

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Joonas Sorsa

RAAKAPUUN ALUSKULJETUKSEN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET
PIELISELLÄ

Opinnäytetyö
Helmikuu 2013



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2013
Metsätalouden koulutusohjelma

Sirkkalantie 12 A
80100 JOENSUU
p. (013) 260 6900

Tekijä(t)
Joonas Sorsa

Nimeke
Raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuudet Pielisellä

Toimeksiantaja
Metsähallitus

Tiivistelmä

Raakapuun kaukokuljetuksen kustannukset ovat kohonneet jatkuvasti, ja uittoon soveltumattoman ensiharvennuspuun kuljettaminen vesiteitse aluksella voi olla rautatiekuljetusta edullisempaa. Metsähallituksella on paljon metsää Pielisen ympäristössä, ja aluskuljetuksesta on saatu aikaisemmin hyviä kokemuksia lisälmen laivareitillä.

Opinnäytetyössä tutkittiin Pielisen asettamia haasteita ja toisaalta mahdollisuuksia säännöllisille raakapuun aluskuljetuksille. Koska tutkimuksen tavoitteena oli sekä tiedon lisääminen että kehitysideoiden esittäminen, käytettiin tutkimuksessa laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Aineistoa hankittiin paljon teemahaastatteluilla, lisäksi aluskuljetusta seurattiin paikan päältä. Erilaisia aluskuljetuksen toimintamalleja simuloitiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa.

Pielisellä suurimmat haasteet ovat laivaväylän mataluus ja vedenkorkeuden suuret vaihtelut. Nykyisellä kuljetuskalustolla Pieliseltä voidaan kuljettaa parhaimmillaan noin 2 000 m³:n kuormia ongelmitta. Aluskuljetuksen hiilijalanjälki on pieni verrattuna puutavara-autoon ja dieselveturilla tapahtuvaan rautatiekuljetukseen. Ajallisesti aluskuljetus Pieliseltä on noin 10 tuntia hitaampi kuin rautatiekuljetus. Simulointitutkimuksen perusteella aluskuljetus on kuitenkin jo nyt kustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto. Kustannustehokuutta on vielä mahdollista parantaa. Tulosten pohjalta voidaan toteuttaa uusia kuljetuskokeiluja sekä lisäselvityksiä niin Pielisellä kuin muillakin laivareiteillä.

Kieli
suomi

Sivuja 76
Liitteet 3
Liitesivumäärä 4

Asiasanat
aluskuljetus, proomu, raakapuu, Pielinen



THESIS
February 2013
Degree Programme in Forestry

Sirkkalantie 12 A
80100 JOENSUU
Tel. 358-13-260 6900

Author(s)
Joonas Sorsa

Title
Vessel Transportation Possibilities for Roundwood on Pielinen

Commissioned by
Metsähallitus

Abstract

The costs of long distance transportation of roundwood have risen constantly. Vessel transportation of wood from first thinnings unsuitable for timber rafting can be cheaper than railway transportation. Metsähallitus has a lot of forests around lake Pielinen, and Metsähallitus has got positive experiences from vessel transportation on the Iisalmi waterway earlier.

This thesis studied challenges and possibilities of regular roundwood vessel transportation on Pielinen. Since the goal of the thesis was to increase knowledge and introduce development ideas, the study included qualitative and quantitative research methods. A big part of the material was collected with theme interviews, but vessel transportation was also monitored on the spot. Different operational models of vessel transportation were simulated in co-operation with the Finnish Forest Research Institute.

The biggest challenges on Pielinen are the shallow waterway and big variations in water level. With current transportation equipment, about 2 000 m³ loads can be transported from Pielinen without problems. The carbon footprint of vessel transportation is small compared to truck and railway transportation with diesel locomotive. The duration of vessel transportation is about 10 hours longer than railway transportation. On the basis of the simulation research, vessel transportation is already a competitive alternative by its costs. Cost-effectiveness can still be improved. By the results of the thesis, new transportation experiments and supplementary research can be carried out on Pielinen and on other waterways.

Language
Finnish

Pages 76
Appendices 3
Pages of Appendices 4

Keywords
vessel transportation, barge, roundwood, Pielinen

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
2	Raakapuun kaukokuljetus	7
3	Vesitiekuljetuksen historia Pielisellä	9
4	Aluskuljetus	10
4.1	Työntöalus	11
4.2	Proomu	12
5	Pielisjärvi ja Pielisjoki toimintaympäristönä	15
5.1	Syvyys	15
5.2	Mutkaisuus ja virtaama	16
5.3	Sillat ja kanavat	17
5.4	Uiton pudotuspaikat	19
5.5	Satamat	19
6	Opinnäytetyön toimeksiantaja ja sidosryhmät	21
6.1	Metsähallitus	21
6.2	Fin-Terpuu Oy	21
6.3	Järvi-Suomen uittoyhdistys	22
6.4	Metsäntutkimuslaitos	23
7	Tutkimuksen tavoitteet	23
8	Tutkimuksen toteutus	24
8.1	Tutkimusmenetelmät	24
8.2	Analyysimenetelmät	26
8.3	Aineiston hankinta	27
9	Tulokset ja päätelmät	30
9.1	Aluskuljetuskaluston valinta Pieliselle	30
9.1.1	Parkko-hinaaja	33
9.1.2	Sampo-proomu	34
9.2	Pielisen aluskuljetusten puunhankinta ja varastointi	35
9.3	Alusten ja proomujen lastaus	37
9.4	Aluskuljetus Pielisellä	40
9.4.1	Kuljetuskokeilu	40
9.4.2	Aluskuljetuksen haasteet ja mahdolliset ongelmat	45
9.5	Pielisen aluskuljetuksen vertailu muihin kuljetuksiin	48
9.5.1	Iisalmen aluskuljetus	48
9.5.2	Rautatiekuljetus	49
9.5.3	Uitto	50
9.6	Kasvihuonekaasupäästöt	51
9.7	Ideaali alus- ja proomukalusto Pieliselle	54
9.8	Aluskuljetuksen simulointi	55
9.8.1	Simulointiskenaariot	57
9.8.2	Kuljetusmäärät	58
9.8.3	Yksikkökustannukset	59
9.8.4	Lastausmenetelmien simulointi	63
9.8.5	Reittivertailu	65
9.9	Aluskuljetuksen hyödyt	68
10	Pohdinta	70
	Lähteet	73

Liitteet

- Liite 1 Aluskuljetuksen lastauspaikat Vuoksen vesistöllä ja rautatieverkoston kuormauspaikat
- Liite 2 Pielisen vesistöalueen kartta
- Liite 3 Aluskuljetuksen simuloinneissa käytetyt parametrit ja satunnaismuuttajat

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuuksia Pielisen alueelta Etelä-Saimaan sellutehtaille. Metsähallituksella on paljon metsää Pielisjärven ympärillä, ja huonosti uittoon sopivan tuoreen ensiharvennuspuun kuljettaminen aluksella vesiteitse voi olla nykyisiä rautatiekuljetuksia kannattavampaa. Metsähallituksen kesällä 2011 tekemissä kokeiluissa aluskuljetus lisäsalimesta Etelä-Saimaan tuotantolaitoksille todettiin kilpailukykyiseksi kuljetusvaihtoehdoksi. Käyttökokeiluja päätettiin jatkaa kesällä 2012 Pielisellä.

Pielisjoen mutkaisuus, paikoittainen mataluus ja kova virtaama voivat estää aluskuljetukset Pieliseltä Saimaalle. Pielisjärven vedenkorkeuden suuret vaihtelut saattavat myös vaikeuttaa aluskuljetuksia. Opinnäytetyössä selvitetiinkin onko säännöllisiä aluskuljetuksia mahdollista suorittaa Pielisellä ja minkälaisella kalustolla sekä toimintamallilla puutavaraa kannattaa kuljettaa.

Opinnäytetyössä selvitettiin Pielisjärven ja Pielisjoen aluskuljetuksia mahdollisesti rajoittavat väyläsyvyydet, sulut, virtaukset sekä mutkaisuus. Opinnäytetyössä kartoitettiin myös onko puutavaran varastoinnissa, lastauksessa, kuljetuksessa ja purkamisessa kehitettäviä kohteita. Aluskuljetukselle sopivat lastauspaikat ja niiden käyttömahdollisuudet selvitettiin.

Pielisen aluskuljetusta verrattiin opinnäytetyön tulososiossa rautatiekuljetukseen, uittoon, autokuljetukseen sekä lisälmen laivareitin aluskuljetuksiin. Vertailua tehtiin eri kuljetusmuotojen nopeuden, ominaispiirteiden ja kasvihuonekaasupäästöjen pohjalta. Tarkoituksena oli selvittää aluskuljetuksen tuomat hyödyt ja sen mahdolliset heikkoudet sekä tehdä esityksiä aluskuljetuksen kehittämiseksi. Opinnäytetyön tulosten perusteella toimeksiantaja arvioi kannattaako aluskuljetus ottaa vakituisesti kuljetusmenetelmäksi lisälmen laivareitin tapaan myös Pielisellä.

Tulososiossa tarkasteltiin myös aluskuljetusten simuloinnin tuloksia, jotka perustuvat Metsäntutkimuslaitoksen kanssa tehtyihin kartoituksiin. Simuloinnin avulla vertailtiin erilaisten toimintamallien mahdollisia vuotuisia kuljetettavia

puumääriä sekä kuljetuskustannuksia. Simulointitulosten perusteella tehtiin päätelmiä olisiko aluskuljetuskaluston lisääminen tai päivittäminen kannattavaa.

Opinnäytetyö liittyy Metsähallituksen ”Pienproomut käyttöön Pielisellä” -projektiin, joka on osa laajempaa ”Puuta perille tehokkaasti ja energiaa säästävää” -kantaprojektia.

2 Raakapuun kaukokuljetus

Puutavaran kaukokuljetus kuuluu kiinteänä osana puunhankintaan: tienvarsivaraan lähikuljetettu puutavara viedään kaukokuljetuksella määränpäähänsä tehtaalle, sahalle tai vaikka lämpölaitokselle. Kaukokuljetusmatkat ovat Suomessa pitkiä ja vuonna 2011 keskimääräinen kaukokuljetusmatka oli peräti 162 km (Strandström 2012, 31). Kuljetusmatkat ovat pidentyneet entisestään useiden sellutehtaiden sulkemisen myötä.

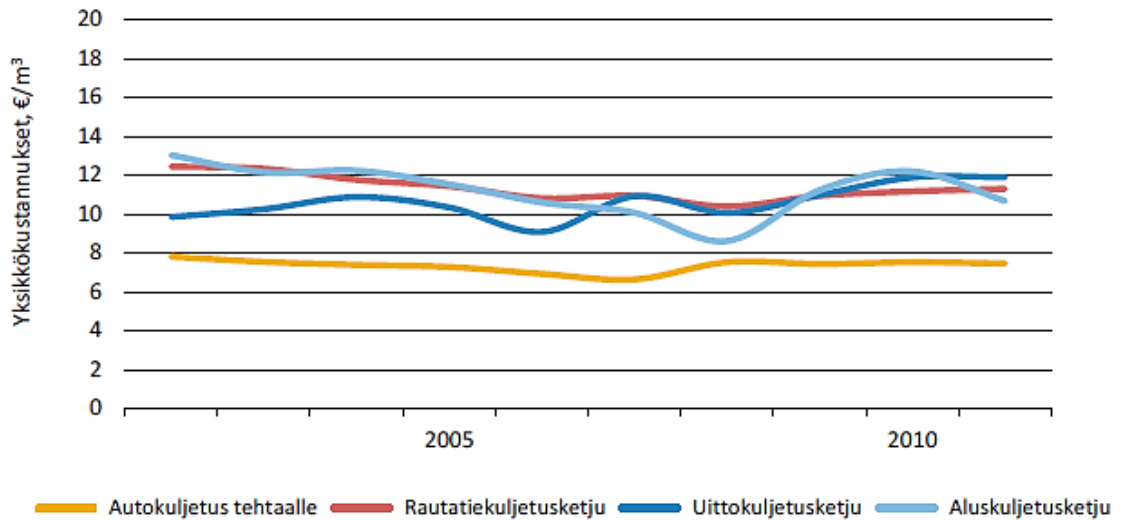
Kuljetusmuodoista uitto oli Suomessa aina 1960-luvulle asti tärkein puutavaran kaukokuljetuksen muoto. Metsätieverkon ja tekniikan kehittymisen myötä autokuljetus syrjäytti kuitenkin nopeasti uiton, ja uittomäärät romahtivat. Rautatiekuljetuksen osuus kaukokuljetuksissa on pysynyt viimeiset 50 vuotta lähes muuttumattomana. Nykyään Suomen raakapuun kaukokuljetuksista yli 75 prosenttia tehdään puutavara-autoilla. Rautatiekuljetukset muodostavat noin 21 % ja vesitiekuljetukset 3 % koko maan kaukokuljetuksista. Kaukokuljetusketju sisältää kuitenkin lähes poikkeuksetta ainakin vähän autokuljetusta, kun puutavara pitää kuljettaa tien varresta vähintään junan lastauspaikalle tai uittoon. (Strandström 2012, 14–31.)

Autokuljetus on lyhyemmällä, enintään reilun 100 kilometrin, matkoilla kannattavin kaukokuljetusmuoto nopeuden ja halpojen yksikkökustannusten vuoksi (Strandström 2012, 24–31). Puutavara-autolla saadaan kuljetettua kerralla noin 50 m³ puutavaraa (Uusitalo 2003, 107). Pidemmällä matkoilla ympäristöystävällisemmät juna- ja vesitiekuljetukset ovat kilpailukykyisiä suuren kuljetusvolyymin ansiosta: puutavaramäärät voivat olla kerralla kymmen- ja uittossa jopa satakertaisia verrattuna täysperävaunun tukkirekkaan.

Junakuljetuksessa käytetään yleensä 24 puutavaravaunun kokonaisuutta, jolla saadaan kuljetettua noin 1 500 m³ raakapuuta. Tällä hetkellä puutavarasta puolet lastataan junavaunuihin suoraan autosta ja puolet kuormausalueen välivarastosta. Itä-Suomen nykyiset 34 kuormausaluetta on tarkoitus keskittää tulevaisuudessa siten, että vuoteen 2018 mennessä käytössä on enää 13 kuormauspaikkaa ja neljä varastoterminaalia (liite 1). Kuormausalueiden vähentyminen tarkoittaa käytännössä pidentyvää alkukuljetusmatkaa ja suurempia kuljetuskustannuksia. (Pohjois-Savon ELY-keskus 2012, 8–11.)

Raakapuun kaukokuljetuksen vähiten käytetty kuljetusmuoto, vesitiekuljetukset, voidaan jakaa sekä uittoon että aluskuljetukseen. Uitossa hinataan rautalangalla sidotuista 15–20 m³:n puutavaranipuista muodostettua nippulauttaa (Metsäteho 2010). Aluskuljetuksessa puutavara kuljetetaan alukseen, yleensä jonkin tyyppiseen proomuun lastattuna siten, että puutavara ei ole kosketuksissa avoveden kanssa. Aluskuljetuksen etuna uittoon on nopeus, monikäyttöisyys esimerkiksi hakkeen tai kiviaineksen kuljetukseen sekä mahdollisuus kuljettaa huonosti uivaa puuta kuten koivukuitua ja pieniläpimittaista tuoretta mäntykuitua. Aluskuljetuksen etuna on se, että puutavara ei joudu veteen jolloin siihen ei tule laadullisia muutoksia kuten värivikoja.

Aluskuljetuksilla kuljetettiin Suomessa vuonna 2011 yhteensä 584 000 m³ puuta, joka oli 1,3 % kaikista kuljetuksista ja 45 % vesitiekuljetuksista. Aluskuljetuksen keskimääräinen kuljetusmatka oli 246 kilometriä vuonna 2011. Yksikkökustannuksiltaan kuutiometriä kohti koko aluskuljetusketju oli uittoa ja rautatiekuljetusta edullisempi kuljetusmuoto (kuvio 1), mutta kuljetussuoritteella snt/m³km mitattuna se oli uittoa ja junakuljetusta kalliimpi keskimääräisesti lyhyemmän kuljetusmatkan takia. (Strandström 2012, 31.)



Kuvio 1. Puutavaran kaukokuljetuksen yksikkökustannusten kehitys 2002–2011. (Kuvio: Strandström 2012.)

3 Vesitiekuljetuksen historia Pielisellä

Pielisjoella puutavaraa on uitettu ensimmäisiä kertoja jo 1700-luvun puolivälin tienoilla. Tällöin rakennus- ja polttopuuta uitettiin jokea pitkin kotitarpeisiin. Säännöllisemmät uitot alkoivat ensimmäisen sahan valmistumisen myötä 1780-luvulla. Uittomäärät ja -matkat alkoivat hiljalleen kasvaa Kuurnan sahan perustamisen jälkeen 1832. Vuonna 1857 senaatti hyväksyi höyrysahat, jonka seurauksena uittomäärät kasvoivat Pielisjoella moninkertaisiksi. Tällöin uittomenetelmänä käytettiin vielä irtouittoa, joka vaati paljon työvoimaa. (Vesajoki & Pihlatie 2011, 115.)

Puunjalostusteollisuus perustui Pielisen seudulla 1900-luvun vaihteeseen asti pitkälti sahoihin. Kaltimonkosken varrelle perustettiin vuonna 1897 puuhiomo ja kartonkitehdas, jonka seurauksena tukkien lisäksi alettiin uittaa myös ohuempaa puutavaraa (Ropponen 1985, 29). Nippu-uitto aloitettiin Pielisjoen suulla 1902 (Vesajoki & Pihlatie 2011, 155). Ropposen (1985, 74) mukaan nippu-uittoon siirryttiin Pielisjoella lopullisesti vasta 1970-luvun alussa, Pielisjärvellä kuitenkin jo selvästi aiemmin.

Pielisjoen ensimmäinen kanavointi valmistui kesäkuussa 1879, jolloin Pielisjokeen oli rakennettu yhdeksän kanavaa. Kanavoinnista oli suuri hyöty koko Pohjois-Karjalan laivaliikenteelle, kun Pielisen ympäryskunnat saivat säännöllisen liikenneyhteyden Joensuuhun. (Myllykylä 1991, 197–200.)

1900-luvun puolivälissä Suomessa oli pulaa sähköstä ja Pohjois-Karjalassa tilanne aiottiin korjata vesivoimalla. Pielisjoen koskien yhteyteen valmistui voimalaitokset Kaltimoon 1958 ja Kuurnaan 1971. Lisäksi Pamilonkoskelle rakennettiin voimalaitos. Voimalaitospatojen, perkausten ja ruoppausten myötä Pielisjoesta tuli hitaasti virtaava kaksiportainen patoaltaiden yhdistelmä laiva- ja uitto-kanavineen. Muutos mahdollisti siirtymisen nippu-uittoon koko Pielisjoen matkalta. (Vesajoki & Pihlatie 2011, 133–157.)

Uiton huippuvuosi oli vuonna 1977, jolloin Pielisjoelta uitettiin puuta yli 1,7 miljoonaa kuutiometriä (Vesajoki & Pihlatie 2011, 161). Uittomäärät ovat sittemmin vähentyneet tasaisesti. Järvi-Suomen uittoyhdistyksen (2012) mukaan Pielisen uittomäärät ovat vaihdelleet 2000-luvulla vuosittain noin 200 000 ja 400 000 m³:n välillä.

Martikaisen (2009, 89) mukaan jo vuonna 1883 Pielisjokea pitkin on kulkenut alus hinaten viittä lotjaa, jotka ovat eräänlaisia proomuja. Suuremmassa mittakaavassa aluskuljetuksia on tehty Pielisellä ainakin 1990-luvun puolivälissä sekä 2000-luvun alkupuolella kahden eri hinaajan toimesta. Parkko-hinaaja ajoi Sampo-proomulla UPM:n puuta Pieliseltä 1990-luvun puolivälissä (Rautiainen 2012). Jermac-hinaaja on kuljettanut Pieliseltä puuta proomulla vielä 2000-luvun alkupuolella.

4 Aluskuljetus

Aluskuljetuksia tehdään useilla erilaisilla toimintamalleilla. Suurimmat alukset ovat laivoja tai moottoriproomuja, jotka voivat kulkea merelläkin ilman muiden alusten apua. Aluskuljetuksen toinen mahdollinen toimintamalli, etenkin sisävesillä, on työntöproomut, joihin kytketään tehokas työntäjä. Esimerkiksi Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa työntökytkyeet koostuvat jopa kymmenistä proomuista, jotka on kiinnitetty työntäjän eteen. Työntökytkyeiden etuna on se, että

proomut voidaan jättää satamaan purettaviksi samalla, kun työntäjä voi lähteä kuljettamaan uutta kytkyettä kohti määränpäästä. (Komiteanmietintö 1978, 46–49.)

4.1 Työntöalus

Aluskuljetuksissa käytetään usein proomun ja työntöaluksen yhdistelmää: lastia kuljettavaa proomua työnnetään tai vedetään hinaajalla. Työntöalustyyppisen hinaajan runko on laatikkomainen ja kulmikas. Usein hinaajat on muutettu vasta jälkikäteen työntöaluksiksi ohjaamorakennetta korottamalla, mikä on edellytys riittävälle näkyvyydelle proomun takaa. (Komiteanmietintö 1978, 49.) Hinaajan ja proomun muodostamaa kytkyettä on helpointa ohjata työntämällä jolloin myös kulkuvastus on pienempi, mutta esimerkiksi talvella huonosti jäissä uivia proomuja voidaan myös hinata (Karttunen, Ranta, Jäppinen, Hämäläinen & Vartiamaäki 2007, 22).

Työntöalus voidaan liittää proomuun joko jäykällä tai joustavalla liitoksella. Jäykässä liitoksessa proomu ja työntöalus liikkuvat yhtenä yksikkönä ja niiden välillä ei tapahdu joustavaa liikettä eri suuntiin. Joustavassa liitoksessa proomu ja hinaaja on liitetty toisiinsa vaijeri- tai puomikytkennällä ja kuljetusyksiköt voivat liikkua eri suuntiin. Suomen sisävesillä käytetään vaijerikytkentöjä. Kytkennät ovat melko yksinkertaisia, jotta proomu ja hinaaja voidaan helposti irrottaa toisistaan esimerkiksi kanavien yhteydessä. (Komiteanmietintö 1978, 52.)

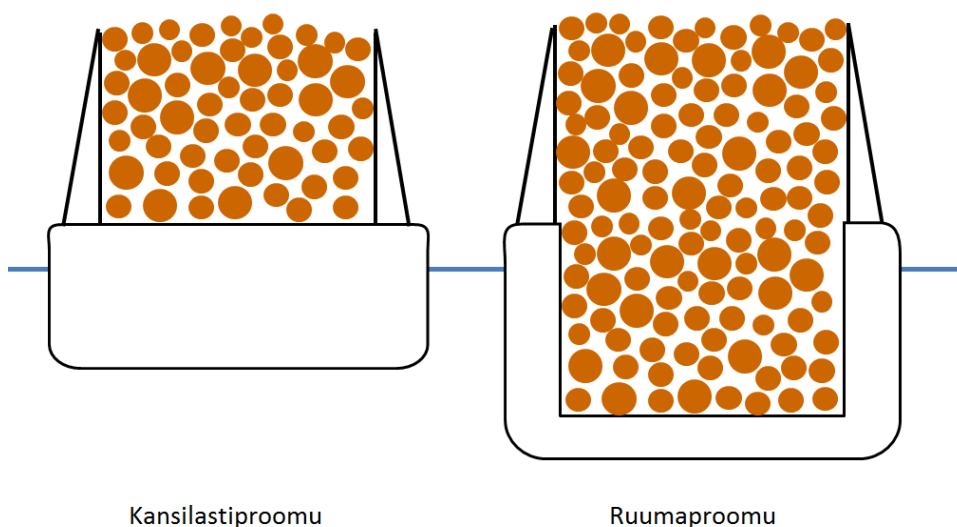
Vuoksen vesistöalueella työntöalusten koot vaihtelevat lähes 30 metrin pituudesta 10 metriin. Alusten leveydet ovat 3,0–12,5 metriä. Suurimpien alusten syväys on 2,8 metriä. Aluksen syväys määrittääkin usein, mitä laivareittiä käytetään, sillä proomujen syväys on lähes poikkeuksetta pienempi kuin työntöaluksella. (Karttunen ym. 2007, 25.)

Tyypillisillä Vuoksen vesistöalueen työntöaluksilla kuten Jermacilla ja Parkolla nopeus on parhaimmillaan noin 10 solmua eli 18,5 km/h. Täyden proomulastin kanssa nopeus on alhaisempi, noin 10 km/h. Tehoja hinaajilla on 500–800 kW. Moottoripolttoöljyä kuluu vuorokaudessa 2 500–3 500 litraa. (Vapalahti 1996, 158–168.)

4.2 Proomu

Proomu on vesitiekuljetusten laatikkomainen tavarankuljetusyksikkö. Proomut voidaan jakaa sekä työntö- että moottoriproomuihin. Työntöproomut tarvitsevat erillisen moottoroidun aluksen, joka työntää proomun haluttuun sijaintiin. Moottoriproomuilla on oma kulkukoneistonsa. Työntöproomut ovat kooltaan usein suhteellisen pieniä, moottoriproomut taas suuremman kulkusyvyvyyden aluksia, joita käytetään vesistöjen syvävyillä. Työntöproomuihin voidaan asentaa ohjasta helpottavia apulaitteita kuten keulapotkureita. (Komiteanmietintö 1978, 51–60.)

Proomuilla on erilaisia rakennetyyppejä, joita ovat esimerkiksi kansi- ja ruumaproomut (kuva 1). Kansilastiproomu voi kannatella suuria kuormia, koska sen kansi on tuettu suljetun ponttonin päälle. Ruumaproomu on rakenteeltaan puolestaan kaukalomainen, ja se on usein vetoisuudeltaan suurempi kuin kansilastiproomu. Ruumaproomujen syväys on myös selvästi suurempi kuin kansilastiproomuilla. (Karttunen ym. 2007, 24).



Kuva 1. Kansilastiproomu ja ruumaproomu ovat rakenteeltaan erilaisia. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Kansilastiproomut soveltuvat hyvin esimerkiksi saarihakkuiden puutavaran ja koneiden kuljetukseen, koska proomu voidaan ajaa lähelle rantaa. Kansilastiproomuilla voidaan kuljettaa tavaraa myös syvyydeltään muutenkin matalissa vesistöissä. Ruumaproomua pienemmän vetoisuuden vuoksi kansilastiproomun

lastaus ja purkaminen voidaan tehdä nopeammin, mutta pienemmän kuljetusvo-
lyymin vuoksi yksikkökustannukset ovat korkeammat. (Komiteanmietintö 1978,
51–53.)

Kansilastiproomuista on kehitelty myös helpommin siirrettäviä versioita. Modu-
lirakenteiset kansilastiproomut koostuvat palapelimäisesti useammista lohkois-
ta, jotka voidaan tarvittaessa irrottaa toisistaan. Lohkottuna proomu voidaan
kuljettaa rekalla esimerkiksi toiseen vesistöön. Lohkottuna proomu voidaan
myös proomun koon muuttamisen tarpeiden mukaan. Suomessa ainakin jämsä-
läinen Kone-Yijälä Oy käyttää saaristopuunkorjuussa moduulirakenteista kansil-
lastiproomua. (Siekkinen 2012.)

