



Kotimaisen bioenergian kaukokuljetuksen selvitys

Antti Kinnunen

Opinnäytetyö, AMK
Toukokuu 2022
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), Logistiikka

Kinnunen, Antti

Kotimaisen bioenergian kaukokuljetuksen selvitys

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 34 sivua.

Tekniikan ala. Insinööri (AMK), Logistiikka. Opinnäytetyö, AMK.

Julkaisun kieli: Suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: Kyllä

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli tutkia kotimaisen bioenergian kuljetusjärjestelmien nykytilaa, sekä kuormatilan mahdollista maksimointia yhdistelmäkuljetuksia varten. Tutkimuksessa vertailtiin käytössä olevia kuljetusmuotoja sekä infrastruktuurin mahdollistavia reittejä. Kuljetusjärjestelmäsuunnittelu toimii tärkeänä osana taloudellista, tehokasta ja ympäristöystävällistä toimitusketjua.

Tutkimus on suoritettu keräämällä aineistoa aiheesta bioenergian ja kuljetusjärjestelmien kirjallisuuteen tutustumalla sekä kohdistetuilla haastatteluilla. Mahdollisesti perustettava kuljetusjärjestelmä vaatii lisätutkimuksia kustannuslaskelmien, kuormatilojen sekä kuljetuskaluston ominaisuuksista.

Toimeksiantaja voi työn avulla pohtia kuljetusjärjestelmän ja käytettävien kuormatilojen valinnan vaikutuksia bioenergian kuljetustoiminnan aloittamisessa.

Avainsanat (asiasanat)

Kuljetusjärjestelmä, yhdistelmäkuljetukset, logistiikka, metsähake

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Kinnunen Antti

Report on long-distance transportation of domestic bioenergy

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 34 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The target of this thesis was to inspect the present state of transportation system of domestic bioenergy and maximizing the cargo space of containers for combined transportation. Research combined transportation systems in use and the possibilities infrastructure gives to routing transportations. Designing transportation system plays an important role in economic, efficient, and eco-friendly supply chain.

Material of the research was collected from literature on bioenergy and transportation systems and with aligned interviews. Transportation system, if established, needs more research on different areas. These areas are expenses and materials and characteristics of used cargo spaces.

With this research the mandator can contemplate the establishment of transportation system and the impacts that selected cargo spaces make on it.

Keywords/tags (subjects)

Transportation system, combined transportation, logistics, wood chips

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Tutkimusasetelma, -menetelmä ja -kysymykset	6
3	Puupolttoaine yleisesti ja metsähake	7
4	Metsähakkeen tuotanto	9
4.1	Palstahaketus	9
4.2	Tienvarsihaketus	9
4.3	Terminaalihaketus.....	9
4.4	Käyttöpaikkahaketus.....	10
5	Kuljetusjärjestelmä	10
5.1	Kuljetusjärjestelmäsuunnittelun teoria	10
5.2	Kuljetusjärjestelmän suunnittelutasot.....	12
6	Tieliikennelain sallimat mitat ja massat	13
7	Innovaatio	14
8	Kehitettävä järjestelmä	16
8.1	Tiekuljetukset	18
8.2	Rautatiekuljetukset	18
9	Liikenneinfra	19
9.1	Rataverkossa	19
9.2	Tieverkossa.....	21
10	Olemassa olevia järjestelmiä muissa maissa sekä Suomessa	22
10.1	Ruotsi.....	22
10.2	Kanada ja Yhdysvallat.....	23
10.3	Suomi.....	23
11	Tutkimuksen toteutus	24
11.1	Tavoitteen tarkastelu	24
11.2	Tutkimuksen suorittaminen	24
12	Tutkimuksen tulokset ja pohdinta	26
	Lähteet	31

Kuviot

Kuvio 1. Puupolttoaineiden käyttö 2000-luvulla	8
Kuvio 2. Metsähakkeeseen käytetty materiaali.....	8
Kuvio 3. Kääntyvyysäännöt.....	14
Kuvio 4. Lineaarisen innovaatioprosessin malli	15
Kuvio 5. Matala kehtolavetti	18
Kuvio 6. Rautateillä sallittu kuormaulottuma	19
Kuvio 7. Rataverkon sähköistys.....	20
Kuvio 8. Siltarajoitukset kartalla	21
Kuvio 9. Innofreightin kuljetuskonttien tyypit ja mitat.....	22
Kuvio 10. Innofreightin kuljetuskonttien purkutavat	22

Taulukot

Taulukko 1. Tieliikennelain 729/2018 sallimat suurimmat mitat	13
Taulukko 2. Merikontin ulkomitat	17
Taulukko 3. Kuljetusjärjestelmien nykytila-analyysi	27

1 Johdanto

Puupolttoainetta käytetään energiantuotannossa vuosittain miljoonia kuutioita. Käytön määrä on kasvanut melko tasaisesti koko 2000-luvun ajan ottaen huomioon talviolosuhteiden muutokset. Uusiutuvien polttoaineiden käyttö on lisääntynyt ja tulee lisääntymään fossiilisten polttoaineiden määrän vähentämisen vuoksi. (Puun energiakäyttö 2020. 2021.) Puupolttoaineen kuljetusketjussa on tapahtunut ajan kuluessa vain vähän muutoksia, sillä nykymallissa kuljetus tapahtuu pääpiirteittäin tieliikenneverkostossa kumipyörillä tai rautatieverkostossa hakevaunuilla.

Kuljetuskapasiteetti on lisääntynyt suurempien sallittujen kokonaismassojen sekä kuljetuskaluston pituuksien kasvaessa (Tieliikennelaki 729/2018, 125 §). Metsähakkeen kuljetuksessa ei kuitenkaan tällä hetkellä pystytä hyödyntämään sallittuja maksimipainoja, eikä suurimmilla sallituilla ajoneuvo-pituuksilla päästä noutamaan metsähaketta suoraan sen syntyapaikalta. Opinnäytetyössä on tarkoituksenaan vertailla metsähakkeen kuljetuksessa käytettävien eri kuljetusjärjestelmien hyötyjä ja haittoja, sekä pyrkiä kehittämään liikennöitävien kuljetusalustojen tyyppisiä suuremmiksi kartoittamalla kustannuksia sekä liikenneverkostojen määrittelemiä rajoitteita.

Työn on tilannut kotimainen Airia Oy, joka on pitkään toiminut kotimaisen energiatuotannon ja biopolttoaineen käytön kehitystyön parissa (Airia Oy n.d.) Työn tilaajan toimesta bioenergiakuljetuksen lähtöpaikaksi on valikoitunut Pohjois-Savossa sijaitseva Luikonlahden ratapiha ja pääteasemaksi energialaitoksen toimipiste Vantaalla. Matkaa näiden pisteiden välillä on Google Maps -karttapalvelun mukaan 433 kilometriä.

2 Tutkimusasetelma, -menetelmä ja -kysymykset

Tutkimuksessa käsitellään kotimaisen hakkeen kuljetusjärjestelmän suunnittelua ja kehittämistä sekä tekijöitä, jotka vaikuttavat kuljetusmuodon valintaan. Aiheen rajaus on suoritettu yhdessä työn tilaajan kanssa koskemaan vain käytettävissä olevien kuljetusmuotojen vertailua. Tavoitteena on lisätä kuljetusmuotoihin liittyvää tietoutta ja tutkia eri kuljetusmuotojen kustannustekijöitä sekä mahdollisuuksia ja tarpeita kotimaisen hakkeen kuljetusten kehittämiseen.

Opinnäytetyö tehdään tapaustutkimuksena työn tilaajan antamilla reunaehdoilla, tutkimus suoritetaan käyttämällä hyväksi haastatteluja sekä dokumentointia. Tutkimuksen dokumentointi on

riippuvainen kirjallisuus- sekä internetlähteistä. Haastatteluvaiheessa otetaan yhteyttä eri kuljetusyrityksiin, kuljetusjärjestelmiä käyttäviin yrityksiin sekä rautatieoperaattoreihin kuljetusmahdollisuuksien kartoittamiseksi. Tutkimus suoritetaan lähes kokonaisuudessaan kvalitatiivisena tutkimuksena, mutta siitä löytyy myös kvantitatiivisen tutkimuksen piirteitä. Voidaankin sanoa, että laadullisen tutkimuksen perusteella suoritetaan määrällistä tutkimusta, sillä kvalitatiivisessa tutkimuksen työkaluina toimivat havainnot ja haastattelut nidotaan yhteen kvantitatiivisen tutkimuksen muodossa lukuarvoina. (Hirsjärvi, Remes & Saajavaara 2018, 135–136.)

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin

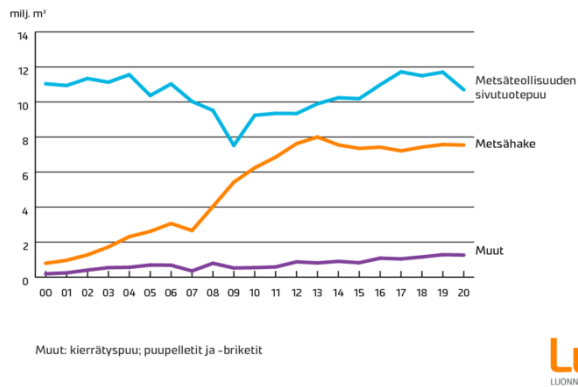
1. Mitä tulee huomioida metsähakkeen kuljetusjärjestelmässä?
2. Voidaanko korotettua merikonttia käyttää intermodaalisena kuljetusalustana?
3. Mitä vaikutuksia kuljetusmuodon valinnalla on?

Tutkimuksen tuloksia analysoidaan SWOT-analyysin avulla. SWOT-analyysi on nelikenttäänalyysi, johon kootaan yhteen tutkittavan kohteen vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat. Tärkeätä on pystyä jatkojalostamaan vahvuuksia ja vähentää, tai jopa poistaa heikkouksia. Lisäksi tulisi pystyä hyödyntämään mahdollisuuksia uhkien ja heikkouksien poistossa. (Lehtinen & Niinimäki, 2005, 71.)

