

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutus

Aaro Kujala ja Mikael Kurki

**PIELISJOEN PUUNKULJETUKSEN KEHITTÄMINEN**

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2019



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Syyskuu 2019**  
**Metsätalouden koulutus**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijät  
Aaro Kujala, Mikael Kurki

Nimeke  
Pielisjoen puunkuljetuksen kehittäminen

Toimeksiantaja  
UPM-Kymmene Oyj

**Tiivistelmä**

Suomen puunkäytön keskittymä sijaitsee Etelä-Karjalassa. Sen hakkuupotentiaali on jo täydessä käytössä. Yksi alue, jossa on hakkuupotentiaalia, on Pohjois-Karjala, missä on hyvät vesitiekuljetusyhteydet. Tällä hetkellä puuta kuljetetaan Pohjois-Karjalasta pääosin auto- ja rautatiekuljetuksilla, mutta kustannustehokkaampia ja vähäpäästöisempiä ratkaisuja tarvitaan. Yhtenä ratkaisuna voisivat olla aluskuljetukset.

Opinnäytetyössä tutkittiin eri alusyhdistelmien sopivuutta Pielisjoen pääväylän toimintaympäristöön. Työ toteutettiin laadullisena teemahaastatteluna, joista saaduilla tiedoilla tehtiin alusyhdistelmille kustannuslaskenta. Kustannuslaskennasta saaduilla tiedoilla määritettiin kustannustehokkain alusyhdistelmä lineaarisella optimoinnilla. Parasta alusyhdistelmää verrattiin auto- ja rautatiekuljetuksiin kustannusten ja päästöjen perusteella.

Puun aluskuljettaminen on hidasta, mutta suuri puumäärä ja pienet kustannukset tekevät siitä kilpailukykyisen vaihtoehdon. Aluskuljetuksen haasteena on kausiluontoisuus, pääväylän syvyys, virtaama, sääolosuhteet ja toimintaympäristön rajoittavat tekijät. Tämänhetkinen aluskalusto on vanhaa, ja sitä pitäisi uudistaa ja kehittää. Työn tulosten perusteella voidaan etsiä ja kehittää Pielisjoelle soveltuvia aluskokonaisuuksia.

Kieli  
suomi

Sivuja 60  
Liitteet 4  
Liitesivumäärä 5

**Asiasanat**

Alukset, kuljetukset, vesikulkuneuvot, proomut, Pielisjoki, Pielinen, raakapuu, logistiikka



**THESIS**  
**September 2019**  
**Forestry**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

**Authors**  
Aaro Kujala, Mikael Kurki

**Title**  
Development of Wood Transportation on Pielisjoki

**Commissioned by**  
UPM-Kymmene Oyj

**Abstract**

Concentration of wood industry in Finland is located in South Karelia. Its logging potential is already fully utilized. One area where there is logging potential is in North Karelia, which has good waterway connections. At this moment roundwood is transported from North Karelia mainly by truck and railway transportation, but there is a need for more cost-effective and less polluting solutions. One solution could be vessel transportations.

In this thesis, suitability of different vessel solutions for Pielisjoki main ship channel were researched. The thesis was carried out as qualitative semi structured interview where the information from the interviews was used for cost accounting. With information from the cost accounting, the most cost-effective vessel solution was determined with linear optimization. The best vessel solution was compared to truck and railway transportations on cost-effectiveness and on emissions.

Round wood vessel transportation is slow, but big volumes of wood and low costs makes it competitive option. The challenges of vessel transportations are seasonality, depth of main channel, strong water flow rate, weather conditions and limiting factors of operating environment. Current vessel equipment is obsolete, and it should be reformed and developed. With results of this thesis, fitting vessel configurations to Pielisjoki can be researched and developed.

**Language**

Finnish

Pages 60

Appendices 4

Pages of Appendices 5

**Keywords**

Vessels, transportations, barges, Pielisjoki, Pielinen, round wood, logistics

# Sisältö

1	Johdanto .....	6
2	Raakapuun kaukokuljetus .....	7
2.1	Autokuljetukset .....	7
2.2	Rautatiekuljetukset .....	8
2.3	Vesitiekuljetukset .....	9
3	Puun uitto Pielisjoella .....	10
4	Proomukuljetus .....	11
4.1	Proomutyypit .....	11
4.2	Kansilastiproomu .....	11
4.3	Ruumaproomu .....	12
4.4	Moottoriproomu .....	12
5	Saimaan syväväylä .....	13
6	Pielisjoki toimintaympäristönä .....	15
6.1	Virtaama .....	15
6.2	Syvyys .....	16
6.3	Sillat ja kanavat .....	17
6.4	Satamat .....	19
7	Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä .....	20
8	Menetelmät ja analyysi .....	21
8.1	Ennakovalmistelut .....	22
8.2	Tutkimusmenetelmät .....	23
8.3	Aineiston keruu .....	24
8.4	Analyysimenetelmät .....	25
8.5	Optimointi .....	26
9	Työn toteutus .....	27
9.1	Haastattelut .....	27
9.2	Litterointi ja luokittelu .....	29
9.3	Pielisjoelle soveltuva kalusto .....	30
9.4	Kustannuslaskenta .....	32
9.4.1	Polttoainekustannukset .....	32
9.4.2	Palkkakustannukset .....	35
9.4.3	Satamamaksut .....	36
9.4.4	Korjaus-, seisonta-, huolto- ja muut kulut .....	37
9.5	Optimointi .....	39
9.6	Vertailu .....	41
9.6.1	Aluskuljetus .....	42
9.6.2	Rautatiekuljetus .....	43
9.6.3	Autokuljetus .....	44
9.6.4	Vertailun yhteenveto .....	44
10	Pohdinta .....	45
10.1	Opinnäytetyön toteutus ja luotettavuus .....	45
10.1.1	Kustannuslaskenta .....	46
10.1.2	Optimointi .....	47
10.2	Nykyisen kaluston soveltuvuus .....	48
10.3	Kehitysideoita alusyhdistelmiin .....	49
10.4	Pielisjoen kulkuväylän soveltuvuus .....	50
10.5	Kulkuväylä ja sen kehittäminen .....	51

10.6	Tulevaisuuden näkymät.....	51
10.7	Kiitokset .....	52
	Lähteet.....	53

Liitteet

Liite 1	Teemahaastattelurunko.
Liite 2	Alusluettelo.
Liite 3	Joensuun syväsatama.
Liite 4	Kuljetusmuotojen ominaisuuksien vertailu.

## 1 Johdanto

Suomen puunkäytön keskittymä sijaitsee Etelä-Karjalassa. Sen ja lähialueiden, kuten Päijät-Hämeen, Etelä-Savon ja Kymenlaakson hakkuupotentiaali on jo täydessä käytössä. Kyseisillä alueilla ei voida enää lisätä hakkuuta metsäsertifiointin hakkuurajoitteiden takia. Tämän takia puuta on saatava muilta alueilta, ja tämä lisää puulogiikan tärkeyttä ja luo sille kehitystarpeita. Vaikka Venäjältä saadaan tuontipuuta, se ei itsessään kata teollisuuden raakapuun tarvetta. Siksi Suomen sisältä on siirrettävä puuta metsistä kohti puun käytön keskittymiin ja sitä mukaa ulkomaan vientiin. Yksi alue, missä on hakkuupotentiaalia, on Pohjois-Karjala, jossa on hyvät vesitiekuljetusyhteydet. (Korhonen, E. 2019a.)

Saimaan syväväylä ulottuu Joensuusta Lappeenrannassa sijaitsevaan Saimaan kanavaan saakka, mistä se liittyy Suomenlahteen Venäjän kautta. Tällä hetkellä puuta kuljetetaan Pohjois-Karjalasta pääosin auto- ja rautatiekuljetuksilla eri jalostuslaitoksiin, mutta puuta myös uitetaan ja kuljetetaan aluksilla syväväylää pitkin. Suomi on sitoutunut ympäristötavoitteissaan vähentämään hiilidioksidipäästöjään, joten puiden autokuljetukset vähenevät tulevaisuudessa (Korhonen, J. 2019). Auto- ja rautatiekuljetusten lisääminen vaatisi suuria investointeja infrastruktuuriin. Vesitiekuljetuksilla infrastruktuuri on jo valmiina olemassa, joten sen kehittämiseen ei tarvittaisi läheskään yhtä suuria resursseja.

Tutkimuksen aiheena on, millaisella aluskokonaisuudella puutavara saadaan kuljetettua Pielisjokea pitkin Pielisen alueelta Joensuuhun jatkokuljetusta varten kustannustehokkaimmin. Pielisjoki on toimintaympäristöltään haasteellinen suuremmille aluskokonaisuuksille, sillä sen mataluus rajoittaa alusten kokoa. Tällöin puuta ei saada kuljetettua niin suuria määriä kuin esimerkiksi Saimaan syväväylällä. Opinnäytetyö rajattiin vain Pielisjoen toimintaympäristöön. Opinnäytetyössä ei oteta kantaa, miten ja mihin kuljetettu puu lähtee Joensuun syväsatamasta. Työn tietoperustassa käsitellään myös Pielisjoen puun uittamista, mutta itse tutkimuksessa asiaa ei otettu huomioon.

Opinnäytetyössä käsiteltiin erilaisten kuljetusmuotojen hiilidioksidipäästöjä, sillä se tulee olemaan entistäkin tärkeämmässä roolissa jo lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi UPM Kymmene Oyj.

## **2 Raakapuun kaukokuljetus**

Raakapuun kaukokuljetus tarkoittaa korjatun puun kuljettamista metsävarastolta jatkojalostukseen. Jatkojalostuskohteita voivat olla esimerkiksi saha, tehdas, lämpökeskus tai jokin muu raakapuuta tarvitseva organisaatio. Kaukokuljetus on merkittävä osa puunhankinnan kustannusrakennetta, koska kaukokuljetusmatkat ovat Suomessa pitkiä. Esimerkiksi vuonna 2017 keskimääräinen kaukokuljetusmatka oli noin 158 km. (Strandström 2018, 4). Suomessa on käytössä kolme puun pääasiallista kaukokuljetusmuotoa, jotka ovat autokuljetus teitä pitkin, rautatiekuljetus veturien vetämänä ja vesitiekuljetus vesistöjä pitkin.

### **2.1 Autokuljetukset**

Suurin osa korjatusta puusta kuljetetaan autokuljetuksella suoraan jatkojalostuslaitoksille. Autokuljetus on lähes poikkeuksetta mukana myös muissa kuljetusmuodoissa. Autokuljetusta vaaditaan etenkin silloin, kun puu pitää kuljettaa väli-varastolta junien tai uittokuljetusten joukkovarastoihin, eli terminaaleihin. (Strandström 2018, 4.)

Vuonna 2017 puutavaran kaukokuljetuksen kuljetussuoritteesta oli 57 % autokuljetusta, joka tarkoittaa määrällisesti 4385 miljoonaa kuutiota kilometriä kohden. Toisaalta autokuljetus on osana kaikkia kuljetusketjuja, jolloin sen osuus nousee kaikesta kuljetetusta puusta 98,5 %:iin, josta tehtaalle suoraan kuljetetun puun osuus 75,2 % vuonna 2017. Näihin kuljetusosuuksiin lasketaan autokuljetukset tehtaalle, asemalle ja uittoon tai alukselle. (Strandström 2018, 4.)

Annettujen arvojen selkeä ero selviää siitä, että toisessa mitataan kuljetussuoritetta ja toisessa kaikkea kuljetettua puuta. Autokuljetuksessa tehtaalle kuljetusmatka on ollut keskimäärin 105 kilometriä, kuljetus rautatieaseman terminaaliin oli 45 km ja kuljetuksessa aluksen lastauspaikalle 43 km. Autokuljetuksessa puukapasiteetti on pienempi kuin rautatiekuljetuksen ja aluskuljetuksen, mutta liikkuvuus ja infrastruktuurin selkeys tekee siitä erinomaisen vaihtoehdon lyhyille matkoille. Autokuljetuksen kustannus on muita liikennöintimuotoja kalliimpi raakapuun kaukokuljetuksessa, noin 7,5 euroa yhdelle kuutiolle puuta. (Strandström 2018, 4.)

## 2.2 Rautatiekuljetukset

Rautatiekuljetuksen kuljetussuorite vuonna 2017 oli 39 %, joka on määrällisesti 3 007 miljoonaa kuutiota kilometriä kohden. Tarkasteltaessa kaikkea kuljetettua puuta, jää rautatiekuljetuksen osuudeksi 22 %. Ratakuljetuksen etuna on suuret kuljetustilavuudet, jotka mahdollistavat suurten puumäärien pitkän matkan kuljetuksen mahdollisimman tehokkaasti ja edullisesti. Esimerkiksi vuonna 2017 autokuljetuksen kustannus tehtaalle oli 7,5 €/m<sup>3</sup> puuta toisin kuin rautatiekuljetuksella tämä oli 5,7 €/m<sup>3</sup> puuta. Huomioon pitää kuitenkin ottaa, että raakapuu kuljetetaan lähes poikkeuksetta autokuljetuksella rautatieaseman terminaaliin, josta se lastataan junaan. (Strandström 2018, 9.)

Suomen rautatiekuljetuskapasiteetti on jo täydessä käytössä, ja sen infrastruktuurin lisääminen tarkoittaisi satojen miljoonien investointeja. Tämä tarkoittaa, että muita kuljetusmuotoja on tehostettava. (Korhonen, E. 2019a.)

Liikenneviraston (2011, 10) julkaisemassa Rataverkon raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen -selvityksessä todetaan seuraavasti:

”Rautatiekuljetusten osuus tehtaalle saapuneesta puusta on kasvanut merkittävästi viime vuosina, sillä vuosina 2003–2005 rautatiekuljetuksen osuus oli vain 16 %. Merkittävin muutos tapahtui vuosien 2007–2009 aikana, jolloin Venäjän tuontia vähennettiin ja korvattiin kotimaisella markkinapuulla. Kotimaisen puun kysynnän kasvu pidensi kuljetusmatkoja ja muutti samalla kuljetusmuotojen työnjakoa.”



Selvityksessä tuodaan myös esille, että vuonna 2010 rautatiekuljetuksina laitoksille tulleiden puiden osuus oli 24 %. Tästä voidaan huomata, että vaikka Venäjältä tuodaan raakapuuta rautatiekuljetuksilla, tuo kotimaisen puun kysynnän kasvu tarpeen pidentää kuljetusmatkoja. Tämä näkyy rautatiekuljetuksen osuuden kasvuna vuosina 2005 - 2010. (Liikennevirasto 2011, 10.)

### **2.3 Vesitiekuljetukset**

Vesitiekuljetuksessa puutavara kuljetetaan erilaisilla aluksilla vesireittejä pitkin lastauspaikalta purkupaikalle. Yleisesti vesitiekuljetuksessa käytetään erilaisia toimintamalleja, mutta useimmin käytössä on työntöaluksia, hinaajia, proomuja ja uittamisessa yhteen pakattuja puunippuja. Proomut ja uittavat puuniput kuljetetaan työntöaluksen tai hinaajan edessä tai perässä. (Hamunen 2016.)

Muihin kuljetusmuotoihin verrattuna aluskuljetuksen käytön osuus on vähäinen. Vuoden 2017 koko vuoden kuljetussuoritteesta vain 4 % oli vesitiekuljetusta, joka on määrällisesti 312 miljoonaa kuutiota kilometriä kohden. Kaikesta kuljetetusta puusta vesitiekuljetuksen osuus oli 2,2 %, joka tarkoittaa määrällisesti 48 627 000 kuutiosta puuta 1 089 000 kuutiota. Vaikka tämä määrä ei kokonaisuuteen verrattuna vaikuta suurelta, on miljoona kuutiota silti huomattava puumäärä. (Hamunen 2016.)

Se missä vesitiekuljetus osoittaa etunsa puun muihin kaukokuljetusmuotoihin on yksittäisen kuution kilometrikustannus. Kun autokuljetuksella kuution kilometrikustannus oli 7,1 senttiä, oli vesitiekuljetuksella vastaava summa 3,6 senttiä kuution kilometrikustannus. Vesikuljetuksen etuna auto- ja rautatiekuljetuksiin on liikennöintiväylät. Autokuljetuksessa raskaat ajoneuvot kuluttavat teitä ja lisäävät kustannuksia tien kunnossapitoon. Rautatiekuljetuksessa junaraiteet tarvitsevat huoltoa ja korjausta jatkuvasti. (Hamunen 2016.)

Vesikuljetuksessa käytettävät vesiväylät eivät juuri aluskuljetuksesta kulu ja suurempia vesialueita voidaan käyttää puun väliaikaiseen varastointiin joko proomussa tai uittaessa. Tämä tarkoittaa, että satamissa, joissa puuta lastataan

aluksiin tai aluksista, ei välttämättä tarvitse rakentaa erillistä terminaalia puun säilytykseen kuten rautatiekuljetuksissa. (Hamunen 2016.)

