

Pelletin siirron kehittäminen

Jyri Pelto-Arvo

Opinnäytetyö
Marraskuu 2015

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Pelto-Arvo, Jyri	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 23.11.2015
	Sivumäärä 35	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa (X) Myönnetty
Työn nimi Pelletin siirron kehittäminen		
Koulutusohjelma Kone- ja Tuotantotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Luosma, Petri		
Toimeksiantaja(t) Vapo Oy, Saastamoinen Matti		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö käsittelee pelletin siirtolaitteiden tutkimista ja niiden käyttöongelmien ehkäisyä. Työ tehtiin Vapo Oy:lle käyttäen yhteistyössä olleiden Ariterm Oy:n ja Triotec Oy:n laitteita.</p> <p>Teoriaosuudessa käsiteltiin pelletin käyttöä, valmistusta ja sen siirtoon käytettäviä ruuvikuljettimia. Pelletti on luonnonmukainen ja puhtaasti palava puunkäsittelylaitosten sivutuotteena syntyvä kotimainen polttoaine, jota lisäksi valmistaa turpeesta, oljesta tai muusta orgaanisista materiaaleista. Pelletin siirtoon käytetään ruuvikuljettimia tai pneumaattisia kuljettimia. Tämä työ käsittelee ruuvikuljettimista spiraali- ja keskiakseliruuvien siirtokapasiteetin todentamista käytännössä ja tutkii ilmeneviä vikatilanteita käytössä. Tarkoituksena oli myös kartoittaa laitteiden jatkokehittämistä havaintojen pohjalta.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena saatiin todennettua kahdelle erityyppiselle siirtoruuvulle siirtokapasiteetit nousukulmissa 0-45° käyttäen eri pellettilaatuja. Työssä ilmenneiden käyttöongelmien pohjalta tehtiin jatkotutkimusehdotukset syvempiä tutkimuksia varten.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Pelletti, siirto, ruuvi, kuljetin		
Muut tiedot Pelletti, siirtoruuvi, ruuvikuljetin		



DESCRIPTION

Author(s) Pelto-Arvo, Jyri	Type of publication Bachelor's thesis	Date 23.11.2015
	Pages 35	Language Finnish
		Permission for web publication
Title Developing pellet transfer		
Degree Programme Degree Programme in Mechanical and Production Technology		
Tutor(s) Luosma, Petri		
Assigned by Vapo Ltd, Saastamoinen Matti		
Abstract <p>The purpose of the Bachelor's thesis was to research the conveyors used to transfer pellet and how to prevent problems in using them. This research was done for Vapo Ltd in cooperation with Aritem and Triotec which provided the equipment.</p> <p>The theoretical framework covers using and producing pellets and screw conveyors used to transfer them. Pellets are a natural and clean-emission fuel which are made of wood chips produced as a byproduct in wood industry. It can also be made of peat, straw or other organic materials. The pellets are transferred by using screw conveyors or pneumatic transfer. This thesis handles verifying the transfer capacity of spiral and axle-conveyers in practice and examines the problems in using them. It was also the purpose to examine developing conveyors as a result of the problems encountered during the tests.</p> <p>As a result of this thesis, the capacities for two different screw conveyors were defined using different pellet qualities in elevation angles between 0-45°. Additional improvement suggestions for further developments were also outlined.</p>		
Keywords Pellet, screwconveyour, conveyour,		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	Johdanto.....	4
2	Yritysten esittely	5
2.1	Vapo Oy	5
2.2	Ariterm Oy	5
2.3	Triotec Oy	6
3	Opinnäytetyön aihe	7
4	Pelletin polttaminen	8
4.1	Pelletti.....	8
4.2	Poltin.....	9
4.3	Kattila.....	9
4.4	Siirto.....	10
4.5	Varastointi	11
4.6	Pelletitakat	11
5	Pelletin valmistusprosessi	12
5.1	Käsittelyvaihe.....	12
5.2	Puristus	13
6	Ruuvikuljettimet.....	15
6.1	Yleisesti	15
6.2	Spiraaliruuvi.....	16
6.3	Keskiakseliruuvi	17

	2
7 Testaus	18
7.1 Siirtotutkimuksen tavoitteet ja keinot	18
7.2 Järjestelyt.....	18
7.2.1 Laitteiston kasaus.....	18
7.2.2 Pelletin jauhaminen	18
7.3 Testausjärjestelyt.....	19
8 Koeajot ja havainnot	21
8.1 Spiraaliruuvi.....	21
8.2 Keskiakseliruuvi	26
8.3 Ruuvien toiminnan vertailu	29
9 Kehityskohteet	30
9.1 Spiraaliruuvi.....	30
9.2 Keskiakseliruuvi	32
10 Yhteenveto.....	33
LIITTEET	36
Liite 1 Spiraaliruuvin jatkuvan siirron taulukko ja kuvaaja.....	36
Liite 2 Spiraaliruuvin katkosyötön taulukko ja kuvaaja.....	37
Liite 3 Keskiakseliruuvien siirtojen taulukot ja kuvaaja	38

KUVIOT

KUVIO 1. Turve- ja puupellettiä (Vapo).....	8
KUVIO 2. Pelletin valmistusprosessi (Bioenergia ry).....	12
KUVIO 3. Matriisien toiminta ja rakenne (Tekes 2002a).....	14
KUVIO 4. Ariterm Oy:n Spiraaliruuvi	16
KUVIO 5. Putkivaipallinen akseliruuvi (Wamgroup.fi).....	17
KUVIO 6. Ruuvien tekniset tiedot.....	18
KUVIO 7. Pellettimurska ja alavaste	19
KUVIO 8. Spiraaliruuvin jatkuvan käytön siirtokuvaaja.....	22
KUVIO 9. Spiraaliruuvin katkosityötön siirtokuvaaja.....	22
KUVIO 10. Siilon pohjalle kertynyttä jauhoa 2.5% pellettiseoksesta	24
KUVIO 11. Akseliruuvin siirtokuvaaja	26
KUVIO 12. Mittaustila laitteistoinen	28
KUVIO 13. Spiraaliruuvin siirtokapasiteetti eri pyörimisnopeuksilla.	30

1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee pelletin siirron kehittämistä testaustoiminnan ja käyttöongelmien havaitsemisen kautta. Työ suoritettiin Vapo Oy:n toimeksiantona yhteistyössä Ariterm Oy:n ja Triotec Oy:n kanssa, jotka tarjosivat tutkimuksessa käytetyt siirtoruuvit testauksia varten.

Työssä selvitettiin kapasiteetin muutosta pelletin siirrosta ruuvikuljettimilla nousukulmien ja hienoainepitoisuuksien muuttuessa. JAMK:in tiloihin rakennettiin testauslaitteet, joilla kyettiin jäljittelemään syöttötapahtumaa pellettipolttimelle. Koeajoissa voitiin todentaa useita eri käyttötilanteita sekä katkonaisella että jatkuvalla ruuvin ajolla. Havaintojen perusteella selvitettiin siirtotekniikkojen kehittämistä edelleen silmälläpitäen ilmeneviä käyttöongelmia.

Työn teoria pohjautuu siirtoruuvien tekniikkaan sekä pelletin käyttö- ja valmistusprosesseihin. Käytännön osuudessa perehdytään tarkemmin testauksessa ilmenneisiin käyttöongelmiin ja huomioihin jatkotutkimuksia varten.

2 Yritysten esittely

2.1 Vapo Oy

Vapo on suomen johtava lämpöenergian tuottaja ja myyjä sekä johtava bioenergian kehittäjä Suomessa ja Itämeren alueella. Yritys toimii laajamittaisesti energia-alalla. Konserni rakentuu emoyhtiö Vapo Oy:stä joka jakaantuu kolmeen liiketoiminta alueeseen: Lämpö ja sähkö, Puupolttoaineet ja turvetuotteet. Tytäryhtiöitä ovat Vapo Timber, Kekkilä Oy, Neova Ab sekä AS Tootsi Turvas.

Vapo on Suomen suurin pellettivalmistaja. Suomessa on toiminnassa viisi omaa puupellettitehdasta ja yksi turvepellettitehdas, joiden tuotannon ohella Vapo vastaa viiden sopimusvalmistajan pellettien markkinoinnista. Vapolla on lisäksi neljä omaa tehdasta Ruotsissa, yksi Tanskassa, yksi Virossa ja yksi Puolassa. Yhteensä Vapon tehtaot tuottavat vuodessa 690 000 tonnia pellettiä. (Vapo Pellettikirja)

Toimeksiantajayrityksenä toimi Vapon pääkonttori joka sijaitsee Jyväskylässä. Konsernin liikevaihto tilikaudella oli 1.5.2014- 30.4.2015 486,9 miljoonaa euroa. Suomen valtio omistaa yhtiöstä 50,1 % ja Suomen Energiavarat Oy 49,9 %. Viimeisimmän tilikauden lopussa 2014 työntekijöitä oli 961.

2.2 Ariterm Oy

Ariterm on kotimainen lämmitysjärjestelmien valmistaja. Ariterm kehittää, valmistaa ja markkinoi lämmitystekniikkaa uusiutuville polttoaineille kuten pelletti, klapi ja hake. Yrityksen päätuotteita ovat lämmön ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarkoitetut keskuslämmityskattilat, biopolttolaitteet sekä kokonaisjärjestelmät 8MW kokoluokkaan asti.

Tuotantolaitos ja pääkonttori sijaitsevat Keski-Suomessa Saarijärvellä. Yrityksen päämarkkina-alueena ovat Pohjoismaat.

