



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tapio Holopainen

Alumiinijätteen imujärjestelmän kehitystutkimus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

30.4.2023

Tekijä Otsikko	Tapio Holopainen Alumiinijätteen imujärjestelmän kehitystutkimus
Sivumäärä Aika	24 sivua 30.4.2023
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Kai Virta Sähköosaston esimies Pekka Lehtinen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia alumiinijätteen imujärjestelmän kehitysmahdollisuuksia Ball Mäntsälän tölkkitehtaalla. Tärkeimpänä tavoitteena on löytää muutamia toteuttamiskelpoisia kehitysratkaisuja vaihtoehtona nykyisen järjestelmän toimintaan, etenkin energiankulutuksen ja prosessin toiminnan näkökulmasta.</p> <p>Työssä perehdyttiin nykyiseen järjestelmään kokonaisuutena ja tutkittiin tarkkaan tärkeimpien yksityiskohtien heikkouksia. Siinä selvitettiin myös, minkälaisia vaikutuksia niillä on kokonaisuuteen. Käytännönläheisissä tutkimuksissa tuli tutuksi puhallintekniikka, virtausmekaniikka, oikosulkumoottorit, taajuusmuuttajat, prosessin ohjaus ja säätö. Näiden pohjalta tehtiin tutkimusta ja analyysia mahdollisista kehitystoimista, jotka parantaisivat prosessin energiankulutusta ja toimintaa. Tehdyn tutkimuksen perusteella yrityksellä on nyt paljon kattavampi käsitys heidän järjestelmästänsä ja varsinkin prosessin toiminnasta. Tämä tutkimustyö auttaa myös varmasti tulevaisuudessa kunnossapidossa ja kehityshankkeissa.</p> <p>Tutkimuksen perusteella suunniteltiin kaksi vaihtoehtoista järkevältä vaikuttavaa kehitysehdotusta järjestelmän parantamiseksi: toinen edullisemmin toteutettava ja prosessin toiminnan kannalta pienemmällä riskillä ja toinen hiukan hintavampi suuremmalla energiansäästöpotentialilla, niin kuin myös prosessin toiminnan kannalta suuremmalla riskillä. Näiden pohjalta yrityksen on helppo lähteä kehittämään järjestelmää varsinkin, koska ne eivät sulje toisiaan pois, vaan voidaan toteuttaa sulautetusti.</p>	
Avainsanat	järjestelmä, prosessi, keskipakoispuhallin, oikosulkumoottori, taajuusmuuttaja

Author Title	Tapio Holopainen Development of Aluminium Scrap Suction System
Number of Pages Date	24 pages 30 April 2023
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Program in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation technology
Instructors	Pekka Lehtinen, Electrical supervisor Kai Virta, Senior Lecturer
<p>The purpose of the engineering work was to study development potential of the aluminium scrap suction system's development at the aluminium can factory of Ball Mäntsälä Oy. The main objective was to find a viable solution to replace the current system, especially from the point of view of energy consumption and the operation of the process.</p> <p>The work looks at the current system as a whole. It was examined closely what weaknesses the main details constitute and how they affect the whole system. Practical studies covered fan technology, flow technology, induction motor, frequency converters, and process control and adjustment. On the basis of this information, possible developments in actions that would improve the energy consumption and functioning of the process were studied and analyzed. Based on the study carried out, the company now has a much more comprehensive view of their system and, especially, of the operation of the process. This study will certainly also help in the future in terms of maintenance and development of projects.</p> <p>Based on the study, two alternative development proposals which seem to make sense to improve the system were planned. The first proposal is more cost-effective, which poses a lower risk to the operation of the process. The second one is slightly more expensive with a higher potential for energy saving, which also poses a greater risk to the operation of the process. These proposals give good basis for the company to develop the system; especially because the proposals do not exclude each other but can be implemented by integrating with each other.</p>	
Keywords	system, process, radial fan, induction motor, frequency converter

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Nykyisen järjestelmän kuvaus	2
2.1	Prosessin toiminta	2
2.1.1	Tehtävä	2
2.1.2	Käyttö	3
2.2	Tekniset tiedot	3
2.2.1	Oikosulkumoottorikäyttö	3
2.2.2	Keskipakopuhallin	4
2.2.3	Imuputkisto	6
3	Kehitystutkimus	8
3.1	Puutteet prosessin toiminnassa	9
3.1.1	Ylimitoitus	9
3.1.2	Puhallinmoottorikäyttö	10
3.1.3	Prosessin ohjaus ja säätö	10
3.2	Mahdollisuudet kehityksiin	11
3.2.1	Ylimitoitus	11
3.2.2	Oikosulkumoottorin taajuusmuuttajakäyttö	12
3.2.3	Imuprosessin ilmavirtauksensäätö	13
3.2.4	Imuprosessinohjaus	14
4	Kehityssuunnitelma	16
4.1	Toteutettavat muutokset	16
4.1.1	Taajuusmuuttajan integrointi järjestelmään	16
4.1.2	Prosessin ohjaus ja säätö	17
4.2	Perustelut	18
4.2.1	Oikosulkumoottorin taajuusmuuttajakäyttö	18
4.2.2	Prosessin automatisointi	19

5	Kannattavuustarkastelu	19
5.1	Investointikustannukset	20
5.2	Energiankulutus	21
5.3	Takaisinmaksuaika	22
6	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Ball Corporation on kansainvälinen alumiinipakkausten valmistaja. Markkina-alallaan se on yksi maailman johtavista toimijoista. Mäntsälän toimipiste on osa korporaation Pohjoismaissa toimivaa 4 tehtaan yksikköä ja niistä ainoa Suomessa. Mäntsälässä voidaan valmistaa alumiinista 330 ml virvoitusjuomatölkkiä määrältään noin 3 miljoonaa kappaletta vuorokaudessa. Mäntsälän tehdas on suomen johtava alumiinitölkinvalmistaja noin 60 %:n markkinaosuudellaan. (1.)

Tehtaan energiankulutuksen seurannassa on pistetty merkille huomattavan suuri jätealumiininimujärjestelmästä syntyvä sähköenergian kulutus. Tarkoitus olisi tutkia, miten nykyistä järjestelmää kannattaisi kehittää energiatehokkaammaksi ja olisiko investointi taloudellisesti kannattava. Järjestelmää tarkastellessa huomattiin tässä olevan mahdollisesti kehitettävää energiankulutuksen kannalta. Kuitenkaan suoriin investointeihin ennen kokonaisvaltaisempaa järjestelmän tarkastelua ei haluttu ryhtyä.

Selkeimmät kehityskohteet ovat havaittavissa prosessista heti. Nämä liittyivät oikosulkumoottorikäyttöön ja prosessin jatkuvaan toimintaan. Lähtökohtaisesti ainakin järjestelmän 55 kW:n imuri muutettaisiin taajuusmuuttajaohjatuksi sekä imutehoa voitaisiin ohjata vain sitä tarvitseviin koneisiin. Moottorikäyttö on tällä hetkellä suoraan sähköverkkoon kytketty ja käy jatkuvasti täydellä teholla. Muuttamalla moottori taajuusmuuttajalla ohjatuksi sen tehoa voidaan säätää tarpeen mukaan. Näin vältettäisiin myös suurin osa induktiivisen kuorman aiheuttamaa häiriötä sähköverkkoon. Jatkuvatoiminen prosessin päällä pitäminen, vaikka tuotanto ei edes ole käynnissä, on suoranaista tuhlausta, koska myöskään imuprosessille ei tällöin ole tarvetta.

Lisäksi imuputkilinjaa muokkaamalla voitaisiin mahdollisesti kohdentaa imutehoa vain sitä tarvitseviin koneisiin ja tällä vähentää putkilinjassa tapahtuvaa painehäviötä.

