



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

RIKU KOSKIMÄKI

Syöttöruuvin konstruktion kehittä- minen energia-alan yritykselle

TUOTANTOTALOUDEN JA -TEKNIIKAN TUTKINTO-OH-
JELMA
2022

Tekijä(t) Koskimäki, Riku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä joulukuu, 2022
	Sivumäärä 45	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Syöttöruuvien konstruktion kehittäminen energia-alan yritykselle		
Tutkinto-ohjelma Tuotantotalouden ja -tekniikan insinööri		
Tiivistelmä <p>Työn toimeksiantajana toimi Raumaster Oy, joka on erikoistunut materiaalinkäsittelyjärjestelmien suunnitteluun ja valmistamiseen, voimalaitoksiin ja puunjalostuslaitoksiin.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin uudella konstruktiolla valmistettua rikinsyöttöruuvia. Tutkimuksella tavoiteltiin testituloksia syöttöruuvien kapasiteetista, ja sen nousukulman vaikutuksesta kapasiteettiin. Opinnäytetyön aikana kehitettiin uudella rakenteella valmistetun rikinsyöttöruuvien rakennetta toimintavarmuuden parantamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa keskityttiin voimalaitoksien rikinsyöttöprosessiin, ruuvikuljettimen esittelyyn yleisesti ja ruuvikuljettimen mitoittamisen teknisiin periaatteisiin, joita suunnittelussa on otettava huomioon. Työn toiminnallisessa osuudessa testattiin rikin lepokulmaa ja syöttöruuvien kapasiteettia sekä esiteltiin nousukulman sekä kapasiteetin testimenetelmät. Kapasiteettia testattiin rikkigranulaatilla ja rikkiplastilla.</p> <p>Työn tuloksena saavutettiin valmistuskustannuksiltaan edullisempi ja toimintavarma rikinsyöttöruuvi, joka soveltuu laajalle kapasiteettialueelle rakenteensa ansiosta. Kapasiteettia ja nousukulman vaikutusta kapasiteettiin analysoitiin testituloksista muodostettujen kuvioiden pohjalta. Analyysillä annettiin pohja kuljettimien tulevaisuuden suunnittelulle.</p> <p>Opinnäytetyön loppuun listattiin tulevaisuuden kehitysehdotuksia syöttöruuville sekä yhteenveto opinnäytetyöstä.</p>		
Avainsanat Tuotekehitys, ruuvikuljetin		

Author(s) Koskimäki, Riku	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December, 2022
	Number of pages 45	Language of publication: Finish
Title of publication Feeding screw conveyor construction development for energy industry company		
Degree programme Industrial management and technology		
Abstract <p>The client of the thesis was Raumaster Oy, which specializes in designing and manufacturing material handling systems for power plants and wood processing plants.</p> <p>In the thesis a sulfur feeding screw, which was made with new construction, was researched. The objectives of the research were to get test results about screw feeders capacity and about the influence of conveyors incline angle on capacity. During the thesis work screw feeders construction was developed to ensure reliability of the conveyor.</p> <p>The theoretical part of the thesis focuses on power plants sulfur feeding process, introducing screw conveyor at a general level and on the technical side of dimensioning screw conveyor, which must be considered during the designing. On the functional part of the thesis work sulfurs' angle of repose and screw feeders capacity was tested. Capacity was tested with sulfur granulate and sulfur pastille.</p> <p>The outcome of thesis work was screw feeder, which is both less expensive by its manufacturing cost and more reliable. It also applies to a wide capacity range. The capacity and incline angles influence on capacity was analyzed based on charts made from the test results. The analysis provided the basis of future design of screw feeders.</p> <p>Future development proposals for the screw feeder and a summary of the thesis were listed at the end of the thesis.</p>		
Keywords Product development, screw conveyor		

ALKUSANAT

Haluan kiittää toimeksiantajaani Raumaster Oy:tä mahdollisuudesta suorittaa opinnäytetyö heidän yrityksellensä sekä erityisesti yrityksen henkilöitä, jotka tarjosivat ammattitaitonsa avuksi tuotekehitysprojektissa. Kiitos.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
1.1 Yleistä	9
1.2 Opinnäytetyön rajaukset.....	10
2 RAUMASTER OY	10
3 TUTKIMUSMENETELMÄ	10
3.1 Toiminnallinen opinnäytetyö	11
3.2 Tutkimuksen luotettavuus	12
4 RIKIN SYÖTTÄMINEN KATTILAAN.....	13
4.1 Rikki.....	13
4.2 Kuumakorrosio.....	14
4.3 Syötettävän rikin määrä.....	15
5 RUUVIKULJETTIMET	15
5.1 Yleisesti.....	15
5.2 Ruuvikuljettimen osat	17
5.3 Runko	17
5.4 Ruuvikierukka	18
5.5 Päädyt ja laakerointi	20
5.6 Käytettävä koneisto	21
5.7 Tiivistys.....	22
5.8 Tulo- ja poistoaukko sekä turvalaitteisto	22
6 KULJETINRUUVIN MITOITTAMINEN	23
6.1 Kapasiteetti ja täytösaste	23
6.2 Massavirta	24
6.3 Käyttöteho	25
6.4 Vääntömomentti	26
6.5 Lepokulma.....	26
7 RIKIN OMINAISUUKSIEN TESTAAMINEN	27
7.1 Kuljettimelle syötettävä rikki.....	27
7.2 Lepokulman testaaminen	29
8 PROTOTYYPPIEN ESITTELEMINEN	31
9 TESTIEN TOTEUTTAMINEN.....	32
9.1 Testien tavoite	32
9.2 Testiympäristö.....	33
9.3 Testiaineiston keräysmenetelmät	33
9.4 Testauksen rajoitteet.....	34

10 KEHITYSTOIMENPITEITÄ JA HAVAINTOJA TESTEISTÄ.....	34
11 TESTAUSTULOSTEN ESITTELY.....	36
12 KAPASITEETIN ANALYSOINTI.....	39
13 TULEVAISUUDEN KEHITYSEHDOTUKSET.....	40
14 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	41
LÄHTEET	
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Q_v	Kapasiteetti [m^3/h]
D	Kierteen ulkohalkaisija [m]
d	Kierteen sisähalkaisija [m]
S	Kierteen nousu [m]
n	Pyörimisnopeus [1/min]
φ	Täytösaste [%]
Q_m	Massavirta [kg/h]
P_k	Käyttöteho [kW]
L	Tehollinen siirtomatka [m]
H	Materiaalin pystysuuntainen siirtomatka [m]
η	Hyötysuhde [%]
f	voimakerron
f_l	Pituuskorjauskerron
f_v	Etenemiskerron
f_s	Suppilon lisäkuormakerron
n_2	Toisioakselin kierrosnopeus [1/min]

T_2 Toisioakselin vääntömomentti [Nm]

P_1 Ensiöakselin laskettu teho [kW]

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Työn aiheena on rikinsyöttöruuvien kehittäminen. Rikinsyöttöjärjestelmien tarve on kasvanut Suomessa, koska turve luokiteltiin uusiutumattomaksi luonnonvaraksi. Syötämällä rikkiä sisältävää turvetta polttoaineen mukana energialaitoksen lämpökattilaan, voitiin torjua kattilassa esiintyvää korroosiota. Kiellon seurauksena, turpeesta saatu rikki on korvattava suoraan kattilaan syötettävällä rikillä tai polttoaineella, joka sisältää rikkiä. Opinnäytetyössä keskitytään puhdasta rikkiä polttoaineen sekaan syötävän ruuvikuljettimen tutkimiseen sekä kehittämiseen.

Yrityksen aikaisemmin valmistetuissa rikinsyöttöruuveissa ongelmia on aiheuttanut rikin jauhaantuminen, kapasiteetin vaikea ennustettavuus sekä vaatimuksiin nähden raskas rakenne. Vaadittu kapasiteetti on rikinsyöttämisessä pieni. Pieni kapasiteetti hankaloittaa kuljettimen suunnittelemista, koska rakenteesta tulee helposti liian raskas, jolloin se on kalliimpi valmistaa. Lisäksi kapasiteettia on hankala ennustaa, koska rikinsyöttöruuveja ei ole testattu tarpeeksi. Ruuvikuljetin ei myöskään saisi jauhaa materiaalia pieniksi partikkeleiksi, koska se lisää räjähdysvaarallisen rikin ja ilman seoksen todennäköisyyttä.

Työssä testataan uudella rakenteella suunniteltua rikinsyöttöruuvia. Rikinsyöttöruuvia pyritään kehittämään sellaiseksi, että siitä voitaisiin vähäisillä toimenpiteillä muokata useisiin rikinsyöttöjärjestelmiin sopiva. Työ sisältää ruuvikuljettimen suunnittelun kannalta olennaista teoriaa, uuden kuljettimen toiminnallista testaamista sekä kehittämistä, laskennallisten kapasiteetin arvojen testaamista käytännössä sekä kapasiteetin vaikuttavien ominaisuuksien analysoimista.

1.2 Opinnäytetyön rajaukset

Opinnäytetyössä ei keskitytä testaamista edeltäneeseen ruuvikuljettimen suunnittelu- vaiheeseen. Opinnäytetyössä ei myöskään keskitytä tarkkailemaan ruuvikuljettimen pitkän ajan mekaanista kestävyyttä sekä toimivuutta, koska sen käytännön tarkasteleminen kestäisi vuosia. Teorettinen osuus opinnäytetyössä ei käsittele kaikkia ruuvikuljettimen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, mutta olennaisimmat osat suunnittelusta sekä toiminnallisiin testeihin vaikuttavista tekijöistä on esitelty.

2 RAUMASTER OY

Raumaster Oy on vuonna 1984 perustettu yritys. Yritys suunnittelee ja valmistaa erilaisia raskaan teollisuuden materiaalienkäsittelyjärjestelmiä globaalisti. Materiaalit vaihtelevat laajasti projektikohtaisesti. Yleisimpiä käsiteltäviä materiaaleja ovat erilaiset kattilan polttoaineet, tuhka, puu sekä hake. Raumasterilla on Suomessa kaksi toimipistettä, jotka sijaitsevat Raumalla ja Ylöjärvellä. Yhtiöön kuuluu lisäksi Raumaster Paper Oy, joka suunnittelee rullankäsittelyjärjestelmiä Suomessa. Yhtiöllä on myös ulkomaan toimipiste Raumaster AB, joka sijaitsee Ruotsissa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2021 oli yli 100 miljoonaa euroa. (Asiakastieto, n.d.; Raumaster Oy, n.d.)