3 Puupolttoaine yleisesti ja metsähake

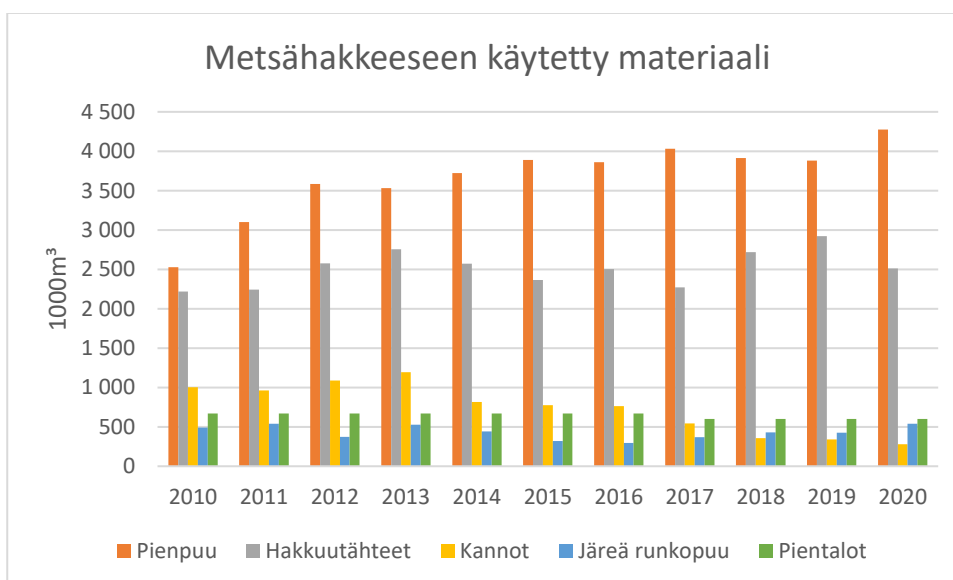
Kotimaisessa energiantuotannossa käytettiin vuonna 2020 kiinteitä puupolttoaineita yhteensä 19,3 miljoonaa kuutiometriä. Valtaosa määrästä koostui erilaisista metsäteollisuuden sivutuotteista tai jätetuusta kuten puun kuoresta, purusta ja tähteistä sekä metsähakkeesta. Kiinteiden puupolttoaineiden osuuksia 2000-luvulla voimme tarkastella kuvioista 1 (Puun energiakäyttö 2020. 2021).

KIINTEIDEN PUUPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ LÄMPÖ- JA VOIMALAITOKSISSA PUUPOLTTOAINELAJEITTAIN



Kuvio 1. Puupolttoaineiden käyttö 2000-luvulla (Luonnonvarakeskus)

Metsähakkeen määrä vuonna 2020 käytetystä puupolttoaineesta sähkön- ja lämmöntuotannossa oli n. 8,2 miljoonaa kuutiometriä, mikä vastaa 42 prosentin osuutta puupolttoaineena käytetystä kokonaismäärästä. Metsähakkeeseen käytettävä materiaali on enimmäkseen muuhun metsäteollisuuden liian pienten mittojensa vuoksi kelpaamatonta pienpuuta. Lisäksi metsähakkeessa voidaan hyödyntää uudishakkuun ylijäämämateriaalia, kuten latvustot ja kannot. Kuvioista 2 näemme metsähakkeeseen käytetyn materiaalin määrät.



Kuvio 2. Metsähakkeeseen käytetty materiaali (Luonnonvarakeskus)

4 Metsähakkeen tuotanto

4.1 Palstahaketus

Metsäpalstalla hakettamista voidaan suorittaa samalla koneella, millä hakemateriaali, tai tässä tapauksessa hake kuljetetaan tien vierustalle. Palstalla tapahtuva haketuksen hyvinä puolina voidaan pitää työmaiden pientä kokoa, sekä tienvierustat saadaan pidettyä siistimpinä, sillä materiaalia ei tarvitse kuljettaa tien varsiin varastoitavaksi. Heikkoutena metsähaketuksessa voidaan nähdä tuotannon tehottomuus, sillä kuljetuskalusto on tilavuudeltaan pientä ja maastot vaikeakulkuisia. Pienen tilavuutensa vuoksi hakkuri vaatii lyhyet metsäkuljetusmatkat. Talviolosuhteissa paksun lumen peittäessä maata metsähaketuksen kustannukset ovat suuria muihin menetelmiin verrattuna, sillä hakkureiden on vaikea kulkea lumessa. Palstahaketus sopii parhaiten pienille työmaille, eikä sillä ole enää suurta merkitystä hakkeen tuotannon laajassa mittakaavassa. (Kuitto 2004, 96.)

4.2 Tienvarsihaketus

Tienvarsihaketus on Suomessa metsähakkeen tuotannon käytetyin menetelmä. Menetelmälle tunnusomaisia piirteitä ovat suuret, lähes ympärivuotiset välivarastot teiden varressa. Tienvarsihaketuksen osuus kaikesta haketuotannosta on yli 50 prosenttia. (Strandström. 2021.) Osuus on kuitenkin laskenut runsaasti, sillä vielä vuonna 2007 tienvarsihakkuun osuus kaikesta tuotannosta oli n. 90 prosenttia. (Kärhä. 2008.) Metsästä tuotu hakemateriaali käsitellään välivarastolla erillisellä suurteohakkurilla suoraa hakekuljetusauton kyytiin, tai vaihtolavalle. Hakkurin ja kuljetuskaluston toiminta on vahvasti kytköksissä toisiinsa, joten tuotantoketju on altis keskeytyksille. Kuljetuskalustoa tarvitaan riittävästi koko haketusajalle. Tässä ketjussa autoja tarvitaan useita, tai kuljetusmatkojen tulee olla riittävän lyhyitä, jotta saadaan useampi kuorma toimitettua päivän aikana.

4.3 Terminaalihaketus

Terminaalihaketuksen osuus kaikesta haketuksesta on noin kolmannes (Strandström. 2021.) Menetelmä toimii tienvarsihaketuksen ja käyttöpaikkahaketuksen välimuotona. Hakettava materiaali siirretään kuljetuskalustolla suureen terminaaliin, missä se pystytään lajittelemaan ja erottelemaan paremmin tyyppikohtaisesti. Näin pystytään vastaamaan paremmin tilaajan tarpeisiin. Haketta pystytään tekemään valmiiksi kasoihin, sillä terminaaleissa riittää tilaa ja alustat ovat

usein päällystettyjä. Terminaaleissa myös työkoneet ovat aina saatavilla ja huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa tapauksesta riippuen välittömästi. Haketus onnistuu kasojen lisäksi suoraan erilaisiin autoihin tai kuljetusalustoihin. Terminaalien välittömästä läheisyydestä löytyy usein myös rautatie, joten junakuljetus onnistuu ja voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti myös pidemmällä sijaitsevia hakkeen käyttökohteita.

Terminaalihaketuksen hyviä puolia on vapaus aikatauluista kuljetusvaiheessa. Materiaalia voidaan toimittaa terminaaliin huolimatta vallitsevista olosuhteista, kuten pakkasesta, lumesta ja kellonajasta. Selkeä huono puoli terminaalihaketuksessa kuljetukseen liittyen on ylimääräinen kuljetus, lastaus ja purku, mihin kuluu väistämättä polttoainetta ja työaikaa.

4.4 Käyttöpaikkahaketus

Käyttöpaikkahaketuksen osuus kokonaismäärästä oli vuonna 2020 n. 11 prosenttia (Strandström. 2021.) Käyttöpaikkahaketuksen suurimmat hyödyt saavutetaan haketuskustannuksissa, sillä käyttöpaikkahaketuksessa voidaan käyttää suurtehoakkureita ja murskaimia, näin saadaan haketta tuotettua silloin, kun sille on suurin tarve. Huonot puolet käyttöpaikkahaketuksessa on tilantarve käyttöpaikalla sekä kustannukset, sillä hakettamattoman puun kuljetuskustannukset ovat suurempia, kuin valmiiksi haketetun materiaalin. Käyttöpaikalle metsästä irtonaisena kuljetetun materiaalin heikkous on huono energiatiheys, sillä latvusmassoja ja kantoja kuljetettaessa kuormatilat eivät täyty tehokkaasti. (Kuitto 2004, 99).

5 Kuljetusjärjestelmä

5.1 Kuljetusjärjestelmäsuunnittelun teoria

Kuljetusjärjestelmäkokonaisuus koostuu kuljetuksissa käytettävän teknologian lisäksi hallinnan eri aihealueista sekä lainsäädännöstä. Lainsäädännön tuntemus onkin kuljetuksen toteuttajalle erityisen tärkeä, mutta sen tuntemusta tulisi löytyä myös palvelun käyttäjällä ja välittäjällä sekä huolitsijalla. Nämä tahot ovat tekemisissä keskenään prosessia suunnitellessa ja lainsäädäntö asettaa kuljetuksille erilaisia rajoitteita. Kuljetusten hallintaa pystytään tarkastelemaan sekä toteuttajan, että käyttäjän näkökulmasta. Toteuttaja tarkastelee pääosin kuljetusten suunnittelu- ja ohjausmenetel-

miä, kustannuslaskentaa hinnoittelua ja kuljetussopimuksia. Käyttäjä taas näkee kuljetusjärjestelmän saapuvina ja lähtevinä lähetyksinä, kuljetusliikkeen ja kuljetusmuodon valintana, sekä sopimusten tekemisenä. (Lähdevaara 2012, 1.)

Toimijoina kuljetusjärjestelmässä on rahdin lähettäjä ja vastaanottaja sekä kuljetusliikkeet. Lähdevaara (2012, 2) jakaa järjestelmän muodostumaan pääkomponenteista, joita ovat rakenteet, laitteet ja ihmiset. Työntekijät muodostavat inhimillisen organisaation, jonka avulla kuljetukset toteutetaan. Koneet ja laitteet puolestaan muodostavat materiaalinkäsittelyssä tarvittavat osa-alueet, kuten trukit ja kuorma-autot. Rakenteita ovat infrastruktuurin osat, joihin kuuluu mm. tiestö, rautatiet, sillat ja tunnelit sekä terminaalit ja varastot. (Lähdevaara 2012, 2.)