Suoranaisia tavoitteita ei energiansäästämiseen työn alussa lähdetty linjaamaan, vaan perinpohjaiseksi työntarkoitukseksi määritettiin prosessin kannalta järkevä kehityssuunnitelma ja selvitys siitä, olisiko se taloudellisesti kannattava. Tarkoitus olisi siis tutkia,

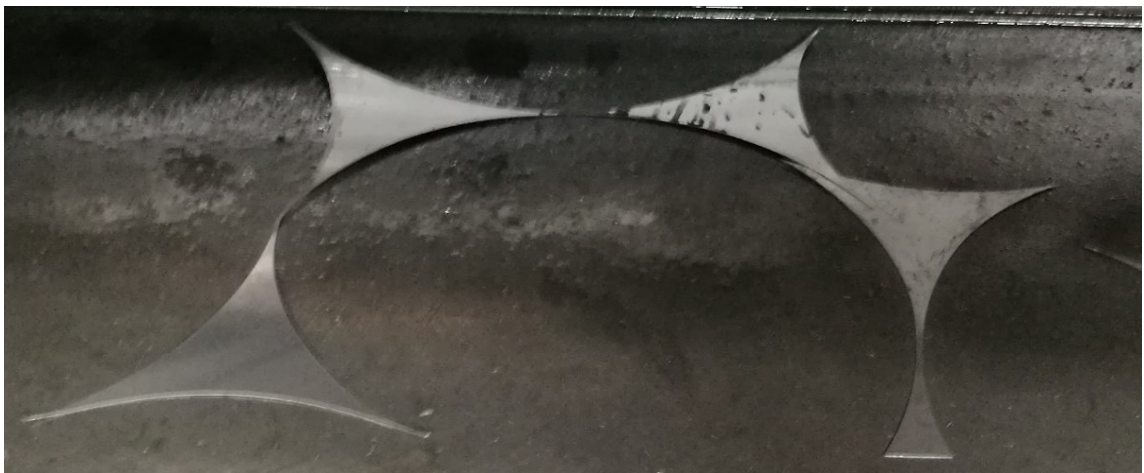
miten nykyistä järjestelmää kannattaisi kehittää energiatehokkaammaksi ja olisiko investointi taloudellisesti kannattava.

2 Nykyisen järjestelmän kuvaus

2.1 Prosessin toiminta

2.1.1 Tehtävä

Prosessin toiminnallinen tehtävä on imeä alumiinitölkkin tuotannossa alumiinin työstöstä syntyvä metallijäte sen jatkokäsittelyyn niin, että tuotantokoneiden toiminta ei häiriinny. Erytisen tärkeää tuotantokoneiden yhtäjaksoisen toiminnan kannalta on taata riittävä jatkuva imuteho niiden alumiinijätteen poistokanavassa, jotta alumiinijätteen palaset eivät jää koneeseen aiheuttamaan häiriötilanteita niiden toiminnassa.



Kuva 1. Työstökone Cupper työstökoneen alumiinijätteen rakenne.

Alumiinijätteen määrä koostuu jotakuinkin puoliksi työstökoneiden Cupper ja Trimmer tuottamasta alumiini silpusta. Trimmer koneen alumiinijäte syntyy, kun tölkinrunko leikataan sen rungon muodostamisen jälkeen määrämittaan avoimesta reunastaan. Cupper koneen tuotannossa syntyvä alumiinijäte on kuvan 1 kaltaista. Alumiinijätteen syntymisen määrä vaihtelee täysin tuotannon vauhdin mukaan. Kun tuotannon vauhti on nykyisen tuotantotavoitteen mukainen, käyvät koneet noin 2800 tölkin minuuttivauhtia. Tällöin

Cupper tuottaa noin 5600 kappaletta kuvan 1 mukaista alumiini kolmiota minuutissa ja Trimmer koneet yhteensä 2800 tölkin avoimesta päästä leikattua soiroa minuutissa.

2.1.2 Käyttö

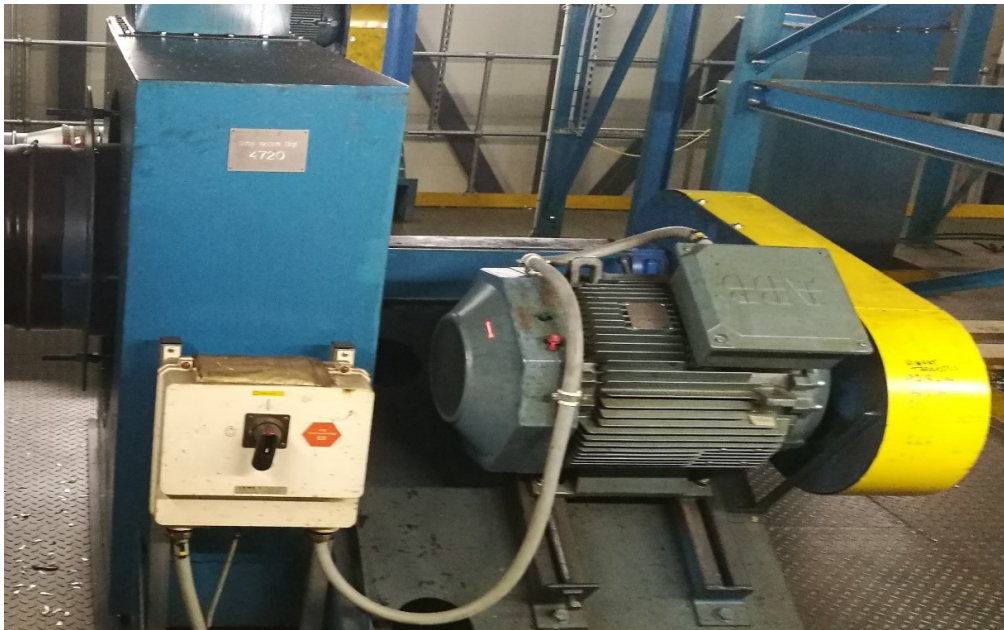
Prosessi on nykyisellään käytössä jatkuvatoimisesti, jopa tuotannon seisakkien aikana. Käytännössä prosessi toimii jatkuvasti samalla teholla ja mahdollisesti vain pitkien huoltoseisokkien aikana prosessi pysäytetään katkaisemalla sen sähkönsyöttö. Prosessissa ei ole ollut tähän mennessä minkäänlaista toiminnan aikaista säätöä.

2.2 Tekniset tiedot

2.2.1 Oikosulkumoottorikäyttö

Oikosulkumoottori muuntaa sähköenergian pyöriväksi liike-energiaksi sähkömagneettisen induktion avulla. Kyseinen voimaa tuottava moottori on ABB:n valmistama 3-vaiheoikosulkumoottori tyyppiä M3BP 250SMA 4. Moottori on ilmajäähdytteinen ja valuraudasta valmistettu. Se on nelinapainen ja käyttöluokituksestaan S1, eli sitä saa kuormittaa jatkuvasti nimelliskuormallaan. Moottorin vaiheet on kytketty kolmioon, sen pääjännite 400 V, taajuus 50 Hz, nimellisteho 55 kW, kierrosnopeus 1480 r/min, nimellisvirta 98,9 A ja tehokerroin 0,84 symmetrisessä kolmivaihejärjestelmässä. (2.)

Moottorin etukojeina ovat tällä hetkellä turvakytkin moottorin välittömässä läheisyydessä ja noin 20 metrin päässä moottorista ohjauskeskuksessa sijaitsevan Siemensin kontaktori sekä Allen-Bradleyn pehmokäynnistin SMC-3.



Kuva 2. Kuva moottorikäytön rakenteesta.

