

Mika Parkkinen

**SIILOSTA POLTTIMEEN – VAIHTOEHTOJEN KARTOITUS,  
KIRJALLISUUSSELVITYS**

**SIILOSTA POLTTIMEEN – VAIHTOEHTOJEN KARTOITUS,  
KIRJALLISUUSSELVITYS**

Mika Parkkinen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Mika Parkkinen

Opinnäytetyön nimi: Siilosta polttimeen – kirjallisuusselvitys, vaihtoehtojen kartoitus

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari ja Kari Mäntyjärvi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 45

---

Opinnäyte on laadittu Kerttu Saalasti -instituutin Tulevaisuuden tuotantoteknologiat - tutkimusryhmälle. Työn tavoitteena oli mahdollisimman laajasti tutkia ja vertailla markkinoilla olevia ratkaisuja puupelletin varastointiin ja kuljettamiseen varastosta talokohtaisen H-CHP-laitoksen polttimelle.

Työssä hyödynnettiin tuotteiden valmistajien ja myyjien tarjoamia tietoja markkinoilla olevista varastointi- ja kuljetinvaihtoehtoista. Suurin osa käytetyistä lähteistä on julkisesti saatavilla ja osa on saatu henkilökohtaisesta pyynnöstä valmistajien edustajilta.

Työssä tutkittiin imusiirtojärjestelmien, spiraalikuljettimien sekä ruuvikuljettimien soveltuvuutta H-CHP-laitokselle. Mikään tutkituista siirtomenetelmistä ei ole täysin poissuljettu vaihtoehto. Epäselvyyksiä yksittäisten tuotteiden toiminnasta jäi paljon, esimerkkinä mainittakoon imusiirtojärjestelmä josta ei saanut kattavasti tietoa energiankulutuksesta tai siirtokapasiteetista. Spiraali- ja ruuvikuljettimissa on niin suuria vaihteluvälejä siirtokapasiteeteissa, ulkomitoissa, moottoritehoissa ja lähes kaikissa ominaisuuksissa että niistä löytyy sopiva kuljetin lähes mihin tahansa tarpeeseen. Työssä tutkittiin myös erilaisten ulko- sekä sisäsiilojen soveltuvuutta puupelletin varastointiin H-CHP-laitokselle. Kaikki tutkitut varastointimenetelmät ovat toimivia puupelletin varastointiin mutta ainoastaan suurista ulkosiiloista löytyi niin suuria vaihtoehtoja että puhallusauton ei tarvitsisi olla täyttämässä varastoa alle kuukauden välein.

Tutkimus antaa kohtuulliset lähtökohdat pelletin siirron ja varastoinnin valintaan niin H-CHP-laitokselle kuin myös keski- tai suuritehoiselle puupellettikattilalle. Tulevaisuudessa tarkemmat tiedot joiden perusteella voitaisiin tehdä varmoja valintoja, vaatisivat joko tuotteiden testaamista tai tarkkoja teknisiä tietoja tuotteiden valmistajilta.

---

Asiasanat: mikro-CHP, energiatekniikka, yhteistuotanto, biopolttoaineet, kuljettimet, varastointi

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	4
1 JOHDANTO .....	5
2 KERTTU SAALASTI INSTITUUTTI JA FUTURE MANUFACTURING TECHNOLOGIES .....	6
3 PUUPELLETTI POLTTOAINEENA.....	8
3.1 Puupelletin ominaisuudet .....	9
3.2 Puupelletin saatavuus ja ostaminen Suomessa .....	9
4 POLTTOAINEEN KULJETUS POLTTIMELLE.....	11
4.1 Ruuvikuljetin .....	11
4.2 Spiraalikuljetin .....	16
4.2.1 Pelltech-spiraalikuljettimet.....	17
4.2.2 Triotec -rehuspiraalit .....	18
4.3 Imusiirtojärjestelmät .....	20
4.3.1 Triotec Oy:n PIV3-pelletti-imurijärjestelmä .....	21
4.3.2 Dena WX10 -imusiirtojärjestelmä .....	22
5 VARASTOINTI.....	25
5.1 Kangassiilot.....	26
5.2 Metallilevysiilot .....	32
5.2.1 Nord Mills varastosiilo VS 85 .....	32
5.2.2 Mafa Villa -metallilevysiilot .....	33
5.3 Suuret ulkosiilot.....	34
5.3.1 Triotec-ulkosiilot.....	35
5.3.2 Triotec-neliösiilot .....	37
5.4 Maasäiliöt .....	39
6 YHTEENVETO .....	40
LÄHTEET.....	42

# 1 JOHDANTO

Nykyaikainen energiantuotannon kehitystyö siirtyy jatkuvasti uusiutuvia energianlähteitä suosivaan suuntaan. Kun uusiutumattomien energiamuotojen käyttöä vähennetään poliittisen tahdon ja polttoaineiden saatavuuden vähenemisen sekä hintojen nousun vuoksi, on hyvä tutkia vaihtoehtoisia energiantuotantoratkaisuja. Kun otetaan huomioon sähköverkkojen siirtohintojen niin rajut nousut, että niitä tulee rajoittaa lakiteitse, sekä pohjoiset harvaanasutut alueet, joilla ei ole toistaiseksi mahdollisuutta päästä sähköverkkojen piiriin, on ajatus sähkön tuottamisesta omaan käyttöön mielenkiintoa herättävä. (1.)

Opinnäytetyö on osa työn tilaajan H-CHP-projektia. Projektin tavoitteena on suunnitella ja valmistaa prototyyppi talokohtaisesta mikro-CHP (yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto) -laitoksesta jolla voidaan tuottaa pientalon tarvitsema sähkö- ja lämpöenergia.

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa vaihtoehdot puupelletin siirtoon siilosta polttimelle sekä vaihtoehdot puupelletin varastointiin. Vaihtoehdoista tutkitaan niiden yleisiä ominaisuuksia sekä soveltuvuutta käytettäväksi H-CHP-laitoksen kanssa. Työssä myös selvitetään, onko aiheeseen liittyvää kirjallisuutta saatavilla, sekä hyödynnetään tietolähteinä eri siirtimien ja varastointimallien myyjiä, valmistajia ja maahantuojia.

Työn tilaaja on Oulun yliopiston Kerttu Saalasti Instituutin tutkimusryhmä Tulevaisuuden tuotantoteknologiat FMT (future manufacturing technologies). Ryhmä toimii Pohjois-Suomen alueella, ja sillä on monikansallisia yhteistyökumppaneita. Ryhmän tarkoitus on edistää teollisuuden kehitystä yliopistotasoisien tutkimustoiminnan avulla (2.)

## 2 KERTTU SAALASTI INSTITUUTTI JA FUTURE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Kerttu Saalasti Instituutti on Oulun yliopiston tutkimusinstituutti. Instituutin pääpainopiste on kehittää ja edistää Pohjois-Suomen pienten, keskikokoisten ja mikroyritysten kasvua, varsinkin kansainvälistymisen ja tuotantoteknologioiden kannalta. Yhteiskunnallinen ja alueellinen vaikuttavuus ovat instituutille tärkeitä tekijöitä tutkimustoiminnassa. (3.)

Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT, Future Manufacturing Technologies), on Kerttu Saalasti Instituutin tutkimusryhmä. Tutkimusryhmällä on useita tutkimusalueita, kuten tuotantoautomaatio, erikoisteräksiset sekä kevyet ja kestävät rakenteet. Tulevaisuuden tuotantoteknologiat - tutkimusryhmän päätoimipaikka on ELME Studio Nivalassa.

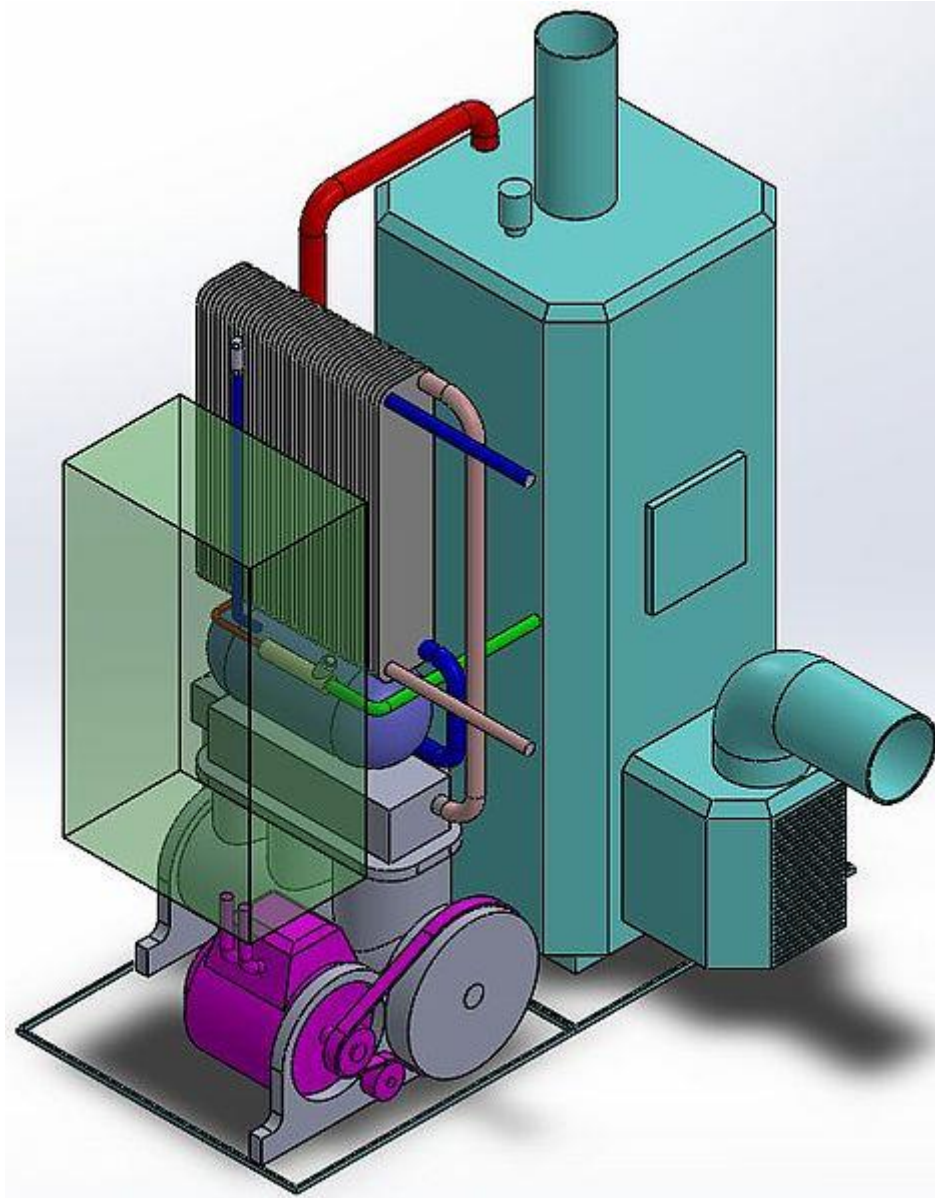
Tutkimusryhmä toimii projektirahoitteisesti. Projekteja on toteutettu 16 julkisrahoitteisena ja melkein yhtä paljon yritysten rahoittamina tilausprojekteina. Yrityksille tarjottavia palveluita ovat mm. prototyyppien suunnittelu sekä erilaiset testauspalvelut. Mikro-CHP-projekti, jonka osana opinnäytetyötä tehdään, on julkisrahoitteinen projekti.

### **H-CHP-projekti**

Projekti on osa monikansallista Northern Periphery and arctic -ohjelmaa. Yksi ohjelman prioriteeteista on edistää yhteisöjen energiaomavaraisuutta energiatehokkuuden ja uusiutuvien energialähteiden kautta. H-CHP-projekti keskittyy kehittämään vaihtoehtoja, joilla pohjoisen harvaanasutuilla alueilla yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto olisi erityisen hyödyllistä talokohtaisesti. Itsetuotetulla energialla vähennettäisiin sähköverkkojen rasitusta huippukäytön aikana, eivätkä kiinteistöt olisi täysin riippuvaisia ostosähköstä. Harvaanasutuilla alueilla sähköverkkojen toiminta- ja huoltovarmuus eivät ole yhtä luotettavia kuin tiheimmin asutuilla alueilla. (4.)

Käytännössä projektissa suunnitellaan ja valmistetaan H-CHP-laitoksen prototyyppi. Prototyypissä tulee olemaan kaksoisputkirakenteellinen vesiputkikattila jossa on sisäkkäin olevia putkia, joista ulommissa kiertää lämmitettävä vesi. Sähkö tuotetaan mäntähöyrykoneella, jossa höyryllä tuotettu mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi. Prototyypin ensisijainen polttoaine tulee olemaan puupelletti, mutta projektin tavoitteena on pystyä hyödyntämään myös muita kiinteitä

biopolttoaineita kuten puuhaketta ja turvetta. Prototyypille (kuva 1) haluttu energiantuotantoteho on 20 kW lämpöä ja 3 - 6 kW sähköä. Suunnitellun prototyypin vaatima polttoainevirta on 18,72 kg/h (5.)



KUVA 1. Esimerkkikuva suunnitellusta H-CHP-laitoksesta (5)

Prototyyppi on suunniteltu mahtumaan talon kattilahuoneeseen. Kokoluokka vastaa noin jääkaappi-pakastinyhdistelmää.

### 3 PUUPELLETTI POLTTOAINEENA

Puupelletti on sahanpurusta ja kutterilastusta valmistettu kiinteä biopolttoaine. Valmistusmateriaalit ovat sahateollisuudesta ja muusta puuteollisuudesta syntyviä sivutuotteita. Sahanpurusta valmistettu puupelletti ei siis itsessään vähennä metsävaroja. Suurin osa Suomessa käytetystä puupelletistä on kotimaista tuotantoa. (6.)