2.3 Triotec Oy

Triotec Oy on metallialan konepaja, joka valmistaa, myy ja markkinoi korkealaatuisia siipikarjankasvatusjärjestelmiä, ulkorehu ja pellettsiiloja sekä kuljettimia. Triotec on hitsattujen siilojen markkinajohtaja Suomessa. Lisäksi Triotec tuottaa ohutlevytöiden alihankintaa muille laite- ja konevalmistajille. (Triotec Oy:n Internet-sivut) Yrityksen tuotteet ovat edustettuina myös Norjassa, Ruotsissa, Venäjällä ja Sloveniassa.

Triotecin toimitilat sijaitsevat Varsinais-Suomessa Koski TL:ssä.

3 Opinnäytetyön aihe

Tutkimus käsittelee pelletin siirron tehokkuuden tutkimista erilaisilla käytettävillä siirtotekniikoilla. Palamista ja sen tehostamista on tutkittu aikojen saatossa paljon ja sitä tullaan edelleen jatkamaan, mutta itse siirron tutkimus on jäänyt vähemmälle huomiolle.

Vapo Oy kaipasi tutkimuksesta tietoa siitä miten siirtoteho muuttuu kun ruuvin nousukulmaa lisätään asteittain. Ruuvit asennetaan perinteisesti siloihin joista ruuvi hoi-
taa siirron polttimelle. Monesti silo on määräävä tekijä, sillä huomioiden mukaan viikkosiilojen kiinteä ruuvisovite on lähellä ruuvin maksimousua vastaava nousua. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ruuvit asennetaan usein tarpeettoman jyrk-
kään nousuun koska se onnistuu helposti vaikka asennustila mahdollistaisi loivem-
man asennuksen.

Toinen tutkimuksen pääidea oli nähdä millaisia käyttöongelmia ilmenee, kun pelletti on huonolaatuisempaa eli sisältää suuremman pitoisuuden hienoainetta. Tutkimuk-
sen päätarkoituksena oli tuottaa tietoa siirtoruuvien käyttäytymisestä vertailukelpoi-
sissa olosuhteissa ja samalla laitteistolla, jotta ilmenevät käyttöongelmat olisivat hel-
pompia rajata pois ja olisi mahdollista tarjota kuluttajalle tukea ongelmatilanteisiin.

Vapo on pohjoismaiden johtava pelletin tuottaja ja myyjä joka toimii kiinteässä suh-
teessa bioenergia-alan laitetoimittajien kanssa. Paremminkin toimivat laitteet ovat koko
alan etu ja luovat pohjaa bioenergian paremmalle menestykselle.

4 Pelletin polttaminen

4.1 Pelletti

Puupelletti on tiivistä, tasalaatuista ja uusiutuvaa bioenergiaa. Kosteusprosentti on alle 10 %, joten ne eivät jäädy eivätkä homehdu. Vapon pellettien raaka-aine on puhdasta suomalaista puuta, teollisuuden tuotannossa syntyvää sahanpurua ja pientä lastua. Pelletti puristetaan purusta tuotantolaitoksissa tiiviiksi puupelletiksi ilman lisäaineita. Ne pysyvät koossa puun omien sideaineiden ansiosta, jonka vuoksi palamisjätettä tulee huomattavan vähän. Puupelletit ovat halkaisijaltaan 6-12mm ja pituudeltaan 10-30mm. Suomessa tuotettujen pellettien tehollinen lämpöarvo on 4,6-4,9kWh/kg, kosteus 8-10 %, irtotiheys 610-690kg/i-m³ ja tuhkapitoisuus 0,3-0,5 % (Alakangas, 2000).

Pellettiä voidaan valmistaa myös muista aineista kuten turpeesta, oljesta, korsibio-massasta, paperista ja kierrätyksessä syntyvistä palavista jätteistä. Vapo toimittaa puupellettiä irtotavarana, 500kg:n tai 20kg säkkiin pakattuna tarpeen mukaan. Irto-pelletti toimitetaan puhallusautolla suoraan asiakkaan varastoon. Toimitustapa vaikuttaa hintaan, suuremman määrän ollessa luonnollisesti edullisempää.



KUVIO 1. Turve- ja puupellettiä (Vapo)

4.2 Poltin

Pellettien palamista ohjaa poltin, joten se on tärkein osa koko järjestelmää. Poltin valitaan kattilan koon ja lämmitystarpeen mukaan.

Pellettien polttoon käytetään joko stokeri tai varsinaisia pellettipolttimia. Stokeripoltin käy myös monen muun polttoaineen polttamiseen, mutta varsinainen pellettipoltin on juuri pellettien polttoon suunniteltu. Erona näissä polttimissa on, että stokeripoltin on jatkuvatoiminen, kun taas pellettipoltin sammuu joutoajaksi ja käynnistyy tarvittaessa. Stokeripoltin pitää jatkuvasti pientä hiillosta yllä, joka ei kuluta juuriakaan energiaa. Tämän seurauksena stokeripoltin ei ole hyötysuhteeltaan paljoa pellettipoltinta heikompi. Toisaalta stokeripolttimen vaatima jatkuva puhallus lisää päästöjä. Usein ongelmia aiheuttaa kuitenkin tehonsäätö joutokäynnin kanssa, sillä pelletin energiatiheys on suurempi kuin polttimeen alun perin tarkoitetun hakkeen, jolloin vähäisen lämmöntarpeen aikana on olemassa ylikuumenemisriski.

Pelletin syötössä polttimen saamaa pellettimäärää annostellaan sulkusyöttimellä, joka ehkäisee mahdollisen takapalon vaaraa.

4.3 Kattila

Lämmön siirtyminen lämmitysjärjestelmään tapahtuu kattiloissa. Kattilan koko on sovitettava tehontarpeen mukaan, mutta myös käytettävän polttimen teho on otettava huomioon. Yleensä kattila ja poltin ovat saman tehoisia ja näin hyötysuhde saadaan hyväksi. Oikeassa kattilan mitoituksessa savukaasujen minimilämpötila laitteiston nimellisteholla jää alle 200 celsius asteeseen ja tämä takaa mahdollisimman korkean hyötysuhteen. Pellettipolttimen kanssa kattilassa täytyy olla alipaine, joka synnyttää tarvittavan vedon kattilaan.

Kattila koostuu palopesästä, josta lämpö siirtyy kattilaa kiertävän putkiston veteen. Putkiston vesitilavuus on niin usein niin suuri, että erillistä lämminvesivaraajaa ei tarvita. Kuitenkin suuren käyttövedentarpeen vuoksi monet kotitaloudet liittävät laitteistoon varaajan.

Kattilan poistoputkista palokaasut vapautuvat hormin tai muun vastaavan putken kautta ulkoilmaan. Suuremmissa polttolaitoksissa käytetään palokaasujen osittaista tai kokonaista kierrätystä hukkalämmön talteen ottamiseksi. Tämä parantaa edelleen lämmityksen hyötysuhdetta.

4.4 Siirto

Pelletin siirrossa käytettävän kuljettimen tehtävänä on syöttää oikea pellettiannos polttimelle. Kuljettimina toimivat siirtoruuvit siirtävät pelletit varastosta polttimelle, ja niitä on kahden mallisia: spiraali- ja ruuvikuljettimia. Moottori joka pyörittää kairaa saa toimintakäskyt polttimelta. Polttimen välittömässä läheisyydessä on pienempi välisäiliö, jotta ruuvin ei tarvitse pyöriä jokaisella polttokerralla. Poltin ottaa tarvitsemansa annoksen pellettiä kerrallaan poltettavaksi ja välisäiliön ollessa vajaa poltin antaa automatiikan kautta ruuville pyörityskäskyn. Spiraaliruuvi voidaan asentaa suoraan tai mutkittelevana mallina taipuisan spiraalin ansiosta. Ylimääräiset mutkat kuitenkin kuluttavat putkea enemmän, jolloin ruuvin rakenteet voivat rikkoutua kuluminen kautta. Kun putken seinämä lopulta kuluu puhki, siirto ei enää onnistu. Pellettien rakenne rikkoutuu helpommin jos matkalla on mutkia, joka osaltaan lisää hienoainepitoisuutta. Laitteistoihin on kuitenkin saatavilla erotusseuloja jotka poistavat ongelmia aiheuttavaa pölyä. Ylimääräisiä toimintahäiriöitä voi myös ilmaantua kun siirtoruuvi on pitkä ja mutkainen.

Mikäli kattilan lähiympäristössä ei ole tilaa järkevän kokoiselle varastolle, pellettiä voidaan siirtää pneumaattisesti pitkiäkin matkoja kattilan lähellä olevalle syöttövarastolle, josta siirto polttimelle hoidetaan ruuvilla. Pneumaattiset siirtoimurit ovat yleistyneet voimakkaasti pellettivaraston sijoituksen helpottamiseksi. Pneumaattinen siirto voidaan hoitaa joko yli- tai alipaineella, toisin sanoen puhallin- tai imuritoimisesti.

4.5 Varastointi

Pelletin varastointi voidaan hoitaa silotyyppisenä tai rakennuksen yhteydessä olevana pellettihuoneena josta pellettiä lisätään viikkosiiloon. Peruseriaatteena on että mitä lyhyempi siirtomatka polttimelle, sitä parempi toimintavarmuus saadaan.

Kattilahuoneen ja varaston suunnittelussa on huomioitava palomääräykset. Seinärakenteiden täytyy olla osastoivia ja varaston pölytiivis.

Euroopassa käytetään yleisesti maanalaista pellettisäiliötä. Saavutettuna etuna saadaan maisemointimahdollisuus sekä rakennetun tilan hyötykäyttö. Suomessa nämä säiliöt ovat yleistymään päin.