Kuvassa 2 näkyy moottorikäytön fyysinen rakenne. Keskipakopuhallin on kytketty moottorin akselille kiilahihnalla, joka antaa moottorille kuormaksi neliöllisen momentin. Tällöin momentti on neliöllisesti ja teho kuutiollisesti verrannollinen moottorin kierroslukuun. (3, s. 20.)

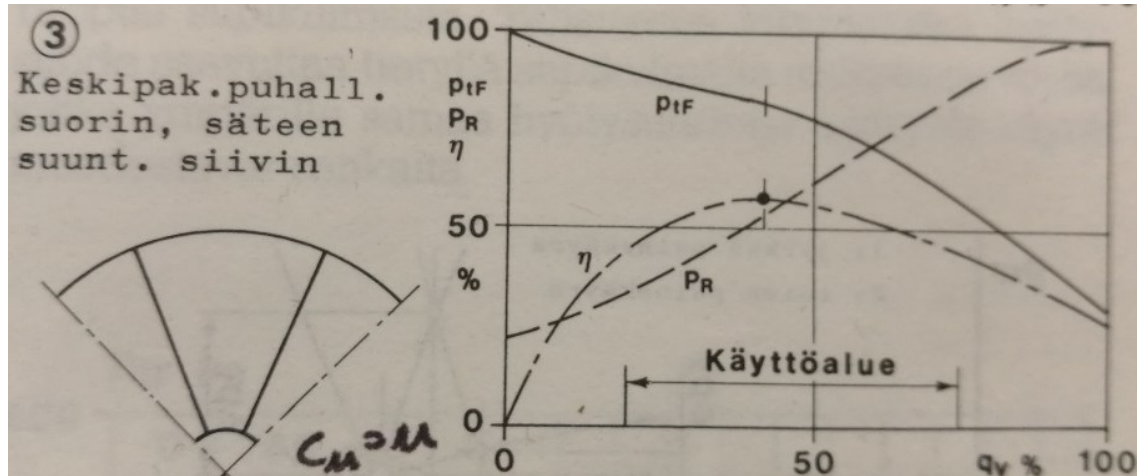
2.2.2 Keskipakopuhallin

Imuputkistoon ilmavirtauksen tuottava puhallin on keskipakois- eli radiaalipuhallin. Keskipakoispuhaltimen toiminta perustuu siihen, että virtaus tulee puhaltimeen imuaukosta akselin suuntaisesti ja puhaltimen sisällä siipipyöränlavat työntävät sen seuraavaan tilaan kohtisuorasti akselilta. Keskipakopuhallin tuottaa paineenkorotuksen itsensä yli, josta seuraa tässä tapauksessa putkistoon alipaine. Edellä mainittu moottori on kytketty kiilahihnalla keskipakoispuhaltimen siipipyörän akseliin. Keskipakopuhaltimessa on kuvan 3 mukaiset suorat säteensuuntaiset siivekkeet ilman etulevyä, niin kuin seuraavassa kuvassa, jotta puhaltimen läpi voidaan kuljettaa paljon epäpuhtauksia ja alumiinisilppua sisältävää ilmaseosta. (4, s. 34; 5, s. 148.)



Kuva 3. Keskipaikoispuhaltimen ja siipipyörän rakenne suorilla säteensuuntaisilla siivillä (6).

Tämän keskipaikoispuhaltimen tarkkoja teknisiä tietoja ei ole tallessa, mutta Puhallintekninen käsikirja (4) määrittelee kaikkiin kyseisen mallin puhaltimiin päteviä ominaisuuksia.



Kuva 4. Kyseisen puhaltimen suoritusarvoihin perustuva käyttöalue (4, s.39).

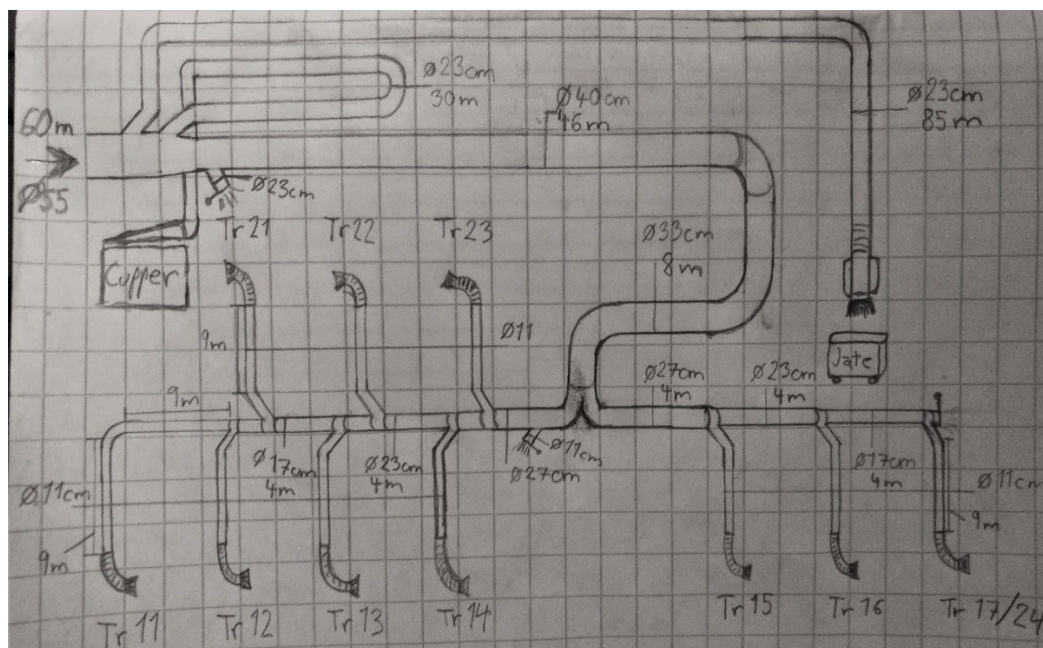
Kuvan 4 graafissa on kuvattu puhaltimen kokonaishyötysuhteen η , kokonaispaineen P_{tF} ja siipipyörätehon P_R kuvaajat suhteessa puhaltimen tilavuusvirtaukseen. Kuvan 4

graafin keskeltä löytyvä musta piste kuvaa puhallin mallin yleisen mitoitusmukaisen toimintapisteen, johon oletamme meidänkin puhaltimemme olevan mitoitettu.

2.2.3 Imuputkisto

Imuputkiston tarkoitus on kuljettaa ja kerätä alumiinijäte tuotantokoneilta yhteen paikkaan puhaltimen tuottaman virtauksen avulla. Toisin sanoen tarkoitus on johtaa puhaltimen tuottama virtaus koneiden jätteenimusuulakkeisiin mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella. Lisäksi ylläpidetään riittävän voimakas virtaus kuljetustarkoitukseen koko putkiston matkalla.

Imuputkisto sijaitsee puhaltimen ja imukohteiden välillä. Se aiheuttaa puhallinkäytölle virtausteknisen kuorman, joka syntyy imuputkiston kyvystä vastustaa virtausta puhaltimen läpi eli imukanavan kokonaisvastuksesta, joka koostuu putkiston kitkavastuksesta ja erilaisten putkenosien kertavastuksista, kuten mutkista ja haaroista. (4; 7, s. 13.)



Kuva 5. Havainnollistaa imuputkiston rakenteen tuotantotiloissa.

Imuputkiston rakenne on puumainen ja hyvin epäsymmetrinen. Se on rakennettu halkaisijaltaan 55–11 cm pyöreästä metalliputkesta, jonka seinämänpaksuus on noin 2 mm. Imuputkisto kulkee ensin alipaineen tuottavalta puhaltimelta tuotantotiloihin 60 metrin

matkan yhtenäisellä 55 cm halkaisijaltaan olevalla metalliputkella. Kuva 5 havainnollistaa imuputkiston tuotannonpuolella sijaitsevaa kokonaisuutta.

