



YLISUURTEN REKKOJEN MAHDOLLISUUDET PUUN KULJETUKSESSA

Harri Ruokojärvi

Helsingin Yliopisto

Yhteistyössä: *Metsäteho*

Pro Gradu -tutkielma



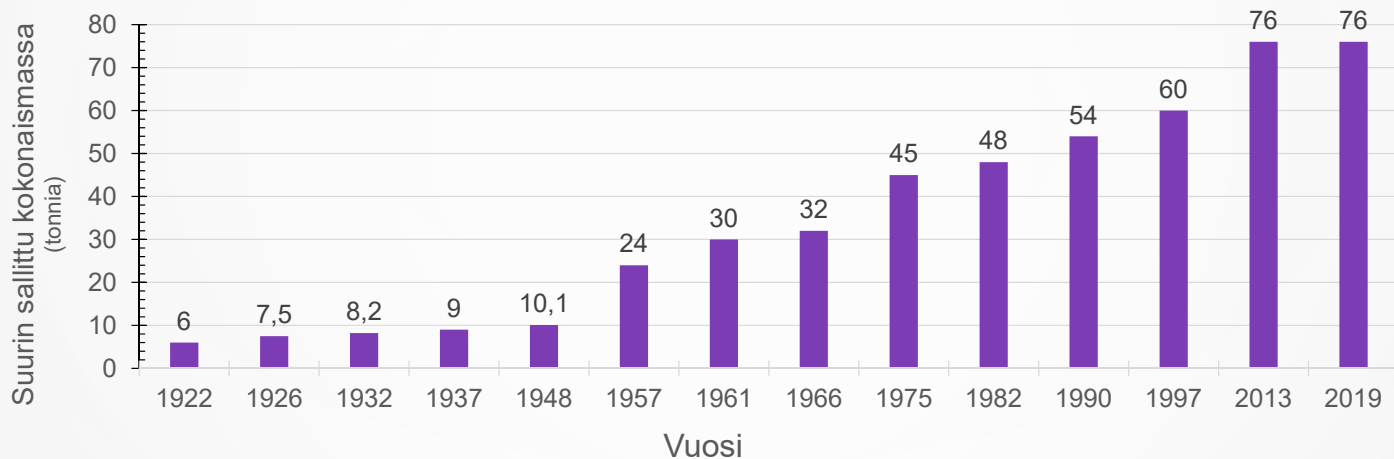
SUOMEN REKKOJEN MASSOJEN- JA DIMENSIOIDEN KEHITYS

- 1900-luvun alussa ei lainsäädäntöä
 - 1922 ensimmäiset säädökset kokonaismassalle
 - Dimensiot määräytyivät käyttötarkoituksen ja tietyypin mukaan
- 1957 ensimmäiset säädökset pituudelle
- 1997 kokonaismassa 76-tonniin ja pituus 25.25 metriin
- 2013 korkeuden nosto 4.4 metriin ja mahdollisuus HCT-ajoneuvoille
- Vuonna 2019 kokonaispituuden nosto 34.5 metriin



SUOMEN REKKOJEN MASSOJEN- JA DIMENSIOIDEN KEHITYS

Suomen ajoneuvojen suurimpien sallittujen kokonaismassojen kehitys



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

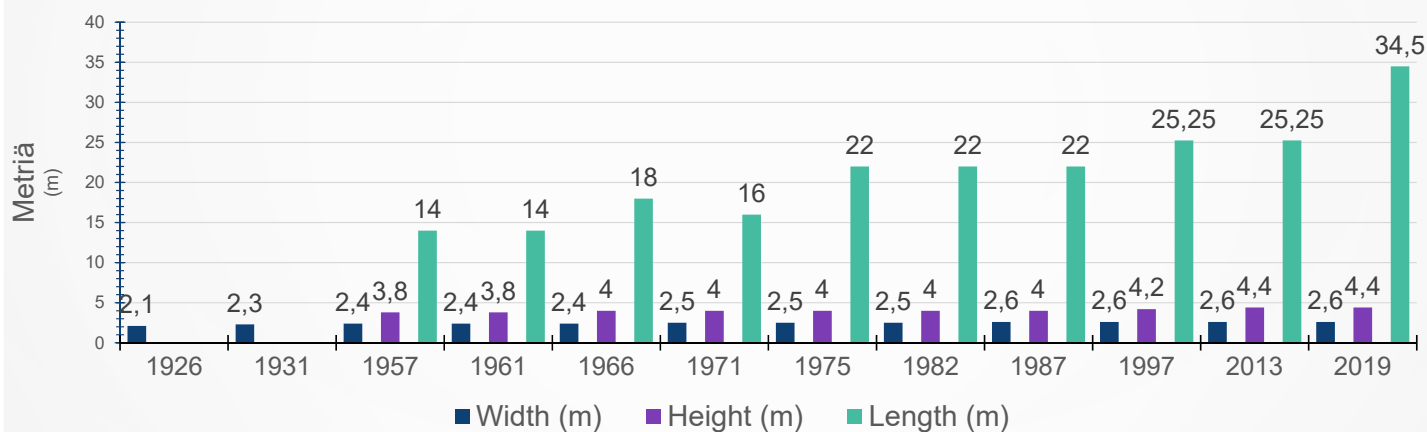
Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