Maiden rajoja ylittävässä toiminnassa usein mukana on myös huolintaa suorittava osapuoli, jolla on erikoisosaamista mm. tulliasioista, sekä erilaisista vientidokumenteista ja mahdollisesti enemmän kansainvälisiä kontakteja (Mitä huolinta on? n.d). Nämä seikat kuitenkin suljetaan tutkimuksen ulkopuolelle, sillä kuljetuksia tullaan suorittamaan vain kotimaassa.

Kuljetusjärjestelmän tehokkuutta pystytään mittaamaan esimerkiksi tarkastelemalla kuljetustilan täyttöastetta, mikä tarkoittaa kuormatilan käyttöä suhteessa kokonaiskapasiteettiin. Täyttöaste voi olla harhaanjohtava, sillä eri suureita käytettäessä saadaan erilaisia tuloksia. Näitä suureita voi olla esimerkiksi massa, tilavuus sekä lavapaikat. Usein kuormatila tulee fyysisesti täyteen ennen kuin suurin sallittu massa on saavutettu. (INTERACTION-toimenpideselvitys 2007.) Tässä työssä tutkittavan hakkeen kuljetuksissa näin käy lähes aina, sillä hake on kevyttä suhteessa vaatimaansa tilaan.

Täyttöaste saadaan käyttämällä kaavaa:

$$\text{Täyttöaste} = \frac{\text{Käytetty kapasiteetti}}{\text{Käytössä oleva kapasiteetti}}$$

Kuljetusjärjestelmän tehokkuutta pystytään lisäämään kartoittamalla mahdollisuus paluukuormalle. Ilman paluukuormaa syntyy tehotonta tyhjänä ajoa, joka tulee laskea mukaan järjestelmän tehok-

kuuteen. Hakekuljetuksissa paluukuormien mahdollisuus on vähäinen, sillä autot ovat usein sidottuna yhteen ajoväliin, jolta poikkeaminen aiheuttaa ajallista menetystä kuorman lähettävässä päädyssä. Yhteen suuntaan kuljetettavan kuorman tehokkuutta pysytään lisäämään suurentamalla kuormatilaa mahdollisimman suureksi.

5.2 Kuljetusjärjestelmän suunnittelutasot

Lähdevaaran (2012) mukaan kuljetusjärjestelmä voidaan jakaa kolmeen tasoon: rakentamiseen keskittyvään strategiseen tasoon, kehittämisorientoituneempaan taktiseen tasoon, sekä päivittäisen ohjaamisen operatiiviseen tasoon.

Strateginen taso toimii ylimmäisenä tasona kuljetusjärjestelmän suunnittelussa, se kattaa koko kuljetustoiminnan ja logistiikkaketjun. Tällä tasolla tehdyt päätökset tehdään pitkällä aikavälillä ja niihin vaikuttaa liiketoiminnan tavoitteet. Strategisiin päätöksiin kuuluu mm. kuljetettavien tuotteiden vaatiman kuljetuskaluston hankinta sekä varastojen ja terminaalien sijoittelu ja lukumäärä. Strategiset päätöksenteon elementit johtuvat aina vallitsevasta kilpailutilanteesta ja niiden avulla määritetään yrityksen selviämismahdollisuudet kilpaillulla alalla. (Lähdevaara 2012, 3–5.)

Taktisella tasolla pyritään keskittämään resurssit mahdollisimman tehokkaasti, tähän osioon kuuluu esimerkiksi kuormatilojen kokomäärittely strategisen tason päätösten tukena. Päätökset tehdään lyhyemmällä, noin 1–2 vuoden aikajänteellä mm. kuljetusmuotojen valinnan sisältäen mahdollisten yhdistelmäkuljetuksien eri osa-alueiden työnjaon, eri yksiköiden toiminta- ja kuljetusalueiden, palvelutason sekä tavaravirtojen hallinnan osalta. (Lähdevaara 2012, 4–5.)

Operatiivisella tasolla ratkotaan kuljetustoiminnan päivittäisiä haasteita esimerkiksi kaluston, reitityksen ja kuljettajien muodossa. Kuljetuksen operatiivisen suunnittelun avulla kuljetukset pystytään suorittamaan strategian mukaisesti. Tätä kuljetussuunnittelua tehdään suuremmissa yrityksissä ajojärjestelijöiden toimesta ja suunnittelu vaatii kokonaiskuvan hahmottamista, sillä usein kuljetusten ohjaus tehdään lähes reaaliaikaisesti tilauskannan muutosten mukaisesti. (Pöllänen & Mäntynen 2002, 108.)

6 Tieliikennelain sallimat mitat ja massat

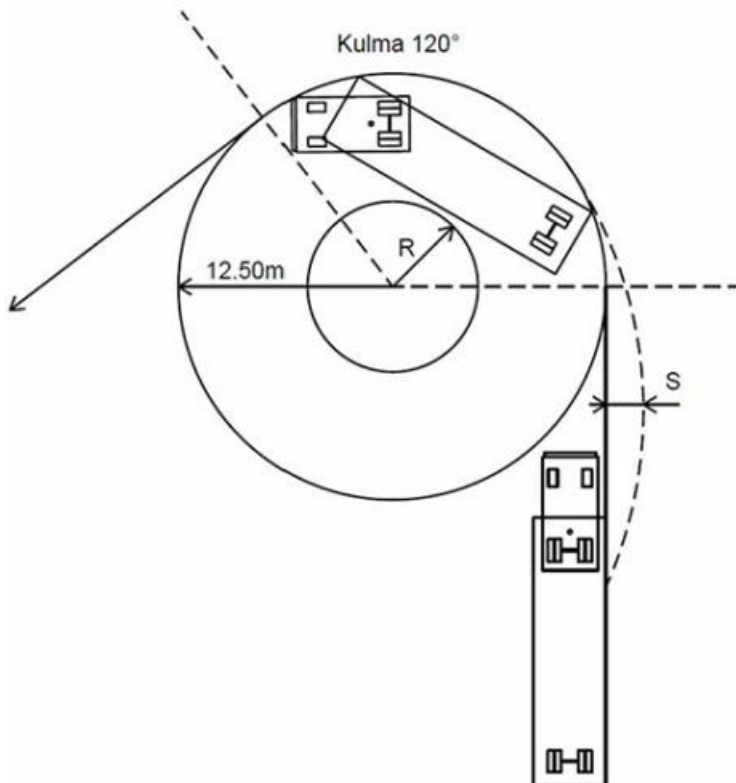
Tieliikennelaissa säädetään kaikki liikennesääntöihin, -merkkeihin, -ohjaukseen, sekä ajoneuvon turvalliseen käyttämiseen vaikuttavat asiat. Tieliikennelain tarkoitus on lisätä liikenneturvallisuutta ja sujuvuutta, sekä luoda edellytykset älykkäälle liikenteelle, joka vaatii digitalisoitumista sekä tulee tulevaisuudessa perustumaan enemmän automaatioon. (Kiiski 2020)

Korkean kapasiteetin kuljetukset, jäljempänä HCT (high capacity transport) ovat yleistyneet 21.1.2019 tulleen lakimuutoksen jälkeen myös hakekuljetuksessa. Lakimuutoksen myötä tiekuljetuksessa sallittiin yleiseen käyttöön yhdistelmän entisen 25,25 metrisen maksimipituuden tilalle jopa 34,5 metriä pitkät ajoneuvoyhdistelmät. (Tieliikennelaki 729/2018, 125 §.) Näitä yhdistelmiä on liikkunut poikkeusluvalla Suomen teillä jo vuodesta 2013, tänä aikana on tutkittu HCT-rekkojen liikenneturvallisuutta sekä vaikutusta tiestöön. Suurin sallittu massa säilyy edelleen 76 tonnissa (Tieliikennelaki 729/2018, 122 §.) Poikkeuslupamenettelyllä voidaan suurinta sallittua massaa kuitenkin kasvattaa tietyin ehdoin. Poikkeuslupaa voidaan hakea, mikäli se todetaan tarpeelliseksi esimerkiksi uuden tekniikan kokeiluun, tuotekehityksen tai muun erityisen syyn takia (Poikkeusluvut ajoneuvon teknisistä vaatimuksista tai sen käytöstä tiellä n.d.). Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu leveys on säädetty 2,6 metriin ja korkeus 4,4 metriin, eikä se saa ylittyä ajoneuvon ollessa kuormaamaton tai akselinnostolaite yläasennossa (Tieliikennelaki 729/2018, 126 §.) Olen taulukoinut nämä suureet alla olevaan taulukkoon 1 hahmotuksen avustamiseksi.

Taulukko 1. Tieliikennelain 729/2018 sallimat suurimmat mitat

Suure	Määrä	Pykälä
Pituus	34,5 m	125
Leveys	2,6 m	126
Korkeus	4,4 m	126
Massa	76 t	122

Yhdistelmien kääntyvyysäännöissä mainitaan, että yhdistelmän tulee pystyä suorittamaan 120 asteen käänös maksimissaan 12,5 metrin ulkosäteellä olevan ympyrän sisällä. Käänökseen lähdeittäessä perävaunun takakulman ylitys saa olla enintään 0,8 metriä ja ympyrän vapaan sisäsäteen tulee olla vähintään 3,7 metriä. (Lahti 2021) Kääntyvyysääntö on havainnollistettu alle kuvioon 3.



