

Johanna Routa ja Tapio Ranta

Energiapuun rautatiekuljetuksissa kehittämispotentiaalia – tutkimuksia Suomesta ja Ruotsista

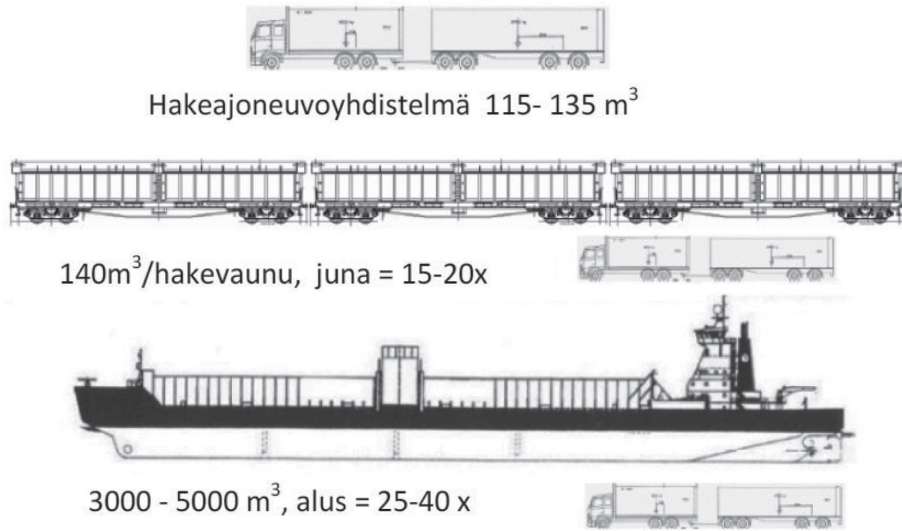


Tässä artikkelissa luodaan katsaus viimeaikaisiin tutkimuksiin energiapuun rautatiekuljetuksista Suomessa ja Ruotsissa, ja luodetaan hieman tulevaisuuden tutkimus- ja kehittämistarpeita. Suomen hallituksen tavoitteena on nostaa metsähakkeen vuotuinen käyttö noin 13,5 miljoonaa kuutiometriin vuoteen 2020 mennessä. Raaka-aineen kysynnän lisääntyessä on tarvetta laajentaa hankinta-alueita, mikä vaatii uudenlaisia logistisia ratkaisuja. Suomessa ja Ruotsissa suurin osa aines- ja energiapuusta kuljetetaan tällä hetkellä maanteitse. Autokuljetuksiin perustuvassa hankintaketjussa kuljetuskustannusten osuus metsähakkeen hinnasta kasvaa huomattavasti kuljetusmatkan kasvaessa. Pitkillä kuljetusmatkoilla rautateitse tapahtuvat kuljetukset voivat tarjota edullisemmän vaihtoehdon. Suomessa metsäbiomassaa on kuljetettu rautateitse vielä melko vähän, pääasiassa hakkuutähdepaaleja ja pieniä määriä kantoja ja harvennuspuuta. Metsähakkeen käyttömäärien kasvaessa korjuu on jouduttu ulottamaan yhä laajemmalle alueelle voimalaitosten polttoaineen tarpeen tyydyttämiseksi, joten junakuljetusten määrät tulevat kasvamaan. Ruotsissa on jo säännöllisiä rautatiekuljetuksia, joissa kuljetetaan noin 0,5 milj.m³ (1TWh) metsäbiomassaa vuosittain.

Koska metsähakkeen tilavuuspaino ja energiasisältö ovat pieniä, on yksittäisen autokuorman energiasisältö vähäinen ja kuljetusintensiiteetti pieni, vaikka autokuljetusten kantavuus hyödynnettäisiin mahdollisimman hyvin (kuva 1). Kustannustehokkuuden saavuttamiseksi myös rautatiekuljetuksia

täytyy tehostaa ja kehittää taloudellisesti kannattaviksi. Nykyisellään junavaunujen kantavuudesta (n. 60 t) jää huomattava osa hyödyntämättä; kuormat ovat noin 20–30 t/vaunu kuljetettaessa kantoja ja hakkuutähdepaaleja. Hakkeena vaunujen kantavuus tulee paremmin hyödynnettyksi, sillä kuormat ovat noin 40–50 t/vaunu. Junakuljetuksen koon tulisi olla noin 10–20 vaunua, vaihtoehtoina ovat joko kiinteätilaiset vaunut tai konttikalusto (3 konttia vaunussa). Suomessa toimintaa rajoittaa sopivien terminaali-alueiden puute, rajattu loppuasiakkaiden määrä sekä kilpailun puute rautatiemarkkinoilla ja vaunukaluston saatavuus. Konttilogistiikka mahdollistaa yhdistetyt kuljetusmuodot, joissa kontti siirtyy kuljetusvälineestä toiseen (auto–juna–alus).