Puupelletin etuja ovat ympäristöystävällisyys ja uusiutuvuus. Puun kasvaessa siihen sitoutuu saman verran hiilidioksidia kuin se poltettaessa sitä vapauttaa. Todellisuudessa puupelletin polttaminen tuottaa epäsuorasti päästöjä, jos huomioidaan sen prosessoinnissa ja kuljetuksessa syntyvät päästöt.

Puupelletti on sylinterin muotoinen kappale, joka pysyy kasassa puussa olevan ligniinin avulla. Ennen pelletointiä raaka-aineesta poistetaan epäpuhtaudet ja se murskataan ja jauhetaan tasalaatuisiksi. Optimikosteus puupelletin raaka-aineelle on 10–15 %. Kosteampi raaka-aine kuivataan ennen pelletointiä. Tasalaatuinen aines kuljetetaan pelletöintilaitteelle, joka puristaa raaka-aineen matriisin läpi, jossa on muotoiltuja pyöreitä aukkoja. Aukkojen koko määrittelee pelletin halkaisijan. Pelletit katkaistaan laitteen leikkuuterällä, kun pelletit ovat halutun mittaisia. Pelletöintiprosessissa kova paine ja lämpötila irrottavat puusta ligniiniä, joka jää pelletin ulkopintaan muovisen näköiseksi ja tuntuiseksi pinnaksi. Valmistuksessa ei siis normaalisti tarvita muita sidosaineita, mutta joissain tapauksissa sidosaineita voidaan käyttää. Esimerkkinä mainittakoon tärkkelys, jota käytetään joskus sidosaineena pelletöinnissä. (7)

Vuonna 2016 puupellettiä valmistettiin kotimaisesti 271 000 tonnia, josta vietiin ulkomaille 34 000 tonnia, lähinnä Ruotsiin ja Tanskaan. Pellettiä myös tuodaan Suomeen Venäjältä. Tullin ulkomaankauppatilastojen mukaan tuontia oli 50 000 tonnia vuonna 2016. (6)

Kotimainen kulutus oli vuonna 2016 siis 286 000 tonnia, joka käytettynä lämpöenergian tuotantoon vastaa ainakin 1344,2 GWh:a, kun oletetaan että koko puupellettimäärä on polttoaineena standardin SFS-EN ISO 17225-2 mukaista.



### 3.1 Puupelletin ominaisuudet

Kaupalliseen ja kotitalouskäyttöön tulevien puupellettien laatuvaatimukset ovat saatavilla Suomen standardisoimisliiton standardissa SFS-EN ISO 17225-2. Taulukossa 1 nähdään laatuvaatimuksia A1-luokan kotitalouskäyttöön ja kaupalliseen käyttöön tarkoitettulle puupelletille.

TAULUKKO 1. A1-luokan puupellettien laatuvaatimukset (8; 9)

#### Puupelletin laatuvaatimukset A1

Ominaisuus	Yksikkö	6mm pel- letti	8mm pel- letti	Vapon tyypilliset ar- vot
Halkaisija	mm	$6 \pm 1$	$8 \pm 1$	$8 \pm 1$
Pituus	mm	3,15 - 40	3,15 - 40	3,15 - 40
Kosteus	paino-% *	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$
Tuhka	paino-% **	$\leq 0,7$	$\leq 0,7$	$\leq 0,4$
Lisäaineet	paino-% *	$\leq 2$	$\leq 2$	$\leq 1$
Tehollinen lämpöarvo	kWh/kg *	$\geq 4,5$	$\geq 4,5$	$\geq 4,7$
	MJ/kg*	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$	$\geq 16,9$
Irtotiheys	kg/m <sup>3</sup> *	$\geq 600$	$\geq 600$	$\geq 650$

\* saapumistilassa

\*\*kuiva-aineesta

### 3.2 Puupelletin saatavuus ja ostaminen Suomessa

Puupelletillä on Suomessa useita valmistajia ja myyjiä. Esimerkkeinä Vapo Oy sekä Versowood Group Oy valmistavat ja myyvät puupellettiä. Vaikka konsernit myyvät valmistamia tuotteita itse, on niillä myös jälleenmyyjiä ympäri Suomea. Vapo Oy:n pellettejä on saatavilla useimpien rautakauppojen sekä monien tavaratalojen kautta. Suomesta löytyy jälleenmyyjiä Venäjällä valmistetulle puupelletille. Esimerkkinä mainittakoon DML Finland, joka myy venäläisiä pellettejä Suomessa aputoiminimellä Biolandia. (10; 11; 12.)

Pellettiä voidaan ostaa jälleenmyyjiltä säkkitavarana tai irtotavarana. Saatavuuteen ja toimitustapaan vaikuttaa lähinnä asiakkaan sijainti suhteessa jälleenmyyjään. Biolandian pellettejä saa tilattua kaikkialle Suomeen säkkitavarana, mutta puhallusautolla toimitettu irtotavara

toimitetaan ilman lisäkustannuksia vain Turun alueelle. Vapo toimittaa puhallusautolla irtotavaraa ympäri Suomea, mutta hintaan vaikuttaa sijainti. Toimitushinnat saa selville Vapon nettikaupan laskurilla osoitteessa <https://kauppa.vapo.fi/tuote/irtopelletti/tilaus>. Versowood toimittaa säckitavaraa ympäri Suomea, mutta minimi tilaus on 26 suursäkkiä eli 13 tonnia pellettiä. Puhallusautolla toimitettua irtotavaraa saa vain tietyille alueille. Toimitusalueet ovat saatavilla Versowoodin nettikaupassa. (10; 11; 12.)

Puupelletin hintoihin vaikuttavat toimitustapa, pakkaustapa, määrä ja sijainti. Useimmat jälleenmyyjät ilmoittavat nettisivuillaan hintatiedot, toimitustavat ja toimitusalueet. Keskimäärin puupelletin hinta vaihtelee välillä 220 - 270 €/Tn. (10; 11; 12.)

## 4 POLTTOAINEEN KULJETUS POLTTIMELLE

Toimintavarma polttoaineen siirto pellettipolttimelle on tärkeää mikro-CHP-laitoksen toiminnalle. Kun järjestelmän automatiikka käskää kuljetinta siirtämään pellettiä polttimelle, mutta siirto keskeytyy tai ei lähde käyntiin, poltin luonnollisesti ei saa polttoainetta eikä toimi. Puupelletin siirtoon on markkinoilla vain muutamia kuljetintyypppejä. Nämä ovat ruuvikuljettimet, keskiakselittomat spiraalikuljettimet sekä imusiirtojärjestelmät. Kaikilla kuljetustavoilla voi olla omat etunsa ja haittansa tapauskohtaisesti. Tässä työssä tarkastellaan kattavasti eri siirtomenetelmät sekä yksittäisiä kuljetinmalleja ja -järjestelmiä sekä pyritään selvittämään niiden soveltuvuus käytettäväksi H-CHP-laitoksen kanssa.

Kuljetustavan valintaan vaikuttavat monet tekijät jotka ovat yleensä tapauskohtaisia. Valintaan vaikuttavat ainakin

- etäisyys pellettisäiliön ja polttimen välillä
- korkeusero pellettisäiliön ja polttimen välillä
- käytettävissä oleva tila
- fyysiset esteet pellettisäiliön ja polttimen välillä
- suurin sallittu sähköteho kuljettimelle
- pellettisäiliön sijoitus joko kiinteistön ulko- tai sisäpuolelle.

### 4.1 Ruuvikuljetin

Ruuvikuljettimella tarkoitetaan selvyden vuoksi tässä työssä vain niitä kuljettimia joissa on keskiakselillinen ruuvi, joka siirtää materiaalia. Työn myöhemmissä kohdissa spiraalikuljettimiksi kutsutaan vain niitä kuljettimia, joissa materiaalia siirtävä osa on keskiakseliton spiraali.

Ruuvikuljetin on nimensä mukaisesti kuljetin, jonka toiminta perustuu umpinaisessa putkessa tai avoimessa kourussa olevaan keskiakselilliseen ruuviin, joka pyöriessään siirtää ainesta vaakatasossa tai pystykulmassa. Kuljettimien peruseriaate on mekaanisesti hyvin yksinkertainen. Ruuvia pyörittää yleensä vaihteistettu sähkömoottori kuljetustehokkuuden maksimoimiseksi.

Ruuvikuljettimen peruseräite on ollut olemassa yli 2000 vuotta. Ensimmäisiä käsikäyttöisiä esimerkkejä vastaavasta käytöstä on Arkhimedeen ruuvi (kuva 3), jota käytettiin veden siirtämiseen. (13.)

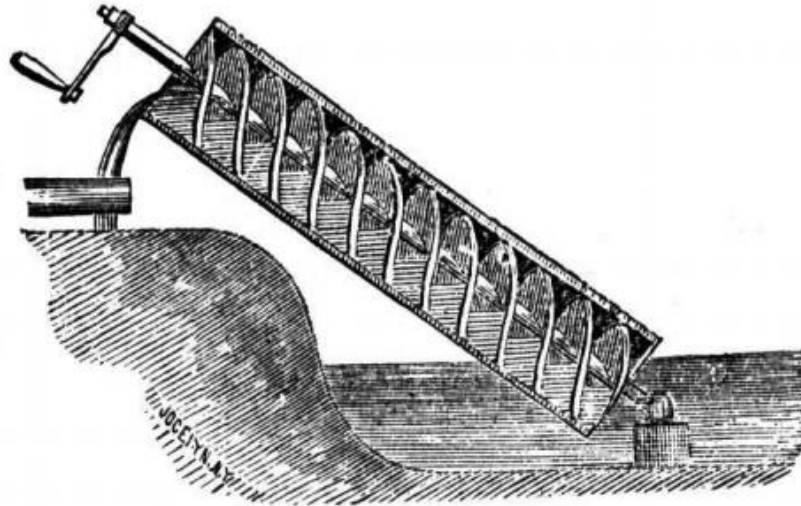


FIG. 2. Profile of Three-Bladed Archimedes Screw

### KUVA 3. Arkhimedeen ruuvi (13)

Ruuvikuljettimia käytetään teollisuudessa ja maataloudessa pellettien, jauheiden, rehujen, granulaattien ja muiden samantapaisten materiaalien siirtämiseen. Keskiakselilliset ruuvikuljettimet ovat pääsääntöisesti suurempitehoisia ja fyysisesti suurempia kuin spiraalikuljettimet. Suurin osa markkinoilla olevista ruuvikuljettimista on tarkoitettu suurien määrien siirtämiseen kohtuullisen nopeasti.

Ruuvikuljettimia voidaan ajaa yhtäjaksoisesti tai syklisesti. Syklisesti ajettaessa kuljettimen moottori pyörittää ruuvia tietyn ajanjakson ja sen jälkeen on pysähtynyt tietyn ajanjakson. Aikana jolloin moottori pyörii, siirretään ruuvilla niin paljon polttoainetta että polttimella on jatkuva polttoainevirta. Syklisesti ajettassa moottori saa taukoja jolloin se voi jäähtyä, mikä taas vähentää ylikuumenemisen riskiä.

Kotitalouksissa ruuvikuljetinta käytetään lähinnä kiinteiden polttoaineiden, kuten hakkeen ja puupelletin, syöttöön lämmityskattilan polttimelle. Kuljettimen ja kuljettimen piirteiden valintaan vaikuttavat esimerkiksi siirrettävä materiaali, haluttu siirtonopeus ja kulma jossa materiaalia siirretään. Huomioon täytyy ottaa myös kuljettimen kesto ulkotiloissa sekä käytössä oleva tila.

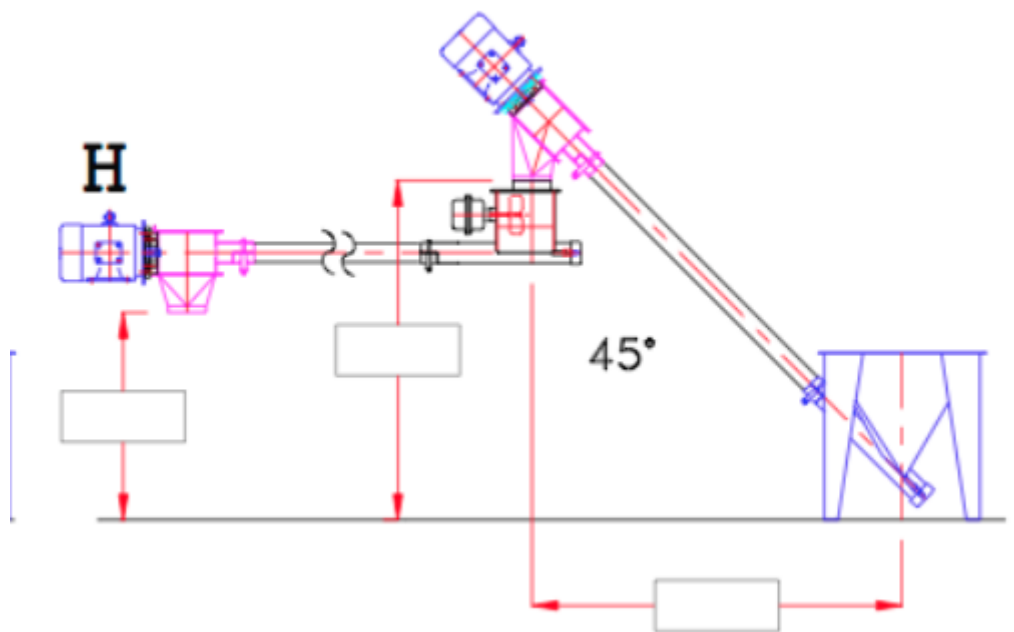
Puupelletin syötössä ruuvikuljettimia käytetään yleensä suuritehoisissa laitoksissa. Koska tutkinnan kohteena on mikro-CHP-laitos, jonka poltinto on huomattavasti suurempi kuin normaali pientalon lämmityskattilan pellettipoltin, on syytä paneutua tarkemmin myös laitteistoon, jota normaalisti käytetään suurien kiinteistöjen lämmitysjärjestelmissä. Riippuen valmistajasta ja mallista voi kuljettimien moottoritehoissa olla moninkertaisia eroja. Suuri sähköenergian kulutus on mikro-CHP-laitoksella erityisen epätoivottu piirre. Varsinkin nk. Off-grid-konfiguraatioissa, jossa mikro-CHP-laitos on ainoa sähköenergian lähde, kaikki ylimääräinen sähköenergian käyttö tulisi olla mahdollisimman pientä.