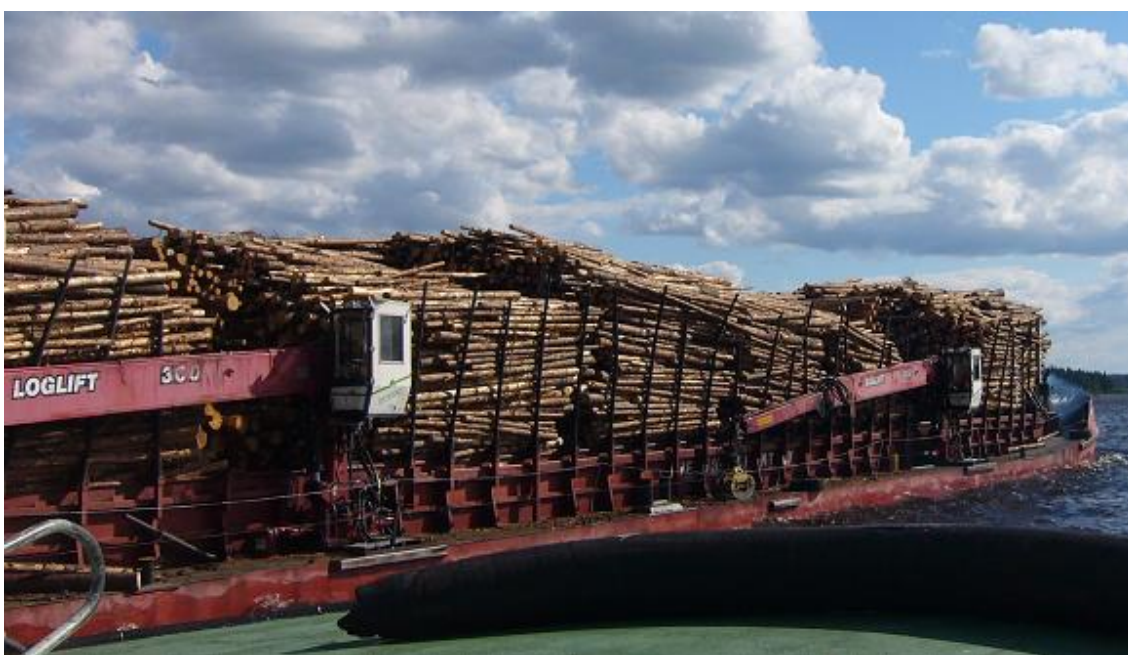
Vuoksen vesistöalueella proomujen vetoisuudet vaihtelevat 100–2 700 k-m³
välillä. Suurimmat proomut ovat pituudeltaan yli 80 metriä ja leveydeltään noin
12 metriä. Suurimpien proomujen syväykset ovat myös korkeat, lähes 4 metriä,
joten niitä voidaan käyttää vain Saimaan syvävyöllä, ei esimerkiksi Pielisellä.
(Karttunen ym. 2007, 25.)

Vesistön kanavat ja sillat voivat rajoittaa käytettävän proomun mittoja. Proomu-
jen mitoille on luotu erilaisia standardeja, joiden mukaan tietyille vesistöille sopi-
va malli on helppo määrittää. Esimerkiksi Saimaalla on käytetty muutamia Eu-
rooppa Ila -standardin proomuja (Merenkululaitos 2008). Kyseisen standardin
proomut ovat pituudeltaan 76,5 m, leveydeltään 11,4 m ja maksimisyväyksel-
tään 3,9 m (Müller 2003, 13).

Proomut toimivat hyvin siihen lastatun tavaran väliaikaisena liikkuvana varasto-
na. Proomut lastataan usein satamasta tai muusta lastauspaikasta erillisellä
kuormainkalustolla (kuva 2). Osassa proomuista voi olla oma kiinteä kuormain
(kuva 3). Kuormaimet ovat yleensä kaivinkonepohjaisia laitteita, joiden puomin
päähän on asennettu puutavaran siirtelyyn soveltuva koura. Kiviainesta tai ha-
kettä voidaan lastata proomuihin esimerkiksi puskuotraktorilla tai kaivinkoneella.



Kuva 2. Ruumalastityyppisen Sampo-proomun lastausta Ahkiolahdessa. (Kuva: Joonas Sorsa.)



Kuva 3. Annuska-proomussa on integroidut kuormaimet. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Proomuja voidaan lastata myös puutavara-autojen omilla kuormaimilla etenkin vaihtoproomu -tyyppisissä kuljetuksissa, joissa hinaaja puskee yhtä proomu kohti tuotantolaitosta, samalla kun toinen proomu on satamassa lastattavana. Vaihtoproomulogistiikassa kuljetuksesta poistuu turhaa odottelua ja kuormauksen nopeudella ei siis ole suurta merkitystä.

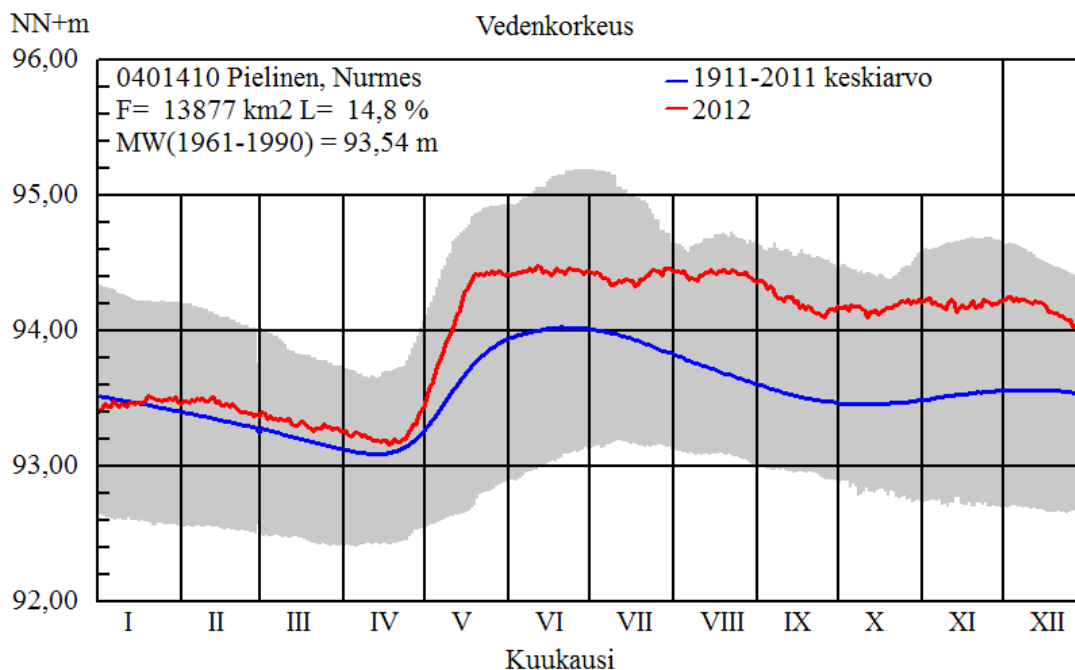
5 Pielisjärvi ja Pielisjoki toimintaympäristönä

Pielinen on Suomen neljänneksi suurin järvi, ja säännöstelemättömistä järvistä se on kaikkein suurin. Vuoksen vesistöön kuuluvan Pielisen kokonaispinta-ala on vajaat 900 km². Pielisen keskivedenkorkeudeksi on mitattu Nurmeksessa N60+ 93,74 m. Pielisjärvi laskee Pielisjokea pitkin Pyhäselkään. Etäisyys Pielisen pohjoispäästä, Nurmeksesta, Pielisjoen loppuun, Joensuuhun, on yli 100 kilometriä. (Järviwiki 2012.)

5.1 Syvyys

Merenkululaitoksen kartta-aineiston (2002) mukaan Pielisjärvi ja Pielisjoki ovat syvyydeltään matalia: Saimaan syväväylä, eli yli 4,2 metriä syvä laivareitti, alkaa vasta Joensuusta, Pielisjoen lopusta. Pielisellä laivaväylä on kulkusyvyydeltään vain 2,4 metriä, mikä estää suurimpien alusten ja proomujen käytön. Kulkusyvyyteen voidaan tosin lisätä 15–20 % varavesi, joka on määritetty kulkusyvyyden alle estämään pohjakosketukset esimerkiksi aallokossa (Liikennevirasto 2011). Pieliselläkin on siis periaatteessa mahdollista käyttää aluksia, joiden syväys on noin kolme metriä.

Pielisjärvellä vedenkorkeus vaihtelee paljon, vuodessa jopa 120 cm, mikä on poikkeuksellista säännöstelemättömälle järvelle (Verta, Nykänen, Höytämö & Marttunen 2006, 18). Korkeusvaihtelut ovat pienempiä Pielisjoella, mutta siellä pienetkin syvyyden muutokset voivat estää aluskuljetukset kokonaan. Matalia kohtia Pielisjoella on muun muassa Kuurnan kanavan ja Paiholan välisellä osuudella (Rautiainen 2012). Kesällä 2012 Pielisen ja Pielisjoen vedenpinta oli selvästi normaalia ylempänä (kuvio 2), esimerkiksi elokuussa Pielisen vedenpinta oli 76 cm ajankohdan keskiarvoa korkeammalla (Pohjois-Karjalan ELY-keskus 2012a).



Kuvio 2. Pielisen vedenkorkeus. Punaisella vuoden 2012 vedenkorkeuden kehitys, sinisellä keskiarvot vuosilta 1911–2011 ja harmaalla vedenkorkeuksien suurimmat sekä pienimmät arvot ajanjaksolta. (Kuvio: Valtion ympäristöhallinto 2013.)

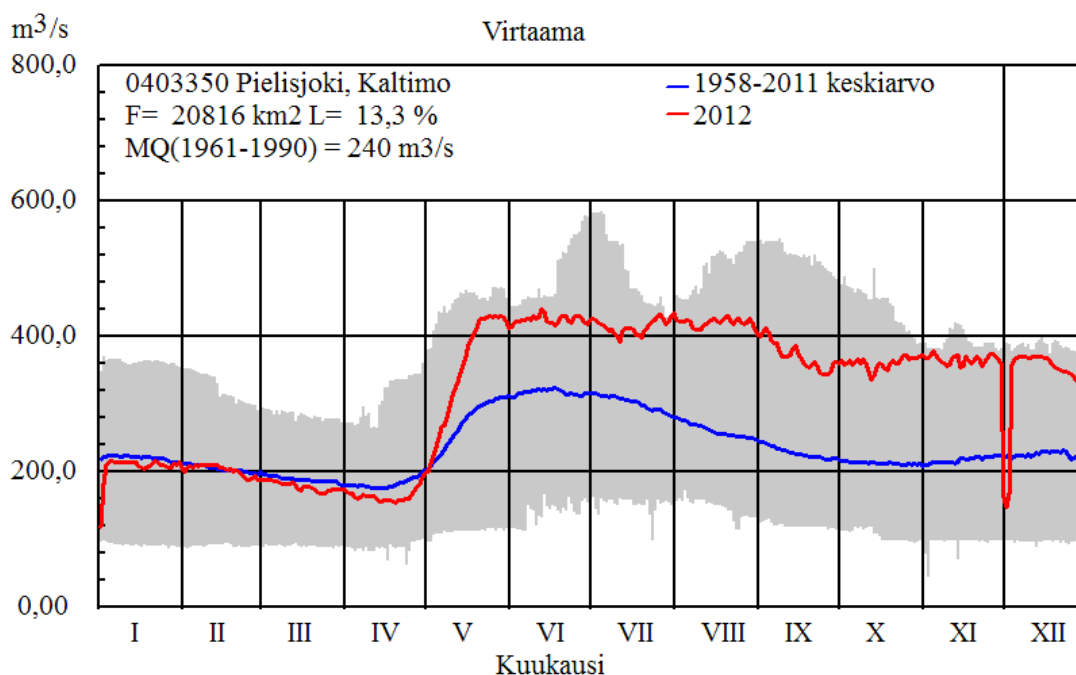
Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, nykyinen ELY-keskus, on aloittanut vuonna 2006 Pielisjärven juoksutuksen kehittämishankeen, jossa selvitetään mahdollisuuksia nostaa Pielisjärven alimpia vedenkorkeuksia kesäisin ja syksyisin. Kehittämishankeen selvitystyöt jatkuvat edelleen vuonna 2012 (Pohjois-Karjalan ELY-keskus 2012b). Jos Pielisjärven säännöstely aloitetaan, voi se haitata aluskuljetuksia Pielisjoen osuudella, missä vedenkorkeus laskee juoksutetun veden vähentymisen seurauksena.

5.2 Mutkaisuus ja virtaama

Pielisjoki on paikoin hyvin mutkainen ja kapea, minkä vuoksi proomua on työnnettävä tarkasti ja tavallista pienemmällä nopeudella. Mutkaisuus hidastaa kuljetusta, mutta myös vaikeuttaa aluksen ja proomun hallintaa, sillä liian hitaassa vauhdissa yhdistelmä menettää ohjattavuutensa ja lähtee helposti virran vietäväksi (Komiteanmietintö 1978, 91). Virtaukset ovat kovia etenkin Pielisjoen kapeissa kohdissa (Rautiainen 2012).

Paikoin Pielisjoen voimakkaat virtaukset vaikeuttavat aluksen ohjaamista ja voivat aiheuttaa vaaratilanteita. Esimerkiksi Joensuun rautatiesillan nostoa joudutaan odottamaan kauempana, koska sillan läheisyydessä virtaama on liian kova pysähtymiselle (Rautiainen 2012). Vuonna 2010 yksi proomu ajoi karille kovan virtaaman vuoksi ja upposi kyseisessä paikassa (Yleisradio 2010).

Pielisjoen virtaama ovat voimakkaimmillaan toukokuun ja elokuun välisenä aikana jolloin myös vedenkorkeus on ylimmillään. Virtaama on kesän aikana yleensä yli 300 m³/s (Verta ym. 2006, 14). Elokuussa 2012 Pielisjoella virtasi vettä noin 60 % normaalitasoa enemmän (Pohjois-Karjalan ELY-keskus 2012a), minkä vuoksi aluskuljetuskokeilua lykättiin. Virtaama pysyi selvästi keskiarvoa voimakkaampana koko syksyn (kuvio 3).



Kuvio 3. Pielisjoen virtaama. Punaisella viivalla vuoden 2012 virtaama, sinisellä keskiarvot vuosilta 1958–2011 ja harmaalla virtaamien vaihteluväli. (Kuvio: Valtion ympäristöhallinto 2013.)

5.3 Sillat ja kanavat

Liikenneviraston (2012a) mukaan Pielisjoen laivareitillä on seitsemän avattavaa ja neljä kiinteää siltaa. Vuoteen 2014 mennessä Joensuuhun rakennetaan vielä kaksi Pielisjoen ylittävää siltaa (Karjalainen 2012). Mahtuakseen kaikkien Pielisjoen kiinteiden siltojen ali, täytyy käytettävän aluskuljetuskaluston alikulkukor-

keus olla alle 10,5 metriä (Liikennevirasto 2012a). Alikulkukorkeudeltaan matalimmat avattavat sillat hidastavat aluskuljetusta, sillä alus joutuu pudottamaan nopeutta, jotta silta ehtii nousta ylös ja alus saadaan turvallisesti silta-aukon läpi ilman vahinkoja. Aluskuljetuksessa joudutaan ottamaan huomioon juna-aikataulut, jotta proomulasti ja juna eivät saavu yhtä aikaa rautatiesillalle. Jos junaliikennettä on tulossa samaan aikaan, joutuu proomukuljetus odottamaan.

Pielisjoki on sulutettu kolmella kanavalla: Kaltimon, Kuurnan ja Joensuun kanavilla. Sulkujen avulla alus voidaan nostaa tai laskea samalle tasolle kuin kanavan toisella puolella sijaitseva vesistö, esimerkiksi Kaltimon kanavalla vedenpintojen korkeusero on noin yhdeksän metriä. Alun perin kanavat rakennettiin Pielisjoen vuolaiden koskien ohittamista varten (Sarkkinen, Rekonen & Koivupuro 2007, 38).

Sulkukanavat hidastavat aluskuljetusta: pidemmät hinaajan ja proomun yhdistelmät joudutaan suluttamaan kanavissa erikseen rajallisen tilan vuoksi. Sulutus yhdessä kanavassa voi kestää silloin 1–2 tuntia (Rautiainen 2012). Liikenneviraston (2012a) mukaan aluksen täytyy olla pituudeltaan alle 80 metriä mahtuakseen kaikista Pielisjoen kanavista. Aluksen suurin sallittu leveys on 11,8 metriä, ja Kaltimon kanavalla maston korkeus saa olla kanavasillan vuoksi enintään 10,5 metriä, mikä on vähemmän kuin muilla Pielisen kiinteillä silloilla (Liikennevirasto 2012a). Pielisjoen kanavien rakenteelliset rajoitukset ovat todellisuudessa 85 m x 16 m x 10,5 m, joten poikkeusluvalla kuljetukset isommallakin kalustolla onnistuisivat (Komiteanmietintö 1978, 6). Käytännössä aluskuljetuksen mittarajoitteet määräytyvät kuitenkin Kaltimon kanavan suurimmista sallituista mitoista.

Kaikki Pielisjoen kanavat ja avattavat sillat on automatisoitu Joensuun kaukokäyttökeskukseen, josta siltoja voidaan avata ja kanavia hallita tarpeen mukaan (Liikennevirasto 2012a). Liikenneviraston hallinnoima kaukokäyttökeskus määrää käytännössä Pielisen vesiliikennekauden pituuden, sillä ilman siltojen nostamista ja kanavien käyttöä Pielisjoella ei voida liikennöidä. Kaukokäyttökeskus oli vuonna 2012 virallisesti auki toukokuun alusta syyskuun loppuun klo 9–18 ja kesäkuukausina klo 9–23 (Liikennevirasto 2012a). Aukioloajat ulottuvat vuonna 2012 lokakuulle ja jatkuvat sen jälkeen vielä tarpeen mukaan sekä säiden sallissa (Riikonen 2012). Aluskuljetukset pitää suunnitella siten, että kuljetus ehtii

Pielisjoelta pois kaukokäyttökeskuksen aukioloaikana. Kaukokäyttökeskuksesta voi kuitenkin tilata siltojen ja kanavien aukaisuja myös muina kellonaikoina, tilaus pitää muistaa tehdä viimeistään kyseisen päivän aamuna, tilaus on ammatti-liikenteen aluksille maksuton (Riikonen 2012).

5.4 Uiton pudotuspaikat

Pudotuspaikat ovat uitossa käytettäviä kohteita, joissa uitettava puutavara sidotaan nipuksi ja siirretään maalta veteen. Uiton pudotuslaiturin kohdalla veden syvyyden on oltava yli kolme metriä ja laivareitin syvyyden vähintään 2,2 metriä (Metsäteho Oy 2010). Syvyysvaatimusten perusteella pudotuspaikat voisivat soveltua myös proomujen lastauspaikoiksi.

Pielisjärven ja -joen rannoilla sijaitsee kahdeksan uiton pudotuspaikkaa (Pohjois-Savon ELY-keskus 2012). Uiton pudotuspaikat kuuluvat Järvi-Suomen Uittoyhdistykselle tai Perkaus Oy:lle (Metsäteho Oy 2010). Aluskuljetusten kannalta tärkein kohde olisi Lieksan Märjälahden pudotuspaikka, joka sijaintinsa puolesta olisi otollinen säännöllisille kuljetuksille (Liite 2).

5.5 Satamat

Pielisen rannoilla sijaitsee kolme satamaa: Juuan Retulahdessa Liikenneviraston, Uimaharjussa Enocell Oy:n sekä Nurmeksen Ritoniemessä kaupungin hallinnoima satama. Nämä kolme ovat niin sanottuja matalaväylän lastauspaikkoja, joilla ei ole omia satamapalveluita. Vuonna 2011 missään Pielisen kolmesta lastauspaikasta ei ilmoitettu tapahtuneen tavaraliikennettä. Joensuun satamaa palveluineen käytetään puolestaan vilkkaasti. (Pohjois-Savon ELY-keskus 2012, 18–19.)

Aluskuljetusten kannalta tärkeimmät satamat olisivat Juuan ja Nurmeksen satamat, Uimaharjun lastauspaikka on tehdasalueella. Maanmittauslaitoksen ylläpitämän Paikkatietoikkuna -palvelun avulla Juuan lastauspaikan betonilaiturin pituudeksi mitattiin 45 metriä ja varastointialueen pinta-alaksi noin 4 500 m². Nurmeksen lastauspaikan laiturin pituus on myös noin 45 metriä. Nurmeksessa laiturin ympärillä on vähemmän tyhjää tilaa käytettävissä kuin Juuassa, mutta

Ritoniemessäkin pinta-alaa puutavaran varastointiin ja siirtelyyn on noin 2 500 m² (kuva 4).



Kuva 4. Juuan Retulahden ja Nurmeksen Ritoniemen lastauspaikat. (Kuva: Maanmittauslaitos.)

Juuan lastauspaikalla on käytössä liikenneviraston määrittelemät satamamaksut. Alusmaksu, jonka kuljetusyritys yleensä maksaa, on 0,20 euroa aluksen nettotonnia kohti. Puutavaran omistajalta laskutettava varastointimaksu on 0,15 euroa raakapuun kiintokuutiometriltä. (Piironen 2012.)

Nurmeksen kaupunki on määrittänyt vuonna 2005 tavarasatamalleen satamamaksutaksat. Ritoniemen tavarasatamassa alusmaksu on 0,25 euroa/nettonni ja varastointimaksu sahaamattomalle puulle sekä hakkeelle on 0,70 €/bruttotonni (Komsa-Partanen 2012). Nurmeksen maksut ovat siis Juukaa suuremmat. Satamamaksuja ei ole kuitenkaan peritty muutama vuoteen eikä niitä peritty myöskään koekuljetuksesta. Tulevaisuudessa Nurmeksen kaupunki saattaa kuitenkin aloittaa satamamaksujen perimisen, mikä puolestaan vaikuttaa proomukuljetusten kannattavuuteen.

6 Opinnäytetyön toimeksiantaja ja sidosryhmät

6.1 Metsähallitus

Opinnäytetyön toimeksiantaja Metsähallitus on valtion liikelaitos, jonka toiminta perustuu sekä liiketoimintaan että julkisiin hallintotehtäviin. Liiketoiminnan tulosalue koostuu metsätaloudesta ja tontti- sekä kiinteistökaupasta. Hallintotehtävät puolestaan koostuvat verovaroin rahoitettavista palveluista kuten retkeilyalueiden kunnossapidosta ja luonnonsuojelualueiden hoidosta. Metsähallitus hallinnoi ja hoitaa valtion maa- ja vesialueita, joita on yli 12 miljoonaa hehtaaria. (Metsähallitus 2012.)

Pielisen ympäryskunnista, Lieksasta ja Nurmekselta, Metsähallitus toimittaa vuosittain yli 170 000 m³ mänty- ja koivukuitua Lappeenrannan, Joutsenon ja Imatran tehtaille. Pielisen pohjoispuolelta Kajaanista ja Kuhmosta toimitetaan myös noin 100 000 m³ mänty- ja kuusikuitua samoille Etelä-Saimaan sellutehtaille. Kuljetukset suoritetaan tällä hetkellä käytännössä joko rautateitse tai uitaen. (Siekkinen 2012.)

6.2 Fin-Terpuu Oy

Fin-Terpuu Oy on vuonna 1989 perustettu kajaanilainen kuljetusalan yritys. Fin-Terpuu toimii parillakymmenellä paikkakunnalla erilaisissa teollisuuden, satamien sekä terminaalien lastinkäsittely- ja kuljetustehtävissä. Yritys työllistää tällä hetkellä 220 henkilöä. Fin-Terpuulta löytyy kuormauskoneita ja puutavara-autoja sekä vesikuljetuksiin soveltuvaa hinaaja- ja proomukalustoa. (Fin-Terpuu Oy 2012.)

Fin-Terpuu osti vuonna 2011 Saimaalla aikaisemmin aluskuljetuksia tehneen Mopro Oy -varustamon. Vuotta aiemmin Fin-Terpuu hankki UPM-Kymmene Oyj:ltä proomu- ja hinaajakalustoa. Yrityksen vesitiekuljetukset, niin uittotyöt kuin proomukuljetuksetkin, painottuvat Itä-Suomen ja Saimaan alueelle. (Länsi-Savo 2011.)

Fin-Terpuu Oy:ltä sekä sen ostamalta Mopro Oy:ltä löytyy aluskuljetuksiin kaksi moottoriproomu -tyyppistä alusta, yksi hinaaja sekä neljä proomua (Tyrsky

2012). Aluksista Vekara on mitoiltaan liian suuri Pielisjoen kanaviin ja Helgakin on syvääkseltään liian suuri Pielisen 2,4 metrin laivaväylälle (taulukko 1). Alukset ovat merikelpoisia ja niillä liikennöidään Saimaan syväväylällä, Suomen rannikkoseudulla sekä Venäjällä (Tyrsky 2012).

Taulukko 1. Fin-Terpuu Oy:n ja Mopro Oy:n aluskuljetuskalusto. Taulukossa syväykset täydessä lastissa. (Tyrsky 2012.)

Nimi	Pituus [m]	Leveys [m]	Syväys [m]	Maksimilasti [tn]
<u>Alukset</u>				
Vekara	82,8	12,4	4,35	2 700
Helga	79,8	11,1	4,2	2 300
<u>Hinaajat</u>				
Parkko	22,43	6,58	2,8	
<u>Proomut</u>				
Vorokki	76,5	11,33	3,95	2 550
Sampo	76,9	10,96	2,65	1 700
Väinämöinen	61	9,2	2,4	850
Kuutar	61	9,2	2,4	850

6.3 Järvi-Suomen uittoyhdistys

Järvi-Suomen uittoyhdistys perustettiin 1993 kun Pohjois-Karjalan, Savon ja Kymin uittoyhdistykset liittyivät yhteen. Vesilaissa (587/2011) uitto määrätään tehtäväksi yhteisuittona, jota varten on perustettava uittoyhteisö. Järvi-Suomen uittoyhdistys on tätä nykyä ainoa lakisääteinen uittoyhdistys, joka tekee uittoja. (Metsäteho Oy 2010.)

Uittoyhdistyksen jäseniä ovat suuret metsänomistajat ja metsäyhtiöt: Metsähallitus, Metsä Group, Stora Enso Oyj ja UPM-Kymmene Oyj. Kaikki edellä mainitut toimijat myös uittavat puutavaraa vuosittain. Uittoyhdistys hoitaa jäsentensä puutavaran uiton ja uittoedunvalvonnan. Järvi-Suomen uittoyhdistys vastaa puun hinauksesta Pieliseltä Joensuun Kuhasaloon saakka. Saimaan uitot kuuluvat uittoyhdistyksen sisäryitykselle, Perkaus Oy:lle. Uittoyhdistys omistaa hi-

nauskaluston lisäksi myös proomukuljetukseen soveltuvaa kalustoa. (Metsäteho Oy 2010.)

6.4 Metsäntutkimuslaitos

Metsäntutkimuslaitos on vuonna 1997 perustettu maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa toimiva tutkimuslaitos. Metsäntutkimuslaitoksen tavoite on edistää tutkimuksen avulla metsien kestäväää käyttöä ja hoitoa. Metsäntutkimuslaitoksen Itä-Suomen yksikön tutkimusteemoihin kuuluu muun muassa ”aines- ja energiapuun korjuun- ja kuljetuksen teknologia, informaatiojärjestelmät ja logistiikka”. (Metsäntutkimuslaitos 2013.)

Metsäntutkimuslaitos on ollut mukana vesitiekuljetuksen tutkimushankkeissa esimerkiksi vuonna 2008 ”Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla” -tutkimuksessa ja vuonna 2011 ”Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa” -tutkimuksessa. Molemmissa tutkimuksissa metsähakkeen aluskuljetusta on tarkasteltu diskreettiaikasinuloinnin ja Witness-simulointiohjelman avulla.

7 Tutkimuksen tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia onko Pieliseltä mahdollista toteuttaa raaka-puun aluskuljetuksia Etelä-Saimaan tuotantolaitoksille. Metsähallituksella on paljon metsää Pielisjärven ympärillä, ja huonosti uittoon sopivan, ensiharvennuksilta korjattavan, tuoreen mäntykuidun kuljettaminen junalla on viimevuosina muuttunut kustannuksiltaan yhä kalliimmaksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää voitaisiinko aluskuljetuksesta saada rautatiekuljetuksille kilpailukykyinen vaihtoehto.