Suurin rajoittava tekijä vesitiekuljetuksissa on metsien etäisyys ja sijainti suhteessa kuljetusväylään. Metsät, joista raakapuu tuodaan, eivät välttämättä ole vesitiekuljetusreittien läheisyydessä. Lisäksi kaikki tuotantolaitokset eivät aina ole vesiväylien varrella tai niillä ei ole lastinpurkupaikkaa. Suomen tie ja rautatieverkko on huomattavan laaja ja keskimääräinen kuljetusmatka oli vuonna 2017 159 kilometriä ja vesitiekuljetuksella 287 kilometriä (Strandström 2018, 9). Jos kuljetusmatka on huomattavan pitkä ja rautatiekuljetus ei ole mahdollinen ratkaisu, vesitiekuljetus nousee varteenotettavaksi vaihtoehdoksi. Vaikka vesitiekuljetukset eivät vaatisi terminaalitilaa kuivalla maalla, on silti puutavaran lastaukseen ja purkamiseen rakennettava tarvittavat järjestelmät.

### **3 Puun uitto Pielisjoella**

Puun uittaminen oli tärkein puunkuljetusmuoto pitkille matkoille 1960-luvulle saakka. Myöhemmin rekka- ja rautatieliikenne on vähentänyt huomattavasti vesiliikenteen kuljetuksia, koska ne ovat nopeampia kuljetusmuotoja. Edullisin puunkuljetusmuoto pitkille matkoille on kuitenkin uittaminen suhteessa puun määrään. Vesiliikenteen vähentyminen näkyi Pielisjoen vaikutusalueella lisääntyneenä auto- ja rautatieliikenteenä, mutta siitä huolimatta Pielisjokea pitkin kuljetetaan puuta vieläkin pitkien kaukokuljetusmatkojen takia. (Hamunen 2016.)

Puun uittaminen on lakisääteistä Varkauden ja Kuhasalon yläpuolisella alueella. Vesilaki määrää, että metsäyhtiöiden uitettavat puut tulee uitattaa Uittoyhdistyksen toteuttamana ja Uittoyhdistyksellä tulee olla uittopäällikkö. Uittosäännöissä määritellään oikeudet, joihin lukeutuvat esimerkiksi pudotuspaikkojen ja suoja-  
paikkojen käyttö. Uiton velvollisuuksiin kuuluu uitosta aiheutuvien roskien (puun kuori) siistiminen, irtonippujen ja uppotukkien raivaaminen sekä yöaikaisen me-

lun rajoittaminen. Metsäyhtiöt saavat uittaa puuta vapaasti Varkauden ja Kuhasalon alapuolisella alueella, mutta heitä koskevat samat velvollisuudet ja oikeudet. (Korhonen, E. 2019a.)

## **4 Proomukuljetus**

Proomuja käytetään pääsääntöisesti sisävesien kuljetuksissa, mutta niitä on käytetty myös merikuljetuksiin rannikkoalueella. Verrattuna kuivalastialuksiin proomulla kuljetettaessa etuna on halvempi hinta ja jokikuljetuksiin ehdottoman olennainen matala syväys ja yhdistelmän matala korkeus siltojen alitusta varten. (Karttunen, Ranta, Jäppinen, Hämäläinen & Vartiamäki 2007, 23.)

### **4.1 Proomutyypit**

Käytössä on nykyisin pääsääntöisesti kahta erilaista proomutyyppiä, kansilasti- ja ruumaproomu, joista suositumpi vaihtoehto on ruumaproomu. Lisäksi on olemassa moottoriproomu, jota liikutetaan sen omalla moottorillaan. Irtonaista proomua joko työnnetään tai hinataan vaijerin varassa erillisellä moottoroidulla aluksella. Pyrkimyksenä on, että jokaista työntö- tai hinausalusta kohti on ketjutettu kolme proomua, joista yksi on lastattavana, toinen purettavana ja kolmas on kuljetuksessa. (Karttunen ym. 2007, 24, 25.)

### **4.2 Kansilastiproomu**

Kansilastiproomu koostuu suljetusta ponttonista, jonka lastauskansi on lujitettu painavia lasteja varten (kuva 1). Proomussa voi olla myös kate, jolla pyritään suojaamaan kannella olevaa lastia. Rakenteensa takia kansilastiproomut ovat syväykseltään matalampia ja leveydeltään suurempia kuin ruumaproomut. Siispä

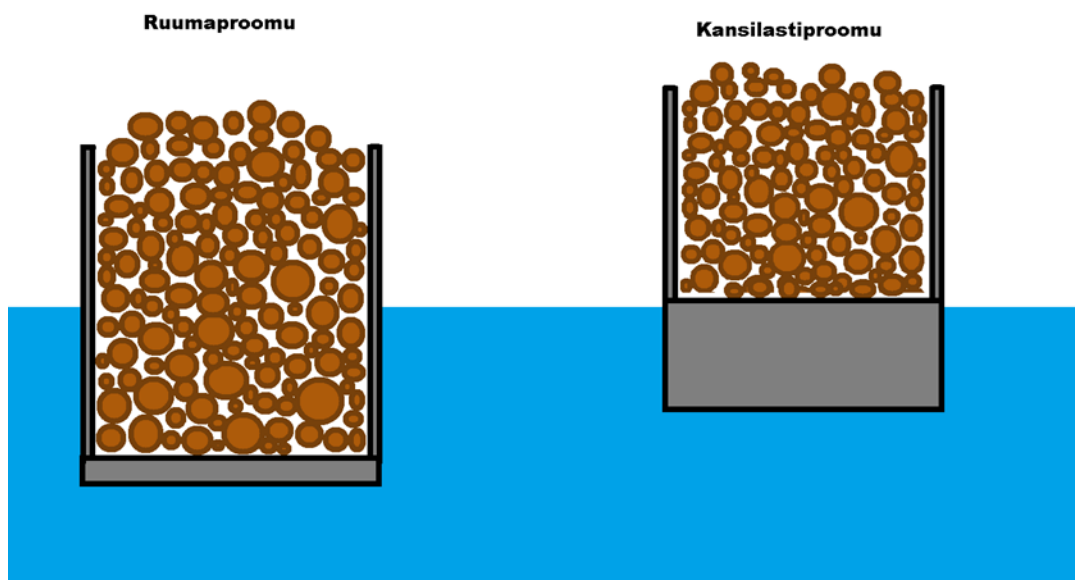
ne ovat soveliaita suurien kappaleiden, raakapuun tai pyörillä varustetun kuorman rahtaamiseen. (Karttunen ym. 2007, 24.)

### **4.3 Ruumaproomu**

Useimmin käytössä olevat ruumaproomuut ovat rakenteeltaan kaukalomaisia, joiden kannet on voitu varustaa joko lisäkaukaloilla tai tolilla kansilastia varten (kuva 1). Tämä mahdollistaa aluksen koko lastaustilan hyödyntämisen. Lisäksi ruumaproomuun voidaan asentaa lasikuidusta, alumiinista tai jostakin muusta kevyt materiaalista valmistettu luukkumainen kate. Näin pystytään suojaamaan kuljetettava tavara. (Karttunen ym. 2007, 24.)

### **4.4 Moottoriproomu**

Moottoriproomu on omalla moottorillaan kulkeva proomu, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi saarihakkuiden puunkuljetuksessa. Moottoriproomuut soveltuvat eritoten hakkeen kuljetukseen, sillä proomu voidaan lastata luiskalastausmenetelmällä suoraan rannasta käsin esimerkiksi kuorma-autoa käyttäen. Proomun sisäpuolella on 10<sup>o</sup>:een kallistuva sisäluiska suunnattuna kohti ruuman pohjaa ja keulassa on hydraulisesti ohjattava ramppi, joka voidaan laskea suoraan rantapenkereeseen lastausta varten. (Nissi & Salminen 1983, 1, 3.)



Kuva 1. Havainnekuva kahdesta proomutyypistä

## 5 Saimaan syväväylä

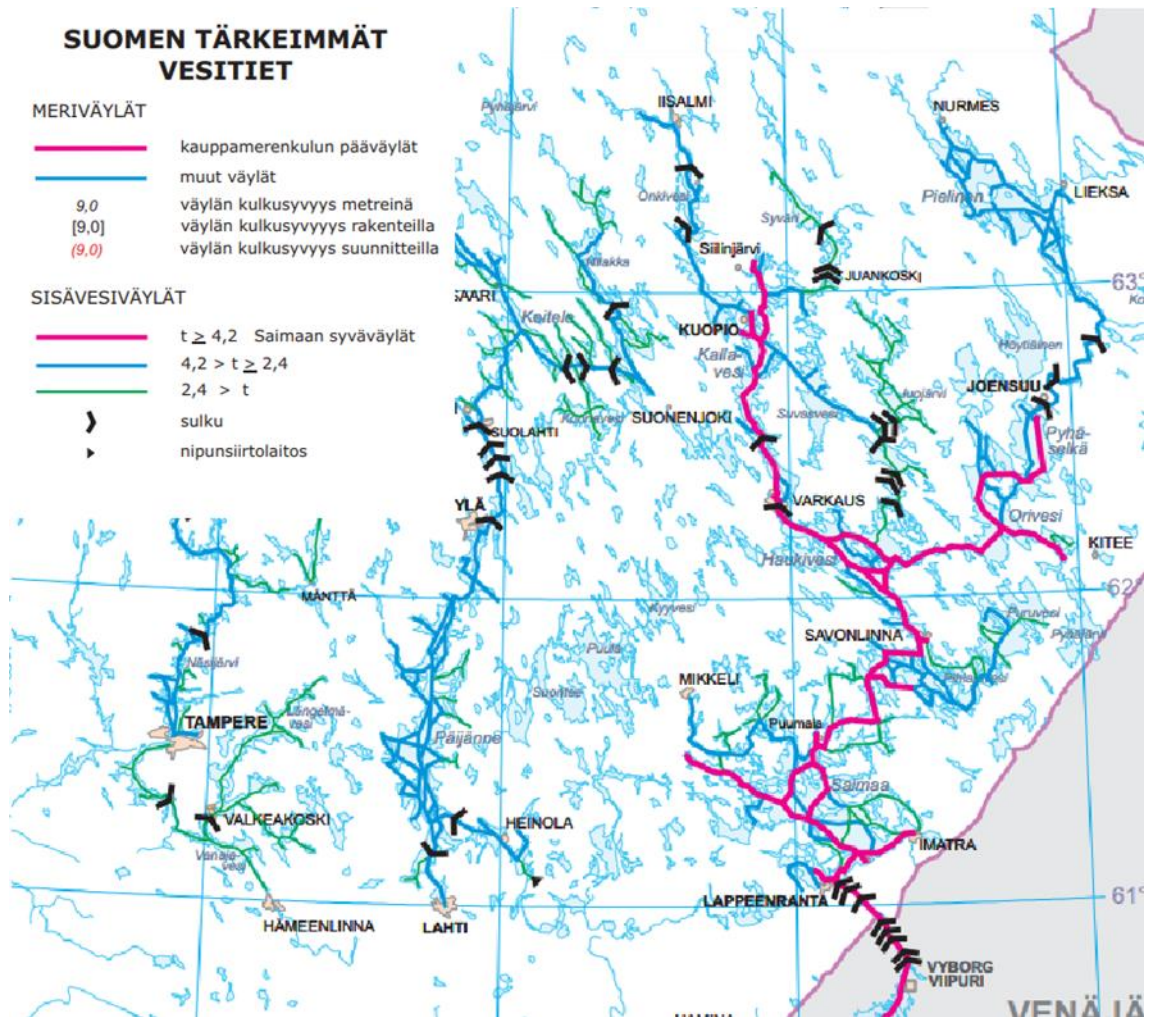
Merenkululaitoksen julkaisemassa Saimaan sisävesiliikenteen kehittämisselvityksessä vuodelta 2008 sanotaan:

Saimaan syväväyläverkon pituus on 772 kilometriä. Väyläverkko alkaa Viipurinlahdelta Brusnitchnoen sululta ja ulottuu Lappeenrannan kautta aina Joensuuhun ja Siilinjärvelle asti. Yhden syväväyläaluksen maksimilasti on nykyisin 2500 tonnia. (Sikiö & Salanne 2008, 6.)

Vesiväylillä kulkusyvyyys tarkoittaa suurinta suunniteltua syväystä, jolla alus voi käyttää väylää. Kulkusyvyyys määritetään vertailutason mukaisesta vedenpinnan tasosta (Liikennevirasto 2011, 3). Saimaan syväväylä koostuu syväväylistä, pääväylistä ja sivuväylistä (kuva 2).

Syväväylät keräävät vesiliikennettä pienemmiltä väyliltä ja mahdollistavat kulke-  
misen suurillakin aluksilla kulkusyvyytensä ansiosta. Saimaan syväväylällä kul-  
kusyvyyys on 4,2 metriä, mutta se voi olla korkean veden aikaan jopa 4,35 metriä.  
Pääväylien kulkusyvyyys on 2,4 metriä tai suurempi, ja ne toimivat syväväylän ja  
sivuväylän välisenä kulkureittinä. Sivuväylät toimivat rahdin kokoajina lastaus-  
paikoilta ja niiden kulkusyvyyys on pienempi kuin 2,4 metriä ja ne mahdollistavat

vain niiden alusten kulkemisen, joilla on matala kulkusyvyys. (Liikennevirasto 2013b.)



Kuva 2. Saimaan alueen vesistöreitit. (Väylävirasto 2013)

Saimaan syväväylä on hyvä kuljetusreitti, sillä suurin osa tuotantolaitoksista sijaitsee väylän varrella tai kohtuullisen välimatkan päässä. Etuna syväväylällä ja sen pääväylillä on hyvät puunvarastointi mahdollisuudet, joka varmistaa matalat varastointikustannukset. Myös väyliä ja satamien ruuhkattomuus on eduksi vesiliikenteen sujuvuuden kannalta. Syväväylällä liikkuvien alusten lastin painorajoitus on 2500 tonnia. (Pohjois- Karjalan maakuntaliitto 2019.)

Nykyisin Saimaan syväväylä on käytössä 300 vuorokautta vuodessa johtuen talven tuomasta jääpeitteestä. Ohuen jään aikaan väylää pystytään pitämään auki

esimerkiksi järeiden työntöalusten avulla. Saimaan syväväylän pohjoisista osista (Joensuu) Manner-Euroopan suuriin merisatamiin matka kestää keskimäärin 4-5 vuorokautta. Saimaan syväväylän kulkureitti Itämerelle kulkee Saimaan kanavan kautta Viipuriin Venäjän puolelta. (Pohjois-Karjalan maakuntaliitto 2019.)

## **6 Pielisjoki toimintaympäristönä**

Saimaa kuuluu Vuoksen vesialueeseen, joka on Suomen suurin vesistöalue. Vuoksen valuma-alueeksi on laskettu 61 650 neliökilometriä, josta Suomen rajojen sisäpuolella on 52 400 kilometriä. Valuma-alue ylittää Etelä-Karjalasta Kainuuseen saakka. (Gertsch 2012.)

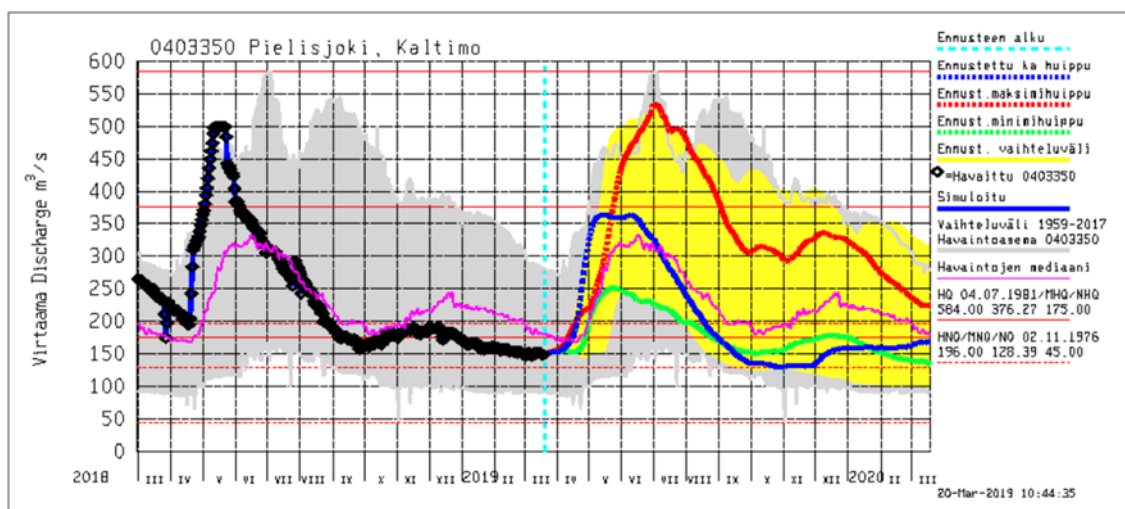
### **6.1 Virtaama**

Pielinen on noin 94 metriä ja Pyhäselkä noin 76 metriä merenpinnan yläpuolella, joten vesi laskee Pielisestä Pielisjokea pitkin noin 18 metriä reilun 70 kilometrin matkalla Pyhäselkään. Yksittäinen vesipisara kulkee tämän matkan Pielisjoessa noin viikossa. Keskimääräinen virtaama Pielisjoessa on 240 kuutiometriä sekuntia kohden, mutta kuivimpina aikoina virtaama jää alle sadan kuutiometrin. Tulvakausi virtaama voi nousta yli 600 kuution sekuntivauhtiin. (Vesajoki & Pihlatie 2011, 9.)

