

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ylempi ammattikorkeakoulu

Pekka Penttinen

SELVITYS HAKETUSLOGISTIIKAN TOIMIVUUDESTA ENON
ENERGIAOSUUSKUNNALLE

Opinnäytetyö
Lokakuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Syyskuu 2016
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Karjalankatu 3
80110 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Pekka Penttinen

Nimeke
Selvitys haketuslogistiikan toimivuudesta Enon Energiaosuuskunnalle

Toimeksiantaja
Enon Energiaosuuskunta

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Enon Energiaosuuskunnan haketuslogistiikkaa ja mahdollisia logistisia kehittämiskohteita. Kehittämiskohteiden toteutuksen tavoitteena on kustannussäästöt ja hakkeen laadun parantaminen. Haketuslogistiikan toimivuutta kartoitettiin kevättalvella 2016 maaliskuu – toukokuun välisen ajan. Hakkuriin ja hakeautoon oli asennettu GPS seurantalaitte, jonka avulla varsinainen mittaustyö tehtiin. Laitteiden keräämää tietoa hyödynnettiin vertailtaessa eri kuukausien toimintaa. Tulosten mukaan hakkeen siirtomatkan kasvaessa perävaunun käytön merkitys kasvaa.

Opinnäytetyöhön kuului Suomen toimintamallien vertailu Ruotsin vastaaviin toimintamalleihin. Ruotsin toimintamallien kartoittaminen tapahtui tutustumiskäynnin avulla Luulajassa sijaitsevaan yritykseen, joka toimittaa haketta Tornion jokilaakson alueelle. Yrityksen haketuslogistiikka pohjautui lähes kokonaan terminaaleissa tapahtuvaan hakkeen valmistukseen. Suoraan Enon Energialle soveltuvia toimintamalleja Luulajassa toimivasta yrityksestä ei löytynyt, johtuen erilaisesta toimintaympäristöstä.

Kehittämiskohteiden joukosta ei löytynyt yhtä mullistavaa parannusta toimintaan, jonka avulla olisi mahdollista laskea kustannuksia. Sen sijaan joukossa on useita tekijöitä jotka yhdessä mahdollistavat tuottavamman ja laadukkaamman hakkeen toimituksen.

Kieli
suomi

Sivuja 50
Liitteet 1

Asiasanat
uusiutuva energia, haketuslogistiikka, kustannussäästöt, toiminnan kehitys



THESIS
September 2016
Degree Programme in Environmental
Technology
Master´s Thesis

Karjalankatu 3
80110 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600

Author
Pekka Penttinen

Title
Study of wood chipping logistic for Enon Energiaosuuskunta

Commissioned by
Enon Energiaosuuskunta

Abstract

Master´s thesis aim was clarify logistic chains and developing targets on Enon Energia wood chips delivery process. Target for improvements are found more economical manners and better quality for wood chips. Logistic process was examined on spring 2016 between March – May. Chipper and a transport unit was equipped with GPS positioning system. GPS system was used to investigate how logistic chains worked. Data was used to compare different month´s actions and clarify how environment and manners will affect to working productivity. One of the results was that on longer transport distances using trailer with truck was more necessary to have a good productivity.

Master thesis included a company visit in Luleå, Sweden. Local company on Luleå is providing wood chips for heating plants. All wood chips were processed in wood terminals. Forest chipping method was not used at all. Working methods which can be used directly on Enon Energia case was not found. This is because working environments was so different.

There wasn´t found any key method to improve logistic dramatically. Instead there was found a many smaller improvements which can affect positively to chipping logistic.

Language

Finnish

Pages 50

Appendices 1

Keywords

renewable energy, wood chipping logistic, cost savings, development activities

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Uusiutuvat energiat	5
2.1	EU:n tavoitteet uusiutuvalle energialle	6
2.1.1	Suomen nykytila ja tavoitteet	6
2.1.2	Ruotsin nykytila ja tavoitteet	9
2.2	Puun käyttö.....	9
2.2.1	Puun energiakäyttö Suomessa	10
2.2.2	Puun energiakäyttö Ruotsissa	11
2.3	Metsäenergian käytön erot Suomessa ja Ruotsissa.	12
3	Haketuslogistiikka	14
3.1	Haketuslogistiikka	15
3.2	Kuljetusteknologia.....	17
3.3	Varastointitekniikka	19
3.4	Yritysvierailu Ruotsiin	23
4	Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä.....	24
5	Opinnäytetyön toteutus	25
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	27
6.1	Haketuslogistiikkaan sovellettavat ratkaisut.....	34
6.2	Kuljetukseen sovellettavat ratkaisut.....	35
6.3	Hakutukseen sovellettavat ratkaisut	36
6.4	Varastointiin sovellettavat ratkaisut.....	39
7	Pohdinta.....	41
7.1	Opinnäytetyön prosessin arviointi	42
7.2	Oman oppimisen arviointi	44
7.3	Opinnäytetyön tuomat hyödyt Enon Energiaosuuskunnalle.....	44
7.4	Jatkokehittäminen.....	45
	Lähteet.....	46

Liitteet

Liite 1 Ruutukaappaukset seurantalaitteen karttaikkunasta

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Enon Energiaosuuskunta. Osuuskunta toimii pääasiassa Enon ja Uimaharjun alueella, ja se toimittaa vuosittain haketta noin 27 000 irto-m³. Haketus tapahtuu osuuskunnan hoidossa olevista metsistä sekä ostettavista energiapuuleimikoista. (Enon Energia Osuuskunta 2015.) Työn tavoitteena oli tutkia Enon Energian tuottaman hakkeen haketus- ja kuljetuslogistiikan nykyistä toimintaa sekä sitä, kuinka nykyisiä toimintamalleja voidaan kehittää ja tehostaa. Työn tulosten avulla saatujen kehittämissideoiden toteutus jää Enon Energiaosuuskunnan ja hakeyrittäjän tehtäväksi.

Enon Energiaosuuskunnan käytössä olevia toimintamalleja verrattiin Pohjois-Ruotsin toimintamalleihin. Työn tuloksena oli tarkoitus laajentaa kokemuksia eri toimintamallien käytöstä ja soveltaa hyväksi havaittuja ja perusteltuja toimintamalleja Enon Energiaosuuskunnan käyttöön. Haketuksen tehokkuutta on aiemmin mitattu laitekohtaisesti muun muassa Metsätehon raporteissa. Kuljetuksesta löytyy vastaavia Metsätehon tekemiä tutkimuksia ja raportteja, joita käsitellään myöhemmin tässä työssä.

Enon Energian hallintopäällikkö on toivonut tässä työssä selvittävän myös hakekasojen peittämisen vaikutukset. Hakekasan peittäminen parantaa VTT:n tutkimuksen mukaan ainakin kasan pahemmalta kastumiselta sateen aikana (Hillebrand 2009, 6). Kasojen peittäminen vaikuttaisi siten hakkeen laatuun parantavasti. Hakekasojen peittämistä on opinnäytetyössä sivuttu haketuksen yhteydessä, mutta peittämisen merkitystä ei ole erikseen työssä tutkittu.

2 Uusiutuvat energiat

Uusituvan energian määritelmä muodostuu sellaisten energianlähteiden käytöstä, joiden voidaan ajatella olevan ikuisia. Esimerkiksi virtaavan veden sisältämä energia on uusiutuvaa energiaa. Biopohjaiset energialähteiden ajatellaan ole-

van hiilineutraaleja, koska kasvi tai puu on kasvunsa aikana sitonut saman määrän hiiltä, kuin sen poltossa vapautuu. (Suomen Ympäristökeskus, 2016.) Uusiutuvaksi energiaksi luetaan muun muassa vesivoima, tuulivoima, aurinkoenergia, biopohjaiset energianlähteet ja maalämpö. Tässä työssä perehdyttiin pelkästään biopohjaisiin energioihin. (Motiva, 2016.)

2.1 EU:n tavoitteet uusiutuvalle energialle

Euroopan unionissa on sovittu jäsenmaiden kesken yhteiset tavoitteet bioenergian käytön osuudesta aina vuoteen 2020 asti. Suomen tavoite on lisätä uusiutuvan energian käyttöä kokonaisenergian kulutuksesta 38 %:iin. Tämän johdosta myös Suomi joutuu lisäämään bioenergian käyttöä merkittävästi nykyisestä. Direktiivi 2009/28/EY ”Uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä” määrittää hyvin tarkasti, kuinka uusiutuvan energian määrä lasketaan kokonaiskulutuksesta, ja mikä ylipäänsä lasketaan uusiutuvaksi energiaksi. (Euroopan unioni 2009, 46.)

Direktiivissä on myös esitetty kestävyyskriteerit uusiutuvalle energialle. Kestävyyskriteerit edellyttävät, että uusiutuvan energian tuotanto, raaka-aineen kasvatusta tai hankinta eivät uhkaa luonnon monimuotoisuutta. Liikennepolttoaineille on sovittu kaikille jäsenmaille yhteinen 10 %:n bioenergian osuus. (Euroopan unioni 2009, 28.) Suomessa on kuitenkin kansallisesti sovittu korkeammasta 20 %:n tavoitetasosta vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, 8).

2.1.1 Suomen nykytila ja tavoitteet

Suomen kokonaisenergian kulutus on kuvattu alla olevassa taulukossa (taulukko 1). Taulukosta voi päätellä, että puupolttoaineiden osuus on pysynyt viimeiset kolme vuotta jokseenkin vakiona. Pudotusta on tapahtunut lähinnä hiilen ja maakaasun käytössä, myös kokonaisenergian kulutus on vähentynyt vastaavalla ajanjaksolla. Puupolttoaineiden osuus yksittäisistä energian lähteistä oli suurin 25,6 %:n osuudella vuonna 2015. (Tilastokeskus 2015.)

Taulukko 1. Suomen kokonaisenergian kulutus lähteittäin (mukailen Tilastokeskus 2016).

Lähde	2013	2014	2015	%-osuus
	Terawattituntia [TWh]			
Puupolttoaineet	94	94	93	25,6
Öljy	88	86	86	23,9
Ydinenergia	69	69	68	18,7
Hiili	42	35	29	8,0
Maakaasu	30	26	22	6,1
Vesivoima	13	13	17	4,6
Sähkön nettotuonti	16	18	16	4,5
Turve	16	16	15	4,1
Tuulivoima	1	1	2	0,6
Muut energialähteet	14	15	14	3,8
Yhteensä	381	374	361	100
Uusiutuvien energialähteiden osuus %	31,2	33,1	34,8	

Metsäteollisuus hyödyntää energiaksi puusta jalostusprosessin aikana tulevat jätteet (taulukko 2). Näihin lukeutuvat suurimpina osuuksina mustalipeä, kuori ja sahanpuru. (Torvelainen. 2014, 277). Pelkästään kemiallisen metsäteollisuuden energialähteenä olevat soodakattilat tuottavat mustalipeän poltolla noin 30 % Suomen uusiutuvan energian tuotannosta. Soodakattiloita on Suomessa yhteensä 17 kappaletta. (Suomen soodakattilayhdistys 2016.)

Taulukko 2. Uusiutuvat energialähteet vuonna 2014 (mukailen Tilastokeskus 2015).

Lähde	%- osuus uusiutuvista energian lähteistä
Metsäteollisuuden jäteliemet	32
Teollisuuden ja energiantuotannon puupolttoaineet	30
Puun pienkäyttö	14
Vesivoima	11
Muut (biopolttoaineet, lämpöpumput yms)	13

EU:n päästötavoitteiden saavuttamisen kannalta onkin keskeistä, tuleeko Suomeen uusia isoja sellu- tai paperitehtaita. Näiden merkitys yksistään on huomattava uusiutuvan energian käytön lisäämisessä. Voi hyvinkin olla, että Äänekosken uusi sellutehdas riittää nostamaan uusiutuvan energian käytön yli EU:n tavoitteen ilman että puhdasta metsähakkeen korjuuta tarvitsisi lisätä kovinkaan merkittävästi nykyisistä määristä.

Paikallisesti kuitenkin metsähakkeen yhteiskunnalliset vaikutukset ovat suuria, joten metsähakkeen käyttöä tulisi jatkossakin edistää, eikä vain tyytyä EU:ssa päätettyjen uusiutuvan energian osuuden minimirajojen ylittämiseen. Suomen bioenergian osuuden muutos kokonaisenergian kulutuksesta on esitetty alla (taulukko 3).

Taulukko 3. Suomen bioenergian osuus energian kokonaiskulutuksesta % (muokailen Tilastokeskus 2015).

Vuosi	Suomen bioenergian osuus kokonaisenergian kulutuksesta %
2008	28%
2009	26%
2010	27%
2011	29%
2012	32%
2013	31%
2014	33%
2020	38% (Tavoite)

2.1.2 Ruotsin nykytila ja tavoitteet

EU on asettanut Ruotsille uusiutuvien energialähteiden osuudeksi vuoteen 2020 mennessä 49 % kokonaisloppukulutuksesta. Vuonna 2012 uusiutuvien energioiden osuus oli 51,1 % ja vuonna 2013 42,6 %. Ruotsin kokonaisenergian kulutus vuonna 2013 oli 565 TWh. Määrä on pysynyt jokseenkin vakiona. 1980-luvun puolesta välistä tähän päivään kokonaisenergiankulutus on ollut 550–600 TWh. (taulukko 4). (Swedish Energy Agency 2016.)

Taulukko 4. Eri energialähteiden osuus Ruotsissa v. 2013 (mukaillen Swedish Energy Agency 2016).