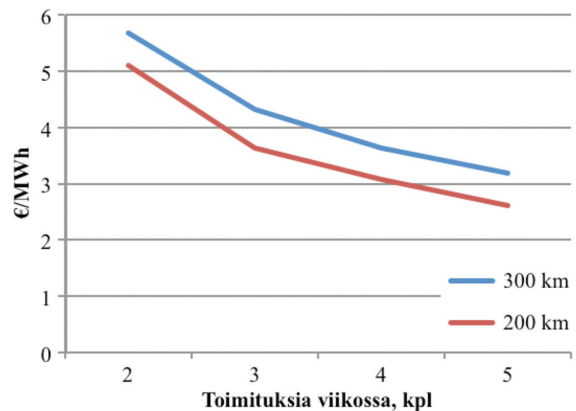
Ruotsissa on tutkittu junakuljetuksia metsäbiomassan hankintaketjujen osana. Skogforskin kehittämän laskentatyökalun avulla on tunnistettu tärkeimpiä kustannustekijöitä metsäbiomassan rautatiekuljetuksissa, sekä kartoitettu mahdollisia rautatiekuljetusten asiakkaita. Ruotsissa tällä hetkellä vain kuudella 44:stä vähintään 100 GWh:n energiantuotantolaitoksesta on suora rautatieyhteys. Suurimmalla osalla lämpölaitoksia metsäbiomassaa ei voida purkaa suoraan junasta lämpölaitokselle, joten erityisesti auto–juna–auto-yhdistelmän tehokkuus on tärkeää pitkän matkan kuljetusten tehostamisessa. Taloudelliset analyysit ja käytännön tutkimukset ovat osoittaneet, että seuraavilla tekijöillä on suurimmat vaikutukset rautatiekuljetusten kustannuksiin:



Kuva 1. Metsähakkeen kuormauksen koot kotimaan kuljetuksissa (kuva: Tapio Ranta).

- toimitusten määrä aikayksikköä kohti
- kuormauskapasiteetin hyödyntäminen
- kuljetusmatka
- terminaalikäsitteily (kuormausta ja purku)
- junan olosuhteet terminaalipisteissä (sivuraiteiden sijainti, sähkön saatavuus jne.)

Rautatiekuljetusten kiinteät kustannukset ovat korkeat (50–60 %). Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) simulointitutkimus antoi saman lopputuloksen kiinteiden kustannusten osalta, kun asiakkaana on tyypillinen yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotantolaitos. Jotta kiinteiden kustannusten suhteellista osuutta saadaan pienennettyä, täytyy kuljetusmäärien olla suuria, esimerkiksi junavaunun kuormauskapasiteetti pitäisi hyödyntää täysimääräisesti. Kuva 2 osoittaa kuinka toimitusten määrä ja kuljetuskustannukset korreloivat keskenään. Kuljetusmatkan pituudella on suora vaikutus muuttuviin kustannuksiin, mutta matka vaikuttaa myös toimitusten määrään viikossa, mikä on ratkaisevampaa. Myös terminaalien käsittelyajat vaikuttavat toimitusten määrään viikossa. Tehokas käsittely terminaalissa voidaan saavuttaa hyvin suunnitellun sisäisen logistiikan avulla, mm. minimoimalla koneiden liikkumismatka työpisteellä kuormauksessa ja purkamisessa.



Kuva 2. Esimerkkejä metsähakkeen rautatiekuljetusten kustannuksista erilaisilla kuljetusmatkoilla ja toimitusten määrillä Ruotsissa Enströmin mukaan.

LUT:n simulointitutkimuksessa huomioitiin myös vaunujen määrän vaikutus. Kuljetusoperaattorit edellyttävät vähintään 10 vaunua junassa, kun taas ratalogistiikka, mm. kuormausalueet, asettavat maksimimääräksi 20 vaunua. Vaunujen määrän vaikutus oli melko pieni, suurempi vaikutus oli junakapasiteetin käyttöasteella. Kapasiteetin käyttöaste nousee laitoksilla, jonne on toimituksia ympäri vuoden taasisesti. Myös kiinteiden kustannusten osuus laskee tällöin tasolle 35–50 %.