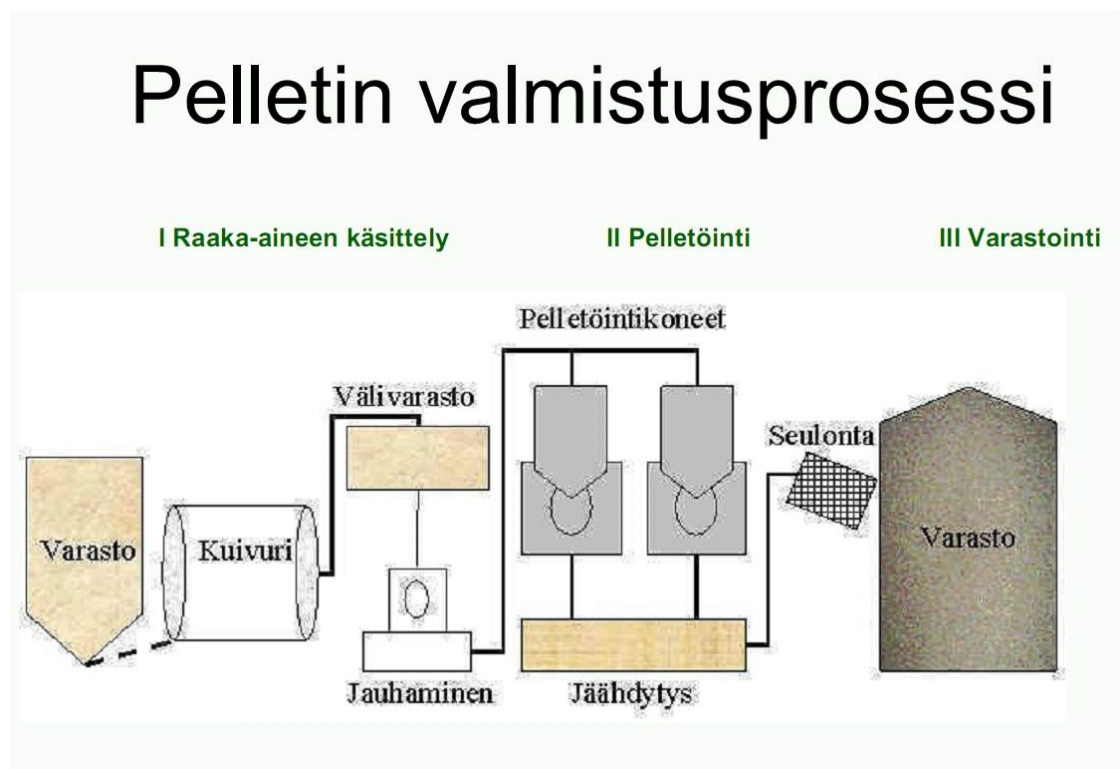
4.6 Pellettitakat

Pieneen lämmöntarpeeseen on suunniteltuna erilaisia pellettitakkoja. Sähkölämmityksen talon lisälämmitys pelletillä alentaa energiakuluja huomattavasti ja on helppo ottaa käyttöön tarpeen vaatiessa. Takat ovat täysautomaattisia ja varustettu termos-
taatilla joka kertoo polttimelle milloin on syytä lämmittää. Teholtaan takat ovat 2-12kW riippuen lämmitystarpeesta.

Takat ovat suosittuja myös kausiluonteisessa käytössä olevien rakennusten lisälämmityslähteenä, jolloin tila saadaan nopeasti lämmitettyä mihin vuodenaikaan tahansa. Tämän puolesta puhuu myös pelletin helppo kuljetettavuus säkkitavarana.

5 Pelletin valmistusprosessi

Pelletin valmistus tapahtuu prosessilla, jossa toisen tuotannon ylijäämänä syntynyt puru, hioke tai olki muutetaan toiseen muotoon. Suomessa on 27 toiminnassa olevaa pellettitehdasta (2013, Bioenergia Ry). Perustaltaan pelletin valmistus noudattaa Kuviossa 2 kuvattua järjestelmää, jonka vaiheiden sisältö riippuu hieman käytettävästä raaka-aineesta ja sen kosteudesta.



KUVIO 2. Pelletin valmistusprosessi (Bioenergia ry)

5.1 Käsittelyvaihe

Pellettien raaka-aine kuljetetaan tehtaille tavallisesti rekoille tai usein tehdas on liitetty muun puunjalostusteollisuuden yhteyteen. Tällöin lyhyt siirtomatka hoidetaan esimerkiksi kuljettimilla. Raaka-aineesta on ennen tuotannon aloittamista poistettava epäpuhtaudet kuten kivet, metalli ja muovi.

Valmistukseen käytettävän raaka-aineen optimikosteus on noin 10-15%, jota kosteampi raaka-aine on kuivattava ennen pelletointiä. Esimerkiksi sahanpurun kosteus-

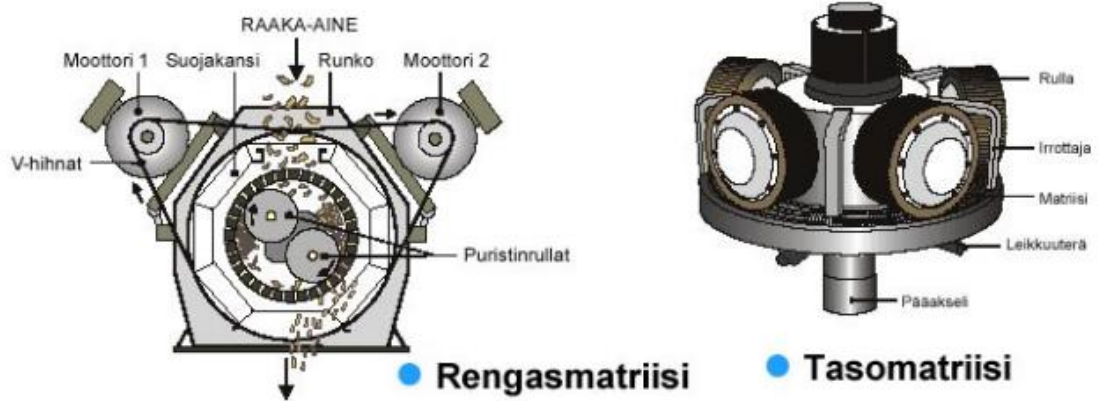
prosentti voi olla jopa yli 50% jolloin se vaatii kuivaamisen. Kuivaaminen tapahtuu normaalisti joko kokonaan tai osittain ennen jauhamista niin sanotussa esikuivurissa. Raaka-ainetta voidaan kuivata myös jauhamisen yhteydessä jolloin kuuma kaasua kulkee raaka-aineen ”läpi”. Kuivauksen jälkeen kosteuden on oltava noin 10% jotta pelletti on valmista jauhattavaksi.

Raaka-aineen ollessa valmiiksi riittävän kuivaa, se johdetaan suoraan jauhattavaksi vasaramyllyyn. Myllyssä kaikki raaka-aine jauhetaan tasalaatuisiksi ja sopivaksi puristusta varten. Käsittelyssä syntyvä pöly kerätään talteen ja hyödynnetään myöhemmin. Jauhettu massa voidaan syöttää seuraavaksi puristimelle käyttäen esimerkiksi ruuvikuljetinta tai muuta tarpeeseen sopivaa siirtokeinoa.

5.2 Puristus

Alkukäsittelyn jälkeen pelletöitävä materiaali siirretään pelletöintikoneeseen. Mikäli kone on varustettu sekoituskammiolla, raaka-ainetta voidaan syöttää siihen lisäaineistettavaksi. Tässä vaiheessa on mahdollista lisätä raaka-aineeseen sideaineita kuten yleisesti käytettyä tärkkelystä. Puristustapahtumaa voidaan lisäksi helpottaa lisäämällä höyryä joka helpottaa parantaa lopputulosta. Sideaineiden määrä on tavallisesti noin 1 % painosta, joten sillä ei ole merkitystä pelletin poltto-ominaisuuksiin tai tuhkan määrään. Vesihöyryn ja eri sideainein käytöllä voidaan positiivisesti vaikuttaa tuotannon energiankulutukseen ja laitteiden käytettävyyteen koska käytettävillä aineilla voi olla sitovia, voitelevia tai kosteudelta suojaavia ominaisuuksia.

Pelletöitävä materiaali pakotetaan rullien avulla puristamalla matriisilevyn reikien läpi. Matriisit voivat olla joko rengas- tai tasomatriiseja kuten Kuviossa 3. Prosessi nostaa puumateriaalin lämpöä ja aiheuttaa luonnollisten hartsien ja ligniinin hetkellisen pehmenemisen. Yhteen sitovina voimina ovat partikkelien kuitumaiset osat, sisäpintojen koheesio sekä etenkin ligniinin aiheuttama adheesio. Puristettaessa sulanut ligniini muodostaa jäähtyttyään pellettien pinnalle kiiltävän ja koossa pitävän kerroksen. Matriisin reikien läpi päästyään leikkuuterät katkaisevat puristeet oikeaan mitaan eli noin 10-30mm pitkiksi.



KUVIO 3. Matriisien toiminta ja rakenne (Tekes 2002a)

Oleellisesti pelletin puristuksessa syntyvään lämpöön vaikuttavat matriisin kitkaominaisuudet, reikien pituus ja halkaisija. Kuljettimella syötettävä raaka-aine muodostuu puristinrullan eteen, jonka puristinrulla pakottaa matriisin reikiin. Raaka-aine syötön jatkuessa puristinrullan jatkaa massan tiivistämistä reikiin työntäen samalla muodostuvaa pellettiä reiässä eteenpäin. Puristuksen onnistumisen kannalta matriisin pinnalle muodostuvan ”raaka-ainematon” paksuudella ja matriisin reikiin tiivistyvällä uudella materiaalikerroksen paksuudella on huomattava vaikutus. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat rullien materiaalit ja ominaisuudet, laitteen puristuskyky ja puristusrullien pyörimisnopeus. (Puupelletit energiantuotannossa, Jokinen, M. Kirjavainen, K.)