3 TUTKIMUSMENETELMÄ

Opinnäytetyössä sovelletaan konstruktivistista tutkimusotetta. Konstruktivistisen tutkimuksen tarkoituksena on yhdistää teoriaa sekä käytäntöä ja luoda niiden avulla uusi ratkaisu tosielämän ongelmaan. Konstruktivistisen tutkimuksen avulla voidaan luoda esimerkiksi malleja, suunnitelmia tai kaupallisia tuotteita. Tyypillistä näille konstruktiolle on, että niitä ei löydetä, vaan ne keksitään ja niitä kehitetään. Konstruktivistisen tutkimuksen päätavoitteena on luoda yritykselle uusi konstruktiio teorian pohjalta,

testata kyseinen konstruktio sekä analysoida prosessin onnistuminen. (Lukka, 2003, s.83–101.)

3.1 Toiminnallinen opinnäytetyö

Toiminnallisessa opinnäytetyössä on tarkoituksena hyödyntää kokemuksia ja toiminnan mukana syntyvää tietoa. Tämän tiedon kohtaamme arjessa ja vapaa-ajalla sekä työn aikana. Haasteellisinta toiminnallisessa opinnäytetyössä on löytää tiedonkäsitys, joka vastaa parhaiten omaa-alaa. Toiminnallisen tiedonkäsitys on tärkeä yhä useammilla aloilla erityisesti niillä, joissa sovellettavuus, käytännöllisyys ja taidot on nostettu keskeisiksi. Toiminnallisen opinnäytetyö vastaa sekä käytännöllisiin, että teoreettisiin tarpeisiin, sillä kerätty yhteinen kokemus saattaa nousta myös teoreettisemman tarkastelun kohteeksi. (Airaksinen & Vilka, 2003, s. 7–8.)

Toiminnallisen opinnäytetyön pyrkimyksenä on ammatillisen teoreettisen tiedon ja ammatillisen käytännön yhdistäminen, kyky pohtia alan teorioita ja hyödyntää niistä nousevia käsitteitä kriittisesti käytännön ratkaisuissa sekä pyrkiä niiden avulla kehittämään oman alan ammatillista kulttuuria. Toiminnallisessa opinnäytetyössä hyödynnetään alan teorioista nousevaa tarkastelutapaa valintoihin ja perustellaan valintoja teoriaan pohjautuen. Usein ajallisesti ei ole mahdollista toteuttaa toiminnallista opinnäytetyötä koko teorian näkökulmasta, vaan teoria rajataan valittuihin keskeisiin käsitteisiin. (Airaksinen & Vilka, 2003, s. 41–43.)

Tämän opinnäytetyön aikana teoreettista viitekehystä hyödynnetään erityisesti tulosten analysoimisessa sekä tulevaisuuden kehitysehdotuksia arvioitaessa kuljettimelle. Kuljetinruuvien mitoittamiseen liittyvää teoriaa tarvitaan tulosten analysointiin, jotta voidaan verrata yleisellä tasolla oletettua teoreettista tulosta verrattuna käytännön testeistä saatuihin tuloksiin. Toiminnalliselle opinnäytetyölle ominaista käytännön kokemusta kerätään tehtävien testien aikana. Käytännön kokemusta hyödynnetään opinnäytetyön aikana tehtävässä kehitystyössä. Käytännön kokemuksen avulla saadaan lisäksi luotettavat kapasiteetti testitulokset, jotka ovat osa opinnäytetyön tavoitetta.

3.2 Tutkimuksen luotettavuus

Mittaustuloksissa esiintyy aina satunnaista vaihtelua, jonka lähdettä ei voida tunnistaa. Mittaustuloksiin vaikuttaa tutkimuksen laadun mukaan mittauslaitteistosta, mittaustilanteesta ja tutkijasta aiheutuvia virheitä, joita kutsutaan satunnaisvirheiksi. Mittareihin ja laitteistoihin liittyy erilaisia epätarkkuustekijöitä, eivätkä ne aina toimi täydellisesti. Tarkkuutta vaatii myös mitattavan kohteen määrittely. Epätarkka ja huono määrittäminen aiheuttaa mittaustulosten käytettävyyden heikkenemistä. (Nummenmaa, 2021, s. 499.)

Tutkimuksissa kerätyistä aineistoista voidaan havaita kahdentyyppistä vaihtelua. Systemaattinen vaihtelu liittyy ilmiöön aineistossa, joka ei välttämättä ole ennalta tunnettu. Systemaattista vaihtelua aiheuttaville mekanismeille on ominaista, että niitä voidaan tunnistaa kerätystä aineistosta ja niiden vaikutusta kerättyyn aineistoon voidaan vähentää. Paljastuvat yhteydet eivät kuitenkaan yleensä ole täsmällisiä. Systemaattista vaihtelua ei voida koskaan huomioida täydellisesti, koska vaihteluun liittyy aina satunnaisvaihtelu. Satunnaisvaihtelu tarkoittaa mittausaineistossa esiintyviä virheitä, jotka johtuvat tuntemattomista tekijöistä. Satunnaisvaihtelun aiheuttajille on ominaista, että niitä ei voida kontrolloida. (Nummenmaa, 2021, s. 499.)

Tutkimuksen validiteetista eli pätevydestä puhuttaessa tarkoitetaan tutkimusmenetelmän tai mittarin kykyä mitata asiaa, mitä tutkimuksen tarkoituksena oli tarkoituksenaan mitata. Systemaattisia virheitä ei saisi olla pätevässä tutkimuksessa. Pätevä tutkimus vaatii mittarien ja aineiston keruu menetelmien huolellista suunnittelua sekä tutkimukseen liittyvien käsitteiden ja muuttujien tarkkaa määrittelyä. Pätevässä tutkimuksessa mittari tulee suunnitella niin, että se vastaa koko tutkimusongelmaan. (Vilka, 2015, luku 7, kohta määrällisen tutkimuksen arviointi.)

Tutkimuksen reliabiliteetista eli luotettavuudesta puhuttaessa tarkoitetaan tulosten tarkkuutta eli mittaustulosten toistettavuutta ja niiden kykyä antaa ei sattumanvaraisia tuloksia. Tutkimustuloksen tulisi olla siis samanlainen riippumatta tutkijasta, ajasta ja paikasta. Reliabiliteetti on siis tutkijan näkökulmasta mittausvirheiden määrän vaikutuksen arvioimista. (Vilka, 2015, luku 7, kohta määrällisen tutkimuksen arviointi; Nummenmaa, 2021, s. 500.)

Reliabiliteetti ja validiteetti muodostavat yhdessä tutkimuksen kokonaisluotettavuudella mittarin. Hyvälle tutkimukselle on ominaista, että mittaamisen satunnaisuus on minimoitu, näin kokonaisluotettavuus tutkimukselle on parempi. Satunnaisvirheet voivat heikentää tutkimuksen luotettavuutta. Ilmenevien satunnaisvirheiden vaikutus ei tutkimus tuloksen kannalta ole välttämättä kovin merkittävä. Tutkimuksen kannalta on kuitenkin tärkeintä ottaa kantaa satunnaisvirheisiin. (Vilkka, 2015, luku 7, kohta määrällisen tutkimuksen arviointi.)

4 RIKIN SYÖTTÄMINEN KATTILAAN

4.1 Rikki

Rikillä on erittäin matala lämmön- ja sähkönjohtokyky, joten rikki saattaa muodostaa voimakkaan staattisen sähkövarauksen esimerkiksi prosessoinnin tai kuljettamisen aikana. Rikkiä voidaan kuljettaa sekä varastoida kiinteässä muodossa, jauheena tai rakeena. Yleensä rikkiä kuljetetaan sulassa muodossa. Rikin yleisimmät käyttökohteet ovat rikkihapon sekä rikkioksidin valmistuksessa. Rikki on helposti syttyvä, palava aine, jonka pöly voi muodostaa syttyvän seoksen ilman kanssa. Rikki on siis pölyräjähdysvaarallista, jos sitä käsitellään jauhemaisessa muodossa. (Työterveyslaitos, 2021, kohta 1.)



Kuva 1. Rikki jauhemuodossa (Shutterstock, 2022)

4.2 Kuumakorrosio

Kuumakorrosiolla tarkoitetaan usein kloorikorrosiota, jota aiheutuu savukaasujen sisältämästä sulana esiintyvistä lentotuhkasta. Sulalentotuhka tarttuu kattilan lämmönvaihdinpinnalle aloittaen tuhkan alla olevan pinnan syövyttämisen kloridien avulla. Jos lentotuhkassa sulan määrä kasvaa merkittäväksi, saattaa aiheutua esimerkiksi riippuvien tulistinten syöpymistä katastrofaalisella korroosiomekanismilla. Tällöin tulistinten korroosionopeus on pahimmillaan useita millimetrejä vuodessa. Ongelmana on sulan korroosiotuotteen valuminen pois lämmönvaihdinten pinnalta, näin teräs paljastuu ja on taas alttiina uudelle tuhkahyökkäykselle. (Klarin, 2009, s. 27.)

Kattilassa kloori- tai kloridikorroosion estämiseksi on otettava huomioon polttoaineseoksessa olevien rikin ja kloorin välinen moolisuhde (S/CL). Tämän uskotaan olevan mitta kloorikorroosion riskistä. Tarvittavaa moolisuhdetta on tutkittu useissa tutkimuksissa, mutta tulokset ovat olleet toisistaan poikkeavia. Joissain tutkimuksissa oikeaksi moolisuhteeksi on arvioitu yli 2, mutta osassa taas vaikutusta kuumakorrosioon ei ole havaittu. Kloorikorrosiota esiintyy yleisimmin soodakattiloissa, mutta lisäksi myös hiilivoimalaitoksissa sekä jätteenpolttolaitoksissa. (Klarin, 2009, s. 27; Ahlers ym., 2004, s. 157.)

Rikin (S) tarkoitus prosessissa on estää pelättyjen natrium- sekä kaliumkloridien (NaCl, KCl) esiintyminen lentotuhkassa. Tämä tapahtuu polttoaineen rikin hapettuessa kattilan savukaasuun rikkioksidiksi (SO₂), joka reagoi alkalikloridien kanssa vapauttamalla suolahappoa (HCl) savukaasuun. Samalla prosessissa muodostuu neutraalia sulfaattia natrium- tai kaliumsulfaattia (K₂SO₄, Na₂SO₄). (Klarin, 2009, s. 27; Nielsen ym., 1999, s. 1118–1120.)