Konttityypit

Jotta rautateiden liittymäkuljetuksia saadaan tehostettua, täytyy myös selvittää voidaanko nykyistä suurempia ajoneuvoyhdistelmiä (74-t, 98-t) käyttää hakkeen maantiekuljetuksessa. Rautatieliikenteessä sallitaan suuremmat /painavammat kontit kuin maantieliikenteessä. Jos hakeautojen massaa voitaisiin kasvattaa, saataisiin rautatien kuljetuskapasiteetti paremmin hyödynnettyä käytettäessä konttilogistiikkaa.

Konttityyppi määrää pitkälti, mitä teknologiaa voidaan käyttää hakkeen kuormaukseen ja purkuun. Ruotsalaisessa tutkimuksessa vertailtiin kolmea erilaista hakkeen kuljetukseen soveltuvaa konttia: Innofreight-konttia, standardikonttia ja Kockumin vaihtokonttia. Kaikilla kolmella systeemillä on etunsa ja haittapuolensa, eikä niitä asetettu tutkimuksessa paremmuusjärjestykseen. Kaikissa tutkimuksissa hake kuormattiin kasasta pyöräkuormaajalla tai kahmarilla terminaalissa junavaunuissa oleviin kontteihin. Kontteja ei purettu junavaunuista ennen vastaanottajalaitosta. Pyöräkuormaajalla saavutettiin korkeampi kuormaustuottavuus kuin kahmarilla. Pyöräkuormaajalla tuottavuus oli keskimäärin 550 m³ haketta tunnissa. Tutkimuksessa junakuljetusmatkat vaihtelivat 249–579 km välillä. Hakkeen jäätyminen aiheutti jonkin verran ongelmia tammi-helmikuun aikana, jolloin lämpötila oli jatkuvasti nollan alapuolella.

Innofreight-kontit

Suuret (46 tai 53 m³) kontit tyhjennetään kääntämällä ne trukilla. Tätä systeemiä käytetään laitoksilla, joihin toimitetaan haketta rautateitse useamman keran viikossa. Erityiskontit mahdollistavat suurempia hakemääriä junavaunua kohden ja purkaminen on tehokasta ympäri käännettävillä konteilla, mutta jos purkavalla trukilla ei ole paljoa muuta tehtävää, sille tulee matala kapasiteetin käyttöaste. Lisäksi kuormia purkavat trukit on erityisesti suunniteltu tähän käyttöön, ja ne eivät voi käsitellä standardikontteja.

Vaihtokontit

Kontteja voidaan käyttää sekä maanteillä että rautateillä, ja konttien siirto autolla kauemmas onnistuu. Järjestelmässä on vain standardiosia. Purkamisaika on jonkin verran pidempi verrattuna Innofreight-systeemiin, eikä perinteinen hakekontti täysin pysty hyödyntämään junan kuormauskapasiteettia. Painorajoitus yleisillä teillä on noin 14t/kontti ja junavaunun rajoitus on noin 20 t/kontti. Myös konttien sallittu leveys on junissa suurempi.

Kockumsin vaihtokontti

Tätä teknologiaa käytetään siirreltävissä standardikontteja suoraan junavaunusta ajoneuvoyhdistelmään. Vaihtolava-alustalla varustetut kontit helpottavat kuormausta, kun muita koneita ei tarvita kuormaukseen tai purkamiseen. Autot ja kontit ovat standardimittaisia eikä mitään erityisiä lisävarusteita tarvita ajoneuvoyhdistelmään. Junavaunujen täytyy kuitenkin olla tarkoitusta varten rakennettuja, ja ne ovat noin 20 % kalliimpia kuin tavalliset junavaunut, eikä niitä ole tällä hetkellä sarjatuotannossa. Purkaminen vie aikaa (noin 10 minuuttia/kontti junasta ajoneuvoyhdistelmään.). Lisäksi standardikontit eivät pysty hyödyntämään junan täyttä kuormauskapasiteettia, vaan junakuormat jäävät vajaiksi. Suomessa ei tällä hetkellä ole käytössä tähän tarkoitukseen soveltuvia vaunuja.

Kuljetusten kustannustehokkuus

Ruotsalaisessa tutkimuksessa verrattiin konttilogistiikan ja erikokoisten hakeajoneuvoyhdistelmien (60-, 74- ja 98-t) käyttöä junakuljetuksissa ja havaittiin 98-t hakeajoneuvoyhdistelmän ja rautatiekuljetuksen ketjun olevan edullisin vaihtoehto. Erot olivat kuitenkin erittäin pieniä eri vaihtoehtojen välillä. Konttilogistiikka vaatii huolellista suunnittelua ja on alttiimpi häiriöille kuin perinteinen auto–juna–auto-systeemi.