Puristuksen jälkeen kuumat pelletit täytyy jäähdyttää lopullisen lujuuden saavuttamiseksi. Jäähdytyksen jälkeen pelletit kuljetetaan vielä seulan läpi purun ja hienoaineen erottamiseksi. Seulomisessa irtoava aines voidaan palauttaa edelleen takaisin tuotantoprosessiin. Seulonnan tuloksena saadaan tasalaatuisempaa polttoainetta, joka soveltuu paremmin jakeluun ja aiheuttaa vähemmän ongelmia polttolaitteissa.

6 Ruuvikuljettimet

6.1 Yleisesti

Ruuvikuljetin on yleinen ja paljon käytetty kuljetintyyppi. Yleisimmin ruuvikuljettimia käytetään jauhe- ja raemaisten materiaalien sekä karkeampien puumateriaalien kuitun hakkeen siirtoon, joiden ohella niitä voidaan käyttää myös lietemäisten ja neste-mäisten materiaalien siirtoon. Yleisin käyttöpaikka on silojen pohjapurkaimena toimiminen.

Ruuvikuljettimessa on akseliin kiinnitetty spiraalikierre joka on joko kourussa tai putkessa. Ympäröivä putkirakenteen vaippa toimii yleensä myös runkorakenteena. Ruuveja on sekä vetäviä että työntäviä malleja jolla tarkoitetaan moottorin sijaintia riippuen käyttötarkoituksesta. Pyörittämiseen käytetään useimmiten sähkömoottoria ja alennusvaihdetta. Vaihteen ja moottorin pyörimisnopeuden valintaan vaikuttavat siirrettävä materiaali ja vaadittava siirtoteho. Kuljettimia voidaan käyttää sovelluksesta riippuen niin vaaka- kuin pystysuorissakin sovelluksissa. Ruuvikuljetin toimii myös rakenteensa puolesta sulkukuljettimena sillä ajon loputtua rakenne estää materiaalin virtauksen, jolloin se on mahdollista sijoittaa silon pohjakuljettimeksi alaviistoon.

Ruuvikuljettimissa massan siirto perustuu kulkusuuntaan nähden nousevaan kierteseen. Useimmiten kierre on myötäpäivään nouseva, mutta vastapäivään nouseva kierre toimii aivan yhtä hyvin muiden parametrien säilyessä samana. Siirrettävän massan liikuttaminen perustuu kierteen edellään työntämään massaan. Mikäli ruuvikuljettimessa ei ole keskiakselia, sitä kutsutaan spiraalikuljettimeksi.

Ruuvikuljettimen etuja ovat pieni tilantarve, halvat asennuskustannukset ja siirrettävyys kohtuullisen painon ja fyysisen koon vuoksi. Suljetun rakenteen ansiosta pölyävien materiaalien siirto onnistuu suljetuilla siloilla siten että pölyä ei pääse kuljettimen ulkopuolelle. Tämä on paloturvallisuuden ja ympäristön siisteyden kannalta merkittävää.

6.2 Spiraaliruuvi

Spiraalikuljettimissa on useimmiten muoviputken sisällä litteästä jousiteräksestä valmistettu spiraali. Spiraalin kierre on nouseva siirtosuuntaan nähden, jolloin ruuvien pyöriminen vetää siirrettävää massaa edellään kohti poistoputkea. Koska kierteessä ei ole keskiakselia rakenne on hyvin joustava ja sallii siirtoputkessa olevat mutkat.

Joustavuuden vuoksi spiraaliruuvi on aina vetävä, koska työntävä ruuvi painaisi jousimaisen rakenteen kasaan jolloin materiaalia ei siirtyisi käytännössä lainkaan. Pyörimisnopeus on pelletin siirrossa maltillinen ja tästä johtuen voidaan käyttää hyvin edullisia ja pienitehoisia moottoreita, joiden voima välitetään vaihteiston kautta kierteen pyörittämiseen. Tässä työssä käytettiin kuvion 4 mukaista spiraaliruuvia.



KUVIO 4. Ariterm Oy:n Spiraaliruuvi

6.3 Keskiakseliruuvi

Keskiakseliruuvi on spiraaliruuvia järeämpi siirtolaite, joka toimii akseliputken ympärille vedetyllä lattatankokierteellä. Akseliruuvi on putken sisällä, joka käyttökohteesta riippuen on välyksellinen tai hyvin tiivis ympäröivään putkeen. Putket voivat olla neliskanttisia, u-kouruja tai pyöreitä. Kierteen noususuunnalla ei ole merkitystä siirron tehokkuuden tai toiminnan kannalta.

Pitkissä akseliruuveissa siirtoakselia voidaan tukea laakeroinneilla tarpeellisin välein, jonka lisäksi vapaa pää täytyy laakeroida. Tällä estetään akselin hakkaamista ruuvien seinämiin joka aiheuttaa melua, resonointia ja kuluttaa rakenteita.



KUVIO 5. Putkivaipallinen akseliruuvi (Wamgroup.fi)

7 Testaus

7.1 Siirtotutkimuksen tavoitteet ja keinot

Pelletin siirtotutkimuksessa pyrittiin todentamaan pelletin siirtolaitteiden käyttäytymistä eri nousukulmilla ja hienoainepitoisuuksilla.

7.2 Järjestelyt

7.2.1 Laitteiston kasaus

Laitteet kasattiin Jamk:in rajakadun kampuksen logistiikkalaboratorioon. Sähkökytkennät toteutettiin asiantuntevan henkilön avustuksella jotta laitteisto on turvallinen käyttää. Sähkökaappina käytettiin Siemens Logo!:n sisältävää ohjauskaappia jolla ohjattiin kontaktoritoimista kytkentäkaappia.

Testattava spiraalikuljetin oli Ariterm Oy:n 3m Depo Feedo ja Akseliruuvina käytettiin Triotec Oy:n 4m pellettiruuvia. Molempien ruuvien pyörimisnopeudet olivat noin 10rpm. Ruuvien vertailtavat tekniset tiedot löytyvät kuvioista 6.

	Depo Feedo	Triotec	
Pituus	3	4	m
Putki Ø	68	160	mm
Kierre OD Ø	39	150	mm
Moottori	25	550	w
Pyörimisnopeus	10	10	rpm

KUVIO 6. Ruuvien tekniset tiedot

7.2.2 Pelletin jauhaminen

Pelletin jauhaminen suoritettiin Jamk:in Biotalousinstituutin laitteistolla Saarijärven yksikössä. Jauhaminen tapahtui 2mm seulakoolla rumputyyppisellä murskalla, jossa pelletin syöttö tapahtui yläkautta. Murska kierrätti pellettiä teräpalojen ja pintavas-
teiden välissä ja rummun alla oleva seula päästi riittävän hienoksi menneen jauheen lävitseen. Murska toimi muuten asiallisesti, mutta oli äärimmäisen tehoton ja tuk-
keutumisherkkä näinkin suurelle jauhamismäärälle. Pellettiä saattoi syöttää par-
haimmillaankin vain n.0,5litraa minuutissa, jonka aikana piti myös liikutella sisävas-

teita jotta pelletti päätyy murskalle asti. Valmista pellettijauhoa valmistettiin noin 45kg.



KUVIO 7. Pellettimurska ja alavaste

7.3 Testausjärjestelyt

Ensimmäisenä testattavana siirtolaitteena oli spiraaliruuvi, jolla tehtiin koeajot kaikilla laaduilla ennen siirtymistä akseliruuvien käyttöön.

Testauksessa käytettiin pellettiä joka oli halkaisijaltaan 8mm. Testaus hoidettiin johdonmukaisesti siirtyen pienemmistä hienoainepitoisuuksista suurempiin. Jokaiselle hienoainepitoisuudelle ja nousukulmalle tutkittiin lisäksi vaikutusta syötön katkomisesta ja vertailtiin tehollista siirtoaikaa katkosyötön ja jatkuvan käytön välillä. Näin voitiin havaita miten pelletti käyttäytyy siirtoputkessa katkosten aikana ja mahdollinen hienoaineen aiheuttama valuminen kävi ilmi siirtokapasiteetin muutoksina.

Katkosyöttönä tutkittavalle siirrolle käytettiin 10s syöttöaikaa ja 5s odotusaikaa, joka toteutettiin logiikkaohjauksella. Katkosyötölle on tutkimuksessa ilmoitettu tehollinen

siirtoaika, jotta voitiin todeta miten katkon aikana tapahtuu valumista tai tapahtuuko sitä lainkaan.

Perusoletuksena ennen testausta oli, että kapasiteettiero eri hienoainepitoisuudella alkaa näkyä paremmin tultaessa lähemmäksi maksimiksi ilmoitettua 45° nousua. Aluksi testattiin pelletin siirtoteho kuljettimen ollessa vaakatasossa, josta siirryttiin 5° lisäyksiin 45° nousuun asti.

Asteittainen nousu loivasta nousukulmasta jyrkempään oli paitsi käytännöllinen toteuttaa, myös tulosten tarkkailun kannalta johdonmukainen. Spiraaliruuvien kanssa toimittaessa kulmamutoksen jälkeen pyöritettiin ruuvia ilman ajanottoa yhden koeajon verran, jotta nostossa tapahtuneet tärähdykset eivät olisi vääristäneet tuloksia.