Ympäristöhallinnon (2018) julkaisemassa Pielisjoen virtaama ja juoksutus -raportissa esitetään Kaltimon mittauspisteeltä mitatut Pielisjoen virtaamat 3/2018 – 3/2019 ja ennuste 2020 helmikuulle (taulukko 1). Vuoden 2018 keväällä (huhti- ja toukokuu) Pielisjoen virtaama nousi 200 m<sup>3</sup>/s: sta 500 m<sup>3</sup>/s vauhtiin, joka oli myös vuoden korkein virtaama (Ympäristöhallinto 2018). Tätä voidaan selittää keväisen ajan lumi- ja jääpeitteen sulamisesta aiheutuvasta sulamisvedestä. Toukokuun puolesta välistä syyskuuhun on havaittu mittava virtaaman lasku, joka

selittyy kuivalla ja kuumalla kesällä. Vuoden 2019 ennusteessa on virtaaman ennustettu maksimihuippu hieman korkeampi kuin edellisvuonna toteutunut maksimihuippu.

Taulukko 1. Pielisjoen virtaama ja juoksutus 2018 - 2019 (Valtion Ympäristöhallinto 2019).



Pielisjoen putouskorkeus on porrastettu miltei täysin ja virtaamaa sekä veden korkeutta säädellään vesivoimalaitoksilla, joista tärkeimmät sijaitsevat Kuurnassa ja Kältilällä. Voimaloissa tehtävää virtaaman lyhytaikaissäätelyä tarvitaan tasamaan sähkön kulutusvaihteluita. (Nieminen & Linjama 2012, 3.)

## 6.2 Syvyys

Liikennevirasto vahvistaa yleisen kulkuväylän kulkusyvyiden väyläpäättökseen. Kulkusyvyys ilmoitetaan merikartalla kulkulinjaan merkityllä syvyysluvulla (Liikennevirasto 2011, 3). Saimaan syväväylästä (kulkusyvyys 4,2 m) erkaneva Pielisjoen aluskulkuväylä alkaa syväväylän päättyessä Ukonniemen syväsatamaan. Tästä eteenpäin 2,4 metriä syvä pääväylä kulkee Pielisjokea pitkin Pielisen kautta Nurmekseen saakka. Liikenneviraston julkaisemassa Merikarttasarja R:stä



(2013) voidaan tulkita, että Pielisjoen haastavin kulkukohta alkaa Joensuusta Pyhäselän puolelta ja jatkuu aina Kuurnan kanavalle asti, minkä jälkeen syvyys muuttuu helpommin kuljettavaksi. (Liikennevirasto 2013a.)

Pääväylän eteläpään tekee haastavaksi aluskulkureitiksi kapeus ja mutkaisuus, koska se on jouduttu ruoppaamaan erikseen aluskululiikennettä varten matalaan pohjaan (Lehtonen 2013, 7, 8). Liikenneviraston julkaisemassa Väylien kulkusyvyyskäytännön periaatteissa ja soveltamisessa sanotaan: ”Väylän kulkusyvyys ei takaa, että alus, jonka syväys vedenkorkeus huomioiden ei ylitä väylälle ilmoitettua kulkusyvyyttä, voisi kaikissa tilanteissa ja olosuhteissa käyttää väylää turvallisesti ilman pohjakosketusriskiä.” (Liikennevirasto 2011, Liite 1.)

### **6.3 Sillat ja kanavat**

Pielisjoen varrella on 11 siltaa, joista kahdeksan on avattavia siltoja ja kolme on kiinteitä (Taulukko 2). Sillat, jotka voidaan avata aluskuljetusta varten, ovat Joensuussa Suvantosilta, Sirkkalan silta, Ylisoutajan silta, Kanavasilta, Rautatiesilta ja Kontiolahdella Kuurnan kanavasilta. Siltoja, joita ei voida avata, vaan jotka ovat alikulkukorkeudeltaan tarpeeksi korkeita, jotta alusliikenne pääsee kulkemaan alitse, ovat Joensuussa Pekkalan maantiesilta, Enossa Kaltimon kanavasilta ja Ahvenisen maantiesilta. Osa silloista on osittain avattavia ja osittain kiinteitä. Näitä siltoja löytyy Enosta ja niihin kuuluu Kaltimon maantiesilta ja Uimasalmen maantie- rautatiesilta. (Saimaan satamat 2019.)

Edellisessä lähteessä ei mainittu Joensuuhun vuonna 2014 valmistunutta Sirkkalan siltaa. Se otettiin käyttöön 28.11.2014. (Ramboll 2014.)

Taulukko 2. Pielisjoen sillat (Väylävirasto 2019).

Sijainti	Sillan nimi	Alikulkukorkeus, m	Tyyppi
Joensuu	Suvantosilta	7,0	Avattava
	Sirkkalan silta	12,5	Avattava
	Ylisoutajan silta	3,9	Avattava
	Kanavasilta	2,5	Avattava
	Rautatiesilta	4,0	Avattava
	Pekkalan maantiesilta	12,0	Kiinteä
Kontiolahti	Kuurnan kanavasilta	1,8	Avattava
Eno	Kaltimon kanavasilta	10,5	Kiinteä
	Kaltimon maantiesilta	1,8	Yhdistelmä
	Uimasalmen maantie- rautatiesilta	2,0	Yhdistelmä
	Ahvenisen maantiesilta	12,0	Kiinteä

Sarkkisen, Rekosen ja Koivupuron (2007) mukaan Pielisjoessa on kolme erillistä kanavaa. Näitä ovat Kaltimon kanava, Kuurnan kanava ja Joensuun kanava. Kanavasulkujen tarkoitus on porrastaa liian nopeasti virtaava vesi siten, että alukset voivat kulkea siinä turvallisesti. Tämän avulla alukset voidaan laskea kanavaa edeltävältä korkealta vedentasolta kanavan jälkeiselle matalalle veden tasolle. Esimerkiksi Kaltimon kanava ohittaa tällä tavoin kolme entistä koskea. (Sarkkinen, Rekonen & Koivupuro 2007, 38.)

Suluttamalla saadaan ohitettua muuten matalat ja nopeasti virtaavat koskipaikat, mutta se hidastaa aluskuljetuksia rajallisen tilansa ansiosta. Hinaajan ja proomun tai uittopuunippujen yhdistelmä joudutaan yleensä katkaisemaan ja kuljettamaan sulun läpi pienemmissä erissä. Tarkasteltaessa Saimaan alusliikenteeseen kuuluvia suomalaisten proomujen mittoja vuodelta 2007, voidaan todeta, että näiden keskiarvoinen pituus on noin 71 metriä ja keskiarvoinen leveys noin 11,6 metriä. (Merenkululaitos 2008, 10.)

Pielisjoen kolmesta kanavasta ahtain kulkea on Kaltimon kanava, joka on sulun leveydeltään 11,8 metriä, pituudeltaan 80 metriä ja korkeudeltaan 10,5 metriä (taulukko 3). Pielisjoen kaikilla kanavilla kulkuleveys on juuri sen kokoinen, että vain keskiarvoista leveyttä edustavat ja sitä pienemmät proomut mahtuvat kanavasta läpi leveytensä osalta. Kanavissa itsessään ei yleensä ole kulkua haittaavia yläpuolisia rakenteita, mutta usein kanavan yli tai sen läheisyydessä kulkee silta,

esimerkiksi Kaltimon kanavalla kulkua rajoittaa kanavan yli menevä kiinteä silta, joka asettaa korkeudellaan rajaksi 10,5 metriä. Pituudeltaan Kaltimon kanavasulku ja Kuurnan kanavasulku ovat molemmat 80 metriä, joka rajoittaa kulkua siten että vain yksi proomu mahtuu sulkujen sisään kerrallaan. (Liikennevirasto 2018.)

Taulukko 3. Pielisjoen kanavat (Väylävirasto 2019).

Kanavan nimi	Kaltimon kanava	Kuurnan kanava	Joensuun kanava
Sulun pituus, m	80,0	80,0	160,0
Sulun leveys, m	11,8	11,8	11,8
Syväys, m	2,4	2,4	2,4
Kulkukorkeus, m	10,5	12,0	12,0
Veden korkeusero, m	8,7 - 9	5,6 - 8	0,5

Kaikki Pielisjoen kanavat ja sillat on liitetty kaukokäyttöverkkoon, jonka keskus sijaitsee Joensuun kanavan vieressä. Tällä tavoin voidaan hoitaa kaikkia väylän avattavia siltoja ja kanavia kauko-ohjauksella, joka nopeuttaa liikennettä. (Liikennevirasto 2018.)

#### 6.4 Satamat

Joensuun syväsatama on Joensuun kaupungin omistama yksikkö, joka sijaitsee Joensuun keskustasta etelään noin kaksi kilometriä. Satamassa on viisi laituria, kolme katettua hallia ja varastotilaa löytyy yhteensä noin 18000 m<sup>2</sup> (liite 3). Lisäksi Joensuun satamassa on rautatieyhteydet muualle Suomeen sekä Venäjälle. Syväsatamaan on hyvät maantiekuljetusyhteydet rekkalogistiikkaa varten ja satamasta saa ahtaus-, huolinta-, varastointi- ja laivanselvityspalveluita. (Joensuun laivaus 2019)

Joensuun syväsatamaan saapuva hinaajaproomuyhdistelmät joutuvat maksamaan alusmaksun. Alusmaksu on hinaajan osalta 135 € ja proomun osalta 0,43 €/netto-t sen nettorekisteritonniin mukaan. Joensuun syväsatamassa jätemaksu on 70 € käyntikerralla ja vesimaksu on 4 €/m<sup>3</sup> ja kiinnitysmaksu 62 €. (Saimaan satamat 2018.)

Pielisjokeen laskevan Pielisen rannalla on kaksi puun lastauspaikkaa, ja ne sijaitsevat Nurmeksessa Ritoniemessä sekä Juuassa Retulahdessa. (Korhonen, E. 2019b.) Nurmeksien Ritoniemen lastauspaikkaa hallinnoi Nurmeksien kaupunki ja Juuan lastauspaikkaa Väylävirasto. Nurmeksien satamassa ei ole satamapalveluita, joten yrittäjät hoitavat itse alusten lastauksen (Rantala, Isola & Huhta 2019, 12). Nurmeksien satamassa on varastointitilaa yhteensä 2 500 m<sup>2</sup> ja Juuassa on 4 500 m<sup>2</sup>. Käytettävän lastauslaiturin pituus on molemmissa satamissa 45 metriä (Sorsa 2013, 19 - 20). Juuan lastauspaikan yhteydessä on myös uiton pudotuspaikka (Rantala ym. 2019).

Hinaaja- tai työntöalukselta, joka saapuu Nurmeksien satamaan tai lähtee toiseen Saimaan alueen satamaan, veloitetaan 70 €:n alusmaksu käyntikerrasta. Alus, joka purkaa tai lastaa kansilastia tai osalastia korkeintaan 200 tonnia, veloitetaan 80 € käyntikerralta. Alusmaksu on proomun osalta 0,25 €/netto-t, ja maksusumma on vähintään 160 €. Nurmeksien satamassa jätemaksu on 0,04 €/netto-t. (Nurmeksien kaupunki 2018.)

Juuan puutavaralastauspaikan alusmaksu on 0,20 € aluksen nettorekisteritonnia kohti. Varastointimaksu, joka veloitetaan puutavaran omistajalta, on 0,15 €/raakapuun kiinto-m<sup>3</sup>. (Sorsa 2013, 20.)

## **7 Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä**

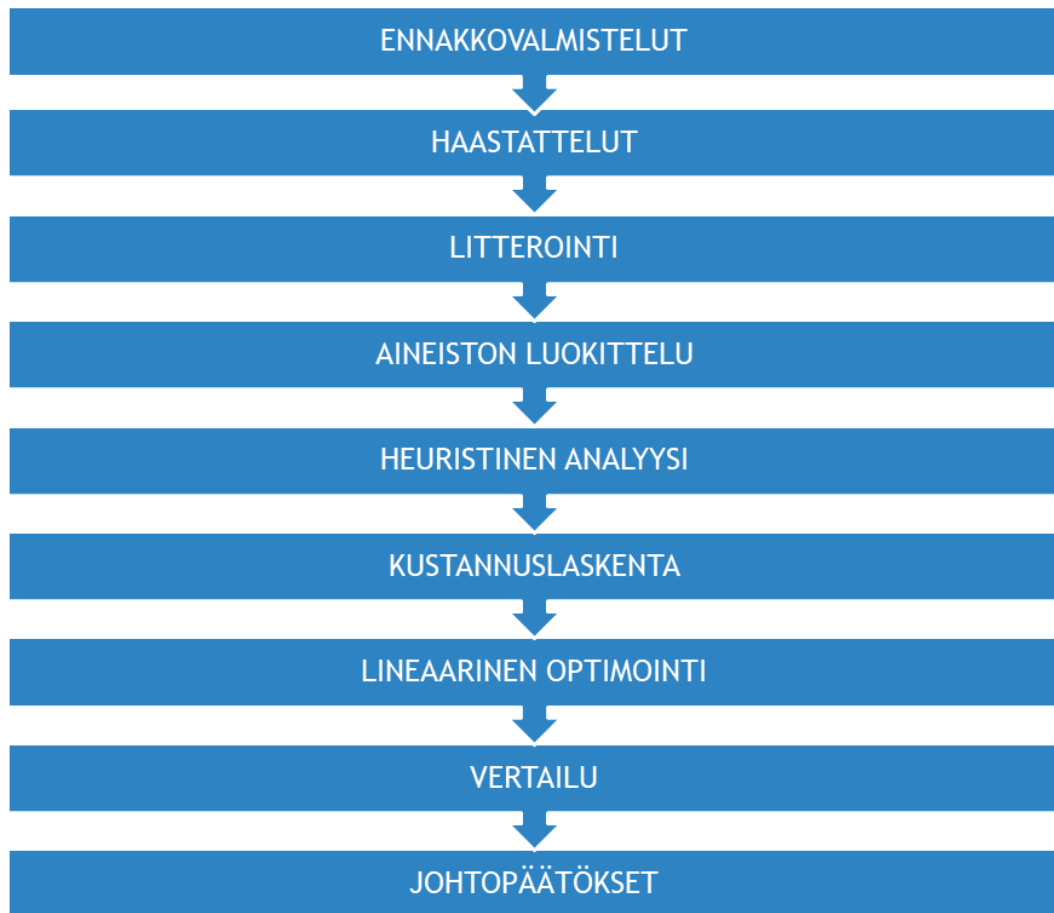
Opinnäytetyön tavoitteena on löytää Pielisjoen aluskuljetukseen kustannustehokkain aluskokonaisuusratkaisu tämänhetkisen aluskapasiteetin perusteella. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään tämänhetkiset puukuljetukseen käytettävät aluskokonaisuudet ja niiden ominaisuudet sekä kustannusrakenteet. Työn tarkoituksena oli ratkaista selvitettyjen alusten väliltä paras ratkaisu, joka soveltuu Pielisjoen puun aluskuljetukseen parhaiten. Kustannustehokkainta yhdistelmää verrattiin alueella toimiviin rekka- ja rautatiekuljetuksiin. Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään vain Pielisjoen ja Pielisen pääväylän puun aluskuljetuksia.

Työ tehtiin UPM-Kymmene Oyj:n toimeksiantona, jossa haettiin aluskuljetuksen kilpailukykyisiä vaihtoehtoja muihin alueen kuljetusmuotoihin verrattuna. Tässä tutkimuksessa kerättiin Pielisjoella toimivista aluskokonaisuuksista ominaisuustietoja ja optimoitiin kustannustehokkain ratkaisu lineaarisella optimoinnilla. Optimoinnista saatua tulosta verrattiin muihin kuljetusmuotoihin. Tällä menetelmällä pyrittiin kehittämään tämänhetkistä logistiikkaa kustannustehokkaammaksi Pielisjoen toimintaympäristössä.

## **8 Menetelmät ja analyysi**

Opinnäytetyö oli haastattelututkimus, jonka analysointiin käytettiin lineaarista optimointia ja heuristista analysointia kustannuslaskennan ohella. Optimoinnin tuloksista tehtiin vertailututkimus. Tutkittavassa toimintaympäristössä toimijoita ei ollut suurta määrää, jonka takia haastattelut tehtiin laadullisena eli kvalitatiivisena tutkimuksena. Opinnäytetyössä haastateltiin Pielisjoella aluskuljetuksia suorittavia yrityksiä ja selvitettiin heiltä tiedot esimerkiksi kustannusrakenteesta, päästöistä ja tehokkuudesta. Opinnäytetyö tehtiin seuraavassa järjestyksessä (taulukko 4).