Lisäksi Ruotsissa on vertailtu rautatie- ja auto-kuljetusten ympäristöystävällisyyttä. Rautatiekuljetukset ovat huomattavasti ympäristöystävällisempiä: 490 km:n kuljetusmatkalla autokuljetusten hiili-

Taulukko 1. Päästöt biomassakuutiota ($i\text{-m}^3$) kohti kuljetettaessa 490 km vain autolla tai 400 km junalla ja 90 km autolla kolmella erikokoisella hakeajoneuvoyhdistelmällä Enströmin mukaan.

	Vain autokuljetus, 490 km			Juna ja autokuljetus, 400 km junalla, 90 km autolla		
	60	74	98	60	74	98
Auton massa kuormattuna, t	60	74	98	60	74	98
Päästöt, kg CO ₂ /m ³	10,36	9,01	7,66	2,67	2,45	2,24

dioksidipäästöt ovat lähes nelinkertaisia junakuljetuksiin verrattuna (taulukko 1). Junakuljetusten ympäristöystävällisyyteen vaikuttaa merkittävästi junan käyttövoima: diesel tai sähkö. Suomessa on rataosuuksia, joissa on turvaututtava dieselveeturiin. Lisäksi sähkövaihtoehdossa on vielä merkitystä sähköön tuotantomuodolla, esim. VR mainostaa käyttänsä uusiutuvaa sähköä.

Tahvanaisen ja Anttilan tutkimuksessa laskettiin päätehakkuiden latvusmassan ja nuorten metsien harvennuspuun hankintakustannukset Uimaharjussa ja Varkaudessa sijaitseville laitoksille. Harvennuspuu kuljetettiin laitokselle joko hakettamattomana tai hakkeena ja latvusmassa lisäksi paaleina. Kuljetusmuotoina verrattiin auto- ja junakuljetusta. Vertailuun otettiin latvusmassalle mukaan myös ketju, jossa paalit kuljetettiin autolla rautatieterminaaliin, jossa ne murskattiin ja murske kuljetettiin edelleen junalla laitokselle. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös ajoneuvoyhdistelmän suurimman sallitun kokonaispainon rajaamisen vaikutuksia 60 tonnista Manner-Euroopassa yleiseen 40 tonniin. Matkan pidetessä ja auton hyötykuorman pienetessä junan kannattavuus paranee.

Korjuuketju, jossa latvusmassa kuljetettiin laitokselle hakettamattomana, oli edullisin 60 kilometriin asti. Tätä kauempana aina 160 kilometriin saakka halvin ketju oli välivarastohakettukseen ja hakkeen autokuljetukseen perustuva ketju. Välivarastohakettus – autokuljetus rautatieterminaaliin – junakuljetus laitokselle oli edullisin korjuuketju yli 160 km:n matkoilla. Rajattaessa ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu paino 40 tonniin junakuljetus voisi olla edullisin vaihtoehto jo alle sadan kilometrin kuljetusmatkoilla.

VTT:n tutkimuksessa vertailtiin energiapuupaalien auto- ja rautatiekuljetus -kustannuksia. Tulosten mukaan junakuljetus muodostuu edullisemmaksi kaukokuljetusmatkan ollessa yli 65 km, jos autolla tapahtuvan alkukuljetusmatkan pituus on 30 km.

Mikäli alkukuljetusmatka on 60 km, on junakuljetus edullisempi vaihtoehto vasta yli 150 km kaukokuljetusmatkoilla. Autokuljetusvaihtoehtoa tulisi kuitenkin vertailla junakuljetusvaihtoehtoon ns. terminaaliketjuna, jotta autokuljetusvaihtoehto tarjoaisi saman puskurointivarastointimahdollisuuden ja toimitusvarmuuden kuten junakuljetusvaihtoehtokin.

Korpisen ym. mukaan polttoaineen hankinnan suunnittelussa olisi ensisijaisesti mietittävä, kuinka saadaan riittävän suuri määrä polttoainetta kuormaustermiinaaleille, jotta nopealle junakuljetusjärjestelmälle olisi riittävästi käyttöä vuoden ympäri. Enströmin ja Karttusen ym. tutkimukset osoittavat, että pitkän matkan kuljetusmuotojen kilpailuetu menetetään usein kuormaus- ja purkutoimintojen heikkoihin järjestelyihin. Kuormaus- ja purkutoimintojen tehokkuutta voidaan parantaa yksinkertaisilla keinoilla:

- Suunnitellaan terminaali jo heti alusta alkaen biopolttoaineita ajatellen
- Valmistellaan hakekasojen sijoituspaikat niin että kuormaus on helppoa
- Kuormauksen tehokkuutta parannetaan käyttämällä useampia ja tehokkaampia koneita
- Junahenkilökunnan ja trukinkuljettajan välistä kommunikaatiota parannetaan radioyhteyden avulla