Kuvio 3. Kääntyvyysäännöt

7 Innovaatio

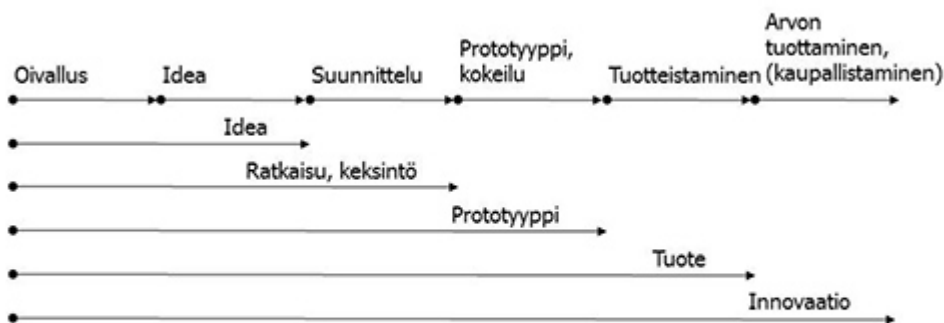
Kehittämisprosessinakin tunnetulla innovaatiolla pyritään tuottamaan uutta tuotetta, tai tuotantomallia, resurssia tai ratkaisuja sekä niiden joko kokonaisvaltaista tai osittaista kehittämistä, testausta ja käyttöönottoa. Sekä Bureau (2020), että Pernaa (2013) pitävät innovaatioprosessin tärkeimpänä tavoitteena idean toteuttamista toimivaksi ratkaisuksi. Pernaa (2013) asettaa

innovoinnin suurimmaksi esteeksi epäonnistumisen pelon ja Döpfnerin (2018) haastattelussa innovoinnista puhuessaan Amazonin perustaja Jeff Bezos kehottaa valmistautumaan väistämättömiin väärinymmärryksiin uutta tuotetta luodessa (Döpfner 2018.)

Innovaatiotoiminta yleistyy jatkuvasti yrityskulttuurin muuttuessa suvaitsevaisempaan ja dynaamisempaan suuntaan. Morris (2011) kuvaa yrityskulttuurin muuttumista vastaanottavaisemmaksi entisaikoihin nähden pakottavaan sävyyn. Vielä kaksi vuosikymmentä takaperin uusia innovaatioita ja kilpailijoita pystyttiin sulkemaan markkinoilta puhtaasti suurten yritysten tuotantomäärillä ja polkemalla hintoja, sekä sopimalla kuljetusliikkeiden kanssa yksinoikeussopimuksia. Tällainen toiminta ei enää tänä päivänä ole mahdollista, osittain globalisoitumisen ja saatavuuden helpottumisen vuoksi. (The innovation master plan 2011, 4.)

Lineaarinen innovaatioprosessin malli perustuu toisiaan seuraaviin vaiheisiin.

1. Oivaltaminen
2. Idea
3. Suunnittelu
4. Prototyyppi
5. Tuotteistaminen
6. Kaupallistaminen



© Esko Sämskilähti

Kuvio 4. Lineaarisen innovaatioprosessin malli (Sämskilähti 2014)

8 Kehitettävä järjestelmä

Lähtökohtaisesti tässä toimeksiannossa on tarkoituksena maksimoida kuormakapasiteetti tietyillä raja-arvoilla, jotka mahtuvat tieliikennelain asettamiin rajoitteisiin. Kuormakapasiteetin maksimointi on tarkoitus suorittaa kasvattamalla normaalin, siirrettävän TEU-merikontin (Twenty foot equivalent unit) korkeutta n. 4 metriin saakka nykyisen 2,6 metrin sijasta, jolloin kapasiteetti nousisi noin 54 prosenttia viemättä yhtään enempää pohjapinta-alaa kuljettavalta kalustolta. Tämä on tärkeä tekijä, sillä kuljetuskaluston ja konttien ulkomitat on säädetty vastaamaan toisiaan, eikä leveyttä tai pituutta pysty kasvattamaan ilman, että kuljetus vaatisi erikoiskuljetuslupaa. Kehitettävän merikontin tulisi soveltua kuljetettavaksi pääasiallisesti sekä rautateitse terminaalista toiseen tai suoraa loppukäyttäjälle, että kuorma-autolla tienvarsivarastolta terminaaliin tai purkupaikalta loppukäyttäjälle. Kontti on varustettu päältä avattavalla mekanismilla, jotta puuhake pystytään lastaamaan joko suoraa hakettimella tai vaihtoehtoisesti kauhakuormaajalla. Kuljetuksen ajaksi kontti on suljettavissa, jotta puuhaketta ei katoaisi ilmapirran mukana kuormasta. Kontin tulee lisäksi pysyä siirrettävänä, sitä täytyy pystyä siirtämään riittävään nostokyvyn omaavalla kuormaajalla tai trukilla.

Tuoreen, vastakaadetun puun kosteusprosentti voi olla jopa 50–60 prosenttia. Tämä aiheuttaa useita erilaisia haasteita tuotanto- ja kuljetusprosessissa. Näitä haasteita ovat esimerkiksi kuljetettavan hakkeen laatu ja vähäinen lämpöarvo, hakkeen homehtuminen sekä polttoaineen kulutuksen kasvu. (Laatu n.d.) Lisäksi hakkeen sisältämä kosteus voi aiheuttaa jäätymistä kovilla pakkasilla. Hake jäätyy merikontin saman ilmiön vuoksi, miksi kieli voi jäätymään metallitankoon. Hake sisältää kosteutta ja on vasta hakettuna lämpimämpää kuin sääolojen varassa ollut kuormatila. Metallin lämmönjohtokyky on riittävän suuri johtaakseen lämmön pois hakkeesta, jolloin jäätymisen kuormatilaan tapahtuu. (Puttonen 2012.)

Hakkeen kuivattaminen lähtöterminaalissa vaatisi suuret, sisätiloissa sijaitsevat varastotilat. Ulkotiloissa hakekasat eivät peitettynäkään kuivu kunnolla, vaan imevät ilmasta kosteutta itseensä. (Raitila 2014, 16–17.)

Taulukko 2. Merikontin ulkomitat (Merikonttien mitat)

	Aihio	Valmis	Muutos (%)
Pituus (m)	6,05	6,05	0
Leveys (m)	2,44	2,44	0
Korkeus (m)	2,59	4	54
Tilavuus (m ³)	38,2	59,0	54

Merikontin prosentuaalisen mittamuutoksen laskukaavana on käytetty seuraavaa

$$\left(\frac{\text{Valmis} - \text{aihio}}{\text{aihio}} \right) * 100$$

Määrällisesti kuljetuksen tarve olisi kuusikymmentä konttia kahdessa erässä, noin kaksi kertaa viikossa. Tällä kaavalla yksi kontti liikkuisi noin viisikymmentä kertaa vuodessa edestakaisin. Konttimäärästä puolet olisi aina junan kyydissä ja puolet vastaavasti lastauksessa lähtöpaikassa. Näin vältetään katkoksia tuotannossa.

Laskelmissa käytettävän hakkeen saatavuus ja kuljetettavat määrät ovat teoreettisia ja tuotanto on ympärivuotista. Laskennassa käytetään hakkeen kuutiopainona lähellä kuusisahahakkeen keskimääräistä painoa olevaa 400 kg/m³ (Lindblad & Verkasalo 2001, 1.) sekä merikontin ulkomittoja. Vuositasolla kuljetettavaa materiaalia tulee näiden laskelmien mukaisesti olemaan yhteensä 70 860 000 kg ≈ 71 tuhatta tonnia.

Kuljetustarpeen vuosimäärä on laskettu käyttämällä seuraavaa laskukaavaa

$$\text{Valmiin kontin tilavuus} * \text{kuutiopaino} * \text{konttien määrä} * \text{kuljetusten vuosimäärä}$$

8.1 Tiekuljetukset

4 metrin korkeus kuljetusyksikössä on tieliikenteessä suurimpaan sallittuun 4,4 metrin korkeuteen verrattuna haasteellinen, sillä se tarkoittaa, että tarvitaan erikoisvalmisteinen ja riittävän matala alusta kuljetusta varten. Erikoiskuljetuksiin suunniteltuja, matalia lavetteja löytyy käytössä n. 35 cm lastauskorkeudella (Kalusto n.d.). Lavetin lastaustilan pituus (kts. kuvio 5) antaa myöden vain yhden kontin kuljettamisen kerrallaan, mutta lavetteja pystytään yhdistelmien maksimipituuksien rajoissa kuljettamaan kahta peräkkäin. Kuorman lastausalueen pienuus asettaa rajoituksia optimoinnissa käytettävälle määrälle, mitä saadaan mahdollisesti kerralla tuotua tienvarsivarastolta terminaaliin tai rautatiekuljetuksen päätepaikalta loppukäyttäjälle.



3-aksl. (extra-matala)

Kantavuus 45 tn

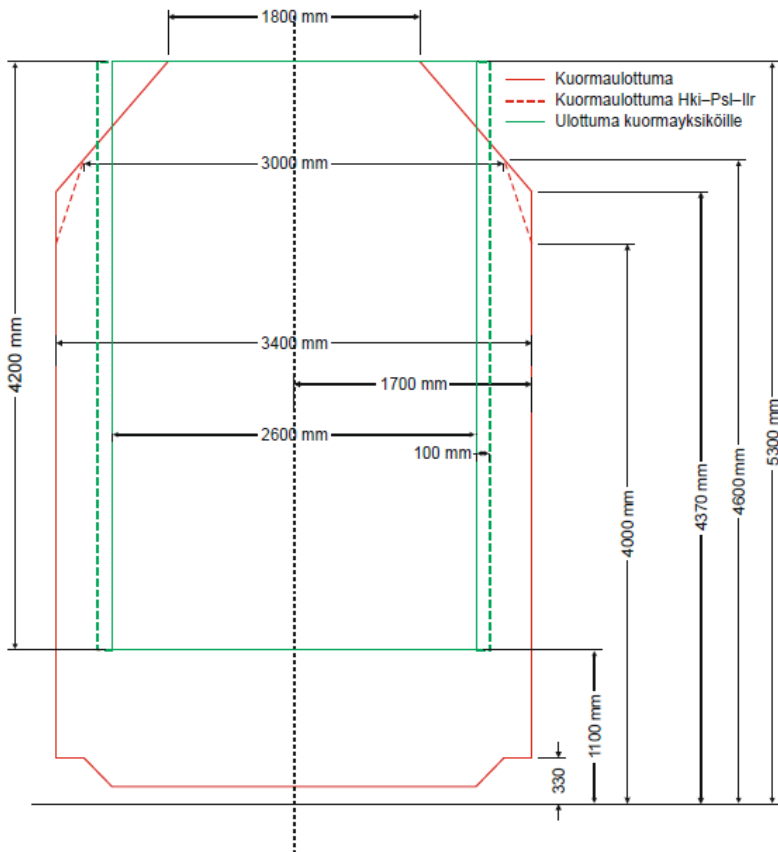
Lastaustilan pituus 7,2 -11.4 m

Lastauskorkeus 0,35 m

Kuvio 5. Matala kehtolavetti (Kalusto).