Opinnäytetyössä tutkittiin missä alusten ja proomujen lastaus onnistuu ja onko puutavaran varastoinnissa, lastauksessa, kuljetuksessa ja purkamisessa kehitettäviä kohteita. Pieliselle parhaiten sopiva kuljetuskalusto haluttiin selvittää alusyrittäjän kalustokapasiteetti ja Pielisjärven sekä Pielisjoen asettamat rajoitteet huomioiden. Projektin tarkoituksena oli tutkia mitä puutavaralajeja aluksella

kannattaa kuljettaa ja kuinka paljon puutavaraa Pieliseltä olisi vuosittain mahdollista kuljettaa. Yksinkertaistettuna opinnäytetyön tavoitteena oli siis lisätä tietoa Pielisen aluskuljetusmahdollisuuksista.

Aluskuljetuksen kustannuksia, kalustovaatimuksia, ajanmenekkiä ja hiilidioksidipäästöjä oli tarkoitus verrata sekä rautatiekuljetukseen että uittoon. Vertailun pohjalta tehtiin johtopäätökset siitä, kannattaako aluskuljetuksia jatkossa tehdä Pielisellä. Aluskuljetuksen simuloinnilla haluttiin selvittää erilaisten toimintamallien tuottamia kuljetusmääriä ja kustannuksia. Opinnäytetyön tulosten pohjalta tavoitteena on saada käyttöön uusi kilpailua lisäävä raakapuun kuljetusmuoto Pielisen alueella ja kehittää aluskuljetusta. Proomukuljetuksilla halutaan parantaa metsätalouden kannattavuutta ja vähentää kaukokuljetuksen kasvihuonekaasupäästöjä.

8 Tutkimuksen toteutus

8.1 Tutkimusmenetelmät

Laadullisella tutkimusmenetelmällä voidaan selvittää kirjoittamatonta tietoa. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineistoa voidaan kerätä esimerkiksi yksilö- tai ryhmähaastattelulla. Haastattelun voi tehdä strukturoidulla lomakkeella tai vapaampana teemahaastatteluna kasvotusten tai puhelimesta. Aineistoa voidaan kerätä myös konsultaationa tietyn alan asiantuntijoilta. Konsultaatioaineistoa voidaan käyttää päättelyn tukena ja opinnäytetyön teoriaosan luotettavuuden lisäämiseen. (Vilkkä & Airaksinen 2003, 58–64)

Laadullisessa tutkimuksessa aineisto hankitaan tyypillisesti kokonaisvaltaisesti todellisista tilanteista siten, että ihminen on tiedon ensisijainen lähde. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 160). Hakalan (2004, 114) mukaan laadullinen aineisto voidaan kerätä esimerkiksi asiantuntijahaastatteluilla, aiempien tutkimusten raporteista ja ammattilehdistä, jos tutkimuksen tavoite on melko suurpiirteinen kuten kyseiseen aiheeseen liittyvän tiedon lisääminen. Havainnoimalla voidaan hankkia suoraa ja objektiivista tietoa prosessin toiminnasta, joten se soveltuu hyvin laadullisen tutkimuksen menetelmäksi (Hirsjärvi ym. 2007, 208).

Määrällisessä tutkimuksessa havaintoaineistoa voidaan mitata numeerisesti ja päätelmien teko perustuu aineiston tilastolliseen analysointiin (Hirsjärvi ym. 2007, 136). Koska opinnäytetyössä aineistoa ei juurikaan hankittu numeerisesti mittaamalla, vaan aineisto kerättiin laadullisen tutkimuksen tunnuspiirteet täyttäen, oli opinnäytetyössä perusteltua käyttää laadullista tutkimusmenetelmää. Opinnäytetyössä on kuitenkin myös kvantitatiivisen tutkimuksen piirteitä, sillä eri kuljetusmuotojen vertailut tehdään osin numeerisia arvoja vertaillen. Aluskuljetusten simuloinnissa hyödynnettiin laadullisella tutkimuksella hankittua tietoa. Itse simulointi perustui satunnaismuuttujiin, ja kaikki simulointitulokset olivat numeromuotoisia. Simulointi toikin opinnäytetyöhön selvästi myös määrällistä tutkimusta.

Opinnäytetyön aineiston hankinnan perustana oli monimenetelmällisyys: aineiston runko saatiin teemahaastatteluista ja vesitiekuljetuksiin liittyvästä kirjallisuudesta sekä tutkimusraporteista, mutta aineistoa hankittiin ja täydennettiin myös havainnoimalla proomukuljetuksia paikan päältä sekä suorittamalla aluskuljetuksen erilaisten toimintamallien simulointia. Teemahaastatteluissa kysyttiin osittain samoja kysymyksiä eri organisaatioiden edustajilta, jolloin aineistoon saatiin luotettavuutta ja useampia näkökulmia.

Simulointi mahdollistaa jo olemassa olevan tai suunnitellun prosessin toiminnan jäljittelyn simulointimallin avulla. Simulointimalleilla voidaan ratkaista ongelmia, jotka sisältävät esimerkiksi epälineaarisia funktioita, satunnaismuuttujia tai riippuvuussuhteita prosessin eri toimintojen välillä. Simulointimallin asetuksia ja parametreja muuttamalla voidaan kokeilla helposti ja edullisesti, miten prosessia on mahdollista kehittää. Simuloinnissa käytettävät matemaattiset mallit voidaan jakaa stokastiseen ja deterministiseen tyyppiin. Stokastisessa simulointimallissa on satunnaismuuttujia, kun taas deterministisessä mallissa muuttujien arvot ovat vakioita. (Maria 1997.)

Opinnäytetyön simuloinnit suoritettiin stokastisella simulointimallilla, sillä aluskuljetuksessa on paljon satunnaismuuttujia joiden vuoksi ajanmenekki vaihtelee aina. Esimerkiksi lastauksen kesto riippuu paljon kuormaimen käyttäjästä ja siitä, miten puutavaran mahdollinen puskurointi laiturille lastauksen aikana hoidetaan. Kuljetusnopeuteen vaikuttaa muun muassa sääolosuhteet. Muita satunnaismuuttujia ovat esimerkiksi lastikoko, purkuajat ja muut odotusajat. Simuloin-

timallin satunnaismuuttujille annettiin raja-arvot haastattelututkimuksella saaduista tiedoista, ja simulaattori arpoi todennäköisyysjakauman perusteella kullekin muuttujalle arvot. Kaikki simulointiskenaariot ajettiin simulaattorilla läpi viisi kertaa, jolloin ajojen keskiarvot muodostivat lopulliset tulokset.

8.2 Analyysimenetelmät

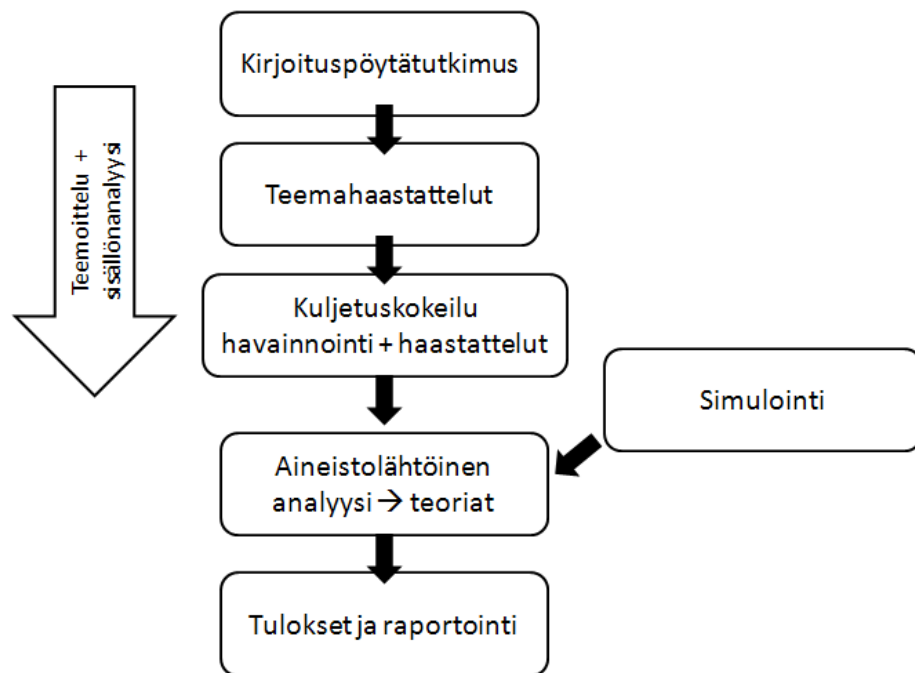
Kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineiston analysointi koetaan usein ongelmalliseksi. Laadullisten aineistojen analyysikeinoja on olemassa paljon ja niitä tulee jatkuvasti lisää. Monesti erilaiset analyysitavat eivät ole selvärajaisia, vaan käytännössä analyysiä tehdessään tutkija soveltaa useita eri menetelmiä aineiston käsittelyssä. (Eskola & Suoranta 2008, 159–161).

Sisällönanalyysi on laadullisen tutkimuksen normaali analyysimenetelmä, jossa kerätty aineisto muokataan hiljalleen tiiviiksi ja helposti luettavaksi tekstiksi siten, että tutkimuksen kannalta olennaiset tiedot ovat mukana. Sisällönanalyysillä voidaan tutkia asioiden välisiä yhteyksiä ja seurauksia. Analyysin edetessä aineistoa on usein tarve tarkastella vielä tarkemmin: aineisto luokitellaan, tyypitellään tai teemoitellaan. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 91–92.)

Kvalitatiivisen tutkimuksen yksi analyysimenetelmä on teemoittelu, jonka avulla aineistoa pelkistetään, ja siitä erotellaan tutkimuksen kannalta olennaisimmat aihealueet. (Eskola & Suoranta 2008, 174). Opinnäytetyössä aineisto oli suhteellisen helppo jakaa eri teemoihin, sillä tietoa hankittiin selvästi eroteltaviin osa-alueisiin kuten kalustoon, lastaukseen, Pielisen ominaisuuksiin ja varsinaiseen kuljetukseen liittyen.

Eskolan ja Suorannan (2008, 19) mukaan laadullisessa tutkimuksessa käytetään usein aineistolähtöistä analyysiä, jossa empiirinen aineisto työstetään teoriaksi. Aineistolähtöistä analyysiä tarvitaan erityisesti silloin, kun halutaan tietoa tietystä ilmiöstä ja sen olemuksesta (Eskola & Suoranta 2008, 19). Opinnäytetyössä aineistolähtöisen analyysin avulla selvitettiin aluskuljetuksen ominaisuudet ja vaatimukset sekä toimintamahdollisuudet Pielisellä. Opinnäytetyössä esille tuotavat teoriat ovat siis aineistolähtöisen analyysin tulosta.

Opinnäytetyössä teemoittelua ja sisällönanalyysiä tehtiin jatkuvasti tutkimusprosessin edetessä (kuvio 4). Aineistolähtöinen analyysi aloitettiin, kun kuljetuskokeilun havainnointiaineisto oli kerätty. Tällöin teemahaastattelut ja kirjallisista lähteistä kerätyt aineistot olivat pääosin valmiina. Aineistolähtöinen analyysi saatettiin loppuun kuitenkin vasta sitten, kun simulointitulokset saatiin liitettyä kerättyyn aineistoon. Opinnäytetyön tulosten lopullinen raportointi tehtiin noin puoli vuotta prosessin aloittamisen jälkeen.



Kuvio 4. Opinnäytetyöprosessin eteneminen.

8.3 Aineiston hankinta

Opinnäytetyön aineistona käytettiin sekä kirjallista että suullista materiaalia, aineistoa kerättiin myös havainnoimalla. Suomen sisävesien aluskuljetuksista on kirjoitettu melko vähän ja valtaosa alan tiedosta on vain aluskuljetusyrittäjillä itsellään. Aineistoa hankittiinkin paljon laadullisen tutkimuksen keinoin haastatteleamalla asiantuntijoita esimerkiksi aluskuljetuksiin sekä puutavaran varastointiin ja lastaukseen liittyvissä asioissa. Määrällistä tutkimusta opinnäytetyöhön toi aluskuljetusten simuloinnit ja eri kuljetusmuotojen numeerisen tiedon vertailu.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto on tutkinut yhdessä Metsäteho Oy:n ja Metsäntutkimuslaitoksen kanssa hakkeen proomukuljetusta Vuoksen vesistöalueel-

la (Karttunen ym. 2007). Tutkimushankkeesta on julkaistu muutamia raportteja, joita hyödynnettiin myös opinnäytetyön teoriaosassa. Biopolttoaineiden aluskuljetusta Kaakkois-Suomessa on tutkittu myös vuonna 2011 Lappeenrannan teknillisen yliopiston toimesta (Korpinen, Föhr, Saranen, Väätäinen & Ranta 2011). Opinnäytetyön teoriaosaan saatiin kattavasti tietoa myös vuonna 1978 julkaisusta Proomukalustotoimikunnan mietinnöstä.

Pielisen ominaispiirteitä selvitettiin laadullisen tutkimuksen keinoin Merenkululaitoksen kartta-aineistosta, Liikenneviraston ylläpitämistä kanava- ja siltatie-doista sekä Ympäristökeskuksen laatimasta ”Pielisen juoksutusten kehittämismahdollisuudet” -selvityksestä. Kokemuspohjaista tietoa Pielisjärven ja -joen aluskuljetuksista saatiin myös haastatteleamalla aluskuljettajia.

Pielisen satamien tavara- ja alusmaksut selvitettiin sähköpostikeskusteluilla Nurmeksen kaupungin ja Liikenneviraston kanssa. Tarkempia tietoja koekuljetuksen lähtöpaikasta eli Nurmeksen satamasta saatiin puhelinkeskustelussa Nurmeksen kaupungin edustajalta. Tietoja aluskuljetuksesta kerättiin haastatteleamalla Parkko-hinaajan kippareita ja muuta miehistöä. Havaintoja tehtiin myös seuraamalla proomukuljetusta hinaajan kyydissä sekä lisälmen että Nurmeksen laivareiteillä. Aluskuljetusten keskimääräiset ajanmenekit selvitettiin Parkko-hinaajan kipparia haastatteleamalla. Pieliselle ideaalin aluskuljetuskaluston ominaisuuksia selvitettiin Parkko-hinaajan miehistöltä teemahaastattelulla.

Puunhankintaan ja kuljetukseen liittyviä seikkoja selvitettiin Metsähallituksen hankintapäällikön ja logistiikkaesimiehen kanssa. Tietoja rautatiekuljetuksista saatiin logistiikkaesimieheltä, Pohjois-Savon ELY-keskuksen tekemästä Itä-Suomen kuljetuskohdeselvityksestä sekä Liikenneviraston julkaisemasta ”Rata-verkon raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen” -selvityksestä.

Uittoyhdistyksen kehittämispäällikköä haastatteleamalla selvitettiin uittokuljetuksen ajanmenekkiä, uittokaluston soveltuvuutta proomukuljetuksiin sekä uiton pudotuspaikkojen käyttömahdollisuuksia aluskuljetusten lastauspaikkana. Uitonpudotuspaikoista ja Pielisen satamista löytyi tietoa myös Itä-Suomen kuljetuskohdeselvityksestä.

Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa hyödynnettiin VTT:n tuottamaa Lipasto -laskentajärjestelmää. Laskentajärjestelmästä löytyi tavaraliikenteen päästöt niin auto-, juna- kuin vesiliikenteellekin. Laskennan pohjana käytettiin tonnikilometreinä mitattavaa kuljetussuoritetta, joten puutavaran mittayksikkö muutettiin tonneiksi kertomalla $1\,900\text{ m}^3$ männyn tuoretiheydellä. Mäntykuitupuun tuoretiheys Etelä-Suomessa on tutkimusten mukaan kuljetuskokeilun aikaan syyskuussa 860 kg/m^3 (Metsäntutkimuslaitos 2005, 27). Kuljetettavan puutavaran massaksi saatiin näin ollen noin 1 600 tonnia.

Autokuljetuksen päästöt laskettiin käyttäen täysperävaunuyhdistelmien maantieajon yksikköpäästöjä kertoen ne kuljetussuoritteella. Päästötasona käytettiin vuoden 2011 keskimääräisiä arvoja täydellä 40 tonnin kuormalla. Lipasto -laskentajärjestelmästä löytyy päästökertoimet myös puskuproomuille, mutta arvot on määritetty suuremmille merikelpoisille aluksille, jotka käyttävät polttoaineenaan raskasta polttoöljyä. Niinpä Pielisen proomukuljetuksissa käytettävän polttoaineen eli moottoripolttoöljyn päästökertoimet selvitettiin sähköpostin välityksellä VTT:n erikoistutkijalta, joka on ollut kehittämässä myös Lipasto -laskentajärjestelmää. Kertoimet saatiin muodossa g/kg, joten laskennassa tuli ottaa huomioon käytettävän polttoaineen tiheys. Suomessa käytettävän kevyen polttoöljyn tiheys on 870 kg/m^3 eli litra polttoainetta on 0,87 kilogrammaa (Alakangas 2000, 137).

Aluskuljetusten simuloinnit tehtiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa käyttäen Witness-ohjelmistoa. Simulointiin käytetyt parametrit saatiin koekuljetusta seuraamalla sekä Parkon miehistöä ja Mopro Oy:n toimitusjohtajaa haastatteleamalla. Simulointimalli muokattiin Karttusen ym. (2008) ja Korpisen ym. (2011) käyttämien simulointimallien pohjalta. Kustannuslaskentaan hankittiin vielä erikseen tietoja materiaalikäsitteilykoneen kustannuksista konevalmistaja Liebherriltä.

9 Tulokset ja päätelmät

9.1 Aluskuljetuskaluston valinta Pieliselle

Vuoksen vesistöalueella toimii kymmenkunta aluskuljetusyriytystä (Karttunen ym. 2007, 25). Osa yrityksistä on erikoistunut saarihakkuihin sekä saarikohteiden puunkorjuuseen ja -kuljetukseen. Pelkästään satamista ja lastauslaitureilta tapahtuvaa puutavaran aluskuljetusta tekee muutama yritys. Kuljetuskalustoa löytyy tämän vuoksi melko monipuolisesti: pienistä kansilastiproomuista aina suurempiin ruumaproomuihin (taulukko 2). Taulukkoon on koottu mittojen puolesta Pielisen laivareitille sopivaa aluskuljetuskalustoa. Tällä hetkellä Suomesta ei löydy Pieliselle soveltuvia moottoriproomuja.

Taulukko 2. Pieliselle soveltuvaa proomukuljetuskalustoa. (Mukaillen Karttunen ym. 2007, 25.)

Hinaaja, syväys (m)	Proomu, syväys (m)	Maksimilasti (k-m ³)	Omistaja
Parkko (2,80)	Sampo (2,65)	2 000	Fin-Terpoo Oy
	Kuutar (2,40)	1 000	Fin-Terpoo Oy
	Väinämöinen (2,40)	1 000	Fin-Terpoo Oy
	Vorokki (3,95)	2 700	Fin-Terpoo Oy
Hanhi (2,20)	Sotka (1,90)	1 200	Järvikuljetus M. Papunen Oy
	Marlene (1,70)	885	Järvikuljetus M. Papunen Oy
Arvo (1,80)	JSU I (1,80)	500	Järvi-Suomen uittoyhdistys
	JSU II (1,80)	500	Järvi-Suomen uittoyhdistys
Halli (2,00)	Alli 10 (1,70)	700	Metsäurakointi Lempiäinen V. & J. Ky
Jermac (2,80)	Annuska (3,40)	2 000	Pielis-Laivat Oy
Tapio (2,4)	Juri (1,70)	1 000	Saarisavotta Oy
Pusku (1,85)	Pölli 7 (1,70)	750	Tmi Tapani Kankkunen
Kemi 1 (2,80)	Partner (3,00)	1 600	*Idäntie Ky

* Yritys toimii tällä hetkellä Suomen rannikoseudulla. Muut yritykset toimivat Vuoksen alueella.

Meriväylillä ja esimerkiksi Vuoksen vesistöllä liikkuvia laivoja ja aluksia sekä niiden tietoja on mahdollista seurata Internetistä AIS -palvelun kautta. Kesän ja syksyn 2012 aikana tehdyn AIS -palvelun seuraamisen perusteella Vuoksen vesistöalueella liikkuvat ulkomaiset alukset eivät mittojen ja syväyksen puolesta olleet Pielisen laivareitille soveltuvia.

Kuljetuskalustoa valittaessa yksikkökustannusten kannalta olisi järkevintä käyttää lastikapasiteetiltaan suurinta mahdollista proomua. Suurella kalustolla on yleensä myös suuri syväys, joten vedenkorkeuden vaihtelu ja väyläsyvyys voivat rajoittaa kuljetuksia. Taulukossa 2 esitetystä kalustosta kannattavinta olisi siis käyttää Sampo-, Vorokki- tai Annuska-proomua. Vorokki-proomun syväys on täydessä lastissa 3,95 metriä, mikä on aivan liian suuri Pielisen laivaväylälle. Mopro Oy:n toimitusjohtajan mukaan Vorokilla olisi kuitenkin teoriassa mahdollista kuljettaa vajaalla lastilla noin 1 400 m³ puuta myös Pieliseltä, lastia voitaisiin täydentää esimerkiksi Joensuussa. Annuska-proomun syväys on myös suuri, mutta sillä on tehty vielä 2000-luvullakin säännöllisiä kuljetuksia Pielisellä. Annuska-proomu on kuitenkin syvyyksen puolesta riskialttiimpi vedenkorkeuden muutoksille kuin Sampo-proomu.

Pienproomut käyttöön Pielisellä -projektissa pidettiin kesäkuun 25. projektihenkilöiden kanssa aluskuljetuspalaveri, jossa suunniteltiin kuljetusten toteuttamista ja käytettävää kalustoa Pielisellä. Paikalla oli edustajia Metsähallituksesta, Fin-Terpuu Oy:stä, Järvi-Suomen Uittoyhdistyksestä ja Mopro Oy:stä. Ennen kokousta oli jo päätetty, että Pielisen kuljetuskokeilussa työntöaluksena toimii Fin-Terpuun Oy:n Parkko-hinaaja, koska yrityksellä ei tällä hetkellä ole muita 2,4 metrin laivaväylälle soveltuvia hinaajia.

Käytettävän proomukaluston vaihtoehtoja mietittiin isomman, noin 2 000 m³:n, Sampo-proomun ja 1 000 m³:n ”pienproomun” välillä. Proomukuljetuksille parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin asiantuntijoiden keskusteluissa noin 2 000 m³:n proomu. Koska Parkko-hinaajan syväys on suurempi kuin kummankaan proomuvaihtoehdon maksimisyväys, ei pienproomulla saada merkittäviä hyötyjä edes matalan vedenkorkeuden aikaan, sillä silloin työntöaluksen suurempi syväys rajoittaa kuljetuksia joka tapauksessa.

Sampo-proomulla voidaan kuljettaa noin kaksi kertaa enemmän puuta kuin pienproomulla. Ohjattavuus on Sampo-proomussa keulapotkurin ansiosta pienempi proomua parempi riippumatta siitä, onko vedenkorkeus matala vai korkea. Ohjattavuus on erittäin tärkeä ominaisuus Pielisjoen mutkaisella ja voimakkaan virtaaman reitillä, jossa myös vedenkorkeus voi vaihdella paljon.

Palaverissa todettiin, että isomman proomun kuljetus vie Pielisjoella ajallisesti noin neljä tuntia kauemmin kuin pienen 1 000 m³:n proomun. Pienproomu voidaan suluttaa Pielisjoen kanavissa yhdessä työntöhinaajan kanssa, mutta Sampo-proomun kanssa hinaaja sekä proomu joudutaan suluttamaan erikseen. Sampo-proomun suluttaminen onnistuu kuitenkin ilman erillisen apuhinaajan käyttöä, sillä Sampo-proomua voidaan ajaa lyhyitä matkoja, esimerkiksi kanaavaan ja kanavasta pois, sen oman potkurilaitteiston avulla.

Pienproomun käytön etuna Sampo-proomuun nähden olisi se, että puutavaraa ei tarvitsisi hankkia niin paljon kerralla: 1 000 m³ puuta on sekä helpompi että nopeampi kerätä ja kuljettaa lastauspaikalle kuin 1 900 m³ puuta. Pienproomussa kustannuksia kuutiometriä kohti tosin tulee enemmän kun työvoimatarve ja polttoainekustannuksetkin pysyvät suurin piirtein samana. Pienproomujen etuna on se, että puutavara voidaan lastata kyytiin tehokkaasti poikkisuuntaisesti, toisin kuin Sampo-proomussa, mikä vähentää puutavaralastissa kuljetettavan ilman määrää ja ongelmia tukitolppien kanssa (kuva 5).



Kuva 5. Sampo-proomuun puutavara joudutaan lastaamaan pitkittäin proomun suuntaisesti, jolloin pinot on tuettava tolppien avulla. Pinojen väliin jää tyhjää tilaa. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Palaverissa selvisi, että uiton hinaajakalusto soveltuisi pienten proomujen kuljetukseen, mutta suurempien proomujen työntäminen edellyttäisi hinaajan modifiointia. Uittokaluston yhteiskäytön, samanaikaisesti proomukuljetukseen ja uittoon, ei uskottu tuovan kustannussäästöjä. Tällä toimintamallilla työvoimakus-

tannukset olisivat kuitenkin samat kuin proomukuljetuksessa ja kuljetusnopeus olisi uiton takia selvästi hitaampaa kuin pelkissä proomukuljetuksissa.

Aluskuljetuskauden pituus vaihtelee huhti-toukokuusta marras-joulukuuhun. Kuljetuskausi alkaa yleensä lähes heti kun Saimaan jäät murretaan keväällä. Syksyllä kuljetuskausi kestää suurin piirtein jäiden tulon saakka, parhaimmillaan kuljetuskausi on loppunut vasta loppiaisena. Normaali kuljetuskauden pituus on noin kahdeksan kuukautta, jonka aikana puuta ehditään Sampo-proomulla ajaa tehtaille yli 100 000 m³. (Rautiainen 2012.)

Fin-Terpuu käyttää aika-ajoin Karttusen ym. (2007, 24) mainitsemaa vaihtoproomulogistiikkaa. Sampo-proomu tuodaan lastattuna Lappeenrannan sellu-tehtaalle, jossa se jätetään laituriin purettavaksi, samalla kun Parkko-hinaaja suuntaa jo kohti seuraavaa lastauspaikkaa kahden pienproomun kytkyeen kanssa. Toimintamalli nopeuttaa kaluston kiertoa ja vähentää tehotonta odotusaikaa. Parhaassa tapauksessa käytettäisiin kolmea isoa proomua, jolloin yksi proomu voisi olla lastattavana, toinen kuljetettavana ja kolmas purettavana tehtaalla. Toimintamalli edellyttäisi kuitenkin paikkoja, jossa proomuja voitaisiin oikeasti säilyttää, siten etteivät ne haittaa muita aluskuljetustoimituksia. Esimerkiksi Joutsenossa tehtaalla pitäisi olla oma hinaaja, jotta proomu voitaisiin siirtää pois tieltä muiden alusten saapuessa purkulaiturille.

Vesitiekuljetuksissa kalustovalinnalla voidaan siis saavuttaa selkeitä etuja: käytettäessä hinaajan ja proomun kytkyettä, moottoriproomun tai laivan sijaan, voidaan kaluston käyttötehokkuutta parantaa merkittävästi useamman proomuyksikön mallilla, jolloin saadaan vähennettyä hinaajan turhaa seisottamista lastaus- ja purkupaikoilla. Käyttötehokkuuden parantaminen voisi nostaa vuotuisia kuljetusmääriä selvästi. Erilaisia toimintamalleja testattiin opinnäytetyössä aluskuljetusten simuloinnin avulla.