SUOMEN REKKOJEN MASSOJEN- JA DIMENSIOIDEN KEHITYS

Suomen ajoneuvojen maksimi dimensioiden kehitys

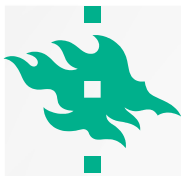


HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



SUOMEN REKKOJEN MASSOJEN- JA DIMENSIOIDEN KEHITYS: MIKSI?

- Massojen ja dimensioiden kasvu:
 - Moottoritekniologia
 - Kasvanut teho ja huoltovarmuus
 - Infrastrukturi
 - Parantunut tieverkko
 - Rakenne
 - Metallit, modulaarisuus
 - Kasvaneet kuljetustäisyydet
 - Asutuksen keskittyminen
 - Paine päästöjen vähentämiseen
- **Säästöt ja kuljetusalan kilpailukyvyn parantaminen -> koko Suomen kilpailukyvyn parantaminen**



HCT-AJONEUVOYHDISTELMIEN KOKEILU: VALTONEUVOSTON ASETUS 407/2013

- Valtioneuvoston asetus 407/2013 mahdollisti kokeilulupien hakemisen "HCT-yhdistelmille"
 - "High Capacity Transport" = yli 76-tonnin ja 25.25 metrin mittainen ajoneuvoyhdistelmä, jota ei vielä lasketa erikoiskuljetukseksi
 - Ei saa antaa kilpailuetua, täytyy liittyä uuden tekniikan kokeilemiseen
 - Lupa väliaikainen: 5 vuotta
 - Vanhimmat luvat ovat alkaneet vanhentua
 - Tulevaisuus epävarma: mahdolliset nostot massa- ja dimensiorajoihin?
 - Kokemukset HCT-ajoneuvoista positiivisia, erityisesti metsäalalla
 - Säästöt: "enemmän vähemmällä"
 - Turvallisuus
 - Työvoimapula



ESIMERKKEJÄ HCT-AJONEUVOYHDISTELMISTÄ

- Suurin osa metsäalalla operoivista HCT-ajoneuvoyhdistelmistä suorittaa terminaalitoimintaa
 - Ketosen kuljetus (102 tonnia, 33 metriä)
- 84-tonnin yhdistelmät metsäpäädyn operaatioissa
 - (P&A Malinen 84 tonnia, 24 metriä)
- Kuvat: metsäteho

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta



Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



ESIMERKKEJÄ HCT-AJONEUVOYHDISTELMISTÄ

- Sahahaketta sahojen ja sellutehtaiden välillä
 - Metsäyhtiöt erityisesti innostuneet
- Pitkiä yli 30 metrin yhdistelmiä
 - Kokonaismassat 100-tonnin molemmin puolin
 - Kuvat: metsäteho

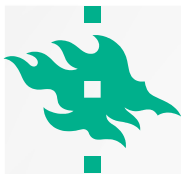
HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta



Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019

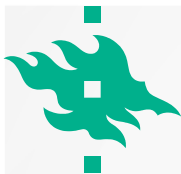


UUDET ERIKOISPITKÄT REKAT: VALTONEUVOSTON ASETUS 31/2019

- Valtioneuvoston asetus 31/2019 nosti ajoneuvojen maksipituuden 25.25 metristä 34.5 metriin
 - Myös kääntövyysasetukset höllenevät (180 -> 120-asteen testi)
- Suurimpien sallittujen kokonaismassojen pysyessä ennallaan
 - Vaikutukset kuljetusalalle
- Voidaanko yli 25.25 metrin mutta 76-tonnin ajoneuvoyhdistelmiä kutsua HCT-ajoneuvoiksi?
 - Vaihtoehto olisi maailmalla yleisimmin käytetty LCV: "Long Combination Vehicle"
 - Traficom

Maailmalla erikoispitkiä ajoneuvoja

Country	Gross weight	Length (m)	Width (m)	Height (m)	HCT-legislation	Notes
Finland	76	34,5	2,6	4,4	Permission based /experiment	
Sweden	74	25,25	2,6	4,5*	Permission based/experiment	*No set maximum height
Brazil	57	19,8	2,6	4,4	Permission based	
New-Zealand	44	20	2,55	4,3	High Productivity Motor vehicle - standards	
Australia	68	26	2,5	4,6	Performance based -standard	
United States	36,6 / 72,5	19,8 / 35,5	2,59	4,14 / 4,45*	Varies greatly between states	*no set maximum height
Canada	63,5	23 / 25	2,6	4,15	Memorandum of Understanding / Performance based -standard / SPFI -standard	
Mexico	66,5	31	2,6	4,15	Based on road classification	
South-Africa	56	22	2,6	4,3	Performance based -standard	



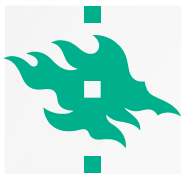
UUDET ERIKOISPITKÄT AJONEUVOT: METSÄALAN NÄKÖKULMASTA

- Pituusrajojen nosto on erinomainen lisä Suomen kuljetusalalle kappale- ja tavaraliikenteeseen
 - Kasvanut kuormatilan koko
 - Askel kokonaismassojen nostoa varten
- Kokonaispituuden nosto ei itsessään muuta metsäalan kuljetuksien pelikenttää/luonnetta paljoa
 - Kehystiheydet ovat suuret, erityisesti raaka tukki- ja kuitupuun kuljetuksessa
 - Hakkeella kosteusprosentin vaihtelu tekee vaikean
 - *Mites energiapuun/metsähakkeen kuljetus?*
- *Alhaisemmat kehystiheydet -> kasvaneen kuormatilan hyödyntäminen*



METSÄENERGIAPUU

- Järeää lahovikaista puuta, pienpuuta, kantoja ja hakkuutähdettä
 - Pienpuu ja hakkuutähteet ylivoimaisesti suurimmat
 - Tuotantoketjuina palsta-, tienvarsi-, terminaali- ja käyttöpaikka haketus
 - Joista palstahaketus on käytännössä kuollut, tienvarren ollessa suosituin (~60%)
- Vuoden 2030 tavoitteena lämmöksi ja energiaksi 29 TWh ~ 14.2 milj.m³
 - Vuonna 2018 metsähaketta lämmöksi ja energiaksi 7.4 milj.m³
 - Pariisin ilmastopöytäkirja
- Metsähakkeen käyttöä rajoittavat kalliit hankintakustannukset
 - HCT-ajoneuvoista apua kustannusten laskemiseen?



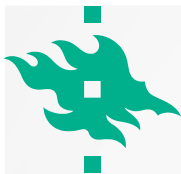
SIMULAATIONI: SIMULOITAVA TILANNE

- Opinnäytetyössäni simuloin haketetun ja hakettamattoman energiapuun kuljetusta tienvarsivarastolta terminaaliin tai käyttöpaikalle.
 - Tarkoituksena on tarkastella kuljetusketjua kuljetusyrittäjän näkökulmasta, joten en simuloi terminaalin/ käyttöpaikan jälkeistä toimintaa
- Tarkastelen pienpuun ja hakkuutähteiden tuotantoketjuja
 - Kantojen ja lahovikaisen ollessa kohtalaisen pieniosuus energiapuusta ja metsähakkeesta