Tuotantotiloihin saapuessa putki jakautuu kolmeen haaraan. Niistä ensimmäinen jatkuu suoraan 40 cm:n halkaisijalla Trimmer koneille. Toinen kääntyy 23 cm:n halkaisijalla 30 m:n päähän Cupper koneelle. Kolmas kääntyy 23 cm:n halkaisijalla 85 m:n päähän tölkkijäteimurille. Lisäksi tässä kohtaa sijaitsee 23 cm:n halkaisijaltaan oleva paineenalennusluukku, joka on noin $\frac{1}{4}$ osuudelta auki. Kuva 6 kertoo imuputkiston ensimmäisen haaran rakenteesta.



Kuva 6. Kuvassa imuputkiston ensimmäisen haaran rakenne.

Trimmer koneille saapuva putkenhaara kulkee 40 cm:n halkaisijalla 46 m. Sitten se kääntyy alakertaan ja supistuu 33 cm:n halkaisijan putkeksi 8 m:n matkalle. Kuvassa 7 näkyy Trimmer työstökoneille tulevan imuputkiston rakenne.



Kuva 7. Imuputkiston rakenne ennen Trimmer työstökoneita.

Alakertaan saavuttua putki jakautuu Y-haaralla erisuuntiin lähteviin, kahteen 27 cm:n halkaisijan putkeen 4 m:n matkalle. Y-haaran jälkeen erisuuntiin lähtevistä putkista alkaa noin 4 m:n välein haarautumaan 11 cm:n halkaisijan ja 9 m pitkiä putkia Trimmer työstökoneille. Sekä samalla putken halkaisija kutistuu 5 cm:llä.

3 Kehitystutkimus

Kehitystutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten voitaisiin säilyttää prosessin toiminnallisuus varmana ja saavuttaa energiankäytön optimoinnin kautta taloudellisia ja ympäristöllisiä säästöjä. Tutkimuksen pohja tietoina tässä työssä toimii tutkimalla ja mittaamalla saatu tieto sekä tehtaan henkilökunnalta haastatteluissa saatu tieto ja kokemus, lisäksi tehtaan prosessien käyttö ja energiatiedoista saatavana oleva tilastotieto usean vuoden ajalta.

3.1 Puutteet prosessin toiminnassa

Puutteiksi prosessin toiminnassa on määritetty tehtaan henkilökunnan mielestä selkeimmät syyt prosessin nykyiseen huonoon energiataloudellisuuteen ja toimintaan. Tässä luvussa on tarkoitus selvittää, miksi ja miten nämä puutteet syntyvät, sekä minkälaiset ovat niiden vaikutukset ja mistä niistä seuraa.

3.1.1 Ylimiöitus

Alumiinijätteenimuprosessi on kokonaisuudessaan teknisesti ylimitoitettu nykyiseen tarpeeseen nähden, koska tehtaaseen on suunniteltu alun perin kaksi tuotantolinjaa. Tuotannon optimoinnin takia tehtaassa on nykyään käytössä kuitenkin vain paikoin kaksi linjaa. Siksi tehtaassa osissa, joissa on vain yksi linja, tuotantoa tukevat prosessit ovat lähes kaikki ylimitoitettuja koneisiin nähden.

Myös alumiinijätteenimuprosessi on rakennettu vastaamaan noin 16 Trimmer ja 2 Cupper työstökoneen imutarvetta. Tällä hetkellä imutarpeen tuottavia koneita on kuitenkin vain 10 Trimmeriä ja 1 Cupperi. Siksi imupaineen tuottava puhallinmoottorikäyttö ja imuputkisto ovat myös molemmat yhtä lailla ylimitoitettuja.

Puhallinkäyttö on siis ylimitoitettu kuljettamaan lähes puolet suurempaa alumiinijätteen määrää. Toisaalta puhallinta kuormittavassa imuputkistossa on myös suhteessa saman verran ylimääräistä virtaustilaa. Imuputkistossa on siis varaukset puuttuville koneille ja se on niin tilava, että siellä mahtuisi hyvin kulkemaan myös puuttuvien koneiden jätteet. Tämän takia puhallinmoottori tekee paljon ylimääräistä työtä riittävän alipaineen tuottamiseksi imuputkistoon, jotta virtaus nopeus pysyisi riittävänä kuljetustarkoitukseen koko putkistossa.

Koska imuputkistosta puuttuu siihen aluksi mitoitettuja imuaukkoja, on siitä jouduttu myös avaamaan paikoin luukkuja virtauksen lisäämiseksi ja tasapainottamiseksi putkiston eri kohdissa, sekä sopivan virtauksen säätämiseksi tuotantokoneille. Virtauksen lisääminen ja säätäminen ilmakuljetin kanavassa laskee imutehoa olemassa olevista imusuulakkeissa sekä tuottaa turhaa painehäviötä imukanavaan. Tämä taas johtaa puhallinmoottorikäytön ylimääräiseen kuormittumiseen. (4; 8, s. 174.)

3.1.2 Puhallinmoottorikäyttö

Selkeimpiä puutteita tässä työssä lähtötietojen perusteella oli varsinainen sähkön kuluttaja eli suoraan vakiotaajuiseen sähköverkkoon kytketty oikosulkumoottori, mikä on puhallinmoottorikäytössä erittäin vanhanaikaista ja energiataloudellisesti kannattamatonta. Myös mekaaninen kuormitus moottorin ja puhaltimen kuluviin osiin on karkeaa moottorin toimiessa vanhanaikaisin käyttölaittein. Puute on rakenteellinen ja syntynyt prosessin alkuperäisestä suunnittelusta ja toteutuksesta. Koska koko systeemi on alkujaan ylimitoitettu, se voisi toimia hyvin pienemmälläkin imuteholla.

Sähkövirrankulutus on jatkuvasti moottorin induktiivisen kuorman määrittämä, vaikka puhallinmoottorikäytön ei välttämättä tarvitsisi käydä normaalilla pyörimistaajuudella. Moottorilla on kuormana keskipakoispuhallin, jonka tehollinen kuormitus määräytyy sen pyörintänopeuden kuutiona, jolloin pienelläkin pyörimisnopeuden muutoksella sähkövirran kulutus muuttuu selvästi. (9, s. 95–96.)

Kyseinen puhallinmoottorikäyttö on alumiinijätteenimuprosessin ainut merkittävä sähköenergiankuluttaja ja ainut mahdollisuus suoraan energiankulutuksen säätöön. Pihtiampeerimittarilla mitattu keskimääräinen puhallinmoottorin vaihdevirta prosessin normaali-tilassa on 85 A. Tästä laskettu moottorin käyttämä sähköteho on 49,5 kW ja tällöin sähköenergiankulutus vuorokaudessa 1188 kWh. (10, s. 9.)

3.1.3 Prosessin ohjaus ja säätö

Minkäänlaista tuotannon tai prosessinsisäisten tilanteiden muutoksiin perustuvaa ohjausta ja säätöä prosessissa ei oikeastaan ole. Eli imuprosessia ei säädetä lainkaan sen käytön mukaan. Eikä siinä ole minkäänäköistä vikatilanteisiin perustuvaa ohjausta.

Koska prosessi on alun perin suunniteltu suuremmalle käyttötärpeelle, ei silloin ole ollut myöskään prosessin säädölle tarvetta. Lisäksi prosessiin ei ole ollut käyttöhistoriansa aikana yksinkertaisesti teknisiä mahdollisuuksia lisätä helposti ohjauksia tai säätöjä. Prosessia ei ole mahdollista säätää halutulla tavalla tai vaikka käytön tarpeen perusteella, joten energiankäytön hyötysuhde voi muuttua hetkellisesti hyvinkin huonoksi. Prosessista puuttuu kokonaisuudessaan käyttöturvallisuutta parantavat toiminnallisuudet tai ohjaukset.