4.3 Syötettävän rikin määrä

Korroosion minimoimiseksi kattilan tulistinalueella kattilan toimittajat suosittelevat, että polttoainesekoitus sisältäisi pienen määrän rikkiä. Kattilaan puun mukana syötetty turve sisälsi rikkiä, joka ehkäisi kattilan korroosiota pienissä määrin syötettynä. Tyyppillisesti voimakattilat tarvitsevat korroosion estämiseksi noin 20–30 % turvetta tai samassa suhteessa rikkiä sisältävää polttoainetta. (Patronen, 2020, s. 11.)

Pelkkää biomassaa tai puuta syötettäessä kattilan vaatimukset tarvittavan rikin määrälle on haasteellista toteuttaa. Suurin osa erilaisista biomassoista sisältää noin 0,01–0,10 % prosenttia rikkiä sen alkuainepitoisuudesta, kun taas puu yleensä noin 0,05 %. Voimakattilaan syötettävä rikin alkuainepitoisuus kuivassa jysinturpeessa on 0,22 % ja palaturpeessa 0,18 %. Kokonaispolttoainekulutuksen biomassan tai puun rikkipitoisuutta on siis haastava nostaa kattilassa tarvittavalle tasolle ilman erillistä rikinsyöttöä. (Alakangas ym., 2016, S. 56 & s.122.)

5 RUUVIKULJETTIMET

5.1 Yleisesti

Ruuvikuljetin soveltuu erilaisten aineiden syöttämiseen eli annosteluun, siirtämiseen, sekoittamiseen tai hallittuun purkamiseen kapasiteetin suhteen esimerkiksi siilosta. Ruuvikuljettimia käytetään yleensä muutaman metrin matkoista kymmeneen metriin. Pituus voi olla myös useita kymmeniä metrejä, jos kuljettimet liitetään välilaakeroinnilla toisiinsa. Pitkien kuljettimien välilaakerointi saattaa aiheuttaa materiaalitukoksia kuljettimeen, joten tämä ei ole kovin suosittu menetelmä. Ruuvikuljettimilla on oma käyttäjäkuntansa teollisuudessa, yksinkertaisen ja suljetun rakenteensa ansiosta. Kuljettimia käytetään teollisuudenaloilla, kuten kemianteollisuudessa, rehuteollisuudessa ja yleisesti prosessiteollisuudessa. (Koivisto, 2018, s. 64.)

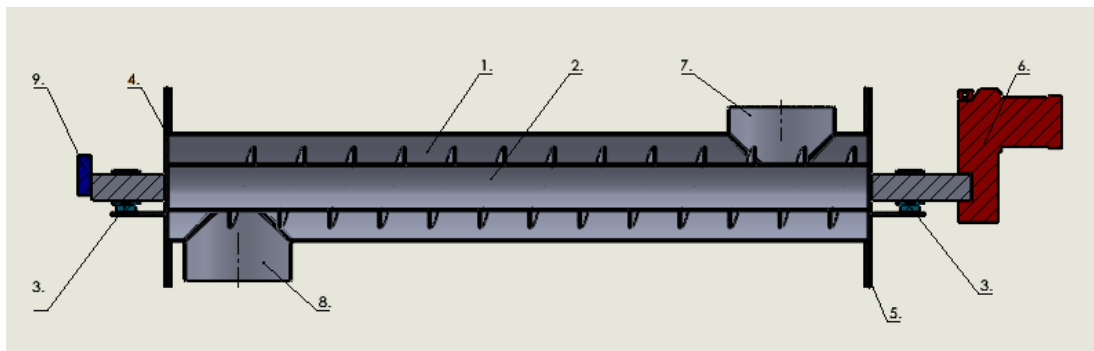
Ruuvikuljetinta voidaan käyttää erilaisilla nousukulmilla, mutta pyörimisnopeuden tulee olla suurempi nousukulman kasvaessa. Tämä johtuu materiaalin valumisesta. Mitä

suurempi on materiaalin valuma ja mitä enemmän nousukulmaa kuljettimella on, sitä enemmän kuljettimelta vaaditaan pyörimisnopeutta, jotta pysytään halutussa syöttökapasiteetissa. Pyörimisnopeuden ja kulman noustessa myös tehon tarve kuljettimen moottorissa kasvaa. Nousevalla ruuvikuljettimella kierteen nousua tulisi myös pienentää, jotta kierukan pyörimisliikkeen työntö-/vetovoima on riittävä. (Koivisto, 2018, s. 64.)

Ruuvikuljettimen etuja ovat sekä suljettu- että tiivisrakenne. Nämä mahdollistavat pölyävien ja kosteiden materiaalien käsittelymisen. Lisäksi kuljetin on yksinkertaisen suljetun rakenteensa ansiosta myös turvallinen. Materiaalin fysikaalisilla ominaisuuksilla on tärkeä merkitys ruuvikuljettimen suunnittelussa. Fysikaalisia vaikuttavia ominaisuuksia ovat kappalekoko, ominaispaino, tarttuvuus ja valuvuus. (Koivisto, 2018, s. 64.)

Siirtoruuvit sekä annostelu- eli syöttöruuvit ovat yksiruuvisia. Täytösasteen ja kapasiteetin hallitsemiseksi ruuvit suunnitellaan yleensä nousevakierteisiksi. Tällöin materiaalin hallitsematon tilavuusvirta voidaan purkaa hallitusti. Hallitsematon tilavuusvirta esiintyy tavaran tippuessa suoraan siilosta kuljettimelle eli kuljetin on jatkuvasti täynnä materiaalia. Kapasiteetin mitoittaminen käyttötarkoitukseen sopivaksi tapahtuu yleensä kierteen nousua, täytösastetta tai pyörimisnopeutta säätämällä. Käytön aikana tarvittavaa kapasiteetin säätöä voidaan suorittaa taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttaja on moottoriohjain, jonka avulla voidaan säätää sähkömoottorin tehonsyötön taajuutta sekä jännitettä. Käytännössä tämä tarkoittaa moottorin nopeuden säätämistä halutuksi. Sähkömoottorin nopeuden lisäksi taajuusmuuttajalla voidaan rajoittaa esimerkiksi vääntömomenttia ruuvikuljettimissa. (Koivisto, 2018, s. 64.; Danfoss, n.d.)

5.2 Ruuvikuljettimen osat



Kuva 2. Ruuvikuljettimen pääkomponentit (kuva: Riku Koskimäki)

1. Runko
2. Kierukka
3. Laakeri
4. Vapaapäätty
5. Käyttöpäätty
6. Käytettävä koneisto
7. Tuloaukko
8. Poistoaukko
9. Turvalaitteisto

5.3 Runko

Ruuvikuljettimen runko valmistetaan taivutetusta kourusta tai valmiista standardi kokoisesta putkesta. Kouru on poikkileikkaukseltaan U-muotoinen, jonka päälle liitetään pulteilla kannet. Kansien ansiosta huoltaminen helpottuu ja vaikeasti liikkuvien materiaalien ruuvikuljettimia voidaan puhdistaa poistamalla kannet. Putkirunko on suljettumpi vaihtoehto. Putkirunko on edullinen valmistaa ja se soveltuu kevyille ja helposti liikkuville materiaaleille. Putkirunko vaikeuttaa huoltotoimenpiteiden ja puhdistuksen suorittamista, joten helposti tukoksia aiheuttaville materiaaleille putkirunkoa ei suositella. Runko valmistetaan yleensä 3–6 mm vahvuisesta teräslevystä tai putkesta. Teräslaatuina yleensä S235, S355, AISI 304 tai AISI 316. (Koivisto, 2018, s. 67.)

Ruuvikuljettimen runko voidaan teräksen lisäksi valmistaa erilaisista muoveista. Taipuisasta muovista valmistettu runko yhdessä akselittoman ruuvin kanssa mahdollistaa ruuvin kääntämisen erilaisiin nousukulmiin kuljettavalla matkalla. Taipuisalla ruuvikuljettimella voidaan säästää tilaa sekä lisäksi kuljettimen moottorille ja pudotusaukolle mahdollistetaan rungolla erilaiset asennuspaikat. (Iqsdirectory, n.d.)

5.4 Ruuvikierukka

Kierukan avulla suoritetaan kuljettimella tapahtuva siirto tai muu haluttu toiminta. Ruuvikierukka koostuu akseleista, keskiputkesta ja kierukasta keskusputken ympärillä. Kierukan nousu suunnitellaan käyttötarkoituksen mukaan, jos materiaali tippuu siilosta suoraa kuljettimelle, pudotusaukko on pitkä ja täytösaste on tuloaukolla tasan yksi. Materiaalin tasaisen jakautumisen aikaansaamiseksi kierteen nousu suunnitellaan kasvavaksi. Kasvavalla kierteellä saadaan materiaalin kapasiteetti tuloaukolla tasaiseksi. Kierteen rakenteen valintaan vaikuttaa eniten materiaalin ominaisuudet. Tavanomainen materiaalin siirto kuivalla ja hyvin liikkuvalla materiaalilla tapahtuu umpikierteellä. Umpikierteen valmistetaan valsaamalla lattanauhasta tai kierrerenkaat polttoleikataan teräslevystä. (Koivisto, 2018, s. 69.)

Sekoituskäytössä käytetään avokierrettä tai kierre korvataan ns. meloilla, jotka säädetään materiaalin liikkumisen kannalta sopiviksi. Hyvin kevyille aineille ja erikoistapauksiin voidaan valmistaa ruuvikierukka ilman keskusputkea. (Koivisto, 2018, s. 65.)

Spiraaliruuviksi kutsuttu akseliton ruuvikuljetin on valmistettu yhdestä tai useammasta teräslatasta. Koska spiraalissa ei ole keskusputkea, makaa se kaukalon tai putken pohjassa olevan muovisen tai teräksisen kulutusvuorauksen päällä. Akselittomuus mahdollistaa erittäin pitkien matkojen kuljettamisen ruuvilla. Akselittoman ruuvin pituus voi olla jopa 50–60 metriä. Jyrkemmällä nousukulmilla sekä pysty kuljetuksella voidaan kuljettaa 20–25 metriä. (Kapotek, n.d.)

Spiraaliruuvikuljetin voidaan valmistaa kapasiteetti välille 2–500 m³/h. Akselittomia kuljettimia käytetään sahanpurun, pelletin, muovijätteen, jauhemaisten sekä raemais-
ten aineiden kuljettamiseen. (Kapotek, n.d.)



Kuva 3. Ruuvikuljetin avokierteellä (Kapotek, n.d.)

Spiraaliruuvikuljettimen avokierre voidaan valmistaa erilaisen profiilin omaavista teräksistä. Kuvassa 4 oikealla spiraali on valmistettu pyörötangosta ja kaksi oikeanpuoleista erilaisista lattatangoista. Erilaisilla avokierre vaihtoehdoilla voidaan vaikuttaa kuljettimen kapasiteettiin. Materiaalin ominaisuudet vaikuttavat myös kierteen valintaan. (Iqsdirectory, n.d.)