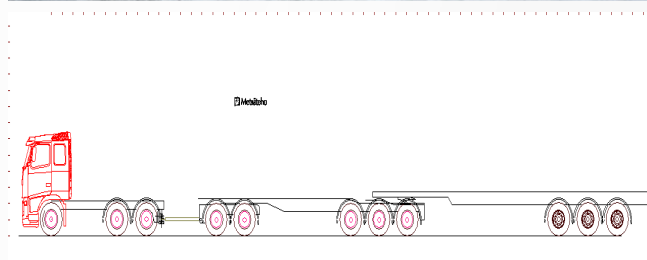
SIMULOITAVAT AJONEUVOT

- Käytin olemassa olevia HCT-ajoneuvoja hake- ja irtobiomassayhdistelmien simuloimiseen:
 - ETT-yhdistelmä
 - Duo2-yhdistelmä
 - UPM-hakeauto
 - Lisäsin ilmoitettuun omapainoon 2 tonnia, simuloimaan nosturin painoa ja tarvittavaa muuta laitteistoa
 - Oletin jokaisen ajoneuvon käyttävän Volvon FH16-sarjan vetoautoa, olettaen pa-kulutuksen samaksi
- Vertailtavaan hake ja biomassayhdistelmään käytin 25-tonnin omamassalla ja 160m³ kuormatilalla varustettua ”normaalia” yhdistelmää
- Tienvarsi- ja terminaalihakkurina käytin Mus Maxin hakkuria



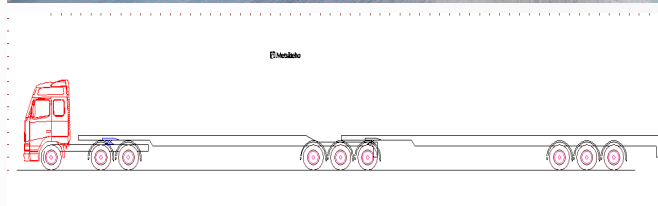
ETT: EN TRAVE TILL

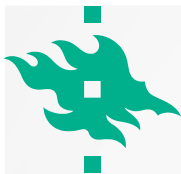
- Raakapuutavaran terminaalitoimintaan
 - "Yksi nippu lisää"
- Ruotsin HCT-kokeilusta
- KA+dolly+B-linkki+PP
- Omamassa 28 tonnia
- Kuormatilaa 180m³
- Pituus 30 metriä



DUO2

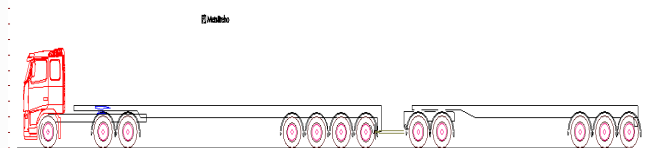
- Ruotsin HCT-kokeilusta
 - Kappaletaveraliikenteeseen
- VA+PP+VP
- Omamassa 32 tonnia
- Kuormatilaa 200 m³
- Pituus 32 metriä





UPM

- Sahahaketta sahan ja sellutehtaan välillä
- VA+PP+Dolly+VP
- ”suurin mahdollinen”
- Omamassa 32 tonnia
- Kuormatilaa 211m³
- Pituus 33 metriä



MUS MAX -HAKKURI

- Tämän valitsin ihan puhtaasti hauskan nimen takia
 - Ja rumpuhakkurina on yleisin käytössä oleva hakkurityyppi
- Oletetaan saman hakkurin operoivan terminaali- ja tienvarsihakkettimena
- Haketustuottavuus 120 i-m³
- Polttoaineen kulutus 0,5l/i-m³



Muuttuja	Haketin	
	Tienvarsihaketin	Terminaalihaketin
Kustannus ajossa	103,9	94,2
Kustannus hakettaessa	127,6	102,2
Kuljetussuorite km/a	200 000	100 000
Toiminnallinen käyttöaste (%)	65	85
Huolto (snt/km)	20	15



LASKENNASSA KÄYTETYT ARVOT: REKAT

- Kaikkien arvojen ja logiikkani läpikäyminen ei ole järkevää, joten esitän mielestäni pääpointit
- Pidän tuloksina ainakin oikeassa kokoluokassa

Muuttuja	Ajoneuvo			
	ETT	DUO2	UPM	Norma I
KUSTANNUS TYHJÄNÄ riski mukana	96,3	94,8	97,1	96,8
KUSTANNUS kuormattuna riski mukana	98,7	97,3	99,5	99,3
Kuljetussuorite	420 000km			
Toiminnallinen käyttöaste	60 %			
Huolto	10snt/km			