Johtuen prosessin ylityötilasta sekä sen ohjauksen ja säädön puuttumisen yhteisvaikutuksesta syntyy tilanteita, joissa prosessin energian käytön hyötysuhde on äärimmäisen huono. Prosessin käyttöturvallisuutta parantavien ohjausten puuttuminen mahdollistaa erilaisten vikojen tai häiriötilanteiden aiheuttamat vauriot prosessissa esimerkiksi moottorin ylikuormittumisen tai putkiston tukkeutumisen. Varmasti ohjaukseen ja säätöön panostamalla energiasäästöt voisivat olla huomattavia tai ainakin saataisiin kompensoitua ylityötilasta johtuvia energia tappioita. Koska kuitenkin emme tiedä, miten prosessi käyttäytyy sitä säädettyä, on vaikea sanoa, voidaanko tuotannon aikaisista säädöistä saada suurta etua. Joka tapauksessa prosessin ohjaaminen mahdollistaa käyttöturvallisuutta lisääviä toiminnallisuuksia.

3.2 Mahdollisuudet kehityksiin

Tässä vaiheessa tutkimusta esitetään vartenotettavia mahdollisuuksia ja keinoja korjata aikaisemman kappaleen puutteita prosessin huonossa energiataloudellisuudessa sekä mitä haasteita näihin liittyy.

3.2.1 Ylityötila

Ylityötila on suurin ongelma tässä prosessissa, kun puhutaan energiankäytön hyötysuhteesta ja sen optimoinnista. Sillä vaikka prosessin hyötötyön tekevä moottorikäyttö on ylityötilattu prosessin tarpeeseen, on lisäksi myös prosessin toiminnan kannalta hyvin tärkeä osa eli imuputkisto suhteessa ylityötilattu. Täten imuputkisto rajoittaa merkittävästi moottorikäytönkin ylityötilan kehitysmahdollisuuksia. Tämän ongelman korjaaminen mahdollistaisi prosessin energiakäytön optimoinnin. (10, s. 2–3.)

Ainoa vaihtoehto tämän ongelman täydelliseen korjaamiseen olisi koko kanavan uudelleen mitoitus ja mittavat konkreettiset fyysiset muutokset koko kanavaan, jotka vaativat vastaavanlaisen ilmakuljetintekniikan asiantuntijan ammattitaitoa. Jos tämä toteutetaan, kannattaisi koko projekti ulkoistaa.

yksinkertaisempi toteuttaa, investointikulut ovat silloin pienemmät. Passiivisella säädöllä moottorin pyörintätaajuutta säädetään manuaalisesti taajuusmuuttajalta käsin. Passiivisen säädön huono puoli on siinä, että se ei reagoi ollenkaan prosessissa tapahtuviin muutoksiin vaan toimii jatkuvasti samoilla asetetuilla parametreilla. (11, s. 128.)

Haasteet taajuusmuuttajakäytön kannattavuudessa johtuvat pääosin riittävän säädön toteutusmahdollisuudesta, jonka rajoittavana tekijänä on puhallinmoottorikäytön kuorma eli kanavavastus. Jotta moottorin sähkötehoa voidaan säätää pienemmäksi ja tämän avulla saada energiasäästöjä, täytyy selvittää, voidaanko prosessin tarvitsemaa hyötytyötä pienentää eli keskipakopuhaltimen tuottamaa ilmavirtausta. (13, s. 13–14.)

Keskipakopuhaltimen ollessa neliöllinen kuorma moottorille sähkötehonkulutus muuttuu kuutiossa suhteessa moottorin pyörimisnopeuden säätöön, mikä on verrannollinen suoraan puhaltimen tuottamaan tilavuusvirtaukseen. Tällöin pienikin prosessin hyötytyön vähentäminen aiheuttaa selkeän vähennyksen sähkötehon kulumiseen. (4, s. 37.)

Lisäksi nykyaikaisen taajuusmuuttajakäytön sähköverkkoa kuormittava loistehon määrä vähennee olemattomiin suhteessa suoraan verkkoon kytkettyihin vaihtosähkömoottoreihin. Sillä oikosulkumoottorin tarvitsema loisteho kompensoidaan taajuusmuuttajan jännitevälipiirissä olevilla kondensaattoreilla. (14, s. 21.)

3.2.3 Imuprosessin ilmavirtauksensäätö

Säätämällä imuprosessin puhaltimen tekemää työtehoa voitaisiin harkita ylimitoituksen aiheuttaman energia häviön kompensointia. Jo karkeillakin säädöillä saataisiin imuprosessin hyötysuhdetta parannettua. Imuprosessin hyötysuhteen optimoiminen erilaisissa tuotannon tilanteissa säätämällä imupuhaltimen nopeutta aktiivisesti voisi parantaa huomattavasti prosessin energiataloudellisuutta. Esimerkiksi tuotannon tilanteessa, jossa kaikki koneista on seis, voitaisiin prosessin ilmavirtaus sammuttaa kokonaan ja näin laskea sähköenergian kulutusta hetkellisesti paljonkin.

Todennäköisesti myös normaalissa tuotantotilassa prosessin imuvirtauksen passiivinen säätö. Myös kuljetusvirtauksen optimoiminen kanavassa voi aiheuttaa yllättäviäkin säästöjä, koska niiden tarvetta prosessin toiminnankannalta ei ole aikaisemmin tutkittu

etenkin, koska keskipakoispuhaltimen ilmavirtauksen säätö muuttaa puhaltimen tehontarvetta kahdeksankertaisesti (4, s. 37). Tässä täytyy ottaa huomioon kuitenkin se, että prosessin imuputkisto toimii puhallinmoottorikäytön kuormana ja on mitoitettu toimimaan kyseisen käytön tekemällä hyötytyöllä. Siksi ei voida prosessin hyötytyön tarvitsemaa energiaa vähentää kohtuuttomasti ilman, että prosessin toiminta ei kärsi. (4; 11.)

Prosessin toimintakyvyn kannalta kannattavin tapa toteuttaa imuvirtauksen säätö prosessin imukanavistoon olisi varmasti ohjata puhallinmoottorin nopeutta automaattisesti kanavistoon sijoitettujen paine- ja virtausantureiden perusteella. Tämä onnistuu pitämällä säätöpiirin avulla imupaine riittävänä stabiileissa alkukanavan kohdissa ja vahtimalla, että virtausnopeus ei pääse kriittisissä kohdissa liian alhaiseksi. (4; 5, s. 174.)

Virtausnopeus taas kannattaa luultavasti alkuun mitoittaa niin, että se täyttää vähintään PKS 2401 -standardissa (15, s. 3) määritellyn kuljetusilmalle vaaditun nopeuden eli 15 m/s, jota käytetään pääosin sahateollisuudessa kuljettamaan purua. Tämän jälkeen tehdään hienosäätöä koeajon ja käyttökokemusten perusteella. Koska puhaltimen pyörimisnopeuden muutos vaikuttaa suoraan verrannollisesti tilavuusvirtaukseen, voidaan sitä säätää samassa suhteessa virtauksessa haluttuun muutokseen (4, s. 37).

Ilmavirtauksen voimakkuuden säädössä on myös haasteita. Etenkin tarvittavan voimakkuuden laskeminen tai todentaminen alumiini-ilmaseoksen kuljettamiseen on vaikeaa, koska seoksen massa ja aerodynaamisuus vaihtelee eri tilanteissa. Prosessin jatkuvan toiminnankannalta kannalta tärkeintä on riittävän virtausnopeuden säilyttäminen putkistossa, jotta alumiinijäte kulkee paikasta toiseen. Täytyy siis käytännössä kokeilemalla ja testaamalla löytää balanssi hyötytyön riittävyden ja imuputkiston aiheuttamien rajoitteiden väliltä. Tarkkailemalla prosessin jätteenimu ja -kuljetus kykyä erikohdista kanavaa. (7, s. 9–11; 16, s. 10–12.)