Tehokkaammilla sähkömoottoreilla saadaan lisättyä polttoaineen syöttömäärää kasvattamalla kuljettimen kierteen halkaisijaa. Syötetyn polttoaineen määrää voitaisiin lisätä myös nostamalla kuljettimen kierrosnopeutta. Siirtoon tarvittu sähköteho kasvaa myös kun kuljettimen pystykulmaa kasvatetaan. (14.)

Ruuvikuljettimen siirtokapasiteettiin vaikuttavat

- sähkömoottorin teho
- ruuvin halkaisija
- ruuvin kierteen tiheys
- vaihteiston välityssuhde.

Ruuvikuljettimet voivat olla ainoastaan suoria. Erilaisia konfiguraatioita voidaan saada aikaiseksi kuitenkin useilla ruuvikuljettimilla (kuva 2). Kuljetussuunnassa ensimmäinen kuljetin pudottaa siirrettävää ainetta seuraavalle kuljettimelle, joka voi olla eri kulmassa pysty- tai vaakasuunnassa suhteessa edeltävään kuljettimeen. Jos pellettipolttimen sijainti on paikassa, johon ei voida syöttää pellettiä yhdellä ruuvikuljettimella, on oletettavasti helpointa käyttää taipuisaa spiraalikuljetinjärjestelmää tai imusiirtojärjestelmää, jonka teho riittää H-CHP-laitoksen polttoaineen syöttötarpeeseen.



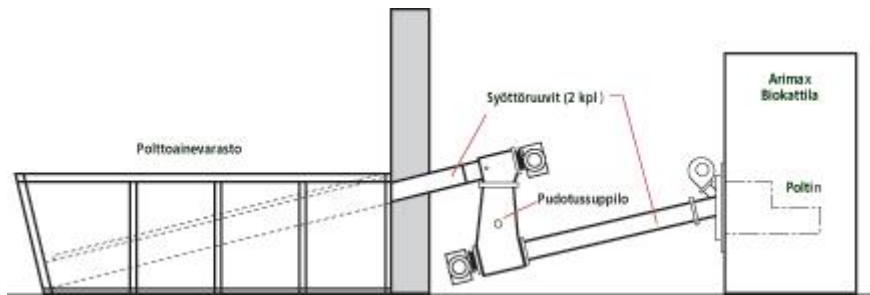
KUVA 2. Usean ruuvikuljettimen konfiguraatioesimerkki (15)

Yleensä ruuvikuljettimilla siirretään materiaalia 0 - 45 asteen kulmassa takaisinvirtauksen ja tukosten estämiseksi. Saatavilla on myös malleja jotka kuljettavat materiaalia jopa pystysuoraan. (14.)

Ruuvikuljettimia on markkinoilla monelta ulkomaiselta sekä kotimaiselta valmistajalta. Useimmat ruuvikuljettimet on suunniteltu suurten laitosten polttotehoille. Teknisesti ruuvikuljetin on erittäin hyvä siirtomenetelmä puupelletille. H-CHP-laitokselle toimivan ruuvikuljettimen löytäminen on helppoa, mutta koska useat mallit on suunniteltu suurille laitoksille, voi ylimitoitettun kuljettimen ostaminen olla kohtuuttoman kallista. Pienempiä ruuvikuljettimia on saatavilla mittatilaustyönä, joka myös on luultavasti kalliimpaa kuin valmiin tuotteen ostaminen.

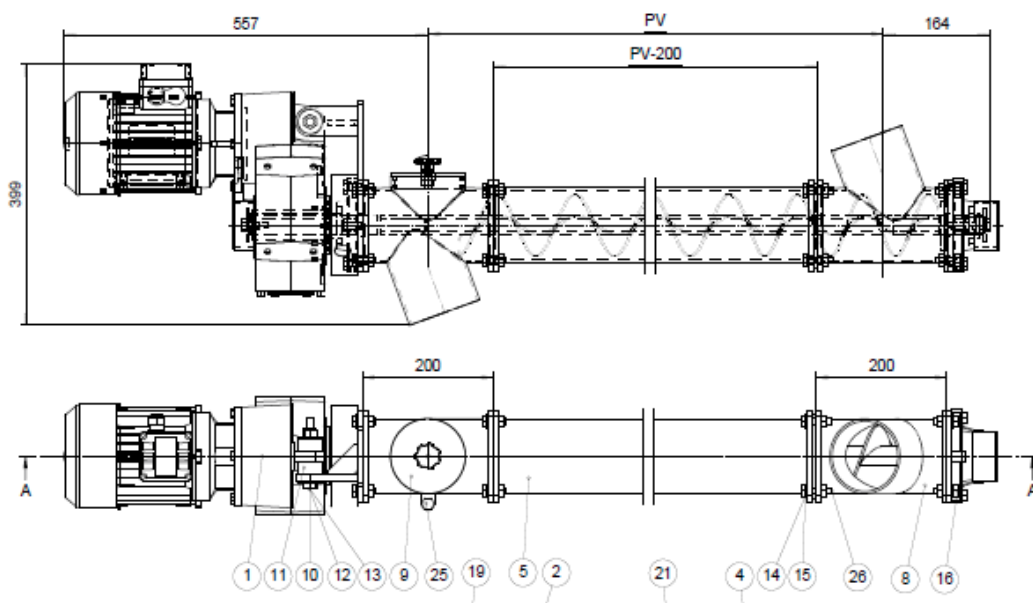
### **Ariterm syöttöruuvit**

Ariterm valmistaa omakotitalokäyttöön tarkoitettuja spiraalikuljettimia sekä suurempiin biopolttolaitoksiin tarkoitettuja syöttöruuveja. Ariterm suosittelee kaksiruuvista syöttöjärjestelmää (kuva 4), jolloin saavutetaan hyvä takaisinpalosuoja. (16.)



KUVA 4. Kaksiruuvinen syöttöjärjestelmä (16)

Ariterm Oy myy monen kokoluokan syöttöruuveja. Aritermin verkkosivuilla on löydettävissä esimerkkimitoituksia erikokoisten hakepolttimien siirtoruuveille, 40 - 3000 kW. Ariterm valmistaa kuitenkin halutunlaisia kuljetinruuveja mittojen mukaan. H-CHP-projektin vaatima polttoainevirta, 18,72 kg/h, on Aritermin Keski-Suomen ja Pohjanmaan aluemyyntipäällikön mukaan niin suuri että Aritermin pientalokäyttöön tarkoitettujen kuljettimien ongelmana on niiden sähkömoottorit. Pientalokäyttöön tarkoitettujen kuljettimien moottoreilla on 15 min suurin yhtäjaksoinen pyörintäaika. Projektiin sopivaksi esimerkkikuljettimeksi (kuva 5) hän tarjosi kolme metriä pitkää varastoruuvia, jonka halkaisija on 114 mm ja jossa on 550 W:n sähkömoottori. Kyseisen kuljettimen hinta on 1400 €, alv 0 %. (16; 17.)



KUVA 5. Esimerkkikuva varastoruuvikuljettimesta (17)

Muita teknisiä tietoja varastoruuvista ei ollut saatavilla, mutta jos lähtökohtaisesti luotetaan tuotteen myyjään, voidaan olettaa, että tuote on toimiva ja soveltuu H-CHP-projektin prototyyppille.

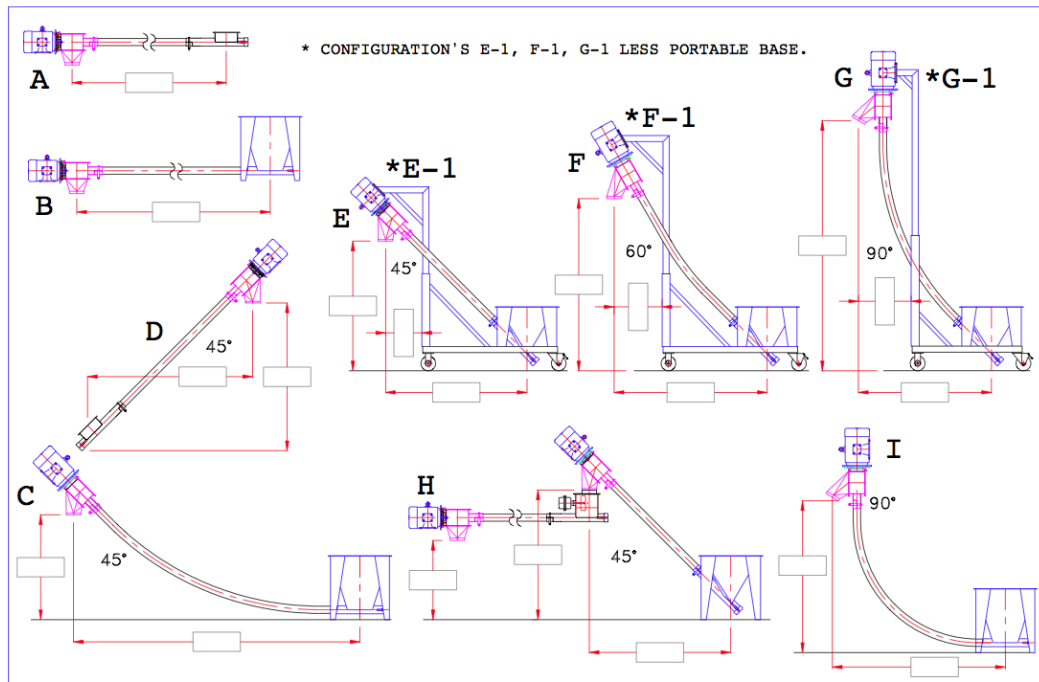
## 4.2 Spiraalikuljetin

Spiraalikuljetin vastaa toimintaperiaatteeltaan ruuvikuljetinta. Spiraalikuljettimia voi ajaa jatkuvasti tai syklisesti kuten ruuvikuljettimia. Erona ruuvikuljettimeen spiraalikuljettimessa on se että puupellettiä liikuttava osa ei ole keskiakselinen ruuvi vaan spiraalin muotoinen kappale, joka pyöriessään siirtää ainetta. Keskiakselin puuttuminen aiheuttaa sen, että erityisen fluidisoituvien materiaalien siirtäminen vaikeutuu. Kuljetusvarmuutta voidaan parantaa varmistamalla sillä, että puupellettivarastossa on aina tarpeeksi paljon materiaalia. Varastossa olevan puupellettipatsaan luoma paine estää takaisinvirtausta spiraalissa.

Spiraalikuljettimissa joissa spiraali on erityisen ohutta tai joustavaa, tulee spiraalin halkaisijan olla ympäröivää putkea tai kourua jonkin verran pienempi. Jos aineen siirrossa tapahtuu jumiutumisia, kuljettimen moottori pyrkii silti pyörittämään spiraalia. Spiraaliin kohdistuva jännitys voi aiheuttaa spiraalin osittaisen avautumisen ja sille täytyy olla tilaa. Ruuvikuljettimissa joissa keskiakselin tuoma jäykkyys estää vastaavan avautumisen, sekä paksummissa ja joustamattomammissa spiraaleissa, voi ulkokuoren sisähalkaisija olla lähempänä ruuvin tai spiraalin ulkohalkaisijaa.

Akselittomuus spiraalikuljettimissa mahdollistaa monen muotoisten kuljettimien käytön (kuva 6). Useilla valmistajilla on spiraalikuljetinjärjestelmiä, joilla voidaan kuljettaa aineita pitkäkin matkoja erilaisten käyrien ja mutkien kautta.





KUVA 6. Esimerkkejä spiraalikuljettimen taipaisuudesta (14)

Spiraalikuljettimia on saatavilla kymmeniltä eri valmistajilta ja jälleenmyyjiltä. Useimmilla valmistajilla on erilaisia valmiita ratkaisuja kuljetustarpeisiin.

#### 4.2.1 Pelltech-spiraalikuljettimet

Pelltech on virolainen yritys, joka suunnittelee, valmistaa ja myy pelletin polttoon käytettäviä tuotteita. Pelltech valmistaa yhdentyypistä spiraalikuljettinta kahdessa eri koossa. Pienemmän mallin spiraali on halkaisijaltaan 55 mm ja kuljettimen maksimipituus on 3 m. Suuremman mallin spiraalin halkaisija on 75 mm ja sillä voidaan saavuttaa jopa 8 m siirtomatka. Suurin sallittu nousukulma kuljettimilla on 45 astetta. Kuljettimet on valmistettu samoista materiaaleista, suojaputket muovista ja spiraalit teräksestä. Pelltechiltä on saatavilla kuljettimia eritehoisille 20 - 1500 kW pellettipolttimille. Taulukossa 2 nähdään tarkemmin, minkälaisia konfiguraatioita Pelltechin kuljettimista on saatavilla. (18.)

