



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (YAMK)

# Rankapuulogistiikan kehittäminen Savon Voiman Joensuun voimalaitokselle

Mikko Hiltunen

Opinnäytetyö, toukokuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2024**  
**Kestävän energiatalouden koulutus**  
**Ylempi ammattikorkeakoulututkinto**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Mikko Hiltunen

**Nimeke**  
Rankapuulogiikan kehittäminen Savon Voiman Joensuun voimalaitokselle

**Toimeksiantaja**  
Savon Voima Oyj

#### **Tiivistelmä**

Rankapuun käyttö Joensuun voimalaitoksen energiantuotannossa on lisääntynyt viime vuosina. Alueelle on syntynyt kokonaan uusi toimintaympäristö, jossa varastoidaan ja käsitellään rankapuuta huomattavasti aiempaa enemmän. Keskeisiä tekijöitä muutoksessa ovat metsähakkeen tuonnin päättyminen Venäjältä ja turpeen käytön asteittainen vähentäminen ja lopettaminen vuoden 2026 aikana. Näiden tekijöiden seurauksena yli puolet voimalaitoksen energiantuotantoon käyttämästä raaka-aineesta tulee korvata muista lähteistä peräisin olevalla energialla.

Tavoitteena työssä oli kehittää rankapuun käsittelyyn suunnitelluille alueille toimintamallit, tarkastella alueen liikennejärjestelyjä kokonaisuutena sekä etsiä tietoa ja hyviä käytäntöjä rankapuun käsittelyyn liittyen. Tietoperustan ja toimeksiantajalta saadun aineiston lisäksi tietoa haettiin nostamalla käytännön kokemusta esille haastatteluiden, yritysvierailuiden sekä havaintojen ja keskusteluiden avulla. Rankapuun käsittelyalueiden toimintamallit kehitettiin toimintatutkimuksen menetelmin, suunnittelu- ja toimintavaiheiden syklisesti etenevänä kehänä, jossa suunnitelmia kokeiltiin ja parannettiin havaintojen perusteella.

Työn tuloksena syntyi ohjeita ja suosituksia toiminnan suunnitteluun sekä toimintamallit kahdelle rankapuun käsittelyalueelle. Lisäksi valmistui luonnos alueen liikennejärjestelyistä. Työn aikana esille nousseet jatkokehitystarpeet ovat esitetty osana työn tuloksia.

**Kieli**  
Suomi

Sivuja 56  
Liitteet 7  
Liitesivumäärä 7

**Asiasanat**  
rankapuulogiikka, rankapuun varastointi, energiapuuterminaali



**THESIS**  
**May 2024**  
**Degree Programme in Sustainable Energy Economy**  
**Master's Degree**  
Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

**Author**  
Mikko Hiltunen

**Title**  
Development of Roundwood Logistics for Savon Voima's Joensuu Power Plant

Commissioned by  
Savon Voima Oyj

**Abstract**  
The use of roundwood in the energy production of Joensuu power plant has increased in recent years. A completely new operating environment has been created in the area, where roundwood is stored and processed much more than before. Key factors in the change are the cessation of forest chip imports from Russia and the gradual reduction and cessation of peat use by 2026. This has resulted in a need for more than half of the raw material used in the power plant's energy production to be replaced with energy from other sources.

The aim of the thesis was to develop operating models for the areas planned for roundwood handling, to examine the area's traffic arrangements, and to find information and good practices related to roundwood handling. In addition to the theoretical background and the data received from the client, information was gathered by highlighting practical experience through interviews, company visits, observations, and discussions. The operating models for the roundwood handling areas were developed using action research methods, as a cyclical progression of planning and action phases, where plans were tested and improved based on observations.

As a result of the study, guidelines and recommendations for planning operations and operating models for two roundwood handling areas were created. In addition, a draft of the area's traffic arrangements was completed. The further development needs that emerged during the work are presented as part of the work results.

**Language**  
Finnish

Pages 56  
Appendices 7  
Pages of Appendices 7

**Keywords**  
roundwood logistics, storage of roundwood, energy wood terminal

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Energiapuutermiinit .....	6
3	Puutavaran varastointi ja laadunhallinta .....	7
3.1	Puutavaran mittaaminen .....	7
3.1.1	Painoon perustuva puutavaranmittaus ja tuoretiheys .....	8
3.1.2	Pinomittaus .....	9
3.2	Muutokset varastoinnin aikana .....	11
3.2.1	Ranka- ja kuitupuu .....	11
3.2.2	Hakkeen ja kuoren varastointi .....	12
4	Terminaalialueiden suunnittelu .....	13
4.1	Mitoitus ja tilantarve .....	13
4.2	Suunnittelussa huomioitava lainsäädäntö .....	14
4.3	Ympäristölupa .....	15
4.4	Metsätuhojen torjunta .....	15
4.5	Melun hallinta ja meluselvitys .....	17
5	Työturvallisuus puutavaran käsittelyalueilla .....	18
5.1	Tuotantolaitosten sisäinen liikenne .....	18
5.2	Paloturvallisuus energiapuutermiineillä .....	19
6	Työn tausta ja tavoitteet .....	20
6.1	Toimeksiantaja .....	20
6.2	Joensuun voimalaitos .....	22
6.3	Biohiilitehdas .....	23
6.4	Kehitystyön kohde .....	24
6.5	Työn tavoite ja tehtävä .....	25
7	Työssä käytetyt menetelmät ja työn toteutus .....	26
7.1	Toimintatutkimus .....	26
7.2	Haastattelut .....	28
7.3	Yritysvierailut .....	30
7.4	Toimintamallien muodostaminen energiapuutermiiniin sekä varastokentälle .....	30
7.5	Kevytrakenteisen suojan vaikutus ympäristömeluun .....	32
7.6	Alueen liikennejärjestelyt .....	34
8	Tulokset toiminnan suunnittelu .....	35
8.1	Materiaalivirtojen hallinta .....	35
8.1.1	Toimitusten ohjaus .....	35
8.1.2	Mittaus ja varastomäärien arviointi .....	36
8.2	Hyönteistuhot ja niiden estäminen .....	37
9	Tulokset logistiikan kehittäminen .....	39
9.1	Melunhallinta .....	39
9.2	Varastoalueiden käyttösuunnitelmat ja alueen liikennejärjestelyt .....	41
9.3	Varastopinojen muodostaminen .....	42
9.4	Rankahakkeen varastointi .....	43
10	Yhteenveto tuloksista .....	43
10.1	Keskeiset tulokset .....	43
10.2	Muut huomiot ja suositukset .....	45
10.3	Jatkokehitystarpeet .....	45
10.3.1	Melunhallinta .....	45

10.3.2 Laadunhallinta.....	46
10.3.3 Lupa-asiat ja säädökset .....	46
10.3.4 Materiaalivirtojen hallita.....	46
10.3.5 Työturvallisuus ja palontorjunta.....	47
11 Pohdinta.....	48
11.1 Tulosten arviointi.....	48
11.2 Työn rajaus, käytetyt menetelmät ja työn toteutus.....	49
11.3 Ammatillinen kehittyminen ja tuloksien hyödyntäminen .....	51
Lähteet.....	54

## Liitteet

Liite 1 Energiapuutermiinaali suunnitelma 1

Liite 2 Energiapuutermiinaali suunnitelma 2

Liite 3 Varastokentän suunnitelma 1

Liite 4 Varastokentän suunnitelma 2

Liite 5 Luonnos raskaan liikenteen kulkusuunnista ja huoltoalueiden sijainnista

Liite 6 Suunnitelma alueen liikenneopasteista

Liite 7 Melunmittauskokeen tulokset

## 1 Johdanto

Savon Voiman Joensuun voimalaitoksen energiantuotanto ja -hankinta on tällä hetkellä voimakkaassa muutoksessa. Tupeen käytön asteittainen vähentäminen ja lopettaminen sekä energiapuun tuonnin päätyminen Venäjältä ovat johtaneet tilanteeseen, jossa yli puolet laitoksen käyttämästä energiasta tulee hankkia jatkossa muista lähteistä tai korvata polttoon perustuvaa energiantuotantoa uusiutuvilla, polttoon perustumattomilla tuotantomuodoilla. Turve on ollut takavuosina merkittävä polttoaine, ei ainoastaan energiamäärien vuoksi, vaan myös huoltovarmuuden näkökulmasta. Turpeen varastointi on melko helppoa, ja sen säilyvyys on puupolttoaineisiin nähden hyvä. (Afry 2020, 63.)

Olennainen osa voimalaitoksen omistajan, Savon Voiman, strategiaa on olla tärkeä huoltovarmuustoimija ja rakentaa hiilineutraalia tulevaisuutta. Toimintaympäristön merkittävästä muutoksesta huolimatta tavoitteena on, että vuoteen 2030 mennessä tuotanto on hiilineutraalia. Turpeen käytöstä luovutaan jo aikaisemmin, vuoden 2026 aikana. (Savon Voima 2024.) Huoltovarmuuden turvaamiseksi Savon Voima on laajentanut polttoaineiden käsittelyaluetta rakentamalla nykyisen alueen viereen noin kolmen hehtaarin kokoisen energiapuuterminaalin. Terminaalin myötä puunkäsittely painottuu entistä enemmän rankapuun varastointiin ja hakettamiseen. Puuraaka-aineen käsittelymääriä voimalaitoslaitosalueella tulee lisäämään tulevaisuudessa myös rakenteilla olevan biohiilitehtaan käyttämä raaka-aine.

Terminaali rakennettiin ja otettiin käyttöön pikavauhtia, sillä muutos toimintaympäristössä, lähinnä puuntuonnin loppuminen Venäjältä, oli äkillinen ja vaati nopeita toimia voimalaitoksen energiahuollon turvaamiseksi. Tämän vuoksi syvällinen perehtyminen uuden toimintaympäristön haasteisiin oli käyttöönottoaiheessa vielä tekemättä. Tämän työn tavoitteena on syventyä uuden toimintaympäristön haasteisiin ja kehittää laajentuneen polttoaineiden käsittelyalueen toimintaa nykyisiä ja tulevaisuuden tarpeita vastaavaksi.

## 2 Energiapuuterminaalit

Energiapuuterminaalit ovat osa biomassojen ja raakapuun käyttöön liittyvää tuotanto- ja logistiikkaketjua. Terminaaleja on useita erityyppisiä, ja niitä voidaan luokitella sijainnin perusteella. Ne voivat olla pelkästään raakapuun tai valmiin biomassan varastointiin keskittyviä varastoterminaaleja tai tuotantoterminaaleja, joissa varastoinnin lisäksi jalostetaan raaka-aineita esimerkiksi hakettamalla. Sijainnin perusteella terminaaleja voidaan luokitella lähi- tai kaukoterminaaleiksi sekä toimintavavan mukaisesti lastaus-, käyttöpaikka-, palvelu- tai satelliittiterminaaliksi. (Impola & Tiihonen 2011, 5–6.)

Metsäenergian käytön lisääntymisen myötä tarve varastoida puuta terminaaleissa on kasvanut, sillä suorien toimitusten logistiikkaketju ei ole usein riittävän joustava vastaamaan joskus hyvinkin nopeasti muuttuvaan energiantarpeeseen. Myös olosuhteet, kuten pakkasen ja kelirikko voivat estää suorat toimitukset esimerkiksi metsätien varrella olevasta varastosta. Tuotantolaitosten raaka-ainehuolto varmistetaan varastoimalla raaka-aineita esimerkiksi käyttöpaikkaterminaalissa. (Impola & Tiihonen, 2011, 5–6.) Huoltovarmuuden turvaamisen lisäksi terminaalitoiminnalla voidaan tehostaa logistiikkaa katkaisemalla suorille toimituksille ominainen kuuma logistiikkaketju, jolloin kaluston käyttöaste nousee, kun ei tule odottelua esimerkiksi hakkurin siirtojen vuoksi. Raaka-ainetta terminaaliin voidaan toimittaa myös energiapuu- ja puutavara-autoilla, mikä lisää kuljetuskapasiteettia ja joustavuutta.

Suoriin tuotanto- ja toimitusketjuihin verrattuna terminaalitoiminnasta aiheutuu lisäkustannuksia merkittävien perustamisinvestointien ja ylimääräisten purku- ja lastaustoimintojen vuoksi. Näitä lisäkustannuksia voidaan kompensoida tehokkaimmilla ja vähemmän energiaa kuluttavilla, terminaalitoimintoihin paremmin sopivalla kalustolla sekä terminaalissa tapahtuvalla laatuominaisuuksien parantamisella. Hallituissa olosuhteissa on mahdollista esimerkiksi epäpuhtauksien poisto, partikkelikoon hallinta ja erilaisten seosten tekeminen. (Impola & Tiihonen 2011,6.)

### 3 Puutavaran varastointi ja laadunhallinta

#### 3.1 Puutavaran mittaus

Puutavaranmittaus on logistiikkaketjun vaihe, jossa jalostamattoman puutavaran määrä ja laatu mitataan kauppahinnan (luovutusmittaus), palkan tai urakointimaksujen määrittämiseksi. Maksujen lisäksi mittaustietoja käytetään myös puutavaran kirjanpidossa, puunhankinnan- ja tuotannon suunnittelussa sekä puunkäytön seurannassa. (Metsäteho 2024a.)

Jalostamattomalla puutavaralla tarkoitetaan kaikista puun osista tehtyjä puutavaralajeja, eli siihen sisältyy rungon osat, kuori, kannot, juuret ja oksat. Myös sahateollisuuden sivutuotteet, kuten teollisuushake ja -puru katsotaan jalostamattomaksi puutavaraksi. Puutavaran mittauksesta on olemassa oma lainsäädäntö, jolla turvataan mittauksessa käytettävien menetelmien, laitteiden toiminnan ja mittaustulosten luotettavuus. (Luonnonvarakeskus 2024.)

Suomessa puutavaran luovutus-, työ- ja urakointimittauksessa maksun perusteena käytetään yleisesti todellista kuorellista tilavuutta, jolloin mittayksikkönä on kuorellinen kiintokuutiometri. Poikkeuksena tästä ovat kuljetuksen urakointimaksut, jotka ovat pääsääntöisesti painoperustaisia. (Metsäteho 2024a.)

Poikkeuksen muodostavat myös energiaksi käytettävät hakkeet, purut ja teollisuuden sivutuotteet, joiden maksuperusteena käytetään usein energiasisältöä (MWh/t).

Suomessa puutavaran yleisin luovutusmittausmenetelmä on hakkuukonemittaus, jonka osuus vuoden 2022 markkinahakkuista oli 83,1 %, tehdasmittauksen osuus oli 13 %, kuormainvaakamittausta käytettiin 3,5 % mittauksista ja perinteisen tienvarsimittauksen osuus oli 0,4 %. Tilastoituja hakkuita oli n. 50,3 milj.m<sup>3</sup>, mikä kattaa noin 79 % vuoden 2022 kotimaisista markkinahakkuista. (Melkas 2023.)



### 3.1.1 Painoon perustuva puutavaranmittaus ja tuoretiheys

Puutavaran mittauksessa on viime vuosikymmenen aikana yleistynyt painoon perustuva tilavuuden mittaaminen. Etenkin hankintakaupoissa ja tehdasmittauksessa painoon perustuvat mittausmenetelmät ovat syrjäyttäneet perinteisen pinomittauksen. (Melkas 2023.) Energiapuulla painoon perustuva mittaus voi olla usein ainoa käyttökelpoinen mittaustapa. (Lindblad & Repola 2019, 3).

Painoon perustuvat mittausmenetelmät ovat osoittautuneet luotettaviksi ja kustannuksiltaan edullisemmiksi kuin melko työläs ja epätarkka pinomittaus tienvarressa. (Heikkilä, Lindblad, Hujo & Verkasalo 2004, 537). Painoon perustuvassa puutavaran mittauksessa voidaan käyttää lähi- ja kaukokuljetuksen yhteydessä puutavarakuormaimen tai -nosturiin asennettua kuormainvaakaa (kuormainvaakamittaus) tai käyttöpaikoilla sijaitsevaa siltavaakaa, jossa ajoneuvo punnitaan saapuessa ja tyhjänä lähtiessä. Näin saadaan kuorman nettopaino. Käyttöpaikoilla painon mittaukseen voidaan käyttää myös materiaalinkäsittelykonetta. (Lindblad & Repola 2019, 2.)

Puutavaran painon muuntaminen kiintokuutioiksi tapahtuu muuntokertoimien, eli niin sanottujen tuoretiheyslukujen ( $\text{kg/m}^3$ ) avulla. Kuormainvaakamittauksessa käytetään yleisiä, säädösperustaisia kertoimia, jotka ovat annettu Luonnonvarakeskuksen määräyksellä. (Luonnonvarakeskus 2017). Taulukossa 1 on esimerkki sovellettavista tuoretiheysluvuista. Siitä käy hyvin esille tuoretiheyteen vaikuttavat tekijät; maantieteellinen sijainti, puulaji sekä vuodenajan- ja varastointiajan merkitys.

Painoluokka	Kosteus %	Ajankohta				Tuoretiheys $\text{kg/m}^3$
		1.4.–30.4.	1.5.–15.8.	16.8.–30.9.	1.10.–31.3.	
1	> 50	Tuore, jossa lunta tai jäätä				1000
2	45–50	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore, 10 vrk ↓	Tuore, 30 vrk ↓	Tuore	900
3	40–44	≥ 30 vrk	→ 25 vrk ↓	≥ 30 vrk	≥ 30 vrk	830
4	35–39	-	30 vrk ↓	30 vrk ↑	30 vrk ↑	770
5	< 35	-	≥ 65 vrk	30 vrk ↑	-	700

Taulukko 1. Harvennusenergiapuun tuoretiheysluvut koivulla Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla (Luonnonvarakeskus 2017)

Paino-otantamittauksessa tuoretiheysluku määritetään mittauspaikkakohtaisesti puutavarasta valittavan otoksen ja otantaerän mittausten perusteella. Näin tietyille puutavaralajille muodostuu käyttöpaikkakohtainen tuoretiheysluku, jota päivitetään otantamittausten perusteella. Käytettävä tuoretiheysluku voi perustua esimerkiksi tavaralajin seitsemään viimeiseen otantaerään, josta suurin ja pienin jätetään pois keskiarvon laskennasta. (Lindblad & Repola 2019, 1–3.)

Otanta-erän suuruus on tyypillisesti noin yksi prosentti puutavaraerän kokonaisuudesta. Käytännössä mitattava erä on usein puutavaranippu, josta mitataan paino ja tilavuus. Tilavuuden mittaus tapahtuu lähes aina upotusmittauksella. (Lindblad & Repola 2019, 2.)

Upotusmittauksessa puutavaranippu punnitaan ensin ilmassa ja sen jälkeen kokonaan veteen upotettuna, jolloin nostevoima kasvaa, kun upotettu tilavuus suurenee. Kun punnitustulokset, kuormaimen vaikutus ja veden tiheys huomioidaan, saadaan laskettua otantaerän tilavuus. Menetelmä on luotettava ja tehokas mittausmenetelmä isojen puutavaraerien vastaanotossa ja soveltuu hyvin kohteisiin, jossa on isot vuotuiset mittausmäärät (Metsäteho 2024a.)

Pienemmissä käyttökohteissa altaan investointikustannukset sekä tarvittava kalusto ja työvoima voivat olla este menetelmän käytölle.

### **3.1.2 Pinomittaus**

Energiapuun tilavuus on mahdollista määrittää myös mittaamalla puutavaraerä pinossa. Menetelmä on kuitenkin vähentynyt huomattavasti kuormainvaakamittauksen yleistyessä. (Metsäteho 2024a.) Terminaalivarastoinnissa menetelmä ei ole yleisesti käytössä, mutta voi tulla tilanteita, joissa on hyvä tuntee pinomittauksen periaatteet. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi yksittäisen varaston osan tilavuuden arviointi tai jonkin erikoistoimituserän mittaus.