3.2.4 Imuprosessinohjaus

Sellaisessa tuotantotilanteessa jossa osa koneista on pois päältä eivätkä tarvitse imua. Imuputkiston kokonaisvastuksen minimoimiseksi ja siten moottorikäytön kuormitusta vähentämällä olisi imuprosessin hyötysuhteen ja energiataloudellisuuden kannalta hyödyllistä sulkea nämä koneet pois imuputkistosta, koska tällä hetkellä imuprosessi imee

vakioteholla koko ajan jokaisesta koneesta, vaikka kaikki koneet eivät imua tarvitsisi. Siispä osan koneista ollessa seis voitaisiin nämä poistaa imuprosessin kuormasta ja säästyisi imutehon tuotossa kuluvaa energiaa. Lisäksi voitaisiin toteuttaa käyttöturvallisuutta parantavia imunohjauksia koneiden huoltojen ajaksi tai prosessin tukkeutumisen suojaksi.

Käytännöllisin toteutustapa olisi sijoittaa kanavistoon kuvan 9 paineilmasynteritoimisia sulkupeltejä, joita olisi helppo ohjata automaattisesti koneiden käyntitiedoilla. Näitä voisi sijoittaa kanavistoon jokaista imusuulaketta edeltävään haaraan, että sillä voitaisiin sulkea yksittäiselle koneelle menevä putkiosuus. Lisäksi olisi luotava puhallinmoottorille automaattinen nopeudensäätö, joka toimisi suhteessa imukanavaan asennettaviin paineantureihin.



Kuva 9. Paineilmatoimisen sulkupellin rakenne valmiiksi kokoonpantuna (17).

Imukanavan ollessa jo valmiiksi noin 60 m:n matkalta imupuhaltimelta ensimmäisille suulakkeille mitoitettu suuremmalle alumiinijätteen määrälle. On riskinsä supistaa suulakkeiden määrää kanaviston imupäästä. Koska kuristamalla kanavistoa vain läheltä imusuulakkeita, voi käydä niin, että imuteho saadaan pienelläkin hyötytyöllä pidettyä riittävän suurena pienemmissä sivuhaaroissa. Mutta imuvirtausten saavuttua niistä pääkanavaan ei niiden summa piisaakaan enää luomaan laajentuneessa kanavassa riittävää virtausvoimaa liikuttamaan alumiinijätteen massaa. Onkin syntynyt imupuhaltimen ja yksittäisten suulakekanavien väliin jäävästä halkaisijaltaan 65 cm olevasta suurimmasta putkiosuudesta ikään kuin painesäiliö, jonka paine riittää luomaan pieneen osaan

imukanavista riittävän suuren imuvirtauksen, mutta ei enää itsessään riitä tästä eteen päin. (5, s. 154; 16 s. 10–11.)

Tästä taas syntyy riski sille, että jätettä alkaa kertymään kanavistoon, jonka seurauksena voi syntyä kanavistoon jopa tukos. Tämän takia imuputkiston ohjaus sulkupelleillä voi olla kannattamaton projekti ja imuvirtauksen vahtiminen virtausanturilla suurimmassa kanavaosuudessa on välttämätön tähän ryhdyttäessä käyttöturvallisuuden säilyttämiseksi.

Koska imukanavisto on suhteellisen suuri ja ulottuu lähes koko alkutuotannon alalle tehtaassa, siihen toteutettavan automaattisen ohjauksen luomisessa on joitakin käytännön haasteita. Ensiksikin instrumenttien ja antureiden pitkät matkat moottorikäyttöä ohjauvalle logiikalle pakottavat käyttämään tehdasverkkoa tiedonsiirtoon. Toiseksi tiedonsiirtoon tehdasverkon kautta liittyy myös riski tiedonsiirron katkeamisesta verkon häiriötilanteissa.

4 Kehityssuunnitelma

Tässä luvussa on tarkoitus käydä läpi tutkimuksen pohjalta suunnitellut ja yrityksen edustajan kanssa päätetyt heti toteutettavat ja/tai vakavasti harkittavat prosessia kehittävät muutokset.

4.1 Toteutettavat muutokset

Seuraavaksi selitetään, mitä toimenpiteitä toteutettavat muutokset pääpiirteittäin käytännössä vaativat.

4.1.1 Taajuusmuuttajan integrointi järjestelmään

Taajuusmuuttajaksi valitaan yleisen mitoituskäytännön mukaan nimellisvirraltaan suurempi kuin sillä käytettävän moottorin nimellisvirta (9, s. 138). Tämän mukaan valitaan yritykselle hankittavaksi ABB:n ACS580-01-145A-4-taajuusmuuttaja. Asennetaan taajuusmuuttaja puhaltimen oikosulkumoottorin sähkönsyöttöön vanhan pehmokäynnistimen tilalle. Käytetään pehmokäynnistimelle tullutta Jamak-kaapelia myös

taajuusmuuttajan ohjauskaapelina ja kytketään se taajuusmuuttajan fyysisiin IO-pisteisiin. Liitetään taajuusmuuttaja ABB:n FENA-21 Ethernet-sovittimen avulla prosessilogiikan laiteverkkoon.

Ohjelmoidaan taajuusmuuttajaan moottorikäytön parametrit sekä kommunikointiyhteyteen vaadittavat laiteverkon tiedot. Luodaan PLC-ohjelmaan Hardware-puolelle taajuusmuuttaja ja kommunikointiyhteys siihen. Tehdään logiikkaohjelmaan pehmoikäynnistimen käyttöohjelman tilalle taajuusmuuttajan käyttöohjelma, jossa määritetään erilaiset halutut käyntitaajuudet ja -ehdot.

4.1.2 Prosessin ohjaus ja säätö

Hankitaan 2 paineanturia ja 1 virtausanturi sekä kuvan 11 mukaisia kanavapeltejä 11 cm:n halkaisijalla 10 kpl ja 23 cm:n halkaisijalla 1 kpl. Asennetaan anturit ja toimilaitteet kanavistoon. Sijoitetaan paineanturit kanavistoon siten, että saadaan mittausdataa erilaisista prosessin kannalta merkittävistä kohdista kanavaa. Sijoitetaan virtausanturi prosessin kannalta kanavavirtauksen kriittisimpään kohtaan ennen imupisteille jakautuvaa haaraa. Anturit täytyy sijoittaa kanavaan niin, että turbulenttinen ilmavirtaus ei aiheuta häiriötä niihin minkään suulakkeen, mutkan tai haaran takia. Kanavapellit asennetaan kanavistoon siten, että ne sulkevat imukanavasta jokaiselle yksittäiselle koneelle menevän haaran. (7, s. 8–10.)

Kaikki anturit ja toimilaitteet kytketään kaapeloinnin kannalta järkevästi lähimpiin tehdasverkossa oleviin vapaisiin IO-pisteisiin. Jokaiselle uudelle IO-pisteelle luodaan logiikkaohjelmiin muuttajat ja siirretään tehdasverkon kautta tarvittavat muuttujatiedot imuprosessin ohjelmoitavaan logiikkaan. Kyseisessä tapauksessa imuprosessin ohjelmoitavan logiikan ja tehdasverkon välisen kommunikointiväylän rajoitteiden takia ei sitä kautta kannata siirtää antureiden analogiatietoja, vaan käsitellään analogiatietoja jossain muussa logiikassa halutulla tavalla ja siirretään ainoastaan digitaalimuuttujia tehdasverkon kautta.