Mittaustuloksista tehtiin kuvaaja kapasiteetin muutoksesta nousukulman muuttuessa, jonka perusteella saatiin kuvaajat siirtotehon muutokselle. Näin voidaan helposti vertailla muutosta ruuvien toiminnassa. Mittalaitteina käytettiin järeitä vaakoja, joiden kalibrointi tarkastettiin jokaisen testauspäivän aluksi.

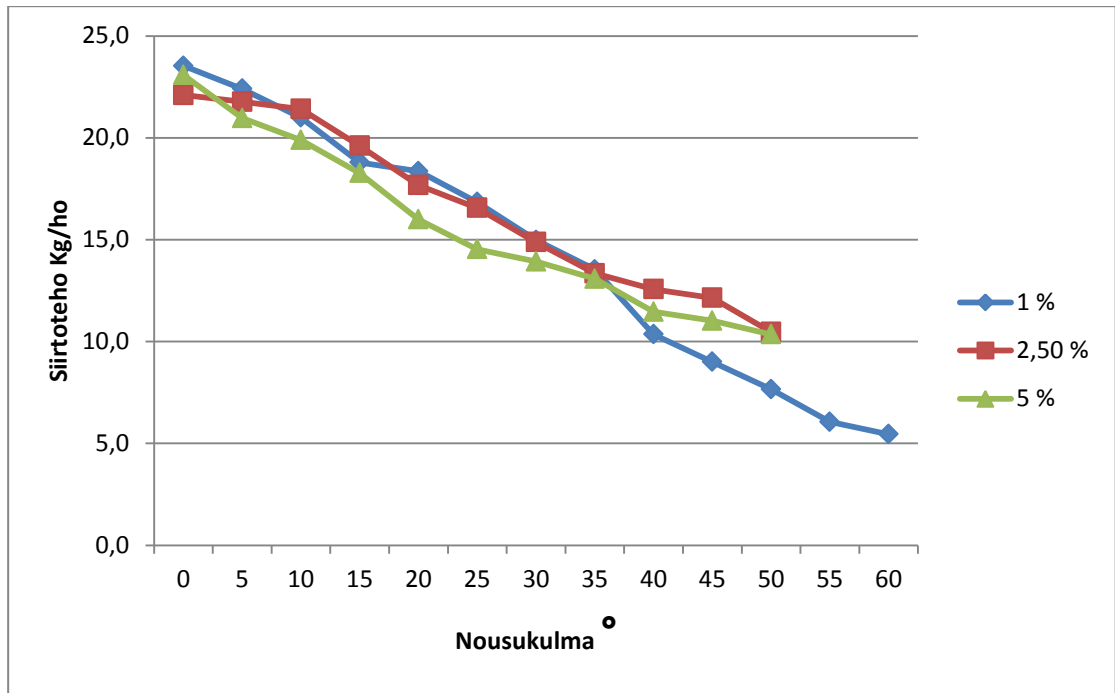
8 Koeajot ja havainnot

Tulosten varmistamiseksi molemmilla siirtoruuveilla tehtiin useita testauksia jotta saatiin keskiarvotulos jota voitiin pitää luotettavampana kuin yhteen koeajoon perustuva siirtotestiä. Kulmilla 45° ja 25° ajettiin lisäksi jokaisella seoksella 8 koeajoa jotta voitiin seurata peräkkäisten mittausten tuloseroja ja saada kuvaa mittaustulosten vaihteluista samanlaisten siirtotilanteiden välillä.

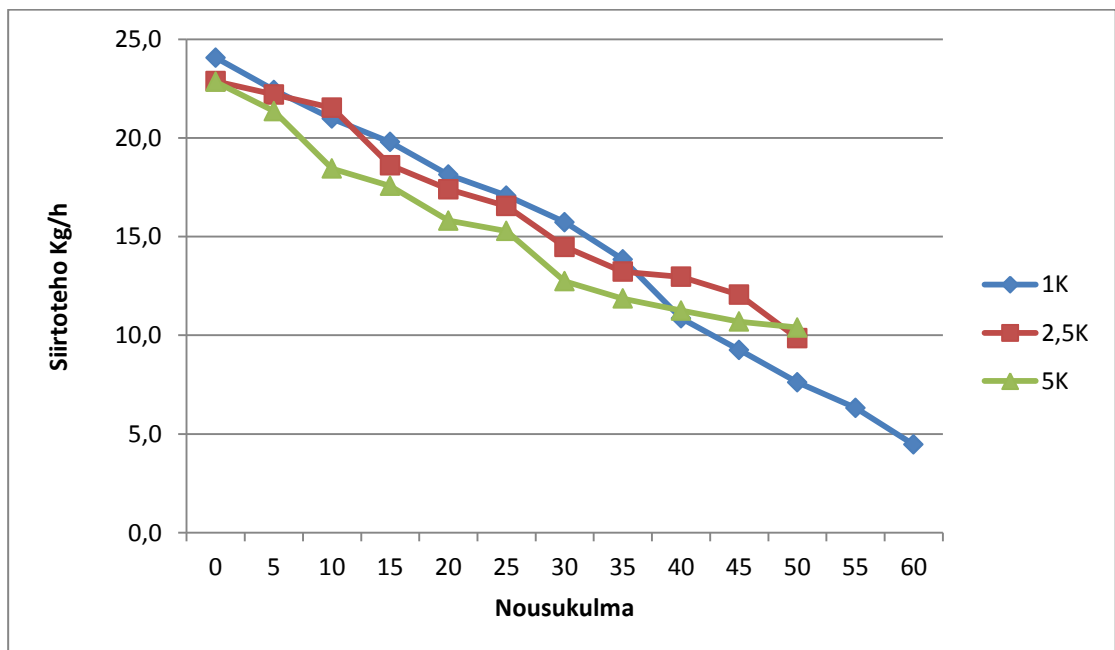
8.1 Spiraaliruuvi

Spiraaliruuvin jatkuvassa käytössä voitiin huomata eri pellettilaatuojen siirrossa keskinäisten siirtokapasiteettien kulmakertoimien seuraavan pääpiirteissään toisiaan. Mielenkiintoisen asiasta tekee se, että testauksessa käytetyllä ruuvikokoonpanolla 1% pellettiä siirtyi kaikkein huonoiten kun nousukulma saavutti 35°, jonka jälkeen huonolaatuisempi pelletti kulki jopa paremmin. Tässä testauksessa parhaiten siirtyi 2,5 % hienoaineseoksella oleva pelletti kun koeajettiin ruuville määriteltyä maksiminousua 45°. Tulokset antavat kuitenkin yksipuolisen kuvan syöttötapahtumasta kun käytännön sovellutuksissa ruuvien ajot tapahtuvat pidemmissä jaksoissa ja pidemmällä tauoilla. Etuna kuitenkin 10s ajo / 5s katko tavalle nähtiin juuri useiden katkojen näyttämä mahdollinen valuminen. Kuvioita 8 ja 9 verrattaessa voidaan nähdä että tehollisia syöttöaikoja verrattaessa katkosyötöllä ei ole juuri ennalta arvioidun kaltaista merkitystä. Ainakin testatuilla laitteilla pelletti käyttäytyy putkessa karkean massan kaltaisesti jolloin katkon aikana tapahtuva valuminen ei ilmennyt erityisen voimakkaasti.

Pelletin valumista ehkäisee myös se, että ruuvi ahtaa putken yllättävän täyteen, jolloin pelletillä ei ole tilaa valua. Varjopuolena voidaan nähdä että kun käytössä olevat moottorit ovat pienitehoisia niin liian täyteen ahtava putki voi lopulta jumittaa spiraalin. Pidemmällä siirroilla oli havaittavissa kierteen kiristymisen putken sisällä, jolloin syöttökatkon aikana ruuvi vapautui jännityksestä pyöräyttämällä moottoria n. 1/10 kierrosta takaisinpäin pyörimissuuntaansa nähden. Takaisinpyörähdyksestä ei muuten nähty erityistä haittaa.



KUVIO 8. Spiraaliruuvin jatkuvan käytön siirtokuvaaja



KUVIO 9. Spiraaliruuvin katkosityötön siirtokuvaaja

Pellettijauheesta vaikuttaisi pelkkää ruuvin siirtotehoa seurattaessa olevan aavistuksen hyötyä siirtoruuville. Pelletin seassa oleva jauhe sitoo kovia pellettipuristeita toimien ”patjana” putken sisällä. Jauhe on kuin pakkaavaa massaa siirtoputkessa, jolloin kovat pellettipuristeet eivät liu’u niin helposti toistensa lomitse. Tästä syystä

hienoainepitoisuuden pysyessä verrattain matalana (2,5 %) käytäntö kääntyy oletusta vastaan, ja siirtoteho on jopa parempi verrattuna alle 1 % hienoainetta sisältävään pellettiin. Luonnollisesti loivalla ruuvin nousukulmalla valumista ei tapahdu juurikaan, jolloin hyvälaatuinen pelletti liikkuu kaikkein tehokkaimmin.

Spiraaliruuvien siirtokapasiteetti laskee kääntäen verrannollisesti nousukulman kasvessa välillä 0-45 astetta, jonka jälkeenkään ei tapahdu selkeää romahdusta. Tutkimuksessa testattiin myös lisätietona 1% pelletin siirtoa jopa 60° asteen nousulla, jolloin pellettiä siirtyi yhä 5,5 kg/h (Liite 1). Kyseisessä nousussa oli kuitenkin huomattavissa selkeästi ruuvien rakenteen tulevan vastaan, sillä ruuvien sisällä oli kuultavissa selkeää valumisen ropina. Alettiin olla siis lähellä pistettä jossa siirto käytännössä loppuu kokonaan. Mitään käytännön järkeä tällaisessa asennuksessa ei kuitenkaan ole jos halutaan välttää käyttöongelmia.