Energian lähde	Tuotettu energia [TWh]	%- osuus kokonaiskulutuksesta
Ydinvoima	189	34
Fossiiliset polttoaineet	167	30
Biomassa	129	23
Vesivoima	61	11
Tuulivoima	9,8	2
YHTEENSÄ	555,8	100

2.2 Puun käyttö

Metsäteollisuus on Suomessa suuressa roolissa puun käytön suhteen. Myös muualla Skandinaviassa metsäteollisuudella on merkittävä asema. Metsäteollisuus pyrkii turvaamaan oman raakapuun saantinsa mahdollisimman edullisesti. Tästä syystä yleisessä keskustelussa on esiintynyt ajatuksia, joiden mukaan energiapuu ja metsähake kilpailisivat metsäteollisuuden raaka-aineen kanssa aiheuttaen puun kantohintojen nousua. Puuta riittää kaikille johtuen siitä, että vuotuinen metsänkasvu on paljon suurempi kuin vuotuinen poistuma. Raaka-aineen hinnan nousuun hakkeen kysynnällä voi olla vaikutusta (Europaeus 2015).

Puuta on käytetty lämmitysenergiana kohtuullisen kauan. Ensimmäinen tulisija on ollut Maltalla jo 3600 EKr (Stove industry alliance 2016). Suomessa polttopuun osuus metsähakkuista on ollut keskeisessä roolissa sotien aikaan. Polttopuun käyttö on ollut yli 25 miljoonaa kiinto-m³ vuosien 1939–1949 aikana. Teollistumisen lisääntyä polttopuun käyttö on jatkuvasti vähentynyt ja samaan aikaan puun käyttö metsäteollisuuden tarpeisiin on vastaavasti lisääntynyt. Halkoja poltetaan Suomessa nykyisin noin 5 miljoonaa kiinto-m³. (Tilastokeskus 2007.)

Puun polttaminen herättää asiantuntijoissa myös vastustusta. Osa tutkijoista mieltää puun polton hiilineutraaliksi, koska puu kasvaessaan käyttää polton aikana vapautuvan hiilidioksidin. Osa tutkijoista on taas sitä mieltä, että puun poltto lisää selvästi hiilidioksidin määrää ilmakehässä, koska puun kasvu-aika on pitkä noin 50–100 vuotta ja ilmaston muutoksen kannalta ja hiilidioksidin vapautumisen kannalta puun polttoa tulisi arvioida kriittisesti. Suurin osa tutkijoista pitää kuitenkin hakkuutähteiden polttoa järkevänä, koska niistä hiilidioksidi vapautuisi kumminkin hyvin lyhyellä aikavälillä. (Ympäristöministeriö 2016.)

2.2.1 Puun energiakäyttö Suomessa

Puun energiakäytöllä Suomessa on merkittävä vaikutus kansantaloudellisesti lukuisten työpaikkojen ja huoltovarmuuden lisääntymisen vuoksi. Noin 25 % kokonaisenergian kulutuksesta katetaan Suomessa puupolttoaineilla (Tilastokeskus 2015). Taulukossa 5 on selvennetty, kuinka puupolttoaineet jakautuvat eri jakeisiin. Metsähake yksinään ei ole suurin energian lähde, mutta on kumminkin kolmen suurimman energianlähteen joukossa. (Metsäntutkimuslaitos 2014.)

Vuonna 2012 Suomessa toimi yli 300 lämpöyrittäjää, joiden hoidossa oli yli 500 lämpölaitosta. Lämpöyrittäjät käyttivät vuonna 2012 yhteensä noin 1,3 miljoonaa irto-m³ haketta. Suurin osa tästä oli metsähaketta noin 50km:n säteeltä lämpölaitokselta. (Bioenergia Ry 2016.)

Taulukko 5. Puupolttoaineiden jakeet energian kokonaiskulutuksesta Suomessa 2013 (Mukaillen Torvelainen 2014, 277).

Lähde	TWh	%
Metsäteollisuuden jäteliemet ja muut sivutuotteet	40	41
Puun pienpoltto	18	19
Metsähake	15	17
Kuori	12	12
Sahanpuru	5	5
Teollisuuden puutähdehake	2	2
Muu kiinteä puupolttoaine	2	2
Muut metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteet	2	2
Yhteensä	95	100

2.2.2 Puun energiakäyttö Ruotsissa

Puun energiakäyttö Ruotsissa on hyvin pitkälti samanlaista kuin Suomessa. Suomessa poltetaan enemmän halkoja, mutta teollisuuden puunkäytössä Ruotsi on hivenen edellä. Ruotsissa metsähaketta käytettiin 6,9 miljoonaa kiinto-m³ vuonna 2013. (Routa 2015, 7) Hakkeen tuonti Venäjältä on kalliimpaa kuin rajanaapurina olevaan Suomeen. Haketta tuotiin Ruotsiin noin 1 miljoona kiintokuutiota vuonna 2013 (taulukko 6), (Skogsstyrelsen 2014, 309). Ruotsissa ei ole tehty viime aikoina selvitystyötä lämpöyrittäjien määrästä. Viimeisin laajempi selvitystyö on tehty vuonna 2004. Ruotsissa lämpöyrittäjinä pienillä lämpölaitoksilla 0,3 MW–3 MW toimii hyvin kirjava joukko. Alalla on vastaavanlaisia lämpöyrittäjiäkin, kuten Suomessa. Tilastointi on vaikeaa, koska yrittäjät eivät kuulu mihinkään erityiseen bioenergia-alan järjestöön josta tiedot siirtyisivät kootusti (JTI–Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2016). Koska lämpöyrittäjien tiedot eivät ole kootusti missään, ei myöskään lämpölaitosten kuluttamaan hakemäärää tilastoida kootusti.

Taulukko 6. Puupolttoaineiden jakeet energian kokonaiskulutuksesta Ruotsissa 2012 (Mukaillen Skogsstyrelsen 2014).

	TWh	%
Metsäteollisuuden jätehiemet	37	36
Puun pienpoltto	9	9
Metsähake	18	18
Kuori	8	8
Sahanpuru	5	5
Teollisuuden puutähdehake	7	7
Muu kiinteä puupolttoaine	8	8
Muut metsäteollisuuden sivu- ja jätetuotteet	10	10
Yhteensä	102	100

2.3 Metsäenergian käytön erot Suomessa ja Ruotsissa.

Ruotsi ja Suomi ovat hyvin metsärikkaita Pohjolan maita. Molemmissa maissa metsästä saatavaa bioenergiaa on käytetty jo vuosikymmeniä. Molemmissa maissa käytetään noin 7–8 miljoonaa kiinto-m³.metsäenergiaa vuodessa. Kasvuolosuhteet ovat pitkälti samanlaisia. Suurimmat erot löytyvät kulttuurista ja yhteiskunnan tavoista ajatella ja johtaa asioita. Suomessa on esimerkiksi metsäenergiaa tuettu suoraan verotuloilla, jolloin metsäenergian käsittely on ollut taloudellisesti kannattavaa. Toisin kuin Ruotsissa, jossa suoria tukia ei ole, mutta metsäenergian käyttöä pyritään tehostamaan lisäämällä haittaveroja enemmän saastuttaville energiamuodoille, kuten kivihillelle ja öljylle. (Björheden 2015, 5.)

Ruotsi ja Suomi eroavat myös käytettyjen raaka-aineiden kohdalla. Suomessa käytetään Ruotsia enemmän muun muassa hakerankaa ja kantoja, kun taas Ruotsissa yleisimmät raaka-aineet ovat hakutähteet ja jatkojalostukseen sopimaton kokopuu. Kantoja ei esimerkiksi Ruotsissa käsitellä juuri ollenkaan, samoin metsätähteen paalaus on Ruotsissa hyvin olematonta. (Björheden 2015, 5.)

Molemmissa maissa haketus tapahtuu suurimmalta osin suoraan metsässä olevalla varastolla. Haketusteknologiassa on sen sijaan eroja. Ruotsissa metsäkooneen päälle asennetut hakkurit ovat suosittuja, kun taas Suomessa suositaan

auton päälle asennettuja hakkureita. Ruotsissa on kokeilussa yhdistelmäautoja, joissa on yhdistetty hakkuri ja hakeauto. Hyviä puolia yhdistelmäautoissa on se, että niiden resurssit ovat jatkuvasti täydellä käytöllä, mutta haittapuolena on yhdistelmän pienempi hyötykuorma, koska itse hakkuri on asennettu vetoautoon joka vie tilaa hakekontilta. Ratkaisu on hyvin toimiva lyhemmillä kuljetusmatkoilla ajettaessa suoraan lämpölaitoksiin ja terminaaleihin. (Eliasson 2010, 23.)

Vuonna 2015 Suomessa käytettiin metsähaketta noin 8,0 miljoonaa kiinto-m³. Tästä määrästä 7,3 miljoonaa kiinto-m³ poltettiin lämpö- ja voimalaitoksissa. Pientalokiinteistöt käyttivät haketta noin 0,7 miljoonaa kiinto-m³. Lämpö- ja voimalaitoksissa käytetystä materiaalista 53 % oli pienpuuta, 32 % hakkuutähdetä, 11 % kannoista ja 4 % järeää runkopuuta. (Strandström 2016, 3.)

Metsähakkeen käyttö Suomessa on vähentynyt parin viime vuoden aikana. Tämä selittyy etupäässä lauhalla talvella, jolloin lämmitykseen tarvittava energiamäärä on pienempi. Osaltaan myös kilpailevien energioiden, kuten kivihiiilen ja öljyn hinnan laskeminen ovat vähentäneet hakkeen kysyntää. (Nummelin, Petäjäistö, Rummukainen & Kautto 2015, 6.) Käyttötavoitteeksi vuodelle 2015 oli asetettu 10–12 miljoonaa kiinto-m³. Tästä voitaneen päätellä, että vuoden 2020 metsähakkeen käyttötavoitteisiin on vaikea enää yltää nykyisillä ohjausresursseilla, ja normaalin kysynnän kasvamisen kautta. (Ylitalo, 2016.)

Vuoden 2020 tavoitteiden saavuttamiseksi hakkeen käytön pitäisi kasvaa noin 1,4 miljoonaa kiinto-m³ joka vuosi. Haketusyrittäjät ovat investoineet merkittävästi uuteen kalustoon vastatakseen kasvavaan kysyntään. Kysyntää pitäisi tulla tasaisen kasvun myötä, että vuoden 2020 tavoite saavutetaan. Metsähakkeen käytön tavoitteeksi on sovittu vuonna 2020 13,5 miljoonaa kiinto-m³. Vastaavasti hakkeen kysyntä on supistunut, jolloin alalle on syntynyt ylitarjontaa. Ylitarjonta on aiheuttanut monelle yrittäjälle taloudellisia ongelmia. Valmiin hakkeen tuonnin määrää ulkomailta ei myöskään tiedetä tarkkaan, joka sekin osaltaan vähentää kotimaisten yrittäjien työtä. (Bioenergia ry 2015.)

3 Haketuslogistiikka

Erilaisia hakkeen valmistusprosesseja on lukuisia. Kaikkien käsitteleminen samassa työssä ei ole mahdollista. Tarkastelun kohteeksi valittiin sellaiset toimintamallit jotka ovat yleisesti käytössä Enon Energian toiminta-alueella. Tällaisia ovat hakkurin ja hakeauton muodostama pari, joka hakettaa suoraan kuorma-auton kuormatilaan ja ajaa sen suoraan lämpölaitokselle. Tällainen toimintamalli on varsin yleinen sekä kustannustehokas silloin, kun välivarastot ovat hyviä ja kohteiden haketusjärjestys on etukäteen mietitty. Ongelmia muodostuu, jos hakkuri tai auto särkyvät, jolloin hakkeen toimittamiseen voi tulla ongelmia. Lämpölaitoksen huoltovarmuus ei ole tässä esimerkissä paras mahdollinen, ja erilaiset kirjalliset sopimukset eivät tosielämässä auta saamaan haketta kattilaan ongelmien yllättäessä.

Hakkeen valmistaminen ja toimittaminen lämpölaitokseen on teoriassa yksinkertainen prosessi. Siihen tarvitaan laite, jolla energiapuu hakataan sopivan kokoisiksi paloiksi eli hakkeeksi, joka sen jälkeen ajetaan kuorma-autolla lämpölaitokseen. Suomessa yleisesti käytetty tapa on käyttää erillistä hakkuria ja hakeautoa. Ongelma tässä on se, että hakeauton viedessä kuormaa lämpölaitokselle hakkuri ei voi hakettaa samanaikaisesti varastoon, vaan sen on odotettava, että kuorma-auto palaa takaisin. Haketuksen tehokkuutta voidaan kasvattaa lisäämällä kuljetuskalustoa mutta samalla osa kuljetusautoista joutuu odottamaan (Asikainen, Flyktman, Laitila, Leinonen, & Virkkunen. 2010, 39).

Kuljetuskalustossa on myös paljon valinnanvaraa eri ajoneuvoyhdistelmien välillä. Kun kuljetuskaluston määrä kasvaa, tarvitaan lisää työvoimaa ja näin kustannukset nousevat aikayksikköä kohden. Tästä seuraa noidankehä joka nostaa kustannuksia, vaikka haketusteho kasvaisi. Lämpölaitosten etäisyys haketuskohteisiin vaikuttaa siihen kuinka paljon kuljetuskalustoa tarvitaan järkevän lopputuloksen saavuttamiseen. Kaluston minimimäärää ohjaa myös se tosiasia, että kylmimpään vuoden aikaan kaluston määrän on riitettävä ylläpitämään hakkeen toimitus lämpölaitoksille.

Varastopaikkojen optimaaliseen haketusjärjestykseen vaikuttaa moni seikka. Näitä ovat muun muassa, varaston ikä, varaston koko, sijainti suhteessa lähimpään lämpölaitokseen, saatavuus vuodenajan mukaan, varaston oletettu kosteus ja pääasiallinen raaka-aine. Edellä mainittujen tekijöiden vuoksi haketuksen logistiikka, tehokkuus ja kokonaiskustannukset eivät olekaan niin selkeät, miltä ensi tuntumalta vaikuttaa.