Toteutetaan imuprosessin logiikkaohjelmaan seuraavat ohjaukset prosessin käyttöön, energiansäästöön ja turvallisuuteen liittyen. Ohjataan prosessin käyntiä päälle ja pois tuotannon käyntitietojen mukaan. Kun kaikki imua tarvitsevat koneet ovat olleet 15 min

pois päältä, sammutetaan koko imuprosessi automaattisesti. Kun imua tarvitsevan koneen yrittää startata, lähtee imuprosessi päälle. Vasta kun riittävä imupaine on saavutettu kanavassa, suostuvat koneet vasta käynnistymään.

Tehdään energiansäästöä varten taajuusmuuttajaa ohjaava moottorikäyntinopeutta säättävä ohjelma, joka perustuu paine- ja virtaustietoihin kanavassa. Luodaan ohjelmaan säätöpiiri, joka pyrkii pitämään kanavassa tietyn paineen ja imuvirtauksen säätämällä taajuusmuuttajalla moottorikäytön nopeutta. Ohjataan kanavapeltejä koneiden käyntitiedoilla sulkemaan kanavan osuus, joka ei ole käytössä. Tämä lisää painetta imukanavassa ja on tehokas tapa säästää energiaa yhdessä kanavan paineensäätöohjelman kanssa.

Tehdään logiikkaohjelmaan prosessinkäyttöturvallisuutta merkittävästi parantava ohjelma, joka seuraa kanavan eri mittauspisteiden paine-eroa ja virtausta kanavassa imupuhaltimen ollessa päällä, sekä taajuusmuuttajalta saatavia moottorikäytön tilatietoja. Ohjelma pysäyttää prosessin, mikäli jokin näistä on liian pitkään hälyttävässä tilassa.

4.2 Perustelut

Ytimekkäät perustelut muutos ehdotusten toteutuksille ja niiden pohdinta prosessin kehityksen kannalta.

4.2.1 Oikosulkumoottorin taajuusmuuttajakäyttö

Taajuusmuuttaja on olennainen osa tämän tutkimustyöt tärkeimpään tavoitteeseen pääsemisessä, koska se mahdollistaa suurimman sähköenergiankuluttajan taajuudensäätämisen tilanteen mukaan ja saa sen kuluttamaan sähkövirtaa paljon vähemmän mitä aikaisemmin. Jo pelkästään puhallinmoottorin käyntitaajuutta manuaalisesti säätämällä esim. 80 prosentin nopeussäädöllä ilman minkäänkokoista automatiikkaa, saadaan sähkönkulutuksessa merkittävä noin 50 %:n säästö aikaan (4, s. 37).

Puhallinmoottorikäytön taajuusmuuttajakäyttö vähentää monella tapaa käytössä tapahtuvaa mekaanista rasiutusta ja rajoittaa häiriötilanteissa mahdollisia vikoja ja vaurioita. Esimerkiksi taajuusmuuttajaan helposti käyttöön otettavia ominaisuuksia, jotka

parantavat varmasti moottorikäytön elinikää ovat kuormituksen sykliisyys, käynnistys-, jarrutus- ja kiihdytysramppi. Myös taajuusmuuttajan erilaisten häiriötilanteiden tunnistus kyky sähköteknisistä arvoista mahdollistaa häiriötilanteissa vahinkojen minimoinnin. (18, s. 23, 26–29.)

4.2.2 Prosessin automatisointi

Prosessin automatisointi parantaa paljon energiansäästön mahdollisuuksia luomalla edellytykset ja ympäristön tehdä hienompia aktiivisia säätöjä prosessin käytön ohjaukseen ja tehon säätöön, sekä mahdollisuuden sulkea prosessista pois ylimääräiset kuluttajat. Prosessin automatisointi ja aktiiviset säädöt ovat kuitenkin selvästi energian säästön kannalta pienempiä kehityksiä kuin systeemin aikaisempaan ylimitoitukseen perustuva taajuusmuuttajalla helposti toteutettava passiivinen säätö, joten prosessin automatisoinnin toteutus vaatii enemmän harkintaa.

Vaikka prosessin automatisointi jää energiasäästöissä marginaaliin suhteessa taajuusmuuttajakäyttöön, on syytä vakavasti harkita prosessin automatisointia sillä saavutettavien ominaisuuksien vuoksi. Käyttöturvallisuuden kannalta ja vähintäänkin kanavan paine- ja virtaustunnistuksen perusteella tukkeiden ja häiriötilanteiden havaitseminen kanavistossa puoltaa prosessin automatisointia. Lisäksi odottamattomien tuotantoseisakkeiden takia säästettäisiin vuositasolla joidenkin vuorokausien pituinen aika prosessin sähkönkulutusta automaattisen alasajon takia. Myös henkilöturvallisuus lisääntyy, jos imuprosessi käynnistyisi automaattisesti tuotantokoneen käynnistämällä, koska tämän takia ei tarvitse kävellä trukkialueen läpi prosessin ohjauspaneelille.

5 Kannattavuustarkastelu

Tutkielman lopputulosta tarkastellaan energiatalouden ja investoinnin kannattavuuden näkökulmasta.

5.1 Investointikustannukset

Lasketaan arvioitu kannattavuus kahdelle mahdolliselle variaatiolle prosessin kehityksen toteutuksesta aiemman tutkimuksen pohjalta. Käytetään variaatioille nimityksiä toteutus A ja toteutus B. Ensimmäisessä vaihtoehdossa lasketaan arvio ainoastaan taajuusmuuttajan integroinnille prosessiin, jossa toteutetaan taajuusmuuttajan avulla prosessiin passiivinen säätö.

Taulukko 1. Laskelma hankintakustannuksista toteutuksessa A käytetyille tuotteille.

Määrä	Valmistaja	Malli	Tuotenimi	Hinta
1 kpl	ABB	ACS580-01-145A-4	Taajuusmuuttaja	5 651,31 €
1 kpl	ABB	FENA-21	Ethernet-sovitin	431,60 €
Yhteensä				6 082,91 €

Toisessa vaihtoehdossa lasketaan taajuusmuuttajakäytön lisäksi myös prosessin aktiivisen säädön toteutus automaation avulla nykyiseen järjestelmään. Laskelmissa ei oteta huomioon asennus tarvikkeita ja asennustyötä, jotka sulautetaan yrityksen sisällä muihin budjetteihin.

Taulukko 2. Laskelma hankintakustannuksista toteutuksessa B käytetyille tuotteille.

Määrä	Valmis- taja	Malli	Tuotenimi	Hinta
1 kpl	ABB	ACS580-01- 145A-4	Taajuusmuuttaja	5 651,31 €
1 kpl	ABB	FENA-21	Ethernet-sovitin	431,60 €
10 kpl	Alpatek	AUDR-125	Pneumaattinen sulkupelti	241,40 € x10
1 kpl	IFM	SA4120	Virtausanturi	390,70 €
1 kpl	IFM	SA5020	Virtausanturi	377,60 €
2 kpl	ABB	E43908	Asennusadapteri virtausantureille	49,90 € x2
1 kpl	IFM	PN2599	Paineanturi	458,60 €
1 kpl	ABB	E30063	Laippa-adapteri prosessiantureille	40,00 €
Yhteensä				9 863,61 €

Edeltävissä taulukoissa on eritelty molemmissa investointivaihtoehtoissa tarvittavien komponenttien tärkeimmät tiedot ja yhteenlasketut hankintakulut.