9.1.1 Parkko-hinaaja

Kuljetuskokeilussa käytettäväksi valittu Parkko-hinaaja on Rauma Repola Oy:n vuonna 1966 rakentama alus. Pituutta Parkolla on 22,43 m ja leveyttä 6,58 m. Korkeus on maston kanssa noin 12 metriä ja ilman mastoa noin 7 metriä. Parkon syväys on 2,8 metriä ja kulkunopeus ilman lastia noin kahdeksan solmua eli

15 km/h ja täyden proomulastin kanssa noin kuusi solmua eli 10–11 km/h. Kulunopeuteen vaikuttaa kuitenkin aina veden virtaukset ja tuuli. Hinaaja on tehollaan 535 kW ja sen polttoainetankin koko on noin 24 tonnia. Parkko kuluttaa tunnissa noin 105 litraa moottoripolttoöljyä. Parkkoa ajaa nelihenkinen miehistö, josta puolet on vuorollaan kuusi tuntia töissä ja puolet lepovuorossa. (Rautiainen 2012.)

Parkko-hinaaja on siis syväykseltään 2,8 metriä eli se ui 0,4 metriä syvemmillä kuin mitä Pielisen väyläsyvyys on. Kesällä 2012 vesi oli Pielisellä kuitenkin yli puoli metriä normaalitasoa ylempänä, mikä mahdollisti Parkko-hinaajan käytön. Väyläsyvyyteen lasketun varaveden turvin Parkkoa on mahdollista käyttää Pielisellä todennäköisesti myös kuivempina kesinä.

9.1.2 Sampo-proomu

Sampo-proomu on Jugoslaviassa vuonna 1988 rakennettu ruumaproomu. Proomun kokonaispituus on 76,90 m ja leveys 10,96 m. Sampo kantaa reilun 1 600 tonnin lastin, kuitupuuta siihen mahtuu siis noin 1 900 m³. Proomun uintisyvyys riippuu siitä, kuinka täyteen se on lastattu ja miten tuoretta ja painavaa puutavaraa on kyydissä. Maksimisyväys lastissa on 2,65 metriä. (Rautiainen 2012.)

Sampo-proomun etuosassa on keulapotkuri, jonka avulla proomua voidaan helpommin ohjailta. Kanavissa Sampo voidaan tarpeen tullen suluttaa keulapotkurin avulla jolloin kanavan läpi päästään ilman työntöaluksen tai aputyöntäjän käyttöä. Sampo pitää lastata tuoreella ja painavalla puutavaralla, jos sillä halutaan kuljettaa täysi 1 900 m³:n lasti. Jos puutavara on kuivaa ja kevyttä, proomu ei uppoa riittävästi, jolloin näkyvyys työntöaluksesta proomun eteen estyy täydessä lastissa (kuva 6).



Kuva 6. Sampo-proomun keulaa on vaikea havaita Parkko-työntöhinaajan ohjaamosta. (Kuva: Joonas Sorsa.)

9.2 Pielisen aluskuljetusten puunhankinta ja varastointi

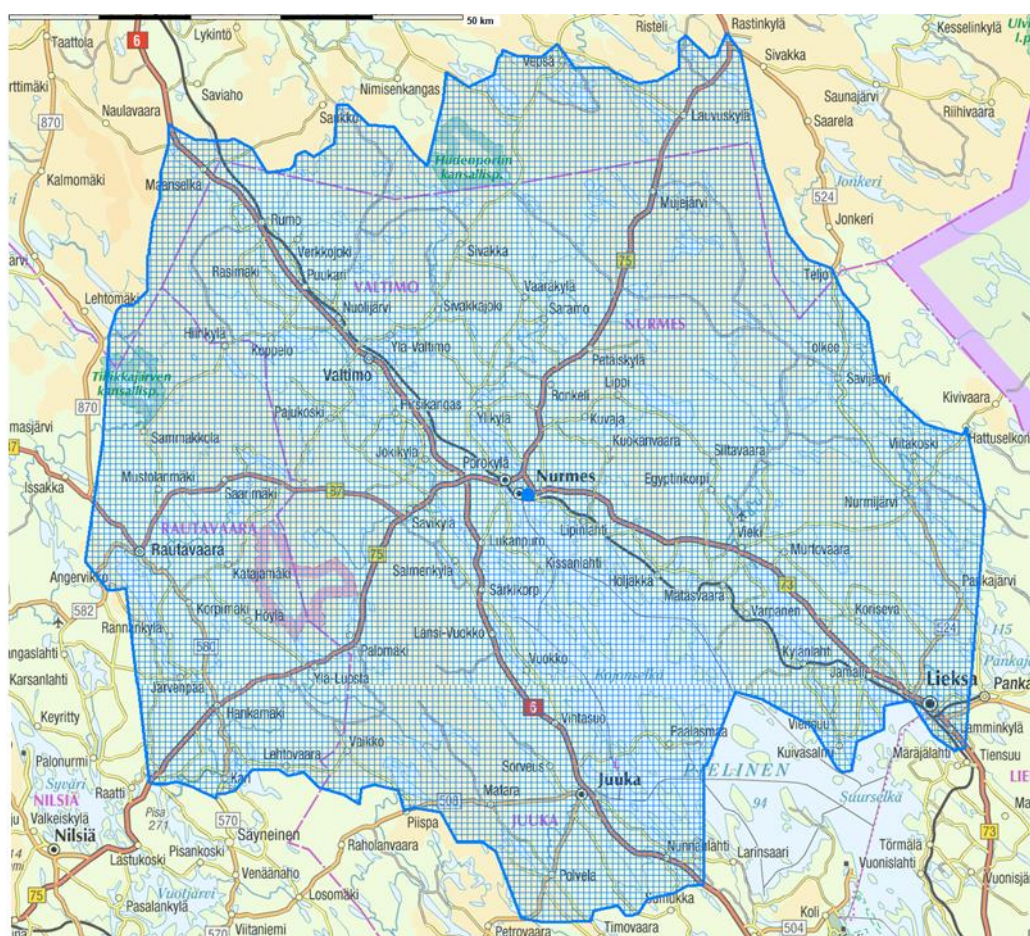
Puutavaralajeista etenkin tuoretta mäntykuitua on tarkoitus kuljettaa proomulla. Kuusikoissa harvennushakkuut tehdään pääsääntöisesti talvisin, joten tuoretta kuusikuitua ei kesään painottuvalla aluskuljetuskaudella ole paljon saatavilla, kuiva kuusikuitu kannattaa enemmän uittaa. Koivukuitu on koettu proomukuljetuksessa hankalaksi puutavaralajiksi mutkaisuuden ja keveyden vuoksi. Proomulla jouduttaisiin kuljettamaan vajaita lasteja tai proomua jouduttaisiin vaihtoehtoisesti hinaamaan, koska täydessä lastissa proomu ei uppoa riittävän syväälle, jotta hinaajasta nähtäisiin työntöproomun eteen.

Etelä-Saimaalle tämän hetken Pielisen ympäristön puutavarasta mänty- ja kuusikuitua viedään eniten Joutsenoon, mäntyä vähän myös Lappeenrantaan, koivukuitua viedään pieniä määriä sekä Lappeenrannan että Imatran sellutehtaille. Mäntykuitua Metsähallitus toimittaa Etelä-Saimaan sellutehtaille vuosittain noin 270 000 m³ Lieksan, Nurmeksen, Kuhmon ja Kajaanin alueilta (Siekinen 2012).

Pielisen aluskuljetuksiin Metsähallitukselta olisi saatavissa realistisesti ajateltuna vuosittain muutamia kymmeniä tuhansia kuutioita kuitupuuta, joten kuljetuksia voisi kesässä tulla kymmenkunta. Puutavaraa aluskuljetuksiin tuotaisiin to-

dennäköisesti Nurmeksien ja Lieksan alueiden lisäksi Kainuun eteläosista, esimerkiksi Kuhmosta kuitenkin enintään noin 60 kilometrin etäisyydeltä lastauspaikalta. Tällä hetkellä suurin osa Metsähallituksen Pielisen ympäristön kuitupuusta menee kuitenkin Uimaharjun sellutehtaalle. (Laiho 2012.)

Puutavarantoimitukset aluskuljetuksiin tulisivat siis noin 60 kilometrin säteeltä Nurmeksien lastauspaikalta (kuva 7). Pääosin puutavara tulisi lastauspaikan pohjoispuolelta, sillä kaakosta puut menevät suurimmaksi osaksi Uimaharjuun, kun taas kuvaan rajatun alueen länsireunoilta puut viedään lähempänä sijaitsevalle lisälmen lastauslaiturille odottamaan aluskuljetusta.



Kuva 7. Sinisellä tieverkoston perusteella mitattu enintään 60 kilometrin etäisyys Nurmeksien lastauspaikalta. Aluskuljetusten puutavara olisi siis peräisin siniseltä alueelta. (Kuva: Teuvo Kumpare.)

Uimaharjun tehtaan lähistöltä ei ole järkevää kuljettaa puuta proomulla vesiteitse yli 400 kilometrin päähän, kun puutavaran kuljetusmatka autolla on lyhyempi tehtaalle kuin proomun lastauspaikalle. Kuitenkin, jos Uimaharjun sellutehtaan

puutavaran vastaanottokyky tulevaisuudessa heikkenee, voi aluskuljetuksen määrät Etelä-Saimaalle kasvaa merkittävästi. Koska Pielisellä ei voida käyttää juurikaan yli 2 000 m³:n proomuja väyläsyvyyden vuoksi, tarvittaisiin kuljetettavan puumäärän kasvaessa todennäköisesti myös lisää matalaväylälle soveltuvaa proomu- ja hinaajakalustoa.

Tukkipuutakin voitaisiin kuljettaa proomuilla, mutta Pieliseltä katsottuna sahat ovat niin lähellä, että kuljetusmatka jäisi ainakin isolle proomulle turhan lyhyeksi. Pienemmässä mittakaavassa tukkia kannattaa kuljettaa proomulla sahoille esimerkiksi saarihakkuista. Pielisen rannoilla Nurmeksen ja Kevätniemen sahat käyttävät mäntytukkia, Uimaharjun saha puolestaan kuusitukkia. Järeämpää koivua taas voidaan toimittaa Joensuun vaneritehtaalle.

Kuljetuskokeilun, jota tarkastellaan myöhemmin, perusteella Nurmeksen sataman 45 metrin lastauslaiturille mahtuu puutavaraa kolmeen riviin pinottuna noin 1 200 tonnia. Etukäteen tuodun puutavaran lisäksi Sampo-proomuun pitää siis tuoda noin kahdeksantuntisen lastauksen aikana puutavaraa vajaa kymmenkunta autollista. Lastauksen sujuva toteutus vaatii huolellista suunnittelua ja riittävän autokapasiteetin, jotta puutavaraa saadaan puskuroitua tasaisesti kuormaajalle ja proomuun.

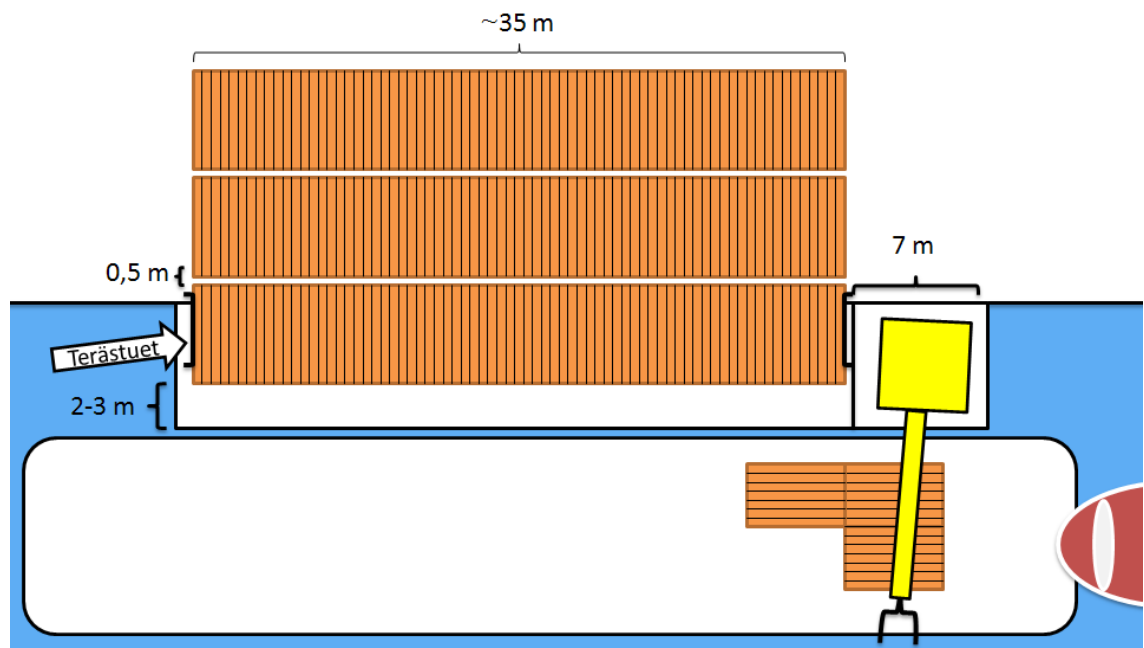
Vaikka puutavaraa saataisiin ahdettua Pielisen lastauspaikkojen yhteyteen tarvittavat 2 000 m³, ei suuren puutavaramäärän toimittaminen etukäteen lastauspaikalle ole välttämättä järkevää. Jos puutavaraa pinotaan laiturille sijoitetun kuormaajan toimintasäteen ulkopuolelle, tulee varastointiin yksi kallis pinovaihe lisää. Tällöin puutavara joudutaan lastaamaan uudelleen puutavara-auton kyytiin ja ajamaan muutamia kymmeniä metrejä lähemmäs laituria lastausetäisyydelle. Ylimääräisten pinovaiheiden ja turhien kustannusten välttämiseksi ei aluskuljetusta varten ole tällä hetkellä järkevää tehdä puskuri- tai terminaalivarastoja.

9.3 Alusten ja proomujen lastaus

Kesäkuussa 2012 pidetyssä aluskuljetuspalaverissa todettiin, että uiton pudotuspaikat eivät sovellu isompien proomujen lastaukseen. Ongelmia aiheutuu pudotuspaikan matalasta syvyydestä ja varsinaisen lastauspaikan puutteesta.

Suurempien alusten, kuten 1 900 m³:n Sampo-proomun lastaus onnistuu vain satamien lastauslaiturilta eli Pielisellä ainoat mahdolliset lastauspaikat ovat Juuan Retulahdessa ja Nurmeksen Ritoniemessä.

Nurmeksen lastauspaikalla kuormaaja kannattaa sijoittaa laiturin eteläpäähän, jotta proomuä ylletään lastaamaan sen molempiin päihin (kuva 8). Jos kuormaaja sijoitetaan laiturin pohjoispäähän, Sampo-proomun peräosaa ei yllätä lastaamaan, koska proomuä ei voida ajaa kuin enintään muutamia metriä kohti kuormaajaa, kunnes proomu on rantametsässä. Laiturin eteläreunaan pitää jättää kuormaajalle seitsemän metrin tila lastaamiselle. Lastauslaiturin etureunaan kannattaa jättää 2–3 metrin vyöhyke kuormaamisen helpottamiseksi. Pinojen väliin jätetään noin 50 cm tilaa. Pinot kannattaa pönkittää mahdollisuuksien mukaan terästuilla, jolloin pinoon saadaan puutavaraa enemmän.



Kuva 8. Kaavakuva Nurmeksen lastauspaikan järjestelyistä. Lastauslaituriin sopii enintään yksi pino, loput pinot sijoitetaan laiturin taakse, mistä kuormaaja yltää kuitenkin vielä lastaamaan puut proomuun. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Pienproomujen lastaus onnistuisi myös uiton pudotuspaikoilta, mutta pudotuspaikkojen käyttäminen lastaamiseen pitäisi järjestää ja sopia tapauskohtaisesti siten, että se ei häiritse uittotyötä. Koska pudotuspaikkoja ei ole suunniteltu proomujen lastaukseen, eivät niiden rakenteet palvele kovin hyvin aluskuljetus-

ta. Pudotuspaikoilla ei ole lastauslaituria johon puuta voitaisiin varastoida, joten puut pitäisi lastata pienproomuun suoraan puutavara-auton kyydistä.

Uiton pudotuspaikkojen käyttäminen edellyttää sitä, että aluksen tai proomun ja hinaajan maksimisyväys on enintään 2,2 metriä eli suurimpien alusten käyttö ei ole mahdollista. Pienproomujen käyttäminen johtaisi siihen, että aluskuljetuksen kuljetussuorite jäisi pieneksi, koska puuta saataisiin kuljetettua kerralla korkeintaan 1 000 m³. Yksikkökustannukset €/m³ nousisivat tällöin keskimääräistä aluskuljetusta suuremmiksi.

Pienproomuja voidaan tarpeen tullen lastata myös muualta kuin satamista tai uiton pudotuspaikoilta. Esimerkiksi saarihakkuissa käytetään usein proomuja: pienen syväyksen kansilastiproomut ajetaan lähelle rantaa, jolloin kuormatraktori pystyy ajamaan puutavaran ramppia pitkin suoraan proomuun. Hankalammissa kohteissa voidaan tarvittaessa hyödyntää myös erikoiskalustoa kuten erilaisia ponttonilauttoja joiden kautta puutavara voidaan lastata proomuun. Järvi-Suomen uittoyhdistys on käyttänyt Tielaitoksen vanhoja losseja kuormaajan alustana rannan ja pienproomun välissä (Purhonen 2012). Lautat ja lossit voivat toimia siis liikkuvina lastauslaitureina.

Ruotsissa saarihakkuista on korjattu puuta alun perin armeijalle valmistetulla maihinnousualuksella. Alus on muokattu puutavarakuljetukseen soveltuvaksi proomuksi, joka pystyy rantautumaan hyvin puutavaran lastausta varten. Lastaus tapahtuu proomun keulasta laskettavan rampin kautta, jota pitkin ajokone voi kuljettaa puut proomuun. Vanha maihinnousualus vetää noin 1 500 m³ puuta. (Trucking Scandinavia 2012, 4–9.)

Skotlannissa puolestaan on hyödynnetty siirrettäviä siltoja alusten lastaamisessa (kuva 9). Pieliselläkin voitaisiin periaatteessa soveltaa Skotlannin tyyppistä siltaratkaisua, jossa silta kuljetetaan omalla proomullaan rantaan. Kiinnitysvaiheessa silta käännetään poikkisuuntaisesti proomuun nähden ja tuetaan maahan vahvoilla hydraulisesti jatkettavilla tukijaloilla, jotka myös kannattelevat painoa kun sillan toinen pää on proomun varassa. Puutavara haetaan toisella proomulla. Skotlannin toimintamallissa kuormatraktori tai rekka tuo puutavara-lastin metsästä siltaa pitkin lastauslaiturina toimivalle siltaproomulle, josta puutavara lastataan viereen ajettuun alukseen. (JST Services 2012.)



Kuva 9. Siltaproomulta lastattu alus lähdössä tuotantolaitosta kohti. (Kuva: JST Services.)

Skotlannin siltakalustoa voitaisiin soveltaa Pielisellä esimerkiksi vanhojen lossien kanssa, jolloin saataisiin tukeva lastauslaituri eikä sillan kuljettamiseen tarvitsisi käyttää proomua. Toimintamalli voisi mahdollistaa puunkorjuun kohteista, joihin pelkällä kansilastiproomulla ei päästä. Ongelmaksi tällaisen erikoiskaluston käytössä saattaa kuitenkin tulla kustannukset, jotka nousevat varmasti kun kuljetuksessa tarvitaan paljon työvoimaa ja raskasta kalustoa. Lastaus olisi myös hidasta, sillä puutavara pitäisi siirtää alukseen auton tai ajokoneen kyydistä.

9.4 Aluskuljetus Pielisellä

9.4.1 Kuljetuskokeilu

Aluskuljetusprojektin tiimoilta Metsähallitus ja Fin-Terpuu Oy järjestivät syyskuussa 2012 kuljetuskokeilun, jossa raakapuuta kuljetettiin yksi lasti Sampo-proomulla Nurmeksesta Joutsenoon. Sampo-proomun ja Parkko-hinaajan matka ilman lastia Joensuusta Nurmeksen satamaan kesti noin 15 tuntia ja 20 minuuttia. Nurmeksen satamaan alus saapui keskiviikkona 26.9. klo 20.40. Lastauksen aloittaminen oli sovittu vasta torstaiaamuksi, joten proomu odotti yön tyhjiään. Kuormaaminen onnistuisi myös pimeässä kuormaajan ja Parkko-hinaajan valoilla. Nurmeksen sataman valaistuksen parantaminen helpottaisi lastausta.

Proomun lastaus alkoi 27.9. aamulla klo 5.35 jolloin Sampo-proomun ruumaa alettiin täyttää satamaan valmiiksi tuodulla puutavaralla. Puutavara oli toiveitten mukaisesti painavaa, pinoissa oli muun muassa uitosta nostettua huonosti uinutta mäntykuitua noin 50 uittonipun verran. Puutavara oli pinottu kolmeen riviin ja ensimmäisen pinon reunoissa oli terästuet (kuva 10). Nurmeksens lastauspaikalle puutavaraa mahtui etukäteen pinottuna noin 1 200 tonnia, loput tarvittavasta puutavarasta puskuroitiin kahdella autolla, kun melkein kaikki kolme pinoa oli jo kuormattu.



Kuva 10. Ensimmäisen puutavarapinon lastausta Nurmeksessa 27.9.2012. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Lastauksen edetessä proomua jouduttiin liikuttelemaan edestakaisin, jotta kuormaaja ylsi lastaamaan proomua molempiin päihin. Siirtely johtui sekä lastauslaiturin lyhydestä että kuormaajan sijoittamisesta laiturin väärään päähän. Proomu jouduttiin lastauksen aikana ajamaan lähes rantametsään asti. Yleensä Sampo-proomun lastausaika vaihtelee 6–12 tunnin välillä riippuen työntekijöistä ja kalustosta (Rautiainen 2012). Parkko-hinaajan kipparin mukaan normaali lastausaika on noin kahdeksan tuntia. Kuljetuskokeilussa lastaus kesti yhteensä noin yhdeksän tuntia, jonka lopusta pari tuntia meni viimeisiä puutavara-autokuormia odotellessa.

Kuljetuskokeilun proomulasti lähti klo 14.40 kohti Uimaharjun siltaa, jonka uittojohteeseen oli tarkoitus jäädä yöksi odottamaan aamun valkenemista. Pielisjärven Suurselällä proomukuljetusta riepotteli voimakkaan vastatuulen aiheuttama ristiaallokko, joka hidasti kuljetusta. Kuljetusnopeus putosi normaalista kuudesta solmusta 5–5,5 solmuun eli nopeus oli lähes 2 km/h tavallista hitaampi. Uimaharjun sillalle puutavaralasti saapui perjantaina klo 00.10. Pielisjoelle ei kuljetuskokeilussa kannattanut lähteä pimeässä ottamaan turhia riskejä, sillä väylän poijuissa ei ole valoja, toisin kuin Saimaalla, myös osa väylämerkeistä puuttui.

Uimaharjasta kuljetus lähti kohti Joensuuta aamulla klo 5.50. Kaltimon kanavalle proomulasti saapui klo 8.10, jossa lähes satametrinen yhdistelmä jouduttiin suluttamaan hinaaja ja proomu erillään (kuva 11). Kaltimon sulkukanavalla aikaa kului 1 h 25 min, noin 10 minuuttia kauemmin kuin ilman lastia. Kuurnan kanavan sulutuksissa aikaa meni 1 h 15 min, joka oli vain noin 5 minuuttia kauemmin kuin ilman lastia. Jos Pielisellä käytettäisiin kalustoa, jossa proomua ja hinaajaa ei tarvitsisi irrottaa toisistaan, vaan kanavista selvittäisiin yhdellä sulutuksella, aikaa kuluisi sekä Kuurnassa että Kaltimossa noin 30 minuuttia. Yhteensä aikaa säästyisi siis noin 1 h 40 min.



Kuva 11. Sampo-proomu Kaltimon kanavassa sulutettavana ilman Parkkohinaajaa. (Kuva: Joonas Sorsa.)

Lyhyissä kanavissa Parkko-hinaajan koko nelihenkisen miehistön on oltava jalkeilla, sillä proomun ajamiseen ja sulutukseen erikseen tarvitaan kaksi henkilöä, samoin kuin hinaajan sulutukseen. Kanavilla miehistön lepo- ja työrytmi menee sekaisin, sillä normaalisti puolet miehistöstä lepää kuusi tuntia, samalla kun toiset kaksi tekevät töitä kuusi tuntia. Lepoajan menetys pitää siis korvata jossain vaiheessa kuljetusta.

Joensuun kanavalle proomukuljetus saapui perjantaina 28.9. klo 15.30. Joensuussa alus joutui pysähtymään hetkeksi kanavan ja Länsisillan jälkeen, sillä Suvantosillan on oltava alhaalla pelastuslaitosta varten, jos Länsisilta on ylhäällä. Joensuusta kuljetus jatkoi matkaansa kohti Joutsenon sellutehdasta, jossa se oli perillä lauantaina 29.9. klo 16.50 (Rautiainen 2012). Kaikki tauot huomioiden kuljetus Nurmeksen satamasta Joutsenoon kesti siis 50 tuntia ja 10 minuuttia.

Kokonaisuudessaan Parkko-hinaaja työnsi Sampo-proomua edestakaisella matkalla Etelä-Saimaalta Nurmekseen ja takaisin Joutsenoon noin viisi päivää. Ideaalilla aikataululla lähtö Joensuusta kohti Nurmesta tehtäisiin syksyisin heti aamulla jolloin proomu ehtisi yöksi lastattavaksi Nurmekseen, proomukuljetus voisi lähteä heti seuraavana aamuna Joensuuhun ja ehtisi kulkea Pielisjoen osuuden valoisaan aikaan. Tällöin ajankäytöstä voitaisiin vähentää koekuljetuksessa pidetty Uimaharjun yötauco ja kuljetuksen kestoksi saataisiin 44 h 30 min. Jos aikataulut ei onnistu, menee edestakaisella reissulla syksyisin suurin piirtein viisi päivää, kun muutoin matkasta selvittäisiin noin neljässä päivässä.

Hyvissä sääolosuhteissa Pielisjärven osuus olisi kuljettu noin kuuden solmun nopeutta viiden solmun sijaan, jolloin kokonaiskuljetusajasta voitaisiin vähentää vielä noin tunti eli kuljetusaika olisi suunnilleen 43 tuntia ja 30 minuuttia. Jos kuljetus tehtäisiin kalustolla, jonka kuljetusnopeus olisi sama, mutta kokonaispituus alle 80 metriä, kuljetusaika lyhenisi 41 tuntiin ja 50 minuuttiin.

Proomulastin purkaminen kestää Joutsenon sellutehtaalla yleensä noin 12 tuntia, kuljetuskokeilussa purku tehtiin 11 tunnissa (Rautiainen 2012). Vastaavalla Lappeenrannan sellutehtaalla purkaminen tapahtuu puolestaan noin kahdeksassa tunnissa eli samassa ajassa kuin proomun lastaaminen. Purkamisen osalta ajankäyttöä voidaan tehostaa ainakin Joutsenon tehtaalla, jossa pa-

himmat pullonkaulat ovat purkukaluston ja -henkilöstön vähyydessä sekä toimintastrategiassa. Ajankäyttö riippuu täysin tehtaan päätöksistä ja henkilökunnan toiminnasta.

Joutsenossa lastia ei pureta satamakentälle kuten muilla sellutehtailla vaan puutavaraa kuljetetaan terminaalitraktorin vetämillä puutavaravaunuilla suoraan tuotantoon. Kuormaaja joutuu odottelemaan vaunujen tyhjentämistä ja terminaalitraktorin palaamista. Purkaminen voi keskeytyä Joutsenossa helposti myös henkilökunnan ruokataukoihin tai työvuorojen vaihtumiseen. Turhaa odottelua saattavat aiheuttaa myös muut aluskuljetukset sekä junakuljetukset, mikäli ne saapuvat tehtaalle juuri ennen proomulastia.