Taulukko 4. Opinnäytetyöprosessi



### 8.1 Ennakovalmistelut

Opinnäytetyön tekijät laativat haastattelurungon teemahaastatteluja varten. Haastattelurungolla pyrittiin selvittämään haastateltavilta kolmea eri tietotyyppiä. Numeraalista tietoa aluskuljetusten optimointia varten, asiantuntijoiden kokemusperusteista tietoa numeraalisen tiedon tueksi ja mahdollisia lisätietoja. Haastattelut oli tarkoitus olla avoimia keskustelutilanteita. Haastattelut myös äänitettiin myöhempää analysointia varten. Haastattelulomake on esitetty liitteessä 1.

Opinnäytetyötä varten selvitettiin Pielisjoella toimivat aluskuljetuksia suorittavat yritykset. Haastatteluihin osallistuviin yrityksiin oltiin yhteydessä puhelimitse sekä sähköpostitse paikan ja ajankohdan sopimista varten. Mikäli yritykset eivät kyen-

neet osallistumaan henkilökohtaiseen haastatteluun, pyrittiin haastattelu tekemään puhelimitse. Ennakkoon tehdyssä yhteydenotossa esiteltiin opinnäytetyöntekijät ja kerrottiin työn tarkoitus ja haastattelun aihepiiri.

## 8.2 Tutkimusmenetelmät

Määrällistä eli kvantitatiivista tutkimusmenetelmää käytetään lukuarvoihin ja prosentiosuuksiin liittyvien kysymysten selvittämiseen sekä eri muuttujien välisiä riippuvuussuhteita tai muutoksia. Kvantitatiivinen menetelmä edellyttää riittävän suurta edustavaa otosta, jotta tulokset olisivat luotettavia. Aineiston keruuseen käytetään yleensä kyselylomakkeita, joissa on valmiit vastausvaihtoehdot vastaajaa varten. Kvantitatiivista tutkimusmenetelmää arvostellaan usein sen pinnallisuudesta, sillä tutkija ei pääse pureutumaan riittävän syvälle tulosten syihin. Tällöin on vaarana, että tutkija tekee vääriä johtopäätöksiä tuloksistaan, varsinkin silloin, kun tutkimusaihe on tutkijalle vieras tai omituinen.

Tutkimukseen tarvittavat tiedot voidaan hankkia toisten tekemistä tilastoista, tietokannoista ja rekistereistä tai tarvittava tieto voidaan kerätä itse. Itse kerättävässä aineistossa on tärkeää päättää, mikä on kohderyhmä ja mikä on oikeanlainen tiedonkeruumenetelmä. Menetelmiä voi olla kirjekysely, haastattelu puhelimessa tai kasvotusten tai informoitukysely, joka on kirje- ja henkilöhaastattelun välimuoto. Informoidussa kyselyssä tutkija tuo tai hakee kyselylomakkeen ja täydentää sitä vastaajan antamalla suullisella tiedolla. (Heikkilä 2004, 16, 18.)

Laadullisella eli kvalitatiivisella tutkimuksella pyritään selvittämään ja ymmärtämään tutkimuskohdetta ja selittämään sen ominaisuuksia ja tapahtumien syitä. Menetelmässä rajoitutaan pieneen määrään tapauksia, ja ne pyritään analysoidaan tarkasti. Tutkittavat kohteet valitaan harkinnanvaraisesti eikä tutkimuksessa tavoitellakaan tilastollisia yleistyksiä. Kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä käyttää psykologian sekä muiden käyttäytymistieteiden opetuksia.

Laadullinen tutkimusmenetelmä sopii mainiosti esimerkiksi toiminnan kehittämiseen, erilaisten vaihtoehtojen etsimiseen ja sosiaalisten ongelmien tarkasteluun.

Menetelmän avulla pystytään myös antamaan ylläkköitä erilaisiin jatkotutkimuksiin. Laadullista aineistoa kerätään avoimemmin vastattavilla kysymyksillä kuin kvantitatiivisessa tutkimuksessa ja aineisto onkin yleensä tekstimuotoista. Aineistomateriaali voi olla kuvallista, kirjallista tai äänitettyä. Tietoa voidaan kerätä tavallisten lomakehaastattelujen lisäksi myös avoimilla keskustelutilanteilla (teemahaastattelu) tai ryhmäkeskusteluilla, joihin voi osallistua neljästä kahdeksaan henkilöä. (Heikkilä 2004, 16 - 17.)

Opinnäytetyön aineiston keruun lähtökohtana oli monimenetelmällisyys. Aineiston päärunko kerättiin laadullisina teemahaastatteluina Pielisjoella toimivilta yrityksiltä henkilökohtaisesti ja haastatteluista analysoitua tietoa verrattiin muihin saatuihin tietoihin, jotka käsittelevät rekka- ja rautatiepuuliikennettä. Kaikilta haastateltavilta kysyttiin samat kysymykset, jotta saatu aineisto olisi luotettavaa. Lisäksi toimeksiantajalta ja haastateltavilta kysyttiin täydentäviä kysymyksiä saatuihin tietoihin liittyen, jotta saatu tieto olisi perusteellista.

### **8.3 Aineiston keruu**

Haastattelut toteutettiin strukturoimattomana teemahaastatteluna, joihin opinnäytetyöntekijät valmistelivat haastattelurungon tarvittavien tietojen selvittämistä varten (liite 1). Haastattelutilanteessa sekä haastattelijat ja haastateltava olivat yhteydessä puhelimitse. Haastattelut dokumentoitiin äänittämällä. Näin halutut tiedot pystyttiin tallentamaan ja haastattelun ohessa esille tullut informaatio saatiin säilytettyä.

Äänityksen etuna oli myös myöhemmin tehtävän litteroinnin helppous, koska keskustelut oli jo dokumentoitu sanasta sanaan. Kaikilta haastatteluun kuuluvilta henkilöiltä kysyttiin lupa nauhoitusta varten. Mikäli haastateltava osapuoli kieltäytyi, niin dokumentaatio tehtiin jollakin toisella metodilla, esimerkiksi kirjaamalla. Nauhoitus tuli vain opinnäytteen tekijöiden käyttöön ja sitä ei luovuteta haastattelun ulkopuolisille henkilöille.



Haastattelun jälkeen nauhoitus purettiin ja litteroitiin. Saarasen, Kauppisen ja Puusniekan (2019) mukaan: "Litteroinnilla tarkoitetaan esimerkiksi nauhoitetun puhemuotoisen aineiston tai tutkimukseen osallistuneiden vastaajien omalla käsialallaan kirjoittamien tekstien puhtaaksi kirjoittamista. Aineisto kirjoitetaan keräämisen jälkeen sen hallitsemista ja analysoimista helpottavaan muotoon yleensä tekstinkäsittelyohjelmalla."

#### **8.4 Analyysimenetelmät**

Tutkimuksessa käytettiin laadullista sekä määrällistä menetelmää, joten analysointimenetelmiä on oltava useita. Tällöin tulokset olivat mahdollisimman todennukaiset. Analyysi aloitettiin keräämällä litteroinnista kaikki käytettävä tieto, minkä jälkeen tiedon käsittely aloitettiin.

Ensimmäinen analyysimetodi, jota opinnäytetyössä käytettiin, oli luokittelu. Luokittelu on analyysimenetelmä, jossa voidaan hyödyntää sekä laadullisen että määrällisen analyysin tapoja.

Luokittelu on tärkeä metodi suuren tietomäärän, esimerkiksi suuren joukon tapauksia tai tutkimuskohteita jaotteluun erilaisiin ryhmiin tai jäsenyksiin, jotka selittävät tai kuvaavat tutkimuskohteiden ominaisuuksia tai olemusta. Luokittelu tapahtuu jakamalla tutkimuksesta saadut tulokset useaan eri luokkaan, joissa tulokset jakavat jonkin tietyn ominaisuuden, koostumuksen tai ne muistuttavat toisiaan. (Jyväskylän yliopisto 2015.)

Luokittelu oli tarpeellista, koska litteroinnista kerätty tieto oli vielä tässä vaiheessa sekalaista. Aineisto luokiteltiin matemaattisiin lukuihin, kokemuksiin perustuvaan tietoon ja luokittelemattomaan lisätietoon. Matemaattisia arvoja käytettiin lineaarisessa optimoinnissa. Kokemuksiin perustuvaa tietoa otettiin huomioon optimoinnissa heuristisella menetelmällä. Luokittelematon tieto tarjosi opinnäytetyöntekijöille tärkeää informaatiota muista opinnäytetyön aiheeseen liittyvistä asioista.

## 8.5 Optimointi

Lineaarinen optimointi on yksi operaatiotutkimuksen menetelmistä. Lineaarinen optimointi on tapa kohdentaa rajalliset resurssit toimintaa rajoittavien tekijöiden vallitessa tuotannossa eri toimenpiteille tai toiminnoille. Tällä tavoin tuotannon tehokkuutta määrittävä tavoite tai hyötyfunktio minimoituu tai maksimoituu. Lineaarinen optimointi on päätöksentekijän käytännön apukeino, jota käyttämällä tavoitellaan parhainta mahdollista lopputulosta. Lineaarisen optimoinnin avulla saadaan selvitettyä rajoitemuuttujien varjohinnat. Varjohinta ilmaisee, paljonko tavoitefunktion arvo muuttuu, mikäli kyseistä rajoitettavaa yksikköä olisikin käytettävissä yksi enemmän kuin sen hetkiset rajoitteet sallivat. (Sikanen, Oinas & Harstela 1998, 59-60.)

Alusyhdistelmien kustannustehokkuuksien laskentaan tarvittiin lineaarista optimointia. Linearisessa optimoinnissa voi olla vain yksi tavoitemuuttuja, jolloin muut tavoitteet asetettiin rajoitteiksi. Tämä tarkoitti sitä, että rajoitteet eivät suoraan antaneet selkeää ratkaisua, vaan rajoitteen arvoja tuli muuttaa, että optimaalinen piste saavutettaisiin. Tämä tarkoitti optimoinnin toistamista useaan kertaan.

Tutkimuksessa aluskokonaisuuksien ominaisuuksista etsittiin kaikista kustannustehokkainta ja ympäristöystävällisintä ratkaisua. Kustannustehokkuus kattaa nopeimman, tehokkaimman ja halvimman aluskokonaisuus tavoitteen. Tämä tarkoittaa, että lineaarisen optimoinnin tavoitteita siirrettiin rajoitteiksi, joka hankaloitti työtä. Tavoitefunktioita saatiin lineaariseen optimointiin vain yksi, joten tehokkuus ja nopeus tuli muotoilla rajoitteiksi. Tavoitefunktion päätösmuuttujien kertoimet saatiin kunkin alusyhdistelmän menopaluumatkojen hinnoista. Tästä huolimatta optimoinnissa käytettäville arvoille oli tehtävä ennen lineaarisen optimoinnin aloittamista heuristinen analyysi, jotta arvot olisivat todenmukaisia.

Heuristinen analyysi on kokemukseen perustuvaa asian arviointia. Esimerkiksi heuristisessa tuotteen analysoinnissa käytetään tuotetta ja kirjataan ylös sen käytöstä aiheutuneita ongelmia. Metodien avulla päästään nopeasti lähelle haluttua lopputulosta. (Sipakko 2016.)

Heuristista analyysia käytettiin opinnäytetyössä lineaarisen optimoinnin tukena tarkentamaan matemaattisten arvojen todenmukaisuutta. Matemaattinen arvo voi olla harhaanjohtava käytännön applikaatioissa, joissa useat ulkoiset tekijät vaikuttavat jollain tavalla arvon todenmukaisuuteen. Näissä tilanteissa haastatteluissa esiin tulleet käytännön kokemukset voitiin tuoda esiin vaikuttavina tekijöinä matemaattisiin arvoihin, jotta optimoinnista saatu tulos olisi mahdollisimman tarkka.

Vertailevalla tutkimusstrategialla etsitään saatujen tutkimusotosten väliltä yhtäläisyyksiä, riippuvaisuuksia ja eroja. Vertailussa voi olla erilaisia prosesseja, tapauksia, matemaattisia arvoja ja yleisesti yksiköitä, jotka on todettu yhteismitalliseksi ja siten vertailukelpoisiksi. Aineistoja, joihin vertaileva tutkimus voi perustua, on määrälliset aineistot ja niiden tilastolliset analyysimenetelmät sekä laadulliset aineistot ja niiden analyysimenetelmät. (Jyväskylän yliopisto 2015.)

Vertailututkimus oli opinnäytetyön tutkimuksen viimeinen vaihe. Lineaarista optimoinnista saatua kustannustehokasta alusyhdistelmäratkaisua voitiin verrata sekä auto- että rautatiekuljetuksiin Pielisjoen toimintaympäristössä ja tarkastella aluskuljetuksen kilpailukykyä muita kuljetusvaihtoehtoja vastaan. Näillä eri analyysimenetelmillä ja laskentatavoilla saatiin tutkimuskysymykseen vastaus.

## **9 Työn toteutus**

### **9.1 Haastattelut**

Haastattelujen toteutus alkoi toukokuun alussa ja tavoitteena oli, että tapaamiset saataisiin sovittua samalle kuukaudelle. Aluksi selvitettiin yritykset, joilla on puunkuljetukseen soveltuvaa kalustoa, ja opinnäytetyön tekijät laativat listan yrityksistä yhteystietoineen. Listalle lukeutui yhteensä yhdeksän yritystä (taulukko 5), joihin tulnaisiin olemaan yhteydessä.

Taulukko 5. Yritykset, joihin otettiin yhteyttä.

MOPRO Oy
Fin-Terpuu Oy
Pielis-Laivat Oy
Järvi-Suomen Uittoyhdistys
Järvikuljetus M.Papunen Oy
tmi Tapani Kankkunen
Saarisavotta Oy
Koneurakointi S.Kuittinen Oy
PuuLem Oy

Opinnäytetyön tekijät sopivat yhteydenottotavoiksi puhelinsoiton, sähköpostin ja sosiaalisen median. Opinnäytetyön tekijät totesivat henkilökohtaiset haastattelut vaikeiksi toteuttaa, sillä yhteydenottojen yhteydessä selvisi, että yrityksillä on sesonkiaika ja he ovat jatkuvasti töissä. Lisäksi opinnäytetyöntekijöillä ei ollut mahdollisuutta järjestää henkilökohtaisia haastatteluja, joten parhaaksi haastattelutavaksi muodostui puhelinhaastattelu. Kaikille yrityksille, joihin oltiin yhteydessä, lähetettiin haastattelurunko sähköpostitse (liite 1).

Haastateltavaksi osallistui yhteensä kolme yritystä, jotka olivat MOPRO Oy, Fin-Terpuu Oy ja Pielis-Laivat Oy. Ensimmäinen yritys, jonka edustajaa haastateltiin, oli Fin-Terpuu Oy ja haastattelu tapahtui 20.5.2019 ja sen kesto oli 31 minuuttia. Haastateltavalta kysyttiin aluksi lupa haastattelun ääninauhoitukseen, johon haastateltava suostui. Haastattelun aikana kaikki kysymykset käytiin läpi ja keskusteltiin niihin sisältyvästä lisätiedosta. Saadut vastaukset olivat opinnäytetyön tekijöille tarpeeksi kattavia analyysiprosessia varten.

Toinen haastateltava yritys oli MOPRO Oy. Haastattelun ajankohta oli 18.6.2019, ja siihen kului aikaa 32 minuuttia. Yrityksen edustajalta kysyttiin lupa ääninauhoitukseen, johon haastateltava suostui, mutta pyysi itselleen selvityksen, mitä

haastattelun tietoja opinnäytetyössä tullaan käyttämään. Haastattelun aikana käytiin kaikki kysymykset läpi ja lisäksi haastateltava lähetti opinnäytetyöntekijöille Excel-tiedoston kaikista yrityksen aluksista ja niiden ominaistiedoista. Haastateltava ei ollut halukas kertomaan tarkkoja tietoja alusten kustannusrakenteesta yrityssalaisuuden säilyttämiseksi. Kuitenkin haastattelussa ilmeni, että ensimmäisestä haastattelusta saatuja tietoja voidaan käyttää laskennassa myös MOPRO Oy:n osalta.

Kolmas haastateltava yritys oli Pielis-Laivat Oy. Haastateltavaan otettiin yhteyttä sosiaalisen median kautta ja haastattelun ajankohdaksi sovittiin 19.6.2019. Haastatteluun kului aikaa 30 minuuttia. Haastateltavalta kysyttiin lupa ääninauhoitukseen, johon saatiin myönteinen suostumus. Haastattelun aikana käytiin kaikki haastattelurungon sisältämät kysymykset läpi ja keskusteltiin aihepiiristä vapaammin. Yrityksen edustaja oli perehtynyt haastattelurunkoon, mutta ei osannut vastata tarkasti alusten kustannusrakenteeseen. Osaan haastateltavista oltiin myös myöhemmin yhteydessä sosiaalisen median kautta ja puhelimitse täsmenävien tietojen osalta.