Kuva 4. Erilaisia vaihtoehtoja spiraaliruuvikuljettimen profiilin valitsemiseen (Spiriflow, n.d.)

5.5 Päädyt ja laakerointi

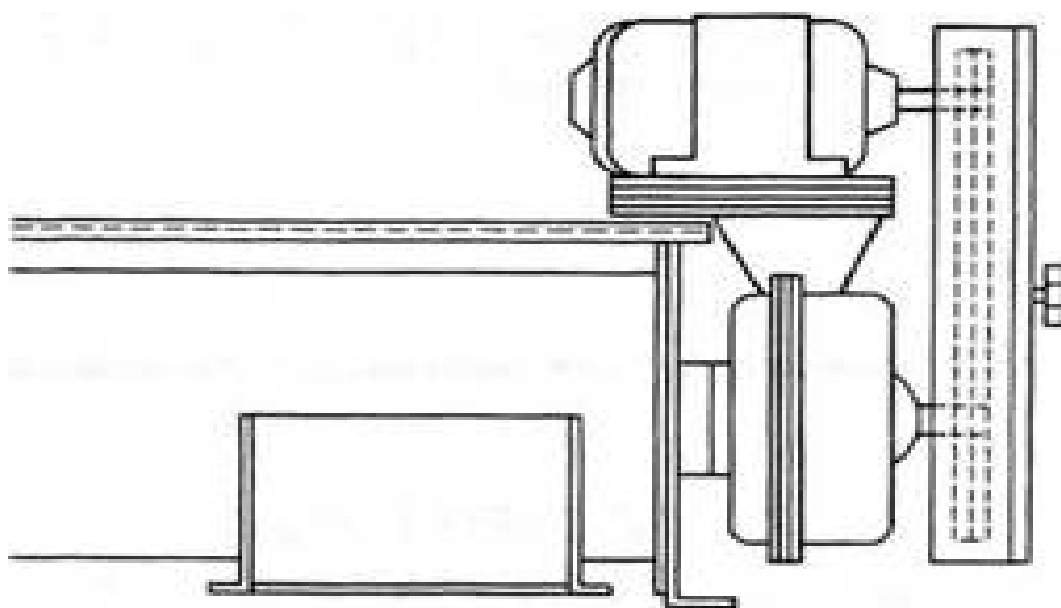
Suurissa kuljettimissa, joiden laakereiden tulee kestää suuria kuormituksia, käytetään yleensä pystylaakeripesää ja pallomaista rulla- tai kuulalaakeria. Laippalaakeriyksiköitä voidaan käyttää pienemmillä kuormituksilla. Laakeroinnin suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että ruuvikuljetin toimii työntävällä tai vetävällä periaatteella. Tämä aiheuttaa käyttöpään laakerille akselinsuuntaista kuormitusta. Jos ruuvikuljettimen kuljettama matka on pitkä, suositellaan ruuvikuljettimen rakentamista vetävällä rakenteella eli moottori tulisi sijaita materiaalin pudotusaukon päässä. Tällöin ruuvin keskuuteen ei kohdistu puristavaa voimaa, joka aiheuttaa nurjahdusvaaran. Vapaanpäädyn laakereille ei kohdistu akselin suuntaista voimaa, joten vapaassa päädyssä voidaan

käyttää pelkkää laippalaakeriyksikköä. Vapaanpäädyn akselia ei kuitenkaan tulisi lukuuta mahdollisten lämmönvaihteluiden vuoksi. (Koivisto, 2018, s. 69.)

5.6 Käytettävä koneisto

Ruuvikuljettimissa käytetään voimantuottajana yleensä vaihdemoottoria. Vaihdemoottori on hammaspyörävaihteen sekä vaihtosähkömoottorin yhdistelmä. Vaihdemoottori on noussut suureen suosioon käyttökoneistona, koska se on helppo asentaa. Sähkömoottorin valintaan vaikuttavat esimerkiksi kuljettimen vaatima suojausluokka, momentti sekä pyörintänopeus. (Koivisto, 2018, s. 70.)

Ruuvikuljettimessa voidaan käyttää voimansiirtojärjestelmänä myös hihnavetoa tai ketjuvetoa. Tällöin voima siirretään ruuvikierukan akselille käyttäen ketjua tai hihnaa. Ketjuvetoiset sekä hihnavetoiset voimansiirtojärjestelmät vaativat enemmän tilaa, kuin nykyajan vaihdemoottorit. Sähkömoottori vaatii lisäksi säädettävän asennusalustan, jotta ketju tai hihna voidaan pitää kireällä, kun ne alkavat löystymään. (Kase conveyors, n.d.)



Kuva 5. Ruuvikuljetin hihnavedolla (Kase conveyors, n.d.)

5.7 Tiivistys

Ruuvikuljettimen akselien läpiviennit tulee tiivistää. Tiivistäminen tapahtuu yleensä tiivistepesällä, jonka sisältä löytyy 3–4 tiivistenauhaa sekä voitelurengas. Voitelurengas tehtävänä on nauhojen liukkaana pitäminen, jolloin nauhat pysyvät tiivistyskuntoisina. Nauhapoksiksi kutsuttu tiivistepesä on yksinkertainen huoltaa ilman rakenteiden purkamista. Akseli voidaan myös tiivistää säteisakselitiivistein. Säteisakselitiivisteet eivät kuitenkaan ole suosittuja, koska ne vaativat paljon purkutoimenpiteitä huollon aikana. (Koivisto, 2018, s. 70.)

5.8 Tulo- ja poistoaukko sekä turvalaitteisto

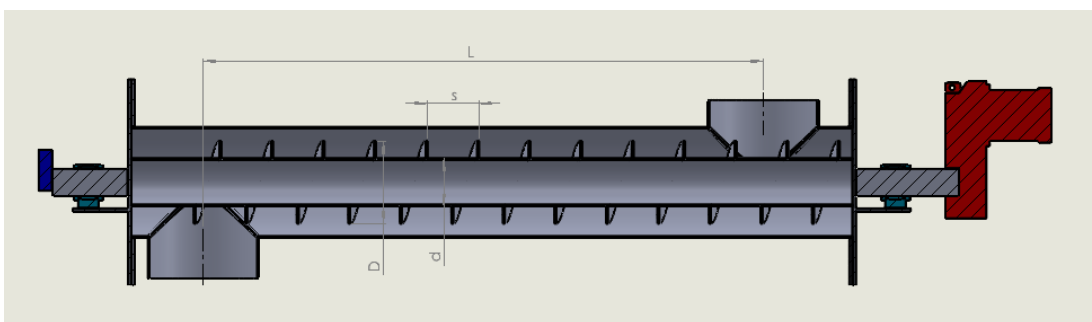
Ruuvikuljettimen poistoaukko suunnitellaan yleensä käyttöpäättyyn eli ruuvi toimii vetävällä periaatteella. Näin minimoidaan ruuvin nurjahdusvaara. Poistoaukot tulee suunnitella ruuveissa materiaalin vaatimuksien mukaan tarpeeksi suuriksi, jotta materiaali voidaan purkaa kuljettimista ilman tukoksia. (Koivisto, 2018, s. 72.)

Ruuvikuljettimiin suunnitellaan yleensä tarkastusluukkuja, jotka mahdollistavat esimerkiksi mahdollisten tukosten tarkastelun ja ne helpottavat huoltoa. Tarkastusluukuihin tulee asentaa suojaverkot turvallisuussyistä, joiden irrottaminen ei ole mahdollista ilman työkaluja. (Koivisto, 2018, s. 72.)

Kuljettimissa käytetään lisäksi pyörintävahtia sekä tukosvahtia. Pyörintävahti sammuttaa sähkömoottorin vikatilanteissa, kuten kuljettimen ruuvikierukan poiketessa. Tukosvahdin tehtävä on pysäyttää sähkömoottori mahdollisissa tukostilanteissa. Tukosvahti sijoitetaan yleensä tulo- tai poistoaukulle. (Koivisto, 2018, s. 72.)

6 KULJETINRUUVIN MITOITTAMINEN

Ruuvikuljetin suunnitellaan yleisesti siirtämään tietty tilavuusvirta tuloaukolta poistoaukolle. Kuljetinsuunnittelun lähtötilanteessa vaaditaan lähtötiedot kuljettimen paikasta sekä kuljettimella siirrettävästä materiaalista. Lähtötietoja ovat esimerkiksi kuljettimen pituus, materiaalin ominaispaino, kappalekoko, vierintäkulma nouseville kuljettimille sekä tarttuvuuteen liittyviä materiaalin ominaisuuksia. (Koivisto, 2018, s. 74.)



Kuva 6. Ruuvikuljettimen suunnittelun lähtötietoja (kuva: Riku Koskimäki)

6.1 Kapasiteetti ja täytösaste

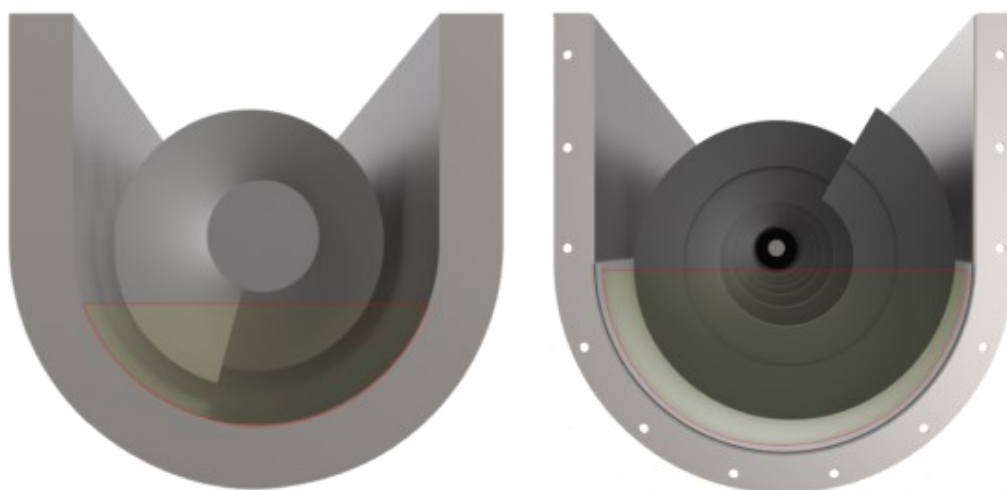
Kuljettimen kapasiteetti voidaan määrittää kaavasta 1. Kaava toimii yleisesti kaikille ruuvikuljettimille, mutta vaatii soveltamista kuljetettavan materiaalin mukaan. Kapasiteetti lasketaan kuljettimelle kuutiometreinä tunnissa.

$$Qv = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot s \cdot n \cdot \varphi \quad (1)$$

Kapasiteettilaskennassa tarvittavia arvoja ovat kierteen ulkohalkaisija, keskusputken halkaisija sekä nousu. Arvojen avulla voidaan määrittää materiaalille kapasiteetti

ruuvikierukan yhden pyörähdyksen aikana. Kapasiteetin määrittämiseksi tarvitaan lisäksi ruuvin pyörimisnopeus sekä täytösaste. Kuluttavilla sekä painavilla aineilla pyritään valitsemaan matala pyörimisnopeus, jotta ruuvikierukka ja runko eivät kuluisi liikaa. (Koivisto, 2018, s. 75.)