TAULUKKO 2. Pelltech spiraalikuljettimien konfiguraatiot (18)

<b>Spiral 55 mm</b>								
Motor W	Motor rps	Gear	g/min	kg/h	kW max	kW real	Burner kW	Lenght
25	1250	180	187,5	11,25	52,9	35	20-30	1,5-2,0
25	1250	120	281	16,86	79,2	53	20-30-50	1,5 – 2,0
40	1250	75	417	25	120	80	20-30-50	1,5-2,0-3,0
40	1250	50	625	38	180	120	50-100	1,5-2,0
40	1250	120	260	16	75	50	20-30-50	
60	1250	150	208	13	60	40	20-30	1,5-2,0-3,0
90	1250	75	417	25	120	80	20-30-50	1,5-2,0-3,0
<b>Spiral 75 mm</b>								
Motor W	Motor rps	Gear	g/min	kg/h	kW max	kW real	Burner kW	Lenght
40	1250	75	1083	65	312	208	50-100-180	2,0-4,0
40	1250	50	1625	98	468	312	50-100-180	2
60	1250	150	542	33	156	104	50-100	2,0-4,0-6,0
90	1250	75	1083	65	312	208	50-100-180	2,0-4,0-6,0
120	1450	50	1885	113	543	362	250-350	2,0-4,0-6,0
120	1450	75	1885	113	543	362	250-350	2,0-4,0-6,0
140	1450	50	1885	113	543	362	250-350	2,0-4,0-6,0
370	1360	28	3157	189	909	606	350-500-700	<8.0
550	1380	20	4485	269	1292	861	700-1000	<8.0
550	1380	14	6407	384	1845	1230	1500	<8.0

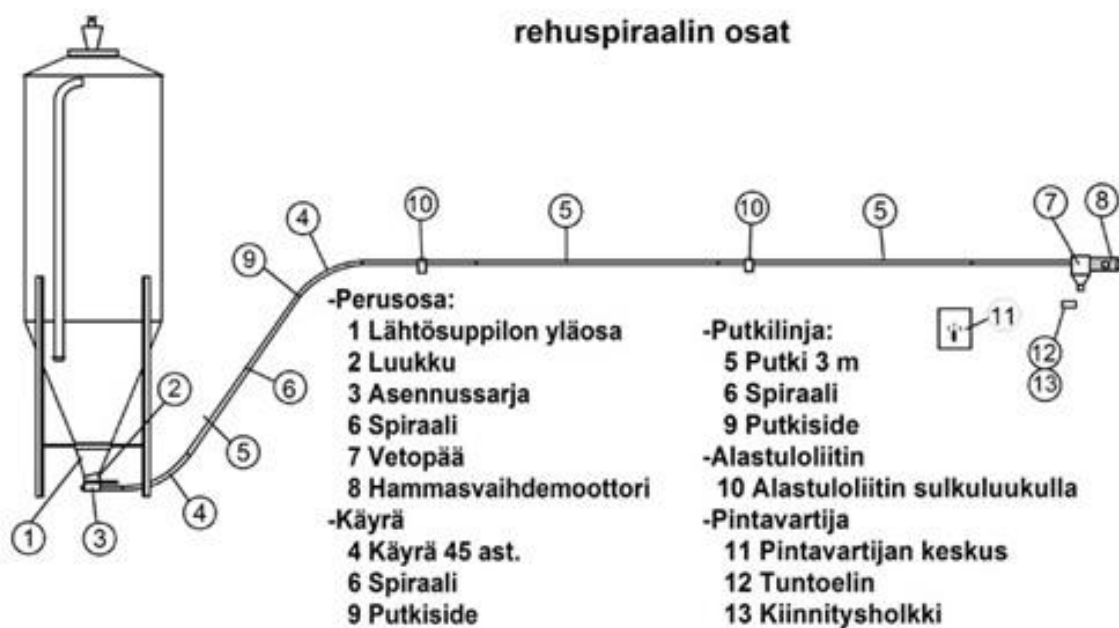
Taulukosta 2 huomataan, että useimpien kuljettimien, joiden spiraalin halkaisija on 55 mm, siirtomäärä riittäisi teoriassa H-CHP-projektin prototyypille. Pelltech kuitenkin suosittelee niitä käytettäväksi pääsääntöisesti enintään 50 kW tehoisten polttimien kanssa. Esimerkkinä H-CHP-projektille teknisesti riittävä vaihtoehto olisi Pelltechin kuljetin PA3000-100, jonka spiraalin halkaisija on 75 mm, sähkömoottorin teho 40 W, pituus 3 m ja vaihteen välityssuhde 1/75. (19.)

Pelltechin kuljettimia voi tilata Virosta, Cerbos-nimisestä verkkokaupasta, internetosoitteesta [www.cerbos.ee](http://www.cerbos.ee). Cerbos toimittaa verkkokaupan tuotteita Euroopassa. Toimituskulut määräytyvät halutun toimitustavan ja -paikan mukaan. (19)

#### 4.2.2 Triotec -rehuspiraalit

Triotec Oy on suomalainen yritys, joka valmistaa ja myy monipuolisesti tuotteita siipikarjankasvatukseen sekä rehujen ja pellettien varastointiin sekä siirtoon.

Triotec valmistaa kolmen kokoluokan spiraalikuljettimia. Mallit ovat TR75, TR90 ja TR125. Mallien nimissä oleva numero kertoo mallissa käytettävän spiraalin ulkohalkaisijan millimetreinä. Kaikille malleille luvataan jopa 75 m:n siirtomatka, kun kuljettimessa on yksi sähkömoottori ja käytössä enintään kaksi käyrää. Kuljettimien spiraalit ovat taipuisia, ja kuljettimissa voidaan käyttää 45 asteen käyriä (kuva 7). Kuljettimien suojaputket ja käyrät on valmistettu liukkaasta muoviputkesta, jota pitkin siirrettävä materiaali liikkuu esteettömästi. Siirtomäärä kuljettimilla, riippuen minkälainen kuljetinkokoonpano on kyseessä, on enimmillään 1000 - 4000 kg/h. Tämä takaa riittävän puupelletin siirtomäärän H-CHP-prototyypille. Pitkä siirtomatka ja mahdollisuus muokata kuljettimen muotoa on suuri etu. Mitä suurempi siirtomatka kuljettimella saavutetaan, sitä vapaammin voidaan suunnitella pellettisäiliön kokoa ja paikkaa. Kuvassa 7 nähdään yksinkertainen spiraalikuljetinjärjestelmä, jossa kuljettimen muotoa on muutettu kahdella 45 asteen käyrällä. (20; 21.)



KUVA 7. Triotec spiraalikuljettimen osat (21)

Triotec Oy:n spiraalikuljettimet ja ulkorehusiilot ovat olleet myynnissä ensisijaisesti rehun siirtämiseen ja varastointiin mutta yritys myy niitä toimivina ratkaisuinä myös puupelletin siirtoon ja varastointiin. Triotec Oy valmistaa myös varastointiratkaisuja puupelletin varastointiin sekä PIV-pelletti-imuria, puupelletin siirtoon suunniteltua imusiirtojärjestelmää. Näitä tuotteita tullaan tarkastelemaan opinnäytteen myöhemmissä kohdissa.

TR-rehuspiraalit ovat teknisesti täysin toimiva vaihtoehto polttoaineen syöttöön H-CHP-laitokselle. Riippuen spiraalikuljettimen koosta ja lisävarusteista, hinta spiraalikuljettimelle vaihtelee 500€ ja 1500€:n välillä. (22)

### **4.3 Imusiirtojärjestelmät**

Imusiirtojärjestelmät ovat peruseräperiaatteeltaan hyvin yksinkertaisia. Järjestelmän imuysikön imukompressorin luo siirtoputkeen alipaineen ja imee puupelletit varastosta kattilahuoneeseen. Monissa järjestelmissä on ennen poltinta päivä säiliö, joka täytetään, kun imuysikön on toiminnassa. Kun päivä säiliö tyhjenee, imuysikkö käynnistyy ja täyttää päivä säiliön uudelleen. Päivä säiliöstä puupelletit syötetään polttimelle lyhyellä syöttöruuvilla. Monipuolisissa järjestelmissä on myös erotussykloni sekä purusäiliö. (23.)

Alipaineen vuoksi täytyy huolehtia, että pellettivarasto saa tarpeeksi korvausilmaa. Liian tiivis varasto voi vaikuttaa järjestelmään toimintaan ja aiheuttaa virhetilanteita tai laitteiden rikkoontumisia. Imusiirtojärjestelmissä korvausilman saanti on lähes aina varmistettu sillä, että järjestelmän imuysikkö puhalttaa kertaalleen varastosta imettyä ilmaa takaisin varastoon. (24)

Omakotitalokäyttöön tarkoitetuilla imusiirtojärjestelmillä voidaan saavuttaa jopa 30 m:n siirtomatka kattilahuoneen ja pellettisäiliön välillä. Vaikka siirtomatka ei pisimmillään yllä samoihin mittoihin kuin esimerkiksi spiraalikuljettimilla, voidaan säiliö sijoittaa käytännössä mihin tahansa suhteessa kattilahuoneeseen, kun vain imuputken mitta riittää. Imuputket ovat taipuisaa muoviputkea, joka on kohtuullisen helppo piilottaa rakenteisiin. (24.)

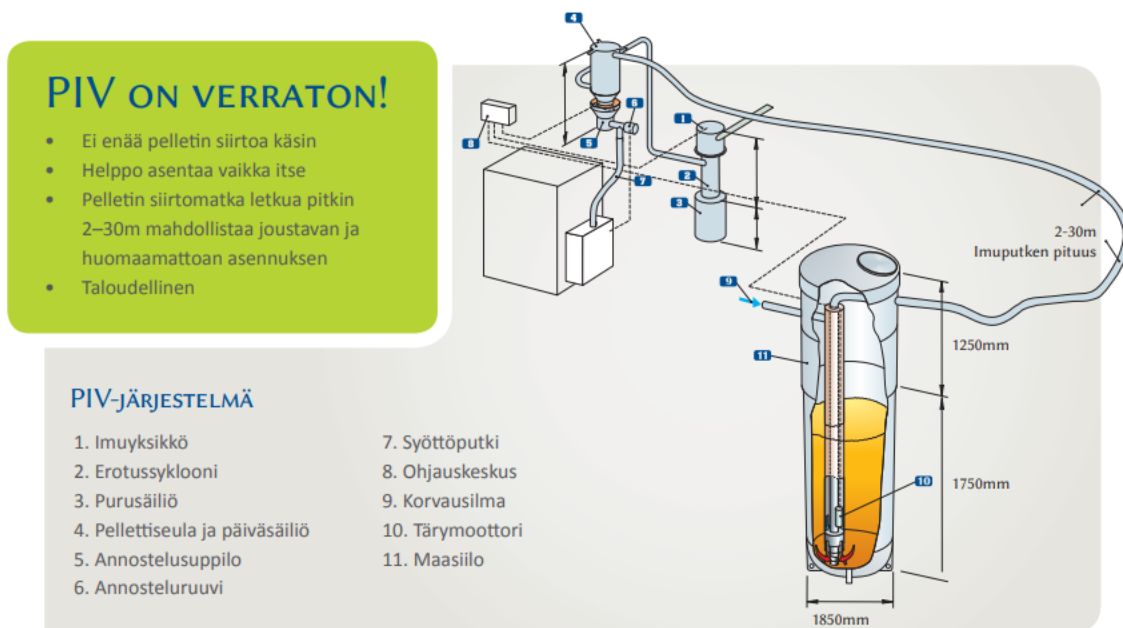
Jos hypoteettisessa tilanteessa kattilahuoneen ja pellettisäiliön välillä on huomattavia korkeuseroja tai fyysisiä esteitä, voi imusiirtojärjestelmä olla varteenotettava vaihtoehto. Myös niissä tilanteissa, joissa pellettisäiliö jouduttaisiin muuten sijoittamaan epämieluisaan paikkaan, tai vaihtoehtoiset siirtomenetelmät jouduttaisiin asentamaan asuintilaan tai muuhun sopimattomaan paikkaan, on imusiirtojärjestelmä hyvä vaihtoehto. Maan alle sijoitettavien pellettisäiliöiden kanssa imusiirtojärjestelmää käytetään aina. (24.)

#### 4.3.1 Triotec Oy:n PIV3-pelletti-imurijärjestelmä

Triotec Oy valmistaa PIV-pelletti-imurijärjestelmiä. Järjestelmiä on saatavilla kahta mallia, PIV3 sekä PIV4. Triotec ilmoittaa PIV3-mallin olevan ensisijaisesti lämmityskäyttöön, koska sen järjestelmään kuuluu purun erotus. PIV4-mallissa ei ole purun erotusta ja se ilmoitetaan olevan soveltuva ensisijaisesti pellettitakoille, tai erillisten säiliöiden täyttöön. Pienitehoisissa pellettipolttimissa voi esiintyä kuonan kertymistä ja polton hyötysuhteen madaltumista, jos puupelletin seassa on liikaa irtopurua tai -pölyä. (25; 26.)

Triotec Oy lupaa imusiirtojärjestelmiensä olevan hyvin helppokäyttöisiä ja huoltovapaita. Ainoat asiakkaalle jäävät toimenpiteet olisivat tyhjentää purusäiliö tarvittaessa, sekä varmistaa puupellettivaraston täyttö. (27.)

Kuvassa 8 nähdään numeroituna PIV3-pelletti-imurijärjestelmä asennettuna maasäiliöön, sekä järjestelmän osat (23).



KUVA 8. PIV3 pelletti-imurijärjestelmän osat (23)

PIV-pelletti-imureille ei ole saatavilla tietoa sähköenergian kulutuksesta, mutta valmistaja mainostaa energiankulutuksen olevan vähäistä. Koska ”vähän” on epämääräinen määritelmä, ei sitä voida verrata muiden imusiirtojärjestelmien tai muiden kuljetustapojen energiankulutukseen. Taulukosta 3 nähdään PIV3-mallin sähkömoottorin teho. Koska imuyksikkö käy vain täyttäessään

järjestelmän päiväsailiötä ja koska ei ole saatavilla tietoa, kuinka pitkään päiväsailiön täyttö imuysiköllä kestää, ei voida laskea tai päätellä mikä järjestelmän lopullinen energiankulutus on. (27.)