Aikaa koekuljetuksessa meni lastaus sekä purku mukaan laskettuna yhteensä 64,5 tuntia. Kokonaisajanmenekin tarkastelussa ei huomioida koekuljetuksessa pidettyä yötaukoa, koska vakiintuvat kuljetukset järjestettäisiin siten, että yötaukoa ei tarvitse pitää. Havainnoinnin ja Parkon miehistön teemahaastattelujen pohjalta taulukkoon 3 on koostettu koekuljetuksen ajanmenekkiä ja huomioita muun muassa ajanmenekin tavallisista vaihteluväleistä.

Taulukko 3. Kuljetuskokeilun ajanmenekki ja siihen liittyviä huomioita.

	Ajanmenekki (h)	Huomioita
Lastaus	9	Vaihtelee 6–12 tunnin välillä, normaalisti 8 h
Pielinen	9,5	Pielisellä kova vastatuuli, yötauko 5 h 40 min
Pielisjoki	10	Kaltimon ja Kuurnan kanavissa aikaa kului yhteensä 2 h 40 min
Saimaa	25	Voi vaihdella hieman riippuen sääolosuhteista
Purku	11	Kestää yleensä noin 12 h
Yhteensä	64,5	Kuljetuksen kesto 44,5 h

Edellytyksiä Pielisen aluskuljetuksille voitaisiin myös parantaa. Jatkuvia kuljetuksia varten Pielisjoen ja Pielisjärven laivaväylälle tarvittaisiin valopoijuja ja tarkempia väylämerkintöjä. Nurmeksen satamassa puutavaran lastaukselle saisi helposti lisää tilaa raivaamalla puustoa ja paikalle kertynyttä romua ja roskaa pois. Lastauslaiturin pidentäminenkin ei olisi vaikeata järvelle päin, myös valo- ja voisi järjestää lastauspaikalle lisää.

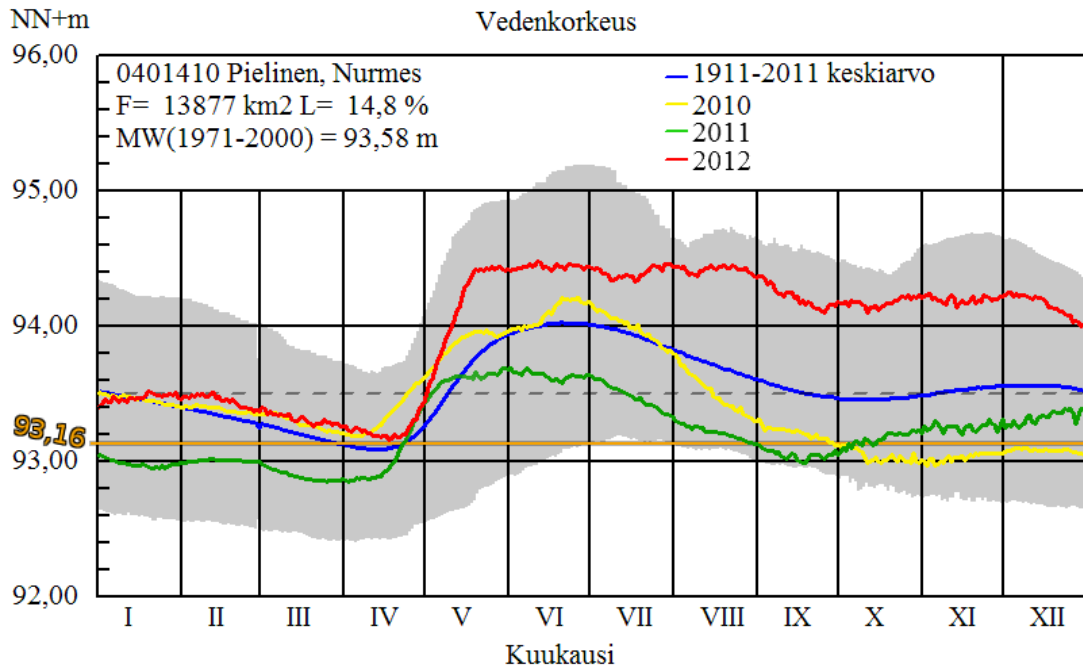
Käyttökokeilun ja proomukuljettajien haastattelujen perusteella selvisi, että aluskuljetuksessa on paljon kehittämismahdollisuuksia niin lastauksessa, kuljetuksessa kuin purkutoiminnoissakin. Tämän johdosta projektissa päätettiin käyttökokeilun lisäksi simuloida erilaisia toimintamalleja.

9.4.2 Aluskuljetuksen haasteet ja mahdolliset ongelmat

Aluskuljetusten suurin ongelma on Pielisen ja Pielisjoen vedenkorkeus. Pielisen aluskuljetusten onnistuminen pitkällä tähtäimellä edellyttää sitä, että kuljetukset suoritetaan pääosin korkean veden aikaan, toukokuun lopun ja elokuun lopun välisenä aikana. Alusyrittäjien mukaan paras kuljetusajankohta olisikin kesäkuun puolivälistä syyskuun puoleen väliin. Kuljetuskautta ei kannata aloittaa heti toukokuun alussa, koska tällöin Pielisjoen virtaama on kovimmillaan ja esimerkiksi väylämerkit painuvat tällöin helposti pinnan alle.

Valtion ympäristöhallinnon ylläpitämän ymparisto.fi -palvelun mukaan koekuljetuspäivänä 27.9.2012 Pielisen vedenkorkeus oli 94,16 metriä. Kyseisenä päivänä Nurmeksen lastauspaikan pienimmäksi syvyydeksi mitattiin 3,65 metriä, mikä saatiin lastauspaikan pohjoispäästä, läheltä rantametsää. Sampo-proomun maksimisyväys lastissa on 2,65 metriä, joten liikkumavaraa oli lastauspäivänä tasan yksi metri. Tulevaisuudessa Parkkoa ja Sampo-proomua käytettäessä vedenkorkeus ei saa laskea ainakaan alle 93,16 metrin tason, koska silloin Nurmeksen sataman syväys ei riitä täyden proomulastin ottamiseen.

Valtion ympäristöhallinnon vedenkorkeusarkiston (2013) perusteella vuosien 2001–2012 välisellä ajanjaksolla vedenkorkeuskäyrät olivat alimmillaan vuonna 2011. Vuoden 2011 kesä oli selvästi keskiarvoa kuivempi, jolloin Pielisen vedenkorkeus oli lähes puoli metriä keskiarvoa alempana, tällöinkin Sampo proomun lastaus olisi onnistunut toukokuun ja elokuun lopun välisenä aikana (kuvio 5). Kuviosta nähdään, että harmaalla esitetyissä vedenkorkeushavainnoissa sadan vuoden tarkasteluvälillä vesi ei ole laskenut heinäkuussa koskaan alle 93,16 metrin rajan. Heinäkuuta voidaankin tällä perusteella pitää aluskuljetuksen kannalta varmimpana kuljetusajankohtana Pielisellä.



Kuvio 5. Pielisen vedenkorkeuksia viime vuosilta verrattuna kriittiseen 93,16 cm tasoon. (Alkuperäiset kuviot: Valtion ympäristöhallinto 2013.)

Pielisen juoksutushankkeen selvitysten mukaan vedenkorkeudesta aiheutuu uitolle ja laivaliikenteelle huomattavaa haittaa, jos vedenkorkeus on alle 93,10 metriä merenpinnasta (Verta ym. 2006, 30). Koska Parkko-hinaajan syväys on vielä 40 senttimetriä suurempi kuin väylälle määritetty 2,4 metrin syvyys, voidaan olettaa, että aluskuljetuksille aiheutuu haittaa, jos vedenkorkeus on alle NN+ 93,50 metrin tason.

Proomukuljetuksille parhaiten soveltuvaksi ajankohdaksi määritettiin alusyrittäjän toimesta aikaväli 15.6.–15.9. Viimeisen kymmenen vuoden aikana vedenkorkeus on ollut alle NN+ 93,50 metrin tason aikavälillä 15.6.–15.9. elokuusta 2003, syyskuusta 2005, elokuusta–syyskuusta 2006 sekä heinä–syyskuusta 2011 (Valtion ympäristöhallinto 2013). Kymmenen vuoden aikana on siis ollut neljä kesää, jolloin kuljetuskautta olisi jouduttu rajoittamaan tai aikaistamaan, mutta vain vuonna 2011 kuljetuskautta olisi jäänyt alle kuukauden mittaiseksi. Kymmenessä vuodessa kuljetuskuukausia olisi tullut määritetyllä kuljetuskaudella tasan 30, joista perumaan olisi jouduttu NN+ 93,50 metrin vedenkorkeustason tulkinnalla kuusi.

Parkko-hinaajan 2,8 metrin syväys on Pielisen väylälle hiukan liian suuri, joten kesän 2011 kaltaisessa tilanteessa hinaajalle saattaisi tulla pohjakosketuksia Pielisjoen matalimmilla osuuksilla. Kuurnan ja Kaltimon kanavien välillä väyläsyvyys pidetään voimalaitosten lupaehtoihin perustuen aina laivaliikenteelle riittävänä juoksutusten avulla (Verta ym. 2006, 30). Ongelmia vedenkorkeuden kanssa voi kuitenkin tulla Kuurnan kanavan ja Joensuun välisellä osuudella.

Pielisjoella ei ole vedenkorkeuden mittauspisteitä, joten ainut seurattava mittari on Valtion ympäristöhallinnon virtaamatilastot, joista voi tehdä jonkin verran päätelmiä joen vesitilanteesta. Pielisjoen merikartassa (Merenkulkulaitos 2002) ei ole eritelty vedenkorkeuden vaihtelua, vaan koko laivareitti on merkitty väyläsyvyyden mukaan 2,4 metrin syvyiseksi. Liikenneviraston (2012b, 20) merikarttaohjelman mukaan Pieliselle ja Pielisjoelle julkaistaan uusi merikarttasarja aikavälillä 2013–2015, mikä sisältää tarkempaa tietoa laivaväylän syvyyseroista ja matalikoista. Uusi merikarttasarja helpottaa aluskuljetusten suunnittelua, kun Pielisjoen ongelmakohtien tarkat syvyudet ovat tiedossa.

Aluskuljetuksiin vaikuttaa vedenkorkeuden lisäksi monet muutkin tekijät. Avattavien siltojen ja sulkukanavien toimivuus on ehdoton edellytys Pielisen aluskuljetuksille. Siltojen nostolaitteissa piilee aina omat riskinsä; jos laitteeseen tulee teknisiä ongelmia, joutuu aluskuljetus odottelemaan Pielisjoella niin kauan kunnes vika on korjattu. Pahimmassa tapauksessa nostolaitteiden huoltomies tulee toiselta puolelta Suomea ja aluskuljetus on useita tunteja toimeettomana. Parkon miehistö piti rautatiesiltojen nostolaitteita kaikkein riskialteimpina.

Sumu on yksi aluskuljetusten mahdollinen ongelma: sakealla sumulla kuljetus voidaan joutua pysäyttämään kokonaan, koska navigointi pelkästään teknisiä apuvälineitä käyttäen on riskialtista. Sumuherkkyys on syksyisin suurin, kun Pielisjoen lämmin vesihöyry tiivistyy kylmään ilmaan aiheuttaen hyvin sakeaa sumua. Kova tuuli voi myös haitata aluskuljetusta. Yli 12 m/s puhaltava sivutuuli alkaa olla työntöhinaajan ja proomun yhdistelmälle liian kova, sillä se nostattaa suuria aaltoja isoilla järvien selillä. Vastaan puhaltava tuuli myös hidastaa aluskuljetuksen vauhtia.

Aluskuljetuskalusto, ja etenkin hinaajat, ovat kymmeniä vuosia vanhoja, eikä kalustoa ole Suomessa paljon. Jos hinaajasta hajoaa jokin osa, joudutaan varaosia etsimään todennäköisesti ulkomailta, pahimmassa tapauksessa on teettävä kokonaan uusi osa. Koska korvaavaa hinaajakalustoa ei ole, voi kuljetukset keskeytyä pahimmillaan viikoiksi.

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan myös vesistöjen vedenkorkeuteen. Pielisellä suurimmat vedenkorkeudet ovat tulevaisuudessa talvella ja alkukeväästä, sen sijaan kesän vedenkorkeudet alenevat. Jos Pielistä ei tulevaisuudessakaan säännöstellä, vedenkorkeuksien vaihtelu lisääntyy, mikä lisää tulvien ja toisaalta kuivuuden aiheuttamia ongelmia. Selviä muutoksia voidaan havaita Pielisellä jo 30–60 vuoden päästä. (Veijalainen, Jakkila, Nurmi, Vehviläinen, Marttunen & Aaltonen 2012, 29.)

Tulevaisuudessa aluskuljetuksia uhkaa myös työvoimapula: tällä hetkellä Parkko-hinaajallakin henkilöstön ikärakenne on sellainen, että 10–20 vuoden sisällä suuri osa miehistöstä on jäämässä eläkkeelle. Nuoria alalla on vähän ja uutta henkilöstöä on vaikea houkuttaa työhön, jossa työrupeama kestää aina kaksi viikkoa kerrallaan.

9.5 Pielisen aluskuljetuksen vertailu muihin kuljetuksiin

9.5.1 Iisalmen aluskuljetus

Vesiteitse Iisalmen Peltosalmeilta on matkaa Joutsenon sellutehtaalle 256 merimailia eli 474 kilometriä. Nurmeksesta Joutsenoon matkaa on laivaväyliä pitkin puolestaan 471 kilometriä, eli käytännössä etäisyys on lähes sama. Kuljetukset Pielisen ja Iisalmen laivareiteillä on hyvin samankaltaiset: molemmissa puutavaraa joudutaan kuljettamaan aluksi 2,4 metrin syvyyisellä laivaväylällä, joka on Parkko-hinaajalle varaveden turvin juuri ja juuri riittävän syvä.

Kuljetusaika Peltosalmeilta Joutsenoon vaihtelee 38–44 tunnin välillä, keskimääräinen kuljetusaika on siis noin 41 tuntia. Pielisen kuljetuskokeilun kesto Nurmeksesta Joutsenoon oli yötaukoa laskematta 44 tuntia 30 minuuttia. Kuljetusajassa mitattuna aikaero on siis vain kolme ja puoli tuntia eli Nurmeksesta kuljetus kestää noin 8,5 % pidempään kuin Peltosalmi–Joutseno välillä. Kyseinen

ero voidaan ottaa helposti kiinni jo pelkästään kuljetuksen purkukohteen valinnalla: Lappeenrannassa purku on keskimäärin 5–6 tuntia nopeampaa kuin Joutsenossa.

Peltosalmen laivareitin ja Nurmeksen kuljetusten välinen 8,5 prosentin ero ajanmenekissä selittyy seuraavilla tekijöillä:

- Iisalmen reitin kanavien sulut ovat pitkiä, joista proomu ja hinaaja pääsevät kytkettynä kerralla nopeasti läpi. Pielisjoella kanavat ovat taas lyhyempiä ja Parkko-hinaaja sekä Sampo-proomu joudutaan suluttamaan Kaltimon ja Kuurnan kanavissa erikseen.
- Pielisjoella vauhtia joudutaan hidastamaan mutkaisuuden, suuremman virtaaman ja useampien siltojen vuoksi.

Peltosalmen reitillä hyvät väylämerkinnät ja melko suora ajoreitti mahdollistavat aluskuljetukset yöllä. Pielisen reitillä osittain puutteelliset väylämerkinnät sekä valopojijujen puute ja reitin mutkaisuus vaikeuttavat aluskuljetusten järjestämistä pimeällä. Pielisen reitillä sumuherkkyys on Peltosalmen reittiä selvästi suurempi Pielisjokea ympäröivien suoalueiden takia. Vedenkorkeuden pienemmän vaihtelun ja hyvin hoidetun laivaväylän vuoksi aluskuljetuskausi on tällä hetkellä Peltosalmella Pielistä pidempi. Peltosalmen reitillä kanavien sulkulaitteet ovat lämmitettäviä, joten sulkukanavia voidaan käyttää vielä pakkasellakin toisin kuin Pielisellä. Peltosalmelta aluskuljetuskausi voi kestää noin kuuden kuukauden ajan, kun Pielisellä realistinen kuljetuskausi on noin kolmen kuukauden pituinen.

9.5.2 Rautatiekuljetus

Lastaus on samankaltaista sekä rautatie- että aluskuljetuksessa. Käytettävä kuormainkalusto on samanlaista ja ajanmenekissä ei ole suuria eroja. Rautatiekuljetuksessa kuitupuu tulee puutavaravaunun kyytiin suoraan tienvarsipinosta, kun taas aluskuljetuksessa puutavaraa joudutaan usein purkamaan ja pinoamaan lastauspaikalla ennen kuormaamista. Aluskuljetuksessa tuleekin helposti yksi hidastava ja kustannuksia nostava lastaus- ja purkuvaihe enemmän kuin junakuljetuksessa kun lastauspaikalle tuotua puutavaraa joudutaan ajamaan lähemmäs kuormaajaa. Aluskuljetuksen melko suuri puskurointitarve sitookin puutavara-autoja enemmän ja pidemmäksi ajaksi kuin rautatiekuljetus.

Rautatieosuus Joensuun ja Nurmeksen Porokylän välillä kuuluu niin sanottuun alempiasteiseen rataverkkoon jota ei ole sähköistetty, joten kuljetuksissa joudutaan käyttämään dieselvetureita ympäristöystävällisempien sähkövetureiden sijaan. Porokylän lastauspaikan kuormausraiteiden yhteispituus on 754 metriä, joten paikalla voidaan lastata parhaimmillaan 36 ”Sp-tyyppistä” puutavaravaunua, jolloin junalla voidaan kuljettaa vajaat 2 200 m³ puuta. (Iikkainen & Sirkiä 2011.)

Metsähallituksen logistiikkaesimiehen mukaan tyypillinen junakuljetus Porokylästä on 24 puutavaravaunun ”kokojuna”, jossa mäntykuitua kulkee noin 1 300 m³. Junakuljetus Nurmeksen Porokylästä Joutsenon sellutehtaalle kestää noin 34,5 tuntia (Laiho 2012). Junakuljetus on siis noin 10 tuntia nopeampi kuljetusvaihtoehto kuin aluskuljetus Nurmeksestä Joutsenoon. Kuljetusajassa ei ole kuitenkaan ratkaisevan suurta eroa, sillä molemmissa kuljetus kestää pitkälti yli toista päivää. Rautatiekuljetuksen vahvuus aluskuljetukseen nähden on kuljetusten ympärivuotisuus, kun aluskuljetukset voidaan suorittaa vain sulan veden aikaan.

9.5.3 Uitto

Aluskuljetuksen kalustovaatimukset vaihtelevat hiukan verrattuna uittoon: proomun kanssa tarvitaan korkeahyttinen ja tehokas hinaaja kun taas uittoon riittää matalarakenteisempi ja pienempi 300–500 kW:n hinaaja. Uitossa hinaajan lisäksi tarvitaan apualuksia uittonippujen hallintaan. Uiton pudotuspaikalla tarvitaan tavallisen kuormaajan sijaan kurottajatruckia, joka siirtää nipun puutavara-autosta veteen, sekä nippujen kokoamiseen ja siirtelyyn sopivaa venekalustoa (Metsäteho 2010).

Uitto työllistää nippuhinaajan neljän hengen miehistön, kurottajatruckin kuljettajan, muutamia puutavara-auton kuljettajia sekä erilaisia sekatyöläisiä esimerkiksi uittonpudotuspaikalla. Työntekijät ja henkilöiden määrät vaihtelevat kuitenkin paljon uiton eri vaiheissa, esimerkiksi uiton järviosuuksilla selvittää hinaajan neljän hengen miehistöllä kun taas kanavissa tarvitaan kahdeksan työntekijää sujuvaan sulutukseen (Purhonen 2012). Kuljetusketjun työvoimatarvetta on siis vaikea verrata aluskuljetukseen.

Uitto Nurmeksen Kannaslahden pudotuspaikalta Joutsenoon kestää noin kolme viikkoa ja matkaa noin 15 000 m³:n uittolautalle kertyy 432 kilometriä (Purhonen 2012). Uiton kuljetusvolyymit ovat yhdellä kertaa moninkertaiset verrattuna aluskuljetukseen, eikä kuljetuskalusto riittäisi vastaavien puumäärien kuljettamiseen vaikka aluskuljetus olisikin hinnaltaan kilpailukykyinen.

Jos uiton 15 000 m³ ajettaisiin hypoteettisesti proomulla Nurmeksesta Joutsenoon, ja edestakaiseen matkaan menisi viisi päivää, menisi Sampo-proomulla puutavaran toimitukseen noin 40 päivää eli suurin piirtein kaksinkertainen aika uittoon verrattuna. Toisaalta, jos esimerkiksi tietty vajaan 2 000 m³:n puutavara-lasti halutaan nopeasti perille, aluskuljetus toimittaa lastin suunnilleen kahdessa päivässä määränpäähän, eli noin kymmenen kertaa nopeammin kuin uitto.

9.6 Kasvihuonekaasupäästöt

Puutavaran kaukokuljetuksen kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa hyödynnettiin VTT:n Lipasto -laskentajärjestelmää. Laskentajärjestelmässä on määritetty tavaraliikenteen yksikköpäästöt auto-, ilma-, juna- ja vesiliikenteelle perustuen useisiin tietokantoihin sekä VTT:n omiin mittauksiin (VTT 2012). Riippumatta siitä, käytetäänkö puutavaran kaukokuljetuksessa auto-, rauta- vai vesitietä, aiheutuu kuljetuksesta kasvihuone- ja pakokaasupäästöjä ilmaan. Kuljetustavan valinnalla voidaan kuitenkin vaikuttaa aiheutuvien päästöjen määrään. Opinnäytetyössä vertailtaviksi päästöiksi valittiin hiilidioksidi, hiilimonoksidi, typenoksidit sekä rikkidioksidi.

Kasvihuonekaasut aiheuttavat ilmakehässä maasta pois lähtevän lämpösäteilyn kimpoamisen takaisin maan pinnalle (Ilmasto-opas.fi 2012). Kaasut aiheuttavat niin sanotun kasvihuoneilmiön, joka voimistuu kaasujen määrän kasvaessa. Hiilidioksidi on vesihöyryn ohella kaikkein merkittävin kasvihuonekaasu (Ilmasto-opas.fi 2012). Hiilimonoksidi, typen oksidit sekä rikkidioksidi ovat merkittäviä ilmansaasteita, joita syntyy muun muassa liikenteessä polttoaineen palaessa (Ilmanlaatuportaali 2012). Sekä rikkidioksidi että typen oksidit, kuten typpi-monoksidi ja typpidioksidi, happamoittavat ympäristöä ja ovat haitallisia terveydelle (Ilmanlaatuportaali 2012).

Puutavaran kaukokuljetuksesta aiheutuvat päästöt laskettiin 1 900 m³:n lastille välillä Nurmes–Joutseno Lipasto -laskentajärjestelmän avulla. Laskenta perustui tonnikilometreinä mitattavaan kuljetussuoritteeseen. Vertailtavat kuljetusmuodot olivat aluskuljetus, rautatiekuljetus sekä autokuljetus. Kuljetussuoritteen suuruus vaihteli kuljetustavasta riippuen: kuljetusmatka aluksella oli noin sata kilometriä pidempi kuin junalla tai autolla. Uittoa ei otettu vertailuun, sillä uitto-työssä kuljetuksessa käytetään hyvin monipuolista kalustoa ja toisaalta päästöt 1 900 kuutiometrille olisivat hyvin pienet.

Rautatiekuljetuksen päästöt laskettiin kahdella eri menetelmällä, sillä kuljetus on mahdollista suorittaa kahdella eri tavalla. Koko matka Nurmeksesta Joutsenoon voidaan tehdä dieselveurin vetämänä tai vaihtoehtoisesti dieselveuri voidaan vaihtaa Joensuussa sähköveturiin, jolloin loppumatka voidaan tehdä pienemmillä päästöillä sähköistetyn rataverkon ansiosta. Lipasto -laskentajärjestelmästä löytyy päästöt molemmille veturivaihtoehdoille. Sähköveturin päästöt on laskettu voimalaitosten tuottamien keskimääräisten päästöjen mukaan (VTT 2012).

Aluskuljetuksissa, kuten myös muissa kuljetuksissa, polttoaineen kulutus vaikuttaa olennaisesti syntyviin päästöihin. Parkko-hinaaja kuluttaa noin 105 litraa moottoripolttoöljyä tunnissa, joten matkalla Nurmeksesta Joutsenoon sitä kuluu 44,5 tunnin aikana yhteensä noin 4 670 litraa. Pielisen aluskuljetuksen hiilidioksidipäästöt ovat Parkko-hinaajalla 12,9 tonnia (taulukko 4). Määrä on selvästi pienempi kuin autokuljetuksen ja dieselveurin aiheuttamat päästöt. Pienimmät hiilidioksidipäästöt saadaan kuitenkin rautatiekuljetuksessa, jos puutavara vietään sähköistetyllä rataosuudella Joensuusta Joutsenoon sähköveturilla.

Taulukko 4. Eri liikennemuotojen kasvihuonekaasupäästöt Nurmes–Joutseno välillä 1 600 tonnin puutavaralastilla.

Liikennemuoto	CO ₂ [t]	CO [kg]	NO _x [kg]	SO ₂ [kg]
Aluskuljetus	12,9	22,36	268,29	1,22
Autokuljetus	17,3	3,29	134,02	0,12
Rautatiekuljetus (Dieselveuri Nur–Jou)	15,5	48,43	382,67	0,10
Rautatiekuljetus (Diesel Nur–Joe + Sähkö Joe–Jou)	9,9	24,98	186,67	2,79

Aluskuljetuksen yllättävänkin korkeat päästöt selittyvät Parkko-hinaajan suurella polttoaineenkulutuksella, Pielisjoen laivaväylän hitaudella sekä esimerkiksi moottoripolttoöljyn rikkipitoisuudella. Modernimmalla kuljetuskalustolla aluskuljetuksen päästöt voisivat olla noin kolmanneksen pienemmät. Toinen yllättävä seikka on se, että autokuljetus on hiilimonoksidin, typenoksidien ja rikkidioksidin osalta melko ympäristöystävällinen vaihtoehto. Autokuljetuksen kustannukset olisivat kuitenkin todellisuudessa niin suuret, että kuljetus puutavara-autolla Nurmeksesta Joutsenoon ei olisi taloudellisesti järkevää. Lisäksi päästövertailu on tehty vain puutavaralastin kuljetuksesta tehtaalle, eli mahdollista paluumatkaa ei ole huomioitu.

Jos rautatiekuljetus suoritetaan pelkästään dieselveiturilla, on aluskuljetus hiilidioksidin, hiilimonoksidin ja typen oksidien suhteen ympäristöystävällisempi kuljetusvaihtoehto. Jos puolet rautatiekuljetuksen matkasta taitetaan sähköveturin vetämänä, kuten taloudellisesti järkevintä olisi, putoaa hiilidioksidin, hiilimonoksidin ja typen oksidien päästöt merkittävästi. Tällöin koko matkan rikkidioksidipäästöt nousevat kuitenkin noin 2,7 kilogrammaa ja ovat noin kaksi kertaa suuremmat kuin aluskuljetuksen aiheuttamat rikkipäästöt. Myös hiilimonoksidipäästöt ovat rautatiekuljetuksen sähköistetyssä vaihtoehdossa aluskuljetusta suuremmat. Sähköistämätön Nurmes–Joensuu rataosuus näkyy selvästi kokonaispäästöissä, vaikka dieselveiturilla vedettävä väli muodostaa vain 44 % koko matkan pituudesta.