Kokonaislogistiikan kannalta ajateltuna muuttuvia asioita on paljon, ja pelkkä kuljetusreitin optimointi ei takaa vielä hyvää hakkeen laatua ja alhaisia kokonaiskustannuksia. Toisaalta pitää muistaa, että täydellisen tuloksen saaminen on jokseenkin mahdotonta, tai optimointityöstä tulee itsessään niin kallista ja työlästä, ettei se palvele enää tarkoitustaan. Kokonaistaloudellisesti hyvät toimintamallit edellyttävät monen pienen osa-alueen kompromissia.

3.1 Haketusteknologia

Haketuksen tehokkuutta on aiemmin mitattu laitekohtaisesti muun muassa Metsätehon toimesta (Pajuoja, Kärhä & Mutikainen 2011, 13–17). Metsäteho on tehnyt tarkkoja aikatutkimuksia eri hakkurityypeille ja merkeille. Yhtenäistä näille tutkimuksille ovat lyhyehköt otannat suhteutettuna koko vuoden kestävään toimintaan. Opinnäytetyössä ei keskitytty vastaavanlaiseen tarkkaan aika-analyysiin vaan keskityttiin vertaamaan eri kuukausien aikamenekkiä. Pitkän aikavälin seuranta antaa paremman kokonaiskuvan ympäri vuoden tapahtuvasta toiminnasta.

Metsähakkeen valmistamiseen on tarjolla hyvin laaja kirjo eri laitevalmistajien valmistamia laitteita. Varsinaisia teknologioita on kolme, nopeasti pyörivä rumpuhakkuri, hitaasti pyörivä murskain ja laikkahakkuri. Näistä yleisin metsähakkeen valmistuksessa on rumpuhakkuri. Rumpuhakkuri soveltuu hyvin puhtaan puuraaka-aineen ja metsätähteen hakettamiseen. Rumpuhakkurin rumpu pyörii kovalla nopeudella, noin 500–600 kierrosta minuutissa. Nopeasti pyörivä rumpu rikkoo siihen syötettävän materiaalin. Valmis hake johdetaan sopivien seulojen läpi, jolla saadaan haluttu palakoko hakkeelle. (Jasto Oy. 2016.)

Rumpuhakkureita valmistetaan sekä kiinteällä, että kääntyvällä haketusyksiköllä. Kiinteä haketusyksikkö on ainoa vaihtoehto, jos alustan omaa moottoria halutaan hyödyntää hakkurin voimanlähteenä. Kiinteällä haketusyksiköllä varustetut hakkurit ovat edullisempia, kuin kääntyvällä syöttöpöydällä varustetut. Hintiero muodostuu kääntyvän haketusyksikön tarvitsemasta erillismoottorista ja haketusyksikön kääntämisen mahdollistavasta varustuksesta. Etuja käännettävää hakuriyksiköstä on etenkin ahtaissa varastoissa toimiessa, koska hakekasat voivat sijaita kummalla puolella tietä tahansa. Haketusyö käännettävällä hakuriyksiköllä voidaan suorittaa aina haluttuun suuntaan. Haittoina korkeampi hankintahinta, ja hakkurin erillismoottorista johtuvat korkeammat huoltokustannukset. Rakenteellisen eron eri hakkurityyppien välillä selviää alla (kuva 1 ja kuva 2).



Kuva 1. Kääntyvä hakuriyksikkö (Kuva: Pekka Penttinen).



Kuva 2. Kiinteä hakkuriyksikkö (Kuva: Pekka Penttinen).

Murskaimen idea perustuu suureen voimaan. Murskaimen rumpu pyörii noin 30 kierrosta minuutissa, ja repii murskattavasta materiaalista paloja irti. Käytössä on myös laitteistoja, joissa karkea murskattu materiaali siirtyy kuljetinhihnaa pitkin nopeasti pyörivälle vasaramurskaimelle ja hienontaa materiaalin halutun kokoiseksi. (Jasto Oy, 2016.) Murskain ei ole niin arka puussa oleville epäpuhauksille kuin rumpuhakkuri. Murskainta käytetäänkin muun muassa rakennusjätteiden ja kantojen murskaukseen. Murskaimen toimintaperiaatteesta johtuen sen hakkeen laatu ei ole niin tasalaatuista kuin rumpuhakkurilla, mutta kuitenkin riittävän hyvä suurille voimalaitoksille (Forestenergy 2020, 2011).

3.2 Kuljetusteknologia

Hakkeen kuljetuksesta ei löydy aivan yhtä tarkkoja aikatutkimuksia kuin hakeutuksesta on tehty. Hakeautokannasta on tehty aiempi selvitys vuonna 2010. Tutkimus oli lähetetty 10:lle suurimmalle polttoaineen toimittajalle Suomessa. Tutkimus ei välttämättä ole täysin käyttökelpoinen pienten hakelämpölaitosten ja energiayrittäjien kohteissa. Suurten polttoainetoimittajien on helpompi opti-

moida kaluston koko, koska yleisesti sekä haketuskohteiden varastot ja purkupaikat ovat suuria jossa voidaan käyttää suuria ajoneuvoyhdistelmiä. (Karttunen, Föhr, Ranta, Palojärvi & Korpilahti. 2010. 2–7.)

Hakkeen kuljetuksessa suosituimmaksi kuljetusmuodoiksi on muodostunut kuorma-auton ja perävaunun muodostama ajoneuvoyhdistelmä. Osa metsähakkeen varastopaikoista sijaitsee hyvinkin pienten metsäteiden varsilla ja teiden pistoilla. Hakekasojen sijoittaminen pistoille on yleistä, Pistoille sijoittamisella pyritään vähentämään yleisille teille kantautuvaa roskan määrää ja samalla työturvallisuus kasvaa koska hakkuri ja hakeauto eivät tuki yleistä tietä, ja eivät näin ollen vaaranna muuta liikennettä. Samalla työntekijöiden turvallisuus paranee, koska jalan liikkumista yleisellä tiellä ei ole.

Ongelmia pistoilla tapahtuvasta hakettamisesta tulee tilan ahtauden myötä. Pistot ovat joko liian lyhyitä ja kapeita että isoilla hakkeen kuljetusyhdistelmillä pääse sujuvasti varastopaikalle. Hakeyrittäjät ovat osaltaan ratkaisseet ongelmaa ottamalla käyttöön kuorma-auton ja lyhyen keskiakseliperävaunun joka mahdollistaa toiminnan pienemmillä varastoilla. Kaikkein vaikeimmin tavoitettavat varastot hakeyrittäjät noutavat pelkällä kuorma-autolla. Pelkällä kuorma-autolla ajo nostaa kuljetuskustannuksia koska kuljetettu hakemäärä laskee noin puoleen, jos ajettaisiin perävaunun kanssa.

Suomessa otettiin käyttöön suuremmat ajoneuvojen massat 1.10.2013. Samalla nostettiin ajoneuvojen korkeus 4,20 metristä 4,40 metriin. (Finlex 2013). Uudistuksen tarkoituksena on parantaa elinkeinoelämän kilpailukykyä alentamalla kuljetuskustannuksia. Metsähakkeen kuljetuksessa on aiemmin törmätty kokonaispainojen riittämättömyyteen. Nyt tilanne parani huomattavasti. Ainoa ongelma on, että uudet korkeammat painot edellyttävät kalustoinvestointeja ja samalla kaluston pituutta täytyy lisätä, joka taas vaikeuttaa ahtailla varastoilla toimimista. Osa lämpölaitosten vastaanottopaikoista voi olla mitoitettu 4,2 metrin korkeuteen, joten korkeampaa ajoneuvoa ei voi suoraan käyttää ilman voimalaitoksen polttoainevaraston muutoksia.

3.3 Varastointiteknologia

Kuljetuslogistiikan sujuvuuteen vaikuttaa keskeisesti lämpölaitosten varastojen toimivuus, ja hakesiilon koko. Varaston koko tulee olla riittävä, jolloin kuljetuskaluston kapasiteettia voitaisiin hyödyntää paremmin. Hakevaraston nimellinen tilavuus vastaa harvoin todellista käytettävää hyötytilavuutta. Hakesiiloa ei esimerkiksi koskaan kannata laskea aivan tyhjäksi. Tästä johtuen varastolla on aina myös jonkin verran entistä polttoainetta, kun jo uutta haketta toimitetaan.

Hakevaraston kokoa voi laskea lämpölaitoksen tehon ja halutun varaston riittävyyden tunneissa seuraavalla laskukaavalla. Esimerkkinä 1 MW laitos, jos varaston kooksi halutaan 3 vrk:n tarve ja hakkeen energiasisältö on 0,7 MW/irto-m³ haketta ($72\text{h} \cdot 1 \text{ MW}$) / $0,7 \text{ MW/ irto-m}^3 = 102 \text{ m}^3$. Eli varaston koko olisi tuolloin 102 m³. Jotta varastoon saa todellisuudessa sopimaan noin 100 irto-m³ haketta, vaati se suuremman tilan, koska haketta ei voida purkaa kuorma-autosta tai perävaunusta joka nurkkaan tasaisesti. Kuorma-autojen hakkeenpurkulaitteistot eivät heitä haketta minnekään, vaan hake tippuu heti kuorma-auton perästä alas. Toki takana tuleva hake työntää jonkin verran edessä olevaa hakekasaa taaksepäin, joka auttaa varaston täyttämässä.

Jos hakevaraston hyötysuhdetta halutaan nostaa, vaati se jonkinlaisen kiinteän apuvälineen, jolla purettua hakekasaa saa siirrettyä taaksepäin ja samalla tehtyä kasasta korkeamman. Enon yläkylän hakevaraston seinästä voi nähdä hyvin, kuinka hakekasa on sijainnut hakevarastossa, ja kuinka suuri osa hakevaraston koosta jää hyödyntämättä (kuva 3). Kuorma autosta tuleva hake ei purkaudu varastoon tasaisesti.



Kuva 3. Enon yläkylän voimalan hakevarasto (Kuva: Pekka Penttinen).

Pienet hakevarastot aiheuttavat sen, että polttoainetta pitää toimittaa lämpölaitoksille päivittäin kylmimpään vuoden aikaan. Tästä ei ole suurta haittaa, jos tienvarsivarastot ja muut lämpölaitokset johon haketta toimitetaan sijaitsevat lähkekkäin. Sen sijaan, jos lämpölaitokset sijaitsevat etäällä toisistaan, silloin lämpölaitoksen hakesiilon koolla on suurempi vaikutus. Suurempi varasto helpottaa logistiikkaa, kun haketta voidaan toimittaa enemmän yhdelle laitokselle kerrallaan, jolloin kuljetuskustannukset alenevat.

Lämpölaitoksen hakevarastoa suunniteltaessa kannattaa pohtia, minkä kokoisella kuljetuskalustolla haketta aiotaan toimittaa. Kuorma-auton hakekorin tilavuus on noin 50–60 irtom³ haketta. Hakkeen olisi hyvä sopia kaikki kerrallaan varastoon, jolloin vältytään siltä, että hakeauton ei tarvitse ajaa vajaita kuormia, tai lähteä viemään loppuja rippeitä toiseen lämpölaitokseen. Jos lämpölaitokselle on ajatus tuoda haketta ajoneuvoyhdistelmällä, niin silloin varastoon pitäisi sopia kerrallaan noin 100–130 irtom³ haketta. Huomioitaessa vielä oletettu lämpölaitoksen vanhan polttoaineen määrä siilossa esimerkiksi 10–20 irtom³ niin voidaan päätellä, että kuorma-autolla toimitettavissa kohteissa varaston pitäisi olla noin 60–80 irtom³ ja toimitettaessa ajoneuvoyhdistelmällä noin 110–150 irtom³.

Kuljetusyksiköiden koon kannalta valittuna hakesiilojen koko menisi siis kuljetusyksikön kuormatilojen kerrannaisina paremmin, kuin laskettuna lämpölaitoksen hakkeen kulutuksen mukaan. Haketta toimitettaessa ajoneuvoyhdistelmällä varaston koko olisi siten minimissään joko 110 m³, tai 220 m³. Ylimääräisen varastotilan rakentaminen kasvattaa toisaalta lämpölaitoksen rakentamiskuluja, joten hakevaraston mitoituksessa on pidettävä jonkunlainen realismi varaston koossa. Tyypillisesti hakelämpölaitoksen hakevarasto mitoitetaan siten, että haketta riittäisi noin 3–5 päivän ajaksi. Tämä tarkoittaisi 1 MW:n laitoksella noin 100 m³ varastoa, jos varaston kesto olisi 3 päivää.