*TAULUKKO 3. PIV3-imusiirtojärjestelmän teknisiä tietoja (28)*

**PIV 3 teknisiä tietoja**

max. ilmamäärä	49,3	l/s
max. alipaine	3738	mm/H <sub>2</sub> O
	367	mbar
jännite	230	V
teho	1600	W
virta	7,8	A
melutaso	75	dB
puhallusyhteen halkaisija	50	mm
imuyhteen halkaisija	50	mm
purusailiön tilavuus	57	l/s

Koska imuysikön 1,6 kW:n moottoriteho on huomattavasti suurempi kuin vaikkapa kohdan 5.2.1 Pelltech-spiraalikuljettimen 40 W, voi sähkötehotarve olla potentiaalisesti olla moninkertainen. Muuten PIV3 pelletti-imurijärjestelmä on teknisesti toimiva vaihtoehto, jos se pystyy luotettavasti vastaamaan H-CHP-laitoksen polttoaineen siirtotarpeeseen. Triotec ilmoittaa imurijärjestelmien hinnaksi 2000 - 2500 €, riippuen järjestelmän ominaisuuksista. Tarkennuksia hinnoittelulle ei ole saatavilla vaan myyjältä on pyydettävä tarjous. (22.)

#### **4.3.2 Dena WX10 -imusiirtojärjestelmä**

Dena on italialainen yritys, joka valmistaa erilaisia imu- ja suodatusjärjestelmiä teollisuuteen ja yksityiseen käyttöön. Dena WX10 on yksi monista imusiirtojärjestelmistä, joita Dena valmistaa biomassan ja puupelletin siirtoon. Valmistaja lupaa nettisivuillaan WX10 järjestelmän olevan soveltuva kaikille biomassalämmitysjärjestelmille. Valmistajalta on saatavilla paljon lisävarusteita, joilla järjestelmää voidaan muokata sopivaksi erilaisiin käyttökohteisiin. Kuvassa 9 on nähtävillä esimerkki WX10-järjestelmästä, joka syöttää puupellettiä polttimelle. WX10-järjestelmää voidaan käyttää myös syöttämään pellettiä pellettitakoille. (29.)



1	Extraction module for pellet	ART NO PR00ES
2	Discharge hopper WX10	ART NO WX1001
3	Suction motor WX11	ART NO WX1101
4	Return air hose	ART NO TB0001
5	Pneumatic conveying hose for pellet	ART NO TB0001
6	Storage silo 1 m <sup>3</sup>	ART NO SL001M
7	Interception hopper for burners	ART NO WX1005
8	Rubber sleeve Ø50	ART NO MG50E

#### KUVA 9. Esimerkki WX10 imusiirtojärjestelmästä (30)

Kuten Triotec Oy:n PIV pelletti-imurijärjestelmissä, ei Denankaan tuotteissa ilmoiteta puupelletin siirtotehoa, minkä vuoksi sähköenergian käyttöä on vaikea arvioida. Taulukosta 4 nähdään WX10-imusiirtojärjestelmän sähkömoottorin teho sekä muita teknisiä tietoja.

#### TAULUKKO 4. Dena WX10 -imusiirtojärjestelmän teknisiä tietoja (29)

##### **Dena WX10 teknisiä tietoja**

max. alipaine	275	mbar
jännite	110/220	V
teho	1500	W
laitteiston paino	22	kg
puhallusyhteen halkaisija	50	mm
imuyhteen halkaisija	50	mm

Järjestelmään voidaan yhdistää lisävarusteena saatava tuhkaimuri, jota käytetään imuysikön imuteholla. Tuhkaimuri (kuva 10) koostuu tuhkasäiliöstä, tuhkanerottimesta sekä kahdesta tuhkanerottimeen liitettävästä imuletkusta, joista toinen yhdistetään imusiirtojärjestelmän imuysikköön ja toisella imetään tuhkasäiliöstä tuhkat. (30.)



KUVA 10. Lisävarusteena saatavilla oleva tuhkaimuri (30)

Suomessa Denan imusiirtojärjestelmiä myy nettikauppa [www.kotituli.fi](http://www.kotituli.fi). Kaikissa Denan imusiirtojärjestelmien esittelyteksteissä on kappale tekstiä otsikoituna "Toimintaperiaate". Sama teksti löytyy identtisenä sanasta sanaan Jauhetekniikka Oy:n nettisivuilta. Jauhetekniikka Oy valmistaa pneumaattisia siirtojärjestelmiä teollisuuden tarpeisiin. Tekstissä kerrotaan, että siirrettävä materiaali syötetään siirtolinjaan tyypillisesti sulkusyöttimellä, mikä ei pidä paikkaansa puupelletin syötössä siirtolinjaan. Tämä herättää kysymyksen siitä, mikä on tekstin alkuperä ja miksi sitä käytetään kuvailemaan tuotetta, jolla on erilaisia ominaisuuksia kuin tekstissä kerrotaan. (31; 32)

Tuotteena WX10-imusiirtojärjestelmä vaikuttaa toimivalta ratkaisulta H-CHP-laitokselle, jos siirtoteho riittää vastaamaan laitoksen polttoaineen siirtotarpeeseen. Imuysikön 1,5 kW:n sähkömoottori voi käyttää kohtuuttoman paljon sähköenergiaa, mutta sitä ei voida arvioida, koska siirtokapasiteetista ei ole saatavilla tietoa. WX10-imusiirtojärjestelmän perusmalli on saatavilla [www.kotituli.fi](http://www.kotituli.fi) nettikaupassa hintaan 1820 €. Sivustolta löytyy myös useita lisätarvikkeita sekä Denan muita imusiirtojärjestelmiä. (32.)



## 5 VARASTOINTI

Puupelletin varastoinnille löytyy markkinoilta useita valmiita vaihtoehtoja. Tärkeimmät piirteet toimivalla varastolla määräytyvät polttoaineen käyttömäärän, varaston täyttömenetelmän ja varaston sijainnin mukaan. Tässä työssä pyritään tutkimaan kattavasti eri varastointimenetelmät sekä tarkastelemaan yksittäisiä silo- ja varastomalleja. Työssä pyritään myös selvittämään niiden soveltuvuus käytettäväksi H-CHP-laitoksen kanssa.

Ulos sijoitettavan varaston täytyy olla säänkestävä sekä tiivis. Jos säiliöön pääsee ylimääräistä kosteutta, voi se kondensoitua ja kertyä säiliön sisäpinnoille. Koska puupelletti on käytännössä vain tiiviisti pakattua purua, on se herkkää hajoamaan liassa kosteudessa. Talvikautena vähäinenkin kosteus voi aiheuttaa pellettien jäätymistä kiinni toisiinsa, jolloin pelletin pääsy siirtolaitteelle voi estyä. Lämpimään sisätilaan sijoitettavan varaston täytyy normaalisti käyttää varastointiin varattu pinta-ala mahdollisimman tehokkaasti, ellei käytössä sattumalta ole huomattavasti ylimääräisiä neliöitä, joilla ei ole muuta hyödyllistä käyttöä. Sisävarastojen täytyy olla pölytiivisiä, ettei pellettipölyä leviä asuintiloihin.

Jos haluttu varasto on tarkoitus täyttää puhallusautolla, täytyy täyttöaukon olla vähintään 15 m:n päässä paikasta, johon puhallusauto pääsee. Tämä voi vaikuttaa varastointimahdollisuuksiin, jos kiinteistö on jo rakennettu. Myös alueen kaavoitus voi vaikuttaa varaston rakentamiseen tai sijoituspaikkaan. Jos varaston sijainnille on rajatusti mahdollisuuksia, voidaan joutua tinkimään muista piirteistä, kuten varaston koosta tai täyttötavasta. Varaston valinta on erittäin tapauskohtaista. Parhaassa tapauksessa kiinteistössä on ylimääräistä tilaa sisävarastolle, tontilla on tilaa ulko-varastolle, eivätkä muut tekijät rajoita varaston valintaa jolloin varastointimenetelmä voidaan valita mahdollisimman vapaasti. Muissa tapauksissa täytyy priorisoida halutut piirteet ja valita varasto niiden mukaan.

H-CHP-prototyypin ennakoitu polttoaineenkäyttö on noin 19 kg/h. Internetissä osoitteessa <http://www.pellettienergia.fi/default.asp?sivulD=28931&item=component;/modules/laskuri/laskuri.asp> on saatavilla esimerkkilaskelma omakotitalolle, jonka pinta-ala 2,5 m:n huonekorkeudella on 160 m<sup>2</sup>. Laskelma ilmoittaa 12 kk riittävän varaston pellettimääräksi 4,7 tn. Laskurissa ei ole ilmoitettu, minkä kunnan vuotuisten lämpötilojen mukaan lämmitysenergian määrä on laskettu.

Kaavalla 1 voidaan laskea H-CHP-laitoksen suurin mahdollinen käyttöaika valitun kokoisella varastolla. (33; 34.)

$$t_p = \frac{m_{va}}{\dot{m}_{H-CHP}}$$

KAAVA 1

Jossa

$t_p$  = pisin mahdollinen polttoaika [h]

$m_{va}$  = varaston täyttömäärä [kg]

$\dot{m}_{H-CHP}$  = H-CHP-laitoksen vaatima polttoainevirta [kg/h]

Vertailun vuoksi lasketaan kaavalla 1, kuinka kauan esimerkkitalon vuodelle riittävä varasto riittää H-CHP-laitoksella.

$$t_p = \frac{4700 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 251,1 \text{ h}$$

Edellä esitetyllä laskulla saadaan selville, että esimerkkitalon vuosivarasto riittää käyttämään H-CHP-laitosta hieman yli 10 vuorokautta. Jos H-CHP-prototyyppi vaatii 18,72 kg/h puupellettiä jatkuvasti ylläpitääkseen laitoksen lämmön- ja sähköntuotantoa ja varastolle haluttaisiin 1 kk:n vähimmäistäyttöväli, täytyisi varaston täyttömäärän olla n. 14 tn eli n. 22 m<sup>3</sup>. Käytännössä varaston tulisi olla vieläkin suurempi, koska on epätodennäköistä, että säiliön täyttö onnistuisi aina juuri siihen aikaan, kun säiliö on tyhjentymässä, varsinkin jos täyttötapana on puhallusautolla toimitettavat puupelletit. pilkut

## 5.1 Kangassiilot

Kangassiilot ovat sisätiloihin, pölyäville materiaaleille ja jauheille suunniteltuja varastointiyksiköitä. Monet kangassiilot on suunniteltu ensisijaisesti puupelletille tai muille biopolttoaineille.

Kangassiilojen etu on hengittävyys. Vaikka siloihin käytetyt kankaat ovat pölytiivisiä, ne päästävät ilman ja kosteuden lävitseen. Kangassiilot eivät tarvitse erikseen poistoilmayhdettä tai erillistä ilmansuodatinta, koska kangas toimii itsessään ilmansuodattimena. Toinen etu on tehokas tilankäyttö korkeussuunnassa. Monissa malleissa siilon tukirungon korkeus voi olla matalampi kuin huonekorkeus, mutta kangasta on varattu siilojen yläosaan niin paljon, että siloa voidaan täyttää tukirungon yläpuolelle. Oikein valitulla siilomallilla voidaan hyödyntää koko huonekorkeus puupelletin varastoinnissa. Kangassiilot tyhjenevät hyvin, koska siilojen alaosa on yleensä

suippomallinen pussi, joka elää kun pelletit virtaavat kuljettimesta polttimelle. Useimmat mallit ovat helppoja kasata eivätkä vaadi erikoistyökaluja tai erityistä ammattitaitoa. (35; 36; 37.)

Kangassiiloja on saatavilla suippopohjaisia malleja, joille käy ruuvi-, spiraali sekä imusiirtojärjestelmät, sekä tasapohjaisia malleja, joita voi käyttää vain imusiirtojärjestelmien kanssa. Jos käytössä on imusiirtojärjestelmä ja säiliö sijoitetaan sisälle, tasapohjaisella kangassiilolla saavutetaan suurempi varastointimäärä neliometriä kohden verrattuna suippopohjaiseen kangassiiloon. Kangassiiloja myydään monessa kokoluokassa. (36; 38)

Koska H-CHP-laitos tuottaa keskimääräiselle pientalolle huomattavasti ylimääräistä lämpöä, voitaisiin kangassiilolle rakentaa kiinteistön ulkopuolelle yksinkertainen suojarakennus jota voitaisiin lämmitellä ylimääräisellä lämmöllä. Tällä tavalla kangassiilo voisi mahdollisesti olla suurempi kuin sisätiloihin muuten sijoitettava kangassiilo, eikä se veisi asuineliöitä.

### **A.B.S Flexilo -kangassiilot**

A.B.S. Silo- und Förderanlagen GmbH on saksalainen yritys joka valmistaa kangassiiloja maatalouteen, teollisuuteen sekä yksityiseen käyttöön. Flexilo tuoteryhmä on suunniteltu puupelletin varastointiin. Tuoteryhmästä löytyy yhdeksän eri siilomallia erilaisiin käyttökohteisiin sekä puupelletin eri siirtomenetelmille. Siilot ovat suunniteltuja täytettäväksi puhallusautolla, ja jokaisesta siilomallista on saatavilla useaa eri kokoa. (39)

Flexilo standard on tuoteryhmän perusmalli. Valmistajan mukaan siilomalli on helppo asentaa kotiloissa, eikä se vaadi erityistä ylläpitoa. Siilo on suippopohjainen malli (kuva 11), joka mahdollistaa sen yhdistämisen useimpiin puupelletin siirtomenetelmiin. (39)



KUVA 11. Flexilo standard-mallinen kangassiilo (39)

Standard-mallia on saatavilla huonekorkeuksille 2 - 2,9 m. Siilon rungon leveys- ja syvyysmitat ovat valittavissa välillä 1,3 - 2,9 m, 30 cm:n välein. Taulukossa 5 on nähtävillä eri leveys- ja syvyysmittaisten siilojen tilavuudet ja vetoisuudet, kun sijoituspaikan huonekorkeudeksi on valittu 2,5 m. (40.)