Menetelmässä mitataan pinon kehystilavuus, arvioidaan keskijäreys sekä eri pinoitehystekijät, joiden perusteella määritetään kiintotilavuusprosentti. Saadun luvun avulla kehystilavuus muunnetaan kiintotilavuudeksi. Menetelmää voidaan soveltaa karsitun ja katkotun puutavaraerän mittaukseen sekä kokopuun, eli

karsimattomien että karsitun, ilman latvakatkaisua korjatun puutavaraerien mittaamiseen. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2014.)

Täytyy kuitenkin huomioida, että ainespuun laatuvaatimukset täyttävän, karsitun ja katkotun puun mittaamisesta on annettu tarkemmat määräykset kuin karsimattoman- ja karsitun, ilman latvakatkaisua korjatun puutavaran mittaamisesta. Keskeinen ero on, että ainespuun mittauksessa huomioidaan puulaji sekä pinoitiheystekijät (keskiläpimitta, oksaisuus ja karsinta, mutkaisuus sekä ladonta) määritellään tarkemmin. Ajantasaisia määräyksiä puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista pitää yllä Luonnonvarakeskus. Määräyksessä kuvataan menetelmien vaatimukset sekä käytettävät muuntotaulukot. (Luonnonvarakeskus 2023.)

Alla on esimerkki kuitupuukoikoisen puupinon kiintotilavuusprosentin määrittämisestä. Määrittämisessä on käytetty metsätehon verkkosivuilta löytyviä kiintotilavuusprosentteja ja pinoitiheystekijöitä (Metsäteho 2024b.)

Laskentaesimerkissä käytetään vapaasti katkottua, pituudeltaan n. 4,7 m koivupuupinoa, jonka kehystilavuus on 25,5 m<sup>3</sup>. Keskiläpimitta on 15 cm (vaikutus kiintotilavuusprosenttiin +4) pölkyissä joitain lyhyitä oksantynkiä, Luokka II (0). Mutkaisuus luontainen, Luokka II (0). Ladonta heikko, monet pölkyt ristikkäin. Luokka III (-1). Esimerkin mukaisen pinon kiintotilavuusprosentti on 50 %, johon lisätään pinoitiheystekijöiden vaikutus +3 %, jolloin kiintotilavuusprosentiksi tulee 53 %. Pinon kiintotilavuus saadaan kertomalla kehystilavuus pinoitiheystekijöillä korjatulla kiintotilavuusprosentilla.

Pinon kiintotilavuus:  $25,5 \cdot 53/100 = 13,5 \text{ m}^3$

Muuntotaulukkojen soveltamisesta ja energiapuun mittaamisesta löytyy käytännön mittausesimerkkejä Energiapuun mittaus -oppaasta. (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2014).

## 3.2 Muutokset varastoinnin aikana

### 3.2.1 Ranka- ja kuitupuu

Ranka- ja kuitupuun varastoinnissa suurin muuttuja on kosteus. Energiapuuran-  
galla tehdyissä tutkimuksissa kesän yli varastoidun puukasan kosteus voi las-  
kea 55 %:sta noin 40 %:iin, mikä tarkoittaa sitä, että vedestä poistuu lähes puo-  
let ja lämpöarvo tilavuusyksikköä kohden kasvaa 10 %. (Hillebrand & Nurmi  
2004, 53.) Kasojen peittäminen alensi keskikosteutta noin 6 %. (Erkkilä ym.  
2011, 31–50). Kuitupuulla yli kesän varastoitu kasa voi saavuttaa 30–32 % kos-  
teuden puulajista- ja hakkuuajankohdasta riippumatta. Havupuilla kosteus voi  
pudota jopa 20 % ja koivulla noin 10 %. Ero johtuu koivun alhaisemmasta lähtö-  
kosteudesta. Varastokasan kuivuminen on nopeinta alkukesästä (Mäkelä, Kor-  
honen, Lipponen & Öhman, 2000.)

Puuta voidaan oikein toteutetulla varastoinnilla kuivattaa, mutta täytyy huomi-  
oida, että puu on hygroskooppinen aine, joten se sitoo vettä ympäröivästä il-  
masta. Erkkilän ym. (2011) tutkimuksessa todettiin varastokasan kosteuden  
nousevan n. 5 % syksy ja talviaikana. Samassa tutkimuksessa todettiin avoi-  
mella terminaali-alueella sijaitsevien varastokasojen sekä kuivamisen, että uu-  
delleen kostumisen olevan voimakkaampaa kuin metsätien varressa sijaitsevien  
varastokasojen. Sama ilmiö toistui sekä peitetyissä että peittämättömissä ka-  
soissa. Syyn oletettiin olevan vesisade ja etenkin tuiskuava lumi, jotka pääsevät  
vaikuttamaan avoimella alueella voimakkaammin. (Erkkilä ym. 2011, 35).

Varastoinnin aikainen kosteuden muutos vaikuttaa puun tilavuuteen. Puutava-  
ranmittauksessa vaikutus on kuitenkin niin vähäinen, että sitä ei tarvitse huomi-  
oida. Kosteuden muutos vaikuttaa tilavuuteen merkittävästi vasta, kun kosteus  
alittaa puunsyiden kyllästymispisteen (23–24 %), mitä ei esim. kuitukokoisella  
puulla käytännössä tapahdu. (Lindblad & Repola 2019, 4.)

### 3.2.2 Hakkeen ja kuoren varastointi

Puun varastointia hakkeena ei yleisesti suositella varastoauomojen lämpiämisen vuoksi. Ilmiö korostuu etenkin kuoren- ja hakkuutähdehakkeen varastoinnissa. Männyn- ja kuusenkuoren sekä hakkuutähdehakkeen varastointitutkimuksissa on havaittu, että varastokasan lämpötila nousee nopeasti 60–70 C° (Routa, Brännström, Hellström & Laitila 2020, 8.) Lämpötilan nousu aiheuttaa kuiva-ainetappioita ja voi sopivissa olosuhteissa aiheuttaa varastokasan itsesyttymisen (kuva 1) (Impola & Tiihonen. 2011, 22.)



Kuva 1 Itsesyttynyt varastokasa (Kuva: Mikko Hiltunen)

Rankahakkeella tehdyillä tutkimuksilla varastokasan lämpiäminen ei ole niin voimakasta kuin kuorella ja hakkuutähdehakkeella. Tutkimuksissa on todettu n. 35 C° lämpötiloja rankahakekasassa. Tasalaatuisessa rankahakekasassa itsesyttymisriski on pieni ja kuiva-aine tappiot jäävät melko vähäiseksi. (Ahmadinia ym. 2022, 9; Himmanen. 2015, 61.)

Varastokasojen kosteudessa tapahtuu muutoksia varastoinnin aikana. Kasan sisäosat kuivuvat ja kosteus tiivistyy 20 cm – 50 cm kerrokseen kasan pintaan. Eräissä tutkimuksissa on todettu tämän ilmiön laskevan varastokasan keskikosteutta ja parantavan varastokasan energiasisältöä. (Routa ym. 2020, 9).

Toisaalta on myös todettu varastokasojen keskikosteuden kasvamista, jolloin energiasisältö laskee varastoinnin aikana. Tähän vaikuttavat varastoinnin aikaiset olosuhteet, kuten sademäärät ja ulkolämpötila. (Ahmadinia ym. 2022, 6–9; Himmanen 2015, 55.)

Ahmadinian ym. (2022) tekemässä varastointitutkimuksessa todettiin, että ranhakakkeella suurempi palakoko vaikuttaa positiivisesti kosteuden laskuun ja kuivuminen on nopeinta varastoinnin alkuvaiheessa, sillä vapaa vesi poistuu helpommin solusta (Ahmadinia ym. 2022, 6.)

## **4 Terminaalialueiden suunnittelu**

### **4.1 Mitoitus ja tilantarve**

Terminaalin mitoitukseen ja tilantarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat varastointimäärät ja varastointijaksojen pituus sekä käsittelyyn käytettävien laitteiden vaatima tilantarve. Varastokasojen ja käsittelyalueiden lisäksi tulee huomioida kulukuväylien sekä lumi- ja jätekasojen (pinojen alle kertyvä puuaines ja epäpuhtaudet) vaatima tila. (Impola & Tiihonen. 2011,11.)

Mikäli terminaalialueelle suunnitellaan kiinteää murskainta/hakkuria, on sen paikka valittava huolella, sillä se tulee vaikuttamaan olennaisella tavalla terminaalin toimintaan jatkossa. Kiinteälle laitteistolle on varattava riittävästi tilaa raaka-aineen syöttöön joko suoraan kuorma-auton kyydistä tai pyöräkuormajalla. Valmiin tuotteen käsittelyyn on myös varattava tilaa. Tähän vaikuttavia tekijöitä on mm. laitteiston purkukuljettimen korkeus. (Impola & Tiihonen. 2011, 8.)

## 4.2 Suunnittelussa huomioitava lainsäädäntö

Puun varastointia ja varastointialueita suunniteltaessa tulee huomioida aiheeseen liittyvä lainsäädäntö. Alla olevaan taulukkoon (taulukko 2) on koottu energiapuutermiinalin suunnittelussa ja toiminnassa huomioitavaa lainsäädäntöä.

<b>Ympäristösuojelulaki (YSL) (527/2014)</b>	Ympäristölupamenettely vaaditaan jos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käsitellään muutakin kuin puhdasta biomassaa</li> <li>• Jos toiminnasta aiheutuu haittoja lähiympäristöön (liikenne, melu, pöly tms.)</li> <li>• Voi aiheuttaa vesistöjen pilaantumista</li> <li>• Alueella muuta luvanvaraista toimintaa</li> </ul>
<b>Laki ympäristövaikutusten arvioinnista (YVA) (252/2017)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mikäli terminaalihanke liittyy laajamittaiseen energian tuotantoon tai muuhun laajamittaiseen teolliseen toimintaan</li> <li>• Jos käsitellään jättepuuta yli 100 t vuorokaudessa</li> <li>• Jos käsitellään ongelmajätteenä luokiteltua puuta</li> <li>• ELY-keskus voi edellyttää ympäristövaikutusten arviointia muissakin tapauksissa, jos toiminnasta saattaa aiheutua merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia</li> </ul>
<b>Laki eräistä naapurisuhteista (26/1920)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jos terminaalin toiminnoista aiheutuu lähikiinteistöille kohutuotonta rasitusta. (melu, pöly, tärinä, tms. vaikutukset)</li> </ul>
<b>Jätelaki (646/2011)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jos käsitellään jätteenä luokiteltavaa materiaalia</li> </ul>
<b>Laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pyritään estämään metsätuhojen leviäminen viereisiin metsiin</li> <li>• Sovelletaan myös terminaali- ja tehdasvarastoihin</li> <li>• Velvoittaa kuljettamaan tyviläpimitaltaan yli 10 cm mänty- tai kuusipuutavaran pois määräaikoihin mennessä tai estää tuhohyönteisten leviäminen muilla keinoilla</li> <li>• Ammattimaisella toimijalla omavalvontavelvollisuus</li> </ul>
<b>Vesilaki (587/2011)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jos terminaalin toiminnasta voi aiheutua muutoksia ympäröivien vesistöjen tilaan (vesistön asema, syvyys, vedenkorkeus, virtaama tai ranta-alue)</li> <li>• Voi vaikuttaa pohjaveden laatuun ja määrään</li> <li>• Vesitalouslupa vaaditaan kuljetus vesiteitse (satamatoiminnot, vakituinen uittopaikka)</li> </ul>
<b>Luonnonsuojelulaki (LSL) (1096/1996)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jos terminaali sijaitsee natura 2000 alueella tai sen läheisyydessä</li> </ul>
<b>Maankäyttö ja rakennuslaki 752/2023 (1.1.2025 alkaen Alueidenkäyttölaki)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mahdollisille rakennuksille tarvitaan rakennus- tai toimenpidelupa</li> </ul>

Taulukko 2. Energiapuutermiinaaleihin liittyvää lainsäädäntöä. (Metsäteho 2021; Ekroos & Warsta 2015, 21,36–47.)

### 4.3 Ympäristölupa

Biomassojen käsittelyyn suunniteltu terminaalialue vaatii pääsääntöisesti ympäristöluvan. Mikäli toiminta on pienimuotoista, metsästä peräisin olevaa puutavarankäsittelyä, ei lupakynnys välttämättä ylitä. Näissäkin tapauksissa ympäristölupa voi olla tarpeen, jos lähiympäristössä on häiriintyviä kohteita tai suunniteltu alue sijoittuu ympäristöarvoiltaan merkitykselliselle alueelle, kuten pohjavesi- tai suojelualueet. Terminaalin perustamista viimeksi mainitulle ei suositella. Suurissa hankkeissa ympäristöluvan saamisen edellytyksenä voi olla YVA arviointi ja kattavat melunmittaus selvitykset. (Metsäteho 2021.)

Ympäristöluvan edellytyksenä ja myöntämisen lähtökohtana on, että terminaali-toiminta ei ole ristiriidassa alueelle kaavassa suunnitellun toiminnan kanssa. Alueen käytölle voidaan asettaa määräyksiä maakunta- yleis- ja asemakaavassa. Biomassaterminaaleille soveltuvia kaava-alueet ovat E- (erityisalue) tai T (teollisuus ja varastoalue) -alkuiset alueet (Juntunen & Luiro 2016, 10–13.)

Luvan käsittelyä ja myöntämistä nopeuttaa huolellisesti valmisteltu hakemus. Hakemuksessa tulee kuvata sijoituspaikan ympäristön olosuhteet, laitoksen tekniset ratkaisut, toiminnan volyymit, toiminta-ajat, päästöt ja niiden vaikutukset, soveltuva ympäristön tarkkailu sekä viranomaiselle raportoitavaksi esitettävät asiat. (Juntunen & Luiro 2016, 16.)

Ympäristölupahakemuksen sisältöä suunniteltaessa kannattaa huomioida esitettyjen asioiden vaikutus luvan sisältöön. Sisällön tulisi olla sellainen, että esitetyt asiat varmistavat ympäristönsuojelun korkean tason. Kuitenkin huomioiden, että lupaehdot voidaan kohtuullisesti toteuttaa ja ne eivät rajoita liiketoimintaa tulevaisuudessa. (Ekroos & Warsta, 2015, 64.)

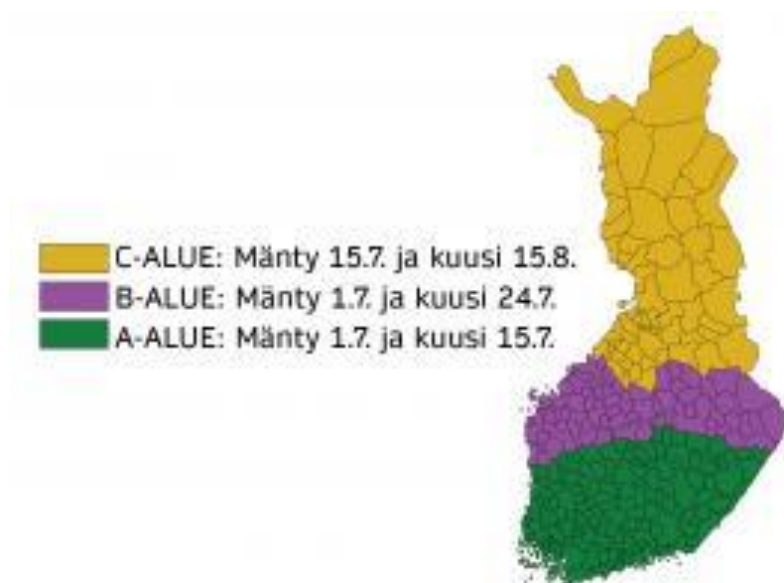
### 4.4 Metsätuhojen torjunta

Laki metsätuhojen torjunnasta (1087/2013) on säädetty ylläpitämään metsien hyvä terveydentilaa sekä estämään metsätuhojen syntyminen. Keskeisenä ajatuksena laissa on tuoreen, tyviläpimitaltaan yli 10 cm mänty- ja kuusipuutavara



kuljetus pois metsästä ja välivarastoilta annettuihin määräaikoihin mennessä hyönteistuhojen estämiseksi. (kuva 2) Lakia sovelletaan puutavaran hakkuupaikkojen ja välivarastojen lisäksi myös puutavaran terminaali- ja tehdasvarastoihin. (Laki metsätuhojen torjunnasta, 8 §)

Laki koskee edellisen vuoden syyskuun alun ja kuluvan vuoden toukokuun lopun välisenä aikana kaadettua havupuutavaraa, joka on kuljetettava pois hakkuupaikalta tai välivarastolta heinä-elokuussa. (Metsäkeskus 2024)



Kuva 2 Metsätuholain aikarajat ja vyöhykkeet. (Metsäkeskus 2024)

Mikäli puutavaran omistaja ei poista puutavaraa asetettuihin määräaikoihin mennessä, hänen on vaihtoehtoisesti:

- 1) *peitettävä puutavara;*
- 2) *kasteltava puutavaraa;*
- 3) *kuljetettava puutavarapinon pintaosa pois;*
- 4) *kuorittava puutavara;*
- 5) *käsiteltävä puutavara tuhohyönteisten iskeytymistä vastaan tarkoitetulla hyväksytyllä kasvinsuojeluaineella;*
- 6) *sijoitettava mäntypuutavara riittävän etäälle saman puulajin metsästä;*
- 7) *peitettävä mäntypuutavarapinon pintakerros lehtipuukerroksella;*

*8) peitettävä kuusipuutavarapinon pintakerros lehtipuukerroksella tai mäntypuulla, jonka tyviläpimitta on alle 10 senttimetriä ja joka ei ole kaarnoittunut; tai*

*9) muulla kuin 1–8 kohdassa tarkoitetulla tavalla huolehdittava siitä, ettei puutavarasta pääse merkittävästi leviämään metsätuhoja aiheuttavia hyönteisiä. (Laki metsätuhojen torjunnasta, 4 §).*

Energiapuun tehdasvarastoissa tai terminaaleissa käyttökelpoisimpia yllä olevista voisivat olla puutavaran peittäminen tai puutavaran hakettaminen, minkä avulla täyttyisi säädöksen viimeinen kohta (Juntunen & Luiro 2016, 23.)

Puutavaran peittäminen tulee tehdä ennen tuhohyönteisten parveiluaikaa. Aikarajat on esitetty yllä olevassa kartassa. Valtaosa Pohjois-Karjalaa, mukaan lukien Joensuu, kuuluu B-alueeseen. Mäntypuutavara tulee olla B-alueella peitettynä 1.7. mennessä ja kuusipuutavara 24.7. mennessä (Metsäkeskus 2024.)

Tuhohyönteisten leviämisen estämisen lisäksi Lain metsätuhojen torjunnasta 18 § ja 19 § mukaan, ammattimaisen toiminnanharjoittajan on laadittava omavalvontasuunnitelma ja nimettävä omavalvonnan vastuuhenkilö. Jos säädettyjä velvollisuuksia ei jostain syystä voi noudattaa, on asiasta viipymättä tehtävä omavalvontailmoitus Suomen metsäkeskukselle.

#### **4.5 Melun hallinta ja meluselvitys**

Terminaalitoiminnassa melua aiheuttavia lähteitä ovat puun haketus / murskaus, työkoneet ja raskas liikenne. Melu on eräs merkittävimmistä aiheista, joista on tullut valitusta ympäristölupien käsittelyvaiheessa. (Impola & Tiihonen, 2011, 15.) Tätä näkemystä tukee myös toimeksiantajan kokemukset, valitukset ovat koskeneet lähes poikkeuksetta toiminnan aiheuttamaa melua ja vielä tarkemmin määriteltynä haketus / murskaustyöstä syntynyttä melua.