Aluskuljetuksen rikkipäästöjen vähentämiselle voi tulla tulevaisuudessa paineita, sillä Euroopan parlamentti päätti syyskuussa 2012 hyväksyä niin sanotun rikkidirektiivin, jossa määrätään laivojen polttoaineiden rikkipitoisuuden vähentämisestä yhdestä prosentista 0,1 prosenttiin vuodesta 2015 lähtien (Helsingin Sanomat 2012). Päätös herätti Suomessa paljon keskustelua, koska direktiivin takia laivaliikenteen polttoainekustannukset nousevat ja teollisuuden kannattavuus heikkenee. Rikkidirektiivi ei kuitenkaan vaikuta Pielisen proomukuljetuksiin, sillä direktiivi koskee vain Itämeren aluetta ja Englannin kanaalia, missä laivat käyttävät polttoaineenaan raskasta polttoöljyä.

9.7 Ideali alus- ja proomukalusto Pieliselle

Tällä hetkellä Suomen sisävesillä liikkuva kalusto ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla Pielisen ja etenkin Pielisjoen väylälle. Pielisen väyläsyvyys estää isompien alusten käytön, ja väylälle syväyksen puolesta sopiva kalusto on pääosin kuljetuskapasiteetiltaan liian pientä pitkille matkoille, joissa yksikkökustannuksia saadaan pienennettyä nimenomaan suurella kuormakoolla.

Parkko-hinaaja on rakennettu 1966 eikä siis edusta uusinta ja kehittyneintä laivatekniikkaa. Kuten aiemmin todettiin, on Parkon teho 535 kW ja polttoaineen kulutus 105 litraa moottoripolttoöljyä tunnissa. Parkon teho vastaa reilua 700 hevosvoimaa, mikä nykyaikaisilla aluksilla tarkoittaa polttoaineen kulutuksessa noin 66 litraa polttoainetta tunnissa (Dinh 1999, 4). Lisäksi uudempien noin 600 kW:n työntöhinaajien syväys on 1,5–2,0 metriä, kun Parkon syväys on 2,8 metriä (Müller 2003, 17).

Eurooppa-standardin työntöproomuista Eurooppa IIc sopisi Pieliselle parhaiten, sillä Müllerin (2003, 15) mukaan proomun maksimisyväys on 2,5 m, pituus 76,5 m, leveys 11,4 m ja lastikapasiteetti noin 1 800 tonnia. Eurooppa-proomua käytettäessä sulutukset Pielisjoen kanavissa jouduttaisiin siis tekemään kahdessa osassa, aivan kuten Parkko-hinaajan ja Sampo-proomun kanssa.

Parasta mahdollista kuljetuskalustoa mietittiin myös keskusteluissa Parkko-hinaajan miehistön kanssa. Pielisjoen maksimimitoilla tehty täyspitkä ja täysleveys, kanavista mahtuva, moottoriproomu -tyyppinen kansilastialus todettiin parhaaksi vaihtoehdoksi. Alus ei tarvitsisi erillistä hinaajaa, vaan kyseessä olisi pikemminkin laiva, jota voitaisiin ajaa parhaimmillaan vain kahden hengen miehistöllä. Kansilastirakenteella aluksen syväys olisi pieni ja alusta voitaisiin lastata myös tilavammilta uiton pudotuspaikoilta. Kaltimon kanavan suurimmat sallitut mitat täyttäen alus voisi olla pituudeltaan noin 80 m, leveydeltään 11,8 m ja korkeudeltaan 10,5 m. Syväys olisi parhaassa tapauksessa alle 2,2 m, joka on uiton pudotuspaikkojen vaadittu veden syvyys.

Ideaalissa aluksessa olisi tehokkaat Aquamaster -tyyppiset käännettävät potkurilaitteet sekä edessä että takana, esimerkiksi yhdistelmällä yksi edessä, kaksi takana. Potkureiden avulla alusta olisi helppo hallita mutkikkaalla ja virtaamal-

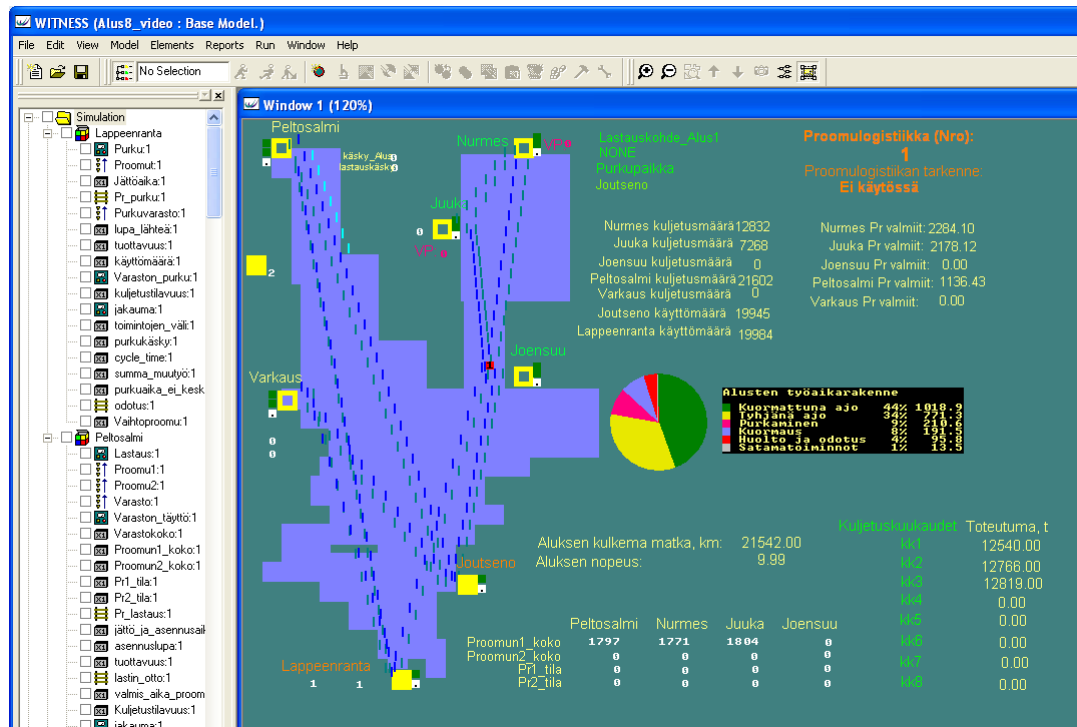
taan voimakkaalla Pielisjoen osuudella. Aluksen muoto olisi optimoitu siten, että lastia saadaan otettua mahdollisimman paljon. Rakenteeltaan alus voisi olla painolasti -tyyppinen, jolloin aluksen syväkseen voidaan vaikuttaa veden avulla ja alus saadaan vakaammaksi. Suurin mahdollinen lastikoko voisi olla todennäköisesti noin 2 000 tonnia, sillä hytit ja ohjaamo rajoittavat kuormaustilaa.

Lastauskoneet voisivat myös kulkea aluksen mukana joko integroituina tai irrallisina. Kuormainkalusto olisi sellaista, että se ylittäisi lastaamaan vähintään kaksi pinoa laiturista aluksen kyytiin. Lastauskoneiden kulkeminen aluksen mukana voisi vähentää kustannuksia, kun kuormaajaa ei tarvitsisi kuljettaa lavetilla lastauspaikalta toiselle. Omat lastauskoneet tehostaisivat myös ajankäyttöä, sillä aluksen ei tarvitsisi odottaa kuormaajaa, vaan lastaaminen voitaisiin aloittaa heti aluksen saavuttua lastauspaikalle.

Ideaalin kaluston hankkiminen olisi kuitenkin kallista: investointikustannukset ovat korkeat, joten sijoitus vaatisi pitkiä kuljetussopimuksia useampien yritysten kanssa, jotta kuljetettavaa puutavaraa olisi varmasti riittävästi. Alusten normaalit vuotuiset puutavaran kuljetusmäärät ovat yli 100 000 m³, ja sellaisia puumääriä aluskuljetukseen pelkästään Pielisen ympäristöstä voi olla vaikeaa löytää. Uuden kaluston käyttöönotto vaatisikin luultavasti vanhan kaluston poistoa, jotta kuljetettavaa puutavaraa olisi riittävästi koko kuljetuskaudeksi.

9.8 Aluskuljetuksen simulointi

Aluskuljetusten simuloinnit suoritettiin yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa vuodenvaihteessa 2012–2013. Simulointia varten Witness-ohjelmaan rakennettiin simulointimalli, johon määritettiin kaikki tutkittavat toimintamallit ja käytettävät reitit (kuva 12). Malliin syötettiin haastattelututkimuksella hankitut parametrit, jotka määrittivät kuljetusten etenemistä. Witness-ohjelman tuottamat tulomatriisit vietiin Excel-laskentapohjaan, jolla laskettiin yksikkökustannukset kullekin simulointiskenaariolle.



Kuva 12. Aluskuljetusten simulointimalli Witness-ohjelmassa.

Simuloinneissa Pielisen kuljetuskaudeksi määritettiin kolme kuukautta. Tämän lisäksi simuloinnissa aluskuljetuksia tehtiin Peltosalmeilta 2,8 kuukautta. Kuljetuskauden alku ja loppu eli noin kaksi kuukautta toimittiin Saimaan syväväylällä kuljettaen puuta Varkaudesta ja Joensuusta. Koko kuljetuskauden pituudeksi ja vuotuiseksi kokonaistyöajaksi määritettiin kahdeksan kuukautta eli 5 880 tuntia. Simuloinneissa suositettiin Metsähallituksen kannalta merkittävämpiä lastauspaikkoja, minkä vuoksi kuljetuksista suurin osa tehtiin pitkien välimatkojen päästä Nurmeksesta ja Peltosalmeilta.

Aluskuljetusten simuloinnissa tarkasteltiin erilaisten kalustovaihtoehtojen tuottamia kustannuksia ja kuljetusmääriä. Simuloinneissa aluskuljetukset tehtiin kahdeksan kuukauden pituisella kuljetuskaudella siten, että puuta kuljetettiin Pieliseltä kolme kuukautta, Peltosalmeilta 2,8 kuukautta ja jäljelle jäävä osa kuljetuskaudesta toimittiin Saimaan syväväylällä kuljettaen puuta Joensuusta ja Varkaudesta. Pielisellä kuljetuskausi painotettiin siten, että Nurmeksesta kuljetettiin 2/3 ja Juuasta 1/3 puutavarasta. Kaikki lastit kuljetettiin 50 %:n todennäköisyydellä joko Lappeenrantaan tai Joutsenoon. Simuloinnissa tehtiin tarkastella myös erilaisten lastausmenetelmien suhteen.

Simuloinneissa aluskuljetusten lastaus- ja purkutoimintojen oletettiin alkavan kellonajasta riippumatta heti proomun saavuttua laituriin. Pysähdyksiin, odotte- luun, miehistön vaihtoon ja kaluston huoltoon varattiin noin neljän prosentin osuus koko kuljetusajasta. Kuljetusajasta eroteltiin myös satamatoiminnot, joihin laskettiin mukaan satamaan tulo ja lähtö sekä vaihtoproomulogistiikoissa proo- mun vaihtoon kuluva aika (Liite 3).

9.8.1 Simulointiskenaariot

Aluskuljetuksen simuloinneissa käytettiin yhteensä noin kymmentä erilaista skenaariota (taulukko 5). Parkko-hinaajaa käytettiin kaikissa muissa skena- rioissa paitsi moottoriproomulogistiikassa. Vaihtoproomulogistiikoissa yksi ”yli- määräinen” proomu sijoitettiin aina kuljetuksen kannalta hitaimpaan pisteeseen eli Joutsenoon, koska purkamisen on siellä hitaampaa kuin kuormaaminen las- tauspaikoilla tai purku Lappeenrannassa. Pielisen kuljetuksiin lisättiin kanavissa kuluva aika, noin 2,75 tuntia, ”stop time” -arvona.

Taulukko 5. Simulointitutkimuksessa käytetyt aluskuljetusskenaariot.

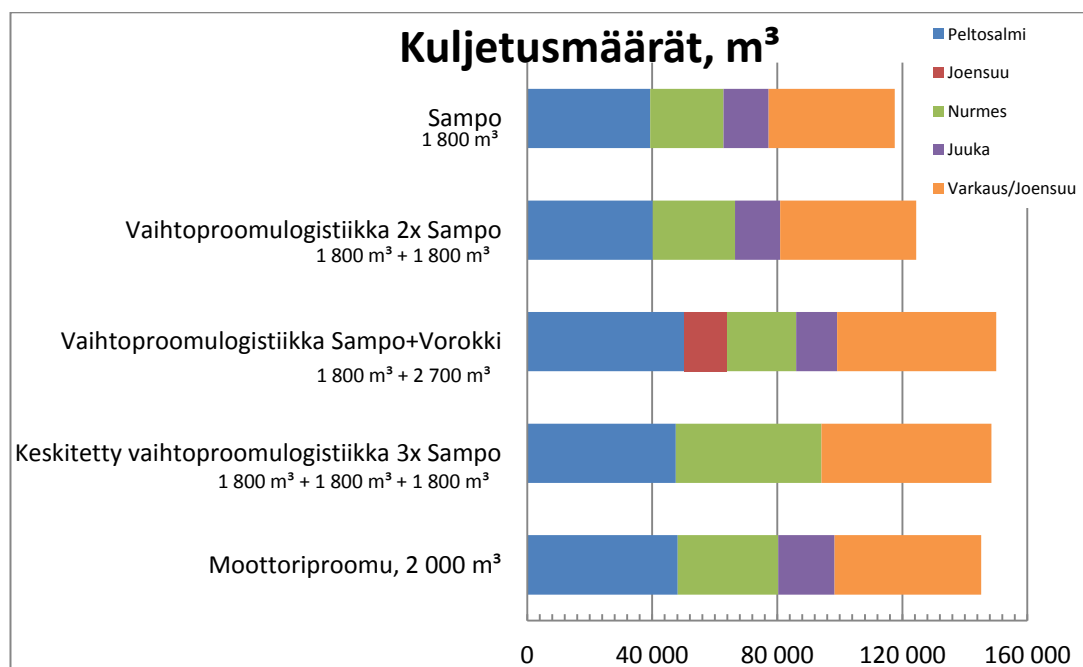
Parkko-hinaaja + Sampo-proomu Lastaus materiaalinkäsittelykoneella (nykymalli) Lastaus proomun omilla kuormaimilla
Vaihtoproomulogistiikka Parkko-hinaaja + Sampo-proomu + Vorokki-proomu Vorokkiin lastataan Pielisellä n. 1 400 m ³ , loput Joensuussa
Vaihtoproomulogistiikka Parkko-hinaaja + 2x Sampo-proomu Lastaus materiaalinkäsittelykoneella
Vaihtoproomulogistiikka Parkko-hinaaja + 3x Sampo-proomu Lastaus materiaalinkäsittelykoneella Lastaus materiaalinkäsittelykoneella, keskitetty kuljetus Nurmes-Joutseno Lastaus suoraan puutavara-autosta, keskitetty kuljetus Nurmes-Joutseno
Moottoriproomu, 2 000 m ³ (herkkyystarkastelussa mukana myös 2 500 m ³) Lastaus materiaalinkäsittelykoneella Lastaus aluksen omilla kuormaimilla

Skenaarioissa käytetyille koneille ja laitteille määritettiin hankintahinnat ja käy- töstä koituvat kustannukset. Proomuille määritettiin keskimääräinen lastikoko sekä lastin keskihajonta. Jokaiselle reitille määritettiin myös kuljetusnopeus ja sen keskihajonta. Nopeudet voivat vaihdella esimerkiksi sääolosuhteiden, muun liikenteen ja lastikoon seurauksena. Lastaukselle ja purkamiselle määritettiin

tuottavuudet m³/h, minkä perusteella simulaattori laski toimintoon kuluvan ajan ja työstä koituvat kustannukset. Lastauksessa ja purkamisessa käytettäville materiaalinkäsittelykoneille sekä tietyissä skenaarioissa esiintyvälle kurottajalle sekä apuhinaajalle laskettiin kustannukset siten, että ne ovat pääosin muussa käytössä. Koneiden ja laitteiden hankintahinnat ja käyttöasteet on esitelty liitteessä 3. Myös muita simuloinnissa käytettyjä parametreja ja satunnaismuuttajia on eritelty tarkemmin liitteessä 3.

9.8.2 Kuljetusmäärät

Erilaiset aluskuljetuksen toimintamallit tuottivat vaihtelevia vuotuisia kuljetusmääriä skenaariosta riippuen (kuvio 6). Nykymalli eli Sampo-proomu ja Parkko-hinaaja kuljettivat simuloituista skenaarioista kaikkein vähiten puuta: noin 117 500 m³ kahdeksan kuukauden aikana. Vaihtoproomulogistiikoista Sampo+Vorokki ja keskitetty vaihtoproomulogistiikka kolmella Sampo-proomulla tuottivat selvästi suurimmat vuotuiset kuutiomäärät, noin 150 000 m³. Myös moottoriproomu tuotti noin 24 % suuremman vuosisuorituksen kuin nykymalli Sampo-proomulla.



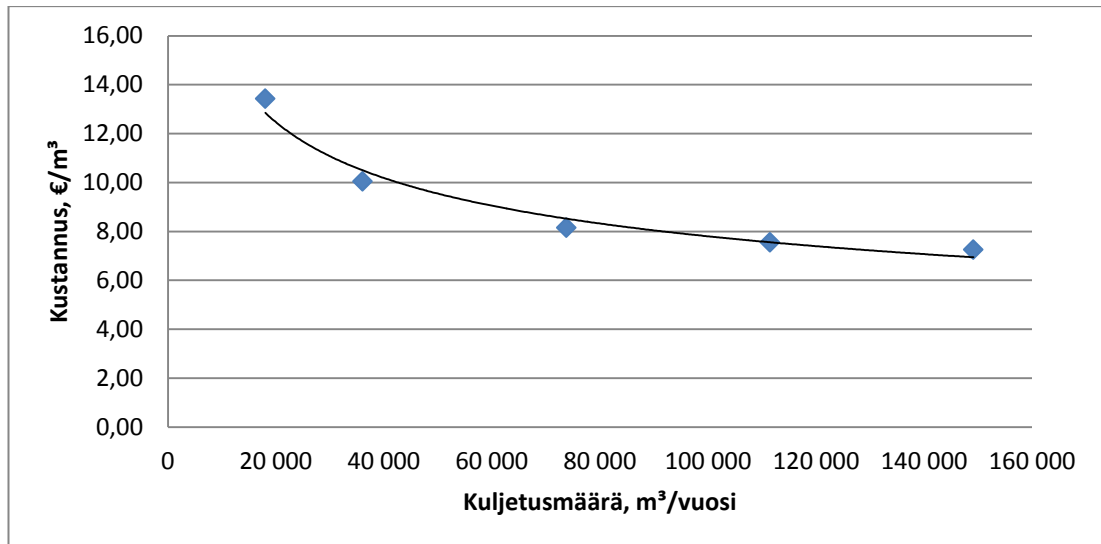
Kuvio 6. Vuotuiset kuljetusmäärät eri logistiikkavaihtoehtoilla.

Kuljetusmäärien suhteet eri lastauspaikoilta selittyvät pitkälti simulointimalliin asetetuilla liikennöintikausilla. Kuviossa 6 punaisella näkyvä Joensuu tarkoittaa Vorokin täydennyslastausta Joensuusta. Oranssi Varkauden ja Joensuun kuljetusmäärä on suuri, koska kuljetusmatka tehtaalle on selvästi lyhyempi verrattuna Pielisen lastauspaikkoihin ja Peltosalmeen. Simuloinnissa kuljetusten määrä välimatkaltaan pisimmiltä reiteiltä on suurempi kuin mitä se todellisuudessa on tämän hetken aluskuljetuksissa Sampo-proomulla. Kuvion 6 puumäärät vastaavat siis toimintamallia, jossa valtaosa kuljetuskaudesta käytetään Pielisellä ja Peltosalmella.

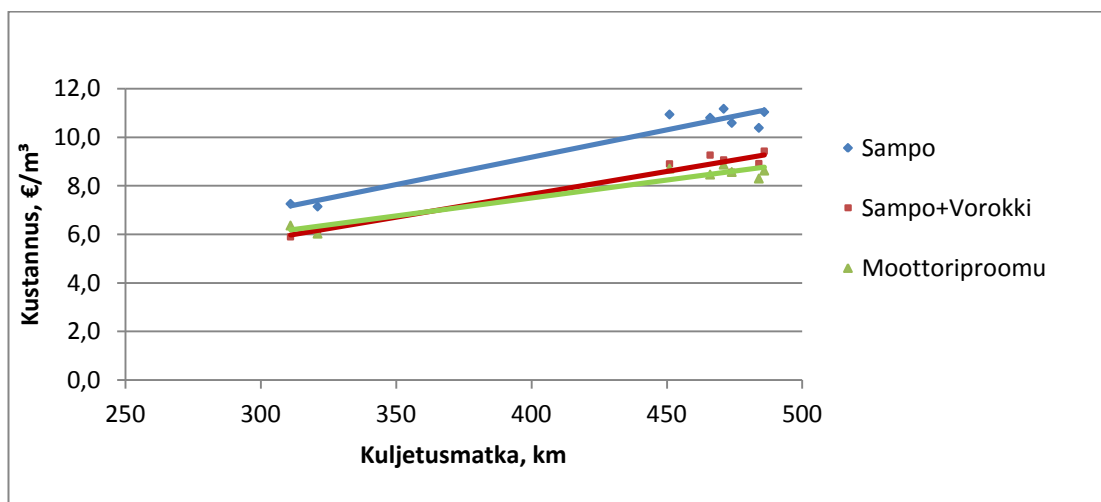
9.8.3 Yksikkökustannukset

Yksikkökustannuksiin laskettiin proomu- ja hinaajakalustosta aiheutuvat käyttö- ja odotuskustannukset sekä lastauksesta ja purkamisesta aiheutuvat kulut. Lisäksi osa skenaarioista vaatisi toimiakseen todennäköisesti ylimääräisten laitteiden käyttöä kuten esimerkiksi kurottajatruckia tai apuhinaajaa, joten niiden aiheuttamat kustannukset lisättiin kyseisten mallien yksikkökustannuksiin.

Vuotuisella kuljetusmäärällä on selvä vaikutus yksikkökustannuksiin. Jos vuotuinen kuljetusmäärä jää alle 50 000 m³:n vuodessa, ovat kustannukset yhtä kuutiometriä kohti noin euron suuremmat kuin kuljetettaessa yli 75 000 m³ vuodessa (kuvio 7). Kun vuotuinen kuljetusmäärä on yli 100 000 m³, pienenee vuosisuoritteen vaikutus yksikkökustannuksiin. Kuljetusmatkan pidentyminen nostaa aluskuljetuksen yksikkökustannuksia toimintamallista riippuen (kuvio 8). Sampo-skenaariossa kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin on hiukan suurempi kuin moottoriproomu ja Sampo+Vorokki-skenaariolla. Pisimmillä kuljetusmatkoilla moottoriproomu kääntyy kustannusten osalta Sampo+Vorokki-skenaariota tehokkaammaksi suuremman kuljetusnopeuden ansiosta.

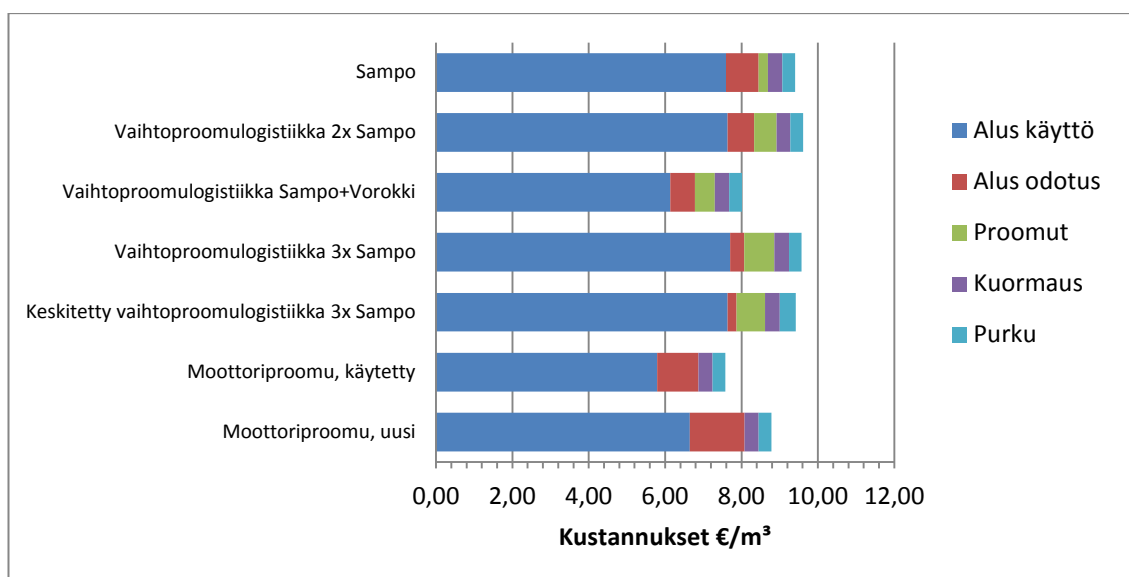


Kuvio 7. Kuljetusmäärän vaikutus yksikkökustannuksiin Parkko-hinaajalla ja Sampo-proomulla Varkauden ja Joensuun kuljetuksissa.



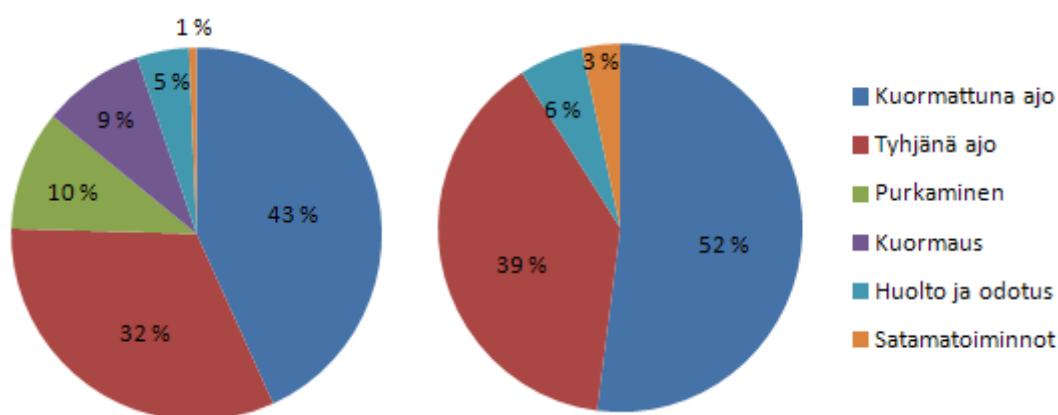
Kuvio 8. Kuljetusmatkan vaikutus yksikkökustannuksiin eri skenaarioilla.

Aluskuljetuslogistiikoista kaksi selvästi kannattavinta vaihtoehtoa ovat moottoriproomu ja vaihtoproomu logistiikka Sampo- ja Vorokki-proomuilla (kuviot 7 ja 8). Kyseiset skenaariot tuottavat noin 20 % edullisemmat yksikkökustannukset kuin nykyinen pelkkä Sampo-proomu. Vaihtoproomu logistiikat useammilla Sampo-proomuilla eivät sen sijaan tuo kustannussäästöjä vaikka kuviossa 6 havaittiin, että vuotuiset kuljetusmäärät kasvavat selvästi. Sampo-proomuilla säästöjä saadaan vain keskitetyllä toimintamallilla, jolloin kuljetusten lastaus- ja purkupaikka ovat koko kuljetuskauden ajan samoja. Tällöinkin säästöt nykyisen yksikkökustannuksiin verrattuna ovat vain 1,5 %.