5.2 Energiankulutus

Alumiinijätteenimujärjestelmän energiankulutus nykyisellään koostuu kokonaisuudessaan kolmivaiheisen oikosulkumoottorin suorasta sähkökäytöstä. Moottorin keskimääräinen mitattu vaihevirta normaalissa käytössä on 85 ampeeria, jolla voidaan laskea sähkönkulutus, kun tiedetään moottorin jännite ja tehokerroin. Vuositason energiankulutus on 434 MWh. Laskettu teho symmetrisessä kolmivaihejärjestelmässä Tekniikan kaavaston (19) kaavalla 1:

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (1)$$

A-toteutuksen arvioitu vaikutus energiankulutukseen syntyy taajuusmuuttajalla puhallinmoottorikäyttöön toteutetusta passiivisesta säädöstä. Tässä esimerkkitapauksessa

käytetään 90 %:n eli 45 Hz:n moottorinpyörimisnopeudensäätöä. Keskipakoispuhaltimen tehontarve muuttuu pyörimisnopeuden kuutiossa ja puhaltimen siipipyöräteho on suoraan verrannollinen moottorin sähköenergiankulutukseen. Kun oletetaan lähtötilanteen pyörimisnopeus ja siipipyöräteho ovat puhaltimen mitoitettussa toimintapisteessä. Joten säädön vaikutus vuositason energianenergiankulutukseen, voidaan laskea Puhallinteknisen käsikirjan (4, s. 37) yhtälöllä 2:

$$P_{A2} = P_{A1} (n_2/n_1)^3 \quad (2)$$

Kun yhtälössä alaindeksi 1 kertoo suureen vanhan arvon ja 2 kertoo uuden. Yhtälön avulla laskettu A-toteutuksen vuositason energiankulutus 316 MWh.

Toteutuksen B arvioitu vaikutus energiankulutukseen syntyy taajuusmuuttajalla ja automaatiolla toteutetusta aktiivisesta säädöstä. Tässä esimerkki tapauksessa käytetään keskiarvoltaan 80 %:n eli 40Hz:n moottorinpyörimisnopeudensäätöä. Otetaan vuositason energianlaskennassa myös huomioon koneiden kahden viimevuoden käytitietoihin perustuva kerroin 0,94. B-toteutuksen vuositason energiankulutus on 209 MWh aikaisempaa menetelmää käyttäen ja lisäämällä siihen koneidenkäyntikerroin.

5.3 Takaisinmaksuaika

Arvioidaan investoinnin kannattavuutta taikaisinmaksuajan laskentamenetelmällä, koska se on järkevä tapa arvioida lyhyen aikavälin investointeja, varsinkin jos investoinnista ei koidu liiketoiminnalle suurta riskiä. Investointia pidetään kannattavana, jos takaisinmaksuaika on lyhyempi kuin etukäteen määritelly hyväksyttävä takaisinmaksuaika. Tässä investoinneissa keskeisin takaisinmaksuaikaa määrittävä tekijä on komponenttien elinkaari ja yleisesti hyvänä pidetty 5. vuoden takaisinmaksuaika antaa tässäkin hyvin suuntaa. Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 3:

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{alkuinvestointi}}{\text{vuotuinen tuotto}} \quad (3)$$

Sähkön hinta yhtiölle tämän hetken sopimuksen mukaan on 60 eur/MWh. Järjestelmän nykyisestä vuositason energiankulutuksesta syntyy siis yhtiölle maksettavaa 26 040 euroa.

A-toteutuksen arvioidusta vuositasonenergiankulutuksesta syntyisi yhtiölle maksettavaa 18 960 euroa. Vuotuinen tuotto olisi siis 7080 euroa. Takaisinmaksuaikaa tulisi tälle vaihtoehdolle siis 0,86 vuotta.

B-toteutuksen arvioidusta energiankulutuksesta syntyisi yhtiölle maksettavaa vuositasolla 12 540 euroa. Vuotuinen tuotto olisi siis 13 500 euroa. Takaisinmaksuaikaa tulisi tälle vaihtoehdolle siis 0,73 vuotta.

6 Yhteenveto

Tutkimus oli todella antoisa yritykselle, tekijälle ja avustajille. Sitä tehdessä ja sen lopputuloksen ansiosta selvisi monille aivan uusia asioita yleisesti tekniikasta ja prosessin toiminnasta. Tutkimus oli etenkin hyödyllinen yritykselle, jolla oli vähäiset tiedot prosessin kehityksen mahdollisuuksista ja sitä rajoittavista muuttujista.

Yritys oli tutkimustyöhön tyytyväinen ja jopa yllättyi energiasäästöjen suuruudesta. Pelkällä taajuusmuuttajan lisäämisellä järjestelmään energiasäästöt laskivat tutkimuksen mukaan noin 30 % ja kokokehityssuunnitelman toteutuksella jopa 50 %. Investoinnin takaisinmaksuaika molemmissa tapauksissa on alle vuosi, jonka jälkeen kaikki siitä saatava hyöty on yrityksen eduksi. Tutkimustyön jälkeen yritys alkoi heti määrätietoisesti toteuttamaan kehityshanketta.

Joten voidaan katsoa, että tutkimus oli onnistunut ja tavoitteisiin päästiin. Vaikka tietoa joistain järjestelmästä löytyneistä ongelmista harmittaa, voidaan silti sanoa tutkimuksessa selvinneiden kehitysmahdollisuuksien vievän voiton ja kehityssuunnitelman olevan kannattava.

Lähteet

- 1 Ball vision drive for 10. 2019. Verkkoaineisto. Ball Beverage packaking Oy. <<https://www.ball.com/eu/vision/drive-for-10>>. Luettu 4.3.2023.
- 2 Detailed information for: 3GBP252031-ADG. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/products/3GBP252031-ADG/3gbp252031-adg>>. Luettu 20.11.2022.
- 3 ABB: Tekninen opas no 7. 2001. Verkkoaineisto. ABB Industry Oy. https://library.e.abb.com/public/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/Tekninen_opasnro7.pdf. Luettu 22.1.2023.
- 4 Puhallintekninen käsikirja. 1986. Turku: Ilmateollisuus Oy.
- 5 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 2. Tampere: Tammerprint.
- 6 Tuotokuva. Verkkoaineisto. Suomenimurikeskus. <<https://suomenimurikeskus.fi/pages/fi/laitteet/puhaltimet-ja-pumput/keskipakopuhaltimet.php>>. Luettu 25.1.2021
- 7 Rinne, Juuso. 2015. Ilmastointijärjestelmän virtausmittaukset rakennuslaboratoriossa. Insinööriyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 8 Sanberg, Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 1. Tampere: Tammerprint.
- 9 Hietalahti, Lauri. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Amk-kustannus oy Tammermekniikka. 2013
- 10 Puhaltimen vaihto. 2015. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/1f386895-bcf5-4535-81ef-5ec0a8b4f6b3?analytics=3>>. Luettu 21.1.2023
- 11 Hietalahti, Lauri. 2012. Säädetty sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammermekniikka.
- 12 Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Otatieto.
- 13 Partanen, Jussi-Pekka. 2011. Taajuusmuuttajakäytön hyödyt käytössä olevissa ilmanvaihtokoneissa. Insinööriyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta

- 14 ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18. Sähkömoottorikäytöt. <https://heikki-laakso.com/opetus/abb/180_0007.pdf>. Luettu 24.4.2023.
- 15 PSK 2401. Putkiston virtausnopeudet. 2009. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- 16 Stefania, Aspholm-Tsironi. 2019. Kaasulinjan painehäviön laskentamalli. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Tuotokuva. Verkkoaineisto. Olsa Ay. <<https://olsa.fi/collections/automaatti-sulkupellit/products/pneumaattinen-sulkupelti-125-mm>>. Luettu 27.4.2023
- 18 ABB: Tekninen opas no 4. 2001. Verkkoaineisto ABB Industry Oy. <https://library.e.abb.com/public/32f0404329db7689c1256d2800411f0a/Tekninen_opas_nro4.pdf>. Luettu 24.4.2023.
- 19 Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2005. Tekniikan kaavasto. Tampere: Tammertekniikka.