Ruuvin täytösaste määrittelee, paljonko ruuvin kourun tilavuudesta materiaali täyttää. Jos kouru on täynnä materiaalia, on ruuvin täytösaste 100 %. Täytösaste on yleisesti noin 20 %-60 % riippuen kuljetettavasta materiaalista. Matala täytösaste parantaa ruuvin kestävyttä. Akselittomien ruuvikuljettimien täytösaste on yleensä suurempi, koska kuljettimessa ei ole välilaakerointia, eikä keskiakselia. (JMSequipment, n.d.)



Kuva 7. Akselittoman ja akselillisen ruuvikuljettimen täytösasteen ero (JMSequipment, n.d.)

6.2 Massavirta

Kapasiteetin avulla voidaan määrittää kuljettimen massavirta. Massavirta on kuljetettavan materiaalin tiheyden ja kapasiteetin tulo kaava 2. Prosessilla on yleensä vaatimuksena tietty massavirta aikayksikköä kohden. (Koivisto, 2018, s. 85.)

$$Q_m = \rho \cdot Q_v \quad (2)$$

6.3 Käyttöteho

Ruuvien pyörimisliikkeen aikaansaamiseksi ruuvi tarvitsee moottorin. Moottorin tulee olla tarvittavan suuri, että se kestää kuljetettavan materiaalin sekä ruuvikierukan aiheuttamat voimat. Kaavassa 3 on esitetty tehonlaskennassa tarvittavat arvot. Kaavassa L tarkoittaa tehollista siirtomatkaa, jolloin materiaali kulkee ruuvissa eli pudotusaukkojen välistä matkaa. H on kerroin, joka lisätään teholliseen siirtomaan, jos kuljetin on nouseva. H on pystysuunnassa mitattu matka materiaalin siirtomatkan L välisellä etäisyydellä. Kaava ottaa lisäksi huomioon moottorin hyötysuhteen η . Hyötysuhde kuvaa häviön suhdetta, kun sähköenergia muutetaan liike-energiaksi. (Koivisto, 2018, s. 76.)

$$Pk = Qm \cdot f \cdot (L + H) / 360 \cdot \eta \quad (3)$$

Kaavassa 3 ja 4 f on materiaalin erilaisista ominaisuuksista muodostuva voimakerroin kuljettimen moottorin tehon laskentaa varten. Kerroin f sisältää kuljettimen pituuskorjauskertoimen, aineen etenemiskertoimen sekä supilon lisäkuormakertoimen. Pituuskorjauskerroin on aineen kitkatekijöistä muodostuvia lisävoimia huomioon ottava kerroin. Lyhyillä ruuvikuljettimilla pituuskorjauskerroin on kokonaisvoimaan suhteellisesti verrattuna suurempi kuin pitkällä ruuvikuljettimilla. Etenemiskerroin kuvaa materiaalin etenemisnopeutta ruuvissa. Etenemiskerroin on kevyillä aineilla, kuten purulla tai lastulla pieni. Kuluttavammilla aineilla etenemiskerroin on suurempi, kuten petihiekalla ja tuhalla. Supilon lisäkuormituskerroin voidaan laskea ruuvikierukan, materiaalipatjan korkeuden, sisääntuloaukon pituuden sekä materiaalin tiheyden tulona. (Koivisto, 2018, s. 76.)

$$f = fl \cdot fv \cdot fs \quad (4)$$

6.4 Vääntömomentti

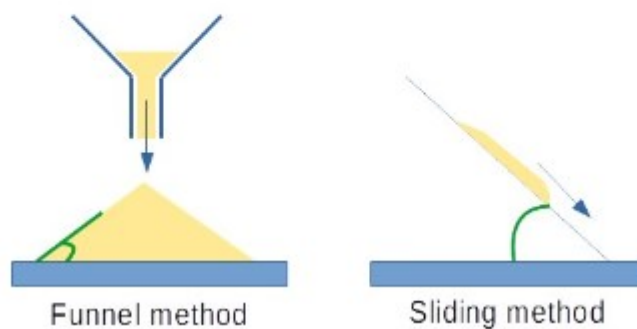
Moottorin vääntömomentti tarkoittaa voiman määrää, jolla saadaan aikaan ruuvinpyörimisliike. Tarvittavaa vääntömomenttia suurempi vääntömomentti voi saada aikaan kierukassa myötörajan ylittymisen ja aiheuttaa pysyviä muodon muutoksia kierukkaan, jotka haittaavat kuljettimen toimintaa. Toisaalta liian pienellä vääntömomentilla varustettu sähkömoottori ei jaksaa pyörittää ruuvin kierukkaa. Vaihdemoottorin toisiovääntömomentti voidaan laskea kaavasta 5. (Kumera, n.d., s. 11.)

$$T_2 = \frac{P_1 \cdot 9550 \cdot \eta}{n_2} \quad (5)$$

6.5 Lepokulma

Lepokulma on materiaalille ominainen valumiskulma, joka johtuu erinäisistä materiaalin kitkatekijöistä. Lepokulma voidaan helposti määrittää jauhemaisille sekä raemaisille aineille. Käytännössä lepokulma kertoo, kuinka pienessä kulmassa materiaali jatkaa valumistaan alaspäin. Lepokulman mittaamiseen voidaan käyttää erilaisia testausmenetelmiä. Kuvassa 7 vasemmalla esitetään materiaalin lepokulma materiaalin tippuessa vapaasti tasaiselle pinnalle. Lepokulma voidaan tällöin mitata vihreän viivan mukaisesti materiaalin pinnalta. Lepokulma voidaan lisäksi määrittää valuttamalla materiaali levyn päällä. Materiaali sijoitetaan levyn keskelle ja nostetaan toisesta päästä levyä. Kun materiaali lähtee valumaan, voidaan kyseinen lepokulma mitata. Lepokulman määrittäminen helpottaa ymmärtämään materiaalin käyttäytymistä ruuvikuljettimessa. (Powderprocess, n.d.)

Angle of repose of powders and granulates
Different measurement methods



Kuva 8. Materiaalin lepokulman mittaussmenetelmät (Powderprocess, n.d.)

7 RIKIN OMINAISUUKSIEN TESTAAMINEN

7.1 Kuljettimelle syötettävä rikki

Testien aikana rikkiä syötettiin kuljettimelle granulaatti ja pastilli muodossa. Nämä rikin olomuodot soveltuvat hyvin kattilaan syötettäviksi, koska rikkiä voidaan säilöä suursäkeissä. Suursäkit ovat helppo säilytysmuoto, jos tarvittavan rikin määrä on kohtuullisen pieni. Rikkihapon muodostumisen välttämiseksi on rikkiä säilytettävä kuivissa olosuhteissa. Rikkigranulaatti on raemaista ainetta. Rakeet ovat halkaisijaltaan kahdesta seitsemään millimetriin (kuva 9). Pastillin muotoinen rikki on halkaisijaltaan pienempi, noin yhdestä neljään millimetriin (kuva 10). Molemmat aineet ovat väriltään ruskean kellertäviä. käsittelyn aikana rikin voi tunnistaa sen pölyn hajusta, joka on hyvin epämiellyttävä ja tarttuva.



Kuva 9. Rikkigranulaatti (kuva: Riku Koskimäki)



Kuva 10. Rikkipastilli (kuva: Riku Koskimäki)

7.2 Lepokulman testaaminen

Materiaalin lepokulman määrittämisen avulla voidaan arvioida teoreettisesti materiaalin käyttäytymistä syöttöruuvissa ennen kuljettimen käytännön testaamista. Rikin lepokulman testaamisen tarkoituksena oli selvittää, mikä on rikille ominainen lepokulma asteina. Teoreettisesti voidaan olettaa, että rikki asettuu tähän lepokulmaan. Lepokulman tietäminen helpottaa syöttöruuvissa tarvittavan akselin pituuden arvioimista. Oikean mittaisella akselilla voitaisiin rajoittaa syöttöruuvin kapasiteettia. Rikki saattaa lisäksi jähmettyä paikalla ollessaan, joten materiaalin virratessa kuljettimessa oikein, voidaan estää mahdolliset tukokset syöttöruuvissa.

Lepokulman määrittämiseen tarvittiin tasainen alusta, jonka päälle voitiin kaataa 10 litraa rikkiä. 10 litraa rikkiä laitettiin sankoon, jonka päälle asetettiin kuvassa 11 näkyvä puulevy. Tämän jälkeen sanko käännettiin ylösalaisin ja nostettiin pois. Näin rikkipastillista muodostui kasa, jonka lepokulma voitiin määrittää kulmaa mittaavalla vartupassilla. Testi toistettiin neljä kertaa, jotta voitiin varmistua tulosten luotettavuudesta. Taulukossa 1 on esitetty testistä saadut tulokset.