Osaan yrityksistä ei haastattelua saatu sovittua. Nämä yritykset olivat Koneurakointi S. Kuittinen Oy, Saarisavotta Oy ja PuuLem Oy. Yritykset olivat myönteisiä haastatteluihin osallistumisen kannalta, mutta sesonkikiireen takia heillä ei ollut aikaa osallistumiseen. Yrityksille lähetettiin haastattelurunko ja ajankohdan sopimispyyntö sähköpostitse.

Osa yrityksistä kieltäytyi haastattelusta tai heihin ei saatu yhteyttä. Nämä yritykset olivat Järvi-Suomen Uittoyhdistys, Järvikuljetus M. Papunen Oy ja tmi Tapani Kankkunen. Järvi-Suomen Uittoyhdistyksellä ja tmi Tapani Kankkusella ei ollut enää opinnäytetyön kannalta soveltuvaa kalustoa käytössä.

## **9.2 Litterointi ja luokittelu**

Kaikki toteutuneet haastattelut litteroitiin nauhoitusten perusteella Microsoft Office Wordiin. Litteroinnin jälkeen puhtaaksi kirjoitettu aineisto luokiteltiin kolmeen

eri luokkaan tiedon ominaisuuksien mukaan. Kolme luokkaa olivat matemaattinen tieto, heuristinen tieto ja täsmentävä lisätieto.

Matemaattiseen tietoon lukeutui alusten ominaisuustiedot, kustannukset ja yrityksen vuosittainen puunkuljetusmäärä. Heuristista tietoa oli puunkuljetukseen liittyvät ulkoiset tekijät, jotka vaikuttavat suorituskykyyn. Lisäksi haastateltavien omat kokemukset ja näkemykset puunkuljetuksesta Pielisjoella kuuluivat tähän luokkaan. Matemaattiset kysymykset, joihin saatiin puutteellisia vastauksia liikesalaisuuteen vedoten, luokiteltiin heuristiseksi tiedoksi. Lisätiedoksi luokiteltiin vastaukset, joita ei voinut luokitella selkeästi edellisiin luokkiin. Tiedot, jotka luokiteltiin lisätiedoksi, olivat esimerkiksi uudet kontaktit, yritykset ja tarpeettomat tiedot.

### **9.3 Pielisjoelle soveltuva kalusto**

Haastatteluissa selvitettiin yritysten alusyhdistelmät. Fin-Terpoo Oy:llä on yksi Pielisjoelle soveltuva yhdistelmä, jossa aluksena toimii Parkko-hinaaja, joka työntää Sampo-proomua. MOPRO Oy:llä on hinaajana Tyrsky ja sen proomuna Vorokki. Näiden lisäksi yrityksellä on kaksi pientä proomua, Kuutar ja Väinämöinen. Pielis-Laivat Oy:llä on yksi aluskokonaisuus, jossa aluksena toimii Jermac ja proomuna Annuska (kuva 3). Kaikki alukset ja proomut ovat ikääntyneitä, sillä vanhin alus on vuosimallia 1966 ja uusin 1988. (liite 2)



Kuva 3. Jermac-Annuska-yhdistelmä, joka saapuu Joensuun kanavaan.

Pielisjoelle soveltuvaksi kalustoksi sopivat Sampo- Parkko- yhdistelmä ja Jermac- Annuska- yhdistelmä. Tyrsky- Vorokki- yhdistelmä on syväkseitään liian suuri Pielisjoen pääväylälle, mutta pienproomut Kuutar ja Väinämöinen ovat soveltuvia. Pienproomut tarvitsevat työntöaluksen, joten opinnäytetyön tekijät ottivat laskentaan mukaan kuvitellut Parkko- Kuutar- ja Jermac- Väinämöinen- yhdistelmät. Väinämöinen sekä Kuutar ovat samanlaisia proomuja ominaisuuksiltaan. (liite 2)

Taulukko 6. Alusyhdistelmien ulkoiset mitat.

Yhdistelmä	Syväys	Pituus	Leveys
Jermac/Annuska	3,0	83,8	12,2
Jermac/Väinämöinen	3,0	86,6	9,1
Parkko/Sampo	2,8	99,4	11,0
Parkko/Kuutar	2,8	83,2	9,1

Pielisjoen pääväylän syväkseksi on ilmoitettu 2,4 metriä, mutta syväys vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Keväisin sulanut lumi ja jää lisäävät Pielisjoen virtaamaa

sekä veden korkeutta. Tämän takia keväällä ja kesällä syväykseltään yli 2,4 metriä olevat yhdistelmät kykenevät ajamaan Pielisjoella. Kuitenkin on otettava huomioon, että kevättulvan aikaan virtaus on voimakasta, mikä vaikeuttaa liikennöintiä jokialueella. Kesä ja syksy aiheuttavat vedenpinnan laskun, sillä tällöin haihdunta on voimakasta.

Aluksen pituutta rajoittavana tekijänä voidaan pitää Kuurnan kanavaa, jonka sulku on 85 metriä pitkä (Maanmittauslaitos 2019). Kanavan todellinen pituus sulun päästä päähän on mitattu ja todennettu ilmakuvan perusteella Paikkatietoikkuna-karttapalvelussa. Aluskokonaisuudet, jotka eivät mahdu sulkuun kokonaisuutena, joudutaan yhdistelmä katkaisemaan ja suluttamaan proomu ja työntöalus erikseen.

## **9.4 Kustannuslaskenta**

Optimointia varten alusten kustannusrakenne tuli laskea siten, että yksittäisten aluskokonaisuuksien kustannukset saataisiin selville Joensuun ja Nurmeksen satamien väliselle matkalle. Satamien välinen matka on pääväylää pitkin 175,4 km, ja se on mitattu ilmakuvan perusteella Paikkatietoikkuna-karttapalvelusta (Maanmittauslaitos 2019).

Yhden matkan kustannus koostuu polttoainekuluista, palkkakuluista, satamamaksuista, seisontakuluista ja korjaus-huolto- ja muista kuluista. Kustannuslaskenta toteutettiin Microsoft Office Excel -ohjelmalla. Joissakin kohdissa haastattavilta saadut tiedot olivat kustannuslaskennan kannalta puutteellisia, joten heihin oltiin yhteydessä jälkikäteen. Näin saatiin täsmennettyä laskelmat todennukaiseksi ja mahdolliset asiavirheet haastatteluista saatiin korjattua.

### **9.4.1 Polttoainekustannukset**

Haastatteluissa selvisi, että yksi suurimmista kustannuksista aluskuljetuksessa on polttoainekulut. Työntöalukset käyttävät polttoaineenaan kevytpolttoöljyä,



jonka litrahinta on keskimäärin 1 €/litra suurina tilauksina (Teboil 2019). Työntöalukset kuluttavat 100 - 110 l/h, päämoottori kuluttaa noin 100 l/h ja apumoottori noin 10 l/h. Laskennassa Jermac- työntöalus kuluttaa noin 110 l/h ja Parkko noin 110 litraa tunnissa. Tuntikohtainen kulutus riippuu nopeudesta, jolloin matka saadaan kuljettua nopeammin ja polttoaineen kulutus jää pienemmäksi (Ryttyläinen 2019).

Polttoainelaskenta aloitettiin siten, että alusten nopeus muutettiin solmuista (kn) kilometreiksi tunnissa (km/h), jolla jaettiin Joensuun ja Nurmeksen satamien välinen matka (175,4 km). Saatu tulos oli matkaan kuluva aika tunteina (h), joka kerrottiin polttoaineen kulutuksella tunnissa (l/h). (taulukko 7)

Tällä tavalla saatiin laskettua matkaan kuluva polttoaine, mutta kanavien läpikulua ei ollut vielä huomioitu. Haastateltavilta erikseen kysytyistä lisätiedoista ilmeni, että yksi sulutus vie aikaa noin 20 minuuttia ja kaksoissulutus noin 60 minuuttia (Rautiainen 2019) ja tyhjäkäynnillä olevan yhdistelmän polttoaineen kulutus on noin 80 litraa tunnissa (Ryttyläinen 2019).

Joensuun ja Nurmeksen välillä on kolme kanavaa, joista Kaltimon ja Kuurnan sulut ovat pienempiä. Parkko-Sampo- ja Jermac-Väinämöinen- yhdistelmät joudutaan katkaisemaan ja suluttamaan erikseen. Molempien alusten sulutus vie aikaa noin tunnin, sillä sulku on täytettävä tai tyhjennettävä uudestaan sulkuun saapuvaa toista alusta varten (Rautiainen 2019). Kaikkiin matkan varrella oleviin sulutuksiin kuluva aika kerrottiin alennetulla polttoaineen kulutuksella, jolloin saatiin selville sulutuksiin kuluva polttoaineen kokonaiskulutus. Tämä lisättiin matkaan kuluvaan polttoaineeseen ja kerrottiin se polttoaineen hinnalla (1 €/l), jolloin saatiin selville polttoaineen kustannus yhdelle matkalle. (taulukko 7)

Taulukko 7. Polttoainelaskenta yhdelle matkalle.

Yhdistelmä	Matkaan kuluva aika	Kulutus l/h	Sulutukseen kuluva polttoaine, l	Matkaan kul.polttoaine, l	Polttoaine yhteensä, l
Parkko/Sampo	15,8	110,0	186,7	1736,3	<b>1923,0</b>
Parkko/Kuutar	15,8	110,0	80,0	1736,3	<b>1816,3</b>
Jermac/Väinämöinen	13,5	110,0	186,7	1488,3	<b>1674,9</b>
Jermac/Annuska	13,5	110,0	80,0	1488,3	<b>1568,3</b>

Polttoainekustannuksen laskennasta saatua matkaan kuluvaan aikaan voidaan hyödyntää tulevissa laskentavaiheissa. Osa kustannuksista on vuosittaisia ja osa on kuukausittaisia. Saadakse kaikki kustannukset yhdelle matkalle, opinnäytetyön tekijöiden tuli selvittää jokaisen alusyhdistelmän vuosittaiset matkojen lukumäärät Joensuun ja Nurmeksien satamien välille. Matkaan kuluvaan aikaan lisättiin sulutukseen (20 - 60 min), purkuun tai lastaukseen (8 - 10 h) kuluvat ajat, jotta saatiin yhden matkan kokonaisaika (Ryttyläinen 2019).

Yhden viikon sisältämät tunnit jaettiin kunkin aluksen menopaluumatkaan kuluvalle ajalle, jolloin saatiin selvitettyä menopaluumatkojen lukumäärä yhdelle viikolle. Menopaluumatkojen määrä viikossa kerrottiin purjehduskauden sisältämien viikkojen lukumäärällä. Keskimääräinen purjehduskausi Pielisjoella on 6 - 7 kuukautta, joka on 38 viikkoa. Tulokseksi saatiin menopaluumatkojen lukumäärä purjehduskaudella kullekin alusyhdistelmälle. Kertomalla luku kahdella, saatiin yhden suunnan matkat vuodessa. (taulukko 8)

Taulukko 8. Alusyhdistelmien matkojen määrä vuodessa.

Yhdistelmä	Matka-aika, h	Edestakainen matka-aika, h	Edestakaiset viikossa, kpl	Edestakaiset vuodessa, kpl	Matkaa vuodessa, kpl
Parkko/Sampo	15,8	54,2	3	118	235
Jermac/Annuska	13,5	47,0	4	136	271
Parkko/Kuutar	15,8	51,5	3	124	248
Jermac/Väinämöinen	13,5	49,7	3	128	257

#### 9.4.2 Palkkakustannukset

Toinen suurimmista kulueristä aluskuljetuksessa on miehistön palkat. Haastateltavilta yrityksiltä saatiin vaihtelevaa tietoa sekä miehistön että päällystön peruspalkoista. Palkkauskulut ovat yrityssalaisuuksia, joten yritykset eivät halunneet kertoa tarkkaa tietoa asiasta. Peruspalkan lisäksi työntekijä saa suuren määrän erilaisia etuja, kuten päivärahan, yölisän ja ruokarahan. Päiväraha maksetaan vain matkapäiviltä. Ruokaraaha maksetaan vain, jos työnantaja ei tarjoa aluksella erillistä ruokailua.

Opinnäytetyön tekijät ottivat yhteyttä Merimiesunioniin ja kysyivät sisävesiliikenteen työehtosopimuksesta, jossa peruspalkat olisivat selkeästi nähtävillä. Merimiesunioni on sopinut työehtosopimuksen eri yritysten kanssa ja sopimuksen luovuttaminen ulkopuolisille olisi vaatinut kaikkien osallisten suostumuksen. Tämän opinnäytetyön tekijät totesivat liian hankalaksi. (Silta 2019.)

Merimiesunionin asiantuntija kertoi suuntaa antavia peruspalkkauksen summia. Miehistölle hän kertoi peruspalkan olevan 3 000 €, yt-päällikölle 3 704 € ja aluksen kokille 3 000 €. (Silta 2019.)

Opinnäytetyöntekijät laskivat miehistön ja päällystön palkat ottamalla kaikista palkoista keskiarvot. Haastatteluissa saadut palkka-arviot saattoivat sisältää työntekijän etuudet ja palkkalisät. Keskiarvo laskettiin yrityksiltä saaduilla palkkatiedolla ja Merimiesunionilta saadulla peruspalkalla. Keskiarvoisiksi palkoiksi miehistölle saatiin 3 233 euroa kuukaudessa ja päällystölle 4 234 euroa kuukaudessa. (Silta 2019.)

Miehistön ja päällystön työ on sesonkiluontoista, joten työsopimukset ovat yleensä määräaikaaisia. Työntekijät tekevät yleensä kuuden tai 12 tunnin työvuoroja, jonka jälkeen he ovat saman ajan vapaalla. Tehdessään 12 tunnin vuoroa, työntekijä tekee 4 tuntia ylitöitä joka päivä. Työviikon pituus on sesonki aikaan seitsemän vuorokautta. Töitä tehdään kahden tai kolmen viikon jaksoissa, jonka jälkeen on viikko vapaata. (Silta 2019.)

Työntöaluksilla työskentelee neljästä viiteen henkilöä. Jermac- aluksella työskentelee 2 päällysmiestä ja 3 miehistön jäsentä. Parkko- aluksella työskentelee 2 päällysmiestä ja 2 miehistön jäsentä. Miehistön ja päällystön lisäksi molempia työntöaluksia varten on kaksi varamiestä.

Palkkakulut koko vuodelle saatiin yhdistämällä kaikkien työntekijöiden kuukausipalkat ja kertomalla se 12 kuukaudella. Yhden matkan palkkauskulut saatiin jakamalla vuoden palkkakulut jokaiselle yhdistelmälle niiden matkojen määrällä vuodessa.

### **9.4.3 Satamamaksut**

Satamamaksut olivat yksi selkeä kustannuserä puunkuljetusyrittäjille. Joensuun sekä Nurmeksen satamissa on olemassa satamamaksut, joissa puunkuljettajaa veloitetaan vain alusten lastinottokyvyn eli nettorekisteritonnien mukaan. Rahdin haltija maksaa kuljetettavaan puutavaraan kohdistuvan rahtimaksun. Joensuun satamassa aluksille kohdistuu myös mahdollinen vedenottomaksu sekä pakollinen jätemaksu (Saimaan satamat 2019).

Aluksiin kohdistuvat satamamaksut laskettiin kertomalla alusten nettorekisteritonit kunkin sataman satamamaksutaksan mukaan. Näin saatiin selville yhden matkan satamamaksut (taulukko 9). Yleensä kuljetusyrietykset sopivat satamien kanssa kiinteän sopimussumman purjehduskaudelle (Rautiainen 2019), mutta opinnäytetyön laskelmat tehtiin yksittäisten satamakäyntien perusteella.

Taulukko 9. Aluksien satamamaksut.

ALUSTYYPPI	NETTOTONNI MASSA	NURMES	JOENSUU	YHT
<b>TYÖNTÖALUS</b>				
Jermac	43	18,92 €	220,49 €	239,41 €
Parkko	30	13,20 €	214,90 €	228,10 €
<b>PROOMU</b>				
Sampo	316	139,04 €	205,88 €	344,92 €
Annuska	513	225,72 €	290,59 €	516,31 €
Väinämöinen	254	111,76 €	179,22 €	290,98 €
Kuutar	254	111,76 €	179,22 €	290,98 €

#### 9.4.4 Korjaus-, seisonta-, huolto- ja muut kulut

Alukset ovat toiminnassa vain sesonkikauden ajan ja sesonkiajan ulkopuolella ne ovat telakalla talvisäilytyksessä. Talvisäilytyksessä aluksia joudutaan pitämään lämpimänä toimintakyvyn säilyttämiseksi. Haastatteluissa selvisi, että aluksien seisontakulu on noin 30 € alukselta päivässä. Haastatellulla yrityksellä on oma telakka, joten tässä arviossa ei olla huomioitu telakan vuokratulua. (Rantanen 2019.)