8.2 Rautatiekuljetukset

Rautateillä edellä mainittu ei aiheuta haasteita, sillä Rautateiden verkkoselostus 2021 (2019, 64) mukaisesti kuormattavan kuljetusyksikön vapaakorkeus saa olla enintään 4,2 metriä lastauskorkeuden ollessa 1,1 metriä.



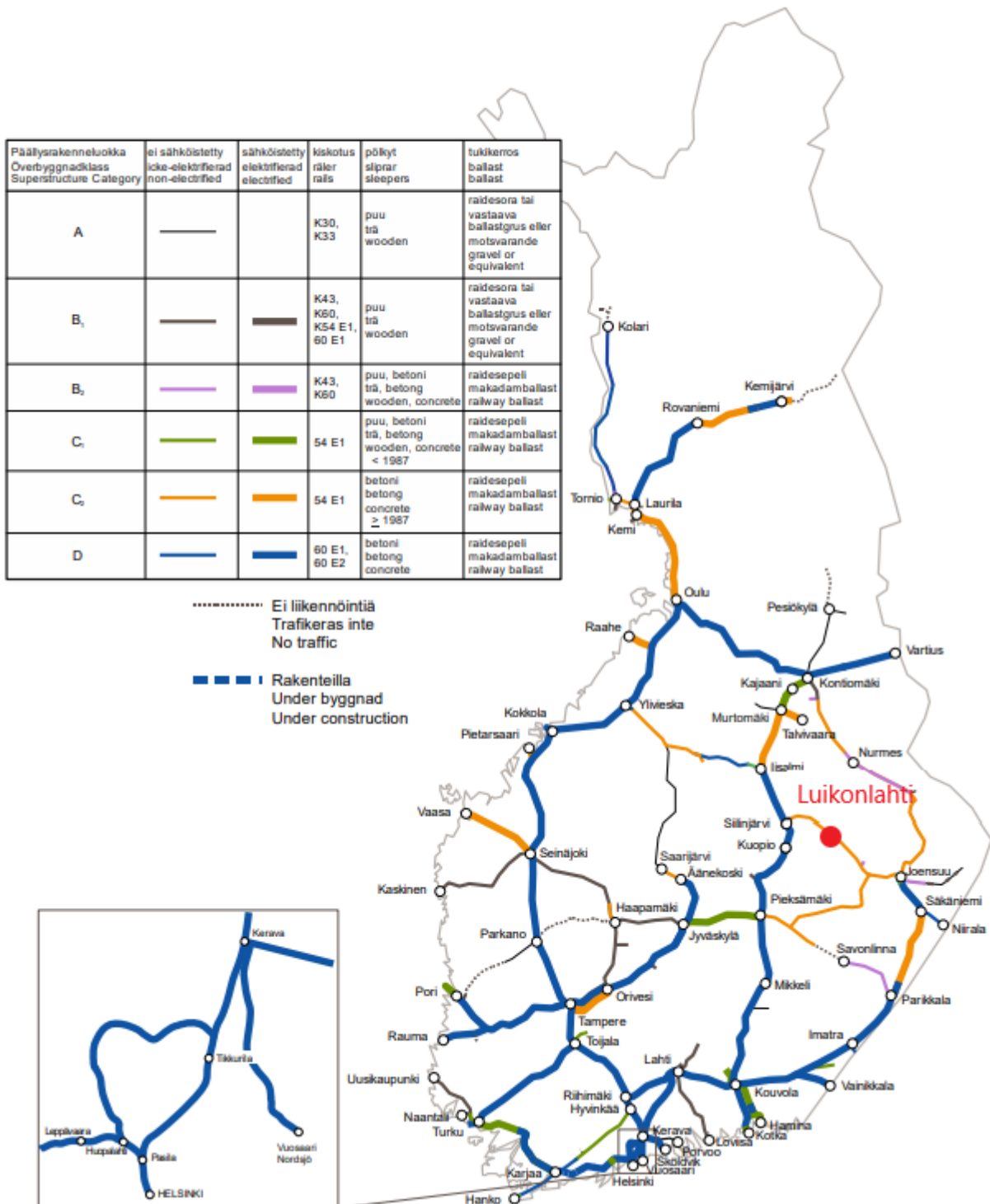
Kuvio 6. Rautateillä sallittu kuormaulottuma (Rautateiden verkkoselostus)

9 Liikenneinfra

9.1 Rataverkossa

Kuljetusten suunnittelussa käytetään apuna olemassa olevaa rataverkkoa, mihin on lisätty Luikonlahden sijainti. Ensimmäinen kuljetustekniikkaan vaikuttava havainto karttaa tarkastellessa kohdistuu rataväliin, jonka varrella Luikonlahti sijaitsee. Rataa ei ole sähköistetty, mikä tarkoittaa sitä, että ensimmäinen siirtymä kumpaan tahansa suuntaan tulee tehdä dieselveturilla. Siilinjärveltä etelään, sekä Joensuusta etelään matkaa pystytään jatkamaan loppuun saakka sähköveturilla. (Rautateiden verkkoselostus 2021, 131).

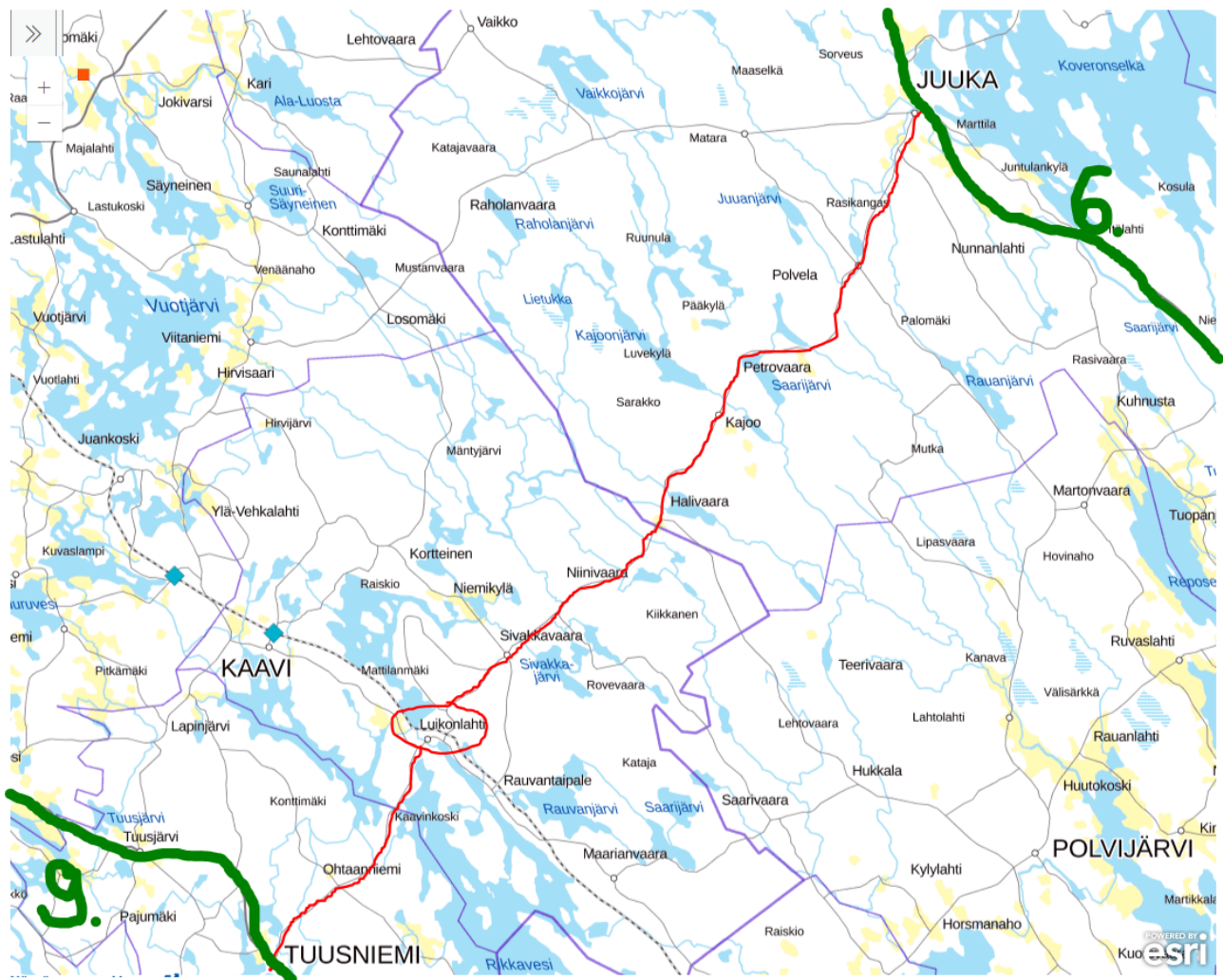
Suomessa on käytössä standardista raidelevydestä poiketen niin kutsuttu leveä raideväli 1524 mm, standardin raidevälin ollessa 1435 mm. Venäjällä on käytössä lähes Suomen raidelevyettä vastaava 1520 mm levyinen raide. (Suomen rautatieliikenteen erityispiirteitä)



Kuvio 7. Rataverkon sähköistys (Rautateiden verkkoselostus 2021)

9.2 Tieverkossa

Luikonlahden ratapihalla sijaitsee Väyläviraston hallinnoima raakapuun lastauspaikka, mikä tarkoittaa sitä, että ratapiha on helposti saavutettavissa tukkirekalla. Sijainti valtatie 9:n läheisyydessä helpottaa itä-länsisuunnassa liikkumista, Luikonlahdelta pohjoiseen kulkevan tien 5720 kautta pääsee valtatielle 6 Juukan kautta. Kuviosta 7 selviää, näillä liityntäväylillä ei ole korkeusrajoitettuja siltoja, joten kuljetusyksikön kuljettaminen korkeuden puolesta on tarvittaessa mahdollista. (Siltarajoitukset)