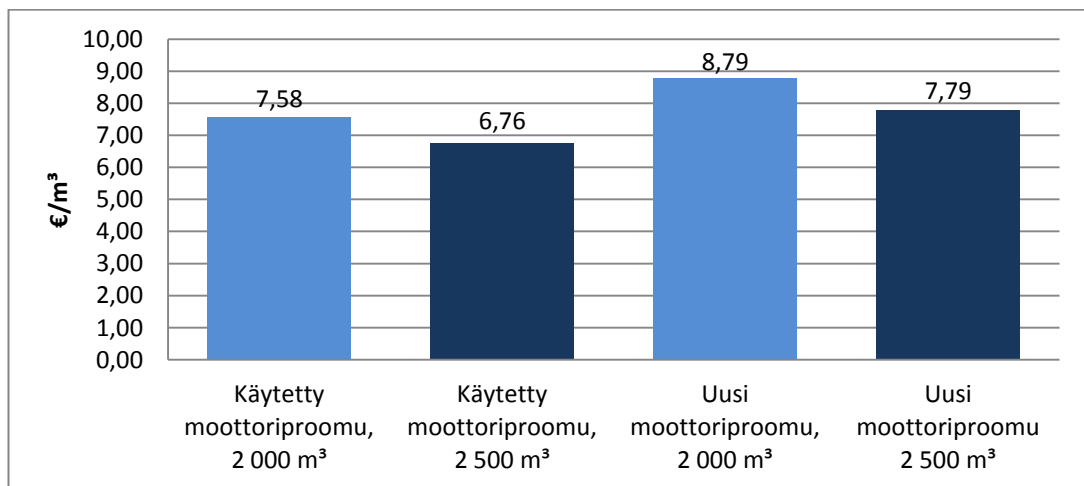
Kuvio 9. Keskimääräiset kuljetuskustannukset kustannustekijöittäin.

Edullisimmat yksikkökustannukset tuottaneet skenaariot kuljettivat kuvion 6 perusteella myös eniten puuta. Valtaosa kuljetuskustannuksista aiheutuu aluksen käytöstä, missä polttoainekustannukset ja aluksen henkilöstön palkka ovat merkittävimmät kuluerät. Kuormauksen ja purkutoimintojen osalta kustannukset pysyvät lähes muuttumattomina eri skenaarioiden välillä. Aluksen odotuskustannukset sen sijaan vaihtelevat erilaisilla toimintamalleilla. Vaihtoproomulogistiikoissa odotuskustannukset ovat moottoriproomua tai pelkkää Sampo-proomua selvästi pienemmät koska hinaajan ei tarvitse odotella purku- tai kuormauspäässä, vaan se ajaa tehokkaasti ilman suurempia pysähdyksiä (kuvio 10). Ajoon kuluu keskitetyssä vaihtoproomulogistiikassa peräti 91 % työajasta, kun nykymallilla ajoa on vain 75 % koko työajasta.



Kuvio 10. Sampo-proomun työaikajakauma vasemmalla ja oikealla keskitetty vaihtoproomulogistiikka kolmella Sampo-proomulla.

Moottoriproomuskenaariossa käytetyn aluksen hankintahinta on kaksi miljoonaa euroa ja uuden viisi miljoonaa euroa (liite 3). Kuviossa 9 uuden moottoriproomun kuljetuskustannukset ovat noin 16 % suuremmat kuin käytetyllä moottoriproomulla koska alukseen kohdistuvat kiinteät kustannukset ovat selvästi suuremmat. Moottoriproomuskenaario on tällä hetkellä vielä hypoteettinen, joten moottoriproomun lastikapasiteetin ja kustannusten suhteen tehtiin herkkyystarastelua (kuvio 11). Jos moottoriproomun lastikoko yhdellä kertaa onkin 2 000 m³ sijaan 2 500 m³, lisää muutos vuotuista kuljetusmäärää noin 17 %. Kuljetusmäärän kasvaminen näkyy heti edullisempina yksikkökustannuksina, vaikka 2 500 m³:n moottoriproomun hankintahinnoiksi asetettiin miljoona euroa korkeammat hinnat kuin 2 000 m³ alukselle. Pielisellä 2 000 m³:n moottoriproomu olisi kuitenkin todennäköisempi vaihtoehto, koska tällöin aluksen syväys pysyisi pienempänä.



Kuvio 11. Moottoriproomun lastikapasiteetin vaikutus kustannuksiin.

Simulointitutkimuksen tuottamia yksikkökustannuksia verrattiin myös puutavaran kaukokuljetuksen keskimääräisiin kustannuksiin (taulukko 6). Simuloinnissa keskikuljetusmatka oli 421 km, minkä avulla eri kuljetusmuotoja verrattiin toisiinsa. Nykymallin simuloinnin perusteella aluskuljetus on jo nyt kilpailukykyinen vaihtoehto rautatiekuljetukselle. Metsätehon tilastoissa aluskuljetuksen kuljetusvoimien hinta snt/m³km on selvästi kalliimpi kuin simuloinnissa (Strandström, 2012). Tilastoissa aluskuljetuksen keskimääräinen kuljetusmatka on vain 201 km, ja aluskuljetuksessa on todennäköisesti mukana lastikapasiteetiltaan Sampo-proomua huomattavasti pienempiä aluksia.

Taulukko 6. Simuloinnin tuottamat keskimääräiset kustannukset verrattuna vuoden 2011 tilastoihin. Metsätehon tilastoarvot taulukossa vihreällä taustavärillä.

	km	snt/m ³ km	€/m ³
Simulointitutkimus Parkko+Sampo	421	2,3	9,57
Aluskuljetus	421	3,5	14,74
Rautatie	421	2,3	9,68
Uitto	421	2,2	9,26

9.8.4 Lastausmenetelmien simulointi

Simuloinnissa tutkittaviksi lastausvaihtoehdoiksi valittiin nykymalli eli kaivinkonepohjaisella materiaalinkäsittelykoneella tehtävä lastaus, aluksen omilla kuormaimilla suoritettava lastaus ja vaihtoproomulogistiikkaan otettiin mukaan lastaus suoraan puutavara-autosta. Alukseen asennettavat omat kuormaimet ja autokuormausta voisivat tuoda kustannussäästöjä, sillä tällöin välttyttäisiin materiaalinkäsittelykoneen pitkien välimatkojen siirtelyltä ja kuormaajan käyttäjän palkkakustannuksissa säästettäisiin.

Aluksen omia kuormaimia käyttäisi aluksen miehistö, joka pitäisi tarvittaessa kouluttaa tehtävään. Toimintamalli edellyttäisi myös sitä, että lastauslaiturille saataisiin tarvittava puumäärä kuormainten ulottuville. Pielisen lyhyiden 45 metrin laitureiden vuoksi tämä ei ole mahdollista, joten puuta pitäisi siirtää laiturille lastauksen edetessä. Jos kuormaimet yltyvät ottamaan puutavaraa vain kahdesta pinosta, saadaan laiturista vain noin 1 000 m³.

Juuan Retulahdessa lastauspaikan vieressä sijaitsee uiton pudotuspaikka, mistä voitaisiin tarvittaessa lainata kurottajatruckia puutavaran siirtämiseen proomun lastauksen ajaksi. Niinpä skenaarioissa, joissa käytetään proomun omia kuormaimia, lasketaan kuormainten aiheuttamien kustannusten lisäksi myös kurottajatruckin käytöstä aiheutuva kustannuslisä.

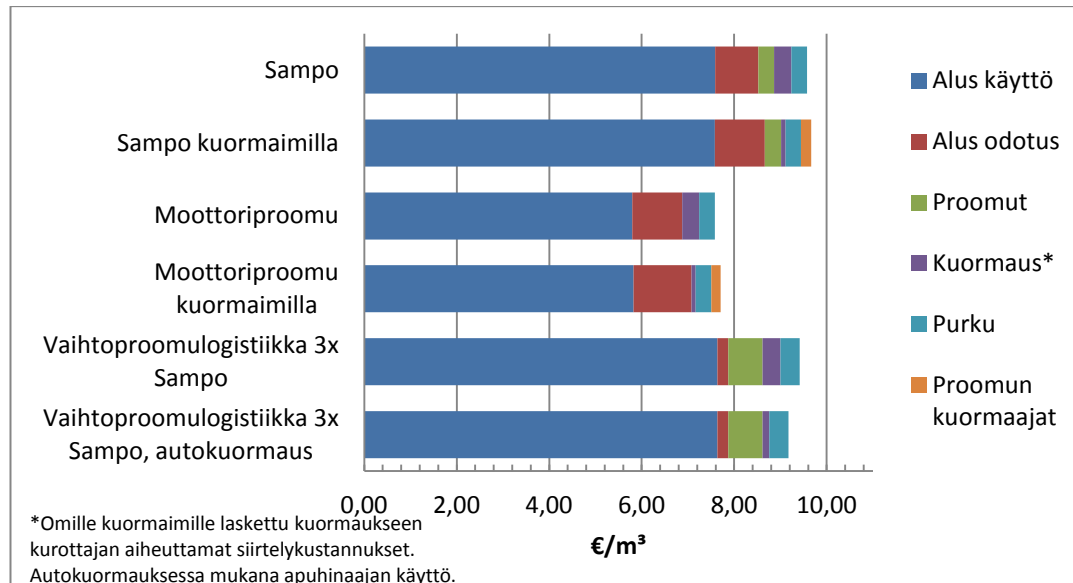
Ongelmallista aluksen omissa kuormaimissa olisi se, että lastin purkupäässä, tehtaalla, proomu puretaan tehokkaampien koneiden avulla, ja omatoiminen purkaminen on alusyrittäjän mukaan jopa osalla tehtaista kielletty. Omien kuormainten käyttöaika siis puolittuu optimista, kun kalustoa voidaan hyödyntää vain

toisessa päässä kuljetusta. Kuormainkaluston lyhyt käyttöaika yhtä lastia kohti pidentää kuormainten investoinnin takaisinmaksuaikaa, mikä heikentää toiminnan kannattavuutta. Simulointimalliin valittiin kolme kappaletta puutavara-auton kuormaimen tyyppisiä nostureita, jolloin investointikustannukset olisivat huomattavasti pienemmät kuin kaivinkonepohjaisella kuormaimella.

Autokuormainten käyttäminen vaihtoproomulogistiikassa vaikuttaa ainakin teoriassa hyvältä vaihtoehdolta. Puutavara-auton kuljettajille maksetaan joka tapauksessa kuorman purkamisesta, joten kustannukset ovat samaa luokkaa, tapahtuipa purkaminen lastauslaiturille tai suoraan proomuun. Vaihtoproomulogistiikassa lastauksen nopeudella ei olisi suurta merkitystä, sillä riittää, että lastaus on valmis kun hinaaja palaa tyhjän proomun kanssa lastauspaikalle. Lastauspaikasta riippuen autokuormauksen suorittamiseen on aikaa siis noin 50–90 tuntia.

Sampo-proomu on leveydeltään noin 11 metriä, joten puutavaranosturin ulottuvuuden on oltava mahdollisimman suuri, jotta proomu ylletään lastaamaan täyteen. Jotta lastaaminen auton kuormaimella varmasti onnistuisi, lisättiin autokuormauksen kustannuslaskentaan apuhinaaja, joka kääntäisi ja siirtelisi proomua lastauksen aikana tarpeen mukaan. Sampo-proomun kaltaisessa ruumaproomussa ongelmia voi tulla ulottuvuuden kanssa, sillä kuormaimen pitäisi yltää proomun reunan yli aina ruuman pohjalle saakka. Autokuormausta olisikin helpompi soveltaa kansilasti-tyyppisessä proomussa, jossa proomun reunat eivät häiritse lastausta.

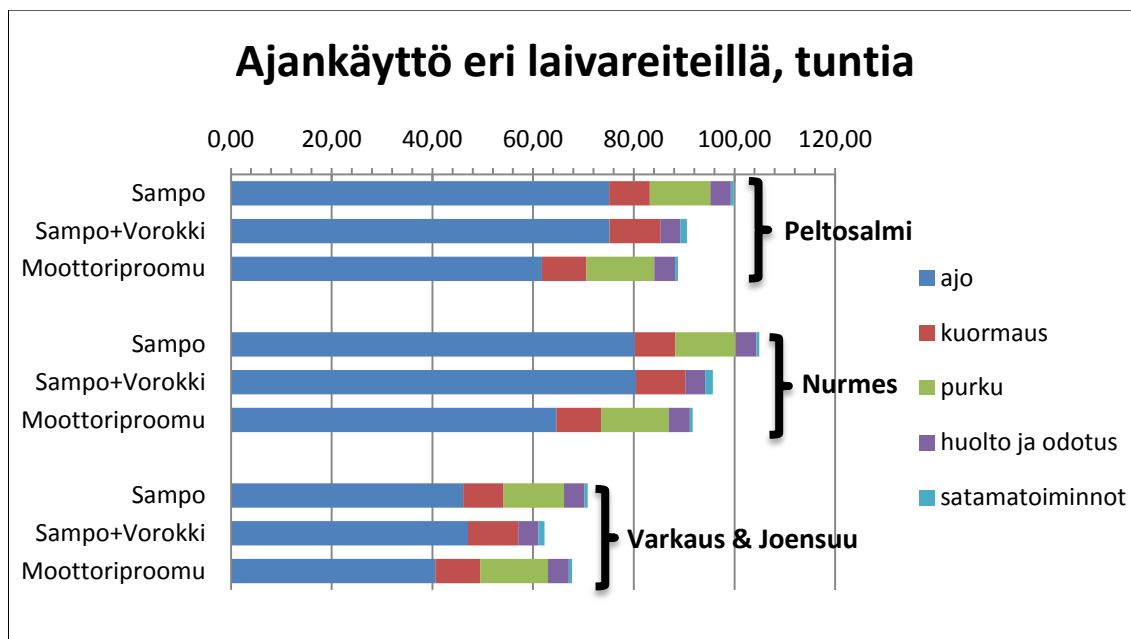
Simuloinnin perusteella Sampo-proomuun tai moottoriproomuun asennettavat kuormaimet eivät toisi kustannussäästöjä, vaan kustannukset olisivat noin prosentin verran suuremmat kuin ilman kuormaimia (kuvio 12). Kuormaimet myös hidastaisivat lastausta, mikä vähentäisi koko kuljetuskauden suoritetta 5 000–10 000 m³. Autokuormausta puolestaan pudottaisi kustannuksia noin 2,6 prosenttia, vaikka kustannuksiin on huomioitu apuhinaajan käytöstä aiheutuvat kustannukset.



Kuvio 12. Kuormausten menetelmän vaikutus yksikkökustannuksiin.

9.8.5 Reittivertailu

Simuloinnin tulostuloksista irrotettiin nykyinen toimintamalli Sampo-proomulla sekä kaksi parasta simulointiskenaariota tarkempaa reittikohtaista tarkastelua varten. Reiteiksi valittiin kuljetukset Joutsenoon Peltosalmeilta, Nurmekselta ja Saimaan syväväylältä Joensuusta sekä Varkaudesta. Ajankäytön osalta Nurmeksien kuljetukset ovat kaikkein hitaimpia, tosin Peltosalmen kuljetukset ovat vain muutamia tunteja nopeampia (kuvio 13). Kuljetusetäisyydet ovat syväväylällä selvästi lyhyemmät, eikä reitillä ole esimerkiksi hidastavia sulkukanavia, joten koko kuljetusketju on noin 30 % nopeampi kuin Nurmeksien ja Peltosalmen kuljetuksissa.



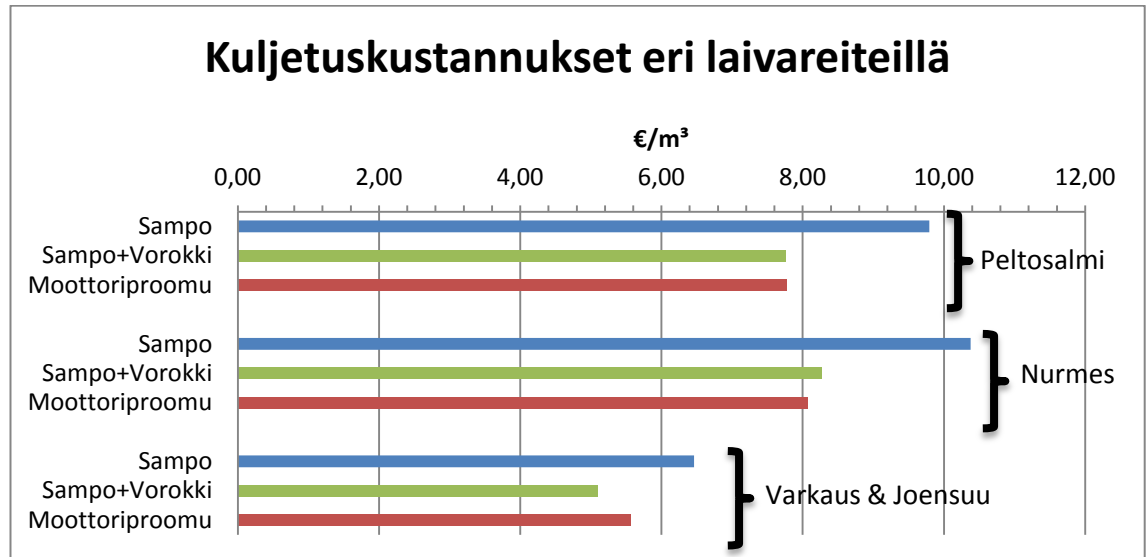
Kuvio 13. Kuljetusten reittikohtainen ajankäyttövertailu Joutsenoon nykyisellä toimintamallilla ja parhailla aluskuljetuksen skenaarioilla.

Huomionarvoista kuviossa 13 on moottoriproomuun nopeus: kuljetus on 10–20 % nopeampi kuin Sampo-proomulla ja Parkko-hinaajalla. Ero johtuu moottoriproomuun suuremmasta kuljetusnopeudesta ja siitä, että moottoriproomu selviää Pielisjoen sulkukanavista yhdellä sulutuksella, kun Sampo-proomu ja Parkko-hinaaja joudutaan suluttamaan erikseen, jolloin aikaa kanavissa kuluu vähintään kaksinkertainen määrä. Sampo+Vorokki-skenaario puolestaan hyötyy vaihtoproomusta, jolloin purkupäässä tehdään vain proomuun vaihto eikä lastin purkamista tarvitse jäädä odottamaan jolloin Sampo-skenaarioon verrattuna aikaa säästyy Nurmeksen ja Peltosalmen reiteillä noin 10 %.

Kun Nurmeksen ja Peltosalmen reiteillä verrataan kuljetuksen tuottavuutta m³/h, on Sampo+Vorokki kaikkein tehokkain toimintamalli. Skenaarion tuottavuus noin 24 m³/h, kun moottoriproomulla keskiarvo kyseisillä reiteillä on noin 22 m³/h. Nykymallin eli Sampo-skenaarion tuottavuus on noin 17,5 m³/h. Saimaan syväväylän kuljetuksissa skenaarioiden erot pienenevät ja tuottavuudet kasvavat.

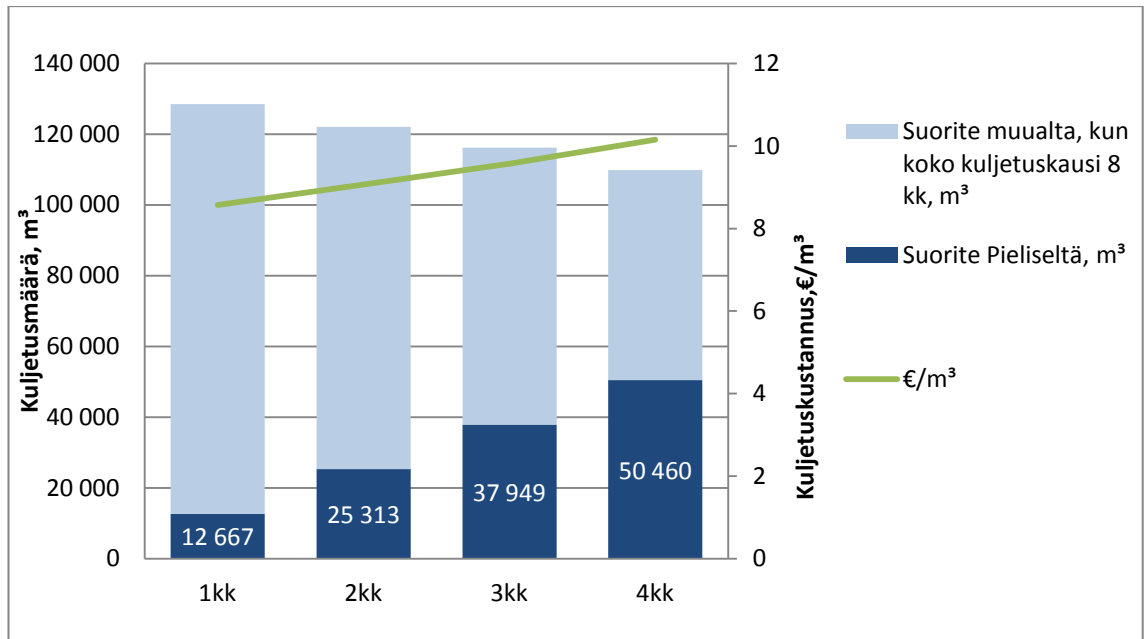
Suuret etäisyydet nostavat selvästi ajanmenekkiä ja sitä kautta myös kuljetuskustannuksia (kuvio 14). Moottoriproomuun hyödyt tulevat esiin pidemmällä matkoilla Peltosalmelta ja Nurmeksesta, missä aluksen nopeus ehtii vaikuttaa ajan-

käyttöön enemmän. Nykymallilla nimenomaan pitkillä kuljetusmatkoilla Nurmeksesta ja Peltosalmeilta kuljetuskustannukset ovat lähes 20 % korkeammat kuin parhailla simulointiskenaarioilla. Sampo+Vorokki-skenaariossa vaihtoproomu säästää aikaa ja pudottaa kustannuksia.



Kuvio 14. Kuljetusten reittikohtainen kustannusvertailu nykyisellä toimintamallilla ja parhailla aluskuljetuksen skenaarioilla.

Pielisen aluskuljetuksia simuloitiin vielä erikseen kuljetuskauden pituutta muuttaen. Koska Pielisen vesitilanne voi joinakin vuosina lyhentää kuljetuskautta Nurmeksesta ja Juuasta, muuttuvat kuljetusmäärät ja -kustannukset kuljetuskauden pituudesta riippuen (kuvio 15). Simuloinnin perusteella nykymallilla eli Sampo-proomun ja Parkko-hinaajan yhdistelmällä normaalikesän suorite on noin 38 000 m³. Simulointimallissa Pielisen kuljetukset lyhensivät kuljetuskautta Saimaan syväväylällä, jolloin vuosisuorite pieneni Pielisen kuljetusten kasvaessa. Vuosisuoritteen pienentyminen vaikutti suoraan myös keskimääräisiin yksikkökustannuksiin, jotka nousivat kuljetusetäisyyksien kasvaessa.



Kuvio 15. Pielisen kuljetuskauden pituuden vaikutus kuljetusmääriin ja keskimääräisiin kuljetuskustannuksiin Sampo-proomulla.

Jos Pielisen kuljetuskauden pituus olisi simulointimallissa vaikuttanut Peltosalmen kuljetuksiin, olisi vaikutukset vuosisuoritteeseen ja yksikkökustannuksiin selvästi pienemmät. Tällöin vuosisuorite pysyisi melko tasaisena riippumatta siitä, tehtäisiinkö kuljetukset Pieliseltä vai Peltosalmelta. Näillä asetuksilla myös yksikkökustannusten viiva olisi ollut käytännössä vaakasuora.

9.9 Aluskuljetuksen hyödyt

Aluskuljetuksen etuna on se, että puutavaran kuljettamiseen käytetty reitti ei kulu, toisin kuin esimerkiksi auto- tai rautatiekuljetuksissa. Tietysti laivareittejäkin kunnostetaan esimerkiksi poijuja uusimalla, mutta korjauskustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin maantien tai ratakiskojen peruskorjauksessa tai täysremontissa. Aluksella puutavaraa voidaan kuljettaa myös kohteista joihin on vesitieyhteys, mutta ei esimerkiksi rautatietä, muun muassa Juuka on tällainen paikka. Osa aluskuljetuksen puutavarasta on suoraan pois maantieltä jolloin raskaat autokuljetukset eivät ole hidastamassa ja vaarantamassa muuta liikennettä eikä myöskään kuluttamassa tietä. Alus toimii myös väliaikaisena puskurivarastona vapauttaen kuivalla maalla varastotilaa ja kuljetuskalustoa.

Aluskuljetus hyödyttää uittoä, kun proomulla kuljetetaan huonosti uivaa puutavaraa kuten tuoretta mäntykuitua. Huonosti uivan puun poistuminen uitosta helpottaa uittotyötä, kun uittoneput pysyvät paremmin pinnalla ja uppoavien nippujen nostamiseen liittyvät työt vähenevät. Sateisena ja viileänä kesänä, kuten vuonna 2012, puutavara kuivuu huonosti, ja puun uimiskyky on tavallista heikompi. Selvästi uittoon huonosti kelpaava puu voidaan ohjata suoraan aluskuljetukseen. Aluskuljetus voisi vähentää jopa hiukan uiton kustannuksia, mutta hintaan asti aluskuljetuksen hyödyt eivät kuitenkaan uittoyhdistyksen edustajan mukaan näkyisi.

Uutena kuljetusmuotona aluskuljetus lisää raakapuun kaukokuljetuksen kilpailua, joka hillitsee myös muiden kuljetusmuotojen hintoja. Puutavaratoimitusten varmuus paranee ja sellutehtaiden raaka-aineen riittävyys on helpompi taata, kun puuta voidaan kuljettaa rauta- ja maantien lisäksi vesiteitse uittoä nopeam- malla aikajänteellä.

Aluskuljetus on ympäristöystävällinen kuljetusmuoto sillä hiilidioksidipäästöjä siitä syntyy vähemmän kuin dieselveturilla tehtävästä junakuljetuksesta tai autokuljetuksesta. Aluskuljetuksesta syntyy myös vähemmän rikkidioksidipäästöjä kuin sähköjunalla tehtävistä kuljetuksista. Jos puutavara kuljetettaisiin rekalla Nurmeksesta Joutsenoon, vaatisi se noin 40 rekkakuormaa ja 2 800 kilometriä ajoa ennen kuin Sampo-proomun 1 900 m³ olisi toimitettu tehtaalle. VTT:n tuot- tamaa Lipasto -laskentajärjestelmää hyödyntäen laskettiin, että autokuljetuksista syntyi noin 2,5 tonnia enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin aluskuljetuksessa.

Simulointitutkimuksen perusteella aluskuljetuksen kannattavuutta ja kustannus- tehokkuutta voitaisiin parantaa vielä nykyisestä käyttämällä lastikapasiteetiltaan Sampo-proomun lisäksi suurempaa Vorokki-proomua. Vorokilla Pieliseltä saa- taisiin otettua noin 1 400 m³ ja lasti täydennettäisiin Joensuussa siten, että koko 2 700 m³:n lastikapasiteetti hyödynnettäisiin. Toimintamalli olisi simuloinnin pe- rusteella nykyistä edullisempi vaikka Pieliseltä puuta ei saada Vorokilla niin pal- jon kuin Sampo-proomulla. Tällaisella toimintamallilla, samoin kuin Pieliselle soveltuvalla moottoriproomulla, voitaisiin kilpailla yksikkökustannusten osalta helposti rautatiekuljetusta ja jopa uittoäkin vastaan.

10 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia raakapuun aluskuljetuksen käyttömahdollisuuksia Pielisellä. Aihe oli melko laaja, joten tutkimuksen edetessä tietoa tuli jatkuvasti jäsentää sopiviksi kokonaisuuksiksi. Aiheen laajuus teki työstä haastavan, mutta toisaalta myös erittäin mielenkiintoisen. Aluskuljetuksen mahdollisuuksien ymmärtämiseksi tuli huomioida kaikki raakapuun kaukokuljetuksen vaiheet ja toisaalta aluskuljetuksen omat erityispiirteet muun muassa väylävaatimusten ja kaluston suhteen. Opinnäytetyölle asetettu tavoite saavutettiin hyvin ja opinnäytetyössä esitetään monipuolisesti erilaisia kehittämisideoita.