Kuva 11. Rikin asettaminen alustalle (kuva: Riku Koskimäki)



Kuva 12. Rikin kasakulman määrittäminen (kuva: Riku Koskimäki)

Testinumero:	Lepokulma:
1.	29.1°
2.	30.7°
3.	30.6°
4.	30.6°

Taulukko 1. Rikkipastillin kasakulman testitulokset

8 PROTOTYYPPIEN ESITTELEMINEN

Rikinsyöttöruuvissa tarvittavan pienen kapasiteetin vuoksi kierukka valmistettiin spiraalikierteestä. Spiraalikierteellä toimivan ruuvin etuna on muun muassa yksinkertaisempi valmistaminen sekä huollettavuus, verrattuna perinteiseen keskiputkella varustettuun kierukkaan. Spiraaliruuvi toimii vetävällä toimintaperiaatteella eli materiaali tippuu käytettävän koneiston päästä ulos. Vetävällä toimintaperiaatteella spiraalikierteen kohdistuu vähemmän puristavaa voimaa. Spiraaliin ei myöskään saa kohdistaa liikaa momenttia, jotta spiraalin myötöraja ei ylity. Myötörajan ylittyminen aiheuttaisi spiraaliin pysyviä muodon muutoksia, jolloin haluttuun kapasiteettiin ei enää päästäisi. Pahimmassa tapauksessa spiraali saattaa vetää itsensä täysin suoraksi eli hajota. Syöttöruuviin on lisäksi asennettu sekoitin, jonka tarkoituksena on estää mahdollinen materiaalin halvaantuminen syöttöaukolla. Ruuvin päätyyn asennetulla pyörintävahdilla voidaan havaita mahdollinen spiraalin katkeaminen tai muu toiminnallinen virhe kuljettimessa. Pyörintävahti helpottaa kuljettimen toiminnan varmistamista voimallaitoksilla. Kuljettimen pituus on noin 2 metriä ja sen nousukulma on 10 astetta. Lisäksi opinnäytetyössä testattiin ruuvikuljetinta, joka oli pituudeltaan noin 0.5 metriä ja asennettu 0 asteen kulmaan. Pienempi ruuvikuljetin oli rakenteeltaan samankaltainen kuin kuvassa 13 esitetty suurempi ruuvikuljetin.



Kuva 13. Rikinsyöttöruuvi testipaikalla (kuva: Riku Koskimäki)

9 TESTIEN TOTEUTTAMINEN

9.1 Testien tavoite

Testauksen tärkeimpänä tavoitteena oli kerätä tietoa kuljettimen kapasiteetista, eli kuinka monta kiloa materiaalia kulkee kuljettimen läpi tietyssä aikayksikössä. Kapasiteetin testaaminen antaa perustan syöttöruuvien suunnittelulle tulevaisuudessa. Lisäksi testien avulla voitiin havainnoida mahdollisia toiminnallisia ongelmia kuljettimessa. Testien lopuksi kuljetin purettiin, jotta nähtiin, oliko kuljettimen osiin aiheutunut vaurioita. Kuljettimessa helposti vaurioituvia osia ovat esimerkiksi spiraaliruuvi sekä tiivisteet veto- ja vapaapäädysssä. Toiminnalliset ongelmat pienen mittakaavan koeajoissa ovat yleensä viite mahdollisista tulevaisuudessa esiintyvistä toiminnallisista ongelmista.

9.2 Testiympäristö

Ruuvikuljettimen testaaminen suoritettiin Raumasterin Ylöjärven toimipisteen pajalla. Testaamisen ajaksi syöttöruuvi kiinnitettiin pudotusaukostaan suppiloon, jonka avulla kuljettimelle syötettiin rikkiä. Rikkiä lisättiin suppiloon kuvassa 13 suppilon takana sijaitsevista suursäikeistä. Kuljettimesta tuleva rikki kerättiin pudotusaukon päässä sijaitsevaan sankoon punnitusta varten. Punnitsemista hyödynnettiin teollisuusvaakaa, joka kestää maksimissaan 30 kilogramman painon. Teollisuusvaaka punnitsee painon 5 gramman tarkkuudella. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi syöttöruuvia käytettiin aluksi noin puolituntia suurella kierrosnopeudella, jotta sen kuljetinputki täyttyi. Voimalaitoksissa käytön aikana kuljetin on käytännössä aina täynnä materiaalia. Näin voitiin luoda todelliset toimintaolosuhteet kuljettimelle. Kuljettimen moottorit kiinnitettiin verkkovirtaan ohjauskaapin kautta. Ohjauskaappiin kiinnitettiin lisäksi pyörintävahti, joka antoi kaapille signaalin ruuvin pyöriessä.

Erilaisia kulmia testatessa kuljettimen suppilo kiinnitettiin pajalla olevaan nostimeen. Nostimella nostettiin suppilon runkoa joko etu- tai takapuolelta, jolloin ruuvin kulma nousi tai laski. Nousukulma mitattiin kulmaa mittaavalla vatupassilla syöttöruuvin rungosta ja se kirjattiin ylös. Näin onnistui erilaisten kulmien testaaminen kuljettimella.

9.3 Testiaineiston keräysmenetelmät

Syöttöruuvin moottori kiinnitettiin ohjauskaapissa sijaitsevaan taajuusmuuttajaan, jonka avulla voidaan säätää ruuvin pyörimisnopeutta. Kun tavoiteltu kapasiteetti vaihtelee käytön aikana, joudutaan käyttämään taajuusmuuttajaa ruuvikuljettimissa. Taajuusmuuttajan avulla voitiin lisäksi taltioida moottorin pyörimisnopeutta, virtaa sekä momenttia. Tulevaisuuden kehityksessä ja suunnittelussa voidaan mahdollisesti hyödyntää kyseisiä arvoja.

Testissä kerätty aineisto kirjattiin taulukkoon, joka sisältää seuraavat arvot:

- Kuljettimessa kuljetettava materiaali (rikkigranulaatti/rikkipastilli)
- Moottorin kierrosnopeus (rpm)
- Testausaika (min)
- Moottorin käyttämä momentti kuljetuksen aikana (%)
- Moottorin tarvitsema virta kuljetuksen aikana (A)
- Kuljettimen nousukulma (°)
- Kuljettimen läpi kulkeneen rikin paino (kg)

9.4 Testauksen rajoitteet

Testauksessa käytössä oli vain yksi vaihdemoottori, joten pyörimisnopeuksia voitiin testata vain tietyillä rajoituksilla. Lisäksi kuljettimen suppilo voitiin asettaa vain 18 asteen nousukulmaan, jolloin syöttöruuvien 10 asteen nousukulma huomioon otettuna kuljettimen nousukulma oli maksimissaan yhteensä 28 astetta. Testeihin käytetty aika oli rajallista, joten testeissä pyrittiin kokeilemaan kuljettimen minimi ja maksimi kapasiteetti, sekä mahdollisia kuljetuskulman vaikutuksia kapasiteettiin. Testien aikana materiaalia vaihdettaessa oli ruuvikuljetin tyhjennettävä, jotta saadaan luotettavat tulokset. Materiaalin vaihtamista useasti pyrittiin välttämään, jotta ruuvikuljettimen tyhjentämiseen ja täyttämiseen kuluisi mahdollisimman vähän aikaa. Luotettavien testitulosten aikaansaamiseksi pyrittiin kuitenkin tekemään kattavat testaukset.

10 KEHITYSTOIMENPITEITÄ JA HAVAINTOJA TESTEISTÄ

Testauksen aikana kehitysehdotukset kerättiin yhteen testauksessa mukana olleilta henkilöiltä. Kuljettimeen tilattiin joitakin osia testauksen aikana, jotta kuljettimen toimintavarmuus parantuisi.

Testien alussa huomattiin, että käytössä ollut yhden laippalaakerin ratkaisu vapaapäädysssä ei toimi kuljettimessa, koska pyörintävahdin pyörijä asettaa itsensä akselin

mukaiseen kulmaan, jolloin pyörijä osuu pyörintävahdin seinämään. Pyörintävahti toimi normaalisti testien ajan, mutta pidemmällä käytöllä hankautumisesta olisi saatanut olla haittaa, joten laakerointia vapaapäässä päätettiin muuttaa. Toisena haittapuolena yhdellä laakerilla paikoitetussa akselissa oli, että se saattaisi aiheuttaa tiivisteiden kulumista. Tiivisteiden toleranssit ovat yleisesti tarkasti mitoitettu. Jos akseli hankaa tiivistettä vasten, saattaa pidemmän käytön jälkeen tiiviste hajota. Tällöin rikki valuu laakeripesään ja hajottaa laakerin. Kuljetin päätettiin laakeroida kahdella laakerilla vapaasta päädyistä, jolloin ruuvin akseli pysyy jatkuvasti suorassa ja tiivisteet eivät ole niin alttiita vaurioitumiselle.

Toinen havaittu ongelma oli kuljettimen kapasiteetin rajoittaminen. Kuljettimen vapaapäädystä testattiin pitkää sekä lyhyttä akselia. Pitkän akselin tarkoituksena oli rajoittaa kuljettimen kapasiteettia tuloaukolla niin, että kuljettimesta tulisi mahdollisimman vähän materiaalia läpi. Kapasiteetin rajoittaminen ei kuitenkaan onnistunut pudotusaukon kohdalle asennetun akselin avulla. Spiraaliruuvi täyttyi heti akselin jälkeen koko putken leveydeltä eli putkessa kulkevan materiaalin määrä keskivaiheilla oli sama riippumatta, oliko kyseessä pitkä vai lyhyt akseli. Lyhyen matkan ruuveilla pitkällä akselilla voitiin kuitenkin rajoittaa materiaalin yli tunkeutumista putkeen.

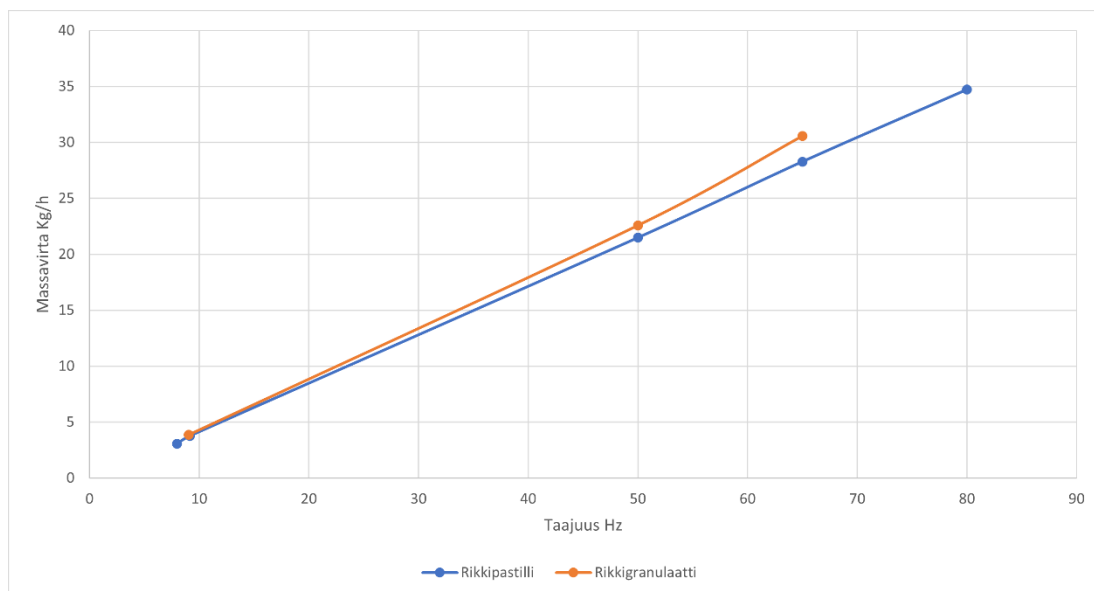
Rikkipastilli sekä -granulaatti olivat aikaisemmin testatuilla ruuveilla jauhautuneet jauhoksi, joka ei ole prosessin kannalta toivottua. Spiraalikuljettimella materiaali pysyi kohtuullisen hyvin ehjänä, eikä aiheuttanut kuljettimen läpi tulevan materiaalin jauhaantumista. Pientä jauhaantumista oli kuitenkin havaittavissa kuljettimen pudotusaukon kohdalla, jossa jauhaantunutta materiaalia kertyi runkoputken reunaan.