Aika, jonka alukset ovat talvisäilytyksessä tammikuusta huhtikuun alkuun, eli keskimäärin 90 vuorokautta (Rantanen 2019). Kustannuslaskennassa seisontakulu laskettiin kertomalla päiväkustannus alusten lukumäärällä ja kertomalla se säilytysvuorokausilla. Alusyhdistelmien lukumäärässä ei ollut vaihtelua, joten kaikille yhdistelmille saatiin sama seisontakulu 5 400 euroa vuodessa.

Korjaus-, huolto- ja muut kulut olivat hankalampi laskea kuin muut edellä mainitut kustannukset. Haastatteluissa näistä kuluista ei saatu tarkkoja tietoja, sillä korjaus- ja huoltokustannukset vaihtelevat todella paljon vuosittain. Myös muut kulut, kuten työvälinekustannukset, vakuutusmaksut, mahdolliset lisenssit, hallinnolliset kulut ja muut pienemmät kustannuserät eivät tulleet haastatteluissa esille selkeästi.

Yhdessä haastattelussa kuitenkin ilmeni, että alusyhdistelmän kustannusrakenne jakautuu karkeasti kolmeen yhtä suureen osaan. Ensimmäinen osuus on miehistön palkat, toinen osuus on polttoainekustannus ja kolmas osuus on muita kuluja kuten korjaus, seisonta, huolto, satamamaksut ja muut kulut (Rantanen 2019).

Kustannuslaskennassa laskettiin keskiarvo vuosittaisista polttoaine- ja palkkaus-kuluista. Tuloksesta vähennettiin satamamaksut ja seisontakulut, josta saatiin selville korjaus-, huolto- ja muut kulut vuodessa. Tämä jaettiin kunkin alusyhdistelmän matkojen lukumäärällä vuodessa, jolloin saatiin yhden matkan osuus korjaus- ja huoltokuluista. (taulukko 10)

Yhdistämällä kaikki kustannukset saatiin yhden matkan kokonaiskustannus. Jakamalla kokonaiskustannus aluksien kapasiteeteilla saatiin kustannus yhdelle tonnille puuta Nurmeksen ja Joensuun väliselle matkalle. Jakamalla tämä tulos matkan pituudella saatiin tonniskustannus yhdelle kilometrille. Yhden menopaluumatkan kustannus saatiin kertomalla yhdenmatkan kustannus kahdella, josta vähennettiin yhden matkan satamamaksujen kustannus. Alusyhdistelmästä maksetaan satamamaksu kustannuslaskuissa aluksen lähtiessä satamasta. Alus maksaa Nurmeksen satamamaksun lähtiessään kohti Joensuuta ja maksaa Joensuun satamamaksun lähtiessään takaisin Nurmekseen tai johonkin muuhun satamaan. (taulukko 11)

Taulukko 10. Alusyhdistelmien kustannukset 1.

YHDISTELMÄ	KORJAUS & HUOLTO YM	SEISONTA KULUT	SATAMAMAKSUT NRMS-JNS	PALKKAUSKULUT/ matka	POLTTOAINEKULUTUS /€/matka	YHT./MATKA Nrms-Jns
Parkko+Sampo	1 197 €	23 €	573 €	1 091 €	1 923 €	4 807 €
Jermac+Annuska	931 €	20 €	756 €	1 089 €	1 568 €	4 364 €
Parkko+Kuutar	1 145 €	22 €	519 €	1 037 €	1 816 €	4 539 €
Jermac+Väinämöinen	1 127 €	21 €	530 €	1 151 €	1 675 €	4 504 €

Taulukko 11. Alusyhdistelmien kustannukset 2.

YHDISTELMÄ	YHT./MATKA Nrms-Jns	€/t/175km	€/t/km	Menopaluu kustannus
Parkko+Sampo	4 807 €	3,00 €	0,0171 €	<b>9 041 €</b>
Jermac+Annuska	4 364 €	2,91 €	0,0166 €	<b>7 972 €</b>
Parkko+Kuutar	4 539 €	4,13 €	0,0236 €	<b>8 560 €</b>
Jermac+Väinämöinen	4 504 €	4,09 €	0,0234 €	<b>8 478 €</b>

## 9.5 Optimointi

Optimointiongelman ratkaistiin lineaarisen optimoinnin avulla. Linearisessa optimoinnissa voidaan käyttää vain yhtä tavoitefunktiota, jolloin muut tavoitteet asetetaan rajoitteiksi. Rajoitteiden muotoilu tulee olla tarkkaan muodostettu, jotta saatu tulos olisi todenmukainen. Optimoinnin selkeyttämiseksi aluskokonaisuuksien nimet on lyhennetty. Lineaarinen optimointi tehtiin Lindo 6.1- optimointiohjelmalla.

Tavoitefunktioon tarvittavat luvut muodostuivat alusyhdistelmien menopaluumatkan kokonaiskustannuksista (taulukko 11). Tavoitefunktiona toimi minimointifunktio, jonka tehtävänä oli minimoida vuotuisten toteutuvien menopaluumatkojen kustannus (kuva 4). Ensimmäiseksi rajoitteeksi asetettiin menopaluumatkojen määrä vuodessa (kuva 4). Jokaiselle aluskokonaisuudelle oli etukäteen määritetty maksimaalinen menopaluumatkojen lukumäärä vuodessa (taulukko 8). Matkojen kokonaismäärä vuodessa on laskettu käyttämällä lastaukseen, purkuun, sulutuksiin ja yhteen matkaan kuluvaa aikaa.

Toiseksi rajoitteeksi asetettiin aluskokonaisuuksien kuormakapasiteetit ja vuodessa kuljetettava puumäärä (kuva 4). Lineaarisen optimoinnin mahdollistaessa vain yhden tavoitefunktion, ei rajoitteissa voida käyttää minimoivaa tai maksimoivaa funktiota. Vuodessa kuljetettava puumäärä oli säädettävä erikseen, jotta toteutumattomia matkoja optimaaliselle alusratkaisulle ei jäisi. Optimointi suoritettiin useaan kertaan optimaalisen puumäärän selvittämiseksi.

```

Title Kustannustehokkain aluskokonaisuus
! PS = Parkko/Sampo
! JA = Jermac/Annuska
! PK = Parkko/Kuutar
! JV = Jermac/Vainamoinen

!Objective function Kustannus
Min 9049.5 PS + 7972.3 JA + 8559.8 PK + 8478.5 JV

Subject to
!Rajoitteet
Matka PS) PS <= 117.7
Matka JA) JA <= 135.7
Matka PK) PK <= 123.8
Matka JV) JV <= 128.4

Maara) 1600 PS + 1500 JA + 1100 PK + 1100 JV = 203550

End

```

Kuva 4. Lineaarisen optimoinnin kaava.

Lineaarisen optimoinnin mukaan paras alusyhdistelmä on Jermac-työntöalus ja Annuska-proomu. Tällä yhdistelmällä vuosittaisten menopaluumatkojen kokonaisuus olisi 136 Joensuun ja Nurmeksen välillä. 136 menopaluumatkalla Jermac-Annuska pystyisi kuljettamaan puuta 203 550 t. Tavoitefunktion tulokseksi saatiin 1 081 841 €, joka on kaikkien vuotuisten menopaluumatkojen yhteenlaskettu summa. Tavoitefunktion tulos oli hyvin lähellä Jermac-Annuska-yhdistelmän vuosikustannusta (1 081 966 €), joka saatiin Excel-kustannuslaskuissa. (kuva 5)

Optimoinnin tuloksen lisäksi saatiin selville myös alusyhdistelmien varjohinnat. Jermac-Annuska-yhdistelmän yhden menopaluumatkan kustannus voisi nousta 511,61 €:oon, jotta se olisi kustannustehokkuudeltaan vastaava kuin Parkko-Sampo-yhdistelmä. Parkko-Kuutar-, Jermac-Vainamoinen- ja Parkko-Sampo-



yhdistelmät joutuisivat laskemaan kustannuksiaan, jotta ne olisivat yhtä kustannustehokkaita kuin Jermac-Annuska- yhdistelmä (kuva 8). Muiden alusyhdistelmien varjohinnat on esitetty kuvassa 8. Muiden alusyhdistelmien menopaluumatkat jäävät kokonaan käyttämättä, koska vuotuinen puunkuljetusmäärä on säädetty parhaimman alusyhdistelmän (Jermac-Annuska) kapasiteetin mukaan. (kuva 5)

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP      0
      OBJECTIVE FUNCTION VALUE
    1)      1081841.

VARIABLE      VALUE      REDUCED COST
PS            0.000000      0.000000
JA           135.699997      0.000000
PK            0.000000     2338.268555
JV            0.000000     2256.968750

      ROW      SLACK OR SURPLUS      DUAL PRICES
MATKA PS)      117.699997      0.000000
MATKA JA)       0.000000      511.606262
MATKA PK)      123.800003      0.000000
MATKA JV)      128.399994      0.000000
  MAARA)        0.000000     -5.655938

NO. ITERATIONS=      0

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE      CURRENT      OBJ COEFFICIENT RANGES
      COEF      ALLOWABLE      ALLOWABLE
      PS      9049.500000      3282.863525      545.713318
      JA      7972.299805      511.606262      INFINITY
      PK      8559.799805      INFINITY      2338.268311
      JV      8478.500000      INFINITY      2256.968506