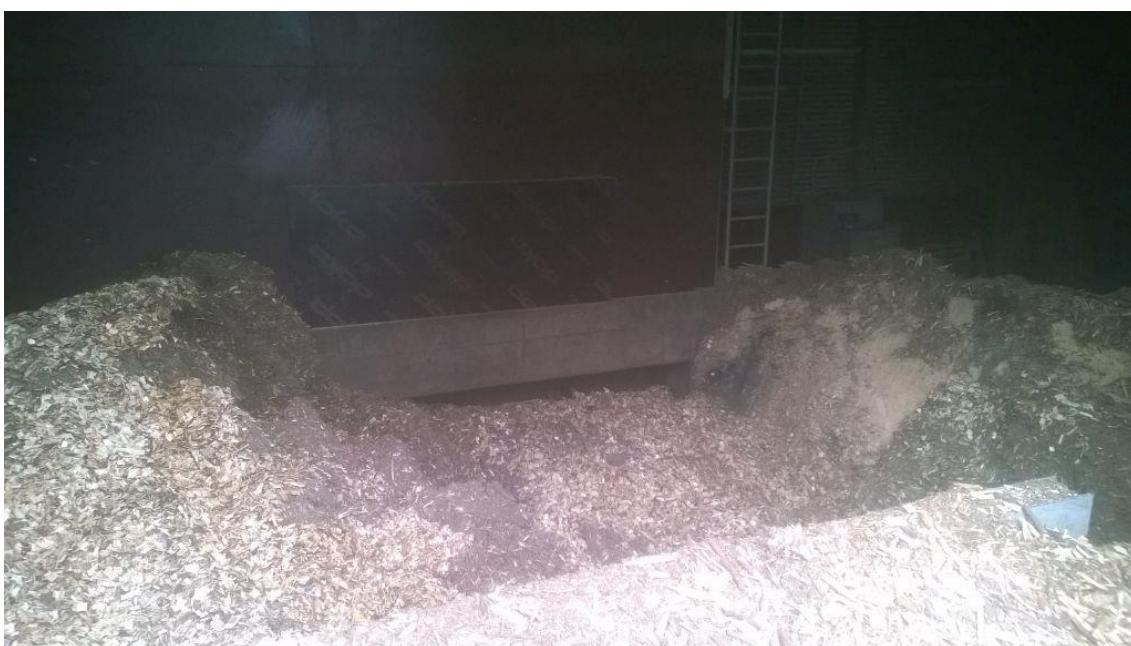
Jos hakkeen varaston laskennallinen riittävyys on alle vuorokausi tarkoittaa se käytännössä sitä, että polttoainetta on oltava varastoituna valmiina hakkeena hyvin lähellä, ja siirto tapahtuu pyöräkuormaajalla tai vastaavalla ratkaisulla. Energiateollisuus Ry:n raportissa on esitetty laskelmia jopa 8 tunnin täyttövälille. Opinnäytetyön tekijän mielestä 8 tunnin täyttöväli on epärealistinen, koska se sitoo käytännössä yhden henkilön jatkuvasti päivystämään varaston luona. Ratkaisu nostaa kustannuksia etenkin henkilöstön palkkakulujen kautta ja ei sen vuoksi ole kokonaistaloudellinen ratkaisu. (Energiateollisuus Ry 2012, 12–13.)

Hakesiilot voivat toimia erilaisin hakkeensyöttöjärjestelmin. Isommissa kohteissa erilaiset tankopurkaimet ovat yleisiä. (Ariterm 2016). Hakkeen syöttöjärjestelmän toimivuus vaikuttaa siihen kuinka tasaisesti hake poistuu siilosta. Uusimmissa hakevarastoissa on lattialämmitys, joka varmistaa sen, että syöttötangot eivät jäädy lattiaan ja aiheuta ongelmia kovilla pakkasilla. (Liimatta 2016). Enon yläkylän polttoainevarastossa on tankopurkaimet, jotka syöttävät haketta siirtokuljettimelle. Siirtokuljetin kuljettaa hakkeen edelleen kattilaan poltettavaksi. Jos kaikki tankopurkaimet eivät toimi suunnitellusti johtaa se siihen, että vain osa hakevarastossa olevasta hakkeesta saadaan johdettua siirtokuljettimelle. Silloin toimiva tankopurkain tyhjentää hakkeet kokonaan omalta kohdaltaan, ja muiden tankopurkaimien kohdalle jää käyttämätöntä haketta. Tämä aiheuttaa ongelmia myös kuljetukseen, koska voi olla, että hakkeen tuontiaukon kohdalta hake ei ole poistunut, ja uuden kuorman toimittaminen ei siten onnistu.

Yrittäjän mukaan tiedossa on ollut tapauksia, että useampi tankopurkain on ollut pois käytöstä samanaikaisesti (Liimatta 2016). Alla olevista kuvista voidaan havaita, kuinka eri aikaan hakevarasto tyhjenee, jos tankopurkaimet eivät toimi ennalta oletetulla tavalla. (kuva 4 ja kuva 5).



Kuva 4. Enon yläkylän voimalan tankopurkaimet (Kuva: Pekka Penttinen).



Kuva 5. Enon alakylän voimalan hakevarasto (Kuva: Pekka Penttinen).

3.4 Yritysvierailu Ruotsiin

Opinnäytetyön tekijä perehtyi Luulajassa sijaitsevan bioenergiayhtiön haketuslogistiikan toimintamalleihin. Yrityksellä on käytössään yhdeksän siirrettävää murskaa ja yksi siirrettävä hakkuriyksikkö. Liiketoiminta koostuu hakkeen ja turpeen toimittamisesta ympäristökuntien hakelämpölaitoksille. Yritys harjoittaa myös kompostointia, sekä myy multaa ja kasvihuonetarvikkeita yksityisille. Yritys ei harjoita metsässä tehtävää haketusta ollenkaan, vaan kaikki raaka-aine haketetaan tai murskataan terminaaleilla.

Yritys operoi neljällä terminaalilla, joista kaksi sijaitsee lähempänä raaka-ainetta ja kaksi pienempää loppukäyttäjien läheisyydessä. Yrityksen edustajalla oli tietoa, että alueella on kaksi muuta yritystä jotka harjoittavat haketusta metsästä. Kuitenkin toinen näistä yrityksistä oli ajautunut konkurssiin (Keisu 2016). Haastateltavien mukaan bioenergia-alan lähitulevaisuus näyttää heikolta, koska korvaavien polttoaineiden kuten hiilen ja öljyn hintataso on alhainen, eikä hake pysty kilpailemaan tällä hetkellä. Haastateltavien henkilöiden mukaan korjausta tilanteeseen voisi tulla ehkä 4–5 vuoden kuluttua. (Johansson, Keisu 2016.) Tulevaisuuden näkymät ovat jokseenkin samanlaiset myös Suomessa. Hakkeen kysyntä on parempaa Etelä-Suomessa mutta keskisuomen yläpuolella markkinat ovat vaikeammat. Haastateltavan mukaan voi mennä noin neljä vuotta, ennenkuin kysyntä kasvaa reilummin. (Haukkala 2016.)

Suurimpana osuutena raaka-aineista on kierrätyspuuta, hakkuutähteitä noin 40 % ja kokopuuta 30 %. Kantojen käsittely on loppunut lähes kokonaan. Syyksi haastateltavat kertoivat kantojen vaativan paljon toimenpiteitä, ennen kuin kantohake olisi valmis toimitettavaksi lämpölaitoksille. Haketta yritys toimittaa pääosin pelkästään suuriin voimalaitoksiin. Haastattelussa ilmeni, että Tornion joki-laaksossa, etenkin Ruotsin puolella on vähän keskikokoisia hakelämpölaitoksia kokoluokassa 1–4 MWh. Voimalaitoksen koko vaikuttaa oleellisesti käytettävien toimintamuotojen valintaan. Suurille lämpölaitoksille toimitettavan hakkeen palakoko ei ole niin suuressa roolissa, kuin pienillä lämpölaitoksilla. Tämä mahdollistaa hakkeen tekemisen murskaamalla, joka on rumpuhakkuria nopeampi ja edullisempi valmistusmenetelmä. (Johansson 2016.) Edellä mainituista seikois-

ta johtuen hakkeen valmistus ja toimitusprosessit ovat hyvin erilaisia verrattuna esimerkiksi Pohjois-Karjalaan ja ovat huonosti suoraan sovellettavissa Enon Energialle.

4 Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä

Opinnäytetyön tarkoituksena oli etsiä Enon Energiaosuuskunnalle ratkaisuja haketus- ja kuljetuslogistiikan optimoimiseksi. Opinnäytetyön tehtävänä oli selvittää kuinka nykyinen haketus- ja kuljetuslogistiikka toimivat ja kuinka nykyisiä toimintamalleja voidaan kehittää tehokkaammaksi. Opinnäytetemenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin haastattelua, GPS seurantajärjestelmää ja tutkijan omaa havainnointia haketusvarastoilla ja purkupaikoilla.

Aineiston analyysi tapahtui taulukkolaskennan avulla GPS seurantalaitteen keräämästä tietopohjasta. GPS seurantalaitteen palveluntuottajan raportteja hyödynnettiin tiedon siirtämisessä taulukkolaskentaohjelmaan. Tutkimuksessa esille tulleet kehittämistarpeet raportoitiin Enon Energiaosuuskunnalle. Kehittämistarpeiden konkreettinen toimeenpano jää jatkossa Enon Energiaosuuskunnan tehtäväksi.

Opinnäytetyön tutkimustehtävät olivat

1. Enon Energiaosuuskunnan haketus- ja kuljetuslogistiikan nykyisen toiminnan kartoitus
2. Nykyisten toimintamallien kehittämistarpeiden selvittäminen

5 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyö koostui tutkimustehtävän rajaamisella henkilökohtaisen haastattelun avulla, ja haketuslogistiikan nykytilan kartoittamisella haastattelun ja työmaakäyntien avulla. Opinnäytetyön suunnittelun pohjaksi etsittiin tietoa haketuslogistiikasta yleisesti, ja jonkin verran tietoa eri laitteiden yleisistä ominaisuuksista. Hakkurin ja hakeauton mitatut tiedot kerättiin taulukkolaskentaohjelmaa hyödyntäen käytettävämpään muotoon. Mittalaitteiden antama tieto ei ollut kokonaisuudessaan suoraan raportoitavissa, vaan selkeämpien vastausten saamiseksi suoritettiin yksinkertaisia laskutoimenpiteitä.

Tehokkuutta haketuksen ja kuljetuksen välillä voi miettiä monella eri lähestymistavalla. Yrittäjiltä on hankala saada tarkkoja kustannustietoja siitä, millainen kustannusjakauma eri työtehtävillä on. Voi myös olla, että he eivät itsekään tiedä tarkalleen tai seuraa työtunneittain muuttuvia kuluja. Haketuksen sujuvuutta ja tehokkuutta voi miettiä myös ilman euroja sen mukaan, kuinka paljon haketta saa toimitettua lämpölaitokselle asti yhtä työtuntia kohden. Yksikkö pitää sisällään niin hakkurin tuottavuuden kuin käytetyt henkilöstöresurssit. Yksikkö voi olla irtokuutiota työtuntia kohden [m^3/h].

Opinnäytetyötyössä keskityttiin enemmän metsävarastoilla tapahtuvaan toimintaan. Terminaaleilla ympäristökijät ovat paremmat ja tuntituotos hakkureilla pysyy jokseenkin vakiona, sekä hakkeen kuljettaminen lämpölaitoksille hyvien liikenneyhteyksien varrelta voidaan arvioida riittävän tarkasti välimatkan avulla. Enon energian mukaan tutkimuksen päätavoitteen oli selvittää kustannustehokkaita ratkaisuja haketusketjuun kokonaisuudessaan. Kiinnostusta oli selvittää myös toimintamalleja eri vuodenaikoihin. Talvisin olosuhteen ovat alemmilla tieverkoilla hyvin vaativia liukkauden ja maaston mäkisyyden vuoksi. Hyvällä kokonaissuunnittelulla voidaan huonommat maastokohteet hakettaa jo kesällä, ja talvella voidaan hakettaa helpommista kohteista. Myös pitkiä metsäautoteitä tulisi välttää talvella, koska se lisää auraamisen tarvetta ja samalla nostaa kokonaiskustannuksia. (Hassinen 2015).

Metsäteiden varastoilla olevat kohteet vaihtelevat paljon, ja tästä syystä kaikki toimintamallit eivät ole kustannustehokkaita. Kompromisseja joutuu tekemään, koska yrittäjiltä ei voi edellyttää esimerkiksi kolmen erilaisen haketusyksikön hankintaa pelkästään oman alueen erilaisiin kohteisiin. Sen sijaan yhteistyöverkostolla voidaan saada paremmin sopivia laitteita ja menetelmiä sovellettua tehokkaammin. Huoltovarmuuden parantaminen kustannustehokkaasti olisi hyvä saavutus tutkimuksen myötä. Huoltovarmuus lämmönjakelussa on yksi tärkeimmistä tekijöistä, joita toimintamalleissa tulee huomioida. Toki joka laitoksessa viimeisenä varana on jokin muu varapolttoainejärjestelmä, mutta yleensä se ei ole kaikkein edullisin vaihtoehto. Enon Energian mukaan keskeisiä tavoitteita ovat myös laadukas hake lämpölaitoksille ja alhaisemmat kokonaiskustannukset. Eri vuoden aikojen vaikutusta toimitusprosessiin tulisi myös tutkia. (Hassinen 2016)

Terminaalitoiminta ei myöskään ole yksinkertaista. Toiminta vaatii suuren pinta-alan, ja vieläpä sen sijainti ei saisi olla ihan lähellä asutusta jo pelkän meluhaitan vuoksi. Tämä tuo haasteita miettiä järkeviä terminaalikohteita, ja myös sitä missä mikäkin työvaihe olisi järkevin tehdä. Enon Energialla on käytössään terminaali noin 9 km etäisyydellä Enossa sijaitsevilta lämpölaitoksilta.

Opinnäytetyö toteutettiin talven 2016 aikana. Hakeauton seuranta toteutettiin ajalla 1.3.2016–31.5.2016, ja hakkurin ajankäytönseuranta ajalla 12.3.2016–31.5.2016. Opinnäytetyössä mukana olleella haketusyrittäjällä on pitkä kokemus haketuksesta. Haketusyrittäjä suorittaa itse haketuksen ja kuljetuksen. Yrittäjä tekee molemmat työsuoritukset itsenäisesti, joten tulosten vaihteluun ei vaikuta eri koneenkuljettajien erot. Sekä hakkuri, että hakeauto olivat varustettu GPS vastaanottimella, josta voitiin seurata kaluston liikkeitä. Hakkurista selvitettiin vielä erikseen voiman ulosoton käytetty aika. Ulosoton kytkentä aika on käytännössä sama, kuinka kauan hakekuorman valmistaminen on kestänyt.