Kirjallisuudessa melunhallintakeinoiksi esitetään yleisesti meluesteen muodostamista häiriintyvän kohteen ja melulähteen välille. Tällaisia voivat olla

esimerkiksi kiinteät meluvallit ja aidat tai käsiteltävistä raaka-aineista muodostettu meluvalli. Melun kannalta haasteellisimmat toiminnot suositellaan siirrettäväksi sisätiloihin. (Ekroos & Warsta 2015; 53–57. Impola & Tiihonen 2011, 20.)

Etenkin suurissa hankkeissa tai muuten hankalissa meluolosuhteissa ympäristöluvan hakuvaiheessa tehdään usein melunselvitys, joka koostuu melun mallintamisesta ja syntynyttä mallia varmentavista mittauksista. Mittauksia suoritetaan tyypillisesti useissa eri skenaarioissa ja on suositeltavaa, että raaka-ainepiinoja hyödynnetään melun kulkeutumisen esteenä häiriintyvien kohteiden suuntaan jo mittauksen aikana. Mikäli meluolosuhteet ovat erityisen haastavat, voi viranomainen vaatia erillisiä meluntorjuntatoimenpiteitä. Tällaisessa tapauksessa laaditaan usein erillinen meluntorjuntasuunnitelma, jonka avulla kartoitetaan mahdollisia toimenpiteitä meluhaittojen vähentämiseksi. (Juntunen & Luiro 2016,18–20.)

## **5 Työturvallisuus puutavaran käsittelyalueilla**

### **5.1 Tuotantolaitosten sisäinen liikenne**

Liikenteestä ja liikkumisesta aiheutuu aina vaaratilanteita. Kun ympäristöön lisätään isoja koneita ja ajoneuvoja tulee siitä entistä vaarallisempaa ja tapaturman seuraukset ovat vakavampia. Teollisuuden päätoimialalla vuonna 2022 sattui 13355 työpaikkatapaturmaa, joista 22 % tapahtui henkilön liikkuesssa. Liikkuminen oli esineiden käsittelyn jälkeen yleisin vahingoittumisen aiheuttaja. (Tapaturmavakuutuskeskus 2024.)

Tapaturmien välttämiseksi työpaikalle tulee laatia liikenneohjeet. Vaikka tieliikennelaki ei ole voimassa tuotantoalueiden sisäisessä liikenteessä, suunnittelussa tulee käyttää yleisiä liikennesääntöjä sekaannusten välttämiseksi. Yhteentörmäyksiä välttämiseksi pyritään erottamaan liikennelajit, esimerkiksi väylät jalankulkijoille ja työkoneliikenteelle. Väylät

voidaan erottaa kaistamaalauksilla tai kaiteilla tai suunnitella kokonaan omat väylät. (Merjama 2017, 4.)

Suunnittelussa tulee huomioida henkilö- ja ajoneuvoliikenteen ohjeiden lisäksi myös tukitoimintojen vaatimat tilat ja järjestelyt. Usein ohjeita suunnitellessa unohtuu ihmisen normaalit tarpeet, kuten sosiaalitoimien tarve ruokailu- ja kahvitunteja varten. Myös toiminnan vaatimat huoltoalueet, joissa tehdään kaluston korjaustöitä ja säilytetään huolto- ja korjaustöissä tarvittavia työkaluja, kemikaaleja tms. tulee myös ottaa huomioon aluesuunnittelussa. (Merjama 2017, 4.)

Puutermiinalit- ja puunkäsittelyalueet ovat tyypillisesti alueita, jossa toimii useita työnantajia sekä heidän palveluksessa olevia työntekijöitä eli alue on yhteinen työpaikka. Yhteisellä työpaikalla alueen liikenne- ja kunnossapidon suunnittelusta vastaa pääasiallista määräysvaltaa käyttävä työnantaja. Alueen suunnittelijan on huomioitava ohjeita laatiessa, että ohje täyttää työturvallisuuslain (738/2002) määräykset.

## **5.2 Paloturvallisuus energiapuutermiinaaleissa**

Energiapuutermiinalit luokitellaan paloturvallisuusriskiltään kahteen luokkaan. Paloriskiltään 1. luokan termiinaaleihin suositellaan pelastussuunnitelman laatimista. Paloriskiltään 2. luokan termiinaaleissa pelastussuunnitelmaa ei pidetä välttämättömänä, mikäli kohteessa ei ole jotain erityistä mikä vaikuttaa turvallisuustasoon, esimerkiksi puute sammutusvedestä. Paloriskiluokitukset ovat esitetty talukossa 3. Luokitukset ovat alan toimijoiden laatimia ja ne ovat luonteeltaan suosituksia, eivät pakottavia. (Luotola, 2017 4–5.)

<b>Terminaali on paloriskiltään 1. luokan terminaali, jos seuraavat ehdot täyttyvät:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminaalin vuosikapasiteetti on yli 20 000 m<sup>3</sup> (50 000 m<sup>3</sup> haketta)</li> <li>• Pinta-ala vähintään kaksi hehtaaria</li> <li>• Terminaalialueella on tuotanto- tai varastorakennuksia yli 1500 m<sup>2</sup></li> <li>• Terminaali sijaitsee voima- tai lämpölaitoksen välittömässä läheisyydessä, taajaman läheisyydessä, turvetuotantoalueella tai jos alueella on sammuusvesijärjestelmä</li> <li>• Terminaalin läheisyydessä on jotain muuta erityistä paloriskiä</li> </ul>
<b>Terminaali on paloriskiltään 2. luokan terminaali, jos seuraavat ehdot täyttyvät:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminaalin vuosikapasiteetti on alle 20 000 m<sup>3</sup></li> <li>• Pinta-ala enintään kaksi hehtaaria</li> <li>• Terminaali sijaitsee etäällä rakennuksista ja metsäalueista, eikä savun muodostus palotilanteissa aiheuta vaaraa lähialueen asukkaille</li> </ul>

Taulukko 3. Terminaalien paloriskiluokitus (Luotola 2017.)

Paloturvallisuuteen liittyen puunkäsittelyalueilla on huomioitava mm. seuraavia asioita: liikennöitävyys useammasta eri suunnasta, mahdollisen palon vaikutus ympäristöön, sammutusvesijärjestelyt, alueelta saatava riittävä sammutusvesi. Lisäksi puunkäsittelyalueen pinta-ala tulee olla niin suuri, että läjitys-, pinoamis- ja käsittelyalueiden osastointi voidaan tehdä riittäväillä etäisyyksillä mahdollisen tulipalon leviämisen estämiseksi. On myös huomioitava varastoitavan materiaalin määrä (palokuorma) sekä tulevien toiminnanharjoittajien velvoite onnettomuustilanteisiin varautumiseen. (Mäkynen & Räisänen 2014, 8.)

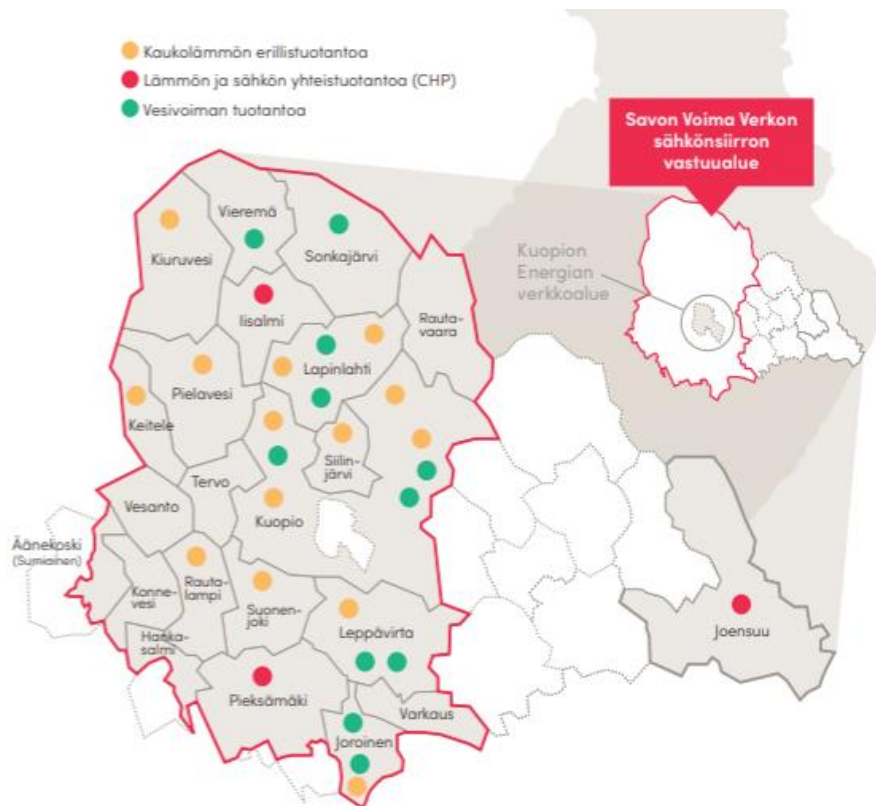
## 6 Työn tausta ja tavoitteet

### 6.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantaja Savon Voima Oyj on monipuolisia energiapalveluita tarjoava energiakonserni. Konsernin muodostavat emoyhtiö Savon Voima Oyj sekä sen tytäryhtiöt Savon Voima Verkko Oy ja Itä-Suomen Biomassa Oy. Muita merkittäviä omistuksia alan yrityksissä konsernilla on Väre Oy:stä 37,8 %,

Varkauden Aluelämpö Oy:stä 19,9 % sekä Kymppivoima Oy:stä 18,5 %. Konsernin liiketoimintaa ovat sähkönsiirto, sähköntuotanto ja kaukolämpö. Konsernin liikevaihto vuonna 2023 oli 238,7 miljoonaa euroa ja henkilöstöä konsernissa työskentelee noin 215. Savon Voima Oy:n omistaa kokonaan Savon Energiaholding Oy, jonka omistajia ovat 20 sähköverkkoalueen kuntaa. (Savon Voima 2024.)

Kaukolämmön tuottajana Savon Voima on yksi Suomen suurimmista. Kaukolämpöä tuotetaan 21 kaukolämpöverkossa Pohjois- ja Etelä-Savon alueella sekä Joensuussa. Sähköä tuotetaan Savon Voiman 11 vesivoimalaitoksessa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantona Iisalmen, Pieksämäen ja Joensuun CHP-voimalaitoksissa. (Savon Voima 2024.)



Kuva 3. Savon Voiman toiminta-alue (Savon Voima 2024)

## 6.2 Joensuun voimalaitos

Joensuun voimalaitos sijaitsee liksenvaaralla, kaupungin läheisyydessä. Laitos on yhdistetty lämmön- ja sähköntuotantolaitos (CHP), joka tuottaa kaukolämpöä Joensuun kaupungin asukkaille ja sähköä valtakunnan verkkoon. Laitoksen valmistuessa vuonna 1986 se käytti polttoaineenaan turvetta. Vuosien saatossa laitosta on kehitetty puupolttoaineille soveltuvaksi. Viimeinen iso muutos toteutui vuonna 2022 valmistuneen kattilamuutoksen myötä, jonka jälkeen on mahdollista käyttää voimalaitoksen polttoaineena pelkkää puuta aikaisemman turpeen seospolton sijaan. Lämmöntuotantoa voimalaitosalueella on CHP laitoksen lisäksi Kontiosuon lämpölaitoksella (HOB). Viime vuosina edullisten sähkönhintojen aikaan kaukolämpölämmön tuotannossa on hyödynnetty myös mahdollisuutta tuottaa kaukolämpöä sähköllä. Sähköllä tuotetun kaukolämmön osuus on tällä hetkellä pieni, mutta tulee jatkossa kasvamaan. Joensuun kaupungin kaukolämmön kokonaisenergiasta noin 97 % tuotetaan liksenvaaran voimalaitoksen alueella.



Kuva 4. Savon Voiman Joensuun voimalaitos (Kuva: Savon Voima)

### 6.3 Biohiilitehdas

Joensuun voimalaitoksen alueelle on valmistumassa Euroopan suurin teollisen mittakaavan torrefioidun biomassan tuotantolaitos. Laitoksen rakentamisesta vastaa Joensuu Biocoal Oy, jonka omistaa pohjoismainen pääomarahitusyhtiö ja sijoittaja Taaleri. Hankkeessa on tavoitteena varmistaa uuden torrefiointiteknikan soveltuvuus ja skaalautuvuus teolliseen mittakaavaan. (Joensuu Biocoal 2024.)

Laitoksen suunniteltu kokonaistuotanto on noin 60 000 tonnia torrefioitua biomassaa vuodessa. Tähän määrään tarvitaan noin 250 000 kuutiometriä puupohjaista raaka-ainetta, joka voi olla esimerkiksi haketta tai metsäteollisuuden sivuvirtoina syntynyttä biomassaa. Torrefioidulla biomassalla on ensivaiheessa tarkoitus korvata fossiilisia raaka-aineita, kuten kivihiihtä teollisuuden prosesseissa ja energiantuotannossa. Myöhemmässä vaiheessa on tarkoitus valmistaa hiilensidontaan soveltuvia tuotteita, joiden käyttökohteena on mm. maanparrannus ja vesien suodatus. (Joensuu Biocoal 2024.)

Hankkeen toteutumista on edistänyt kumppanuus Savon Voiman kanssa, joka tarjoaa toimintaan soveltuvan infrastruktuurin (rakennukset, raaka-aineen käsittelylaitteisto), tuottaa käyttö- ja kunnossapitopalveluita sekä mahdollistaa prosessista syntyvän hukkalämmön hyödyntämisen kaukolämmöksi. (Savon Voima 2024.)

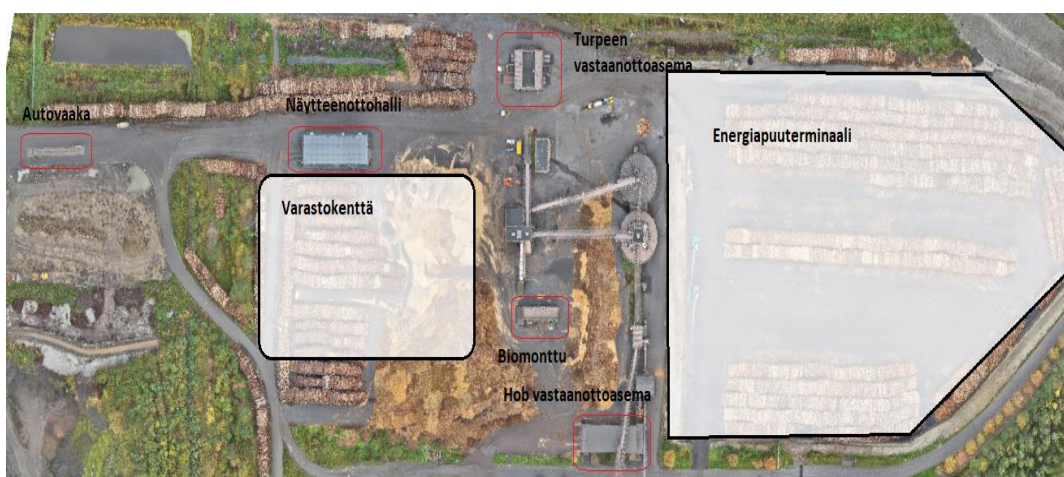
Biohiilitehtaan ympärille on tarkoitus rakentaa yhteistyöryhmä, joka tukee laitoksen kehitystyötä. Mukana ovat Luonnonvarakeskus Luke, Itä-Suomen yliopisto, Karelia-ammattikorkeakoulu sekä Business Joensuu. Ryhmän tarkoitus on tehdä mm. tuotekehitystä ja jalostaa uusia käyttökohteita torrefioidulle biomassalle. (Joensuu Biocoal 2024.)



## 6.4 Kehitystyön kohde

Tämän kehitystyön kohteena on Joensuun voimalaitoksen polttoaineidenkäsittelyalue. Alueella vastaanotetaan ja käsitellään voimalaitoksen polttoaineena käyttämä turve ja puupolttoaineet. Vuositasolla voimalaitoksen kiinteiden polttoaineiden käyttö on noin 850 GWh, josta vuonna 2023 puupolttoaineiden osuus oli noin 76 %. Polttoaineiden hankinnasta vastaa Savon Voiman ja Joensuu Biocoal Oy:n yhdessä omistama Itä-Suomen Biomassa Oy.

Metsähakkeen tuonnin päättyminen Venäjältä ja turpeen käytön vähentäminen ovat lisänneet tarvetta varastoida ja käsitellä rankapuuta huomattavasti aikaisempaa enemmän voimalaitosalueella. Jatkossa käsiteltävän rankapuun määrää lisää myös biohiilitehtaan tarvitsema raaka-aine, joka on suunnitelmien mukaan rankapuusta tehtyä haketta tuotannon alkuvaiheessa. Arvioiden mukaan alueella käsiteltävän rankapuun määrä voi nousta jopa 500 000 kiintokuutiioon vuodessa. Määrä on suuntaa antava, käsiteltäviin määriin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. polttoon perustumattomien tuotantomuotojen lisääntyminen ja metsäteollisuuden sivutuotteiden saatavuus. Joka tapauksessa rankapuun varastonnin ja käsittelyn lisääntyminen on niin merkittävä, että alueelle on muodostunut kokonaan uusi toimintaympäristö.



Kuva 5. Joensuun voimalaitoksen polttoaineiden käsittelyalue (kuva: Savon Voima.)

Keskeisiä muutoksia uudessa toimintaympäristössä ovat säännöllinen haketus-työ yhdellä tai kahdella hakkurilla, lisääntynyt sisäinen liikenne rankahakkeen siirtojen vuoksi ja rankapuun toimitukset sekä varastointi. Alueella työskentelee myös ulkopuolisen urakoitsijan työntekijöitä säännöllisesti yhdessä tai kahdessa vuorossa.

Rankapuuta käsitellään kuvassa 5 näkyvillä varastokentän ja energiapuuterminaalien alueilla. Alueilla varastoidaan rankapuuta, haketetaan ja varastoidaan haketta. Alueella liikkuu noin 15 000 rekkakuormaa kiinteitä polttoaineita vuodessa. Tästä sisäistä liikennettä, eli alueella haketetun rankahakkeen siirtoa, on noin 4000 rekkakuormaa.

## 6.5 Työn tavoite ja tehtävä

Kehitystyö painottuu uuteen toimintaympäristöön, rankapuun käsittelyyn. Alueen liikennejärjestelyitä tarkastellaan kuitenkin kokonaisuutena. Työn tavoitteena on kehittää alueen liikennejärjestelyitä ja rankapuiden käsittelyyn suunniteltujen alueiden toimintaa niin että toiminta on sujuvaa ja turvallista. Suunnittelun lähtökohtana on liikkuvaan mobiilihakkuriin perustuva toimintamalli. Biohiili- tehtaan rankapuulogiikka huomioidaan suunnitelmissa tarpeellisin osin, mutta niitä ei esitetä työn tuloksissa.



Kuva 6. Alueella työskentelevät mobiilihakkurit (kuva: Mikko Hiltunen)

Työ jakaantuu kahteen kokonaisuuteen: toiminnan suunnittelu sekä terminaali-alueen logistiikan kehittäminen. Toiminnan suunnitteluun liittyviä teemoja ovat lupa-asiat ja lainsäädäntö, hakettamattoman rankapuun varastointiin liittyvät asiat, kuten laatu (määrä, kosteus) sekä materiaalivirtojen hallinta, johon sisältyy varaston määrän arviointi ja toimitusten ennakointi Tuloksena tästä kokonaisuudesta on ohjeita ja suosituksia.