TAULUKKO 5. Flexilo standard -mallin kokotaulukko huonekorkeudella 2,5 m (40)

Flexilo STANDARD FOR ROOM HEIGHT 2.4 - 2.5 m: FRAME HEIGHT 2.2 m						
Type of silo Item No.	Frame length [mm]	Frame width [mm]	Frame height [mm]	Required room height [m]	Volume [m³]	Tonnage [t]
HP12/20G	1,300	1,300	2,200	2.4 - 2.5	2.1 - 2.7	1.4 - 1.8
HP15X12/20G	1,600	1,300	2,200	2.4 - 2.5	2.5 - 3.2	1.6 - 2.1
HP18X12/20G	1,900	1,300	2,200	2.4 - 2.5	2.8 - 3.6	1.8 - 2.4
HP15/20G	1,600	1,600	2,200	2.4 - 2.5	3.1 - 4.0	2.0 - 2.6
HP18X15/20G	1,900	1,600	2,200	2.4 - 2.5	3.4 - 4.5	2.2 - 2.9
HP21X15/20G	2,200	1,600	2,200	2.4 - 2.5	3.7 - 5.0	2.4 - 3.2
<b>HP18/20G</b>	<b>1,900</b>	<b>1,900</b>	<b>2,200</b>	<b>2.4 - 2.5</b>	<b>4.1 - 5.4</b>	<b>2.7 - 3.5</b>
HP21X18/20G	2,200	1,900	2,200	2.4 - 2.5	4.4 - 5.9	2.9 - 3.9
HP24X18/20G	2,500	1,900	2,200	2.4 - 2.5	4.7 - 6.4	3.0 - 4.1
<b>HP21/20G</b>	<b>2,200</b>	<b>2,200</b>	<b>2,200</b>	<b>2.4 - 2.5</b>	<b>5.2 - 6.9</b>	<b>3.4 - 4.5</b>
HP24X21/20G	2,500	2,200	2,200	2.4 - 2.5	5.4 - 7.4	3.5 - 4.8
HP28X21/20G	2,900	2,200	2,200	2.4 - 2.5	5.6 - 7.9	3.6 - 5.1
<b>HP24/20G</b>	<b>2,500</b>	<b>2,500</b>	<b>2,200</b>	<b>2.4 - 2.5</b>	<b>6.2 - 8.5</b>	<b>4.0 - 5.5</b>
HP28X24/20G	2,900	2,500	2,200	2.4 - 2.5	6.4 - 9.0	4.2 - 5.9
HP28/20G	2,900	2,900	2,200	2.4 - 2.5	7.4 - 10.5	4.8 - 6.8

Taulukosta 5 nähdään, että kyseisellä huonekorkeudella suurin määrä varastoitavaa puupellettiä Flexilo standard -mallilla on 6,8 tn, tai 10,5m³ Kaavalla 1 laskettuna H-CHP-laitokselle saadan käyttöajaksi n. 363 tuntia. Tämä on noin 15 vuorokautta, joka on kaukana esimerkkinä halutusta 1 kk:n käyttöajasta yhdellä säiliön täytöllä. (41)

$$t_p = \frac{6800 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 363,2 \text{ h} \quad \text{KAAVA 1}$$

Kaavalla 2 voidaan laskea, kuinka paljon käytetystä tilasta siilo hyödyntää puupelletin varastointiin.

$$V_{\%} = \frac{V_s}{V_{\max}} * 100 \quad \text{KAAVA 2}$$

Jossa

$V_{\%}$  = puupellettien varastointiin hyödynnetty tila [%]

$V_s$  = siilon hyötytilavuus [m³]

$V_{\max}$  = siilon käyttämä tila [m³]

Kun kaavalla 2 lasketaan suurimman Flexilo standard-mallin hyötytilavuus, huomataan, että siilon varastointiin hyödyntämä tila on noin puolet siilon viemästä tilasta.

$$V_{\%} = \frac{10,5 \text{ m}^3}{2,9\text{m} \cdot 2,9\text{m} \cdot 2,5\text{m}} * 100 = 49,9 \%$$

KAAVA 2

Flexilo standard -malli on ostettavissa suomalaiselta Kardonar bioenergy solutions Oy:ltä. Valmistajan suositushinta mallin suurimmalle koolle on 2930 €, alv 0 %.(40)

Flexilo flat bottom on Flexilo -tuoteryhmän toinen malli. Se on muilta ominaisuuksiltaan vastaavanlainen kuin standard-malli, mutta se on suunniteltu toimimaan ainoastaan imusiirtojärjestelmien kanssa. Flat bottom -mallia on saatavilla neljää eri kokoa. Malli on tasapohjainen, ja siinä on liittimet imusiirtojärjestelmien imu- ja puhallusputkille (kuva 12). Tasapohjaisuudella saavutetaan parempi tilan hyötykäyttö kuin suippopohjaisilla malleilla. (42)



KUVA 12. Flexilo flat bottom-kangassiiilomalli (42)

Flat bottom -mallin kokotaulukosta (taulukko 6) nähdään, että mallin suurin koko, joka on suunniteltu 2,5 m:n huonekorkeudelle, on leveys- ja syvyyssuunnassa pienempi kuin saman huonekorkeuden standard-malli. Sen suurin varastointimäärä puupelletille on kuitenkin suurempi kuin standard-mallilla. Suurin tilavuus varastolle on 15,7 m<sup>3</sup> ja suurin vetoisuus 10,2 tn puupellettiä.(42.)

TAULUKKO 6. Flexilo flat bottom -kangassiiomallin kokotaulukko (42)

	Flat bottom silo 18	Flat bottom silo 21	Flat bottom silo 24	Flat bottom silo 26
Item no.	HP-FB18	HP-FB21	HP-FB24	HP-FB26
Dimensions [L x B x H in mm]	1900 x 1900 x 1900	2200 x 2200 x 1900	2500 x 2500 x 1900	2700 x 2700 x 2000
for room height [m] *	2.1 to 2.4	2.1 to 2.4	2.1 to 2.4	2.2 to 2.5
Volume [m <sup>3</sup> ]	5.2 to 7.0 m <sup>3</sup>	7.2 to 9.7 m <sup>3</sup>	9.5 to 12.8 m <sup>3</sup>	11.8 to 15.7 m <sup>3</sup>
Tonnage **	3.4 to 4.6 t	4.7 to 6.3 t	6.2 to 8.3 t	7.7 to 10.2 t
Discharge	5 suction probes with manual connection unit + manual extraction			

Kaavalla 1 laskettuna voidaan selvittää suurin mahdollinen käyttöaika H-CHP-laitokselle, kun käytetään edellä mainittua flat bottom -mallin kokoa.

$$t_p = \frac{10200 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 544,9 \text{ h} \quad \text{KAAVA 1}$$

Laskemalla kaavalla 2 voidaan verrata kuinka paljon paremmin flat bottom -malli käyttää siilon viemää sisätilaa hyödykseen.

$$V_{\%} = \frac{15,7 \text{ m}^3}{2,7\text{m} \times 2,7\text{m} \times 2,5\text{m}} * 100 = 86,1 \% \quad \text{KAAVA 2}$$

Laskettu käyttöaika on noin 545 tuntia eli n. 23 vuorokautta. Verrattuna standard-malliin käyttöaika on huomattavasti parempi, mutta sillä ei siltikään päästä haluttuun 1 kk siilon täyttöväliin. Flat bottom -malli hyödyntää 86,1% käyttämästään tilasta puupelletin varastointiin.

Flexilo flat bottom -malli on ostettavissa suomalaiselta Kardonar bioenergy solutions Oy:ltä. Valmistajan suositushinta mallin suurimalle koolle on 3235€, alv 0 %.(40)

Flexilo -tuoteryhmän mallit ovat puupelletin sisävarastointiin hyvin sopivia, jos siilon suunniteltu täyttö on tarkoitus tehdä puhallusautolla. Flat bottom -malli olisi luonnollisesti huomattavasti parempi kuin suippopohjaiset mallit, jos käytössä on imusiirtojärjestelmä. Suurin ongelma H-CHP-laitoksen kanssa käytettäessä olisi siilon lyhyt täyttöväli, mutta ongelma on luultavasti sama muillakin puupelletin sisävarastoilla. Jos säilöntätilavuutta haluttaisiin kasvattaa sisätiloissa huomattavasti, pitäisi pientalossa käyttää varastointiin joko huomattavasti enemmän potentiaalista asuinpinta-alaa, tai kiinteistöä jouduttaisiin laajentamaan.

## 5.2 Metallilevysiilot

Metallilevysiilot ovat yksinkertaisia metallilevyistä kasattavia tai valmiiksi kasattuja vaihtoehtoja puupelletin sisä- tai ulkovarastointiin. Materiaalina on yleensä sinkitty teräs. Kaikki metallilevysiilot eivät sovellu ulkovarastointiin ja jotkin mallit tarvitsevat lisätoimenpiteitä ulkovarastoinnin mahdollistamiseen. Useimmat metallilevysiilot ovat pieniä viikko- tai kuukausisiiloja. Koska H-CHP-laitoksella on suuri polttoaineenkulutus, pienimmät siilot eivät sovellu ainoaksi varastointivaihtoehdoksi. Monen valmistajan suurimmatkaan siilot eivät ole erityisen suuria, joten niiden käyttöä H-CHP-laitoksen kanssa kannattaa pohtia tarkkaan. Jos tarkoituksena on rakentaa puupelletille ulkosäiliö, löytyy muista siilotyypeistä huomattavasti suurempia vaihtoehtoja.

### 5.2.1 Nord Mills varastosilo VS 85

Oy Nord Mills Ltd on yritys, joka valmistaa pääsääntöisesti laitteita viljan käsittelyyn. Pellettilämmittämiseen Nord Mills valmistaa varastosiloja, pellettipolttimia sekä siirtoruuveja. (43,)

VS 85 (kuva 13) on varastosilo, joka soveltuu viljan, rehun sekä puupelletin ulkovarastointiin. Siilo on metallirakenteinen, mutta sen pintakäsittelystä ei ole saatavilla tietoa. Koska kyseessä on ulkosiilo, voidaan olettaa, että se on joko maalattu, sinkitty tai muutoin käsitelty säänkestäväksi. Siilossa on yhteet, joista se voidaan täyttää puhallusautolla. Pellettisiiloksi VS 85 ei sovellu ulkokäytössä ilman eristämistä. (44)



KUVA 13. Nord Mills VS 85 varastosilo ilman korotuselementtejä (44)



Siilon tilavuus on 8,5 m<sup>3</sup>, mutta siihen on saatavilla 2 m<sup>3</sup>:n sekä 4 m<sup>3</sup>:n korotuselementtejä. Siilo voidaan laajentaa enimmillään 16,5 m<sup>3</sup> kokoiseksi. Käyttämällä esimerkiksi Vapon toimittamien pellettien irtotiheyttä, 650 kg/m<sup>3</sup>, voidaan yksinkertaisesti laskea siilon suurin varastointimäärä kilogrammoina. (44)

$$16,5 \text{ m}^3 * 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 10725 \text{ kg}$$

Siilon varastointimäärästä voidaan laskea kuinka pitkään H-CHP-laitosta voidaan käyttää yhdellä täyttövälillä kaavalla 1.

$$t_p = \frac{10725 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 572,9 \text{ h} \quad \text{KAAVA 1}$$

Laskelmalla saadaan selville että käyttöaika on n. 573 tuntia eli n. 24 vuorokautta. Tämä on vain hieman enemmän kuin aikaisemmissa kohdissa tarkastelluilla sisäsiiloilla, eikä tälläkään vaihtoehdolla päästä 1 kk:n täyttöväliin.

Nord Mills myy siilojaan suoraan asiakkaille, tai niitä voi ostaa jälleenmyyjien kautta. Esimerkkinä mainittakoon Tulisijatarvike, joka myy VS 85 -varastosiiiloa sekä sen korotuselementtejä osoitteessa <https://www.tulisijatarvike.fi/shop/product/varastosiiilo-vs-85?tm=&sm=maatalous>. Siilolle ei ole saatavilla hintatietoja, joten jos sellaisen haluaa ostaa, täytyy pyytää tarjous Nord Millsiltä tai jälleenmyyjältä.

### 5.2.2 Mafa Villa -metallilevysiilot

Mafa on ruotsalainen yritys, joka valmistaa monipuolisesti laitteita ja tarvikkeita teollisuuteen, maatalouteen ja bioenergi Sovelluksiin (45).

Mafa Villa Indoors- ja Mafa Villa Outdoors -siilot ovat metallilevystä valmistettuja siiloja. Villamalleja on saatavana nimiensä mukaisesti sisä- ja ulkokäyttöön. Ulko- ja sisämallit ovat keskenään muuten samanlaisia, mutta ulkomalleissa siilon päällysosa on metallilevyä, kun taas sisämalleissa käytetään kangasta, joka toimii samalla ilmansuodattimena. Indoors- ja Outdoors -malleihin kuuluu täyttöputki puhallustäyttöä varten, syötönvaimennin, ylitäyttöanturi sekä varoitusvalo. Outdoors mallissa on jousitoiminen painekansi ilmanpaineen poistumista varten siiloa täytettäessä. Indoors

mallissa paine pääsee tasaantumaan kangaskannen läpi. Siilot on suunniteltu käytettäväksi taipuisien spiraalikuljettimien kanssa. Siilojen kokovaihtoehdot ovat nähtävissä taulukossa 7. (46; 47.)