      ROW      CURRENT      RIGHTHAND SIDE RANGES
      RHS      ALLOWABLE      ALLOWABLE
      PS      117.699997      INFINITY      117.699997
      JA      135.699997      0.000000      125.546661
      PK      123.800003      INFINITY      123.800003
      JV      128.399994      INFINITY      128.399994
  MAARA      203550.000000      188320.000000      0.000000

```

Kuva 5. Lineaarisen optimoinnin tulokset.

## 9.6 Vertailu

Vertailua tehtiin eri kuljetusmuotojen välillä, kun tehokkain aluskokonaisuus oli saatu selville. Jermac-Annuska- alusyhdistelmä ei ollut kapasiteetiltaan suurin ja sen miehistökulut olivat muita aluskokonaisuuksia isommat. Kuitenkin Jermac-Annuska-yhdistelmä erottui muista yhdistelmistä parhaimmaksi ja halvimmaksi sen nopeuden ja polttoainekulutuksen ansiosta.

Jermac-Annuska-yhdistelmää verrattiin muihin kuljetusmuotoihin kustannuksiltaan sekä hiilidioksidipäästöiltään. Päästöjen laskeminen kullekin kuljetusmuodolle oli toimeksiantajan toive. Päästölaskennassa ei huomioitu kaluston ja kuluväylien kunnossapidosta aiheutuvia päästöjä.

Vertailussa tarkasteltavat arvot olivat kapasiteetti, polttoaineen kulutus, nopeus ja kustannukset. Kapasiteetin muotona käytettiin kahta eri yksikköä, kuutioita sekä tonneja. Tonnit saatiin muunnettua kuutioiksi puun keskimääräisen tuoretiheyden avulla. Tuoretiheytenä käytettiin Etelä-Suomen mäntykuidun keskiarvoista tiheyttä, joka on  $875 \text{ kg/m}^3$ . (Kainulainen & Lindblad 2005, 9.)

Päästöt laskettiin kuljetusmuotojen polttoainekulutuksen mukaan, ja oletuksena oli, että kaikki niistä käyttävät samaa polttoainetta. Kaikki kuljetusmuodot käyttävät laskuissa kevytpolttoöljyn päästöarvoja. Yksi litra kevytpolttoöljyä sisältää  $10,02 \text{ kWh}$ , ja yhden kilowattitunnin käyttäminen tuottaa  $267 \text{ g}$  hiilidioksidia. Tällöin yhden poltetun kevytpolttoöljylitran hiilidioksidipäästö on noin  $2,7 \text{ kg}$ . (Motiva 2010.)

### 9.6.1 Aluskuljetus

Aluskuljetuksen vertailussa käytettiin Jermac-Annuska-yhdistelmää ja kustannuslaskennassa sille saatuja arvoja. Vertailussa käytetty alusyhdistelmä oli kapasiteetiltaan  $1\,500 \text{ t}$  ja noin  $1\,714 \text{ m}^3$ . Verrattuna rautatiekuljetukseen proomun kapasiteetti oli hieman pienempi kuin 24-vaunuisen puutavarajunan kapasiteetti. Nopeudeltaan aluskuljetus on kaikista vertailuista kuljetusmuodoista hitain, vain  $13 \text{ km/h}$ . (liite 4.)

Kustannuksiltaan aluskuljetus on edullisinta muihin kuljetusmuotoihin verrattuna. Kustannus yhtä tonnia kohden kilometrin matkalla on  $1,66 \text{ snt}$ . Kustannus yhdelle kuutiolle kilometrin matkalla on  $1,45 \text{ snt}$ . (liite 4.)

Päästöiltään aluskuljetus on rekkakuljetusta ympäristöystävällisempi, mutta rautatiekuljetusta saastuttavampi. Alusyhdistelmän kulutus on  $110 \text{ l/h}$ , jolloin kulutus kilometrin matkalla on noin  $8,5 \text{ l}$ . Hiilidioksidipäästöt yhtä tonnia kohden kilometrin

matkalla on 15,2 g. Hiilidioksidipäästöt yhtä kuutiota kohden kilometrin matkalla on 13,3 g. (liite 4)

### 9.6.2 Rautatiekuljetus

Vertailussa puutavarajunan veturina käytetään Dv12-mallia, joka on Suomen yleisin tavaraliikenteessä käytetty diesel- veturi (Liikennevirasto 2015, 23). Dv12-mallinen veturi vetää tavallisesti 24 puutavaravaunua perässään (Mäkelä 2012, 9).

Dv12-mallisen veturin maksiminopeus on 80 km/h, mutta täydellä lastilla keskinopeus on noin 50 km/h. Tavaraliikennejunat ovat velvollisia väistämään matkustajaliikenteen junia (Korhonen 2019c). Veturin keskikulutus on 260 l/h (Enonsuu, Honkanen & Pöyhö 1995, 20), jolloin kulutus yhtä kilometriä kohden on 5,2 litraa.

Vertailussa käytettyjen puutavaravaunujen malli oli Snpss -tyyppinen raakapuuvaunu. Yhden vaunun kapasiteetti on 65,5 t ja koko tavarajunan kapasiteetti on 1 572 t tai 1 797 m<sup>3</sup>. (VR- yhtymä 2019)

Rautatiekuljetus on nopeampi ja kapasiteetiltaan suurempi kuin proomukuljetus, mutta hitaampi kuin rekkakuljetus. Yhden kuljetetun tonnin kustannus kilometrin matkalla on huomattavasti edullisempi rautatiekuljetuksessa kuin rekkakuljetuksessa, mutta kalliimpaa kuin proomukuljetuksessa.

Rautatiekuljetuksen päästöt yhtä kilometriä kohden olivat muihin kuljetusmuotoihin verrattuna kaikista pienimmät. Hiilidioksidipäästöt yhtä tonnia kohden kilometrin matkalla oli 8,9 g. Hiilidioksidipäästöt yhtä kuutiota kohden kilometrin matkalla oli 7,8 g. (liite 4)

### 9.6.3 Autokuljetus

Rekkakuljetuksen vertailussa ei voitu käyttää yhtä tiettyä vetoautomerkkiä, joten opinnäytetyöntekijät käyttivät keskiarvoisia lukuja. Vertailussa käytettiin neliakse- lista nosturivarusteista vetoautoa, jonka perässä on viisi akselinen perävaunu. Tällaisen yhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 76 t, jolloin puunkuljetus- kapasiteetti on keskimäärin 54 t (Metsäalan ammattilehti 2013).

Polttoaineen kulutus Metsätehon projektiryhmän tekemän simuloinnin mukaan on keskimäärin täyteen lastatulla puutavara-autolla 61,3 litraa sadalla kilometrillä keskinopeuden ollessa 64,2 km/h (Väkevä, Pennanen & Örn 2004). Verrattuna muihin kuljetusmuotoihin autokuljetus kuluttaa enemmän polttoainetta yhtä puu- tavaratonnia kohden. Rekkayhdistelmän kuljetuskapasiteetti on pienempi kuin vertailussa olevilla muilla kuljetusmuodoilla. (liite 4)

Puutavaran autokuljetuksen kustannukset koostuvat karkeasti kahdesta osasta. Puutavaran kiinteästä lähtökustannuksesta, joka tarkoittaa kuljetusta varten kuor- matun kiintokuution kustannusta. Toinen kustannus on kilometrikustannus, joka tarkoittaa yhden kiintokuution kustannusta kuljetettua kilometriä kohden. (Korho- nen 2019c)

Kustannuksiltaan rekkakuljetus on vertailussa olleista kuljetusmuodoista kallein. Kuitenkin rekkakuljetus on nopein tapa kuljettaa pienempiä puueriä suoraan met- sääautotieltä käyttökohteeseen. (liite 4)

Autokuljetuksen päästöt yhtä kilometriä kohden olivat muihin kuljetusmuotoihin verrattuna kaikista suurimmat. Hiilidioksidipäästöt yhtä tonnia kohden kilometrin matkalla oli 30,5 g. Hiilidioksidipäästöt yhtä kuutiota kohden kilometrin matkalla oli 26,7 g. (liite 4)

### 9.6.4 Vertailun yhteenveto

Kaikista vertailussa olleista kuljetusmuodoista suurin kuljetuskapasiteetti oli rau- tatiekuljetuksella, joka oli 1 572 t. Kaikista nopein kuljetusmuoto oli rekkakuljetus,

jonka keskinopeus oli 64,2 km/h. Kaikkein edullisin tapa kuljettaa puuta oli proomukuljetus, jonka yhden kuljetetun tonnin kuljetus kilometrin matkalla maksoi 1,66 snt. Kaikkein ympäristöystävällisin kuljetusmuoto oli junakuljetus, jonka päästöt olivat kilometrin matkalla kuljetettua tonnia kohden 8,9 g hiilidioksidia. (liite 4.)

Vertailuun ei otettu mukaan puunuittoa puutteellisten tietojen ja liian suuren työmäärän takia. Kuitenkin uitto on kaikkein edullisin ja tehokkain tapa kuljettaa suuria puumääriä kerralla pitkällä matkalla. Uitossa ei tarvita erillistä kuljetusalustaa puun kuljettamiseen, vaan puut uitetaan vesiväylää pitkin niputettuina lauttoina vetoaluksen vetämänä. Uittolauttaan kytketään yleensä noin 20 000 m<sup>3</sup> puuta. Uittolautan kuljettaminen on kuitenkin hidasta, noin 2 km/h. (Korhonen, E 2019c)

## **10 Pohdinta**

### **10.1 Opinnäytetyön toteutus ja luotettavuus**

Opinnäytetyön aihe oli laaja ja vähän käsitelty opinnäytetyöntekijöiden koulutusohjelmassa. Aiheen ollessa kohtalaisen vieras opinnäytetyöntekijöille se vaati aiheeseen syventymistä ennen varsinaista opinnäytetyöprosessia. Opinnäytetyöprosessin aikana uutta tietoa saatiin jatkuvasti, mikä muutti laskenta, ja toimintatapoja.

Opinnäytetyöntekijät saivat toteutettua vain kolme haastattelua alusyrittäjille johdun opinnäytetyön tekemisen ajankohdasta. Alusyrittäjillä oli sesonkikausi, joten suurimmalla osalla yrityksistä, joihin otettiin yhteyttä ei ollut aikaa osallistua haastatteluihin. Laadullisessa tutkimuksessa kerätty aineisto käydään tarkasti läpi, joten suurelle otosmäärälle ei ole tarvetta. Tulosta ei voida kuitenkaan yleistää Piellisojen pääväylän ulkopuolisille vesiväylille ja kaikkiin alueella toimiviin aluskuljetusyrityksiin.

### 10.1.1 Kustannuslaskenta

Alusyhdistelmien kustannuslaskenta oli haasteellinen toteuttaa, sillä haastatteluissa osa selvinneistä tiedoista oli likimääräisiä tai tietoja haluttiin suojella yritysalaisuuden säilyttämiseksi. Opinnäytetyöntekijät määrittivät epätarkat luvut keskiarvojen perusteella. Lukuarvoja, joita jouduttiin määrittämään, olivat esimerkiksi alusten kulkunopeudet, polttoaineen kulutukset, työntekijöiden palkat ja kunnossapitokustannukset.

Alusten kulkunopeudet saatiin selville haastatteluista, ja että täydellä lastilla alusten kulkunopeus pienenee. Kulkusuunta ja vuodenaajat vaikuttivat myös aluksen kulkunopeuteen. Nopeudet ilmoitettiin solmuissa, joten ne muutettiin kilometreiksi tunnissa laskennan helpottamista varten.

Polttoaineenkulutus oli melko yksinkertainen laskea, mutta sulutuksen huomioiminen tuotti haasteita. Osa alusyhdistelmistä eivät mahtuneet Kuurnan ja Kaltimon sulkuihin kokonaisina, joten proomu ja työntöalus jouduttiin suluttamaan erikseen. Vedenkorkeus ja sulun täyttö- ja tyhjennysnopeus vaikuttavat sulutuksen nopeuteen (Rautiainen 2019).

Henkilöstön palkat laskettiin Merimiesunionin työehtosopimuksen ja haastatteluista selville saatujen tietojen keskiarvona. Opinnäytetyön tekijöiden laskemat keskiarvoiset palkat ovat suuntaa-antavia, joten niitä ei voida yleistää koko Suomen aluskuljettajien palkkoihin. Päälystön ja miehistön palkat eroavat toisistaan merkittävästi. Todellisuudessa henkilöstön peruspalkan lisäksi työntekijä saa suuren määrän erilaisia etuuksia, johtuen työn vuoroluonteisuudesta ja pitkistä työjaksoista. Henkilöstön palkat vaihtelevat työtehtävän mukaan, mutta opinnäytetyössä käytettiin samoja palkka-arvoja päälystölle ja miehistölle jäsenille. Henkilöstöllä oli jokaisena vuoden kuukautena sama palkkamäärä riippumatta työn jaksoluonteisuudesta.

Alusyhdistelmien vuotuiset menopaluumatkat laskettiin matka-ajan ja purjehduskauden sisältämien viikkojen mukaan. Kustannuslaskennassa oli otettu huomioon lastaukseen, purkamiseen ja sulutukseen kuluvat keskimääräiset ajat, mutta

nämä ajat saattavat vaihdella esimerkiksi puutavarasta, työntekijöiden kokemuksesta, vuodenajasta ja liikenteen määrästä riippuen.

Korjaus- ja huoltokulut olivat yksi tärkeimmistä kulueristä yritysten kustannusrakenteessa, joten yritykset halusivat suojella yrityssalaisuuksiaan. Kunnossapitokulut vaihtelevat vuosittain paljon, joten niiden laskeminen kustannusrakenteeseen yhdelle matkalle oli haasteellista. Todellisuudessa joinakin vuosina huoltokulujen osuus voi olla suurempi osa kustannusrakennetta kuin toisina. Esimerkiksi joinakin vuonna joudutaan vaihtamaan pelkästään moottoriöljyt ja niiden suodattimet, kun taas toisina tekemään isompi moottoriremontti (Rautiainen 2019).

### 10.1.2 Optimointi

Alun perin optimoinnissa oli tarkoitus käyttää monitavoiteoptimointia, mutta opinäytetyöntekijät totesivat sen mahdottomaksi toteuttaa. Monitavoiteoptimoinnissa tavoitefunktion arvolle voidaan asettaa tietyt raja-arvot, joiden sisään optimoinnin tulos asettuu. Useita tavoitteita ei siis voida asettaa. Monitavoiteoptimoinnin etuna olisi ollut se, että tiettyä arvoa ei olisi tarvinnut erikseen säätää. Tällöin optimointia ei olisi tarvinnut toteuttaa useaan kertaan.

Alusyhdistelmien lineaarisessa optimoinnissa kaikki arvot paitsi kuljetettavan puun kokonaismäärä pysyivät samana. Kuljetettavaa puumäärää säädettiin optimaalisella alusyhdistelmällä siten, että kaikki aluksen menopaluumatkat tuli käytettyä. Puumäärän säätäminen vaati usean optimoinnin suorittamista useaan kertaan. Optimoinnin tulos oli lähes sama kuin kustannuslaskennassa, joten opinäytetyöntekijät totesivat sen onnistuneen hyvin.

## 10.2 Nykyisen kaluston soveltuvuus

Opinnäytetyöntekijät havaitsivat, että tämänhetkinen aluskalusto on ikääntynyttä. Nuorin alus on valmistunut vuonna 1988 ja vanhin alus vuonna 1966. Alusten vanhuudesta takia, ne vaativat paljon huolto- ja korjaustoimenpiteitä. Tämänhetkinen kalusto on täysin toimintakykyistä, mutta niiden suorituskyvyssä olisi paljon parantamisen varaa. Haastatteluissa ei kysytty alusten kehittämisestä, mutta mahdollisuus uusista aluksista tuli esille. Osa haastateltavista kertoi omia näkemyksiään, millainen yhdistelmä olisi täydellinen Pielisjoelle ja miten se saataisiin hankittua.

Yksi haastateltava kertoi, että kaikista paras aluskokonaisuus Pielisjoelle olisi sellainen, joka mahtuisi kokonaisena Kuurnan ja Kaltimon sulkuihin maksimilastissaan. Tällainen alusratkaisu mahdollistaisi suurten puumäärien kuljetuksen vesiteitse. Haastateltava kertoi, että uusien aluskokonaisuuksien rakennuttaminen tai olemassa olevien alusten muokkaaminen olisi todella suuri investointi kuljetusyritykselle. Suuri investointi on yritykselle suuri riski, koska yritys joutuu ottamaan lainaa investointia varten. Lainan saaminen edellyttää maksuvarmuutta, eli yrityksellä tulisi olla varma tulonlähde lainan takaisin maksamiseksi. Tällä hetkellä metsäorganisaatiot antavat lyhytaikaisia kuljetussopimuksia. Tulovarmuutta lainan saamiseksi on vaikea vakuuttaa lainanantajalle, joten kaluston uusiminen on vaikeaa. Pidempi aikaiset kuljetussopimukset mahdollistaisivat lainan saamisen ja investoimisen uudempaan kalustoon.

Toinen haastateltavista kuvaili parhainta mahdollista aluskokonaisuutta: ”Luulen, että kaikkein paras ratkaisu olisi jonkinlainen moottoriprooomuratkaisu. Se olisi matala syväksinen rahtilaiva, eli sellainen proomuun rakennettu ympäripyörivillä potkureilla ja tehokkailla keulapotkureilla.” Haastateltava kertoi, että vesitiekuljetuksissa on aina epävarmuus kuljetussopimuksen jatkumisesta ja kuljetettavasta puumäärästä. Vesitiekuljetuksiin aloitettaisiin investoimaan, mikäli sopimuksia pidennettäisiin ja kuljetettava puumäärä osuus kasvaisi.



### 10.3 Kehitysideoita alusyhdistelmiin

Opinnäytetyöntekijät pohtivat hypoteettisia kehitysideoita alusyhdistelmien parantamiseksi. Kehitysideat ovat täysin kuvitteellisia ja niillä ei ole mitään laskennallista tai totuudenperäistä tietoperustaa. Kehitysideat koskevat alusyryityksiä, sillä ne koskevat kuljetuskalustoon tehtäviä muutoksia ja uudistuksia.

Yksi suurimmista kulueristä puun aluskuljetuksessa on palkkakulut. Opinnäytetyöntekijät pohtivat, olisiko mahdollista korvata osa työntekijöistä automatiikan avulla. Automatiikkaa hyödynnetään jo kulkuneuvoissa ja sen tuominen aluskuljetukseen on vain tekniikan sovittamisesta kiinni. Toisin kuin autoliikenteessä, vesitiekuljetuksessa ei ole yhtä paljon mahdollisia vaaratilanteita, jotka voisivat aiheuttaa ulkopuolisista tekijöistä. Mikäli automatiikan lisäksi ohjaukseen saataisiin ohjelmoitua erilaisia vaarasimulaatioita, pystyisi tekoäly ennakoimaan vaaraa aiheuttavat tekijät ja toimimaan sen mukaan. Automatiikan avulla pystytään myös seuraamaan ennalta suunniteltua kulkureittiä ja pysymään simuloitujen rajalinjojen sisällä. Lisäksi lastaus ja purku voitaisiin automatisoida jollekin asteelle.

Tällä hetkellä suurin osa aluksista käyttää voimanlähteenään diesel- käyttöisiä polttomoottoreita. Opinnäytetyön tekijät pohtivat, olisiko mahdollista korvata nykyisin käytössä oleva polttoaine ympäristöystävällisemmällä polttoaineella. Mahdollisia polttoaineratkaisuja voisivat olla esimerkiksi etanoli tai biokaasu. Etanolia saadaan tuotettua kasvipohjaisista raaka-aineista ja biokaasua voidaan myös tuottaa uusiutuvasti biomassasta. Myös muita energianlähteitä käyttävät moottorit ovat potentiaalisia vaihtoehtoja korvaamaan diesel- polttomoottorin.

Aluskuljetuksessa proomu saa sähkönsä työntöalukselta, mutta proomulla voi olla oma polttomoottori, jonka avulla käytetään esimerkiksi keulapotkuria ja hydraulikalla toimivia nostureita. Opinnäytetyön tekijät ideoivat, olisiko mahdollista siirtää hydraulipumput työntöalukseen, jolloin työntöalus toimisi koko yhdistelmän voimanlähteenä. Proomussa olevaa keulapotkuria voitaisiin käyttää sähkömoottorilla, joka saisi käyttövoimansa työntöaluksesta. Proomuun vapautuisi tilaa, joka voitaisiin käyttää kuljetuskapasiteetin hyväksi.