Logistiikan kehittämiseen liittyviä teemoja ovat haketusmelun minimointiin liittyvien ratkaisujen etsiminen ja kehittäminen, liikennejärjestelyt alueella, varastopien sijoittaminen ja käsittely sekä toimintamallien suunnittelu alueille, jossa rankapuuta käsitellään. Myös työturvallisuus on aihe, joka huomioidaan jokaisessa logistiikkaketjun vaiheessa. Tämän kokonaisuuden tuotoksena on toimintamallit logistiikan ja operatiivisen toiminnan osalta, sekä ohjeita ja suosituksia käsiteltyihin teemoihin liittyen. Työssä on tarkoitus etsiä myös mahdollisia jatko-kehityskohteita. Nämä esitellään osana työn tuloksia.

## **7 Työssä käytetyt menetelmät ja työn toteutus**

### **7.1 Toimintatutkimus**

Toimintatutkimukselle tyypillistä on tutkimuksen ja käytännön samanaikaisuus, yhdistetään käytäntöä ja teoriaa. Tutkimustapa on osallistuva ja käytännön asioihin kohdistuva. Usein toimintatutkimus onkin hyvin käytännönläheistä, mikä erottaa sen perinteisestä akateemisesta tutkimuksesta. Toimintatutkimuksen tekijän on hyvä tiedostaa tämä asia, ettei käytännön työ korostu tieteellisyyden kustannuksella. Toimintatutkimuksessa tulee noudattaa systemaattisesti tieteen menetelmiä ja pyrkiä nostamaan niiden avulla hiljaista, käytännön tietoa teoriatiedon rinnalle. Toimintatutkimuksen tavoitteena on saattaa käytännön toiminta ja teoreettinen tutkimus vuorovaikutukseen, mutta pysyen kuitenkin perusolemukseltaan kriittisenä. (Juuti & Puusa 2020, 781–785.)

Toimintatutkimus on käsitteenä laajempi kuin yksittäinen tutkimusmenetelmä. Keskeisiä piirteitä toimintatutkimuksessa ovat käytännönläheisyys, pyrkimys muutokseen tutkittavassa kohteessa, systemaattinen toteutus ja ihmisten osallistuminen ja osallistaminen. Toimintatutkimusta tehdään useilla tutkimus- ja tieteenaloilla mm. kasvatustieteissä sekä työelämän ja kolmannen sektorin kehittämis- ja muutoshankkeissa. (Jyrkämä 2021.)

Toimintatutkimuksen kehittäjänä pidetään Saksasta Yhdysvaltoihin muuttanutta Kurt Lewiniä, joka otti termin käyttöön ja määritteli sen "vertailevaksi tutkimukseksi sosiaalisen toiminnan erilaisten muotojen olosuhteista ja vaikutuksista ja tutkimukseksi, joka johtaa sosiaaliseen toimintaan".

Hän kehitti myös toimintatutkimuksen perusmallin, jossa tutkimus etenee spiraalimaisena prosessina. Prosessin vaiheet ovat:

1. ongelman määrittely
2. tutkimus- ja muutossuunnitelma
3. suunnitelman toteutus
4. toteutuksen havainnointi ja arviointi
5. suunnitelman täsmennys havaintojen perusteella.

Paranneltua suunnitelmaa lähdetään toteuttamaan, seuraamaan ja arvioimaan edelleen. Tämä prosessi jatkuu ja kehitystyötä tehdään kierros kerrallaan, kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. (Jyrkämä 2021.)

Tässä työssä käytännön tietoa ja kokemuksia nostettiin esille haastatteluiden ja yritysvierailujen avulla sekä havainnoimalla ja keskustelemalla eri toimijoiden kanssa. Näin pyrittiin saamaan tietoa ja kokemuksia useasta eri näkökulmasta. Toimintatutkimuksen perusmallia käytettiin kehittämistyön menetelmänä energiapuuterminalin ja varastokentän toimintamalleja muodostaessa, sekä kokeilussa ympäristömelun vähentämiseksi. Tavoitteena oli edetä suunnittelu- ja toimintavaiheiden syklisesti etenevänä kehänä, jossa suunnitelmia kokeillaan ja parannetaan tehtyjen havaintojen perusteella.

## 7.2 Haastattelut

Tutkimus- ja kehitystöissä haastattelu on yleinen tapa tuottaa tutkimusaineistoa. Haastattelun tavoitteena on tuottaa tietoa ja aineistoa tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tämän vuoksi tutkijan tulee valmistautua haastattelutilanteeseen huolellisesti etukäteen, saadakseen omaan tutkimukseen parhaalla mahdollisella tavalla soveltuvan aineiston. Ennen haastatteluja onkin suositeltavaa tutustua haastattelua käsitteleviin teoksiin, jolloin tutkija voi perustella tekemänsä valinnat. (Hyvärinen, Suoninen & Vuori 2021.)

Haastattelu voi olla muodoltaan kokonaan strukturoidun ja vain vähän strukturoidun väliltä. Kokonaan strukturoidussa haastattelussa haastateltava vastaa etukäteen asetettuihin kysymyksiin, joissa vastausvaihtoehdot ovat rajalliset. Vähemmän strukturoiduissa haastatteluissa kysymykset ovat etukäteen laadittuja, mutta vastaamisen tapa on vapaa, ja haastattelutilanne voi olla enemmän keskustelunomainen. (Hyvärinen ym. 2021.)

Haastattelutapoja on myös erilaisia, teemahaastattelussa kysymyksiä ei muotoilla välttämättä etukäteen tarkasti, vaan haastattelijalla voi etukäteen suunnitella aihealueet, joista haluaa keskustella ja kysyä vapaamuotoisesti kysymyksiä näistä teemoista. Haastattelun voi toteuttaa myös ryhmäkeskusteluna / haastatteluna, jolloin haastattelijan rooli on enemmän ohjaava ja rohkaiseva kuin yksilohaastattelussa. (Hyvärinen ym. 2021.)

Haastattelun voi toteuttaa myös kävelyhaastatteluna. Erityisen hyvin kävelyhaastattelu sopii tilanteisiin, jossa tutkittavaa asiaa tarkastellaan konkreettisesti ympäristössä, esimerkiksi aluesuunnittelu. Kohteessa kävellessä se tarjoaa virikkeitä haastatteluun ja on myös dynamiikaltaan erilainen kuin perinteinen istumahaastattelu. Kävely on yhdessä tekemistä, ja sen avulla voi tuottaa rennon ja tasavertaisen keskustelutilanteen (Bamberg 2017, 669–705.)

Haastatteluja tehdään usein etänä joko tietokoneen kokousohjelmalla videopuheluna tai puhelinhaastatteluna. Etänä tehty haastattelu on edullinen ja nopea tapa, jossa maantieteelliset etäisyydet eivät ole haastattelun esteenä eivätkä

ohjaa haastateltavien valintaa. Myös haastattelujen sopiminen on joustavampaa. (Ikonen 2017, 706–705.)

Haastattelutilanteet kannattaa tallentaa, sillä havaintojen kirjaaminen haastattelutilanteessa on aina epätarkkaa ilman tallennusta. Tallentaminen helpottaa aineiston analyysia ja lisää työn luotettavuutta (Vilkkä 2021, 386–387). Tallennetut haastattelut muutetaan tekstiksi eli litteroidaan. Litteroidut haastattelut ovat osa tutkimusaineistoa, joten sillä on merkitystä, kuinka litterointi tehdään. Litterointia voidaan tehdä monella eri tarkkuudella, huomiota voidaan kiinnittää vain puheen sisältöön tai litterointia voidaan tarkentaa lisäämällä siihen myös vuorovaikutuksen ei-sanallisia yksityiskohtia kuten päällekkäispuhe, huokaukset, tauot, äänenpainot ja äänenvoimakkuus. Tarkkuustason määrittelee tutkimuksen tarkoitus ja tutkimuskysymys. (Ruusuvuori & Nikander 2017.)

Tässä työssä tehdyt haastattelut voidaan jakaa sidosryhmä- ja asiantuntijahaastatteluihin. Sidosryhmistä haastateltiin Itä-Suomen Biomassa Oy:n, Joensuu Biocoal Oy:n, Sekera Oy:n ja Savon voiman edustajia. Sidosryhmähaastattelut toteutettiin vapaamuotoisina, puolistrukturoituna teemahaastatteluna. Kahdelle haastateltavalle teemat lähetettiin etukäteen ja kahdessa haastattelussa teemat olivat valmisteltuja, mutta niitä ei esitetty etukäteen, niistä keskusteltiin vapaamuotoisesti haastattelun edetessä. Haastatteluista kolme tehtiin videopuheluna ja yksi kasvokkain.

Asiantuntijahaastatteluja työssä tehtiin kolme. Kaikilla haastatteluilla asiantuntijoilla oli pitkä kokemus energiapuuterminaalitoiminnasta ja haastateltavien valinnassa painotettiin sitä, että kokemus olisi nimenomaan ison kokoluokan toiminnasta. Näissä haastatteluissa teemat olivat etukäteen valmisteltuja ja haastateltavien tiedossa. Haastattelutilanteet olivat kuitenkin vapaamuotoisia ja keskustelunomaisia. Yhteiset teemat asiantuntijahaastatteluissa olivat energiapuun laadunhallinta ja varastointi, materiaalivirtojen hallinta, liikennejärjestelyt terminaleissa ja toimenpiteet ympäristömelun vähentämiseksi. Haastatteluista kaksi toteutettiin videopuheluna ja yksi kasvokkain. Haastatteluista kertynyttä aineistoa täydennettiin sähköpostikeskustelujen avulla, mikäli oli tarvetta.

Tehdyt sidosryhmä- ja asiantuntijahaastattelut tallennettiin ja litteroitiin. Litteroinnin tarkkuus oli perusmuotoinen, täytesanoja ja ei-sanallisia yksityiskohtia ei huomioitu, vain asiasisältö kirjattiin ylös.

### **7.3 Yritysvierailut**

Haastattelujen lisäksi aineistoa kerättiin yritysvierailujen avulla. Vierailujen tavoitteena oli etsiä sellaisia toimintatapoja ja käytäntöjä, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi vierailukohteessa ja kehittää terminaalin toimintaa kerättyä aineistoa hyväksi käyttäen. Menetelmänä tätä voisi kuvata vertailuanalyysiksi, jossa omaa toimintaa vertaillaan muiden vastaavaan toimintaan. Tavoitteena on oppia toisilta ja kyseenalaistaa omaa toimintaa. Erona tavanomaisiin yritysvierailuihin, työn aikana tehtyihin vierailuihin valmistauduttiin valmistelemalla tarkempi havainnointi / kysymyslista ennen vierailua, jolloin kohteesta oppiminen ja aineistonkeruu oli systemaattisempaa.

Yritysvierailuja tämän työn kuluessa tehtiin neljä. Kaksi vierailusta kohdistui ison kokoluokan energiapuuterminaaleihin, yksi voimalaitokselle, jossa oli kiinteä käyttöpaikkahakkuri ja yhden vierailun kohteena oli palkki- ja puulevytuotteita valmistava tehdas sekä sen yhteydessä oleva voimalaitos. Kaksi kohteista sijaitsi Pohjois-Suomessa ja kaksi länsirannikolla.

Kaikista vierailukohteista tehdyt havainnot ja huomiot kirjattiin muistiin päiväkirjaan, jota pidettiin työn aikana. Kahdessa kohteessa muistiinpanojen lisäksi tehtiin myös haastattelut, jotka tallennettiin ja litteroitiin. Toinen näistä oli muodoltaan ryhmäkeskustelu.

### **7.4 Toimintamallien muodostaminen energiapuuterminaaliin sekä varastokentälle**

Aineistoa energiapuuterminaalin ja varastokentän toimintamallin muodostamiseksi kerättiin kirjallisuuden lisäksi käytännön toimijoilta, joiden tietoja ja taitoja

pyrittiin nostamaan esille haastatteluiden ja keskusteluiden avulla. Kehittämistyössä haettiin käytännön kokemuksia useasta eri näkökulmasta, haastateltiin operatiivisesta toiminnasta vastaavan yrityksen työnjohtoa ja pyrittiin syventämään ymmärrystä käytännön työstä tutustumalla hakkurin ja puutavara-auton toimintaan niiden normaalissa työympäristössä. Tutustumismenetelmänä oli nousta ajoneuvon kyytiin, keskustella kuljettajan kanssa ja tehdä havaintoja, jotka kirjattiin ylös päiväkirjaan. Hakkurin kyydissä havainnointikertoja oli kaksi noin tunnin mittaista jaksoa ja puutavara-auton kyydissä havaintoja kerättiin yhden työpäivän ajan.

Toimintamallien suunnitteluvaiheissa esille noussutta käytännön tietoa muutettiin kirjalliseen muotoon täydennettynä tietoperustasta esiin tulleilla tiedoilla. Tavoitteena oli kokeilla tehtyjä suunnitelmia ja havainnoida niiden toimivuutta. Havaintojen perusteella suunnitelmaa täsmennettiin ja parannettiin. Tavoitteena oli edetä näin, suunnittelu- ja toimintavaiheiden syklisesti etenevänä kehänä.

Suunniteltujen toimintamallien toteuttamisessa tuli vastaan odottamattomia haasteita. Ympäristömelun vuoksi haketustoiminta varastokentällä keskeytettiin toistaiseksi, joten suunniteltua mallia ei päästy kokeilemaan. Alueelle tehtiin uusi, paranneltu suunnitelma, jossa ympäristömelu on huomioitu paremmin. Suunnitelmalle tehdään kuitenkin melumallinnus ennen kuin sitä kokeillaan käytännössä. Melumallinnuksen tulokset eivät ehdi valmistua tämän ennen tämän työn valmistumista.

Energiapuuterminaalien toimintamallin kokeilua viivästytti raakapuun toimitusten ennakoimattomuus. Alue täyttyi hyvin nopeasti niin täyteen, että hakkuri ei pystynyt sijoittumaan ja työskentelemään terminaalissa suunnitelman mukaisesti. Suunnitelman valmistumisesta kesti useita viikkoja ennen kuin sitä pääsi kokeilemaan käytännössä. Kokemuksia ja havaintoja mallista kuitenkin saatiin ja niiden perusteella on suunniteltu uusi, paranneltu malli. Vaatii kuitenkin aikaa ennen kuin muutokset saadaan toteutettua käytännössä, joten kokemuksia parantellusta mallista ei saada tämän työn puitteissa.



## 7.5 Kevytrakenteisen suojan vaikutus ympäristömeluun

Työn aikana kokeiltiin kevytrakenteisen teltan vaikutusta mobiilimurskaimen aiheuttamaan ympäristömeluun. (kuva 7) Kokeilun tavoitteena oli saada käsitys siitä, saadaanko murskaustyön aiheuttamaa melua alemmaksi kevyen suojarakenteen avulla vai tarvitseeko melua estävän rakenteen olla järeämpi. Kokeen suunnittelutyö tehtiin yhdessä toimeksiantajan ja alueella operoivan urakoitsijan kanssa.



Kuva 7. Melumittaus (kuva: Mikko Hiltunen)

Mitattava kohde oli Vermeer 4000 polttomoottorikäyttöinen mobiilimurskain. Melunmittaukseen käytettiin RION NL-53 -äänitasomittaria, joka on suunniteltu kaupunkien ja teollisuuden melunmittauksiin. (MIP 2024). Koneen läheltä melua mitattiin kolmesta suunnasta, edestä, sivulta ja takaa. Etäisyys mitattavasta kohteesta oli 30 m koneen lähellä tehdyissä mittauksissa. Jokaisesta mittapistestä kirjattiin ylös 10 min mittausjakson keskimääräinen äänenvoimakkuus. Näiden lisäksi ympäristömelua mitattiin kokeen aikana kahdesta hieman kauempana sijaitsevassa mittapisteeltä, jossa toimeksiantaja on tehnyt säännöllisiä mittauksia aikaisemmin.

Melunhallintaan liittyen eräässä yritysvierailukohteessa tehtiin vertailevia melumittauksia (Kuva 8). Tavoitteena oli saada suuntaa antava käsitys käyttöpaikkahakkurin ja mobiilimurskaimen melutasojen erosta.



Kuva 8: Melumittaus käyttöpaikkahakkurilla (Kuva: Mikko Hiltunen)

Kohteessa oli Vermeer 6000 -sähkökäyttöinen hakkuri sijoitettuna rakennuksen sisälle. Kokonaisuuteen kuului myös ennen hakkuria sijaitseva, rakennuksen ulkopuolelle sijoitettu syöttöpöytä sekä hakkurin jälkeen oleva, niin ikään rakennuksen ulkopuolella sijaitseva siirtokuljetin. Tuloksia verrataan tämän työn yhteydessä mitattuihin mobiilimurskaimen äänitasoihin.

Käsiteltävä puu oli molemmissa mittauksissa samankaltaista, karsittua ainespuun mitat täyttävää rankaa, ja mittapisteet sekä etäisyydet ovat vertailukelpoisia. Mittalaite oli sama ja mittaustulos on esitetty 10 min. mittausjakson keskimääräinen äänenvoimakkuus.

## 7.6 Alueen liikennejärjestelyt

Alueen liikennejärjestelyistä ja niiden kehitystarpeista kerättiin tietoa kentällä tehtyjen havaintojen, operatiiviseen toimintaan osallistuvien henkilöiden haastatteluiden sekä Savon Voiman havaintojärjestelmään tehtyjen kehitysehdotusten perusteella. Koska uusi energiapuutermiinaali oli jo käytössä, heti työn alkuvaiheessa alueelle tehtiin havainnointikierros, jonka tarkoituksena oli löytää akuutteja kehittämiskohteita. Havainnointikierroksen perusteella alueelle lisättiin nopeusrajoituskylttejä sekä poistettiin nykyiseen tilanteeseen sopimattomia opasteita, esimerkiksi kielletty ajosuunta -opasteita. Alueen liikennejärjestelyiden suunnittelu jatkui perehtymällä liikennesuunnitteluun liittyvään kirjalliseen aineistoon sekä haastattelu- ja havaintoaineistoon.

Koko voimalaitoksen polttoaineiden käsittelyalueelle tehtiin tämän kehitystyön aikana liikennesuunnitelma raskaalle liikenteelle, jossa huomioitiin aineistosta nousseet kehitysehdotukset sekä kirjallisista aineistoista ja lainsäädännöstä esille nousseet suositukset ja vaatimukset. Suunnitelmassa huomioitiin vaatimus liikennesääntöjen noudattamisesta myös tehtaan sisäisessä liikenteessä (Siirilä ym. 2021,47.) sekä suosituksia liikenteen kiertosuunnan järjestämiseksi vastapäivään ja peruuttamisen tarpeen minimointi (Merjama 2017, 4). Näiden lisäksi suunnitelmaa tehdessä huomioitiin hake- ja puutavara-autojen kuljettajien kanssa käydyissä keskusteluissa esille nousseita asioita, esimerkiksi raskaan liikenteen kiertosuuntaan liittyen.

Haastatteluiden ja toimeksiantajan havainnointijärjestelmästä ilmeni tarve lisäopasteille ohjaamaan liikennettä polttoaineen purkupaikoille ja energiapuutermiinaaliin. Suunnitelma lisäopasteista tehtiin yritysvierailuilla tehtyjen havaintojen, viranomais-suositusten sekä paikallisen opasteita valmistavan toimijan suositusten perusteella. (Joenkilpituote 2024).

## **8 Tulokset toiminnan suunnittelu**

### **8.1 Materiaalivirtojen hallinta**

#### **8.1.1 Toimitusten ohjaus**

Työn aikana ongelmaksi havaittiin materiaalivirtojen ennakoitavuus. Välillä puutavaraa tulee todella paljon ja varastoalueet täyttyvät hallitsemattomasti, välillä toimitukset ovat hyvin vähäisiä. Tästä seurasi ongelmia hakkurin optimaaliseen työskentelyyn ja melunhallintaan sitä kautta, että hakkuri on välillä joutunut työskentelemään paikoissa, joissa ei ole puupinoa meluesteenä.