Hakeautona toimi 3-akselinen Scania R560, jonka hakekorin koko oli 50 m³. Yrittäjä ajoi kaiken hakkeen pelkällä kuorma-autolla, lukuun ottamatta yhtä varastoa lähellä Joensuun kaupunkia. Joensuun kaupungin lähellä oleva metsävarasto ajettiin kuorma-auton ja keskiakseliperävaunun yhdistelmällä. Keskiakse-

liperävaunun tilavuus oli 45 m³ valmista haketta. Yhdistelmän kokonaistilavuus oli tutkitussa tapauksessa 95 m³ valmista haketta. Hakkurina toimi Kesla C1060 asennettuna MAN kuorma-auton alustalle. Hakkuri otti voimansa suoraan kuorma-auton moottorista. Hakkurissa käytettiin Keslan valmistamaa nosturia 1200T. Käytössä olleen hakkurin toimintaa on esitetty aiemmin kuvassa 2.

Seurantalaitteet toimitti PPO Elektroniikka Oy. Seurantalaitteiden avulla voitiin seurata jokaisen toimitetun hakekuorman ajankäyttöä erikseen. Yleensä tuottavuutta tutkimuksissa on seuratta hakkeen valmistusprosesseja hyvinkin seikka-peräisesti lyhyellä ajan jaksolla. Lyhyen aikavälin tarkastelu antaa hyvän kuvan koneiden optimaalisesta suorituskyvystä tutkitussa työympäristössä. Hakkureiden ja hakeauton käytöstä haluttiin selkeästi pidemmän aikavälin seuranta, jolloin työn suorituksen tarkka analysointi ei ole tarpeen, vaan eroja haettiin nimenomaan eri kuormien ja kuukausien kesken. Useamman kuorman seurannalla peräkkäin voitiin analysoida paremmin erilaisten muuttuvien tekijöiden vaikutusta haketuslogistiikan ajankäyttöön. Selkeästi erottuvia asioita ovat esimerkiksi vuodenajat. Kesällä toiminta on nopeampaa koska ei ole teiden liukkautta eikä lumesta aiheutuvia ongelmia.

6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Opinnäytetyön tulosten analysointiin käytettiin hakkurista ja hakeautosta saatuja useita erilaisia raportteja, joita paikannuslaitteen valmistaja on käytettyyn ohjelmaan laatinut. Saatujen tietojen pohjalta valittiin tähän työhön parhaiten soveltuvat raportit. Raporttina käytettiin päiväyhteenvetoa. Hakeauton liikkeet ja kelonajat tarkistettiin myös suoraan karttaikkunasta, joka oli havainnollisin esitystapa kunkin päivän toiminnasta. Havainne hakeauton malliraportista ja karttaikkunasta on esitetty liitteessä 1. Alla olevassa taulukossa (taulukko 7) on jäsennelly hakkurin ja hakeauton osalta lähtöarvotiedot.

Taulukko 7. Hakkurin ja hakeauton lähtöarvot päiväraportista.

Hakkurin kerätyt tiedot päiväraportista.
Päivämäärä
Hakkurin ulosoton kytkennän aloitusaika
Kytkenän lopetus aika
Hakeauton kerätyt tiedot päiväraportista
Päivämäärä
Työpäivän aloitusaika
Ajoaika lämpölaitokselta välivarastolle
Ajoaika varastolta lämpölaitokselle
Kuorman purkuaika lämpölaitoksella
Työpäivän lopetusaika
Ajetut kilometrit

Hakeauton toiminnasta määritettiin seuraavat arvot käyttäen mitattuja tietoja ja ennakkoon saatuja arvoja, kuten hakekorin kokoa. Hakeauton ja hakkurin lähtöarvojen avulla pystyttiin laskemaan tarvittavat tulokset (taulukko 8). Mitattujen aikojen ja reunaehtojen perusteella laskettiin hakkeen siirtokapasiteetti yhtä työtuntia kohden [m^3/h]. Mediaani aika kuvaa paremmin keskimääräistä toimintaa. Keskiarvoa käytettäessä yhden, todella pitkään kestäneen kuorman toimitus vaikuttaa enemmän saatuun tulokseen, ja voi näin ollen vääristää kokonaisuutta enemmän.

Taulukko 8. Hakeauton tulosten kuukausiyhteenvedossa esitetyt arvot.

Opinnäytetyön tuloksiin kerätyt tiedot
Ajettu kokonaismatka [km]
Kuormien lukumäärä [kpl]
Ajoaika yhteensä [h]
Kokonaistyöaika [h]
Kuormakorin koko [m ³]
Opinnäytetyön tuloksiin lasketut tiedot yllä olevista arvoista
Keskinopeus kokonaistyöajasta [km/h]
Keskinopeus ajoajasta [km/h]
Ajomatka keskimäärin [km]
Kuorman haku keskimäärin [h]
Ajettu hakemäärä irtokuutioina [i-m ³]
Hakkeen siirtokapasiteetti irtokuutiota työtuntia kohden [i-m ³ /h]
Kuorman purku keskiarvo [h]

Tarvittavien tietojen saamiseksi esiintyi ongelmia mm. GPS seurantalaitteen toimivuudessa. Muutamissa tapauksissa hakkurin ulosottosignaali aktivoitui ennen kuin hakeauto oli saapunut varastopaikalle. Koska kyseessä oli yrittäjä, joka toimi kaiken aikaa yksin, ei hakkurin käyttö ennen hakeauton saapumista ollut mahdollista. Näissä tapauksissa haketuksen kesto oli laskettu siitä ajasta, jonka hakeauto oli ollut pysäköitynä välivarastolla.

Seuraavissa taulukoissa 9, 10 ja 11 on esitetty yhteenvedot hakeautolla ajetuista kuormista kolmen kuukauden seurannan ajalta. Kuukaudet eroavat merkittävästi toisistaan. Tämä johtuu pitkälti siitä, että myös haketuskohteet olivat erilaisia. Maaliskuun kuormat ovat pääsääntöisesti ajettu Ilomansin alueelta Enon tien varrelta (taulukko 9). Tyypillistä tälle kuukaudelle oli pitkä matka kapeampaa kylä- ja metsäautotietä. Työtuntia kohden hakkeen siirtokapasiteetti jäi pienimmäksi tehdyn vertailun ajanjaksolla. Metsäautoteiden kunto oli paikoin huono,

jonka takia perävaunun käyttö oli vaikeaa. Liiallinen riskinotto voi johtaa perävaunun tai jopa ajoneuvoyhdistelmän kaatumiseen, mikä voi aiheuttaa kalustolle suuria vaurioita. Kuljetuskaluston kaatumisesta aiheutuu aina taloudellisia menetyksiä ja ylimääräistä seisonta-aikaa. Seisonta-aika voi olla pahimmillaan viikkoja. Sopivan korvaavan kaluston löytäminen väliaikaiseen käyttöön kovien pakkasten aikaan voi olla hankalaa, joten senkin vuoksi ylimääräisiä riskejä suuremman kuljetustehokkuuden nimissä ei pidä ottaa.

Huhtikuussa (taulukko 10) 37 kappaletta kuormista ajettiin Novikassa sijaitsevasta terminaalista. Huhtikuussa hakkeen siirtokapasiteetti tuntia kohti oli korkein mitatulla ajanjaksolla. Tämä selittyy lyhyellä keskiajomatkalla ja terminaalin parempina toimintaolosuhteina. Terminaalia tarvitaan huoltovarmuuden lisäämiseksi ainakin kovimpien pakkasten aikaan ja keväisin ja syksyisin kelirikon estäessä haketuksen pienemmillä sorateilla. Terminaalista ajettiin ilman perävaunua. Siirtomatka Enon keskustassa sijaitseville lämpölaitoksille oli noin 9 kilometriä. Opinnäytetyössä ei tutkittu, kuinka paljon perävaunun käyttö vaikuttaisi näin lyhyellä matkalla. Perävaunun käyttö ei välttämättä enää tehosta toimintaa näin lyhyellä matkalla, koska perävaunun kytkentä, irrotus ja siirto varastoilla lisäävät työaikaa. Ajoaika terminaalilta Enon lämpölaitoksille oli mittausten mukaan noin 10–12 minuuttia suuntaansa.

Puoliperävaunulla toimiessa perävaunun kytkennät jäisivät pois, ja sen käyttö olisi tehokkaampaa suuremman kapasiteetin ansiosta myös lyhyellä matkalla. Puoliperävaunuyhdistelmän käyttö metsässä sen sijaan on hankalampaa verrattuna pelkkään kuorma-autoon. Puoliperävaunun hankinta edellyttäisi haketusyrittäjältä investointeja kuorma-autoon sekä perävaunuun. Taloudelliselta kannalta ajateltuna pelkkään terminaalityöskentelyyn puoliperävaunun ostaminen on kannattamatonta tässä mittakaavassa.

Taulukko 9.
Hakeauton kuukausiraportti
maaliskuu 2016.

Ajettu kokonaismatka	3862	km
Kuormien lukumäärä	60	Kpl
Ajoaika yhteensä	82:19	h:mm
Kokonaistyöaika	196:21	h:mm
Kuormakorin koko	50,00	m ³
Työpäiviä	25	Kpl
Keskinopeus kokonaisajasta	20	km/h
Keskinopeus ajoajasta	47	km/h
Kuormanhaku keskimäärin	3:16	h:mm
Ajomatka/ kuorma keskiarvo	65	km
Kuorman purku keskimäärin	21	min
Ajettu hakemäärä	3000	im ³
Hakkeen siirtokapasiteetti	15,3	im ³

Taulukko 10.
Hakeauton
kuukausiraportti
huhtikuu 2016.

Ajettu kokonaismatka	1367	km
Kuormien lukumäärä	49	Kpl
Ajoaika yhteensä	26:39	h:mm
Kokonaistyöaika	101:20	h:mm
Kuormakorin koko	50	m ³
Työpäivä	16	Kpl
Keskinopeus kokonaisajasta	13	km/h
Keskinopeus ajoajasta	51	km/h
Kuormanhaku keskimäärin	2:04	h:mm
Ajomatka/ kuorma keskiarvo	28	km
Kuorman purku keskimäärin	16	min
Ajettu hakemäärä	2450	im ³
Hakkeen siirtokapasiteetti	24,2	im ³ /h

Toukokuussa (taulukko 11) keskiajomatka oli vertailujakson pisin. Haketus tapahtui Joensuun kaupungin keskustan länsipuolella. Huolimatta pisimmästä ajomatkasta, hakkeen siirtokapasiteetti työtuntia kohden ei ollut heikoin. Tähän vaikutta selvästi perävaunun käyttö pitkällä matkalla, joka nostaa hakkeen siirtokapasiteettia. Ajonopeuksissa ei myöskään ollut eroja talvikuukausiin, vaikka perävaunulla ajaminen on hiukan hitaampaa. Ajonopeuksissa tulisi eroja enemmän, jos vertaillaan ajotapahtumaa perävaunun kanssa puhtaassa talvikelissä, ja pienemmällä tieverkostolla. Opinnäytetyössä perävaunua käytettiin toukokuussa jolloin teiden liukkaus ei vaikuta enää ajonopeuksiin.

Taulukko 11.
Hakeauton kuukausiraportti toukokuu
2016.

Ajettu kokonaismatka	1140	km
Kuormien lukumäärä nupilla	8	Kpl
Kuormien lukumäärä perävaunulla	9	Kpl
Ajoaika yhteensä	20:11	h:mm
Kokonaistyöaika	72:21	h:mm
Työpäiviä	11	Kpl
Keskinopeus kokonaisuikaan	15	km/h
Keskinopeus ajoaikaan	48	km/h
Kuorman haku keskimäärin	4:15	h:mm
Ajomatka/ kuorma keskimäärin	67	km
Kuorman purku keskimäärin	26	min
Kuormakorin koko	50	m ³
Perävaunun kanssa	95	im ³
Ajettu hakemäärä	1264	im ³
Hakkeen siirtokapasiteetti	17,4	im ³ /h

Hakkurin GPS seurantalaitteessa esiintyneen sim-kortti vian vuoksi maaliskuun alun haketustapahtumat eivät olleet tallentuneet järjestelmään. Maaliskuun ajalla oli kuitenkin eniten haketusaikaa verratuissa kuukausissa. Tämä johtuu suoraan siitä, että maaliskuussa rakennuksissa tarvitaan vielä paljon lämmitysenergiaa. Terminaalihaketus oli metsähaketusta nopeampaa ja kuormien tekon kulutettu aika vaihteli vähemmän. Terminaalihaketuksen mediaani aika oli 16 minuuttia nopeampi verrattuna maaliskuussa metsässä hakettuihin kuormiin. Toukokuun haketuksen mediaani aika on pisin, johtuen siitä syystä, että suurin osa kuukauden ajoista ajettiin perävaunun kanssa. Suhteessa aikaa ei kuitenkaan mennyt juuri terminaalihaketusaikaa enempää. Yhden kuormatilan haketusnopeus toukokuussa oli noin 34 minuuttia laskettuna kuukauden mediaanijasta.

Jäiset varastot lisäävät haketusaikaa talvella, koska raaka-aine on jäänyt toisiinsa kiinni. Raaka-aineen jäätymistä voidaan ehkäistä tehokkaasti hakekasan peittämisellä. Kasojen peittämisestä muodostuu kuluja lähinnä käytetystä materiaalista, ja kasan peittämisestä aiheutuvasta työstä. Työn osuuteen vaikuttaa se, saadaanko kasa peitettyä metsätraktorilla, vai suoritetaanko kasojen peittäminen erikseen käyttäen esimerkiksi puuautoa. Peittämisen kustannukset ovat

noin 0,5–1,0 €/MWh (Luiro 2016, 17). Peittämisestä on myös hyötyä talvihaketuksessa, koska kasan päällä oleva lumi ei lauhana päivänä sula kasan sisään, ja myöhemmin jäädy. Hakkutähdevaraston kohdalla peittäminen korostuu entisestään. (Lepistö 2010, 23.) VTT:n tutkimuksessa Energiapuun kuivaus ja varastointi, on selvitetty, että rankakasan kuivamisen täytyy olla 6–9 % ennen kuin peittämisestä aiheutuvat kulut saadaan takaisin parantuneena hakkeen lämpöarvona. Samassa tutkimuksessa on myös todettu, että oikein sijoitettu rankakassa välivarastolla vaikuttaa merkittävästi kuivamiseen. Varjoisassa varastopai- kassa kosteus on ollut jopa 7–17 % suurempi. (Hillebrand 2009, 7.)