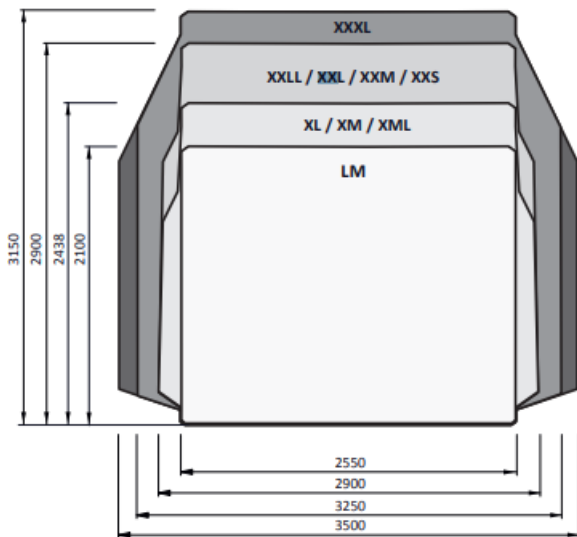


Kuvio 8. Siltarajoitukset kartalla

10 Olemassa olevia järjestelmiä muissa maissa sekä Suomessa

10.1 Ruotsi

Smithin (2018) International Railway Journaliin kirjoittaman artikkelin mukaan. Ruotsissa vuonna 2018 otettiin käyttöön 81 uutta, Itävallassa Innofreightin toimesta valmistettua siirrettävää hakekonttia, joita mahtuu yhteen junan vaunuun 3 kpl. Yhden siirrettävän kontin tilavuus on maksimissaan 57 kuutiometriä, joten 27 vaunun yhdistelmällä pystytään kuljettamaan kerralla n. 4600 kuutiometriä, mikä nostaa kapasiteettia entiseen n. 3500 kuutiometriin nähden noin 31 prosenttia. (Smith 2018.)



Kuvio 9. Innofreightin kuljetuskonttien tyypit ja mitat



Kuvio 10. Innofreightin kuljetuskonttien purkutavat

Trochen (2009, 190–192) Moran ja Gävlen 320 km mittaisella välillä tehdyn tutkimuksen mukaisesti kustannusjakauma kuljetuksissa oli seuraavanlainen. 33 prosenttia kustannuksista koostui käytetyistä kuljetusvälineistä, 19 prosenttia kuljettajan palkkakustannuksista, 9 prosenttia kuljetusalustan vaihtotöistä 6 prosenttia käytetystä energialähteestä sekä 4 prosenttia infrastruktuuriin kohdistuneista kuluista. Saman tutkimuksen mukaan kustannusten säästöä syntyisi 5,3 prosenttia, mikäli kuorman maksimimäärää nostettaisiin 11 prosenttia 22,5 tonnista 25 tonniin.

10.2 Kanada ja Yhdysvallat

Mahmeda & Flynn (2006) ovat tutkineet Kanadassa, Albertan provinssissa kustannuksia junalla ja kuorma-autoilla tehtävistä hakekuljetuksista. Tutkimuksessa päädyttiin lopputulemaan, jossa kuorma-autolla tehtävät kuljetukset ovat kustannustehokkaampia, vaikka välimatkat polttolaitokseen venyisivät 410 kilometriin saakka. Albertan provinssissa rautatieverkosto on heikompi, kuin eurooppalaisissa vertailukohteissa, sillä yhtymäkohta kolmella tutkitulla rataosuudella löytyy vain Edmontonin kaupungista. Tieverkosto sen sijaan antaa mahdollisuuksia polttolaitoksen vähemmän keskeiselle sijoittelulle.

Lautala, Pouryousef, Handler ja Chartier (2012) tutkimuksen mukaan taas Yhdysvalloissa, Michiganin osavaltiossa vastaavia kustannuksia ja päätyneet tulokseen, jossa kuljetukset ylittävät 208 kilometrin matkan, tulee junakuljetus edullisemmaksi. Kustannuksiin vaikuttaa suurelta osalta polttoaineen muuttuvat hinnat, jotka eivät koske junakuljetuksia samassa mittasuhteessa, kuin kuorma-autoja niiden pienemmän lukumäärän vuoksi.

10.3 Suomi

Tahvanainen ja Anttila (2010) ovat tutkineet Suomessa biopolttoaineen kuljetusketjujen kannattavuutta Uimaharjun polttolaitoksen sijainnin perusteella. Tutkimuksessa on optimoitu kymmenen erilaista kuljetusketjua ja päädytty siihen tulokseen, että kuljetettavan matkan ylittäessä 145 km, on kannattavin vaihtoehto kuljettaa hake kohteeseen rautatiekuljetuksella. (Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland, 2010.)

Suomessa on kaivosteollisuudessa otettu käyttöön vuonna 2021 modulaarisen rautatiekuljetuksen mahdollistava Finnowagon-vaunutyyppi. Vaunutyyppi on suunniteltu yhteistyössä vaunuja operoivan VR Transpointin, vaunuja toimittavan Itävaltalaisen Innofreight Oy:n, sekä vaunuja logistiikkansa käyttävän Yaran kesken. Vaunutyyppin alusta, sekä kuormatila ovat erilliset yksiköt, joten kuormatila vaihtamalla voidaan kuljettaa erilaisia tuotteita. Pilottijakson aikana vaunulla kuljetetaan pyriittiä Yaran Pyhäsalmen kaivokselta Siilinjärven tehtaille jatkojalostukseen, mutta jatkossa kuljetusten on tarkoitus ulottua myös nestemäisten tuotteiden säiliökuljetuksiin (Yaran tehdaskuljetusten päästöt vähenevät 2022.) Lähtökohtaisesti kuljetusten määrä ratavälillä on vuositasolla noin 350 000 tonnia, mikä on Yaran rautatiekuljetusten kokonaismäärästä (n. 2 miljoonaa tonnia) 17,5 prosenttia (VR Transpoint ja Yara sopimukseen rikastekuljetuksista 2018; Yara ottaa käyttöön ensimmäiset muunneltavat Finnowagon-vaunut 2018.)

11 Tutkimuksen toteutus

11.1 Tavoitteen tarkastelu

Työn tavoite oli tutustua olemassa oleviin kuljetusmuotoihin sekä tutkia, onko kuljetuksissa mahdollista käyttää kuljetusalustana korotettua intermodaalista merikonttia. Tavoite itsessään syntyi keskustellessa yhdessä työn tilaajan kanssa. Työn tilaajalla on pitkä kokemus energia-alasta ja käsitys kuljetusmuotojen kartoittamisen tarpeesta. Ajatus merikonttien käytöstä on peräisin tieliikenteessä sallitun maksimikorkeuden omaavan kuljetusalustan täyttöasteen maksimaalisesta käytöstä, johon päästään korottamalla kuormatila. Tavoitteeseen tutustumalla on ollut helpompi lähestyä varsinaista tutkimusaihetta ja syventyä eri kuljetusmuotojen tarjoamiin mahdollisuuksiin, hyötyihin ja haittoihin.

11.2 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimuksen suorittaminen käynnistettiin tarkastelemalla tavoitteita ja niihin liittyviä haastavia aiheita, joiden perusteella muodostettiin tutkimuskysymykset. Tutkimuskysymysten avulla pystytään rajaamaan tutkimusta pienempiin osiin ja palauttamaan laajaa aihetta käsitellessä takaisin perusasioiden pariin. Rajaaminen alkuperäisestä kokonaisuudesta on muodostunut yhdessä työn tilaajan, tutkimuksen tekijän sekä oppilaitoksen välisissä keskusteluissa. Rajaamisen ja tutkimuskysymysten perusteella lähdettiin muodostamaan käsitystä siitä, mihin toimijoihin tutkimuksen edetessä tulisi ottaa yhteyttä ja minkälaisilla kysymyksillä näitä toimijoita pystyttäisi lähestymään.

Haastattelut pyrittiin suorittamaan puolistrukturoituna, jolloin kysymykset lähetetään haastateltaville etukäteen, jonka jälkeen sovitaan haastattelu aika puhelimitse. Haastatteluun pyrittiin saamaan osallistujia kuljetusyrityksiltä, rautatieoperaattorilta, sekä energialaitokselta.

Haastattelu saatiin suoritettua junakuljetuksia suomessa käyttävään kaivosteollisuuden yritykseen.

Yrityksen käytössä olevaa järjestelmää voidaan käyttää benchmarkkina tutkimuksen kohteeseen, sillä se on yksi harvoista kotimaassa käytössä olevista järjestelmistä.

Puhelinhaastattelussa esitettyihin kysymyksiin saatujen vastausten perusteella voidaan todeta, että kotimaan raideliikenteessä on yksinomaan yrityksen toimintaa varten varattua kalustoa noin 300 vaunua, joiden käyttöaste vaihtelee arviolta 70 prosentista jopa säiliövaunujen 100 prosenttiin. Säiliövaunujen kapasiteettia pyritään nostamaan mm. suunnittelemalla Finnowagon-alustoille sopivia kiinnitysmekanismeja. (Oksanen 2022.)

Junakuljetukset on otettu käyttöön tehtaiden ja kaivosten pysyvien sijaintien perusteella ja tehtaille on rakennettu oma raideinfra kuljetusten lastauksen ja purun mahdollistamiseksi. Myös tehtaiden piha-alueet suunnitellaan sillä periaatteella, että rautatieliikenne on mahdollisimman turvallista ja sujuvaa. Rautatieliikenteen hyvänä ominaisuutena voidaan pitää luotettavuutta ja helppoa aikataulutettavuutta, junat eivät ole niin alttiita sääolosuhteiden äkillisille muutoksille tai liikenneruuhkille. Yrityksen raaka-aineiden kuljetusmäärät ovat niin suuria, ettei niitä kannata suunnitella kuljetettavaksi kuorma-autoilla tiestölle, sillä kuorma-autoilla kuljetusten kustannukset nousisivat merkittävästi. Kuorma-autojen saatavuus kuljetettavalle raaka-ainemäärälle ei ole realistista. Asiakaskuljetukset lopputuotteille kuljetetaan kuitenkin poikkeuksetta kuorma-autoilla. Junakuljetuksia on aikataulutettuna eri tehtaiden välillä seitsemänä päivänä viikossa ja lähtöjä on jopa useita kertoja vuorokaudessa, lisäksi kausivaihtelun aiheuttamiin lisäkuljetuksiin on varauduttu sekä kuljetusoperaattorin, että tehtaiden toimesta. Raideliikenteen huonona ominaisuutena voidaan pitää kylmien talvien aiheuttamia liikennekatkoksia, kuljetettavat tuotteet voivat jäätyä kuljetusalustoihin kiinni, jolloin purkuvaiheen tehokkuus kärsii mittavasti. (Oksanen 2022.)