Pelletin valuminen siilossa ruuvien nostopäähän voi aiheuttaa myös pienessä käyttötärpeessä ongelmia. Tutkimuksen aikana oli selkeästi nähtävissä pelletin voimakas kerrostuminen siilossa kun käytettiin huonolaatuisempia pellettiseoksia. Koko tutkimuksen aikana oli nähtävissä kuinka pelletin seassa oleva hienoaine valuu ruuville huonosti aiheuttaen syöttöön katkoksia ja holvaamista.

Jyrkempiä nousukulmia testattaessa alkoi erottua vahvemmin myös pelletin seassa olevan hienoaineen vaikutus siirtoon. Etenkin huonolaatuisimmalla 5 % hienoaineseoksella peräkkäisten testien siirtoajat heittelivät jopa 10 %. Testauksessa tehtyjen huomioiden perusteella ongelmat siirrossa johtuivat poikkeuksesta ruuvien alapäähän kertyvästä jauhetulpasta, johon spiraali ei kyennyt tarttumaan. Käytännössä tämä on tärkeää sillä tästä aiheutuu käyttöongelmia jotka vaikuttavat johtuvan ruuvista mutta käytännössä johtuvat liiasta pölymäärästä johon ruuvien kierre ei kykene tarttumaan. Tämä asia vaatii käyttäjältä aktiivisuutta lähinnä siilon tyhjentyessä ja ennen seuraavaa täyttöä jotta liiallinen jauhe poistetaan ruuvien alapäästä. Kuviosta 10 on nähtävissä hyvin, kuinka tyhjänä olevan siilon pohjalle on kertynyt suuri määrä hienoainetta ja joka siilon tyhjetessä tulee aiheuttamaan syöttöongelmia. Tällöin ruuvi pyöri testauksessa pahimmillaan minuutteja ilman että siirtoa tapahtui lainkaan. Kuviossa esiintyvä pölyn määrä on jäänyt jäljelle tyhjään siiloon lisätyn n. 50

2,5 % hienoainetta sisältävän pellettikilon jälkeen, joten jauheen kertyminen on todella huomioitava. 2,5 % hienoainetta sisältävä pelletti on kuitenkin huomattavan huonolaatuista silmämääräisesti arvioiden sillä hienoaine erottuu massasta selvästi.



KUVIO 10. Siilon pohjalle kertynyttä jauhoa 2.5% pellettiseoksesta

Toimeksiantaja on testannut pelletin ulkovarastointia katetussa ulkosiilossa. 12kuukauden ajanjaksolla pelletin kosteus lisääntyi vain 1 % jolloin voidaan todeta ettei siitä ole pienkuluttajalle haittaa.

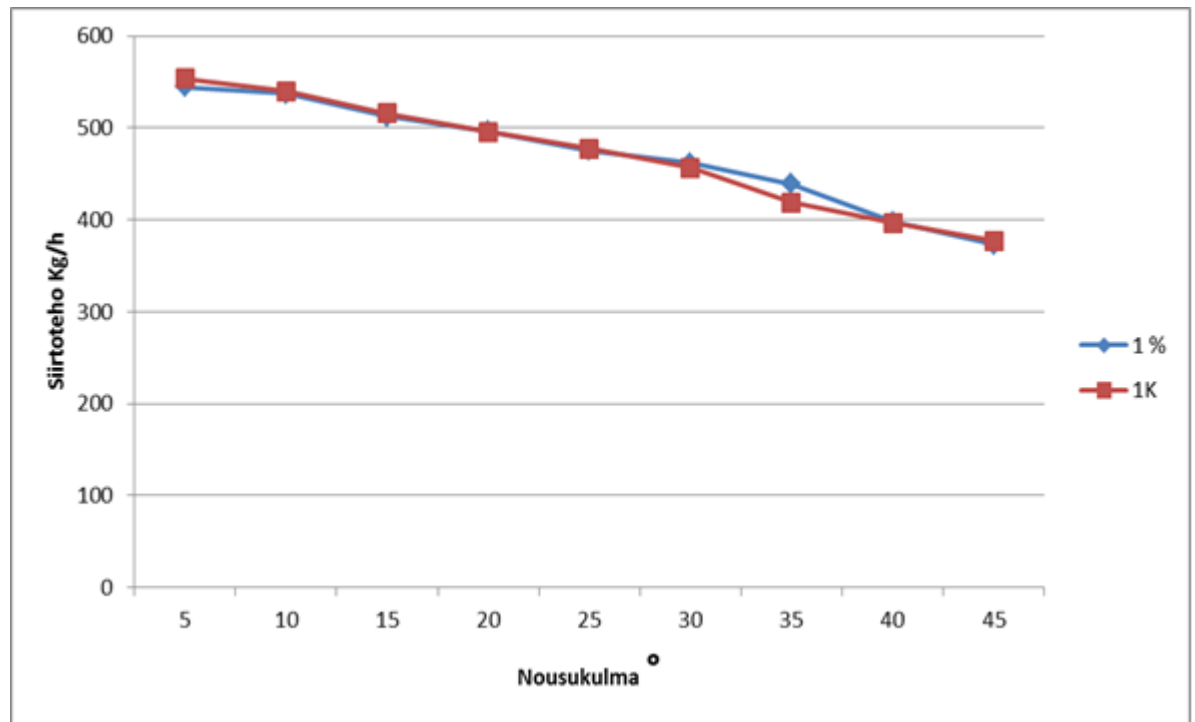
Kokonaisuutena siirrosta voin todeta tutkimuksen jälkeen, että pelletin ollessa hyvälaatuista siirtoteho heikkenee nousukulman kasvaessa hyvin loogisesti ja tasaisesti.

Jatkuvan siirron ja katkosyötön välillä voitiin tehollisia siirtoaikoja verrattaessa huomata miten pelletti loppujen lopuksi valuu hyvin vähän siirtoputkessa.

Muita huomattavia seikkoja tutkimuksessa olivat siirtoon käytetyn 25W tehoisen moottorin voimakas kuumeneminen pidemmissä siirroissa. Pidemmällä siirtoajoilla moottori vaatii ehdottomasti pitkiä taukoja jotta se kestäisi käytössä. Moottorin tyyppikilvessä ilmoitetusta 15 min maksimikäyttöaikaan voidaan verrata polttimen kerrallaan ottamaa pellettimäärää kun tuntikapasiteetti on nyt tiedossa. Tämä on kuitenkin käyttökohteesta ja lämmöntarpeesta riippuvainen asia joten kyseinen moottori toimii todennäköisesti käytössä hyvin. Tämä kuitenkin sillä varauksella että muu laitteisto on yhteensopivaa ja pelletti kohtuullisen laadukasta.

8.2 Keskiakseliruuvi

Keskiakseliruuvivin koeajot suoritettiin siirtämällä pellettiä ruuvilla 260 litran siilosta betonivaa'an päällä olevaan mitta-astiaan. Ruuvivin asennon muutos hoidettiin logistiikkalaboratorion trukkia käyttäen, jolloin ruuvia saatiin pidettyä tarkasti paikallaan eri asennoissa.



KUVIO 11. Akseliruuvivin siirtokuvaaja

Kuviosta 11 on nähtävissä kuinka tasaisesti siirtokapasiteetti kasvaa ruuvivin nousukulman muuttuessa loivemmaksi. 35° kulman kohdalla tapahtuu outo notkahdus katkosityötön kapasiteetissa verrattuna jatkuvaan pyörytykseen. Vaikka pelletti ei valu lainkaan akseliruuvivin sisällä niin jostain syystä juuri kyseisessä nousukulmassa katkosityöttö oli tehottomampi, vaikka muuten siirtotehot seuraavat toisiaan käsi kädessä. Tämän asian osalta tein ylimääräiset mittaukset varmistuakseni ettei kyseessä ole mittausvirhe. Tulos kuitenkin pysyi samana joten asiaa voi jatkossa selvittää, mikäli se nähdään tarpeelliseksi tai ongelmalliseksi.

Toiminnaltaan akseliruuvi on vakaa ja varmatoiminen. Siirto on jatkuvaa ja tutkimuksen aikana ei huomattu missään vaiheessa ainuttakaan syöttökatkoa tai ylimääräisiä

toimintaongelmia. Peräkkäisten koeajojen ajat olivat jatkuvasti 1.5 % toleranssin sisällä.

Siirtoruuvien toimintaan vaikutti kuuluvan pelletin voimakas rikkoontuminen. Silmämääräisesti arvioiden hyvälaatuisen pelletin seassa oli jo yhden siirron jälkeen yli 5 % hienoainetta. Pelletti ei varsinaisesti jauhaannu vaan pikemminkin murtuu raaka-aineena käytetyksi sahanpuruksi eli karkeaan raekokoon. Tämän aiheuttama ongelma riippuu pitkälti ruuvien käyttötarkoituksesta. Mikäli kyseistä ruuvia käytetään siilojen tai varastojen välillä pelletin siirtoon, pelletistä tulee suotta heikkolaatuisempaa vain ruuvista johtuen. Lisäksi hienompi pelletti imee itseensä enemmän kosteutta jolloin kylmätilavarastossa voi tulla ongelmia jäätyksen kanssa. Jos taas ruuvia käytetään sen siirtotehon mahdollistamaan suureen lämmöntarpeeseen, niin kyseisen polttoainemäärän seassa oleva puru ei todennäköisesti aiheuta haittaa massan polton kannalta.