Toinen haketusta hidastava tekijä on kova pakkaneen. Kovassa pakkasessa hakkurin hydraulikka toimii hitaasti, johtuen kylmästä öljystä. Kovalla pakkasella laitteiden tekniikkaan tulee helpommin vikoja, jotka hidastavat haketusta ja lisäävät kustannuksia.

Taulukko 12.

Hakkurin kuukausiraportti
maaliskuu 20.3-30.3.2016.

Kuormia yhteensä	36	Kpl
Haketusaika yhteensä	1681	min
Työpäiviä	16	Kpl
Kuormaa työpäivässä (mediaani)	2	Kpl
Kuormaa työpäivässä (keskiarvo)	2,25	Kpl
Haketusaika / kuorma (mediaani)	47	min
Haketusaika / kuorma (keskiarvo)	47	min
Nopein kuorma	28	min
Hitain kuorma	79	min

Taulukko 13.

Hakkurin kuukausiraportti
huhtikuu 2016.

Kuormia yhteensä	44	Kpl
Haketusaika yhteensä	1506	min
Työpäiviä	15	Kpl
Kuormaa työpäivässä (mediaani)	3	Kpl
Kuormaa työpäivässä (keskiarvo)	2,9	Kpl
Haketusaika / kuorma (mediaani)	31	min
Haketusaika / kuorma (keskiarvo)	33	min
Nopein kuorma	23	min
Hitain kuorma	50	min

Taulukko 14.
Hakkurin kuukausiraportti
toukokuu 2016.

Kuormia yhteensä	16	Kpl
Haketus aika yhteensä	967	min
Työpäiviä	10	Kpl
Kuormaa työpäivässä (mediaani)	1,5	Kpl
Kuormaa työpäivässä (keskiarvo)	1,6	Kpl
Haketus aika / kuorma (mediaani)	68	min
Haketus aika / kuorma (keskiarvo)	60	min
Nopein kuorma	25	min
Hitain kuorma	92	min

6.1 Haketuslogistiikkaan sovellettavat ratkaisut

Haketuslogistiikan hallintaa voidaan parantaa esimerkiksi kevyellä toiminnanohjausjärjestelmällä. Nykyisin energiapuunostoa suorittavalla yrityksellä on käytössään karttaohjelma, josta löytyvät ostettujen energiapuukasojen sijainti ja perustiedot kohteesta (Turunen, 2016). Haketusyrittäjää hyödyttäisi käyttää kohteiden perustietoja toiminnanohjausjärjestelmän kautta paremmin työjonon suunnittelussa. Toisaalta haketusyrittäjä pystyisi antamaan sovelluksen kautta tietoa osto-osastolle työkohteiden edistymisestä. Sovellus helpottaisi myös inhimillisen unohduksen riskiä. Sovelluksen käytön avulla voidaan varmistua siitä, ettei jokin energiapuuvarasto jää hakettamatta.

Ongelmia voi tulla sopivan järjestelmän löytämisestä. Logistiikan optimointiohjelmat eivät välttämättä tue samoja ohjelmia ja tietokantoja, joita energiapuun osto-osasto käyttää. Tämä johtaisi siihen, että käytössä on kaksi erillistä tietokantaa.

Näin ollen työmäärä ja virheiden mahdollisuus kasvaa sovellusten osalta, koska kirjaukset pitää tehdä käsin kahteen eri järjestelmään. Kahden eri järjestelmän käytöstä on siis enemmän haittaa kuin hyötyä.

6.2 Kuljetukseen sovellettavat ratkaisut

Uusien mitta- ja painoasetuksen voimaantulon jälkeen kaluston koon optimoinnilla voidaan saavuttaa kuljetussäästöjä. Varastopaikkojen teiden yleiskunto ei opinnäytetyön tekijän käymissä paikoissa ollut erityisen hyvä. Auton maastokykyyntä pitää kiinnittää huomiota. Jos varastopaikat ovat toistuvasti hankalasti saavutettavien teiden takana ja edestakainen kuljetusmatka lämpölaitokselle on noin 100 kilometriä, neljä tai viisiakselisen kuorma-auton käyttö saattaisi olla tehokkainta.

Etuina pelkällä kuorma-autolla toimimiseen ovat sen helpompi ja nopeampi käsittely varastopaikoilla ja myös nopeampi toiminta hakkeen purkupaikoilla, koska perävaunua ei tarvitse irrottaa missään vaiheessa. Pelkällä kuorma-autolla ajaessa kuorma-auton etenemiskyky on selkeästi parempi, jos verrataan auton ja perävaunun yhdistelmää.

Useimmissa ajoneuvoyhdistelmissä perävaunun kokonaispaino on vetoautoa suurempi ja tästä syystä eteneminen huonoilla teillä on vaikeaa. Kuorma-autonvalmistajat valmistavat ajoneuvoja myös useammalla vetävällä akselilla. Haittoina tällaisissa ajoneuvoissa on kallis hankintahinta uutena ja korkeampi polttoaineen kulutus. (Sisu Auto, 30) (taulukko 12).

Taulukko 12. Ajoneuvojen sopivuuden vertailu 3-aks kuorma-autoon nähden.

Ajoneuvotyyppi	Edut	Haitat	Kuorma-koko
3- aks. kuorma-auto	Edullinen, kevyt, edulliset ylläpitokulut, Yleinen	Pieni kuormatila,	noin 45 m ³ – 50 m ³
4- aks. kuorma-auto	Suurempi kuormatila, autojen saatavuus käytettynä parane-massa.	Kalliimpi hankintahin-ta, toistaiseksi vähän käytettyjä autoja saa-tavilla	noin 58 m ³
5 aks. kuorma-auto	Suuri kuormatila,	Kallis hankkia, harvi-nainen vielä käytet-tynä. Sopivan löytä-minen hankalaa	60-70 m ³
Puoliperävaunuyhdistelmä	Ei tarvitse katkaista kuormaa purkaessa, suuri tilavuus	Hankalampi käsitel-tävyys ja huonompi maastokyky metsäs-sä	90 m ³
Keskiakseli perävaunu	Suurempi kuljetuskapasiteetti tarvittaessa	Käytettyjä vähän saatavilla, heikompi stabiiliteetti	45-50 m ³
Varsinainen perävaunu	Yleinen, suurin kulje-tuskapasiteetti	Vaatii hyvät varasto-paikat, kaikki hake-määrä ei välttämättä sovi samaan varas-toon.	85-95 m ³

6.3 Haketukseen sovellettavat ratkaisut

Varastopaikkojen teiden kapeus ja kääntöpaikkojen puute hankaloittavat myös hakkurin sijoitusta ja toimintaa samalla tavalla kuin hakeauton toimintaa. Opin- näytetyön tekijän vierailemissa metsävarastoissa metsäteiden auraus oli suori- tettu alueauralla, joka puskee lumet tien reunaan korkeaksi penkaksi. Hakeka- sojen kohdalla tie kapenee näin entisestään.

Jäiset penkat hankaloittavat hakkurin ja hakeauton sijoittamista, koska kuorma-autojen valot ja puskurit eivät kestä läpiajtoa jäisistä penkoista. Jos hakekasojen kohdat aurattaisiin lingolla, niin korkea penkkaa ei muodostuisi ja toimintatila jäisi leveämmäksi. Linkousta voidaan käyttää silloin kun korkeita hakekasoja ei ole molemmin puolin tietä, koska hakekasan sisälle lunta ei pidä lingota (Kuva 6).



Kuva 6. Hakevarastot metsäautotien varressa (Kuva: Pekka Penttinen).

Osa markkinoilla olevista hakkureista on varustettu käännettävällä haketusyksiköllä, jolloin haketus onnistuu helpommin molemmin puolin tietä. Useimmat hakkurit ovat rakenteeltaan sivustasyötettäviä. Tämä tarkoittaa sitä, että ihanneellisessa tapauksessa auto ja hakkuri ovat rinnakkain, jolloin ajoneuvojen siirtelyä ei tarvita. Hakkuri ja hakeauto vaativat noin 3 metriä tilaa kukin, joten tarvittavat tien leveys tulisi olla minimissään noin 6 metriä. Useimmilla hakkureilla voidaan työskennellä myös siten, että hakkuri ja hakeauto ovat peräkkäin, jolloin puhallus kuormatilaan tapahtuu joko ohjaamon yli tai ajoneuvon takaa kuormatilaan.

Ahtaat varastopaikat väärällä puolella tietä voivat johtaa tilanteeseen, että kiinteällä syöttöpöydällä olevalla hakkurilla hakeauto täytyy lastata kääntöpaikan suuntaan. Tästä ei ole haittaa, jos kääntöpaikka on hyvä, mutta useasti myös kääntöpaikat ovat ahtaita tai huono kuntoisia. Täyden kuorma-auton ja perävaunun kääntäminen kuormattuna huonolla kääntöpaikalla on hyvin haastavaa. Ongelma korostuu entisestään talvella ja kohteissa joissa on suuria mäkiä. Keväällä ja alkusyksystä kelirikko pehmentää kääntöpaikat ja aiheuttaa vastaavia ongelmia (kuva 7).



Kuva 7. Huonokuntoinen kääntöpaikka johtuen irtolumesta. (kuva: Pekka Penttinen).

Hakkurin sijoittelu pienille varastopaikoille on hankalaa edellä mainituista seikoista. Yksi keino vapauttaa tilantarvetta olisi varustaa hakkurin tukijalat tavanomaista suuremmiksi ja voimakkaammiksi. Rakenne mahdollistaisi hakkurin siirtämisen sivuttain tukijalkojen varassa. Vastaavia ratkaisuja on käytetty puuauto-

jen keskitettyjen lastausautojen pohjalla. Tällöin työskentely onnistuisi osittain ojan päältä jolloin hakeautolle jäisi enemmän tilaa sivuuttaa hakkuri. Jos hakkurilla voisi työskennellä hieman sivussa varsinaiselta ajoradalta, helpottaisi se myös tien siivoamista. Hakkurista tulevat roskat tippuisivat enemmän tien penkalle kuin ajoradalle. Vastaavan lastausauton rakenne käy esille kuvasta 6.



Kuva 6. Puutavaran lastausauto järeillä tukijaloilla. (Kuva: Timberman, kuvan käyttöluva pyydetty).

6.4 Varastointiin sovellettavat ratkaisut

Tankopurkaimien ohjausta on mahdollista kehittää siten, että purkusylinterien liike antaisi tilatiedon, missä asennossa sylinterit ovat. Tilatiedosta on mahdollisuus muodostaa hälytys lämpölaitoksen ylläpitäjälle, jos jokin tankopurkain ei tee enää täyttä työkiertoa. Varastoissa on hyvä myös varmistaa se, että hake ei pääse talvella kiilautumaan tai jäätymään tankopurkaimien rakenteisiin ja sitä kautta estämään tankopurkainten toimintaa. (Liimatta, 2016). Lattialämmityksellä varustetussa varastossa tankopurkainten toiminta on varmempaa. Lattialämmityksen asentaminen jälkeinpäin voi osoittautua liian kalliiksi, ja parannus olisi näin suoritettavissa uusien kohteiden kohdalla.

Hakevarastoon on hyvä saada kameravalvonta. Nykyisin on saatavilla hyvillä pimeänäköominaisuuksilla varustettuja kameroita kytkettäväksi suoraan internet yhteyteen, joka mahdollistaa reaaliaikaisen hakevaraston tarkastelun. Toisaalta voi valita normaalin kamerasuojan ja rakentaa valo-ohjauksen kamerasuojan etäkäytön yhteyteen. Kamerasuojan kotelointiin pitää kiinnittää huomiota siten, että kun kamerasuojan yhteyden avaa, niin samalla linssin edessä oleva suojakotelo avautuu. Tämä sen takia, että hakekuormia purkaessa puupöly tukkii nopeasti kamerasuojan linssin ja kamerasta ei ole sen jälkeen enää hyötyä, jos linssi pitää puhdistaa ennen jokaista käyttöä. Jos kamera olisi suljetun kotelon sisällä ja avattaisiin vain kameraa katsottaessa, pysyisi linssi todennäköisesti puhtaana niin pitkään, että likaantumisen ei olisi suurempaa merkitystä.

Enon yläkylän voimalan ovet ovat myös lievästi taaksepäin vinossa. Lumisateen aikana kaltevalle ovenpinnalle satava lumi valuu oven pintaa pitkin purkuaukon eteen. Lumisateen jälkeen hakeauton kuljettajan on puhdistettava lumet pois oven edestä, ennenkuin hakeauto voidaan peruuttaa purkupaikalle. Jos ovi olisi pystysuorassa, niin lumen määrä vähenisi huomattavasti purkuaukon luona ja ylimääräinen työvaihe jäisi pois. (Liimatta, 2016.)

Enon yläkylän voimala on rakennettu tasaiselle maalle. Rakennusteknisistä syistä johtuen hakevarastolle mentäessä on peruutettava pienen mäen päälle. Tästä ei ole suurta haittaa ajaessa pelkällä kuorma-autolla, mutta ajaessa ajoneuvoyhdistelmällä peruuttaminen vastamäkeen on hankalaa, ja vaatii useasti hiekoittamista etenkin liukkaalla. (kuva 7.)



Kuva 7. Enon yläkylän hakevarasto (Kuva: Pekka Penttinen).