Tutkimuksen reliabelius eli luotettavuus perustuu tutkimuksen toistettavuuteen. Validius puolestaan tarkoittaa tutkimuksen pätevyyttä. Pätevyydellä arvioidaan onko tutkimuksessa käytetty tarkoituksenmukaisia menetelmiä. Tutkimuksen luotettavuutta voidaan parantaa laadullisessa tutkimuksessa toteutuksen tarkalla kuvaamisella. Useampien tutkimusmenetelmien käyttäminen lisää opinnäytetyön validiutta. (Hirsjärvi ym. 2007, 226–228.)

Opinnäytetyön tekeminen sisälsi monipuolisesti erilaisia tehtäviä: muun muassa haastattelututkimusta, kuljetuskokeilun seuraamista ja aluskuljetusten simulointia. Monipuolisten lähestymistapojen ja analyysimenetelmien avulla opinnäytetyön tuloksista pyrittiin saamaan mahdollisimman luotettavia. Aineiston primaari-lähteinä toimineet haastateltavat olivat kokeneita aluskuljetusten ja puutavaran kaukokuljetuksen ammattilaisia, esimerkiksi osa Parkko-hinaajan miehistöstä oli ollut Pielisellä proomukuljetuksissa noin 20 vuotta sitten. Haastatteluaineistoa tuettiin kirjallisella lähdeaineistolla ja lopulliset päätelmät tehtiin näitä aineistoja yhdistelemällä. Koko tutkimuksen toteutus pyrittiin kuvaamaan mahdollisimman tarkasti, jotta tutkimus olisi toistettavissa.

Proomukalustotoimikunta totesi jo vuonna 1978, että ”väylien luonnonolojen tuntemus on välttämätöntä väylästä ja niillä tapahtuvan liikenteen kehittämisessä” (Komiteanmietintö 1978, 140). Opinnäytetyössä muun muassa näitä luonnonoloja on kuvattu. Lisäksi opinnäytetyöhön kerättiin yhteen eri toimijoiden tietoja ja tarpeita aluskuljetuksiin liittyen, minkä ansiosta Pielisen aluskuljetuksista saatiin paljon uutta tietoa. Osana projektia, johon opinnäytetyökin kuului,

kuljetettiin ensimmäinen Metsähallituksen puulla lastattu proomu Pieliseltä onnistuneesti. Kuljetuskokeilun ansiosta saatiin tietoa kuljetuksen kestosta ja aluskuljetusten vaatimista järjestelytoimenpiteistä.

Pielisellä aluskuljetusten suurin haaste on vaihteleva vedenkorkeus. Opinnäytetyössä vedenkorkeuden vaihtelua ja vaikutusta pyrittiin analysoimaan saatavilla olevan tiedon perusteella, mutta tarkkaa rajaa, milloin aluskuljetus onnistuu ja milloin taas ei, oli vaikeaa määrittää. Aluskuljetuksessa turhia riskejä halutaan tietenkin välttää, joten opinnäytetyössä esitetty kolmen kuukauden kuljetuskausi on ainakin alustavasti todennäköinen ja samalla turvallinen ajanjakso kuljetuksille.

Opinnäytetyöhön tehdyn simulointitutkimuksen tulokset perustuvat pitkälti asiantuntijahaastatteluihin, joten laskelmat ovat melko luotettavia. Simuloinnissa kuljetuskauteen ei kohdistunut suuria keskeytyksiä, koko kuljetusajasta kuitenkin noin 5 % varattiin huollolle ja odotuksille. Kustannuslaskennassa ei huomioitu yrittäjävoittoa, joten todellisissa sopimuksissa aluskuljetuksen hinnat voivat poiketa simuloituista kustannuksista.

Simulointitutkimuksessa kustannusrakenne oli erilainen verrattuna aiempiin Karttusen ym. (2007) ja Korpisen ym. (2011) tutkimuksiin. Aiemmissä tutkimuksissa kalustoon kohdistuvat kustannukset laskettiin täysin uudelle kalustolle ja palkkakustannukset neljälle henkilölle. Opinnäytetyössä kalustokustannukset laskettiin kaluston nykyarvoihin peilaten ja palkat kahdeksan henkilön miehistölle. Karttusen ym. (2007) ja Korpisen ym. (2011) tutkimusten simulointitulokset tukevat opinnäytetyössä saatuja tuloksia: vaihtoproomulogistiikka useammilla Sampo-kokoluokan proomuilla ei tuo kustannussäästöjä. Molemmissa tutkimuksissa lastikapasiteetiltaan suurimmat alukset tuottivat edullisimmat yksikkökustannukset aivan kuten opinnäytetyön simuloinneissakin.

Opinnäytetyön tuloksia esiteltiin 29.1.2013 Kuopiossa Metsähallituksen aluskuljetusten kehittäminen -seminaarissa. Paikalla oli edustajia suurimmista metsäyhtiöistä, aluskuljetusyrityksestä, Järvi-Suomen uittoyhdistyksestä ja Metlasta. Yhteinen näkemys oli, että aluskuljetuksessa on potentiaalia, mutta myös kehittämiskohteita löytyy vielä.

Aluskuljetusten lisääminen vaatii eri toimijoiden tiivistä yhteistyötä ja sujuvaa kommunikointia. Lastauspaikat eivät saa ruuhkautua eri toimijoiden puutavarasta, vaan lastauspaikkojen käytöstä tulisi sopia siten, että eri metsäyhtiöt ja alusyrittäjät voivat käyttää aluskuljetusta sujuvasti ilman turhia viivästyksiä. Kuopiossa 29.1.2013 pidetyssä aluskuljetusseminaarissa nostettiin esiin myös ajatus erillisestä organisaatiosta, joka voisi ohjata aluskuljetusten järjestämistä, jolloin lastauspaikkojen käytön päällekkäisyyksiltä vältyttäisiin. Aluskuljetusten toimintaedellytysten kehittämiseksi tarvittavia parannuksia laivaväylille ja lastauspaikoille saataisiin varmasti metsäyhtiöiden selkeällä yhteisellä viestillä Liikenneviraston suuntaan.

Aluskuljetuksen käyttöönotto vakituiseksi kuljetusmuodoksi Pielisellä on pitkälti kiinni aluskuljetuksen kustannuksista, mutta ainakin simulointitutkimuksen perusteella aluskuljetus vaikuttaa kilpailukykyiseltä vaihtoehdolta. Aluskuljetuksen heikkoutena on tietysti sen kausiluontoisuus: kuljetukset on tehtävä sulan veden aikaan ja tämän lisäksi Pielisellä vedenkorkeus rajoittaa kuljetuksia. Aluskuljetuksen kannattavuuteen vaikuttaa myös se, että puolet matkasta tehdään tällä hetkellä ilman kuormaa – löytyisikö jokin tuote, jota voitaisiin kuljettaa aluksella Etelä-Saimaalta pohjoiseen?

Opinnäytetyön tulosten pohjalta voidaan toteuttaa uusia kuljetuskokeiluja esimerkiksi Juuan lastauspaikalta, lisäksi voidaan kokeilla kuljetuksia esimerkiksi Vorokki-proomulla. Jatkoselvityksiä Pielisen aluskuljetuksista voidaan tehdä, kun Pielisen laivareitiltä saadaan tarkempia luotaustietoja uusien merikarttasarjojen myötä ja toisaalta kun Pielisen juoksutusten kehittämishanke saadaan päätökseen. Tulevaisuudessa myös modernimpi kuljetuskalusto voi asettaa uudenlaisia vaatimuksia aluskuljetukselle, joita voi olla tarpeellista tutkia. Aluskuljetuksen mahdollisuuksia voitaisiin tutkia myös muilla Suomen vesiteillä, esimerkiksi Päijänteellä ja rannikkoseudulla.

Lähteet

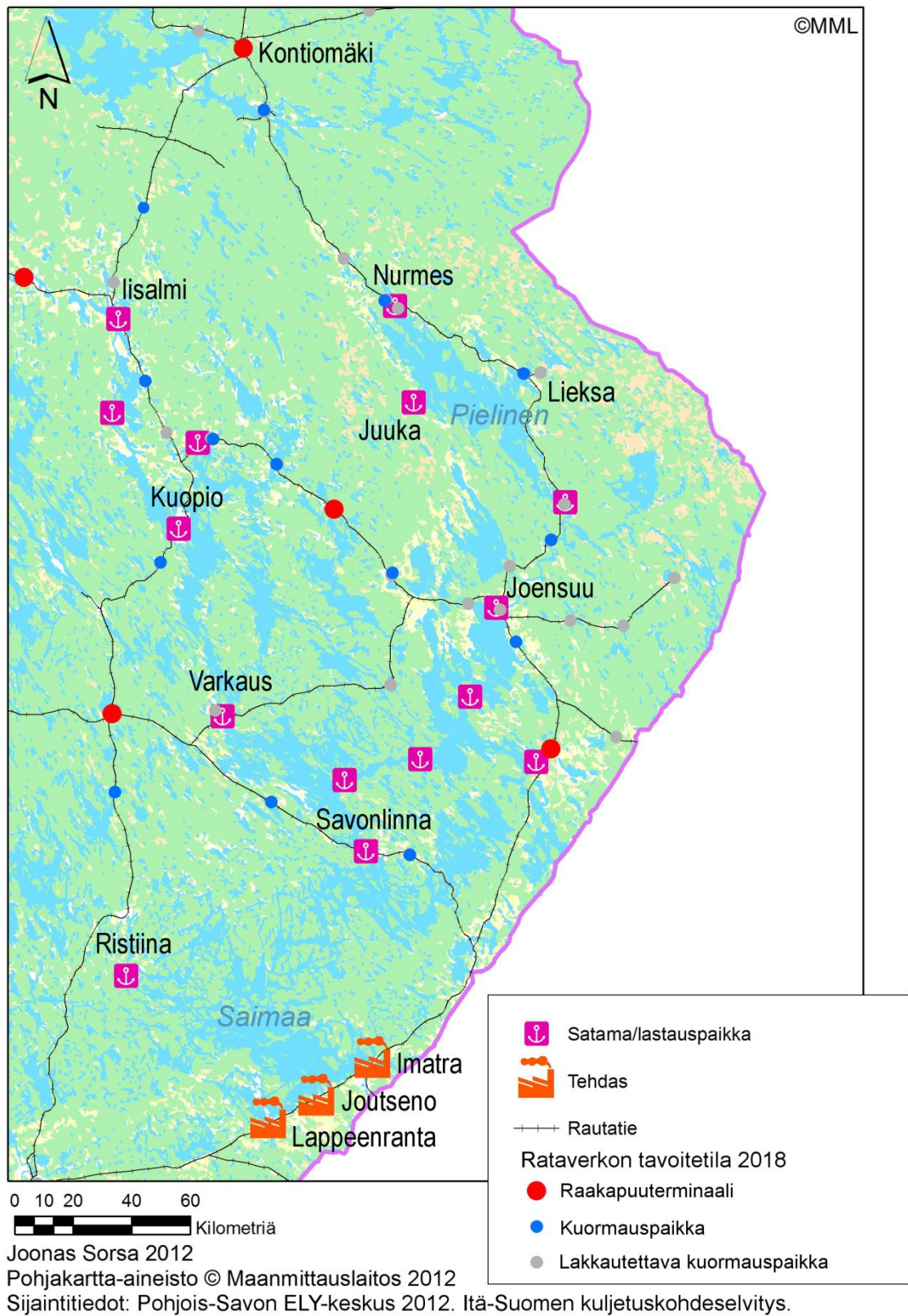
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>. 8.11.2012.
- Dinh, T. 1999. Tugs & towboats, dredge vessels and others. <http://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/districtmeth/BayArea/99TD1194.pdf>. 8.12.2012.
- Eskola, J. & Suoranta, J. 2008. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Fin-Terpuu Oy. 2012. Yrityksen esittely. <http://www.fin-terpuu.fi/etusivu2>. 19.6.2012.
- Hakala, J. 2004. Opinnäyteopas ammattikorkeakouluille. Helsinki: Gaudeamus Kirja.
- Helsingin Sanomat. 2012. Rikkidirektiivi hyväksyttiin EU-parlamentissa. Helsingin Sanomat. 11.9.2012.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Ikkainen, P. & Sirkiä, A. 2011. Rataverkon raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen. Helsinki: Liikennevirasto. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-31_rataverkon_raakapuun_web.pdf. 20.7.2012.
- Ilmanlaatuportaali. 2012. Ilmansaasteet ja niiden ominaisuudet. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/komponentit.html>. 7.11.2012.
- Ilmasto-opas.fi. 2012. Kasvihuoneilmiö ja hiilidioksidi. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>. 7.11.2012.
- JST Services. 2012. Mobile Floating Piers. <http://www.jstservices.co.uk/services/mobile-piers>. 31.7.2012.
- Järvi-Suomen uittoyhdistys. 2012. Raakapuun uittomäärät 2002–2011. http://www.uittoyhdistys.fi/perkaus_tilastot.php. 11.11.2012.
- Järviwiki. 2012. Pielinen. http://www.jarviwiki.fi/wiki/Pielinen_%2804.411.1.001%29. 3.8.2012.
- Karjalainen. 2012. Joensuuhun kaksi uutta siltaa – rakentaminen aloitetaan piakkoin. Karjalainen. 30.8.2012.
- Karttunen, K., Ranta, T., Jäppinen, E., Hämäläinen, E. & Vartiamäki, T. 2007. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetusmahdollisuudet. Mikkeli: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <http://www.doria.fi/handle/10024/31096>. 15.6.2012.
- Karttunen, K. & Korpilahti, A. 2009. Metsäpolttoaineiden proomukuljetus. Metsäteho. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_04_Metsapolttoaineiden_proomukuljetus_ak.pdf. 11.6.2012.
- Komiteanmietintö. 1978. Proomukalustotoimikunnan mietintö. Helsinki: Liikenneministeriö.

- Komsa-Partanen, K. 2012. Nurmeksen satamamaksutaksat. Email joonas.sorsa@edu.pkamk.fi. 19.6.2012.
- Korpinen, O-J., Föhr, J., Saranen, J., Vätäinen, K. & Ranta, T. 2011. Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67479/isbn%209789522650689.pdf>. 18.1.2013.
- Kumpare, T. 2012. Tieverkoston peittävyys Nurmeksen satamasta. Email joonas.sorsa@edu.pkamk.fi. 1.10.2012.
- Laiho, J. 2012. Metsähallituksen puutavarakuljetukset. Puhelinkeskustelu. 26.7.2012.
- Liikennevirasto. 2010. Luettelo rautatieliikennepaikoista 1.1.2011. Helsinki: Liikennevirasto. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lv_2010-06_luettelo_rautatieliikennepaikoista_web.pdf. 24.7.2012.
- Liikennevirasto. 2011. Väylien kulkusyvyysskäytännön periaatteet ja soveltaminen. Ohje. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2011_vaylien_kulku_syvyysskaytannon_fi.pdf. 14.6.2012.
- Liikennevirasto. 2012a. Vuoksen vesistön kanavat ja sillat. http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/liikenneverkko/vesivaylat_kanavat/kanavat/vuoksen_vesisto. 7.6.2012.
- Liikennevirasto. 2012b. Merikarttaohjelma. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ls_2012-04_merikarttaohjelma_web.pdf. 3.12.2012.
- Länsi-Savo. 2011. Mopro sai uuden omistajan. Länsi-Savo. 1.2.2011. <http://www.lansi-savo.fi/Etusivu/10946551.html>. 19.6.2012.
- Maanmittauslaitos. 2012. Ortoilmakuvat lastauspaikoista ja aineisto karttoihin. <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. 24.10.2012.
- Maria, A. 1997. Introduction to Modeling and Simulation. [http://www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Simul-2-2002/Introduction to Modeling and Simulation.pdf](http://www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Simul-2-2002/Introduction%20to%20Modeling%20and%20Simulation.pdf). 9.11.2012.
- Martikainen, U. 2009. Ja valot satamassa loistaa: Joensuun satamalaitoksen ja Joensuun Laivaus Oy:n historiaa. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.
- Merenkululaitos. 2002. Pielisjoki merikarttasarja. Porvoo: John Nurminen Marine Oy.
- Merenkululaitos. 2008. Saimaan sisävesiliikenteen kehittämisselvitys. Helsinki: Merenkululaitos. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf5/mkl_2008-6_saimaan_sisavesiliikenteen.pdf. 11.6.2012.
- Metsähallitus. 2012. Konsernin esittely. <http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Konserni/Metsahallituslyhyesti/Sivut/Metsahallituslyhyesti.aspx>. 24.10.2012.
- Metsäntutkimuslaitos. 2005. Puutavaramateriaalien tuoretiheyden alueellinen vaihtelun mittaussasemien vastaanottomittauksessa. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp019.htm>. 24.7.2012.
- Metsäntutkimuslaitos. 2013. Metsäntutkimuslaitoksen esittely. <http://www.metla.fi/metla/>. 19.1.2013.
- Metsäteho Oy. 2010. Metsätehon puuhuolto-opas: Uitto. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/uitto_opas/start.html. 18.6.2012.

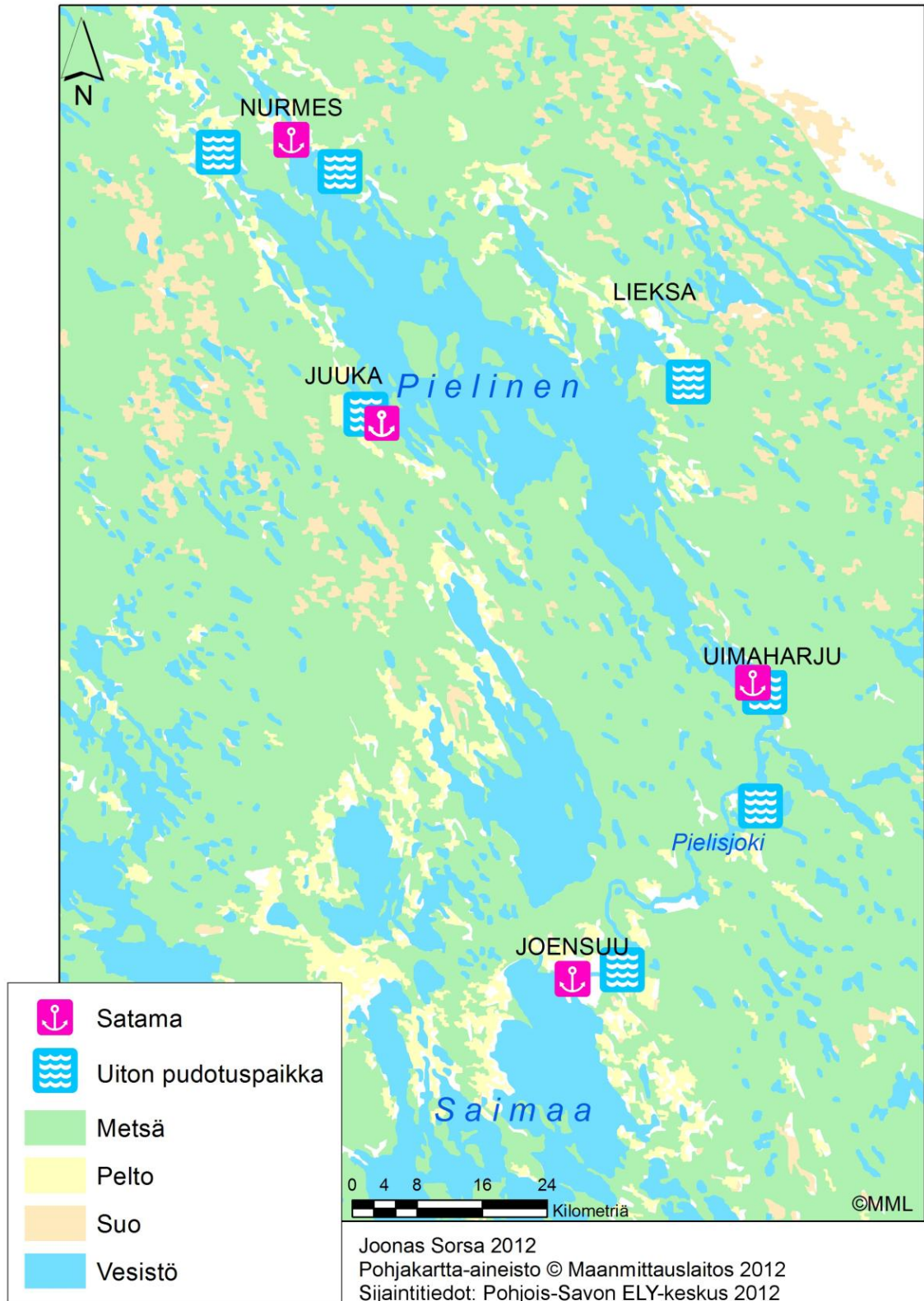
- Myllykylä, T. 1991. Suomen kanavien historia. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.
- Müller, E. 2003. Innovative transport vehicles – Rhine. <http://spin-tin.factline.com/fsDownload/WG3%20Innovative%20Transport%20Vehicles%20Rhine%20%28M%FCller%29.pdf?forumid=224&v=1&id=29112>. 24.7.2012.
- Piironen, S. 2012. Juuan lastauslaiturin satamamaksut. Email joonas.sorsa@edu.pkamk.fi. 19.6.2012.
- Pohjois-Karjalan ELY-keskus. 2012a. Ajankohtainen vesitilanne. <http://www.ely-keskus.fi/fi/tiedotepalvelu/2012/Sivut/Sadettatavallistaelokuussa.aspx>. 5.9.2012.
- Pohjois-Karjalan ELY-keskus. 2012b. Pielisen juoksutuksen kehittämishanke. <http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/pohjoiskarjalanely/Vesivarojenkayttojahoito/Pielisenjuoksutuksenkehittaminen/Sivut/default.aspx>. 18.9.2012.
- Pohjois-Savon ELY-keskus. 2012. Itä-Suomen kuljetuskohdeselvitys: rautatiekuormausalueiden, vesitieterminaalien, jätekeskusten, kaivosten ja energialaitosten tieyhteydet. http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/76715/RAPORTTEJA_25_2012.pdf. 18.6.2012.
- Purhonen, I. 2012. Uittotyöt ja uittoyhdistyksen kalusto. Puhelinkeskustelu. 30.7.2012.
- Rautiainen, M. 2012. Proomukuljetukset Pielisellä ja Vuoksen vesistöllä yleisesti. Henkilökohtainen tiedonanto. 1.10.2012.
- Riikonen, J. 2012. Kaukokäyttökeskuksen käytännöt ja aukiolo. Henkilökohtainen tiedonanto. 26.9.2012.
- Ronkainen, M. 2011. Propsia proomulla. Metsä.fi: Metsähallituksen verkkolehti. <http://www.metsafi-lehti.fi/index.php?page=2650e95b67e0aa541b91a7fcbf7008e>. 12.6.2012.
- Ropponen, J. 1985. Pohjois-Karjalan uittoyhdistys. Joensuu: Pohjois-Karjalan Kirjapaino Oy.
- Sarkkinen, P., Rekonen, T. & Koivupuro, S. 2007. Suomen sisävesiväylät: rakentaminen ja kehitys. Jyväskylä: Multikustannus Oy.
- Siekinen, A. 2012. Vesitiekuljetusten kehittäminen. Metsähallituksen pdf-tiedosto.
- Strandström, M. 2012. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2011. Metsäteho. http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2012_3a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2011_ms.pdf. 12.6.2012.
- Trucking Scandinavia. 2012. Lasset från ön. Trucking Scandinavia 8–9.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Tyrsky, O. 2012. Fin-Terpuun ja Mopron aluskuljetuskalusto. Puhelinkeskustelu 29.10.2012.
- Uusitalo, J. 2003. Metsäteknologian perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Valtion ympäristöhallinto. 2013. Vesistöjen vedenkorkeus- ja virtaamhavainnot Pohjois-Karjalan ELY-keskuksen alueella. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=651&lan=fi>. 2.1.2013.
- Vapalahti, H. 1996. Suomen kuvitettu laivaluettelo. Karhula: Judicor Oy.

- Veijalainen, N., Jakkila, J., Nurmi, T., Vehviläinen, B., Marttunen, M. & Aaltonen, J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=137197&lan=fi>. 17.06.2012.
- Verta, O-M., Nykänen, J., Höytämö, J. & Marttunen, M. 2006. Pielisen juokstusten kehittämismahdollisuudet. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
- Vesajoki, H. & Pihlatie, M. 2011. Pielisjoki: elämän virta. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Vesilaki 587/2011.
- Vilkka, H. & Airaksinen, T. 2003. Toiminnallinen opinnäytetyö. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino.
- VTT. 2012. Lipasto: liikenteen päästöt. <http://lipasto.vtt.fi/index.htm> 16.7.2012.
- Yleisradio. 2010. Muuttuneet virtaamat upottivat proomun? http://yle.fi/uutiset/puutavaraproomu_upposi_pielisjoella/1734549. 8.6.2012.

Aluskuljetuksen lastauspaikat Vuoksen vesistöllä ja rautatieverkoston kuormauspaikat



Pielisen vesistöalueen kartta



Aluskuljetuksen simuloinneissa käytetyt parametrit ja satunnaismuuttujat

Taulukko 1. Kustannustekijöihin vaikuttavat koneet ja laitteet. Hankintahinnat ovat asiantuntijoiden arvioita, muut arvot peräisin simuloinnista.

Nimi	Hankintahinta €	Vuosikustannus €/vuosi	Käyttötunnit h	Tuntikustannus €/h	Käyttöosuus %
Parkko-hinaaja	300 000	942 218	4 081	230,86	100
Sampo-proomu	300 000	39 307	5 635	6,98	100
Vorokki-vaihtoproomu	350 000	38 859	2 808	13,84	100
Käytetty moottoriproomu	2 000 000	995 251	4 148	239,92	100
Uusi moottoriproomu	5 000 000	1 170 076	4 148	282,06	100
Materiaalinkäsittelykone, kuormaus	330 000	175 362	2 100	83,51	25,0
Materiaalinkäsittelykone, purku	330 000	246 684	3900	63,25	15,7
Kurottaja	350 000	155 550	2 100	74,07	6,8
Apuhinaaja	100 000	90 336	1 500	60,22	22,2
Proomun/aluksen omat kuormaimet*	120 000	24 752	714	34,65	100

*3 kpl puutavara-auton kuormaimen tyyppisiä nostureita

Taulukko 2. Kaluston kuljetuskapasiteetit ja lastikoon keskihajonnat.

Nimi	keskikoko, m ³	keskihajonta, m ³
Sampo	1 800	50
Vorokki	2 700	80
-Vorokki Pielisellä, lastaus Nurmes/Juuka	1 400	40
-Vorokki täydennys Joensuussa	1 300	40
Moottoriproomu	2 000	50

Taulukko 3. Nopeudet Parkko-hinaajalle.

Reitti	nopeus tyhjänä km/h	nopeus lastissa km/h
Pielinen-Joensuu	13,33	9,84
Joensuu-Joutseno/Lappeenranta	15,4	11,2
Varkaus-Joutseno/Lappeenranta	15,5	11,5
Peltosalmi-Joutseno/Lappeenranta	14,8	14,8

- Nopeuksien keskihajonta esim. sääolosuhteiden takia 1 km/h
- Moottoriproomulla käytettiin reitistä riippuen noin 15 % suurempia nopeuksia

Taulukko 4. Lastauksen ja purkutoimintojen tuottavuudet.

	keskiarvo, m ³	hajonta, m ³	vaihteluväli, m ³
Lastaus, materiaalinkäsittelykone, m ³ /h	225	10	150–300
Joutseno purku, materiaalinkäsittelykone, m ³ /h	150	10	100–180
Lappeenranta purku, materiaalinkäsittelykone, m ³ /h	260	10	200–300

- Omille kuormaimille käytettiin noin 27 % heikompaa lastaustuottavuutta kuin materiaalinkäsittelykoneille

Taulukko 5. Aluskuljetuksen satamatoiminnot.

Laiturille tulo ja lähtö*	0,3 h
Proomun vaihto	1,25 h
Proomun otto/jätö	0,6 h

*Käytössä sekä lastaus- että purkupäissä