TAULUKKO 7. Mafa Villa-siilojen teknisiä tietoja (47)

Paikka	Tilavuus m³	Pitkus mm	Leveys mm	Korkeus mm	Paino kg
Indoors	4,1	2389	1389	1914	250
Indoors	5,7	2389	1889	1914	280
Indoors	4,7	2389	1889	1664	255
Indoors	9,2	2389	1889	2774	400
Outdoors	5,7	2380	1883	1939	310
Outdoors	9,2	2380	1883	2799	430

Taulukosta nähdään, että suurimmat mallit ovat sisä- ja ulkoversioissa yhtä suuret, 9,2 m³, joka vastaa 5980 kg varastoitua puupellettiä. Kaavalla 1 voidaan laskea, kauanko yhdellä siilon täyttövälillä voidaan käyttää H-CHP-laitosta.

$$t_p = \frac{5980 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 319,4 \text{ h} \quad \text{KAAVA 1}$$

Käyttöaika on noin 319 tuntia eli noin 13 vuorokautta. Tämä on alle puolet halutusta 1 kk:n täyttövälisestä. Mafa Villa siiloja on saatavilla Suomen pellettitalolta, osoitteessa <http://www.pellettitalo.fi/fi/menu1/tuotteet/saeilioet/saeilioet-1/mafa-suursaeilioet/>, sekä virolaisesta Cerbos verkkokaupasta osoitteessa <https://www.cerbos.ee/fi/pellettisiilot/704-pellettisiilo-mafa-villa.html>. Siiloille ei ole saatavilla hintatietoja, joten tuotteita hankkittaessa täytyy pyytää tarjous jälleenmyyjältä.

### 5.3 Suuret ulkosiilot

Suurien puupellettimäärien varastointiin on mahdollista käyttää myös muuhun maatalouteen käytettyjä suuria ulkosiiloja. Siilot ovat yleensä korkeita, neliskanttisia tai sylinterin muotoisia metallisiiloja, joiden alaosassa on jyrkkä kartio siilojen tehokasta tyhjenemistä varten. Siiloja myydään toimivina puupelletin varastointiin vaikka niiden alkuperäinen käyttötarkoitus on voinut

olla muiden maataloustuotteiden varastointi. Saatavilla on myös erityisesti puupelletin varastointiin tarkoitettuja silloja, jotka perustuvat rakenteellisesti muihin maataloussiilomalleihin. Siilojen valmistajia ja myyjiä löytyy Suomesta useita. (20.)

Ulkovarastoinnin etuna H-CHP-laitoksen kannalta on huomattavasti muita varastotyyppisiä suuremmat varastointimäärät. Etuna on myös kiinteistön sisällä säästyvä tila. Ulkovarastoinnissa täytyy ottaa huomioon siilon säänkesto sekä tiiviys. Siilojen suuren koon vuoksi täytyy ottaa paikallisesti huomioon kaavoitus ja rakennusluvan hankinta. Tässä työssä ei tutkita tai oteta kantaa erityisesti rakennuslupa-asioihin, mutta jos siilon aikoo rakentaa, kannattaa nämä asiat ottaa huomioon ennen rakentamisen aloittamista tai ostopäätöksen tekoa. (20.)

### **5.3.1 Triotec-ulkosiilot**

Triotec Oy valmistaa ja toimittaa erikokoisia lieriön mallisia silloja. Siilot on valmistettu teräksestä ja ne ovat CE-merkittyjä ja SFS-1090-standardin mukaisia. SFS-1090-standardi on teräsrakennekokoonpanojen toteutusta käsittelevä standardi. Siilot ovat maalattuja ja erikoiskäsiteltyjä sisä- ja ulkopuolelta vähentämään kondenssiveden määrää. Valmistaja lupaa siilojen olevan kestäviä Suomen sääolosuhteissa. Siiloihin kuuluu pölynerotussykloni, miesluukku sekä tarkistusikkunat. Lisävarusteina niihin saa liitokset puhallusautotäyttöä varten, vaa'an sekä pintamittarin. Valmistajalta on saatavilla silloihin erilaisia liitososia, jotka mahdollistavat useimpien spiraali- ja ruuvikuljettimien käytön. Triotec valmistaa myös tarvikkeita ja kokoonpanoja, joilla onnistuu usean siilon liittäminen toisiinsa. Kuvassa 14 näkyy yhdistettynä kolme erillistä silloa toisiinsa sopivilla liitokappaleilla ja välisiilolla. Välisiilon alaosaan on yhdistettynä ruuvi- tai spiraalikuljetin. Kuvassa on myös näkyvissä täyttöputket sekä miesluukku. (20; 48.)



*KUVA 14. Kolme Triotec ulkosiiltoa yhdistettynä välisiiloon (48)*

Siilot toimitetaan kokonaisina, ja ne ovat lähes heti valmiita käyttöön. Asiakkaan täytyy varmistaa asennuspaikalle kestävä betonivalu sekä terästartunnat, joihin siilon jalat hitsataan kiinni. (20)

Taulukossa 8 on näkyvillä siilojen kokovaihtoehdot ja H-CHP-laitokselle kaavan 1 mukaisesti lasketut täyttövälit. Siilon kokoa päätettäessä kannattaa ottaa huomioon puupelletin toimitusmäärät. Esimerkiksi Vapon suurin kertatoimitusmäärä puhallusautolla on 40 tn. (49)

TAULUKKO 8. Triotec ulkosiilojen kokotiedot sekä käyttöajat H-CHP-laitokselle yhdellä täyttöllä (20)

Ø 2,3 m	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	9,0	14,0	19,0	25,0	29,0	32,0	34,0
	Vetoisuus [tn]	5,8	9,1	12,3	15,6	18,8	20,5	22,1
	Korkeus [m]	4,8	6,0	7,3	8,5	9,8	10,4	11,0
	Täyttöväli [h]	309,8	486,1	657,1	833,3	1004,3	1095,1	1180,6

Ø 2,85 m	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	30,0	38,0	46,0	54,0	62,0	70,0
	Vetoisuus [tn]	19,5	24,7	29,9	35,1	40,3	45,5
	Korkeus [m]	7,8	9,0	10,2	11,5	12,8	14,0
	Täyttöväli [h]	1041,7	1319,4	1597,2	1875,0	2152,8	2430,6

Ø 3,3 m	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	74,0	84,5	95,0	106,0
	Vetoisuus [tn]	48,0	55,0	62,0	69,0
	Korkeus [m]	11,9	13,1	14,4	15,6
	Täyttöväli [h]	2564,1	2938,0	3312,0	3685,9

täyttöväli >1kk
täyttöväli >2kk
täyttöväli >3kk

Suurilla ulkosiiloilla päästään haluttuun 1 kk:n tai pitempiin täyttöväleihin. Ulkosiilot ovat saatavilla olevien tietojen perusteella erittäin hyvä vaihtoehto suurien pellettimäärien varastointiin. Siilojen toimitus valmiina pakettina on luonnollisesti helpompi vaihtoehto kuin osina toimitettava tai muuten vaikeasti asennettava säiliöratkaisu. Siiloista ei ole saatavilla hintatietoja, joten halutusta siilokoosta täytyy pyytää tarjous Triotec Oy:ltä, jos haluaa tilata heidän valmistamia siiloja.

### 5.3.2 Triotec-neliösiilot

Triotec-neliösiilo (kuva 15) on teknisesti hyvin samanlainen tuote kuin Triotec-ulkosiilo. Neliösiilo on kuitenkin suunniteltu erityisesti puupelletille mutta soveltuu myös muidenkin tuotteiden kuten viljan ja rypsin varastointiin. Neliösiilo on nimensä mukaisesti neliskanttinen, ja siihen voidaan asentaa halutessa lautaverhoilu suoraan runkoon. Siiloihin kuuluu pölynerotussykloni, miesluukku sekä tarkistusikkunat. Lisävarusteina neliösiiloihin saa liitokset puhallusautotäyttöä varten, vaa'an sekä täyttöruuvien. (50.)



KUVA 15. Triotec neliösiilo (50)

Taulukossa 9 on näkyvillä neliösiilojen kokovaihtoehdot ja H-CHP-laitokselle kaavan 1 mukaisesti lasketut täyttövälit.

TAULUKKO 9. Neliösiilojen kokotiedot sekä täyttöväli H-CHP-laitoksella (50)

<b>Leveys x syvyys [m]</b>  <b>2,2 x 2,2</b>	<b>Tilavuus [m<sup>3</sup>]</b>	6,5	10,5	14,5	18,5	22,5	26,5	30,5
	<b>Vetoisuus [tn]</b>	4,2	6,8	9,4	12,0	14,6	17,2	19,8
	<b>Korkeus [m]</b>	3,8	4,7	5,6	6,5	7,4	8,3	9,2
	<b>Täyttöväli [h]</b>	224,4	363,2	502,1	641,0256	779,9	918,8	1057,7

**täyttöväli >1kk**

Neliösiilo on luultavasti yhtä toimiva ratkaisu kuin Triotecin ulkosiilot. Kokovaihtoehtoja on huomattavasti vähemmän, mutta kuitenkin sellaisia, joilla päästään yli kuukauden täyttöväliin. Etuna verrattuna muihin siiloihin on verhoilun helppous, jos ulkonäköasiaa sattuu pitämään tärkeänä. Kuten ulkosiiloilla, ei neliösiiloillekkaan ole saatavilla hintatietoja vaan halutusta koosta täytyy pyytää Trioteciltä tarjous.

## 5.4 Maasäiliöt

Maasäiliöt ovat maan alle sijoitettavia säiliöitä. Maan alle sijoitettavia säiliöitä on markkinoilla erittäin vähän ja niistä on saatavilla erittäin vähän tietoa. Sivuston [www.pellettienergia.fi](http://www.pellettienergia.fi) mukaan maasäiliöt voivat olla muovista valettuja tai metallista hitsattuja, mutta kaikki tutkimuksen aikana löydettyt tuotteet ovat muovisäiliöitä. (24.)

Eräs maasäiliöratkaisu löytyy itävaltalaiselta Geoplast-nimiseltä yritykseltä, joka valmistaa muitakin muovituotteita. Tuotteen nimi on GEOTank, ja sen suurin versio on tilavuudeltaan 11 m<sup>3</sup> ja vetoisuudeltaan 6 tn puupellettiä. Tuote sopii käytettäväksi ainostaan imusiirtojärjestelmien kanssa. Geotank haudataan maahan niin, että imusiirtojärjestelmän putket yltävät säiliöön. Geotank oikein asennettuna on kestävä, ja se voidaan haudata vaikka pihatien alle (kuva 16). (51.)



KUVA 16. Pihatien alle asennettu GEOTank (51)

Kaavalla 1 laskettuna huomataan, että GEOTank ei riitä lähellekkään varastoimaan puupellettiä niin paljon, että täyttöväli voisi olla 1 kk H-CHP-laitoksen kanssa käytettäessä. Täyttöväli olisi noin 320 tuntia eli noin 13 vuorokautta.

$$t_p = \frac{6000 \text{ kg}}{18,72 \text{ kg/h}} = 320,5 \text{ h} \quad \text{KAAVA 1}$$

Maanalainen säiliö voi olla toimiva ratkaisu puupelletin varastointiin H-CHP-laitokselle, jos täyttöväli voi olla lyhyt ja käytössä on imusiirtojärjestelmä pellettien siirtoon. On myös mahdollista, että markkinoilla on suurempia säiliömalleja, joita tutkimuksen aikana ei löydetty, tai tulevaisuudessa suurempia malleja tuodaan markkinoille, jolloin tilanne on eri.

## 6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kartoittaa puupelletin varastointiin ja siirtoon saatavilla olevat vaihtoehdot. Siirto- ja varastointimenetelmiä tutkittiin laajasti, ja niistä onnistuttiin kertomaan tärkeimmät ominaisuudet. Myös yksittäisiä tuotteita pystyttiin tutkimaan, mutta niiden soveltuvuudesta H-CHP-projektille ei voitu tehdä kovin laajoja johtopäätöksiä. Kirjallisuutta aiheesta ei käytännössä ollut saatavilla, tai sitä ei löytynyt. Tutkimuksessa nojattiin lähes täysin tuotteiden valmistajien ja myyjien toimittamiin tietoihin. Tästä johtuen millekään tuotteelle ei käytännössä löytynyt esimerkiksi tilastoja häiriötilanteista tai muista ongelmista. Monet valmistajat ja jälleenmyyjät eivät olleet erityisen halukkaita tai kiinnostuneita jakamaan tarkkoja teknisiä tietoja tuotteistaan. Tilanne olisi voinut olla erilainen, jos kyselyt olisi tehty asiakkaana, mutta rehellisyyden nimissä kyselyissä ilmoitettiin aina, että tiedot tulisivat julkaistavaan opinnäytteeseen. Joitain poikkeuksia kuitenkin oli, kuten Pelltech, jolta saatiin hyvinkin tarkkoja teknisiä tietoja heidän valmistamistaan spiraalikuljettimista.

Mikään tutkituista siirtomenetelmistä ei ole täysin poissuljettu vaihtoehto puupelletin siirtoon H-CHP-laitokselle. Epäselvyyksiä yksittäisten tuotteiden toiminnasta jäi paljon, esimerkkinä mainittakoon imusiirtojärjestelmät, joiden energiankulutuksista tai siirtokapasiteeteista ei saanut kattavasti tietoa. Spiraali- ja ruuvikuljettimissa on niin suurta vaihtelua ko'issa, siirtokapasiteeteissa, moottoritehoissa ja lähes kaikissa ominaisuuksissa, että niistä löytyy sopiva kuljetin lähes mihin tahansa tarpeeseen.