7 Pohdinta

Metsähakkeen toimitusketjun tehostaminen on insinöörille hankalaa. Insinöörin näkökulmasta ajateltuna toimitusketjun tehostamiseen pitää löytyä yksi ratkaisu, joka on parempi kuin muut tarjolla olevat. Metsähakkeen toimitusprosessista ei löydy tällaista ihannetilaa, jossa kaikki kohdat on optimoitu ja hiottu loppuun asti. Toimitusketjuun vaikuttavat monet ulkopuoliset tekijät, joten optimoinnin sijasta pitääkin ongelmaa katsoa lähinnä tasapainolaudan kautta. Tässä tapauksessa se tarkoittaa sitä, että optimointi on harkitusti ja tietoisesti valittu kompromissi useiden toisiinsa liittyvien tekijöiden joukosta.

Tulosten avulla valitaan ratkaisut, jotka ovat kelpollisia siihen toimintaympäristöön, jossa haketta kulloinkin tehdään. Taloudelliset resurssit rajaavat monesti niitä toimintaratkaisuja, joilla yhtiöt toimivat. Kaikilla osallisilla on varmasti hyviä ideoita, jos rahoitus olisi vapaa ja kustannuksista ei tarvitsisi välittää. Yritysten ei ole järkevää tehdä investointeja, joiden takaisinmaksuaika on useita kymmeniä vuosia, jos käsillä oleva ongelma ei ole este liiketoiminnalle.

Lämpöyrittäjien ja lämmönostajien näkökulmasta pitkäaikainen ja vakaa yhteistyö luo parhaimmat mahdollisuudet kehittää toimintaa. Jos jompikumpi sopijapuoli on saanut määräävän aseman, saattaa se vaarantaa avoimen yhteistyön, joka on tärkein edellytys yhteistyölle ja toiminnan kehittämiseksi. Lämpöyrittäjä tai energiaosuuskunta, joka vastaa koko lämmitysprosessista, raaka-aineen hankinnasta aina lämmön toimittamiseen omistamassaan lämpölaitoksessa, on varmasti motivoitunein etsimään ja kokeilemaan uusia ideoita. Tällöin on mahdollista tuottaa kokonaistaloudellista toimintaa.

Jos osapuolia on useampia, kehitysyhteistyö voi olla hankalampaa. Osapuolet eivät välttämättä halua investoida kohteisiin, joista ei ole taloudellista hyötyä heille itselleen, vaikka investointi olisi kannattava koko hankintaketjua ajatellen. Esimerkiksi lämpölaitoksen varaston kehittäminen ei motivoi lämpölaitoksen omistajaa laajennukseen koska järjestelmä toimii hyvin ilmankin ja hyödyt valuvat pelkästään kuljetusyrittäjälle nopeampana purkuaikana. Esimerkin laitoksen kuuluessa yhdelle ja samalle yritykselle, joka toimittaa polttoainetta ja myy lämpöä edelleen, on varmasti kiinnostuneempi toimitusketjun kokonaisvaltaisista säästöistä. Loppukädessä hyvin toimiva kokonaisuus on kuluttajan kannalta tärkeä asia, koska huonosti toimiva yhteistyö ja kustannustehoton toiminta nostavat kuluttajan maksamaa lämmön hintaa.

7.1 Opinnäytetyön prosessin arviointi

Opinnäytetyön haastavimmat asiat olivat aihealueen rajaaminen ja käytännön töiden sovittaminen opinnäytetyön tekijän päätoimisen työn yhteyteen. Osassa opinnäytetyön tietoperustaa, tarvittavien lähteiden hankinta oli haastavaa. Tietoperustaan yritettiin hakea keskeisiltä toimijoilta parempaa ja ajantasaisempaa tietoa siinä kuitenkin onnistumatta. Osaan kyselyistä ei vastattu ollenkaan. Näiden joukossa oli sekä Suomalaisia, että Ruotsalaisia toimijoita. Tältä osin tietoperustaan olisi voinut saada vielä parempia ja uudempia kannanottoja, mikäli kyselyihin olisi saatu vastauksia. Opinnäytetyön sisällön kannalta merkitykselliseen tietoon saatiin kuitenkin ajantasaiset lausunnot.

Aikataulun puolesta opinnäytetyö olisi voinut edetä nopeammallakin tahdilla. Loputtomasti aikaa ei kuitenkaan voinut lyhentää, koska seurantaan piti saada riittävän paljon työpäiviä, jolloin haketuksen ja kuljetuksen aikana tapahtuvat erot ovat riittävän selkeitä. Myös vuodenaikojen vertailu edellytti, että haketusta tehdään sekä talvella että kesällä. Tietoperustan kerääminen olisi voinut tapahtua aiemmin alkuvuodesta jolloin lopussa ei olisi tullut niin suurta kiirettä.

Mittausten tekeminen onnistui hyvin alkuvaikeuksien jälkeen. Hakkurin ulosotto-signaalin väliaikaiset häiriöt ja sim-kortin lukkiutuminen kuitenkin aiheuttivat lisäselvitystä ja edellyttivät sen, että tuloksia piti tarkastella entistä kriittisemmin. Koska suoraan raporttien sisältämiin aikoihin ei voinut luottaa täysin haketuksen osalta, ratkaistiin ongelma katsomalla jokainen päivä erikseen karttaohjelman avulla, josta näkyi kaluston liikehistoria. Tämä prosessi oli hyvin aikaa vievä toimenpide, mutta välttämätön tehdä oikean tiedon saamiseksi. Hakkurin aikatietojen ongelmat eivät olleet loogisia kestoiltaan. Tyypillistä oli, että aamun ensimmäinen kuorma ja usein myös seuraava oli tallentunut raporteissa oikein, mutta myöhemmin tehtyjen kuormien osalta ajat vääristyivät. Päivällä tai paikalla ei näyttänyt olevan osuutta asiaan. Juurisyy selvittäminen jäi tekemättä, mistä vika aiheutui.

Tulosten analysoinnin jälkeen mitatuista arvoista tehtiin kuukausittainen raportti. Kuukausiraporttiin kerättiin haketuslogistiikkaa kuvaavia tunnuslukuja. Tunnuslukujen valinta tehtiin siten, että laskentatavat ovat joka kuukausi samanlaiset ja näin verrattavissa keskenään. Haketukselle ja hakkeen ajolle muodostui omat kuukausikohtaiset raportit. Haketuksen ja kuljetuksen raportit päätettiin tehdä erikseen, jolloin haketus ja kuljetusketjun vaihteluja voitiin tarkastella tarkemmin. Yhden kootun kuukausiraportin haasteena olisi ollut se, että tällöin kuukausivaihteluiden syy ja seuraussuhteiden arviointi olisi vaikeampaa. silloin ei olisi ollut tiedossa johtuuko esimerkiksi kasvanut aika haketuksen vai kuljetuksen muutoksista.

Kehitysideat ovat laadittu opinnäytetyöntekijän havainnoimista asioista ja haastateltujen henkilöiden antamasta palautteesta. Osa kuljetuksen kehitysideoista perustuu suoraan tulosten laskennan kautta saatuun tietoon, kuten perävaunun käyttöön pitemmällä ajomatalla, silloin kun olosuhteet sen sallivat.

7.2 Oman oppimisen arviointi

Opinnäytetyön edetessä tietomäärä haketuslogistiikan nykytilasta kasvoi selvästi. Haketuslogistiikkaan liittyvät perusongelmat olivat tiedossa ennen työn aloitusta, mutta työn edetessä ymmärrys vallitsevia ongelmia kohtaan kasvoi. Opinnäytetyö paransi vielä paremmin tietoa siitä, kuinka pienistä osa-alueista toimiva haketuslogistiikka muodostuu. Opinnäytetyön tekemistä auttoi aiemmin käydyt kurssit ja yritysvierailut. Yritysvierailut antoivat arvokasta tietoa ja kokemuksia alasta.

Etukäteisnäkemys yksinkertaisesta tehostamisesta ei pitänyt täysin paikkaansa. Opinnäytetyö laajensi ajattelumalleja yksinkertaisen tehostamisen sijasta havaitsemaan paremmin kokonaisuuden, joka liittyy haketuslogistiikkaan. Vaikka tietomäärä oli kattava, vielä jäi paljon opiskeltavaa alasta tulevaisuutta varten. Bioenergia ala kokonaisuudessaan tuntuu olevan muutosten edessä ja sitä kautta uuden oppiminen ja tiedon omaksuminen on tärkeää jatkossakin.

7.3 Opinnäytetyön tuomat hyödyt Enon Energiaosuuskunnalle

Opinnäytetyön tekemisen aikana tuli esille pieniä asioita, joita parantamalla haketuslogistiikka paranee. Suuremmat kehitysideat vaativat suuria investointeja ja ovat näin järkeviä tehdä uusien kohteiden ja kalustohankintojen yhteydessä. Tähän kategoriaan kuuluvat suuremman kapasiteetin omaavat kuorma-autot ja ajoneuvoyhdistelmät sekä hakevarastojen lattialämmitykset. Pienemmät kehitysideat, kuten aurauksen ohjeistaminen ovat sen sijaan helppo toteuttaa. Esimerkiksi aurauksen ohjeistusta voi kokeilla joillakin tietyillä varastoilla ja selvittää yhdessä haketusyrittäjän sekä auraajan kanssa, miten he kokevat asian ja

kuinka vaikutukset näkyvät päivittäisessä toiminnassa. Paremman aurauksen ja tienhoidon vaikutukset voivat helpottaa perävaunun käyttöä pitkällä kuljetusmatkalla ja näin alentaa kustannuksia.

Pidemmän aikavälin kehityshankkeita, kuten haketuksen toiminnanohjausjärjestelmän käyttöön ottoa kannattaa erikseen tutkia, mikä järjestelmä soveltuu hyvin päivittäiseen toimintaan. Toiminnanohjausjärjestelmien mahdollisuudet ovat laajat, mutta ostajan täytyy tehdä määrittely hyvin tarkkaan, että lopullinen tuote vastaa niihin odotuksiin joita järjestelmälle on asetettu.

7.4 Jatkokehittäminen

Jatkokehityskohteena voisi pitää vastaavan mittalaitteiston asentamista erilaisiin haketus – ja kuljetusketjuihin, jolloin haketuksen ja kuljetuksen yhteispeliä pystyisi vertaamaan paremmin nykyiseen tehtyyn työhön. Opinnäytetyön kannalta olisi mielenkiintoista nähdä, kuinka esimerkiksi perävaunun käyttö talvella vaikuttaa hakkeen kuljetuskapasiteettiin työtuntia kohden. Jatkokehityskohteena ovat myös toiminnanohjausjärjestelmän kehittäminen ja tutkiminen lämpöyrittäjille sopivassa mittaluokassa. Suurilla logistiikkayhtiöillä on käytössään omat toiminnanohjausjärjestelmänsä, mutta niiden soveltuvuus hakkeen valmistukseen on vielä selvittämättä.

Lähteet

Ariterm Oy. 2016. Purkainpohjat.

<http://www.ariterm.fi/lammitysratkaisut/jarjestelmakomponentit/muut-bio-tuotteet/purkainpohjat/>. 18.9.2016

Asikainen, A. Flyktman, M. Laitila, J. Leinonen, A. & Virkkunen, M. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf>. 9.3.2016.

Bioenergia Ry. 2015. Metsähakkeen käyttö energiantuotannossa on vähentynyt. <http://www.bioenergia.fi/default.asp?item=board;1003&sivulD=29008> 10.1.2016.

Bioenergia Ry. 2016. Faktaa lämpöyrittäjyydestä.

<http://www.lampoyrittajat.fi/L%C3%A4mp%C3%B6yritt%C3%A4jyyds%20faktaa> 29.9.2016

Björheden, R. 2015. Skogsbränsleutnyttjande i Finland och Sverige – lika men ändå olika. Skogforsk.

<http://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2015/skogsbransleutnyttjande-i-finland-och-sverige--lika-men-anda-olika> 18.10.2015.

Eliasson, L. 2010. System för hantering av grot. Teoksessa Björheden R, Thorsén, Å. (toim.). Skogen– En växande energikälla. 2010. Gävle. Skogforsk. 24

<http://www.skogforsk.se/contentassets/adb93f00464d48af875af11d0b2e817a/skogen---en-vaxande-energikalla.pdf> 1.11.2016

Energiäteollisuus Ry, Ympäristöministeriö. 2012. 12-13 Kotimaista polttoainetta käyttävien 0,5...30 MW kattilalaitosten tekniset ratkaisut sekä palamisen hallinta.

http://energia.fi/sites/default/files/suositus_kotimaista_polttoainetta_kayttavista_kattiloista_20120514.pdf 25.9.2016

Enon Energia Osuuskunta. 2015. Enon energiaosuuskunta vuonna 2016.

<http://enonenergia.fi/node/2>. 12.10.2015.

Euroopan Unioni. 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY. Euroopan unionin virallinen lehti.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>.
23.2.2016.

Europaeus, J. 2015. Puuta riittää kilpailusta huolimatta.

<http://energiauutiset.sivuvidakko.fi/markkinat/puuta-riittaa-kilpailusta-huolimatta.html>. 27.6.2016.

Finlex. 2013. Asetus ajoneuvon käytöstä tiellä 4 luku.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257#L4> 3.7.2016.

Forestenergy2020. 2011. Murskain antoi kyytiä kannoille, harvennuspuulle ja latvusmassalle – eri lajeista latvusmassan murskaaminen tuottavinta. <http://www.forestenergy2020.org/fi/uutiskirjeet/uutiskirje-1-13/murskain/>.

9.3.2016.

Hillebrand, K. 2009. Energiapuun kuivaus ja varastointi- yhteenvedo aikaisemmin tehdyistä tutkimuksista. VTT. Tutkimusraportti.

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/VTT-R-07261-09.pdf>.

18.10.2015.