Lappeenrannan Teknillisessä yliopistossa on meneillään tutkimus, jossa tavoitteena on tutkia saavutettaanko biomassan kuljetuksissa merkittäviä hyötyjä käyttämällä kevytrakenteisia Fibrocom-siirtokontteja. Kevytrakenteisiin siirtokontteihin perustuvalla logistiikkajärjestelmällä voidaan saavuttaa suurempi hyötykuorma ja niiden avulla voidaan yhdistää eri kaukokuljetusmuotoja joustavaksi hankintaketjuksi. Tutkittavat ontelokomposiittikontit ovat normaaleja metallikontteja kevyempiä, ja kantavuus hakkeella on noin 12,4 t. Rautatiekuljetuksia varten kontteihin on saatavissa lisälaidat, jotka lisäävät kuormatilan kokoa ($41,3 \text{ m}^3$) + $7,3 \text{ m}^3$. Lisäksi konttien etuna

on eristävyys, eli materiaalin jäätyminen kontin seinämiin estyy.

Johtopäätöksiä

Energiapuun junakuljetuksissa on paljon kehittämispotentiaalia, etenkin kun otetaan huomioon terminaalien mahdollistama toimitusvarmuuden ja laadun parantaminen. Pitkillä kuljetusmatkoilla rautatiekuljetus on energiataloudellisempi, liikenneturvallisempi ja ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin maantiekuljetus. Kuljetuskustannusten vertailut erilaisten kaukokuljetusmuotojen kesken ovat kuitenkin hyvin paikkasidonnaisia ja tarkastelussa tulee ottaa huomioon koko hankintaketju ja sen rakenne. Terminaalitoiminnan ja vaihtoehtoisten kuljetusmuotojen etuna on metsähakkeen toimitusvarmuuden paraneminen ja ympäristökuormituksen väheneminen.

Tulevaisuuden tutkimus- ja kehittämistarpeita

- Täytyy ratkaista tekniset ongelmat kuten hakkeen jäätyminen konteissa
- Analysoitava terminaalien koordinoiva rooli tehokkuuden kasvattamisessa ja varastoinnin optimoinnissa, kuljetuksessa, haketuksessa, mittauksessa ja metsäpolttoaineen lajittelussa.
- Lisättävä yhteistyötä eri toimijoiden kanssa – yhteistyö luo tehokkaita virtoja
- Selvitettävä, kuinka tavalliset kontit soveltuvat metsäbiomassan kuljetukseen
- Lisäksi on tärkeää löytää kilpailukykyinen ja joustava systeemi pienten energiapuerien kuljetukseen
- Kehitettävä kuljetusvälineitä, kasvatettava kuorman kokoa, parannettava kantavuutta
- Terminaalitoimintojen tehokkuutta on parannettava sekä kuormauksessa että purkamisessa
- Kuljetusten ohjausta on tehostettava (kohteiden valinta, reititys, kapasiteetin käyttöaste)
- Liiketoimintoja on tehostettava (terminaalioperaattorit, kuljetusten ohjaajat, kuljetuspalvelujen tarjoajat)

Kirjallisuutta

- Enström, J. 2011. Forest fuel terminals and new transport concepts in Sweden. Conference proceedings, International Nordic Bioenergy Conference, 5th–9th September 2011, Jyväskylä, Finland.
- & Winberg, P. 2009. Systemtransporter av skogbränsle på järnväg. Arbetsrapport från Skogforsk 678. Saatavilla: <http://www.skogforsk.se/PageFiles/61310/Arbetsrapport%20678-2009.pdf>
- Karttunen, K., Jäppinen, E., Väätäinen, K. & Ranta, T. 2008. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla. Tutkimusraportti ENTE B-177. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 54 s. Saatavilla: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Erillisjulkaisut/Metsapolttoaineiden_vesitiekuljetus_proomukalustolla_2008_LUT.pdf
- Korpinen, O.-J., Föhr, J., Saranen, J., Väätäinen, K. & Ranta, T. 2011. Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia – Tutkimusraportti 12. 103 s. Saatavilla: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/67479/isbn%209789522650689.pdf?sequence=3>
- Tahvanainen, T. & Anttila, P. 2011. Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. *Biomass and Bioenergy* 35: 3360–3375.
- MMT Johanna Routa, Metla, Joensuun toimipaikka, sähköposti johanna.routa@metla.fi
Prof. Tapio Ranta, Lappeenrannan Teknillinen yliopisto, sähköposti tapio.ranta@lut.fi