Tutkitut varastointimenetelmät ovat kaikki toimivia puupelletin varastointiin, mutta ainoastaan suurista ulkovarastoista löytyi niin suuria vaihtoehtoja, että puhallusauton ei tarvitsisi olla täyttämässä varastoa alle kuukauden välein.

Työn suoritus oli haastavaa, koska yksittäisistä lähteistä ei käytännössä saanut kattavasti varmaa, luotettavaa tietoa. Suurin osa lähteistä on julkisesti saatavilla, ja osa on saatu henkilökohtaisesta pyynnöstä tuotteiden valmistajien edustajilta. Kuljetin- ja varastointitapojen ominaisuuksista pyrittiin saamaan varmistus useasta lähteestä. Esimerkkinä mainittakoon kangassiilot, joille useat valmistajat lupaavat samankaltaisia ominaisuuksia. Vaikka näitä ominaisuuksia ei tässä tutkimuksessa päästy, eikä ollut tarkoituskaan päästä testaamaan, voidaan olettaa, etteivät useat eri valmistajat antaisi samankaltaisista tuotteistaan samankaltaista valheellista tietoa. Useasta lähteestä saman asian tutkiminen oli hyödyllistä, ja sen avulla huomattiin joidenkin tuotteiden



esittelyteksteissä eriskummallisuuksia. Esimerkkinä mainittakoon Denan imusiirtojärjestelmien toiminnan peruseriaatteesta kertova teksti löytyi eri valmistajan sivustolta, jossa kerrottiin erilaisten imusiirtojärjestelmien toiminnasta.

Opinnäyte antaa kohtuulliset lähtökohdat pelletin siirron ja varastoinnin valintaan niin H-CHP-laitokselle kuin myös keski- tai suuritehoiselle puupellettikattilalle. Tulevaisuudessa tarkemmat tutkimukset, joiden perusteella voitaisiin tehdä varmoja valintoja, vaatisivat joko tuotteiden testaamista tai tarkkoja teknisiä tietoja tuotteiden valmistajilta.

## LÄHTEET

1. Jaakkola, Johan. 2017. Sähkön siirtohintojen korotukset. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-9606702>. Hakupäivä: 23.1.2018.
2. FMT - Tulevaisuuden tuotantoteknologiat tutkimusryhmä . 2018. Oulun Yliopisto. Saatavilla: <http://www oulu.fi/fmt/FMT-Missio-fi.html#1>. Hakupäivä: 23.1.2018.
3. Kerttu Saalasti Instituutti. 2018. Oulun Yliopisto. Saatavilla: <http://www oulu.fi/ksi/> . Hakupäivä 24.1.2018.
4. Northern periphery and arctic programme 2014 - 2020. Tietoa ohjelmasta. Saatavilla: <http://www.interreg-npa.eu/>. Hakupäivä: 21.3.2018.
5. Northern periphery and arctic programme 2014-2020. 2017. Northern periphery and arctic programme. Saatavilla: <http://h-chp.interreg-npa.eu/outputs-and-results/>. Hakupäivä 20.1.2018.
6. Ylitalo, Esa 2017. Puupellettituotokset kasvoivat. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <https://www.luke.fi/uutiset/puupellettituotokset-kasvoivat/>. Hakupäivä 06.03.2018.
7. Pelletin tuotanto. Bioenergia ry. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>. Hakupäivä 06.03.2018.
8. SFS-EN ISO 17225-2 2014. Kiinteät biopolttoaineet, polttoaineen laatuvaatimukset- ja luokat, osa 2: luokitellut puupelletit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
9. Puupelletti – ominaisuudet ja laatukriteerit. 2013. Vapo Oy. Saatavilla: [https://www.vapo.com/filebank/1465-Puupelletti\\_ominaisuudet\\_ja\\_laatukriteerit.pdf](https://www.vapo.com/filebank/1465-Puupelletti_ominaisuudet_ja_laatukriteerit.pdf) Hakupäivä: 07.03.2018.
10. Hotti Suursäkit toimitettuna. 2018. Versowood Oy. Saatavilla: <https://hotti.versowood.fi/14-hotti-pellettisuursakit-toimitettuna.html>. Hakupäivä: 07.03.2018.
11. Irtopelletti. 2018. Vapo Oy. Saatavilla: <https://kauppa.vapo.fi/tuote/irtopelletti/tilaus>. Hakupäivä: 07.03.2018.
12. Puupelletti 6mm/8mm. 2018. DML Finland. Saatavilla: <https://www.biolandia.net/puupelletti-6mm/8mm/>. Hakupäivä: 07.03.2018.
13. Rorres, Chris. 2000. The turn of the screw: Optimal design of an archimedes screw. Saatavilla: <https://www.cs.drexel.edu/~crrorres/screw/screw.pdf>. Hakupäivä 08.05.2018.

14. Types of screw conveyors. 2018. Knowledge Workmanship Solutions. Saatavilla: <https://www.kwsmfg.com/engineering-guides/screw-conveyor/types-of-screw-conveyors/>. Hakupäivä: 20.3.2018.
15. Flexible screw conveyor. 2013. Maschinen Fabrik India Private Limited. Saatavilla: <http://www.mfipl.com/products/conveyors-for-bulk-materials/flexible-screw-conveyor/>. Hakupäivä 20.03.2018.
16. Syöttöruuvit. 2018. Aritem. Saatavilla: <https://www.aritem.fi/lammitysratkaisut/jarjestelmakomponentit/muut-bio-tuotteet/syottoruuvit/>. Hakupäivä 30.04.2018.
17. Tarvainen, Tauno. Aritem Oy:n biotuotteiden Keski-Suomen ja Pohjanmaan aluemyyntipäällikkö. 2018. Pelletin siirto ja varastointi. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Mika Parkkinen 06.03.2018.
18. Kotli, Aldo. Product and Production Manager, Pelltech Oy. 2018. Pelltech spiral feeders. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Mika Parkkinen 14.03.2018.
19. Ruuvikuljettimet. 2018. OÜ Cerbos. Saatavilla: [https://www.cerbos.ee/fi/ruuvikuljettimet/615-ruuvikuljetin-3-m-40-w-pelltech.html?search\\_query=pelltech+ruuvi&results=13](https://www.cerbos.ee/fi/ruuvikuljettimet/615-ruuvikuljetin-3-m-40-w-pelltech.html?search_query=pelltech+ruuvi&results=13). Hakupäivä 02.05.2018.
20. Triotec ulkosiilot ja kuljetinratkaisut. 2017. Triotec Oy. Saatavilla: [http://www.triotec.fi/assets/files/triotec\\_silos\\_fi\\_2017\\_web.pdf](http://www.triotec.fi/assets/files/triotec_silos_fi_2017_web.pdf) Hakupäivä 02.05.2018.
21. Triotec spiraalikuljettimet TR75, TR90 ja TR125. 2017. Triotec Oy. Saatavilla: <http://www.triotec.fi/kuljettimet/spiraalikuljettimet>. Hakupäivä 02.05.2018.
22. Nummilahti, Kari. 2018. Pelletin siirto ja varastointi. Triotec Oy. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Mika Parkkinen 23.02.2018.
23. PIV by Triotec Oy. 2014. Triotec Oy. Saatavilla: [http://www.pellettiimurit.fi/assets/files/PIV\\_esite\\_2014\\_fi\\_web.pdf](http://www.pellettiimurit.fi/assets/files/PIV_esite_2014_fi_web.pdf). Hakupäivä 08.05.2018.
24. Siirtolaitteet. Bioenergia ry. Saatavilla: <http://www.pellettienergia.fi/Siirtolaitteet>. Hakupäivä 08.05.2018.
25. PIV3-malli. Triotec Oy. Saatavilla: <http://www.pellettiimurit.fi/pelletti-imurit/tuotteet/piv3>. Hakupäivä 07.05.2018.
26. PIV4-malli. Triotec Oy. Saatavilla: <http://www.pellettiimurit.fi/pelletti-imurit/tuotteet/piv4>. Hakupäivä 07.05.2018.
27. Esittely. Triotec Oy. Saatavilla: <http://www.pellettiimurit.fi/pelletti-imurit/pelletti-imuri/esittely>. Hakupäivä 08.05.2018.

28. PIV3 pelletinsiirtojärjestelmän käyttö- ja huolto-ohje. Triotec Oy. Saatavilla:  
<http://www.pellettiimurit.fi/assets/files/PIV3-k%C3%A4ytt%C3%B6--ja-huolto-ohje-112013V1.pdf>. Hakupäivä 08.05.2018.
29. Datasheet WX10. Dena. Saatavilla:  
<http://en.denawx.com/tld/en.denawx.com/files/datasheetwx10.pdf>. Hakupäivä 08.05.2018.
30. Home solutions. Dena. Saatavilla:  
<http://en.denawx.com/tld/en.denawx.com/files/homesolutions.pdf>. Hakupäivä 08.05.2018.
31. Pneumaattiset siirtojärjestelmät. Jauhetekniikka Oy. Saatavilla:  
<http://www.jauhetekniikka.fi/tuotteet/jauheiden-siirto/pneumaattiset-kuljetinjarjestelmat>. Hakupäivä 08.05.2018.
32. Pneumaattinen pellettien siirtojärjestelmä WX10. 2018. Annerman Oy. Saatavilla:  
[http://kotituli.fi/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=31\\_64&products\\_id=969](http://kotituli.fi/index.php?main_page=product_info&cPath=31_64&products_id=969). Hakupäivä 08.05.2018.
33. Saarinen, Tapio. 2017. Mikro-CHP-laitoksen kattilan mitoitus. Saatavilla:  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130911/Saarinen\\_Tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130911/Saarinen_Tapio.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Hakupäivä 20.04.2018.
34. Pellettilämmityksen kustannuslaskuri. Bioenergia ry. Saatavilla:  
<http://www.pellettienergia.fi/default.asp?sivuID=28931&item=component;/modules/laskuri/laskuri.asp>. Hakupäivä 08.05.2018.
35. Polyester silos. Technosilos. Saatavilla: <http://www.technosilos.com/profilo/?lang=en>. Hakupäivä 08.05.2018.
36. A.B.S FLEXILO MAXI. 2017. Kardonar bioenergy solutions Oy Ab. Saatavilla:  
<http://www.kardonar.com/fi/a-b-s-flexilo-maxi/>. Hakupäivä 08.05.2018.
37. Supersilo. 2015. Supersilo. Saatavilla: <http://www.supersilo.co.uk/index.php/biomass-wood-pellet-silos/supersilo>. Hakupäivä 08.05.2018.
38. A.B.S FLEXILO TASALATTIA. 2017. Kardonar bioenergy solutions Oy Ab. Saatavilla:  
<http://www.kardonar.com/fi/a-b-s-flexilo-tasalattia/>. Hakupäivä 08.05.2018.
39. FLEXILO STANDARD. 2018. A.B.S. Silo- und Förderanlagen GmbH. Saatavilla:  
<https://www.abs-silos.de/en/wood-pellet-silos/products/flexilo-mini.html?id=1069>. Hakupäivä 08.05.2018.
40. Mattson, Patrik, DI. Kardonar bioenergy solutions Oy Ab. 2018. Siilohinnasto. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Mika Parkkinen 09.05.2018.

41. The A.B.S FLEXILO STANDARD. 2016. A.B.S. Silo- und Förderanlagen GmbH  
Saatavilla: <http://www.kardonar.com/wp-content/uploads/2016/06/ABS-Flexilo-standard.pdf>. Hakupäivä 09.05.2018.
42. The A.B.S FLEXILO FLAT BOTTOM. 2016. A.B.S. Silo- und Förderanlagen GmbH.  
Saatavilla: <http://www.kardonar.com/wp-content/uploads/2016/06/ABS-Flexilo-FLACHBODEN.pdf>. Hakupäivä 09.05.2018.
43. Nord Mills. 2014. Oy Nord Mills Ltd. Saatavilla: <http://www.nordmills.fi/fi/index.html#>.  
Hakupäivä 08.05.2018.
44. Nord Mills siilot. 2013. Oy Nord Mills Ltd. Saatavilla:  
<http://www.nordmills.fi/fi/siilot.html#pelletti>. Hakupäivä 09.05.2018.
45. About the company. 2013. MAFA. Saatavilla:  
[http://www.mafa.se/?page\\_id=2104&lang=en](http://www.mafa.se/?page_id=2104&lang=en). Hakupäivä 08.05.2018.
46. Bulk storing. 2013. MAFA. Saatavilla: [http://www.mafa.se/?page\\_id=3015&lang=en](http://www.mafa.se/?page_id=3015&lang=en).  
Hakupäivä 09.05.2018.
47. Pellettisiilo MAFA Villa. OÜ Cerbos. Saatavilla <https://www.cerbos.ee/fi/pellettisiilot/704-pellettisiilo-mafa-villa.html>. Hakupäivä 10.05.2018.
48. Siilot biolämpövarastointiin. Triotec Oy. Saatavilla:  
[http://www.triotec.fi/kuvat/siilot\\_biolampovarastointiin.pdf](http://www.triotec.fi/kuvat/siilot_biolampovarastointiin.pdf). Hakupäivä: 02.05.2018.
49. Irtopelletti. 2017. Vapo Oy. Saatavilla: <https://kauppa.vapo.fi/tuote/irtopelletti>. Hakupäivä  
10.05.2018.
50. Triotec Neliösiilo bioenergiäsovellutuksiin. Triotec Oy. Saatavilla:  
<http://www.triotec.fi/kuvat/neliosiilo.pdf>. Hakupäivä 10.05.2018.
51. Perfect underground storage. GEOplast. Saatavilla: <https://www.geoplast.com/en/under-ground-pellet-storage-systems.html>. Hakupäivä 10.05.2018.