Hassinen, U. 2015. Opinnäytetyön pohdintoja / Penttinen Pekka.

pekka.penttinen@mantsinen.com.

8.9.2015.

Hassinen, U. 2016. Hallintopäällikkö. Enon Energiaosuuskunta. Kirjoitettu haastattelu 14.1.2016.

Haukkala, J. 2016. Yrittäjäyhteistyö. L&T Biowatti. Kirjallinen haastattelu 2.9.2016.

Jasto Oy. 2016. DZ 750 kaksoismurskain.

<http://www.jasto.fi/tuotteet/kierratyslaitteet/doppstadt-mobiililaitteet/kombikrossar-dz-serien.html>

9.3.2016.

Jasto Oy. 2016. DH Hakkurit.

<http://www.jasto.fi/tuotteet/kierratyslaitteet/doppstadt-mobiililaitteet/flistuggar-dh-serien.html>.

9.3.2016.

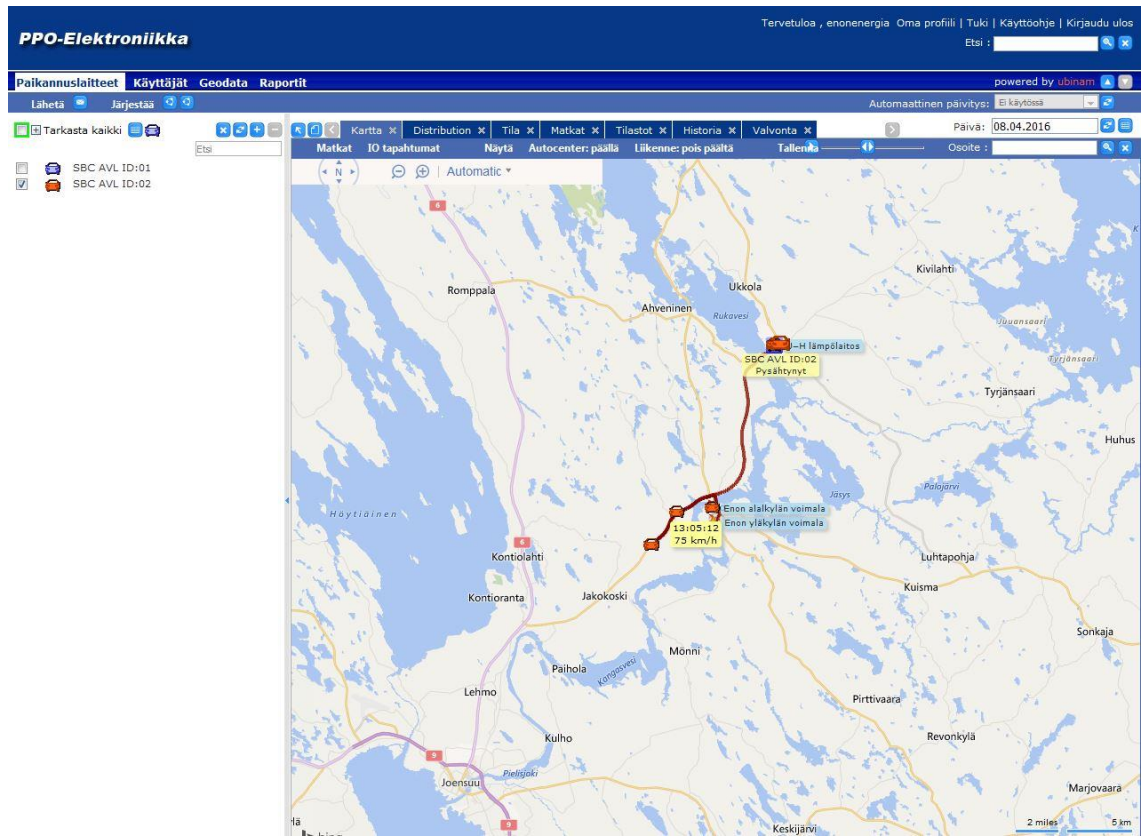
Johansson, P.2016. Tuotantovastaava, Biopolttoaineet. Norrlandsjord & Miljö AB. Nauhoitettu Haastattelu 1.9.2016

- JTI– Institutet för jordbruks- och miljöteknik. 2016. Närvärmeverk i Sverige. <http://www.bioenergiportalen.se/?p=6852>. 28.9.2016.
- Karttunen, Föhr, Ranta, Palojärvi & Korpilahti. 2010. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2012_02_Puupolttoaineiden_ja_polttoturpeen_kuljetuskalusto_ak_ym.pdf 19.8.2016
- Kautto, K. Nummelin, T. Petäjäistö, L. & Rummukainen, A. 2015. Metsähakkeen toimitus energiantuotantolaitokselle - toimintatavat ja arvon syntyminen. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/519747/luke-luobio_54_2015.pdf?sequence=1. 9.3.2016.
- Keisu, D. 2016. Projektipäällikkö. Norrlandsjord & Miljö AB. Nauhoitettu Haastattelu 1.9.2016
- Lepistö, T. 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. <http://www.puulakeus.net/docs/109-FsT-laatuhaakeopas.pdf>. 18.9.2016.
- Liimatta, T. 2016. Hakeyrittäjä. Tese Oy. Kirjallinen haastattelu. 27.7.2016.
- Luiro, J-P. 2016. Energiapuun varastointi. http://tapahtumat.ahjoon.fi/eTaika_Tiedostot/2/TapahtumanTiedosto/1647/3Energiapuun%20varastointi_Luiro.pdf 17.9.2016.
- Motiva. 2016. Uusiutuva energia 2016. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia 27.6.2016.
- Pajuoja, H. Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2011. Kesla C645A pienpuun tienvarsihaketuksessa. Metsätehon tuloskalvosarja 17/2011. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2011_17_Kesla_C645A_pienpuun_tienvarsihaketuksessa_hp_kk_am.pdf. 30.9.2016.
- Routa, J. 2015. Wood chips and pellets utilization tendency in bioenergy production in Finland, Sweden and some other European countries 2000-2016. <http://www.metla.fi/tapahtumat/2015/barentsff/Routa.pdf>. 18.9.2016.

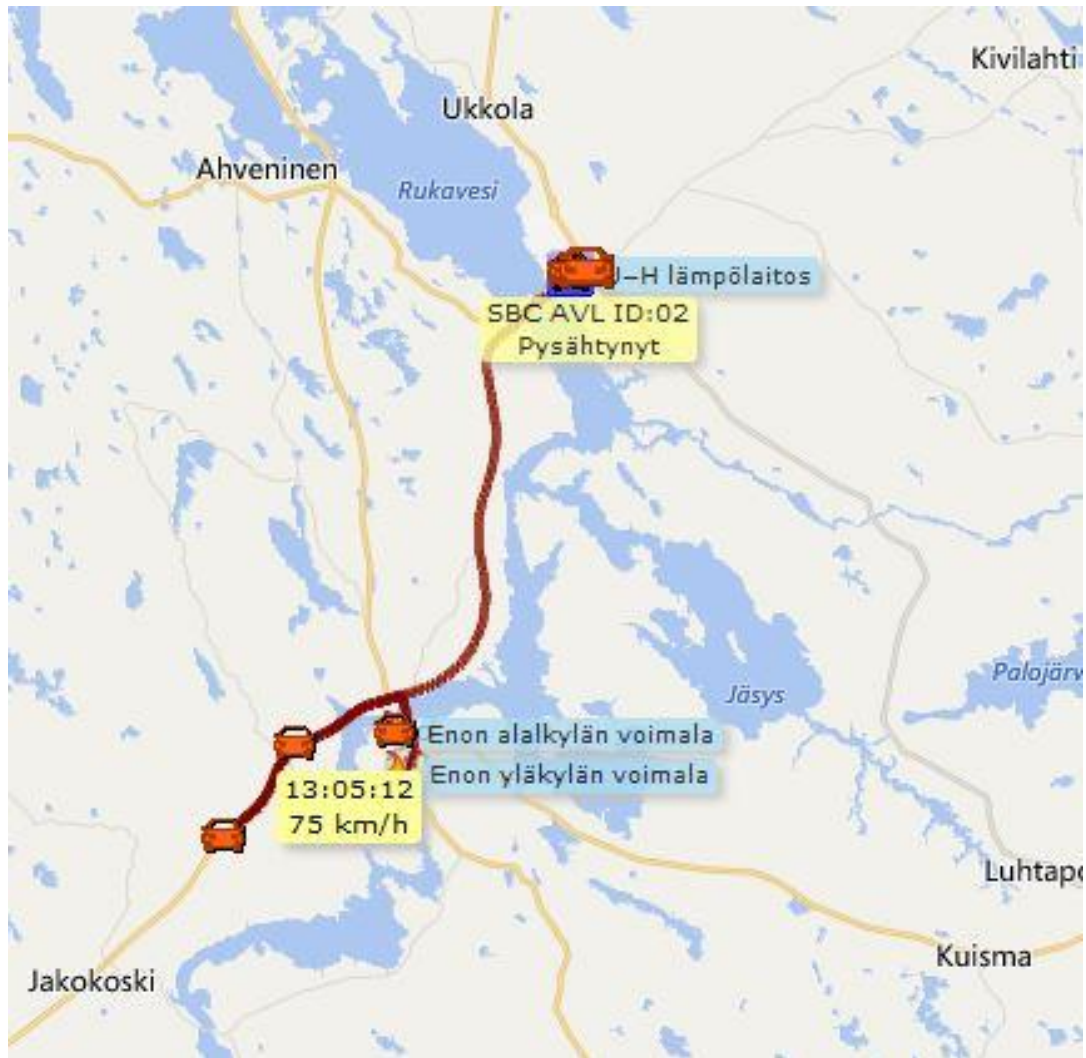
- Sisuauto, 2016. Sisuviesti 1/2016. http://sisuauto.com/media-arkisto/sisuviestit/SISUVIESTI_01_2016/ 27.9.2016.
- Skogsstyrelsen. 2014. Skogsstatistisk årsbok 2014. [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20%C3%A5rsbok/01.%20Hela%202014%20-%20Entire%202014/Skogsstatistiska%20%C3%A5rsboken%202014%20\(hela\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Statistik/Skogsstatistisk%20%C3%A5rsbok/01.%20Hela%202014%20-%20Entire%202014/Skogsstatistiska%20%C3%A5rsboken%202014%20(hela).pdf). 27.6.2016.
- Strandström, M. 2016. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2015. Metsätehon tulosalvosarja 7/2016. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2016_07_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_vuonna_2015.pdf . 28.6.2016.
- Stove industry alliance. 2016. History of wood burning stoves and fireplaces. <http://www.stoveindustryalliance.com/historyofstoves/> 10.6.2016.
- Suomen Soodakattilayhdistys, 2016, Soodakattila. <http://www.soodakattilayhdistys.fi/soodakattila>. 19.6.2016.
- Suomen ympäristökeskus. 2016. Uusiutuva energia Suomessa. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/Obd05ecc-8c68-4fb6-a6e9-2c4ad90d577d/uusiutuva-energia.html>. 10.9.2016.
- Swedish Energy Agency, 2016. Energy in Sweden 2015. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/overgripan-de-rapporter/energy-in-sweden-till-webben.pdf>. 10.6.2016.
- Tilastokeskus 2015. Energia 2015. http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2015/html/suom0000.htm. 27.2.2016.
- Tilastokeskus 2007. Energian käyttö ja lähteet 1917-2007. <http://www.stat.fi/tup/suomi90/maaliskuu.html>. 10.6.2016.
- Tilastokeskus 2015. Energiatilasto 2015. http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2015/data/k2_8_s.pdf 10.6.2016.
- Tilastokeskus, 2016. Energian kokonaiskulutus. http://tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html 10.6.2016.

- Torvelainen, J. 2014. Energia Teoksessa Peltola, A. (toim.). Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 277. http://stat.luke.fi/sites/default/files/vsk14_koko_julkaisu.pdf 19.6.2016.
- Turunen, T. Metsäpäällikkö. Enon Energiaosuuskunta. 2016. Kirjallinen haastattelu 14.1.2016.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvostonselonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013. [http://www.tem.fi/files/36730/Energia- ja ilmastostrategia 2013 SUOMENKIELINEN.pdf](http://www.tem.fi/files/36730/Energia-ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf) 24.2.2016 .
- Ympäristöministeriö 2016. Voiko metsiä käyttää ilmastoviisaasti? [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Voiko_metsia_kayttaa_ilmastoviisaasti\(38897\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Voiko_metsia_kayttaa_ilmastoviisaasti(38897)) 18.9.2016.
- Ylitalo, E. 2016. Metsähakkeen käyttö supistui 2015. <https://www.luke.fi/uutiset/metsahakkeen-kaytto-supistui-2015/> 15.11.2015.

Ruutukaappaukset seurantalaitteen karttaikkunasta



Ruutukaappaukset seurantalaitteen karttaikkunasta



11329-01-20160429, Päivä raportti, SBC AVL ID:02

ubinam

Yksityiskohdat									
Matkan numero	Tila	IN2	Aika	Osoite	Kesto	km	km/h	km laskuri	
160408003	Matka		08.04.16 12:58:17	Lähellä Enon aläkylän voimala	0:13	8	35	8 638	
			08.04.16 13:11:22	Takavaarantie 15a 81200 Joensuu FI				8 646	
	Parkissa				0:52				
160408004	Matka		08.04.16 14:03:01	Takavaarantie 15a 81200 Joensuu FI	0:52	17	20	8 646	
			08.04.16 14:54:52	Takavaarantie 15a 81200 Joensuu FI				8 663	
	Parkissa				0:38				
160408005	Matka		08.04.16 15:32:36	Takavaarantie 15a 81200 Joensuu FI	0:41	21	31	8 663	
			08.04.16 16:13:47	Lähellä U-H lämpölaitos Oksatie 7 81280 Joensuu FI				8 684	