Rautatieinfran kehittämistä on suoritettu yhteistyössä operaattorin kanssa mm. raiteiden sähköistämisen merkeissä. Viimeisen raidevälin, Iisalmen ja Ylivieskan välillä, sähköistäminen valmistuu

vuoden 2023 loppupuolella, jonka jälkeen yrityksen kaikki rautatiekuljetukset pystytään suorittamaan sähkövetureilla. Tällä tavoin päästään lähemmäksi yrityksen ilmastotavoitteita, joiden mukaan yritys on hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. (Oksanen 2022.)

Tärkeimpinä tekijöinä Oksanen pitää raideliikenteestä puhuessaan ilmastoystävällisyyden lisäksi purun, sekä lastauksen tehokkuutta, aikataulutusta sekä riittävän suurta kuljetusmäärää, jolla saadaan kuljetusoperaattori kiinnostumaan kuljetuksista.

12 Tutkimuksen tulokset ja pohdinta

Nykytila-analyysia (taulukko 3) tarkastellessa molempien kuljetusjärjestelmien lokeroista löytyy pitkälti samat asiat, toisen heikkous on toisen vahvuus ja toisinpäin. Kuljetusyritysten hypoteesinomaisen kilpailuttaminen opinnäytetyötä varten osoittautui mahdottomaksi tehtäväksi. Kuljetusoperaattoreista raiteilla tai tiellä ei useista lähestymisyryksistä huolimatta löytynyt kiinnostuneita henkilöitä arvioimaan mahdollisuuksia tai kustannuksia, sillä kahden vuoden mittaisen Korona-viruksen ja tutkimuksen suorittamisen aikana syttyneen yleisen poliittisen epävakauden sekä polttoaineen hintojen heittely aiheuttaa yrityksille paineita omassa päivittäisessä selviämisessä, mistä johtuen aikaa tai energiaa ei riitä arvioimaan teoreettisten kuljetustehtävien vaikutuksia.

Taulukko 3. Kuljetusjärjestelmien nykytila-analyysi

Raideliikenne	Tieliikenne
Vahvuudet	
Pysyvät lähtö- ja purkupaikat	Kuljetusten joustavuus
Kuljetettava matka	Kuljetusyritysten lukumäärä
Kuljetettava määrä	Loppuasiakkaan helppo saavutettavuus
Heikkoudet	
Joustamattomuus	Kuljetettava matka
Hitaus	Kuljetusalustojen määrä
Raideyhteyden puuttuminen loppukäyttäjältä	Kustannukset
Mahdollisuudet	
Kustannussäästöt	Kuljetusten nopea saatavuus
Ympäristöystävällisyys	Lähtöpaikkojen määrä
Toiminnan laajentuminen muihin lähtöpaikkoihin	
Uhat	
Vaunuryhmäkuljetusten tarjonnan väheneminen	Ympäristöystävällisyys
Raideliikennekuljetusten palvelutason heikentyminen	Kilpailutuksen vaikeus epävakaisissa olosuhteissa
Kilpailutuksen vaikeus epävakaisissa olosuhteissa	Tuottavuus

Kustannuksiin vaikuttavina tekijöinä voidaan mainita työvoimakustannukset, polttoaineet ja kuljetuskalusto, sekä hankittava, tai valmistettava konttikalusto.

Kuljetusjärjestelmien eroja tarkastellessa voidaan todeta, että rautatiekuljetuksissa työvoimaa tarvitaan huomattavasti vähemmän, sillä kerralla kuljetettava määrä on suurempi. Junalla pystytään

yhden kuljettajan toimesta kuljettamaan kerrallaan tässä tapauksessa 30 kontillista haketta, kumipyöräkuljetuksissa taas jokainen kahden kontin vetoinen kuorma vaatii oman kuljettajansa.

Rautatiekuljetuksessa raideyhteyden puuttuminen loppuasiakkaan tiloista aiheuttaa tarpeen kuorman purkamiselle jossain toisessa paikassa. Valitettavasti rautatieoperaattoreilta tutkimukseen ei yhteydenotoista huolimatta saatu vastauksia, missä tällaiseen tehtävään kykenevät purkupaikat sijaitsevat. Purkupaikalta matkaa tulisi jatkaa kumipyörillä, joten yhdistelmäkuljetus olisi ainoa vaihtoehto tuotteen saattamiselle lähtöpaikalta vastaanottajan käytettäväksi. Korotettu merikontti on teoriassa mahdollinen tapa kuljettaa haketta terminaalista loppukäyttäjälle, mutta vaatii erikoisvalmisteisen lavetin pysyäkseen tieliikennelain asettamissa rajoissa. Kääntyvyysäännöt lisäävät omat vaatimuksensa terminaalien lisäksi mahdollisille metsä- ja tienvarsihaketuspaikoille. Noutopaikkojen tulee olla riittävän laajoja ja tiestön pitää olla kunnossa, jotta nämä paikat pystytään saavuttamaan pitkillä yhdistelmäajoneuvoilla vaivattomasti. Tiepohja metsissä ei välttämättä ole riittävän leveä ja kestävä suurille ajoneuvoille.

Myöskään lähtöpaikaksi valikoitunut Luikonlahden ratapiha ei ole paras mahdollinen vaihtoehto, sillä sähköistetyn radan varressa oleva lähtöpaikka jättäisi pois kokonaan tarpeen dieselveturille. Dieselveturin poistaminen yhtälöstä nostaisi ympäristöystävällisyyttä, sillä sähköveturi kuluttaa dieselveturia vähemmän luonnonvaroja. Vaikka koko junakuljetus ajettaisiin lähtöpaikasta päätepisteeseen dieselveturilla, olisi rautatiekuljetuksen ympäristövaikutus silti pienempi, kuin viitekehysessä suoritettavan tieliikenteen aiheuttamat päästövaikutukset.

Yhtenä mahdollisuutena tulisi ajatella myös loppuasiakkaan läheisyyteen ratapihalle perustettavaa haketerminaalia, jossa tyhjennys voitaisiin suorittaa suoraan vaunun päältä linjastoon ja säilytyspaikkaan tai rekka-auton kuormatilaan. Säilytyspaikasta loppukuljetukset voitaisiin hoitaa normaallilla tieliikennekalustolla, tai mahdollisesti HCT-rekoilla asiakkaalle. Näin tarvittavat kontit voisivat pysyä koko ajan junanvaunujen päällä, mikä vähentää katoamisen mahdollisuutta ja vähentää turhaa tyhjänä ajoa tieliikenteessä.

VR Transpointilla olemassa olevia vaunuja voitaisiin käyttää näiden konttien kuljetukseen, mutta Innofreightin valmistamat kontit toimisivat myös hakkeen kuljetuksessa erittäin hyvin. Tällä hetkellä näitä kontteja ei ole saatavilla Suomessa, sillä kaikki on varattu kaivosteollisuuden käyttöön.

Kontit ovat leveydeltään sellaisia, että niitä ei pystytä kuljettamaan kumipyöräliikenteessä ilman erityiskuljetuslupaa, joten myös tässä tapauksessa tulisi hakkeelle suorittaa välipurku terminaalissa. (Kts. kuvio 9.) Tutkimukseen ei saatu tietoa siitä, kuinka paljon mahdollista vuokrattavaksi vapaata vaunukalustoa olisi tarjolla, joten joudumme olettamaan kalustoa olevan saatavilla tarpeeksi. Jokainen lisävaihe kuitenkin aiheuttaa lisäkustannuksia ja aiheuttaa lisää menetyksiä kuljetuksen ajallisessa tehokkuudessa.

Hakkeen jäätymistä on pyritty estämään erilaisilla kuormatiloilla, esimerkiksi komposiittikontin on todettu vähentävän jäätymistä sillä materiaali ei kylmene niin kylmäksi, kuin metallikontti. Komposiittivalmisteinen kontti on myös metallikonttia kevyempi, joten kokonaispainossa hyötykuorma olisi suurempi. Kevyemmän kuorman kuljettamisella pystytään saavuttamaan myös säästöjä polttoaineen kulutuksessa sekä tätä kautta ympäristön kuormitus pieneni.

Kestävän kehityksen kannalta Suomeen hankittavassa rautatiekalustossa tulee ottaa huomioon myös se tekijä, että kalustoa ei ole juuri mahdollista käyttää muualla Euroopassa standardista poikkeavan raideleveyden takia. Kuljetusten kansainvälistyessä tulisi kuljetusalustat vaihtaa vauhasta toiseen. Tämä myös syö kuljetuskaluston jälleenmyyntimahdollisuuksia.

Tutkimuksessa tutustuttiin olemassa oleviin kuljetusjärjestelmiin ja pyrittiin selvittämään, onko mahdollista käyttää 4 metriseksi korotettua TEU merikonttia intermodaalisena kuormatilana. Teoriassa se on mahdollista, mutta aiheuttaa haasteita tieliikenteessä, sillä riittävän matalat lavetit ovat erikoisvalmisteisia, rakenteensa puolesta niihin mahtuu vain yksi kontti kerrallaan kyytiin. Tämä syö tehokkuutta kuljetukselta, sillä normaalikorkuisia kontteja mahtuu HCT-yhdistelmäajoneuvoon peräti 4 kappaletta. Rautatiekuljetuksissa sen sijaan korotettu kontti mahtuu kulkemaan korkeutensa puolesta, mutta jää vajaaksi suurimmasta sallitusta leveydestä lähes metrin, joten myöskään rautatiellä ei saada kuljetuskapasiteettia maksimoitua tällaisella kontilla.