Kuva 14. Runkoputken reunaan jauhautunut materiaali. (kuva: Riku Koskimäki)

11 TESTAUSTULOSTEN ESITTELY

Testauksesta saadut tulokset kaavioitiin, jotta voitiin verrata kuljettimen kapasiteetin ja pyörimisnopeuden suhdetta sekä nousukulman vaikutusta kuljettimen kapasiteettiin. Testaustuloksista pyrittiin tekemään mahdollisimman vertailukelpoiset molemmille materiaaleille. Testeissä saavutetut tarkat tulokset on sisällytetty opinnäytetyön liitteisiin.

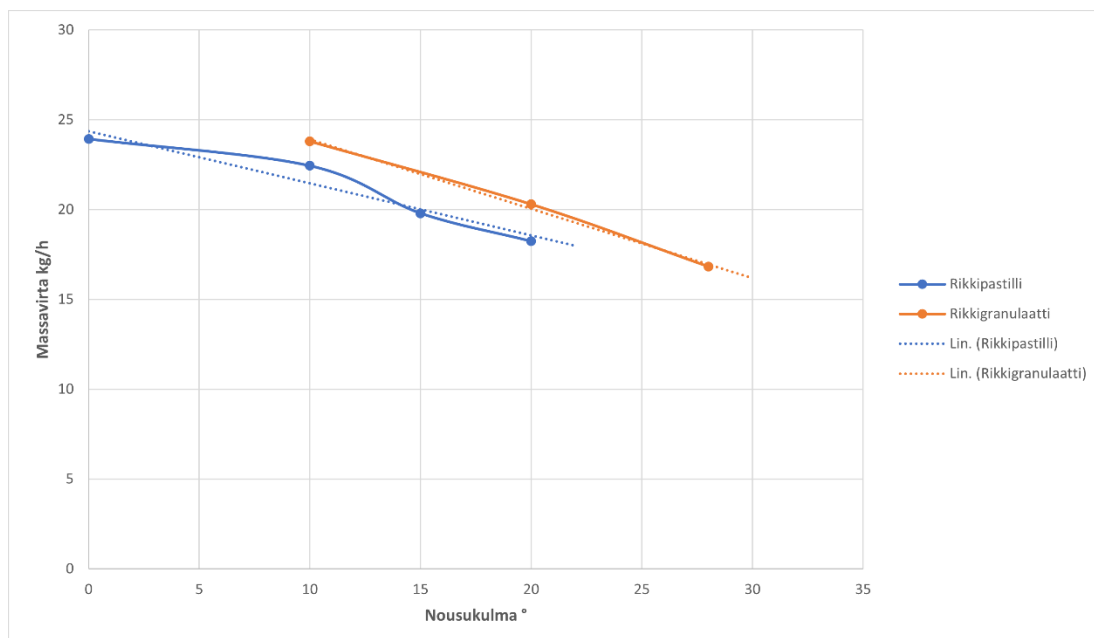


Kuvio 1. Massavirran (Kg/h) ja taajuuden (Hz) suhde.

Yllä esiteltyyn kuvioon 1 on taltioitu rikkipastillin ja rikkigranulaatin massavirta hertsi taajuuden funktiona. Kuvion 1 pisteet kuvaavat tunnin koeajon jälkeen saavutettuja testituloksia. Syöttöruuvi oli 10 asteen kulmassa tehtyjen testauksien aikana. Suppilo oli jatkuvasti täynnä rikkiä. Suppilo ja syöttöruuvi puhdistettiin ennen materiaalin vaihtoa, punnitus virheiden välttämiseksi. Taajuusmuuttajalla säädettiin syöttöruuville vaihtelevia pyörimisnopeuksia ja pyrittiin saamaan vertailukelpoiset tulokset molemmille materiaaleille.

Kapasiteetin voidaan ajatella kasvavan molemmilla materiaaleilla lineaarisesti suhteessa taajuuteen. Rikkigranulaatin massavirran voidaan havaita kasvavan hieman jyrkemmin verrattuna rikkipastilliin. Kapasiteetin ero johtuu erilaisista materiaalin fysiikkaisista ominaisuuksista. Suurimpana tekijänä kapasiteettieroon vaikuttaa materiaalin partikkelikoko. Rikkigranulaatti jää suuremman partikkelikokonsa takia enemmän kiinni ruuvikierukkaan.

Syöttöruuvien testeissä saavutettiin haluttu kapasiteettialue. Kapasiteetin säätöalueen havaitaan kuvion 1 olevan noin 3 kg/h-35 kg/h rikkipastillille. Saavutettua kapasiteettialuetta pienemmät säätöalueet vaatisivat rakenteellisia muutoksia esimerkiksi nousukulman tai välityksen muuttamista syöttöruuville.



Kuvio 2. Massavirran (Kg/h) ja nousukulman (°) suhde.

Toisena tärkeänä osuutena testeissä oli tutkia nousukulman suhdetta kuljettimen kapasiteettiin. Kuvion 2 pisteet esittävät saatuja testituloksia. Testitulosten perusteella on muodostettu lineaarinen viiva helpottamaan kuljettimen nousukulman vaikutuksen arviointia kapasiteettiin. Ruuvien moottoria pyöritettiin nousukulma testien aikana 50 hertsin taajuudella, jotta tuloksista saatiin vertailukelpoiset. Massavirran suhdetta nousukulmaan ei saatu rikkigranulaatilla testattua yhtä laajasti kuin rikkipastillilla.

Rikkipastillilla voidaan havaita, että syöttöruuvien nousukulmaa säädettäessä nolosta kymmeneen asteeseen nousukulman vaikutus ei ole kapasiteettiin verrattuna niin suuri. Nousukulman säätämällä kyseisellä välillä on vain noin yhden kilogramman ero. Nousukulman noustessa yli kymmeneen asteeseen tapahtuu selkeä ero kapasiteetissa. Nousun muuttuessa kymmenestä asteesta viiteentoista asteeseen kapasiteetissa nähdään jo 2,5 kilogramman muutos. Kapasiteetti ei siis ole täysin lineaarinen verrattuna nousukulmaan. Pienillä nousukulmilla vaikutus kapasiteettiin on merkittävästi pienempi kuin suurilla nousukulmilla.

Rikkigranulaatin kapasiteettiero verrattuna rikkipastilliin on noin 1,5 kilogrammaa. Saatujen testitulosten perusteella kapasiteetti ero pysyy nousukulmasta riippumatta samana. Kaavion 1 ja 2 testitulosten perusteella voidaan todeta, että ruuvien kapasiteetti on rikkigranulaatilla suurempi, johtuen materiaalin eri ominaisuuksista.

Lyhyempää ruuvikuljetinta testattaessa 0 asteen nousukulmalla, kapasiteetti oli arvioitua suurempi. Kapasiteetti suureni merkittävästi 0 asteen nousukulmalla, koska materiaali puski itseään ruuvilehden sivuilta ohi kuljettimen pudotusaukkoon. Tämä voitiin selkeästi havaita hitailla ruovin pyörimisnopeuksilla. Jos kuljettimen nousukulma nostettiin viiden asteen nousukulmaan, materiaalin puskeutumista ei tapahtunut.

12 KAPASITEETIN ANALYSOINTI

Nousukulman vaikutus kuljettimen kapasiteettiin on merkittävä, kun tarkoituksena on syöttää erittäin pieniä määriä materiaalia. Sen oikeanlainen säätäminen vaikuttaa merkittävästi kuljettimen kapasiteettiin. Suurilla ruuvikuljettimilla nousukulma saattaa vaatia merkittävästi enemmän tehoa, joka lisää kuljettimen kustannuksia. Näin pienessä syöttöruuvissa nousukulman säätö ei kuitenkaan aiheuta merkittäviä tehon lisästarpeita, joten sitä voidaan käyttää hyväksi suunnittelussa. Nousukulman tuomia säätömahdollisuuksia rajoittaa pitkälti ympäristö, johon kuljetinta ollaan suunnittelemassa. Suunnittelussa on lisäksi huomioitava, että suurilla nousukulmilla materiaalin jauhaantuminen on todennäköisempää, koska materiaali valuu alaspäin.

Kapasiteetinlaskennalliset arvot, joita syöttöruuville arvioitiin ennen ruovin suunnittelua, eivät pitäneet lopullisissa testeissä paikkaansa. Aikaisemmin testatuilla ruuveilla täytösaste oli merkittävästi pienempi kuin spiraaliruuvikuljettimella. Spiraaliruuvikuljettimelle on testien mukaisesti ominaista korkeampi täytösaste kuin keskiakselillisilla ruuvikuljettimilla. Alustavan kapasiteetilaskennan virhe ei kuitenkaan aiheuttanut ongelmia, koska ruuvikuljettimen moottori pystyi toimimaan merkittävästi suunniteltua pyörimisnopeutta pienemmällä pyörimisnopeudella.

Molemmilla testatuilla syöttöruuveilla osattiin odottaa mahdollisia ongelmia, kun pyörintänopeutta lasketaan erittäin pieneksi. Kun ruuvikierukka pyörii erittäin hitaasti, alkaa syötössä esiintymään epätasaisuutta. Tähän vaikuttavat muun muassa kierukan lehden paksuus ja nousu. Kun ruuvikierukka osuu rungon pohjaan pudotusaukon kohdalla, esiintyy materiaalin syötössä hetkellinen tauko. Tauko ei kuitenkaan aiheuta

ongelmia, joilla olisi merkittävää vaikutusta prosessin kannalta, johon syöttöruuvia ollaan sijoittamassa.

