727
Havainnot	34	33
Arvioitu keskiarvojen ero	0	
va	53	
t Tunnusluvut	-0,4553	
P(T<=t) yksisuuntainen	0,32537	
t-kriittinen yksisuuntainen	1,67412	
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,65074	
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,00575	

Kuva 1. Studentin t-testin tulokset.