Tutkimuksen aikana ongelmasta keskusteltiin tilaajan kanssa ja todettiin eri alkuseoksilla tapahtuvat testaukset tarpeettomiksi koska seoksen laadun seuranta olisi ollut mahdotonta. Tästä johtuen suunnitellut koeajot vähenivät yhdellä pellettilaadulla toteutettaviksi.

Kuviosta 12 on nähtävissä käytännön mittausjärjestelyt logistiikkalaboratoriossa.



KUVIO 12. Mittaustila laitteistoinen

8.3 Ruuvien toiminnan vertailu

Molemmat ruuvit osoittautuivat luotettaviksi ja toimiviksi omaan tarkoitukseensa. Vaikka ruuveja ei kapasiteetin perusteella ole järkevää verrata, voidaan nähdä toiminnan olevan pienkäyttäjille tarkoitettulla spiraaliruuvilla jouhevaa mutta käyttäjän aktiivisuutta vaativaa siilon hienoinemäärän tarkkailua. Ruuvi toimi muuten kuten odottaa saattoi, mutta akselittomuudesta johtuen tartunta pelkkään jauhoon on erittäin heikkoa. Keskustelin tutkimuksen ohella lähinnä omasta mielenkiinnosta johtuen useiden pellettilämmittäjien kanssa. Yleisenä ilmiönä heidän laitteissaan vaikutti olevan juuri siilon tyhjentyessä ilmenevä jauheen kertyminen, jota kukaan ei kuitenkaan pitänyt suurena ongelmana.

Yksityiselle pienkäyttäjälle akseliruuvi on vahvasti ylimitoitettu. Kuitenkin mikäli lämmitettävää rakennuspinta-alaa on paljon, olisi jopa järkevää käyttää testauksessa käytettyä ruuvia pienempää kokoa kuten vaikka 100mm putkella olevaa ruuvia. Tämä toisi akseliruuvien tehokkuuden käytettäväksi kylminä kuukausina ja poistaisi käyttöepävarmuus tekijöitä. Kuitenkin mitä enemmän pellettiä ajetaan, sitä enemmän hienoinetta luonnollisesti kertyy.

9 Kehityskohteet

9.1 Spiraaliruuvi

Spiraaliruuvissa peruskonstruktio on toimiva. Koeajojen aikana oli huomattavissa rakenteen olevan yksinkertaisuudessaan toimiva ja edullinen, joka painaa pientalolämmittäjien vaa'assa paljon. Tämän kokoluokan laitteiden kanssa toimiessa on muistettava kuitenkin, että ilmaantuviin käyttöongelmiin vaikuttaa enemmän kokonaisuus, johon ruuvi on asennettu kuin pelkkä siirtoruuvi. Testausten ulkopuolisten käyttäjäkokemusten perusteella mitä pidemmälle pellettiä on tarkoituksena siirtää ja kuinka monta mutkaa siirtoputkessa on, vaikuttaa huomattavasti ilmenevien käyttöongelmien syntyyn. Parhaiten toimiva rakenne on tietenkin suoralla putkella ja mahdollisimman lyhyellä siirtomatalla toteutettu kokonaisuus.

Testasin käyttöä spiraaliruuvien pyörimisnopeuden kasvattamista akkuruuvinvääntimellä, jolla näin helpoimmaksi todentaa pyörimisnopeuden kasvattamisesta aiheutuvan hyödyn kun taajuusmuuttajaa ei ollut saatavilla pyörimisnopeuden kasvattamiseen (eikä moottori olisi sitä kestänytään suuren vaihteiston alennussuhteen vuoksi). Kun pyörimisnopeutta testattiin kuviosta 13 ilmenevillä nopeuksilla, voidaan nähdä jo pikaisella testauksella kuinka kapasiteetti kasvaa lähes suoraan pyörimisnopeuden kasvaessa. Tästä voidaan todeta että jo olemassa olevalla rakenteella on potentiaalia olla hyvinkin tehokas siirtoruuvi kokoluokassaan, mikäli moottorin tehoa ja vaihteen välityssuhdetta muokataan vastaamaan suurempaa pyörimisnopeutta.

Spiraaliruuvi		
	rpm.	kg/h
45°	10	9
	40	40
	60	60

KUVIO 13. Spiraaliruuvien siirtokapasiteetti eri pyörimisnopeuksilla.

Spiraalin kierteiden lisääminen voitaisiin nähdä toisena käyttökelpoisena ideana. Kun putkessa on enemmän massaa "sitovaa" elementtiä, valuvalla materiaalilla on

enemmän estettä josta on hyötyä varsinkin jyrkässä siirtospiraalin ollessa pystymässä kulmassa. Toisaalta tämä syö aavistuksen putken hyötytilavuutta, jolloin samalla olisi kannattavaa kasvattaa myös kierteen halkaisijaa ja sitä kautta saada sovitukset putkeen tiiviimmäksi. Putken sovittaminen kierteeseen parantaisi joissain olosuhteissa todennäköisesti siirtovarmuutta ja mahdollistaisi hienomman aineen liikuttelun. Käytössä ollut väljä sovitus mahdollistaa kierteen elämisen putkessa tilanteen mukaan. Perustaltaan jousimainen kierre pyrkii vapauttamaan jännityksensä, jolloin kierre saattaa singahdella siirtoputken sisällä hetkittäin ”helpoimpaan” asentoonsa, jossa pelletti vähiten vastustaa pyörimistä. Vapaasta tilasta on hyötyä mutkaisessa siirtoputkessa jolloin kierteellä on oltava tilaa ympärillään jotta putki ei kulu voimakkaasti. Suuremmissa siirroissa taas hieman tiukempi sovitus olisi varmasti paikallaan.

Kierteeseen kannattaisi harkita lisämuotoilua, mikäli valmistustekniikka sen sallii.

Tähän käyttöön sopii kierteeseen hitsattavat palat. Tällä saadaan kierteelle parempi tarttuvuus siirrettävään materiaaliin. Kuitenkin kaikki kierteen tarttuvuutta parantavat muutokset aiheuttavat aina lisäkuormaa moottorille, joten aihe vaatii enemmän perehtymistä saavutetun hyödyn ja mahdollisten haittojen suhteen.

Yhteenvetona kaikista kehityskohteista tehokkaimpana voidaan ylivoimaisesti pitää pyörimisnopeuden lisäämistä. Vaikka kierteen muotoilulla ja tihentämisellä saataisiin minkälainen siirtotehon lisäys hyvänsä, sen vaikutus näkyisi lähinnä siirtokapasiteetin tasoittumisena ja hienoaineongelman vähenemisenä. Kierteen tilavuus pysyy kuitenkin suurin piirtein vakiona jolloin on selvää että suurin vaikutus saadaan suoraan ruuvien pyörimisnopeutta kasvattamalla.

9.2 Keskiakseliruuvi

Keskiakseliruuvien toiminnan tehostamiseen pätee hyvin tarkasti samat lainalaisuudet kuin spiraaliruuviinkin. Kuten todettua, ruuvi ei ole siirrettävälle massalle kovin hellävarainen. Mikäli tämä nähdään ongelmaksi palavan energian kannalta, ruuvista olisi saatava vähemmän jauhava. Tämä voitaisiin toteuttaa sovittamalla putki tarkemmin kierteeseen, jolloin kierre ei ”hierois” siirrettävää pellettiä putken seinämää vasten.

Enemmän eri valmistajien akseliruuvien teknisiä tietoja voi huomata saman asian kuin tutkimuksessa todettiin: ruuveille kaikkein suurin vaikuttava tekijä siirtokapasiteetin kannalta on pyörimisnopeus. Samoilla ruuvikierteillä on toteutettu kokoonpanoja, joiden siirtoteho on moninkertainen toisiin verrattuna. Tämä johtuu suoraan pyörimisnopeuden erosta joka on toteutettu eri vaihdemoottori- ja hihnavälityskokoonpanoilla.

Suurin vaikutus siirtotehoon saadaan siis tarpeen vaatima siirtonopeus selvittämällä ja sovittamalla pyörimisnopeus siirrettävälle materiaalille ja vaaditulle tarpeelle.

10 Yhteenveto

Kokonaisuutena opinnäytetyö antoi laajan kuvan pelletin siirtokeinoista ja niihin liittyvistä käyttöongelmista. Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin ja saatiin luotua faktaa pelletin siirtolaitteiden toiminnasta muuttuvissa olosuhteissa. Tutkimuksessa esitettyjen huomioiden pohjalta voidaan tehdä päätöksiä jatkotutkimuksista aiheen osalta. Opinnäytetyön tarkoituksena olleet testaustulokset saatiin toteutettua ja voidaan jakaa jatkossa käyttäjille laitteiston suunnittelun tueksi.

Itseäni käytännönläheinen ongelmanasettelu kiehtoi ja lähdin innolla työn pariin. En ole perehtynyt suuremmin ruuvien tekniikkaan aiemmin, lähinnä tutuksi on tullut akseliruuvin käyttö viljan siirtoon kotitilallani. Mielenkiintoisin vaihe oli tietenkin itse mittausten suorittaminen. Vaikka itse mittaukset vaikuttavat melko mekaaniselta suorittamiselta, niissä on silti useita vaiheita jotka vaikuttavat lopputulokseen ja tulosten vertailukelpoisuuteen. Luulin etukäteen ottaneeni huomioon kaiken mahdollisen mittauksiin liittyen mutta jouduin siltikin testauksen alkuvaiheessa ottamaan muutaman kerran takapakkia takaisin alkuun. Huonosti toteutetut testaukset olisivat kuitenkin jääneet kalvamaan mittausten edetessä ja varsinkin tuloksia tulkittaessa. Sain tarvittavat mittaukset kuitenkin tehtyä ja tulosten perusteella saatiin kuvaa siirtokapasiteetin muuttumisesta eri laaduilla.