Materiaalivirtojen hallinnan osalta keskeiseksi kysymykseksi muodostui, kuinka saadaan puuntoimituksia ohjattua niin ettei syntyisi tilannetta, jossa puuta tulee liikaa tai liian vähän. Vaihtoehtoja tarkasteltiin nykyisen hyvin väljän, kuukausikiintiöihin perustuvan tilausmallin ja tiukan, ennalta määrättyjen purkuaikojen välillä.

Asiantuntijoiden mukaan puuntoimitusten ohjaamisessa korostuu joustavuus. Ennalta määrätty toimitusajat koettiin hankaliksi kahdesta syystä. Metsäpäässä olosuhteet ovat muuttuvia, esimerkiksi liukkaus tai laiterikot voivat viivästyttää ajoja merkittävästi ja tämän takia tarkka saapumisaika on vaikea ennakoida. Toisena perusteena esille nousi se, että energiapuutoimitukset ovat kuljetusyritykselle tai puuntoimittajalle usein toissijaista toimintaa, jolloin joustavuuden häviäminen voi tarkoittaa sitä, että energiapuukuormat jäävät ajamatta. Joustavuudeltaan paremmaksi vaihtoehdoksi ennalta määrätuille toimitusajoille asiantuntijat arvioivat vuorokausi- tai viikkokohtaisiin toimitusmääriin perustuvan puuntoimitusten ohjauksen.

Ennalta määrätty toimitusajat voivat olla perusteltuja, mikäli haketus tehdään käyttöpaikkahakkurilla ja saapuva kuorma syötetään suoraan hakkuriin. Tällaisella toimintamallilla ennakkoon varatut toimitusajat lisäävät

käyttöpaikkahakkurin tehokkuutta, vähentävät odotteluaikoja terminaalialueella ja mahdollistavat tehokkaan puutavaran käsittelyn ilman ylimääräisiä lastauskertoja. Tällainen malli oli käytössä eräässä vierailukohteessa.

Eräs asiantuntija esitteli haastattelun yhteydessä heidän mallinsa, jossa viikkotilauksen perusteena on puskurivaraston määrälle suunnitellut ylä- ja alarajat. Varaston määrän lähentyessä rajoja, tilausta muutetaan tarpeen mukaan. Tämän kaltainen malli voisi toimia materiaalivirtojen hallinnan perusmallina. Mallin rakentaminen vaatii kehitystyötä mm. tarvittavien varastomäärien määrittelyn suhteen ja aktiivista seurantaan varastomäärien kehittymisestä. Tämän edellytyksenä on helposti saatava tieto varastomääristä sekä kuutioina että energiasisälön osalta.

### **8.1.2 Mittaus ja varastomäärien arviointi**

Osana työtä pyydettiin tutkimaan hakettamattoman rankapuun mittaukseen ja määrän arviointiin soveltuvia menettelyjä. Energia-alalla on perinteisesti käytetty maksun perusteena ja varastomäärien arvioinnissa hakkeen energiasisältöä  $\text{MWh} / \text{t}$  tai  $\text{MWh} / \text{m}^3$ . Karsitun rangon luovutus- työ- ja urakointimittauksessa maksun perusteena käytetään yleisesti todellista kuorellista tilavuutta, jolloin mittayksikkönä on kuorellinen kiintokuutiometri. Poikkeuksena tästä ovat kuljetuksen urakointimaksut, jotka ovat pääsääntöisesti painoperustaisia (Metsäteho 2024). Tässä tapauksessa on tiedossa rankapuuvarastojen tarkka massa saapumishetkellä, joten massaan perustuvaa varastomäärien arviointia on hyvä tutkia.

Kirjallisuuden perusteella varastoitavan rankapuun energiasisältö ja massa muuttuvat varastoinnin aikana. Kesän yli varastoidun puukasan kosteus voi laskea 55 %:sta noin 40 %:iin, mikä tarkoittaa sitä, että vedestä poistuu lähes puolet ja lämpöarvo nousee 10 %. (Hillebrand & Nurmi 2004, 53; Erkkilä ym. 2011, 31–50). Puun tilavuuteen varastoinnilla ei ole suurta vaikutusta. Kosteuden muutos vaikuttaa tilavuuteen merkittävästi vasta, kun kosteus alittaa

puunsyiden kyllästymispisteen (23–24 %). Näin ei esimerkiksi kuitukokoisella puulla käytännössä tapahdu. (Lindblad & Repola 2019, 4.)

Puutavaran tilavuuden määrittämiseen voidaan käyttää painoon perustuvaa menetelmää tai pinomittausta, Näistä on tarkemmat kuvaukset työn tietoperustassa. Viime vuosikymmenen painoon perustuvat mittaussmenetelmät ovat syrjäyttäneet perinteisen pinomittauksen (Melkas 2023.) Energiapuulla painoon perustuva mittaus voi olla usein ainoa käyttökelpoinen mittaustapa. (Lindblad & Repola 2019).

Eräs asiantuntija arvioi haastattelun yhteydessä painoon perustuvan mittauksen soveltuvan hyvin etenkin pieniläpimittaisen energiapuun tilavuuden määrittämiseen. Arviotaan hän perusteli hakkuukonemittauksen epätarkkuudella, hakkuupään mittalaite on kalibroitu yli viiden senttimetrin latvaläpimitalle sekä sillä, että hakkuualalle jäävästä puusta ei ostajan tarvitse maksaa urakoitsijalle. Hänen kokemuksensa mukaan metsään jää puuta kuljettajan inhimillisten erehdysten vuoksi sekä haastavissa olosuhteissa pieniläpimittaista puuta saatetaan käyttää ajouran kantavuuden parantamiseen. Heidän organisaationsa käyttää urakointimaksun perusteena kuorellista kiintokuutiomäärää, joka määritetään kuormainvaakamittauksen ja tuoretiheyslukujen avulla.

## 8.2 Hyönteistuhot ja niiden estäminen

Yksi kaikissa asiantuntijahaastatteluissa käsitelty teema oli hyönteistuhot ja laki metsätuhojen torjunnasta. Haastattelujen perusteella laki metsätuhojen torjunnasta tunnetaan hyvin terminaalivarastointia harjoittavien toimijoiden keskuudessa. laki edellyttää, että tyviläpimitaltaan yli 10 cm havupuutavara on kuljetettava pois varastoilta annettuihin määräaikoihin mennessä. Terminaalitoiminnassa puun pois kuljettaminen ei ole kuitenkaan mahdollinen vaihtoehto. Usein tilanne on päinvastoin, puun toimittajilla on painetta saada havupuutavara pois tien varresta laissa esitettyihin määräaikoihin mennessä. Usein ainoana vaihtona on ajaa puu terminaaliin, jossa laadunhallinnan kannalta puuta välttämättömyydestä säilyttää hakettamattomana. Tämä tunnistettiin haasteeksi energiapuuta käsittelevien toimijoiden keskuudessa.

Laki metsätuhojen torjunnasta määrittelee vaihtoehtoiset toimenpiteet puun poiskuljettamiselle. Laki tarjoaa vaihtoehtoisiksi puutavaran peittämisen paperilla tai lehtipuukerroksella, kastelun, kuorimisen, torjunta-ainekäsittelyn, mäntypuutavaran sijoittamisen riittävän kauas saman puulajin metsiköstä tai muulla tavoin on huolehdittava siitä, että puutavarasta ei pääse merkittävästi leviämään metsätuhoja aiheuttavia hyönteisiä. (Laki metsätuhojen torjunnasta 4 §). Viimeinen kohta voi terminaalitoiminnassa tarkoittaa esimerkiksi puun hakettamista. (Juntunen & Luiro 2016, 23).

Tässä työssä haastatelluilla asiantuntijoilla oli kokemusta kasojen peittelystä lehtipuulla ja peittopaperilla. Eräs asiantuntija piti parempana peittelyä lehtipuulla, kokemukset paperilla peittämisestä olivat negatiivisia työllistävyyden ja aiheutuvien kustannusten vuoksi. Yksi haastateltava kertoi heidän käyttävän toiminnassaan molempia keinoja. Haastateltava kertoi myös, että heidän terminaalinsa ovat luokiteltu metsätuholain alaiseksi tai siitä vapaiksi alueiksi perustuen mm. puumäärään, varastoitavaan puulajiin ja terminaalin sijaintiin suhteessa ympäröiviin metsiin. Metsätuholain alaisilla terminaaleilla on sovittu valvovan viranomaisen kanssa riittävät suojaustoimenpiteet, tai he kykenevät toimimaan niin, että hyönteisten parveilun aikaan terminaalissa ei ole lain piiriin kuuluvaa kuorellista tuoretta puutavaraa.

Työssä kerätyn haastatteluaineiston tulokset tämän teeman osalta ovat samansuuntaisia mitä aikaisemmin vastaavissa toimijoiden haastatteluissa on todettu. Energiapuun varastoinnissa terminaaleissa riski hyönteistuhojen leviämiseen on todennäköinen ja useat laissa esitetyt toimenpiteet kuten sadetus, kuorinta ja torjunta-ainekäsittely eivät ole käyttökelpoisia energiapuun varastoinnissa. Hyönteistuhojen torjuntatoimenpiteinä on käytetty pinojen peittämistä lehtipuulla ja paperipeitteellä tai puuta on haketettu, mikäli se on mahdollista ja toiminnan kannalta järkevää. (Savolainen 2015, 38–40.) Haastateltujen käsitystä, että Lakia metsätuhoista ei tarvitse huomioida heidän terminaaleissansa, tukee Luonnonvarakeskuksen (2021) tekemässä tutkimushaastattelussa esitetty arvio, joka mukaan valtaosa käytössä olevista suurista puutermiinaaleista on metsätuhokivapaita. (Ylioja ym. 2021, 43).

## 9 Tulokset logistiikan kehittäminen

### 9.1 Melunhallinta

Terminaalitoiminnassa melua aiheuttavia lähteitä ovat puun haketus / murskaus, työkoneet ja raskas liikenne. Melu on eräs merkittävimmistä aiheista, joista on tullut valitusta ympäristölupien käsittelyvaiheessa. (Impola & Tiihonen 2011, 15.) Tätä näkemystä tukee myös toimeksiantajan sekä työn aikana haastateltujen asiantuntijoiden kokemukset, valitukset ovat koskeneet lähes poikkeuksetta toiminnan aiheuttamaa melua. Suurin melun lähde on haketustyöstä lähtevä melu, mutta alan toimijoilla on ollut haasteita myös kuorma-autojen ja työkoneiden aiheuttaman melusta.

Työssä haastatellut terminaaaleissa ja käyttöpaikalla polttoaineiden valmistusta harjoittavat toimijat ovat poikkeuksetta tehneet melunhallintatoimenpiteitä. Siirrettäviin mobiilihakkureihin / murskaimiin perustuvassa toimintamallissa tehokkaimmaksi ja toteutukseltaan yksinkertaisemmaksi ovat osoittautuneet rankapuusta pinotut meluesteet.

Melunmittauksia työkseen tekevä ympäristötekniikan asiantuntija arvioi puupinon olevan hyvä melueste, sillä se on muodoltaan epäsäännöllinen, mikä edistää ääniaaltojen hajoamista ja pino on pinnaltaan huokoista, jolloin ääniaalto imeytyy paremmin materiaaliin ja poistaa näin ääniaaltojen heijastumia. Tässä tapauksessa myös pinon sijainti melunlähteen lähellä on asiantuntijan mukaan eduksi, sillä meluesteen ääntä vaimentava vaikutus on sitä parempi, mitä lähempänä melun lähdettä se on.

Yritysvierailuilla ja haastatteluissa tuli esille, että puupinoista muodostettu melueste ei ole ollut kaikissa kohteissa riittävä. Säädösten mukaiset ympäristömelun raja-arvot ehkä alitetaan, mutta melu on ollut silti häiritsevää, sillä ihmisen kokemus melun häiritsevyydestä on yksilöllinen. (Vartiainen, Turunen, Ung-Lanki & Lanki 2015, 252).



Melun kannalta haasteellisimmissa kohteissa, missä toiminta on jatkuvaa ja häiriintyvät kohteet ovat lähellä, tehokkaaksi meluntorjuntakeinoksi on osoittautunut käyttöpaikkahakkurin rakentaminen. Käyttöpaikkahakkuri oli sijoitettu näissä kohteissa rakennuksen sisälle, mikä vähentää kokemusten mukaan ympäristömelua merkittävästi.

Yhdessä yritysvierailukohteessa oli kiinteä käyttöpaikkamurskain, joka sijaitsi ulkona. Murskain oli muokattu polttomoottorikäyttöisestä mobiilimurskaimesta sähkökäyttöiseksi. Keskusteluista kävi ilmi että, mobiilimurskaimen käyttövoiman muuttaminen polttomoottorista sähköiseksi vähentää ympäristömelua, mutta muutos ei ole oleellisen suuri kokonaisuuden kannalta, sillä voimakasta melua lähtee myös puun haketuksesta ja tähän käyttövoimalla ei ole merkitystä.

Kirjallisuudessa melunhallintakeinoiksi esitetään yleisesti meluesteen muodostamista häiriintyvän kohteen ja melulähteen välille. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kiinteät meluvallit ja aidat tai käsiteltävistä raaka-aineista muodostettu meluvalli. Melun kannalta haasteellisimmat toiminnot suositellaan siirrettäväksi sisätiloihin. (Ekroos & Warsta 2015, 53–57; Impola & Tiihonen 2011, 20.)

Työn aikana kokeiltiin kevytrakenteisen teltan vaikutusta mobiilimurskaimen aiheuttamaan meluun. Saatujen mittaustulosten mukaan kevyellä suojarakenteella ei saavutettu merkittävää muutosta ympäristömelun suhteen. Tulosten perusteella päädyttiin johtopäätökseen, että kehitystyötä ei jatketa kevytrakenteisen meluesteen ympärillä. Mittaustulokset on esitetty liitteessä. (Liite 7).

Edellisessä mittauksessa saatuja tuloksia vertailtiin yritysvierailun yhteydessä tehtyihin käyttöpaikkahakkurin melumittauksiin. Tässä vertailussa saatiin merkittäviä eroja, mutta tuloksiin tulee suhtautua vain suuntaa antavina ja kriittisesti, sillä ne eivät ole ammattilaisen tekemiä. Vertailun tuloksen ovat esitetty liitteessä. (Liite 7)

## 9.2 Varastoalueiden käyttösuunnitelmat ja alueen liikennejärjestelyt

Työn tuloksena kehitettiin rankapuun käsittelyyn suunnitellulle alueille toimintamallit. (Liitteet 1–4) Mallien suunnittelussa on korostettu erityisesti ympäristömelun hallintaa, haketustyön sujuvuutta sekä raskaan liikenteen kiertosuuntia, tavoitteena minimoida kohtaamiset ja peruuttelu kuorma-autolla. Myös paloturvallisuus huomioitiin suunnittelussa. Mallit molemmille rankapuun käsittelyalueille muodostettiin toimintatutkimuksen keinoin, syklisesti vuorottelevien suunnittelu- ja toimintavaiheiden avulla. Molemmille alueille tehtiin kaksi suunnitelmaa. Toinen suunnitelma on kehitetty ensimmäisessä versiossa havaittujen puutteiden ja kehitysehdotusten pohjalta.

Alueen liikennejärjestelyihin suunniteltu parannuksia kiertosuuntien ja uusien opasteiden myötä. Luonnos raskaan liikenteen kulkusuunnista on esitetty työn liitteenä. (liite 5) Liitteessä on esitetty myös kaksi mahdollista paikkaa terminaalioperaattorin tarvitsemalle huoltoalueelle. Huoltoalueiden sijaintia on pohdittu turvallisuuden ja käytännön toiminnan näkökulmista. Näkökulmat ovat tuotu esille luonnoksessa.

Alueelle suunniteltiin lisäopasteita raskaan liikenteen sujuvuuden parantamiseksi. (Liite 6) Opasteiden värit ovat suunniteltu tieliikennemerkkien mukaisesti: vaalea pohja + musta kirjain opastaa paikalliskohteeseen ja pohjan heijastavuus on R1, mitä käytetään yleensä tämän kaltaisissa opasteissa. (Väylävirasto 2024, Joenkilpituote 2024).

Muuten kirjaimet ja nuolet ovat tyyliltään samankaltaisia kuin voimalaitosalueella on nykyisin käytössä, eli ei suora kopio liikennemerkeistä. Kirjaimen korkeus on 10 cm, mikä on pienempi kuin liikennemerkeissä, mutta havaintojen mukaan alueen liikennenopeuksilla selkeä. Iso opastetaulu on siirrettävä, liikenne voidaan ohjata biomontulle nykyistä reittiä tai vaihtoehtoisesti kuljettimien alta.

### 9.3 Varastopinojen muodostaminen

Varastopinojen muodostamista tarkasteltiin tässä työssä laadunhallinnan ja turvallisuuden kannalta. Aineisto kerättiin asiantuntijahaastatteluiden, yritysvierailujen yhteydessä käytyjen keskustelujen ja havaintojen, hakkurin- ja puutavara-auton kuljettajien käytyjen keskusteluiden sekä kehittämistyön kohteessa tehtyjen havaintojen avulla.

Laadunhallinnan näkökulmasta haastateltujen toimijoiden ja havaintojen perusteella keinot varastopinojen muodostamiseen olivat hyvin perinteiset, pinojen alla käytettiin aluspuita ja toimijoiden terminaalit sijaitsivat lähtökohtaisesti avoimilla, pohjaltaan kuivilla paikoilla. Pinojen väliin ei pääsääntöisesti jätetty kuivumista edistäviä välejä, vaan varastoalueen kapasiteetti pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman tarkkaan. Välipuita pinon kuivamisen edistämiseksi ei vierailukohteissa tai haastateltujen toimijoiden keskuudessa käytetty. Eräs haastateltava totesi, että niillä ei ole kuivamisen kannalta käytännöllistä hyötyä ja ovat olleet turvallisuusriski, sillä välipuiden päältä on liukunut pölkkyjä hakkurin päälle. Varastopinojen peittämistä paperilla ei kukaan haastatelluista ison kokoluokan toimijoista pitänyt hyödyllisenä laadunhallinnan näkökulmasta. Pinojen peittämistä oli tehty metsätuholain alaisissa terminaaleissa.

Joillakin paikkakunnilla paikallinen pelastusviranomainen on vaatinut selkeät ajoväylät pinojen väliin niin, että jokaiselle varastopinolle pääsee tarvittaessa. Leveä väylä edistää myös puun kuivumista. Yhden asiantuntijan kokemuksen mukaan kapeilla, n. 0,5 m – 1 m raolla pinojen välissä ei ole merkitystä puun kuivamiseen. Turvallisuusnäkökulmasta pieni rako pinojen välissä on kuitenkin hyvä. Hakkurin kuljettajien mukaan tiiviisti toisiaan vasten ladotut pinot ovat haasteellisia, pölkkyjä joutuu vetämään irti toisistaan. Tällaisen tilanteen vuoksi on tapahtunut vaaratilanne, jossa takana oleva huonosti ladottu ja liian korkea pino kaatui hakkurin päälle.

Varastopinon korkeudesta kaikilla toimijoilla oli yhdensuuntainen näkemys. Työskentelyn sujuvuuden ja turvallisuuden sopiva korkeus on noin viisi metriä.

Puutavara-auton kuljettajan mukaan tuolle korkeudelle näkyvyys on riittävän hyvä, jolloin pinon saa ladottua hyvin ja haketus onnistuu vielä sujuvasti.

Esimerkkinä liian korkean varastopinon aiheuttamasta turvallisuusriskistä eräs haastateltava kertoi, kuinka puutavara-auton kuljettaja oli jäänyt jumiin hytilliseen nosturiin pinon sortuessa hytin ovea vasten. Havaintojen mukaan voimailaitoksen energiapuutermiinalissa on tehty liian korkeita pinoja, arviolta 6–7 metriä.