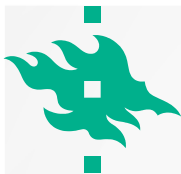
Muuttuja	Haketin	
	Tienvarsihaketin	Terminaalihaketin
KUSTANNUS TYHJÄNÄ riski mukana (€/h)	103,9	94,3
KUSTANNUS kuormattuna riski mukana (€/h)	127,6	102,2
Kuljetussuorite	200 000km	100 000km
Toiminnallinen käyttöaste	65	85
Huolto	20	15



SIMULAATIOSSA KÄYTETYT PUUTAVARALAJIEN OMINAISUUDET

Wood properties

Species	Spruce		Pine		Birch		Branches 100%		Branches 50%		Branches 0%	
	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped
Comminuted?	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped	Uncomminuted	Chipped
Frame density	20,00	45,00	20,00	45,00	20,00	45,00	20,00	40,00	20,00	40,00	20,00	40,00
Moisture content (%)	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %
Energy value (Mj/kg)	19,02		19,33		19,15		19,8		19,75		19,7	



TIENVARSI HAKETETTU ENERGIAPUU

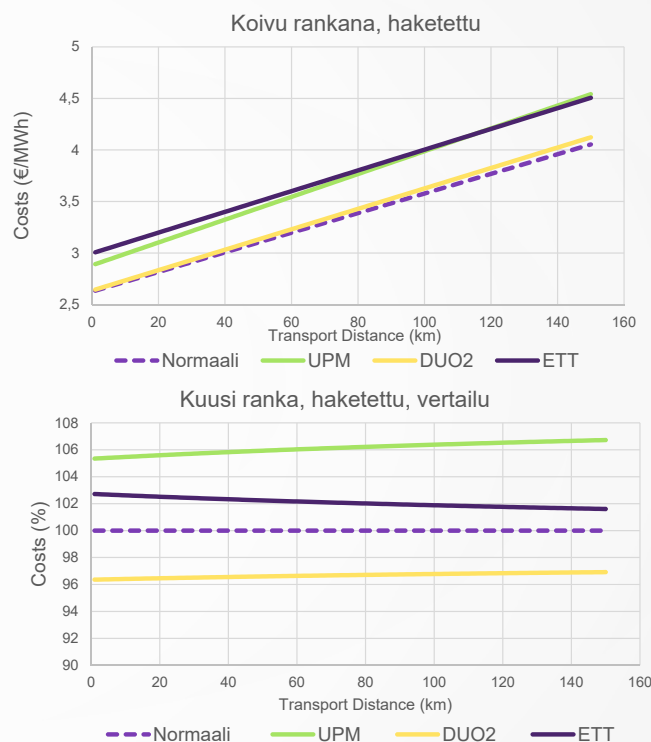
- Kuten arveltu, HCT-ajoneuvot 76-tonnisena ovat noin 50 snt/MWh kalliimpia kuin normaali ajoneuvo
 - Eron merkittävyydestä en osaa sanoa mitään
- Huomionarvoista: painorajat tulevat vastaan -> kuormatilaa jää käyttämättä
 - Eli erikoispitkän yhdistelmän ajaminen on epäkäytännöllistä

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

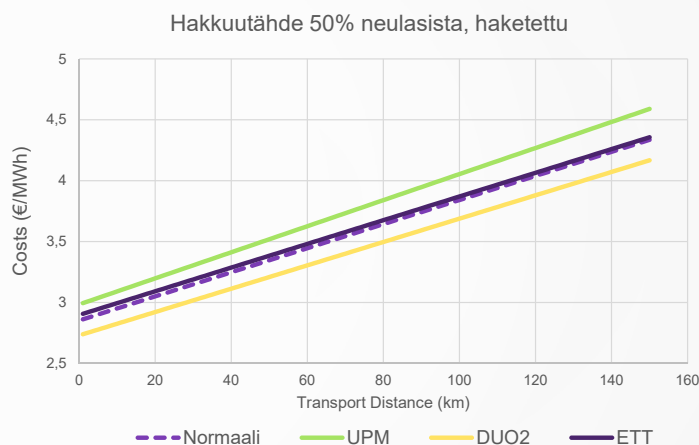
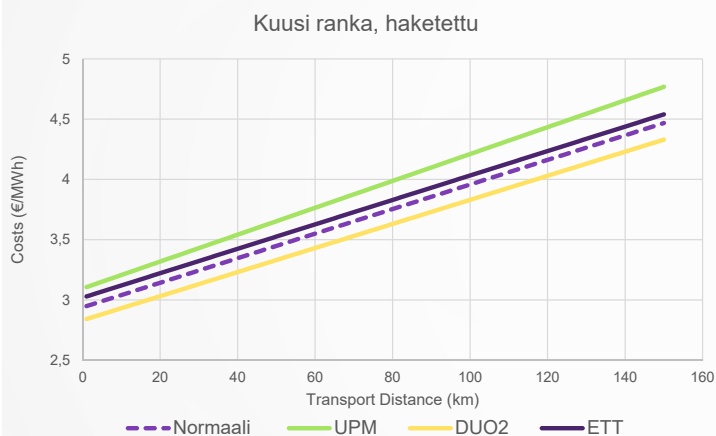
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