Pelletti on tarkoitettu varmatoimiseksi ja vähällä huollontarpeella olevaksi polttoaineksi, joka ei vaadi käyttäjältä toiminnan seurausta siilon täynnä pysymisen lisäksi. Tutkimuksesta kuitenkin huomionarvoisena asiana kannattaa huomioida miten huonosti heikkolaatuinen pelletti valuu siilossa. Tämä aiheuttaa ongelmia lähinnä kun siilo on tyhjenemässä jolloin käyttäjän kannattaa tyhjentää siilonsa ylimääräisestä hienoaineesta. Hienoaineen vaikutus oli lopulta odotuksia vastoin melko pienessä roolissa kun tutkitaan pelkkää siirtokapasiteettia. Huomioitava on kuitenkin seassa olevan jauheen vaikutus käyttöongelmiin, jotka pitkällä aikavälillä voivat vaikuttaa enemmän kuin opinnäytetyössä käsitellyissä siirtotilanteissa.

Katkonaisen syötön vaikutus siirron tehokkuuteen ja epäily pelletin valumisesta suunnitellun käyttöalueen (0-45 astetta) osoittautui toisekseen vähemmän merkityk-

selliseksi. Kummassakaan ruuvissa ei tapahtunut huomattavaa valumista jatkuvan siirtoajon ja katkonaisen syötön välillä. Hetkittäin tehollista siirtoaikaa verrattaessa pelletti liikkuu katkonaisella ruuvin pyörittämisellä jopa paremmin.

Itseä työssä jäi harmittamaan lähinnä akseliruuville toteutettujen koeajojen vähyys joka johtui pitkälti ruuvin valtavasta kapasiteetista verrattuna testaukseen käytettävissä oleviin resursseihin. Olisin toivonut voivani testata ruuvia huomattavasti suuremmilla mittatilavuuksilla jotta olisi saatu aikaan tarkempaa tutkimusta laitteen toiminnasta, mutta käytännössä työ osoittautui ämpäritoimisesti pellettiä siilon ja purkupään välillä siirtäen mahdottomaksi. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa voin suositella käytettäväksi suurempaa siiloa sekä syöttöön pienkuormaajaa tai järeämpää kalustoa. Tällöin saadaan aikaan yhä kattavampaa mittatietoa vailla virheitä.

Kokonaisuutena opinnäytetyö työllisti käytännön testausten ja järjestelyjen parissa paljon mutta toisaalta raportoitavaa materiaalia on koeajotunteihin verrattuna vähän. Kokonaisuutena alkuperäinen ongelmanasettelu tuli ratkaistuksi.

LÄHTEET

Pellettikirja, Vapo Oy

Jokinen, M. Kirjavainen, K. 2009. Puupelletit energiantuotannossa. Jyväskylä : Jyväskylän Yliopisto <https://hannuv.files.wordpress.com/2007/06/puupelletit-energiantuotannossa2004-jokinen-kirjavainen.pdf>

Alakangas, E 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Otamedia Oy, Espoo
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

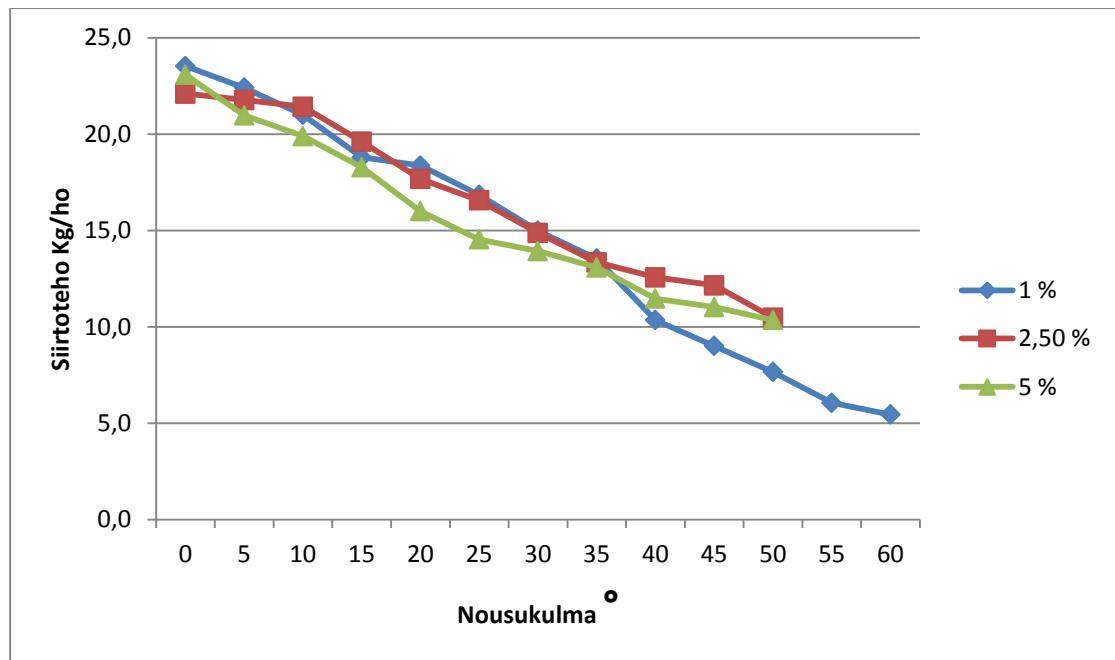
Screw conveyor corporation, Engineering catalog 1-2010
http://www.screwconveyor.com/assets/1/7/Engineering_Catalog_1-2010.pdf

Bioenergia ry, Viitattu 25.8.2015
www.pellettienergia.fi

LIITTEET

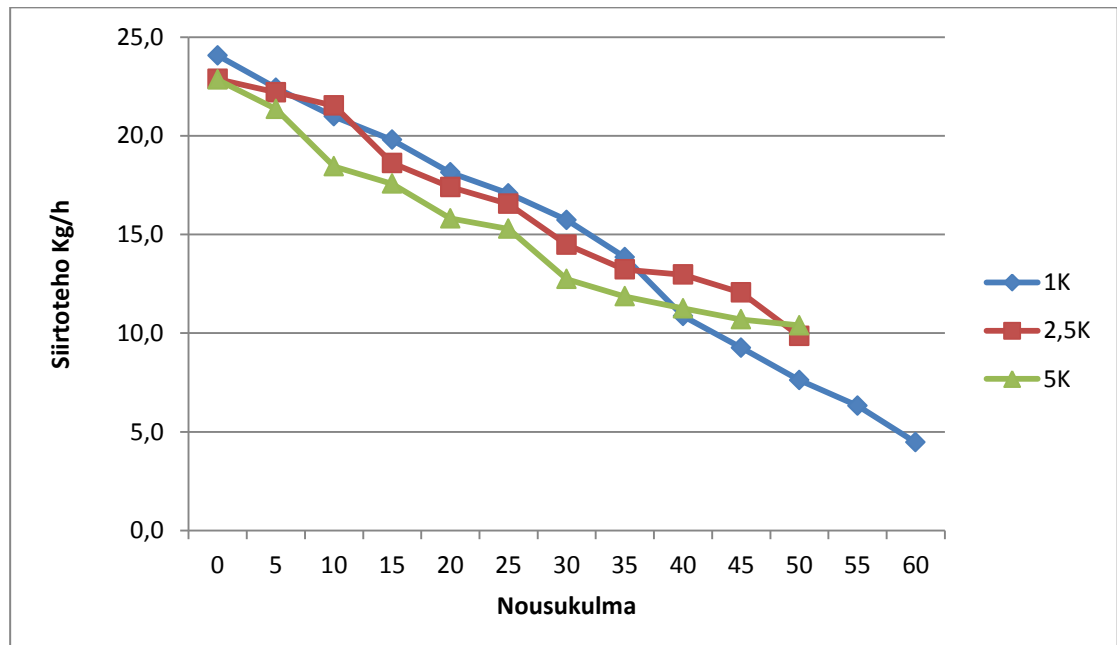
Liite 1 Spiraaliruuvin jatkuvan siirron taulukko ja kuvaaja

Siirtoteho kg/h			
Nousu °	1 %	2,50 %	5 %
60	5,5	-	-
55	6,1	-	-
50	7,7	10,5	10,3
45	9,0	12,1	11,0
40	10,4	12,6	11,5
35	13,5	13,3	13,1
30	15,0	14,9	13,9
25	16,8	16,6	14,5
20	18,4	17,7	16,0
15	18,8	19,6	18,3
10	21,0	21,4	19,9
5	22,4	21,8	21,0
0	23,5	22,1	23,1



Liite 2 Spiraaliruuvin katkosyötön taulukko ja kuvaaja

Siirtoteho kg/h (katkosyöttö)			
Nousu °	1K	2,5K	5K
60	4,5	-	-
55	6,3	-	-
50	7,6	9,9	10,4
45	9,3	12,1	10,7
40	10,9	13,0	11,3
35	13,8	13,2	11,9
30	15,7	14,5	12,7
25	17,1	16,5	15,3
20	18,1	17,4	15,8
15	19,8	18,6	17,6
10	21,0	21,5	18,4
5	22,4	22,2	21,4
0	24,1	22,9	22,8



Liite 3 Keskiakseliruuvin siirtojen taulukot ja kuvaaja

Siirtoteho kg/h		
Nousu °	1 %	1% Katko
45	373,4	376,9
40	397,8	396,6
35	439,0	419,0
30	461,5	456,6
25	475,7	477,2
20	496,6	495,6
15	512,8	516,0
10	537,5	539,7
5	544,6	553,6