13 TULEVAISUUDEN KEHITYSEHDOTUKSET

Syöttöruuville suunniteltu uusi konstruktio toimi pieniä testien aikana tehtyjä muutoksia lukuun ottamatta hyvin. Tulevaisuudessa kuljettimelle suunniteltua vaihdemoottoria voitaisiin pienentää, koska vaihdemoottorilta tarvitaan vähemmän momenttia kuin vaihdemoottori antaa. Kuljetin voisi lisäksi soveltua erilaisille jauhemaisille materiaaleille niin kuin edellä on mainittu. Tämän kaltaisten materiaalien testaaminen voisi avata kuljettimelle erilaisia käyttömahdollisuuksia.

Syöttöruuvia voitaisiin testata tulevaisuudessa pidemmällä kuljetusmatkoilla, jolloin voitaisiin arvioida spiraaliruuvien kestävyyttä. Spiraaliruuvikuljetinta on testattu muilla teollisuuden aloilla pidemmille kuljetusmatkoille, esimerkiksi pelletin ja jauhemaisten materiaalien kuljettamisessa. Kuljettimella kuljetettavat pidemmät matkat tarjoaisivat mahdollisuuden erilaisiin sovelluksiin voimalaitos ympäristössä. Kuljetinta voitaisiin lisäksi testata suuremmilla nousukulmilla kuin 28 astetta. Suuremmat testauskulmat mahdollistaisivat kuljettimen sijoittamista erilaisiin toimintaympäristöihin. Kuljetin suunnittelussa on tärkeää, että kuljetin voidaan sijoittaa erilaisiin vaativiin toimintaympäristöihin. Suurien nousukulmien testaamisella voitaisiin havaita aiheuttaako nousukulma arvioitua enemmän valumista tai materiaalin jauhaantumista.

Kun syöttöruuvi sijoitetaan pidemmäksi aikaa voimalaitosprosessiin, olisi tärkeä saada kuljettimen osien mekaanisesta kestävyydestä tietoa. Kuljettimelle voitaisiin tiedon avulla suorittaa ennakoivaa huoltoa tai mahdollisesti muuttaa kuljettimen konstruktiota, jos kuljetin ei kestä olosuhteissa syntyvää mekaanista rasitusta. Tällaista pitkän aikavälin toimintaa tutkimalla voidaan varmistaa syöttöruuvien konstruktion luotettavuus.

Vaikka konstruktio osoittautui edeltäjiään halvemmaksi vaihtoehdoksi, olisi tulevaisuudessa hyvä tutkia vielä kustannuksiltaan edullisempia ratkaisuja. Näin kuljetin voisi soveltua erilaisiin käyttökohteisiin paremmin ja osoittautua kilpailevia konstruktioita paremmaksi ratkaisuksi. Konstruktio- ja kustannussäästöjä voitaisiin saavuttaa esimerkiksi tutkimalla, onko kuljettimen vaihdemoottori liian suuri tarpeeseen tai onko kuljettimen osille asetetut toleranssi vaatimukset liian tarkat. Näin voidaan vaikuttaa kuljettimen eri osien kustannuksiin ja siten koko kuljettimen konstruktion kokonaiskustannuksiin.

14 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön pääasiallisena tavoitteena oli tutkia uudella konstruktiolla valmistetun spiraaliruuvikuljettimien soveltuvuutta rikinsyöttämiseen, sekä erilaisten muuttujien vaikutusta syöttöruuvien kapasiteettiin. Opinnäytetyö oli onnistunut kokonaisuus, koska asetettujen tavoitteiden mukaisesti pystyttiin luomaan uudenlainen konstruktio syöttöruuvista, joka on edeltäjiään halvempi valmistaa. Kapasiteetista saatiin lisäksi laajat testitulokset, joiden perusteella tulevaisuudessa suunniteltavien syöttöruuvien kapasiteettia on merkittävästi helpompi arvioida jo kuljettimen suunnitteluvaiheessa. Tutkimustuloksia arvioitiin kaavioiden ja ruuvikuljettimen teoreettiseen viitekehykseen pohjautuen. Valittu analysointimenetelmä kuvaa hyvin tutkimuksen aikana kerättyä tietoa ja tieto kokonaisuudesta pyritään muodostamaan selkeä kokonaiskuva. Analysointi menetelmän valinnan onnistuminen sekä pääasialliseen tutkimusongelmaan vastaaminen lisäävät tutkimuksen validiteettia. Tutkimuksen käytännön testien aikaiset mittausmenetelmät, mittausolosuhteet sekä saavutetut tulokset pyrittiin kuvailmeen opinnäytetyön aikana mahdollisimman tarkasti. Tämän tarkoituksena oli helpottaa toistettavuuden mahdollisuutta ja siten lisätä testien reliabiliteettia.

Opinnäytetyö antoi itselleni laajan kuvan koneiden tuotekehitysprojekteista. Työn edessä opin paljon ruuvikuljettimien sekä niihin sisältyvien yksittäisten koneiden osien teknisestä mitoittamisesta. Työ opetti soveltamaan valmistuksellisia sekä taloudellisia näkökulmia suunnitteluun, jotka ovat tärkeä osa koneiden tuotekehitystä.

Opinnäytetyön testien aikana sain kattavaa käytännön kokemusta testeissä hyödynnettävistä ohjelmistoista ja testauksien järjestelemisestä.

Aikataulullisesti opinnäytetyön kirjoittamisella ei ollut yrityksen puolesta vaatimuksia. Syöttöruuvien suunnittelun aikataulusta myöhästyttiin hieman, mutta käytännön testit pystyttiin silti toteuttamaan hyvissä ajoin. Tuotekehitysprojektin tarvittavat tulokset pystyttiin siis toimittamaan vaadituissa aikamääreissä. On hyvä muistaa, että tuotekehitysprojekteihin kohdistuu usein aikataulun ja kustannusten osalta paineita, joilla saattaa olla vaikutuksia esimerkiksi testattaviin ratkaisuihin ja lopulta lopputuloksen hyvyyteen.

Olisin toivonut, että testituloksia olisi saatu suuremmilla nousukulmilla, jotta testien luotettavuudesta ei syntyisi epäselvyyksiä. Valitettavasti on ymmärrettävä, että testiympäristö sekä rajallinen testiaika asettaa tietynlaisia rajoitteita, joiden mukaan on toimittava. Tulevaisuudessa voidaan kuitenkin laajentaa testituloksia tarvittaessa.

Tuotekehitysprojektit ovat herättäneet mielenkiintoni jo ennen tämän opinnäytetyön aloittamista. Syöttöruuvien kehitysprojektilla pääsin haastamaan itseäni ja oppimaan käytännössä, mitä ne vaativat itseltäni. Tämän projektin onnistuminen jätti positiivisen kokemuksen tuotekehityksestä.

LÄHTEET

Ahlers, P., Alén, H., Ainali, M., Alhojärvi, J., Barck, H., Forsén, O., Harju, Ta., Harju, Te., Hakkarainen, T., Heinonen, M., Henrikson, S., Hinttala, J., Hietanen, O., Hupa, M., Häkkä-Rönholm, E., Höglung, K., Kanko, T., Kaunisto, P., Kaunisto, T., ... Yläsaari, S. (2004). Korroosiokäsikirja (2.painos). Oy kotkan kirjapaino Ab.

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J., Korhonen, J. (2016). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Airaksinen, T & Vilkka, H. (2003). Toiminnallinen opinnäytetyö. Tammi.

Asiakastieto. (n.d.). Raumaster Oy. Haettu 25.05.2022 osoitteesta <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/raumaster-oy/05642870/rekisteritiedot>

Danfoss. (n.d.). Mikä on taajuusmuuttaja. Haettu 23.07.2022 osoitteesta <https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>

Iqsdirectory. (n.d.). Screw conveyor: What is it? How does it work? types, uses. Haettu 15.10.2022 osoitteesta <https://www.iqsdirectory.com/articles/screw-conveyors.html>

JMSequipment. (n.d.) Shafted screw conveyor vs shaftless screw conveyor presentation. Haettu 26.06.2022 osoitteesta <https://jmsequipment.com/shafted-screw-conveyor-vs-shaftless-screw-conveyor-presentation/>

Kapotek. (n.d.). Akseliton spiraaliruuvikuljetin. Haettu 26.06.2022 osoitteesta <https://www.kapotek.com/tuotteet/akselittomat-spiraaliruuvikuljettimet>

Kase conveyors. (n.d.). Conveyor drive arrangements. Haettu 9.10.2022 osoitteesta <https://www.kaseconveyors.com/resources/screw-conveyor-engineering-guide/drive-arrangements/>

Klarin, A. (2009). Kattilan korroosio ja päästöt. Promaint. 2009 (3), 26–28. <https://www.sponge-jet.fi/esitteet-videot/promaint-artikkeli-anja-klarin-kattilan-korroosio.pdf>

Koivisto, K. (2018). Kuljetintekniikka (2.painos). BOD – Books on demand.

Kumera. (n.d.). Lieriö ja kartiohammasvaihteet. Haettu 23.07.2022 osoitteesta http://www.intergear.eu/produktty/prevodovky/kumera/Kumera_Helical_and_Bevel_Gear_Units.pdf

Lukka, K. (2003). The constructive research approach.

Nielsen, H, J. Frandsen, F, Kim D. (1999). Lab-Scale investigations of high temperature corrosion phenomena in straw-fired boilers. https://www.academia.edu/5299327/Lab_Scale_Investigations_of_High_Temperature_Corrosion_Phenomena_in_Straw_Fired_Boilers

Nummenmaa, L. (2021). Tilastotieteen käsikirja. Tammi.

Patronen, J. (2020). Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä suomessa. https://afry.com/sites/default/files/2020-08/tem_turpeen_kayton_analyysi_loppuraportti_0.pdf

Powderprocess. (n.d.). Powder flowability characterization: Angle of repose. Haettu osoitteesta 23.07.2022 https://powderprocess.net/Powder_Flow/Angle_Repose.html

Raumaster Oy. (n.d.). About Raumaster. Haettu 25.05.2022 osoitteesta <https://www.raumaster.fi/company>

Shutterstock. (23.7.2022). Sulfur powder in petri dish, chemical substance for industrial use [valokuva]. <https://www.shutterstock.com/fi/image-photo/sulfur-powder-petri-dish-chemical-substance-1986914540>

Spiroflow. (n.d.). Flexible screw conveyor replacement tubes & spirals. Haettu 15.10.2022 osoitteesta <https://www.spiroflow.com/replacement-parts/flexible-screw-conveyor-replacement-tubes-spirals/>

Työterveyslaitos. (24.05.2021). OVA-ohje: Rikki. <https://www.ttl.fi/ova/rikki.html>

Vilka, H. (2015). Tutki ja kehitä (5.painos). PS-kustannus. <https://www.el-library.com/reader/9789523701731>