#### **9.4 Rankahakkeen varastointi**

Rankahakkeella tehdyillä tutkimuksilla varastokasan lämpiäminen ei ole niin voimakasta kuin kuorella ja hakkuutähdehakkeella. Tutkimuksissa on todettu n. 35 C° lämpötiloja rankahakekassassa, mikä on melko pieni esim. kuorikasojen tutkimuksissa havaittuihin, jopa 70–80 C lämpötiloihin. Tasalaatuisessa rankahakekassassa itsesyttymisriski on pieni ja kuiva-aine tappiot jäävät melko vähäiseksi. (Ahmadinia ym. 2022, 9.) Myös yritysvierailuiden aikana esille tulleet käytännön kokemukset ja havainnot tukevat tutkimustuloksia.

Toiminnan suunnittelussa nämä havainnot on hyvä huomioida. Mikäli tulee tarve varastoida rankahaketta pidempiä aikoja, se voidaan tehdä tässä työssä käytettyjen lähteiden perusteella tehdä, muutokset energiasisällössä tai riski itsesyttymiseen eivät ole merkittäviä.

## **10 Yhteenveto tuloksista**

### **10.1 Keskeiset tulokset**

Haketuksen aiheuttama ympäristömelu on ollut haaste kehitystyön kohteena olevalla polttoaineiden käsittelyalueella. Tässä työssä etsittiin ratkaisuja ympäristömelun hallintaan mobiilihakkuriin perustuvalla menetelmällä. Työn aikana mitattiin kevyen rakenteen (pressutelttä) vaikutusta melutasoon. Tuloksien

perusteella kevyen rakenteen vaikutus on niin vähäinen, ettei jatkokehitystoimiin kannata ryhtyä. Kokeilun aikana havaittiin mobiilimurskaimen melutason olevan niin suuri, että sillä ei voi työskennellä polttoaineen käsittelyalueella kuin suotuisissa tuuliolosuhteissa, eli tuulensuunnan ollessa poispäin häiriintyvistä kohteista.

Meluesteen muodostaminen rankapuupinoista on yleisesti käytetty, vaikutukseltaan merkittävä melunhallintakeino. Haasteellisimmissa kohteissa tämä ei ole kuitenkaan ollut riittävä. Näissä kohteissa tehokkaimmaksi keinoksi on osoittautunut kiinteä, rakennuksen sisällä sijaitseva hakkuri. Voimalaitosalueella käsiteltävät puumäärät ja tavoiteltu toiminta-aika (07-22) huomioiden on oletettavaa, että rankapuupinoista muodostettu melueste ei ole tässä tapauksessa riittävä, vaan tarvitaan järeämpiä melunhallintatoimenpiteitä.

Tässä työssä kehitettiin rankapuun käsittelyyn suunnitellulle alueille toimintamallit, jotka ovat esitetty työn liitteenä. (Liitteet 1–4) Mallit ovat muodostettu käytännön kokemuksista nousseen tiedon ja teorian tiedon vuorovaikutuksen avulla. Mallien suunnittelussa on korostettu erityisesti ympäristömelun hallintaa ja haketustyön sujuvuutta, sillä nämä ovat kokemusten mukaan avainasemassa toiminnan jatkuvuuden ja tehokkuuden kannalta.

Alueen liikennejärjestelyihin suunniteltu parannuksia kiertosuuntien ja uusien opasteiden myötä. Luonnos raskaan liikenteen kulkusuunnista on esitetty työn liitteenä. (Liite 5) Liitteessä on esitetty myös kaksi mahdollista paikkaa terminaalioperaattorin tarvitsemalle huoltoalueelle. Huoltoalueiden sijaintia on pohdittu turvallisuuden ja käytännön toiminnan näkökulmista. Näkökulmat ovat tuotu esille luonnoksessa.

Laki metsätuhojen torjunnasta huomioitava toiminnassa. Lain ensisijainen tavoite, puun kuljettaminen pois varastopaikalta, ei tule käyttöpaikalla sijaitsevan varaston kohdalla kysymykseen, joten laissa esitetyistä vaihtoehtoisista menetelmistä on käytettävä tilanteeseen soveltuvaa. Aineiston perusteella käyttökelpoisimpia ovat puutavaran peittäminen lehtipuulla tai paperilla sekä haketus.

Laki metsätuhojen torjunnasta velvoittaa ammattimaiset toiminnanharjoittajat toteuttamaan omavalvontaa. Tavoitteena on huolehtia siitä, että metsätuholain velvoitteet täyttyvät. Omavalvontavelvollisuuden täyttämiseksi toiminnanharjoittajan on laadittava omavalvontasuunnitelma ja nimettävä vastuuhenkilö. Ammattimainen toiminnanharjoittaja on velvollinen tekemään Metsäkeskukselle omavalvontailmoituksen, jos lain ja velvoitteiden noudattaminen on vaarassa estyä.

## **10.2 Muut huomiot ja suositukset**

Aineiston perusteella varastomäärien arvioinnissa hakettamattoman rankapuun osalta on suositeltavaa käyttää yksikkönä kiintokuutiometriä ( $m^3$ ), sillä tilavuus ei muutu merkittävästi varastoinnin aikana. Muut mahdolliset määrän arviointiin soveltuvat yksiköt, energiasisältö ja massa, voivat muuttua varastoinnin aikana merkittävästi riippuen varastointiajan pituudesta ja -sääolosuhteista.

Voimalaitosalueen ulkopuolisen liikenteen osalta esille nousi Ivontien ja Ilomantsintien risteys, joka jo tällä hetkellä ruuhkautuu helposti, havaintojen mukaan kuorma-autot joutuvat liittymään hyvin ahtaisiin väleihin, mikä nostaa liikenneonnettomuuden todennäköisyyttä ja hidastaa alueelta poistumista. Liikennemäärien kasvaessa biohiilitehtaan myötä ongelma tulee oletettavasti pahentumaan. Tämä aihe toivottiin nostettavaksi esille ja viemään viestiä liikennesuunnittelusta vastaaville tahoille.

## **10.3 Jatkokehitystarpeet**

### **10.3.1 Melunhallinta**

Ympäristömelun hallinnan osalta jatkokehitystoimenpiteinä ovat tehtyjen suunnitelmien hyödyntäminen melumallinnuksessa ja suunnitelmien päivitys saatujen tuloksien perusteella. Melumallinnuksen tulokset ja päivitettyjen suunnitelmien

toimivuus varmistetaan virallisilla, ulkopuolisen tahon tekemillä melumittauksilla. Työn tulosten perusteella, käsiteltävät puumäärät ja tavoitellut toiminta-ajat huomioiden, on aiheellista varautua myös järeämpiin melunhallintatoimenpiteisiin. Näistä tehokkaimmaksi sekä kirjallisuuden että käytännön kokemuksien mukaan on osoittautunut kiinteän käyttöpaikkahakkurin rakentaminen. Suunnittelu-projekti käyttöpaikkahakkurin rakentamisesta on jo käynnistetty.

### **10.3.2 Laadunhallinta**

Eräs merkittävä rankapuun laatuun liittyvä tekijä on puutavaran mukana tulevat epäpuhtaudet, kivet ja maa-aines. Havaintojen mukaan epäpuhtauksia tulee etenkin kesäaikaan runsaasti ja se vaikuttaa haketustyön tuottavuuteen merkittävästi. Hakkurin terien kulutus on ollut joillakin puutavaraerillä jopa kolminkertainen. Epäpuhtauksien lähteen selvittäminen vaatisi syvempää perehtymistä toimitusketjuun ja tehtyjen havaintojen perusteella ohjeiden täsmentämistä.

### **10.3.3 Lupa-asiat ja säädökset**

Metsätuhojen torjumiseksi tulisi kokeilla soveltuvia vaihtoehtoisia menetelmiä puun poiskuljettamiselle. Lehtipuulla peittäminen voi olla yksinkertaisin toteuttaa, mikäli pinot tehdään materiaalinkäsittelykoneella korkeaksi. Tässä on oletuksena, että lehtipuuta on energiapuun seassa riittävästi. Myös muita työssä käyttökelpoiseksi todettuja menetelmiä on hyvä kokeilla. Tarvittaessa tehokkaita keinoja metsätuhohyönteisten leviämisen estämiseksi voi etsiä valvovan viranomaisen kanssa.

### **10.3.4 Materiaalivirtojen hallinta**

Keskeisin materiaalivirtojen hallintaan liittyvä kehityskohde on toimitusten ennakoitavuus ja nykyistä tasaisempi jakaantuminen. Tässä työssä on esitelty asiantuntijoiden kokemuksia ja näkemyksiä aiheeseen liittyen. Myös voimalaitoksella

käytössä oleva malli energiahakkeen toimituksiin ja varastointiin on todettu hyväksi. Näitä yhdistelemällä saa todennäköisesti kehitettyä hyvän mallin myös rankapuun toimituksiin ja varastointiin. Mallin rakentaminen vaatii työtä mm. tarvittavien varastomäärien määrittelyn suhteen ja aktiivista seuranta varastomäärien kehitymisestä.

Haastatteluaineistosta nousi esille, että saapuvien rankapuuerien massan muuttaminen tilavuudeksi vaatii tällä hetkellä kohtuuttoman paljon manuaalisesti tehtävää yhdistelytyötä ja laskentaa. Aiheesta on tehty viime vuosina runsaasti tutkimusta kehitystyötä, joiden perusteella on kehitetty esimerkiksi kuitupuun painonmittaukseen perustuva tilavuudenlaskentapalvelu Pulpwood Online. (Pulpwood Online 2024) Tämän kaltaisten edistyneiden laskentapalveluiden hyödyntäminen tilavuuden määrittämiseksi myös energiapuun mittauksessa vaatisi jatkotutkimusta ja perehtymistä.

### **10.3.5 Työturvallisuus ja palontorjunta**

Työturvallisuusohjeet sekä palontorjuntaan liittyvät menetelmät ja sammutusvälineistö ovat työn aikana tehdyn arvion mukaan suositusten mukaisia. Jatkotoimenpiteenä näiden osalta suositellaan polttoaineiden käsittelyalueella operoivan henkilöstön perehdyttämistä alueen turvallisuusohjeisiin sekä alueella olevaan palontorjuntakalustoon ja niiden käyttöön.

Työn aikana keskusteltiin konsernin turvallisuuspäällikön kanssa laitoksen yleisen työturvallisuusohjeen soveltamisesta polttoaineiden käsittelyalueella. Keskusteluissa esille nousi etenkin vaatimus henkilökohtaisesta suojavaatetuksesta, joka voimassa olevan ohjeistuksen mukaan tulee olla pitkähihainen ja -lahkeinen sekä materiaaaliltaan paloa jatkamatonta. Vaatimus voi olla tarpeettoman tiukka ulkoalueella työskenteleville henkilöille, jotka eivät tee tulitöitä ja työskentely ei tapahdu useassa eri kerroksessa. Suosituksena on luoda alueelle turvallisuusohjeistus, joka huomioi alueen erityispiirteet.



## 11 Pohdinta

### 11.1 Tulosten arviointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää rankapuulogistiikkaa Savon Voiman omistamalla Joensuun voimalaitoksella. Työssä tarkasteltiin koko logistiikkaketjun eri vaiheita tilauksesta haketetun rankapuun varastointiin. Tämän tarkastelun perusteella ja työn tuloksena on tehty suunnitelmia, suosituksia ja etsitty jatkokehityskohteita. Tulokset antavat vastauksia esille nousseisiin kysymyksiin ja kehitystarpeisiin. Toimeksiantajalta saatu palaute on ollut positiivista ja tuloksia on jo hyödynnetty toiminnan suunnittelussa ja käytännön toiminnassa polttoaineiden käsittelyalueella. Tämän perusteella voi todeta, että tulokset ovat pääosin vastanneet asetettuja tavoitteita.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta tarkastellaan usein kolmesta näkökulmasta, työn uskottavuus, luotettavuus ja eettisyys. Uskottavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka toimeksiantaja, tutkimukseen osallistuvat henkilöt ja muut työhön osallistuvat tahot hyväksyvät tulokset tosiksi ja luottavat siihen, että aineistot ovat kerätty asianmukaisesti ja analysoitu huolellisesti. (Juuti & Puusa 2020, 477–480.)

Tämän työn tuloksia voidaan pitää uskottavina ja luotettavina, sillä aineistot ovat kerätty ja käsitelty asianmukaisesti tieteellisen tutkimuksen suositusten mukaisesti. Uskottavuutta on pyritty tässä työssä lisäämään pohtimalla tarkkaan mistä kuhunkin teemaan aineistoa kerätään. Toiminnan suunnitteluun ja säädöksiin liittyvissä teemoissa painottuu tieteelliset tutkimukset, lainsäädäntö ja viranomaisten suositukset. Käytännön toimintaan liittyvissä suunnitelmissa, kuten varastokentän ja energiapuuterminaalien toimintamalleissa, korostuu kokemusperäinen tieto, jota on nostettu esille ja muutettu kirjalliseen muotoon suunnitelmien myötä.

Tuloksien eettisyyttä arvioitaessa on huomioitu, että ne eivät ole lainsäädännön- ja hyvien tieteellisten toimintatapojen vastaisia. (Arene ry 2020) Kehitystyöhön

osallistuneiden henkilöiden yksityisyydensuojaa on kunnioitettu minimoimalla kerätyt henkilötiedot jo lähtökohtaisesti ja jättämällä raportista kaikki tiedot pois minkä perusteella henkilö voisi olla tunnistettavissa. Työssä on pyritty välttämään vahingon ja haittojen aiheuttamista mukana olleille ihmisille ja organisaatioille.

Tuloksia arvioidessa on hyvä huomioida kehitystyön kohteen laajuus ja uusi toimintaympäristö. Ne eivät kata kaikkia alueen toimintoja, ja toiminnasta kertyy koko ajan uusia kokemuksia sekä tietoa. Tästä näkökulmasta etenkin alueille tehtyihin toimintamalleihin ja logistiikan suunnitelmiin on hyvä suhtautua kriittisesti ja avoimesti, keskeneräisenä työnä, jota jatketaan hyväksi havaitun mallin mukaisesti, suunnitelma- ja toimintavaiheiden syklisesti etenevänä kehitystyönä.

## **11.2 Työn rajaus, käytetyt menetelmät ja työn toteutus**

Kehitystyön kohteen rajaus on varsin laaja. Materiaalivirtojen hallinta, lupa-asiat ja säädökset, ympäristömelunhallinta, alueen logistiset järjestelyt, ja suunnitteluun liittyvät teemat, kuten mittaus ja laadunhallinta, olisivat voineet olla itsenäisiä opinnäytetyön aiheita. Tutkimus- ja kehitystöiden rajauksessa suositellaan yleensä enemmän syvyyttä kuin laajuutta. Siinä mielessä työn rajaus ei ole ihanteellinen. Toisaalta etenkin ammattikorkeakoulujen opinnäytetöissä korostuu työelämän tarpeet toiminnan ja toimintatapojen kehittämisessä. (Karelia-ammattikorkeakoulu 2024)

Tämän työn rajauksessa painottui enemmän toimeksiantajan tarve kuin menetelmäkirjallisuuden suositukset. Toimintaympäristö on uusi, laaja ja toiminta on jo käynnissä, joten rajauksessa päädyttiin yhdessä toimeksiantajan kanssa tehdyn päätöksen mukaan tarkastelemaan ja kehittämään kokonaisuutta mieluummin laajemmin, kuin syventymään yksittäiseen teemaan.

Aineistonkeruu haastattelemalla, yritysvierailujen yhteydessä sekä havainnoimalla ja keskustelemalla palvelivat tämän työn tarkoitusta mielestäni hyvin.

Näiden avulla saatiin nostettua käytännön kokemusta ja toimijoille kertynyttä ammattitaitoa esille useasta eri näkökulmasta. Käytetty aineistonkeruumenettelmä pyrittiin valitsemaan tilanteeseen sopivaksi, operatiivista työtä tekevien hakkurin- ja puutavara-auton kuljettajien kanssa käydyissä haastatteluissa ja keskusteluissa tallennettu haastattelu olisi voinut olla liian muodollinen, mutta asiantuntija- ja sidosryhmähaastatteluissa se oli hyvin luonteva.

Haastateltavien valinnat olivat siinä mielessä onnistuneita, että yhdenkään haastattelun kohdalla ei tarvinnut todeta, että tämä oli hyödytön. Jälkikäteen ajateltuna olisi ollut eduksi, jos haastateltavia olisi ollut enemmän esimerkiksi puuta käyttävän teollisuuden puolelta. Tässä työssä selkeästi teollisuuden edustajia oli vain yksi. Tehtyjen sidosryhmä- ja asiantuntijahaastatteluiden muodoksi valittiin keskustelunomainen, vähän strukturoitu tapa. Perusteluna valinnalle oli pyrkimys saada haastateltavan kokemukset ja näkemykset esille niin, että haastattelijan vaikutus niihin olisi mahdollisimman pieni. Kaikkiin haastatteluihin oli mietitty kuitenkin teemat, jotka käydään läpi. Osalla haastateltavista haastattelun teemat eivät olleet tiedossa etukäteen. Tämän pienen otoksen perusteella tekisin jatkossa niin, että haastateltavalla on teemat tiedossa ennen haastattelua. Kokemukseni mukaan haastateltava kykeni tuomaan ajatuksensa hieman selkeämmin esille, kun oli päässyt pohtimaan aihetta etukäteen, mutta etukäteen esitellyt teemat eivät kuitenkaan estäneet vapaata keskustelua aiheiden ulkopuolelta.

Yritysvierailujen osalta arvioni on samankaltainen kuin haastatteluiden, kohteet olivat hyviä, yhtäkään en jättäisi pois. Jos resursseja olisi ollut enemmän, etenkin aikaa, olisi ollut mielenkiintoinen käydä myös useammassa puuta käsittelevässä teollisuuskohteessa. Kahdessa kohteessa, jossa vierailtiin ryhmänä, ei tehty haastatteluja, aineisto keräti omista sekä muun vierailijaryhmän muistiinpanoista. Kahdessa kohteessa pidettiin vierailukierroksen päätteeksi yhteenvetokeskustelu, joka tallennettiin. Kohtuullisen tiivis ja napakka keskustelutallenne oli erinomainen lisä tehtyihin muistiinpanoihin ja toimii kokemukseni mukaan sekä yksilöhaastatteluna että ryhmäkeskusteluna. Jatkossa hyödyntäisin jälkimmäistä tapaa yritysvierailujen yhteydessä.

Toimintatutkimus oli luonteva valinta logistiikan kehitystyön menetelmäksi, sillä kehittämistyö kohdistui käytännön toimintaan, pyrkimyksenä muuttaa sitä. Alueella toimivalla operaattorilla on pitkä kokemus puun käsittelystä sekä hakettamisesta ja näin myös paljon osaamista, jota halusin hyödyntää ja tuoda esille. Käytännön kokemukset yhdistettynä tietoperustasta nousseisiin tietoihin muodostivat yhdessä kehittämiskelpoisia malleja.

Toimintatutkimusta pidetään haasteellisena menetelmänä etenkin ajankäytön kannalta, Tutkimus- ja toimintavaiheet etenevät spiraalinomaisena kehänä ja työn eteneminen syklisesti vaatii aikaa. (Koski & Kelo 2019.) Työn toiminnallisessa osassa asetin itselleni tavoitteeksi muodostaa toimintamallit, jotka ovat käyneet useamman kehityssyklin läpi ja todettu käytännössä toimivaksi. Työtä aloittaessani en osannut ennakoida kuinka paljon tämä vie aikaa, joten toimintamallien kehittämisessä ei tässä työssä päästy niin pitkälle kuin olin suunnitellut, aikaa tämän kaltaiseen toimintatutkimukseen olisi pitänyt varata huomattavasti enemmän.