Jatkokehitystarpeita työtä tehdessä paljastui eri osa-alueilta, joita tulisi tutkia tarkemmin. Näitä aiheita on esimerkiksi jatkuvan, ympärivuotisen materiaalivirran turvaaminen. Kuinka pystytään välttämään talvipakkasilla hakkeen jäätyminen kuormatilan seiniin? Lisäksi terminaalitoiminnan sijoittaminen suuremman käyttötarpeen läheisyyteen, jolloin biopolttoaine kuljetettaisiin raaka-aineena terminaaliin junalla tai kuorma-autolla, haketus ja kuivatus tapahtuisi siellä, missä käyttäjiä

olisi enemmän. Työhön ei saatu kustannusarvioita operaattorien vähäisen kiinnostuksen vuoksi, näiden selvittämiseen apukeinoja voisi löytyä operaattoreilla työskenteleviltä henkilöiltä tai mahdollisesti valtion omistajaohjauksesta. Maamme suurin rautatieoperaattori, jolta löytyy myös tieliikennekuljetuksen toiminnot, on kokonaan valtion omistama, joten kotimaisen bioenergian käytön lisäämiseen johtavat poliittiset toimet varmasti lisääisivät mahdollisuuksia kuljetusten kustannuslaskentaan.

Lähteet

Airia Oy. N.d. Yritysesittely Airia Oy:n verkkosivustolla. Viitattu 27.3.2022.
<http://airia.fi/airiafi/>.

Bureau, AF. 2020. The Innovation Process: Importance, Steps, Types, Examples, and Risks Involved. Artikkele Alcorin verkkosivustolla. Viitattu 7.3.2022.
<https://alcorfund.com/insight/the-innovation-process-importance-steps-types-examples-and-risks-involved/>.

Döpfner, M. 2018. Jeff Bezos reveals what it's like to build an empire — and why he's willing to spend \$1 billion a year to fund the most important mission of his life. Haastattelun yhteenveto Business Insiderin verkkosivustolla. Viitattu 7.3.2022.
<https://www.businessinsider.com/jeff-bezos-interview-axel-springer-ceo-amazon-trump-blue-origin-family-regulation-washington-post-2018-4?r=US&IR=T>.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2018. Tutki ja kirjoita. 22. p. Porvoo: Bookwell Oy

INTERACTION-toimenpideselvitys. 2007. Interaction-hankkeen raportti. Viitattu 16.2.2022.
https://www.motiva.fi/files/876/INTERACTION-toimenpideselvitys_17.12.2007.pdf.

Kalusto. N.d. Artikkele Silvasti Oyn verkkosivustolla. Viitattu 17.2.2022.
<https://www.silvasti.com/kalusto>.

Kiiski, K. 2020. Uusi tieliikennelaki voimaan 1.6.2020. Artikkele LVM:n verkkosivustolla. Viitattu 17.2.2022.
<https://www.lvm.fi/-/uusi-tieliikennelaki-voimaan-1-6-2020-1191375>.

Kuitto, P. 2004. Metsästä polttoaineeksi: polttohakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: ER-Paino

Kärhä, K. 2008. Pienpuu ja hakkuutähteet hakkeeksi tienvarressa ja kannot käyttöpaikalla. Artikkele Metsäteho Oy:n verkkosivustolla. Viitattu 28.1.2022.
<https://www.metsateho.fi/pienpuu-ja-hakkuutahteet-hakkeeksi-tienvarressa-ja-kannot-kayttopaikalla/>.

L 729/2018. Tieliikennelaki. Viitattu 17.2.2022.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729#L5P125>.

Laatu. N.d. Artikkele Bioenergian pikkujättiläinen verkkosivustolla. Viitattu 17.5.2022.
<https://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/>.

Lahti, O. 2021. Uusi tieliikennelaki ja rekkojen käyttö säännöt. Julkaisu Traficom:n verkkosivustolla. Viitattu 13.5.2022.

<https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Uusi%20tieliikennelaki%20ja%20rekkojen%20k%C3%A4ytt%C3%B6s%C3%A4nn%C3%B6t.pdf>.

Lautala, P. Pouryousef, H. Handler, R. & Chartier, S. 2012. The Role of Railroads in Multimodal Woody Biomass Transportation in Michigan. Konferenssijulkaisu 2012 Joint Rail Conferencesta. Viitattu 3.4.2022.

<https://www.researchgate.net/publication/267600484> The Role of Railroads in Multimodal Woody Biomass Transportation in Michigan.

Lehtinen, U. & Niinimäki, S. 2005. Asiantuntijapalvelut. Helsinki: WSOY.

Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Tutkimusartikkeli metsätieteen aikakauskirjassa. Viitattu 13.5.2022.

<https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6681.pdf>.

Lähdevaara, H. 2012. Kuljetusjärjestelmän suunnittelu ja kehittäminen. Ammattikorkeakoulun opetusmoniste. 7. PAINOS.

Mahmudi, H. & Flynn, P. 2006. Rail vs Truck Transport of Biomass. Artikkelijulkaisussa Applied Biochemistry and Biotechnology. Viitattu 3.4.2022.

<https://www.researchgate.net/publication/6871546> Rail vs Truck Transport of Biomass.

Merikonttien mitat. N.d. Artikkelijulkaisu Finncontainersin verkkosivustolla. Viitattu 5.5.2022.

<https://www.kontti.fi/mitat>.

Mitä huolinta on? N.d. Artikkelijulkaisu huolintaliiton verkkosivustolla. Viitattu 16.2.2022.

<https://www.huolintaliitto.fi/tietoa-alasta/mita-huolinta-on.html>.

Morris, L. 2011. The innovation master plan. E-Kirja. Viitattu 7.3.2022.

<https://www.pdfdrive.com/the-innovation-master-plan-d23057921.html>.

Oksanen, L. 2022. Operatiivinen aluepäällikkö. Yara Suomi Oy. Haastattelu 27.4.2022.

Pernaa, J. 2013. Innovaatioiden määrittely ja kehittäminen. Artikkelijulkaisu peda.netin verkkosivustolla. Viitattu 7.3.2022.

<https://peda.net/p/johannespernaa/ajatuksia/2013/innovaatio>.

Puttonen, M. 2012. Miksi kieli jäätyy kiinni metallitankoon. Artikkelijulkaisu Tiede-lehden verkkosivustolla. Viitattu 16.5.2022.

https://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/miksi_kieli_jaaty_kiinni_metallitankoon.

Puun energiakäyttö 2020. 2021. Artikkelin luonnonvarakeskuksen verkkosivustolla. Viitattu 26.1.2022.

<https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2020-fi>.

Poikkeusluvut ajoneuvon teknisistä vaatimuksista tai sen käytöstä tiellä. N.d. Artikkelin Traficomin verkkosivustolla. Viitattu 16.2.2022.

<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/poikkeusluvut-ajoneuvon-tekisista-vaatimuksista-tai-sen-kaytosta-tiella?toggle=Poikkeuslupa%20auton%20tai%20per%C3%A4vaunun%20raken-teen%20muuttamiselle&toggle=Poikkeuslupa%20ajoneuvon%20ja%20ajoneuvoyhdis-telm%C3%A4n%20mitoista%20ja%20massoista%20>.

Pöllänen, M. & Mäntynen, J. 2002. Tieliikenne. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Raitila, J. 2014. Energiapuun kuivuminen rankana ja hakkeena. VTT:n tutkimustulokset. Viitattu 16.5.2022.

<https://docplayer.fi/24856377-Energiapuun-kuivuminen-rankana-ja-hakkeena.html>.

Rautateiden verkkoselostus 2021. 2019. Väyläviraston verkkosivustolla. Viitattu 7.3.2022.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-46_vs2021_web.pdf.

Rushton, A. Croucher, P. & Baker, P. 2022. The handbook of logistics and distribution management. 7. painos. Lontoo: Kogan Page. E-Kirja. Viitattu 2.5.2022.

<https://janet.finna.fi/>, VLeBooks.

Siltarajoitukset. N.d. Karttasovellus Väyläviraston verkkosivustolla. Viitattu 9.3.2022.

<https://vayla.fi/vaylista/tieverkko/siltarajoitukset>.

Smith, K. 2018. Larger containers help Green Cargo to boost payloads. Artikkelin International railway journalin verkkosivustolla. Viitattu 27.3.2022.

<https://www.railjournal.com/freight/new-larger-containers-help-green-cargo-to-reduce-operations/>.

Strandström, M. 2021. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2020. Tulosalvosarja Metsäteho Oy:n verkkosivustolla. Viitattu 28.1.2022.

<https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja-2021-08-Metsahakkeen-tuotantoketjut-Suomessa-vuonna-2020.pdf>.

Suomen rautatieliikenteen erityispiirteitä. N.d. Artikkelin VR Groupin verkkosivustolla. Viitattu 9.5.2022.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/yrityksemme/toimintaymparisto/suomen-rautatieliikenteen-erityispiirteita/>.

Tahvanainen, T. Anttila, P. 2010. Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953410004046>.

Troche, G. 2009. Activity-Based Rail Freight Costing. Väitöskirja. Kungliga Tekniska Högskolan, division for Transportation & Logistics. Viitattu 3.4.2022.

https://www.kth.se/polopoly_fs/1.87038.1550157057!/Menu/article/attachment/09_09-002PHD_report.pdf.

VR Transpoint ja Yara sopimukseen rikastekuljetuksista – Pyriittiä kuljetetaan jatkossa uusilla Finnowagoneilla. 2018. Artikkelin VR Groupin verkkosivustolla. Viitattu 26.4.2022.

<https://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/uutiset/vr-transpoint-ja-yara-sopimukseen-rikastekuljetuksista-pyriittia-kuljetetaan-jatkossa-uusilla-finnowagoneilla-081120180901/>.

Yara ottaa käyttöön ensimmäiset muunneltavat Finnowagon-vaunut. 2018. Artikkelin VR Transpointin verkkosivustolla. Viitattu 26.4.2022.

<https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/linked/artikkeli/yara-ottaa-kayttoon-ensimmaiset-muunneltavat-finnowagon-vaunut-171220180830/>.

Yaran tehdaskuljetusten päästöt vähenevät. 2022. Artikkelin VR Transpointin verkkosivustolla. Viitattu 26.4.2022.

<https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/linked/artikkeli/yaran-tehdaskuljetusten-paastot-vahevat-210320220945/>.