Puumarkkinoiden kehittyessä investointeja uusiin alusyhdistelmiin pystyttäisiin tekemään. Tarvittaessa alusratkaisuja voitaisiin etsiä muualtakin kuin Suomesta. Esimerkiksi keski-Euroopasta saattaisi löytyä potentiaalisia ratkaisuja, jotka soveltuisivat jokikuljetuksiin.

#### **10.4 Pielisjoen kulkuväylän soveltuvuus**

Haastatellut yritysten yhteyshenkilöt kertoivat Pielisjoen toimintaympäristön haasteista. Suurimpana haasteena on virtaaman runsas vaihtelu. Kevät ja alkukesä on haastavaa aikaa kuljettaa puuta etenkin alavirtaan kuljettaessa, sillä virtaukset ovat voimakkaat sulamisvesien ja juoksutuksen takia. Voimakkaan virtauksen takia alusyhdistelmän hallinta on vaikeaa, mutta sen vaikutusta voidaan vähentää tehokkailla proomun keulapotkureilla. Loppukesällä ja syksyllä virtausvoimakkuus on vähentynyt ja veden korkeus on laskenut, jolloin yhdistelmän syväystä joudutaan pienentämään vähentämällä kuorman kokoa. Syventämällä pääväylää ja parantamalla sulkua suuremmatkin alukset pystyisivät kulkemaan väylällä. Tällä hetkellä Pielisjoelle soveltuvan kaluston määrä on melko vähäinen kulkuväylän syvyyden takia (2,4 m).

Syksyiset keliolosuhteet ovat toimintaympäristön ongelma. Pimeys, sumu ja voimakas tuuli vaikeuttavat kulkemista ja navigointia alueella. Pimeyden ja sumun vaikutusta voidaan vähentää tehokkaalla valaistuksella ja tuulien vaikutusta tehokkailla aluksen hallintaa helpottavilla tekijöillä, samoin kuin kovissa virtauksissa. Sankkojen sumujen takia kulkeminen joudutaan keskeyttämään heikon näkyvyyden vuoksi.

Talvikauden esteenä on Pielisjoen jäätyminen. Pakkaantunut lumi ja jää estävät avattavien siltojen nostamisen ja kanavien sulkujen käytön. Siltojen ja kanavien toiminta-aikaa voitaisiin pidentää erilaisten toimintavarmuutta lisäävien ratkaisujen avulla. Esimerkiksi siltojen sulana pitäminen lämmityksen avulla ja veden liikkeellä pitäminen kanavissa pidentäisi kuljetuskautta. Jään murtaminen Pielisjoella ei ole toistaiseksi puunkuljettajalle kannattavaa, sillä siitä saatavat hyödyt ovat pienemmät kuin siihen kuluvat resurssit (Rantanen 2019).

## 10.5 Kulkuväylä ja sen kehittäminen

Opinnäytetyöntekijät pohtivat hypoteettisia kehitysideoita Pielisjoen pääväylän ja sen infrastruktuurin parantamiseksi. Kehitysideat ovat kuvitteellisia ja niillä ei ole laskennallista tai totuudenperäistä tietoperustaa. Kehitysideat koskisivat valtiotason toimijoita niiden toimintaympäristöön vaikuttavien muutosten takia.

Ensimmäinen mahdollinen kehitysidea on puunottoaikkujen lisääminen Pieliselle ja Pielisjoelle. Lastauspaikkojen lisääminen vähentäisi autokuljetusten keskikuljetusmatkaa. Useammat lastauspaikat mahdollistaisivat puutavara-autojen ajamisen lähimpään varastopaikkaan, eikä yhteen suureen keskitettyyn terminaaliin. Tällä tavoin saataisiin siirrettyä kuljetussuoritetta autokuljetuksista vesitiekuljetuksiin ja näin ollen vähennettyä kustannuksia ja päästöjä.

Puunkuljetussesongin pituutta saataisiin jatkettua, mikäli talvikautena Pielisjoen pääväylän auki pidosta vastaisi jokin ulkopuolinen yritys. Tämän yrityksen tehtävänä olisi murtaa jäätä ja pitää pääväylä kulkukelpoisena puukuljetuksia varten. Tämä toisi kuitenkin puunkuljetusyrittäjälle lisäkustannuksia.

Tärkein kehityskohde Pielisjoella olisi kulkusyvyyden lisääminen. Pääväylän syvyys tulisi ensin kartoittaa tarkasti, esimerkiksi kaikuluotauksella. Tuloksena saataisiin tarkka malli pohjan muodosta, josta voitaisiin määrittää ongelmallisimmat kulkukohdat. Kulkuväylän syventäminen tapahtuisi ruoppaamalla ja läjittämällä. Pielisjoen syventäminen olisi miljoonien eurojen hanke.

## 10.6 Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuuden näkymät Pielisjoen aluskuljetuksen kannalta riippuvat suoraan vuotuisista hakkuumääristä Pielisen alueella. Hakkuumäärien noustessa Pielisjoen aluskuljetuslogistiikkaan tulisi panostaa, jotta käyttökohteisiin saataisiin kuljetettua puuraaka-ainetta tehokkaasti. Suuret kuljetettavat puumäärät työllistäisivät alueen aluskuljetusyrittäjiä enemmän, jolloin yritykset olisivat kykeneviä

investoimaan uuteen kalustoon. Uuden kaluston rakentaminen tai vanhan päivittäminen vaatisi uusien teknologioiden käyttöönottoa, joka parantaisi kuljetustehokkuutta ja vähentäisi kustannuksia.

Puulogistiikan kehittyessä myös Pielisjoen pääväylää joudutaan parantamaan ja kehittämään. Logistisen tarpeen noustessa joudutaan miettimään myös ympäristöllisiä ratkaisuja. Ilmastonmuutoksen yksi suurimmista aiheuttajista on logistikasta aiheutuvat päästöt. Vähäpäästöisempiä kuljetusratkaisuja tulee suosia, esimerkiksi kiristämällä saastuttavien kuljetusmuotojen verotusta.

Vesitiekuljetuksen ympäristöystävällisyyden kehittämiseen voitaisiin panostaa valtio ja yritystasolla. Tämä vaatisi monien eri tahojen yhteistyötä ja kommunikointia, jotta kaikista halvin kuljetusmuoto olisi myös tehokkain ja ympäristöystävällisin.

## **10.7 Kiitokset**

Kiitämme Finterpuu Oy:n edustajaa Markku Rautiaista, MOPRO Oy:n edustajaa Timo Rantasta ja Pielis-Laivat Oy:n edustajaa Pekka Ryttyläistä osallistumisesta haastatteluihin ja avokätisestä avunannosta työtä varten. Lisäksi haluamme kiittää myös toimeksiantajaamme UPM Kymmene Oyj:n edustajaa Esa Korhosta ja Saimaan Satamat Oy:n Janne Korhosta ja Jari Räsästä.

Haluamme myös kiittää opiskelijatoveriamme Joonas Kasperia opinnäytetyöprosessin tukemisesta ja raportin oikolukemisesta. Kiitokset myös Kalle Nordlingille avusta lineaarisen optimoinnin rakentamisessa.

## Lähteet

- Enonsuu, T., Honkanen, P. & Pöhlö, E. 1995. Suomen veturit osa 2. Moottorikalusto. Elokuvan maailma.
- Gertsch, M. 2012. Vuoksen vesistö levittyy laajalle. Yleisradio Oy. <https://yle.fi/uutiset/3-6371034>. 27.2.2019.
- Hamunen, H. 2016. Uitto kannattaa, kun matka on pitkä ja puuta on paljon. Viesti-lehdet Oy. <https://www.aarrelehti.fi/jutut/uitto-kannattaa-kun-matka-on-pitk%C3%A4-ja-puuta-paljon-1.168011>. 1.3.2019.
- Heikkilä, T. 2004. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita
- likkanen, P & Sirkiä, A. 2011. Rataverkon raakapuun terminaali- ja kuormaus paikkaverkon kehittäminen. Liikennevirasto. Helsinki. <https://vayla.fi/documents/20473/158035/Rataverkon+raakapuuterminaali+ja+kuormauspaikkaverkon+kehitt%C3%A4minen/8663af9564a8-4e01-ac07-c3959a77a10c>. 27.2.2019.
- Joensuun laivaus. 2019. Palvelut. Huolinta ja varastointi. <https://www.joensuunlai-vaus.fi/palvelut>. 3.3.2019.
- Jyväskylän yliopisto. 2015. Luokittelu. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolku/menetelmapolku/aineiston-analyysimenetelmat/luokittelu>. 24.4.2019.
- Jyväskylän yliopisto. 2015. Vertaileva tutkimus. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolku/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/vertailevatutkimus>. 24.4.2019.
- Kainulainen, J. & Lindblad, J. 2005. Puutavaralajien tuoretiheyden alueellinen vaihtelu mittausasemien vastaanottomittauksessa. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp019.pdf>. 8.8.2019.
- Karttunen, K., Ranta, T., Jäppinen, E., Hämäläinen, E. & Vartiamäki, T. 2007. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetusmahdollisuudet. <https://docplayer.fi/33616902-Metsapolttoaineiden-vesitiekuljetusmahdollisuudet.html>. 6.2.2019.
- Korhonen, E. 2019a. Logistiikkapäällikkö. UPM-Kymmene Oy. Suullinen tiedonanto 11.4.2019.
- Korhonen, E. 2019b. Pielisen satamat. aaro.kujala@edu.karelia.fi. 16.4.2019.
- Korhonen, E. 2019c. Logistiikkapäällikkö. UPM-Kymmene Oy. Puhelinkeskustelu 7.8.2019.
- Korhonen, J. 2019. Toimitusjohtaja. Saimaan Satamat Oy. Suullinen tiedonanto. 11.4.2019.
- Liikennevirasto. 2011. Väylien kulkusyvyyskäytännön periaatteet ja soveltaminen. Helsinki. [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Kulkusyvyyskaytanto\\_fi.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Kulkusyvyyskaytanto_fi.pdf). 20.3.2019
- Liikennevirasto. 2013a. Merikarttasarja R. Joensuu – Nurmes. Karttakeskus.
- Liikennevirasto. 2013b. Suomen tärkeimmät vesitiet. [https://vayla.fi/documents/20473/23434/suomen\\_tarkeimmat\\_vesitiet.pdf/ddeb9288-1e60-490f-8c1d-dc2e87ac2d7a](https://vayla.fi/documents/20473/23434/suomen_tarkeimmat_vesitiet.pdf/ddeb9288-1e60-490f-8c1d-dc2e87ac2d7a). 20.3.2019.
- Liikennevirasto. 2015. Suomen rautatietilasto 2015. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2015-06\\_suomen\\_rautatietilasto\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2015-06_suomen_rautatietilasto_web.pdf). 8.8.2019.
- Liikennevirasto, 2018. Joensuun kanava. <https://vayla.fi/vesivaylat/kanavat/joensuun-kanava#.XIDQmigzZPY>. 7.3.2019.

- Liikennevirasto. 2018. Kanavat ja sillat. <https://vayla.fi/vesivaylat/kanavat#.XK3FGXduKM->. 15.3.2019.
- Maanmittauslaitos. 2019. Paikkatietoikkuna. <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/#> 2.7.2019.
- Metsäalan ammattilehti. 2013. Neliakselisen vetoauton kantavuus ja kuormatila. <https://www.ammattilehti.fi/uutiset.html?a100=5500>. 9.8.2019
- Motiva. 2010. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominais päästökertoimet. <https://docplayer.fi/34668-Polttoaineiden-lampoarvot-hyotysuhteet-ja-hiilidioksidin-ominaispaastokertoimet.html>. 8.8.2019.
- Museovirasto. 2009. Pielisjoen kanavat. [http://www.rky.fi/read/asp/r\\_kohde\\_det.aspx?KOHDE\\_ID=1106](http://www.rky.fi/read/asp/r_kohde_det.aspx?KOHDE_ID=1106) . 13.2.2019.
- Mäkelä, O. 2012. Itä-Suomen kuljetuskohdeselvitys. ELY-keskus. [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/76715/Raportteja\\_25\\_2012.pdf?sequence=5&isAllowed=y](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/76715/Raportteja_25_2012.pdf?sequence=5&isAllowed=y). 8.8.2019.
- Nieminen, J. & Linjama, T. 2012. Pielisjoen lyhytaikaissaätölaskenta- tulokset. Oy Vesirakentaja, Pohjois-Karjalan ELY-keskus. <https://docplayer.fi/55841856-Pielisjoen-lyhytaikaissaatolaskenta-tulokset-oy-vesirakentaja-jukka-nieminen-pohjois-karjalan-ely-keskus-teppo-linjama.html>. 7.3.2019.
- Nurmeksen kaupunkirakennepalvelut. 2018. Satamamaksutaksat. <http://webdynas-ty.pohjoiskarjala.net/Dynasty/Nurmes/kokous/20181993-3-1.PDF>. 3.5.2019.
- Nissi, I., Salminen J. 1983. Moottoriproomujen käyttömahdollisuudet kokopuu hakkeen kuljetuksessa. Painovalmiste. Helsinki. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1983\\_11.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/katsaus-1983_11.pdf). 9.3.2019.
- Pohjois- Karjalan maakuntaliitto. Saimaan syväväylä. <http://www.pohjoiskarjala.fi/documents/33565/34589/Saimaan%20syv%C3%A4v%C3%A4yl%C3%A4.pdf/66f3d98d-c18d-4696-b895-ca18ee87d0f7>. 15.3.2019.
- Ramboll. 2014. Sirkkalan silta. <https://fi.ramboll.com/projektit/rfi/sirkkalan-silta>. 5.3.2019.
- Rantala, J., Isola, R. & Huhta, R. 2019. Pielisen altaan sisävesiliikenneselvitys. <https://www.pohjoiskarjala.fi/documents/33565/34589/Pielisen+altaan+sisavesiliikenneselvitys.pdf/ba3e209a-f7d4-58dc-5814-29b2a2bee95b>. 3.5.2019.
- Rantanen, T. 2019. Operatiivinen johtaja. Puhelinhaastattelu. 18.6.2019.
- Rautiainen, M. 2019. Parkko- aluksen päällikkö. Suullinen tiedoksianto. 25.6.2019.
- Ryttyläinen, P. 2019. Jermac- aluksen päällikkö. Kirjallinen tiedoksianto. 17.7.2019.
- Saaranen, Kauppinen & Puusniekka. Menetelmäopetuksen tietovaranto. [https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L7\\_2\\_1.html](https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/kvali/L7_2_1.html). 21.4.2019.
- Saimaan satamat. Joensuun kanavat ja sillat. <http://www.saimaansatamat.fi/kanavat-ja-sillat>. 5.3.2019.
- Saimaan satamat. 2018. Joensuun sataman palveluhinnasto. <https://www.saimaan-satamat.fi/docu>

- ments/392415/0/PALVELUHINNASTO+2019.pdf/e98394a6-52b8-f212-4d7b-d107ac9c8523. 4.5.2019.
- Sarkkinen, P. Rekonen, T. & Koivupuro, S. 2007. Suomen sisävesiväylät. Helsinki. Multikustannus
- Sikanen, A., Oinas, S. & Harstela, P. 1998. Operaatioanalyysin menetelmät ja puunhankinnan sovellukset. Joensuun yliopistopaino. Joensuu.
- Sikiö, T. & Salanne, I. 2008. Saimaan sisävesiliikenteen kehittämisselvitys. Me-renkululaitos. Helsinki. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf5/mkl\\_2008-6\\_saimaan\\_sisavesiliikenteen.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf5/mkl_2008-6_saimaan_sisavesiliikenteen.pdf). 19.3.2019.
- Silta, S. 2019. Asiantuntija. Merimiesunioni. Puhelinkeskustelu 27.6.2019.
- Sipakko, M. 2016. Mitä on heuristinen analyysi? Worldpress.com. <https://ryhma6blog.wordpress.com/2016/10/11/mita-on-heuristinen-analyysi/> 25.4.2019.
- Sorsa, J. 2013. Raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuudet Pielisellä. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55395/Sorsa\\_Joonas.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55395/Sorsa_Joonas.pdf?sequence=1). 3.5.2019.
- Strandström, M. 2017. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2016. Metsäteho. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2018\\_08a\\_Puunkorjuu\\_ja\\_kaukokuljetus\\_vuonna\\_2017.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2018_08a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2017.pdf). 28.2.2019.
- Teboil. 2019. Hintalaskuri. <https://tilaus.teboil.fi/cgi-bin/nph-cgi/~TuMs00006be1/>. 27.8.2019.
- Valtion ympäristöhallinto. 2019. Virtaamaennuste Pielisjoki, Kaltimo. <http://www.i2.ymparisto.fi/i2/04/q0403350y/qinsanafi.html>. 26.3.2019.
- Vesajoki, H. & Pihlatie, M. 2011. Pielisjoki -Elämän virta. Luontokuva M. Pihlatie.
- VR-yhtymä Oy. 2019. Raakapuuvaunut - Snpss, Snps. <https://www.vrtranspoint.fi/fi/vr-transpoint/asiakkaan-opas/kalusto/rautatiekalusto/kotimaan-liikenteen-vaunut/avovaukut/raakapuuvaunu/raakapuuvaunut---snpss-snps/>. 8.8.2019.

**Pielisjoen puunkuljetuksen kehittäminen**

**Teemahaastattelurunko**

Esittäytyminen

Opinnäytetyön tarkoituksesta kertominen

Kysymykset:

1. Mitä aluksia ja mitä proomuja yrityksellä on käytössä? Miten vanhaa kalusto on?
2. Mitkä ovat aluksen/alusten fyysiset mitat? Syväys, leveys, pituus, korkeus?
3. Mikä on aluksen/alusten puunkuljetuskapasiteetti? m<sup>3</sup> / tonnia. Paljon on yrityksenne vuosittainen puun kuljetusmäärä?
4. Mikä on aluksen/alusten keskiluljetusmatka ja keskinopeus (km/h)?
5. Mikä on aluksen/alusten keskikulutus, mitä polttoainetta?
6. Mitkä ovat aluksen/alusten ylläpitokulut vuodessa?
  - Huolto ja korjaus
  - Vakuutusmaksut
  - Seisontakulut
7. Kuinka paljon on aluksen/alusten vuosipoisto?



8. Mitä muita kuluja kertyy vuodessa? Kuuluuko aluksen kust. rakentamiseen?
- Henkilöstökulut
  - Työvälinekulut
  - Lupamaksut
  - Satamamaksut
9. Näetkö vesitiekuljetuksen potentiaalisena vaihtoehtona muihin kuljetusmuotoihin verrattuna nyt ja tulevaisuudessa? Miksi?
10. Mikä on puunkuljetussesongin pituus Pielisjoella? Vaatiiko eri vuodenaajat erilaisia kalustoratkaisuja?
11. Mitä poikkeustilanteita voi tulla aluskuljetuksessa?
- Säämuuttujat
  - Olosuhdevaihtelut
  - Lainsäädäntö?
12. Millaisia uusia aluksia olisi mahdollista hankkia, jotka tehostaisivat puun kuljetusta? Mitä sellaiset kustantaisivat?
13. Millä muilla yrityksillä on Pielisjoelle soveltuvaa kalustoa?

PIELISJOELLE SOVELTUVA KALUSTO											
ALUKSET	V.MALLI	OMISTAJA	PITUUS, m	LEVEYS, m	KORKEUS VEDENPINNASTA, m	SYVÄYS, m	NOPEUS, kn (kuorma)	KULUTUS l/h	KAPASITEETTI, m3	KAPASITEETTI, t	NET.REK.TON.
Jermac	1970	PIELISLAIVAT OY	25,7	7,5	x	3,00	7,0	100,0	x	x	43,0
Parkko	1966	FINTERPUU OY	22,4	6,6	7,5	2,80	6,0	110,0	x	x	30,0
Tyrsky	1979	MOPRO OY	30,6	8,2	11,0	3,20	6,0	160,0	x	x	71,0
Circo	1978	PIELISLAIVAT OY	25,7	7,5	x	3,20	7,0	120,0	x	x	x
<b>PROOMU</b>											
Sampo	1988	FINTERPUU OY	77,0	11,0	2,6	2,65	6,0	x	1730,0	1600,0	316,0
Annuska	1968	PIELISLAIVAT	58,1	12,2	3,6	3,00	7,0	x	1950,0	1500,0	513,0
Väinämöinen	1970	MOPRO OY	60,9	9,1	3,0	2,70	6,0	x	998,0	1100,0	254,0
Aleksi	x	PIELISLAIVAT OY	76,5	11,4	x	3,20	7,0	x	x	2300,0	x
Kuutar	1970	MOPRO OY	60,8	9,1	3,0	2,70	6,0	x	998,0	1100,0	254,0
Vorokki	1979	MOPRO OY	76,5	11,3	4,1	3,87	7,0	x	2640,0	2600,0	720,0



Joensuun syväsatama. Lähde: Saimaan satamat 2019

**Kuljetusmuotojen ominaisuudet**

Liite 4 1 (1)

**Kuljetusmuotojen ominaisuudet**

**LIITE SENSUROITU TOIMEKSIANTAJAN PYYNNÖSTÄ**