### **11.3 Ammatillinen kehittyminen ja tuloksien hyödyntäminen**

Työtä tehdessäni pohdin, kuinka tämänkaltaisen kehitystyön toteuttaminen opinnäytetyönä eroaa normaalista työelämän kehittämistyöstä. Selkeitä eroja on nähtävissä. Suurimpana haasteena verrattuna normaaliin työelämän kehittämistyöhön on ajankäyttö. Opinnäytetyöprosessissa on useita aikaa vieviä vaiheita kuten sopimukset, aiheen esittelyt, seminaarit ja muodollinen raportointi, joita työelämän kehitystoissa ei ole ja näin työskentely opinnäytetyöhön verrattuna on suoraviivaisempaa. Opinnäytetyöprosessin tuoma lisäarvo työlle on mielestäni tutkimuksellinen ote, jota työssä edellytetään. Prosessi ikään kuin pakottaa perehtymään aiheeseen syvällisesti ja useasta eri näkökulmasta tietoperustan muodostamisen yhteydessä sekä suunnittelemaan työn toteutuksen systemaattisesti ja hyväksi todettuja menetelmiä hyödyntäen. Näin syvälliseen perehtymiseen ei työelämän varsin kiireellisessä rytmissä ole useinkaan mahdollista. Kokemukseni mukaan kerätyn aineiston jäsentäminen kirjalliseen muotoon edistää myös ammatillista kehittymistä ja syventää opinnäytetyön tekijän osaamista

aiheesta. Näin saadut tulokset ovat pohdittuja ja perusteltuja useasta näkökulmasta.

Työssä saatuja tuloksia on otettu käyttöön jo työn toteuttamisvaiheessa.

Työtä on tehty tiiviissä yhteistyössä toimeksiantajan kanssa. Esille nousseista tuloksista on keskusteltu ja niitä on analysoitu toimeksiantajan kanssa jatkuvasti työn edetessä. Konkreettisia muutoksia on tehty alueen opasteisiin ja kehitystyön aikana tehtyjä suunnitelmia on päästy toteuttamaan energiapuutermiinalin osalta jo käytännössä. Työn tulokset näkyvät kehitystyön kohteena olevalla alueella jo nyt. Varastokentälle ja energiapuutermiinaliin suunniteltuja toimintamalleja hyödynnetty myös melumallinuksen pohjana projektissa, jota tekee ulkopuolinen melunmallinnuksiin ja meluntorjuntaan erikoistunut asiantuntijayritys.

Vaikka tämä työ keskittyi mobiilihakkuriin perustuvan toimintamallien luomiseen, etenkin yritysvierailujen yhteydessä kerättiin aineistoa myös käyttöpaikkahakureihin liittyen. Aineisto sisältää esimerkiksi yksityiskohtaisia kustannustietoja, joten se jää toimeksiantajan sisäiseen käyttöön. Tätä aineistoa ja työn aikana kertynyttä asiantuntemusta hyödynnetään käynnissä olevassa projektissa käyttöpaikkahakkurin rakentamiseen liittyen.

Työn tuloksia on käytetty myös biohiilitehtaan raaka-ainelogistiikkaan liittyvässä suunnittelutyössä. Alueelle tämän työn tuloksena suunniteltu luonnos raskaan liikenteen toteuttamisesta, on pohjana meneillään olevassa suunnittelutyössä ja suunnitelma tulee täydentymään niin, että se kattaa koko voimalaitosalueen.

Työn aikana kertynyt ammatillinen osaaminen aiheesta on hyödyksi myös jatkossa, kun edellä mainitut projektit etenevät ja toimintamallien kehittämistyö jatkuu myös opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Työn aikana kertynyt asiantuntemus jää toimeksiantajan käyttöön myös tulevaisuudessa, sillä työskentelen Joensuun voimalaitoksen käyttöorganisaatiossa. Savon Voima toimii laajalla alueella Itä-Suomessa ja käyttää puupolttoaineita muissakin toimipaikoissa, joten tulosten hyödyntäminen on mahdollista myös laajemmin toimeksiantajan keskuudessa.

Muuttunut toimintaympäristö on tuonut alan toimijoille samankaltaisia haasteita. Uskon, että tämän työn tuloksia voidaan hyödyntää muuallakin alan toimijoiden keskuudessa. Erityisen hyödyllisiä voisivat olla havainnot ja tulokset melunhallintaan, mittayksiköiden käyttöön ja rankapuun varastointiin liittyen, jotka ovat helposti yleistettäviä. Kehitystyön kohteena olevien alueiden toimintamallit ja alueen liikennejärjestelyt ovat suunniteltu paikallisten olosuhteiden mukaiseksi ja tietylle hakkurityypille, joten niiden soveltaminen yleisesti voi olla hankalaa. Toki käyttökelpoisia ideoita ja yksityiskohtia voi niistäkin löytyä.

On ilmeistä, että kehitystyön kohteena ollut alue elää ja muuttuu tulevaisuudessa. Alueen kehittäminen jatkuu normaalina työelämän kehitystyönä. Tässä työssä käytetyt menetelmät ovat osoittautuneen toimiviksi kehitystyön kannalta. Toimintatutkimukseen kuuluva jatkuvan kehittämisen ajatus sekä systemaattinen toteutus, ihmisten osallistuminen ja osallistaminen ovat hyvä lähtökohta alueen kehitystyölle myös jatkossa.

## Lähteet

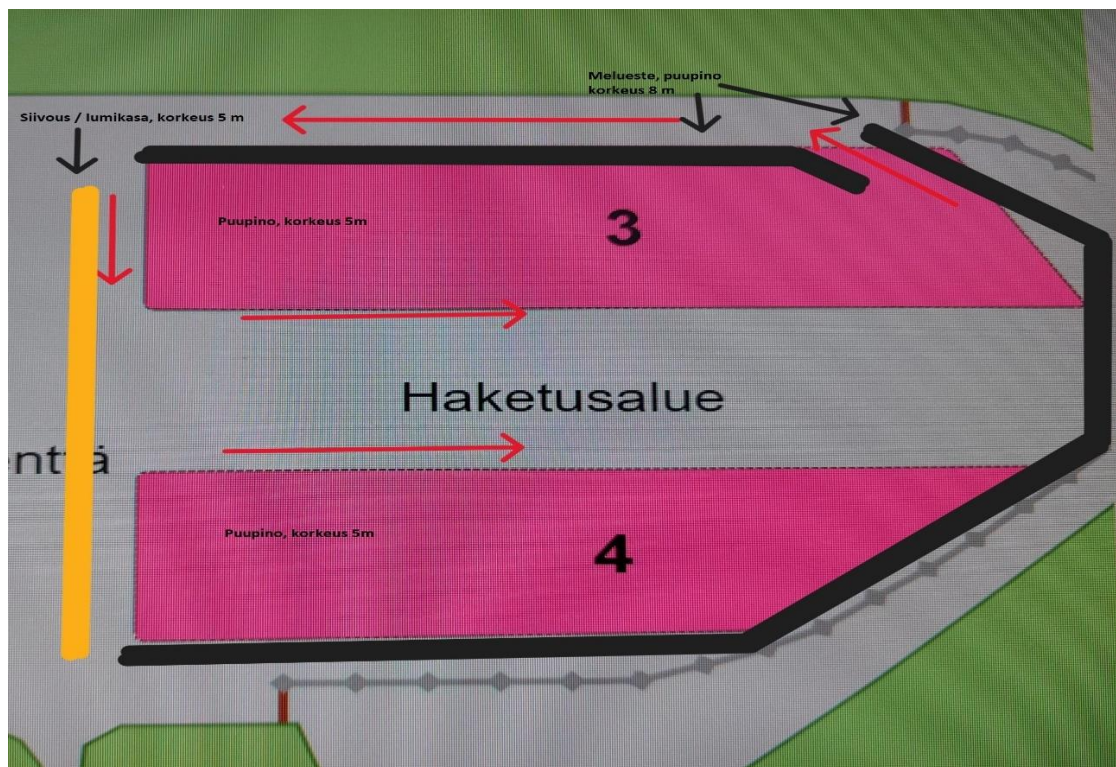
- Afry. 2020. Selvitys turpeen energiakäytön kehityksestä Suomessa. Raportti työ- ja elinkeinoministeriölle 8/2020. AFRY Management Consulting.
- Ahmadinia, S. Palviainen, M. Kiuru, P. Routa, J. Sikanen, L. Urzainki, I. & Laurén, A. 2022. Forest chip drying in self-heating piles during storage as affected by temperature and relative humidity conditions. Fuel Volyme 324 Part A. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124419>
- Arene ry. 2020. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. <https://urly.fi/2jxH> 14.2.2024
- Bamberg, J. 2017. Kävelyhaastattelu. Teoksessa Matti Hyvärinen, Pirjo Nikander, Johanna Ruusuvuori (toim.) Tutkimushaastattelun käsikirja Tampere: Vastapaino.
- Ekroos, A. & Warsta, M. 2015. Biomassaterminaalien ympäristölliset ennakkovalvontamenettelyt. Enlawin Consulting Oy. Teoksessa Juntunen, R. Luro, J. P., 2016, Biomassaterminaali – esiselvityshanke 2015 loppuraportti. Tapion raportteja nro 6.
- Erkkilä, A. Hillebrand, K. Raitila, J. Virkkunen, M. Heikkinen, A. Tiihonen, I. & Kaipainen, H. 2011. Kokopuun ja mäntykantojen korjuuketjujen sekä varastoinnin kehittäminen. VTT Tutkimusraportti, no. VTT-R-10151–10, VTT Technical Research Centre of Finland.
- Heikkilä, J. Lindblad, J. Hujo, S. & Verkasalo, E. 2004. Pienten kuitupuuerien mittausta puutavara-auton kuormainvaa'alla. Metsätieteen aikakauskirja 4/2004: 527–540.
- Hillebrand, K. & Nurmi, K. 2004. Energiapuun kuivatus ja varastointi -osaprojekti. Teoksessa Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003: Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Himmanen, J. 2015. Rankahakkeen laadunhallinta aumavarastoinnissa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. 28.3.2024
- Hyvärinen, M. Suoninen, E. & Vuori, J. 2021 Haastattelut. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/>. 25.1.2024.
- Ikonen, H-M. 2017. Puhelinhaastattelu. Teoksessa Matti Hyvärinen, Pirjo Nikander & Johanna Ruusuvuori (toim.) Tutkimushaastattelun käsikirja Tampere: Vastapaino.
- Impola, R. & Tiihonen, I. 2011. Biopolttoaineterminaalit. Ohjeistus terminaalien perustamiselle ja käytölle. Terminaalikäsikirja VTT-R-08634-11. Jyväskylä: VTT.
- Joenkilpituote 2024. Liikennemerkkien suunnittelu. Sähköpostiviestit 11.4.2024-30.4.2024.
- Joensuu Biocoal. 2024. Torrefioitu biomassa, eli ”biohiili” - uusiutuva ja kaupallinen vaihtoehto fossiilisille raaka-aineille. <https://www.joensuubiocoal.fi/hanke>. 28.3.2024

- Juhila, K. 2021. Laadullisen tutkimuksen ominaispiirteet. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-aineistot/haastattelut/> 20.2.2024.
- Juntunen, R. & Luiro, J. P., 2016, Biomassaterminaali – esiselvityshanke 2015 loppuraportti. Tapion raportteja nro 6.
- Juuti, P. & Puusa, A. 2020. Toimintatutkimus. Sekä toimintaa että tutkimusta. Teoksessa Puusa, A. & Juuti, P. (toim.) Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät. Gaudeamus Oy
- Jyrkämä J. 2021. Toimintatutkimus. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusasetelma/toimintatutkimus/>. 03.02.2024.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2024. Karelian opinnäytetyön ohje: Opinnäytetyön eri muodot. <https://libguides.karelia.fi/c.php?g=679019&p=4901221>. 14.5.2024
- Koski, P. & Kelo, M. 2019. Toimintatutkimus menetelmänä. Masterminds - Maisteriainesta 30.9.2019. Blogi. <https://blogit.metropolia.fi/masterminds/2019/09/30/toimintatutkimus-menetelmana/> 30.4.2024
- Laki metsätuhojen torjunnasta 1087/2013.
- Luonnonvarakeskus. 2017. Painon mittaukseen perustuvat menetelmät. Määräys 1/2017.
- Luonnonvarakeskus. 2023. Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. <https://www.luke.fi/fi/documents/luonnonvarakeskuksen-maarays-puutavaran-mittaukseen-liittyvista-yleisista-muuntoluvuista-0>. 7.3.2024.
- Luonnonvarakeskus. 2024. Puutavaranmittaus: tehdasmittauksen valvonta, virallinen mittaus, muuntoluvut ja neuvonta. <https://www.luke.fi/fi/palvelut/puutavaranmittaus-tehdasmittauksen-valvonta-virallinen-mittaus-muuntoluvut-ja-neuvonta>. 7.3.2024
- Luotola, V. 2017. Energiapuutermiinaalien paloturvallisuusopas. Helsinki: Bioenergia ry.
- Lindblad, J. & Repola, J. 2019. Mänty- ja koivukuitupuun tuoretiheys painotantamittauksessa ja tuoretiheyden mallinnus varastointiajan perusteella. Metsätieteen aikakauskirja 2019–10101. Tutkimusartikkeli. <https://doi.org/10.14214/ma.10101>
- Melkas, T. 2023. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2022. Metsätehon tulosalvosarja 10/23. Metsäteho Oy <https://www.metsateho.fi/puutavaran-mittausmenetelmien-osuudet-2022/>. 7.3.2024
- Merjama, J. 2017. Sisäinen liikenne tuotantolaitoksissa. Työturvallisuuskeskus TTK.
- Metsäkeskus. 2024. Laki metsätuhojen torjunnasta. <https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/oikeudet-ja-velvollisuudet/metsaakoskevia-saadoksia>. 5.4.2024.
- Metsäteho. 2021. Varastointiopas. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/varastointiopas/>. 7.3.2024
- Metsäteho. 2024a. Mittaus ja laatu. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/>. 7.3.2024



- Metsäteho. 2024 b. Mittaus ja laatu. Metsätehon opas. <https://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/kuitupuun-pinomittaus/kiintotilavuusprosentin-maaritys/>. 10.4.2024.
- MIP. 2024. RION-NL 53 äänitasomittarin esite.
- Mäkynen, A & Räisänen, M. 2014. Pirkanmaan puutermiinalit. Pirkanmaan liitto.
- Pulpwood Online, 2024. Etusivu. <https://pulpwoodonline.fi/> 15.5.2024.
- Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2014. Energiapuun mittausopas. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsäntutkimuslaitos ja Työtehoseura ry.
- Routa, J. Brännström, H. Hellström, J. & Laitila, J. 2020. Influence of storage on the physical and chemical properties of Scots pine bark. *BioEnergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-020-10206-8>
- Ruusuvuori, J. & Nikander, P. 2017. Haastatteluaineiston litterointi. Teoksessa Matti Hyvärinen, Pirjo Nikander, & Johanna Ruusuvuori (toim.) *Tutkimushaastattelun käsikirja* Tampere: Vastapaino
- Savon Voima 2024. Savon Voima Oyj vuosikatsaus 2023. Savon Voiman henkilöstön intranet. Vain sisäiseen käyttöön. 14.5.2024.
- Savolainen, I. 2015. Pienpuun varastoinnin haasteet hyönteistuholain kannalta. Tampereen ammattikorkeakoulu. Metsätalous. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505148093>
- Siirilä, T. Moilanen, P. Harjanne, K. Kammonen, L. Pakkanen, P. Penttinen, A. Rauramo, P. Seppänen, M. Rätty, T. & Autoliikenteen työalatoimikunta. 2021. Työturvallisuus ja työterveys autoliikenteen työpaikoilla. Helsinki: Työturvallisuuskeskus, autoliikenteen työalatoimikunta.
- Tapaturmavakuutuskeskus. 2024. Teollisuuden työpaikkatapaturmien lukumäärä ja taajuus ennätysalhainen 2022. <https://www.tyotapaturmatieto.fi/julkaisu/tyotapaturmatietopalvelu/3789?c=27> 11.3.2024
- Työturvallisuuslaki 738/2002
- Vartiainen, A-K. Turunen, A.W. Ung-Lanki, S. & Lanki, T. 2015. Meluherkkyydellä on tärkeä rooli melun kokemisessa. *Psykologia* 50. 04 / 2015. 244–256.
- Vilkkä, H. 2021. Näin onnistut opinnäytetyössä. Jyväskylä: PS-kustannus
- Vuori, J. 2021 *Tutkimusetiikka ihmistieteissä*. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) *Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja*. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaristo <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/tutkimusetiikka/tutkimusetiikka-ihmistieteissa/> 13.2.2024.
- Väylävirasto 2024. Opastusmerkit. <https://www.flickr.com/photos/vaylafi/49528807768/in/album-72157713092280488/> 6.4.2024.
- Ylioja, T., Ahtikoski, A., Anttila, P., Haikarainen, S., Honkaniemi, J., Laitila, J., Melin, M., Piri, T. & Väättäin, K. 2021. Metsätuholain arvioinnin jatkoselvitys: Kuorellisen puutavaran poiskuljetus ja männiköiden kantokäsittely turvemailla. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 23/2021. Helsinki: Luonnonvarakeskus.

## Liite 1. Energiapuuterminali suunnitelma 1

**Suunnittelun perusteet:**

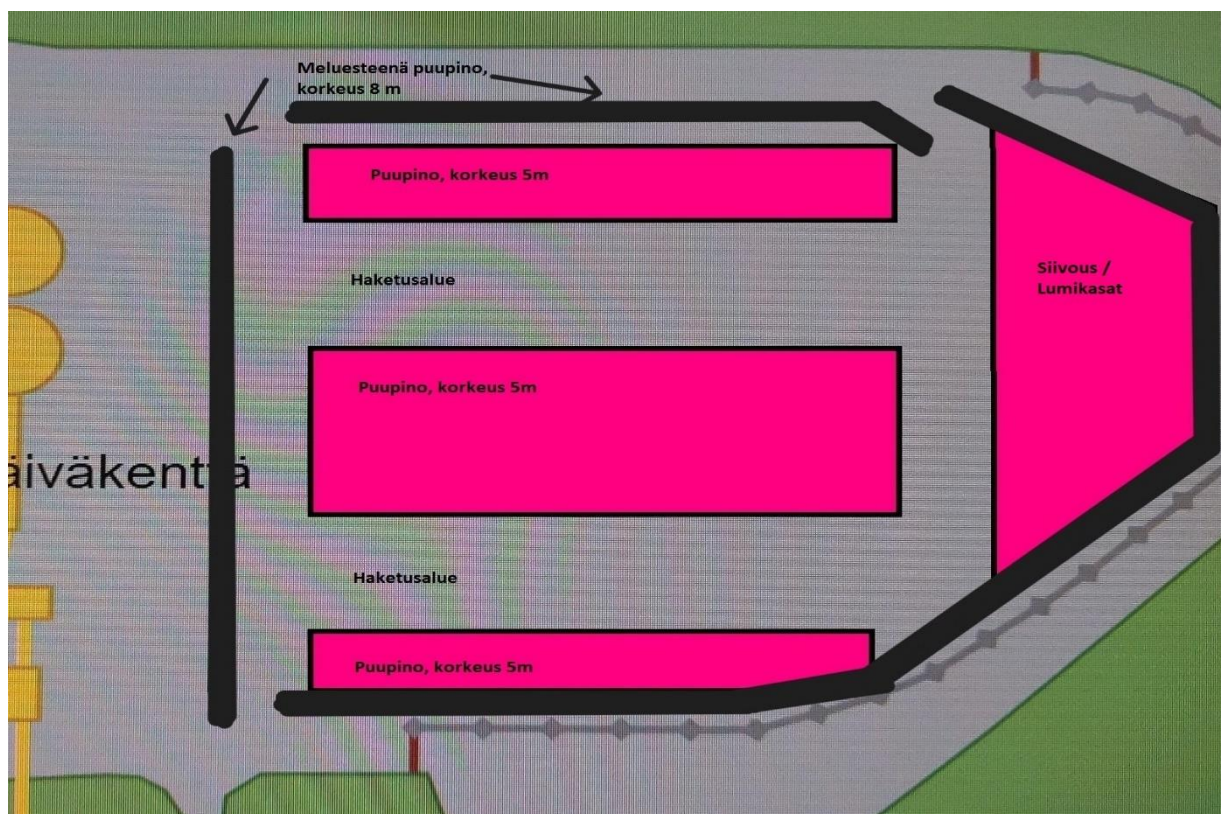
- Puutavara-autojen kiertosuunta suosituksen mukaan vastapäivään, ei peruuttelua tai tarvetta kääntöpaikalle päädyssä (punainen nuoli)
- Hakkuri töissä vain toisella varastoalueella, toisen täyttö onnistuu samanaikaisesti
- Hakkuri sijoittuu melunhallinnan kannalta optimaalisesti puupinon ja hakekasan väliin
- Alueen päätyä voi hyödyntää esim. lyhyiden pölliin varastointiin.
- Siivouskasoille / varattu reilu alue kentän vasemmalta laidalta (keltainen)

Malli ollut käytössä 18.3 eteenpäin haketuksen osalta. Liikenteen ohjaus kiertäväksi ei onnistu vielä, koska päädyistä puuttuu liittymä.

**Kokemuksia ja havaintoja:**

- Alueen täyttö onnistuu samanaikaisesti haketustyön kanssa
- Hakkurin sijainnin määrittelee tuulensuunta (pölyongelma). Kahdella hakkurilla työskennellessä ongelmana pölyn kantautuminen toisen hakkurin päälle.
- Haketta ajetaan koko ajan pois. Jos varastoalueet ovat vajaita, etäisyys työskentelyalueiden välillä on niin suuri, että yhtenäistä varastokasaa ei muodostu. Tästä syystä koko haketusalueen kapasiteetti ei ole käytössä.
- Yhtenäinen hakekasa voi olla paloturvallisuuden kannalta haastava

## Liite 2. Energiapuuterminali suunnitelma 2

**Suunnittelun perusteet:**

- Puutavara-autojen kiertosuunta suosituksen mukaan vastapäivään, ei peruuttelua tai tarvetta kääntöpaikalle päädyssä
- Poistumislittymä alueelta siirretty niin, että uutta liittymää ei tarvitsisi rakentaa
- Alueen täyttö onnistuu samanaikaisesti haketustyön kanssa
- Työskentely kahdella hakkurilla onnistuu (hakkureiden ei tarvitse työskennellä lähekkäin, ei pölyongelmaa kuten suunnitelmassa 1)
- Hakkuri sijoittuu melunhallinnan kannalta optimaalisesti puupinon ja haketasan väliin. Ääntä vaimentavat kasat lähempänä kuin suunnitelma 1:ssä
- Tässä mallissa puukasasta muodostettu melueste myös alueen vasemman laidan
- Siivouskasoille / varattu reilu alue kentän päädyssä
- Varastokasat sijoittuvat paloturvallisuuden kannalta paremmin

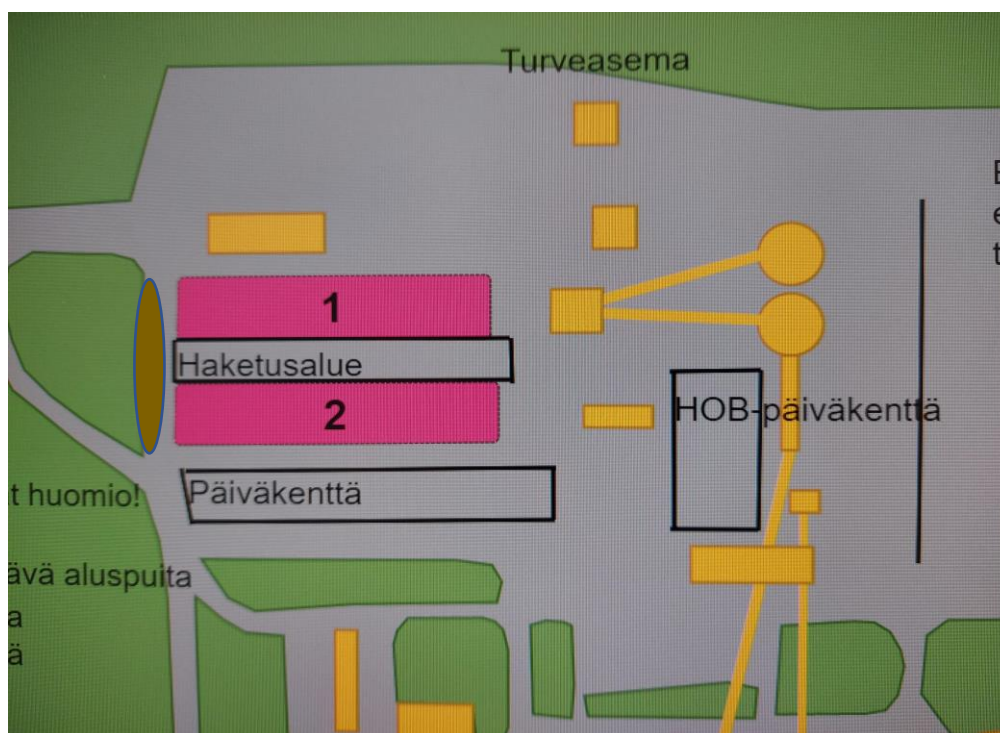
Malli on kehitetty suunnitelma 1:ssä havaittujen puutteiden sekä hakkurikuljettajan ja kentän käytöstä vastaavien henkilöiden ehdotusten pohjalta.

**Mahdollisia variaatioita:**

- Puupino vain keskellä, haketus meluestettä vasten (hakkurikuljettajan ehdotus)
- Jos vasemman laidan meluestettä ei mallinnojen mukaan tarvitse, alue voidaan hyödyntää siivous/lumikasoille



## Liite 3. Varastokentän suunnitelma 1

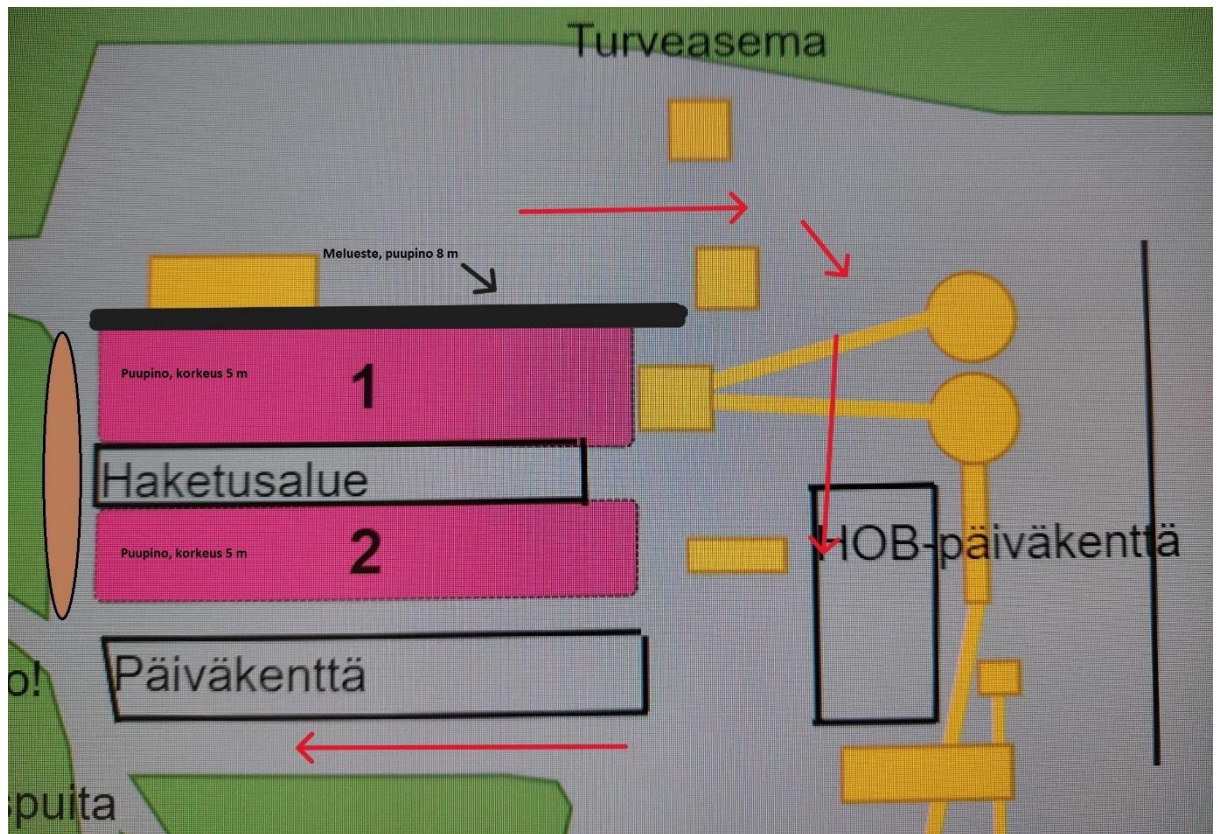


Suunnitelmassa kenttä on jaettu kolmeen alueeseen. Raaka-puun varastoaluetta on kaksi, ja niiden väliin jää haketukselle ja valmiille hakkeelle varattu alue. Alueiden koko vaihtelee hake / raakapuu suhteen mukaan. Siivous- ja lumikaset työnnetään jäteaseman puoleiseen pätyyn (ruskea alue).

Muutamia keskeisiä asioita suunnitelmasta:

- Haketusalueen tarkoitus on turvata hakkurille riittävä työskentelyalue ja hakkeelle varastopaikka. Vältetään ylimääräisiä siirtoja ja kulkuväylät pysyvät auki.
- Haketus tapahtuu aina kasojen välissä, minimoidaan ympäristömelu
- Tavoitteena on täyttää alueet 1 ja 2 keskeltä ulospäin. Näin haketustoiminnan ja puuautojen välissä on aina puupino, ei tule risteävää liikennettä.
- Varaston täyttö onnistuu haketuksen aikana

## Liite 4. Varastokentän suunnitelma 2



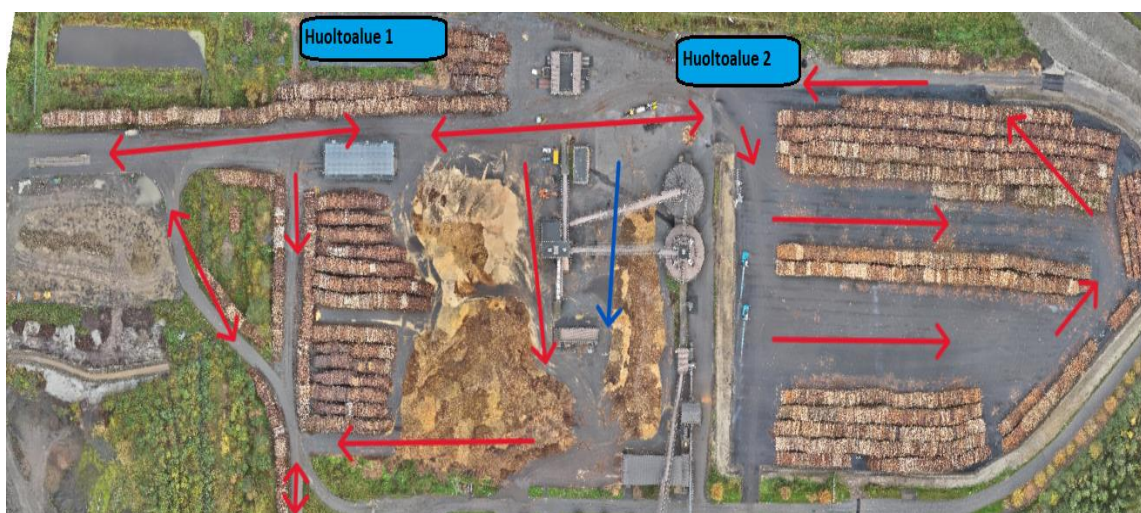
Tässä suunnitelmassa kenttä on jaettu kolmeen alueeseen. Rankapuun varastoalueita on kaksi, ja niiden väliin jää haketukselle ja valmiille hakkeelle varattu alue. Tässä mallissa kulku biomontulle on kuljettimien alta. Rankapuun varastoalueita on laajennettu nykyisen kulkuväylän päälle.

Alueiden leveys vaihtelee hake / raakapuun suhteen mukaan. Siivous- ja lumikatsat työnnetään jäteaseman puoleiseen pätyyn (ruskea alue).

#### Muutamia keskeisiä asioita suunnitelmasta:

- Varastointialueita laajennettu, alueen 1 reunaan melueste raakapuusta. Suuremman varastotilan lisäksi melueste ulottuu pidemmälle, jolloin ääni ei kantaudu kiinteässä meluvallissa oleva madalluskohtaan.
- Haketusalueen tarkoitus on turvata hakkurille riittävä työskentelyalue ja hakkeelle varastopaikka. Vältetään ylimääräisiä siirtoja ja kulkuväylät pysyvät auki.
- Haketus tapahtuu aina kasojen välissä, minimoidaan ympäristömelu
- Varaston täyttö onnistuu haketuksen aikana

## Liite 5. Luonnos raskaan liikenteen kulkusuunnista ja huoltoalueiden sijainnista



Kuva: Luonnos raskaan liikenteen kulkusuunnista ja huoltoalueiden mahdollisista sijainneista

Raskaan liikenteen kulkusuunnat merkattu punaisella nuolella. Vaihtoehtoinen kulureitti biomontulle merkattu sinisellä nuolella. Energiapuuterminalissa kiertosuunta suosituksien mukaisesti vastapäivään. Biomontulle kulku haastava järjestää kiertosuunnaltaan vastapäivään johtuen näytteenottohallin sijainnista.

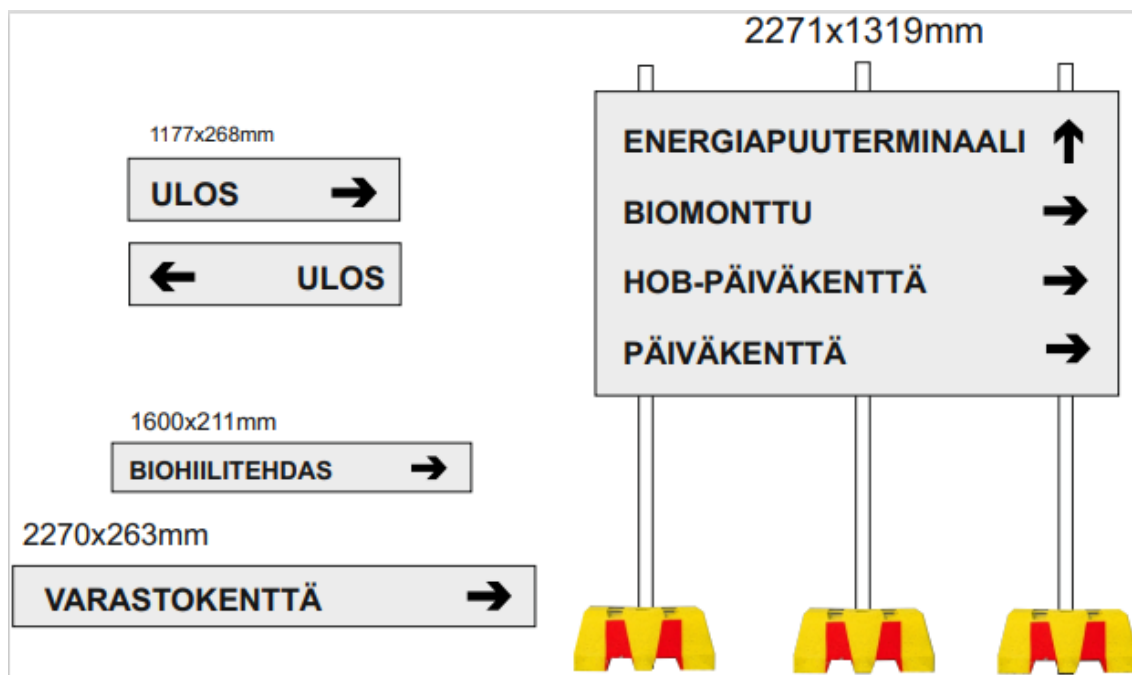
Mahdollisia huoltoalueiden sijainteja esitetään luonnoksessa kaksi. Alla olevissa taulukoissa huomioita molemmista alueista.

Huoltoalue 1	
+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alueen pinta-ala suurempi kuin alue 2</li> <li>• Henkilöauto- ja jalankulkuliikenteen kannalta turvallisempi vaihtoehto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sähkönsyötön kapasiteetti rajallinen</li> <li>• Etäisyys energiapuuterminaliin</li> </ul>

Huoltoalue 2	
+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sähkönsyöttö vahvempi</li> <li>• Etäisyys energiapuuterminaliin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alueen pinta-ala pienempi kuin alue 1</li> <li>• Henkilöauto- ja kevyenliikenteen turvallisuuden kannalta haastava, raskas liikenne kulkee huoltoalueen vierestä</li> </ul>



## Liite 6 Suunnitelma alueen liikenneopasteista



Kuva: Alueelle suunnitellut liikenneopasteet (Kuva: Joenkilpituote ja Mikko Hiltunen)

### Taustaa:

- Opasteita on toivottu kentälle useassa eri yhteydessä
- Opasteiden värit ovat suunniteltu tieliikennemerkkien mukaisesti: vaalea pohja + musta kirjain opastaa paikalliskohteeseen ja pohjan heijastavuus on R1 mitä käytetään yleensä tämän kaltaisissa opasteissa.
- Muuten kirjaimet ja nuolet ovat tyyliltään samankaltaisia kuin voimalaitosalueella on nykyisin käytössä, eli ei suora kopio liikennemerkistä. Kirjaimen korkeus on 10 cm, mikä on pienempi kuin liikennemerkeissä, mutta on sopusuhtainen ja polttoainealueen liikennenopeuksilla selkeä.
- Iso opastetaulu on siirrettävä, liikenne voidaan ohjata biomontulle nykyistä reittiä tai vaihtoehtoisesti kuljettimien alta.

## Liite 7 Melunmittauskokeen tulokset

<b>Mittauspaikka</b>	<b>Murskain teltan sisällä</b>	<b>Murskain teltan ulkopuolella</b>
Murskaimen edessä, syöttöpöydän suunta	83,5 dB	79,6 dB Syöttöpöydän edessä matala puupino
Murskaimen sivulla	83,1 dB	84,1 dB
Murskaimen takana, poistokuljettimen puoli	79,3 dB Mittarin ja melunlähteen välissä hakekasa	77,0 dB Hakekasa oli suurempi kuin edellisessä mittauksessa
Lähin asutus	53,7 dB	55,3 dB

Taulukko. Mobiilimurskaimen melumittauksen tulokset

<b>Mittauspaikka</b>	<b>Käyttöpaikkahakkuri, sähkökäyttöinen, rakennuksen sisällä</b>	<b>Mobiilimurskain, polttomoottorikäyttöinen, avoimella kentällä</b>
Murskaimen / hakkurin edessä, syöttöpöydän suunta	72 dB	79,6 dB Syöttöpöydän edessä matala puupino
Murskaimen / hakkurin sivulla	72,7 dB	84,1 dB
Murskaimen / hakkurin takana, poistokuljettimen puoli	58,1 dB Mittarin ja melunlähteen välissä suuri, noin 8 m korkea hakekasa	77,0 dB Mittari ja melunlähteen välissä hakekasa

Taulukko. Käyttöpaikkahakkurin ja mobiilimurskaimen aiheuttaman ympäristömelun vertailu.