TIENVARSI HAKETETTU ENERGIAPUU



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



KÄYTTÖPAIKKA/TERMINAALI HAKETETTU IRTOBIOMASSA

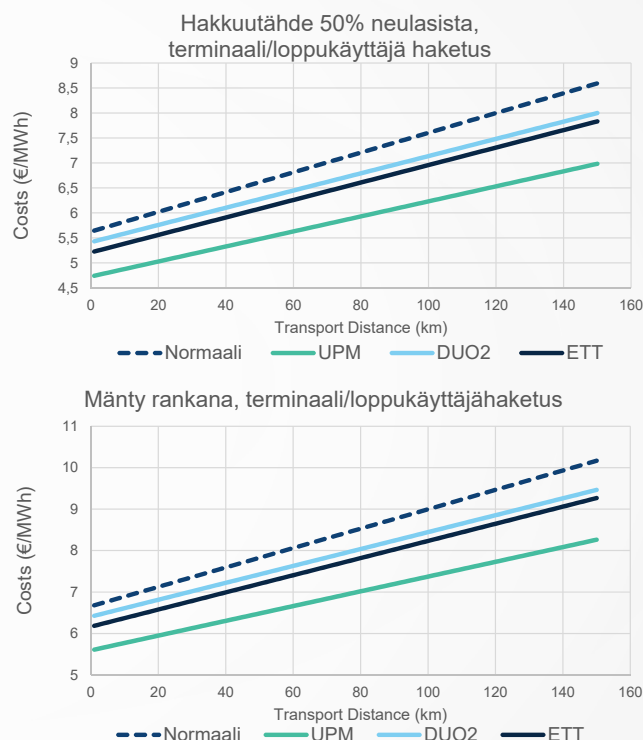
- Irtiobiomassalla, haketuksen suoritettaessa käyttöpaikalla tai terminaalissa, HCT-ajoneuvon käyttö on huomattavasti perustellumpaa: ero 0.5 - 1€ per MWh
 - Huomaa "normaalin" yhdistelmän korkeammat kustannukset joka tilanteessa
 - Kuormatila käytetään hakkuutähteillä kokonaan, erityisesti ETT:llä
 - lisääntynyt kuormatila on perusteltua

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

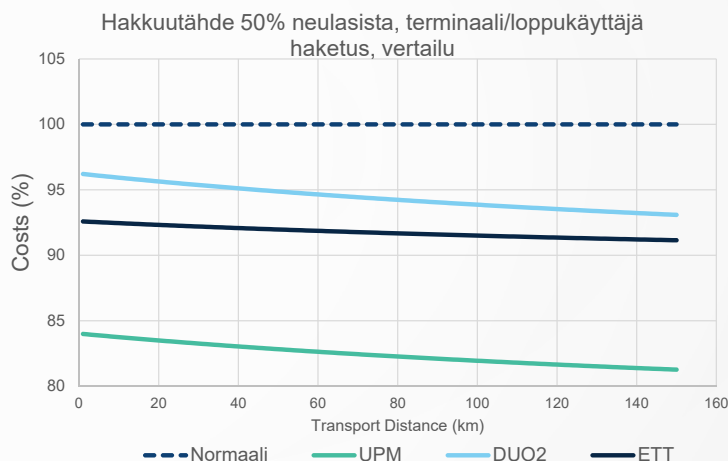
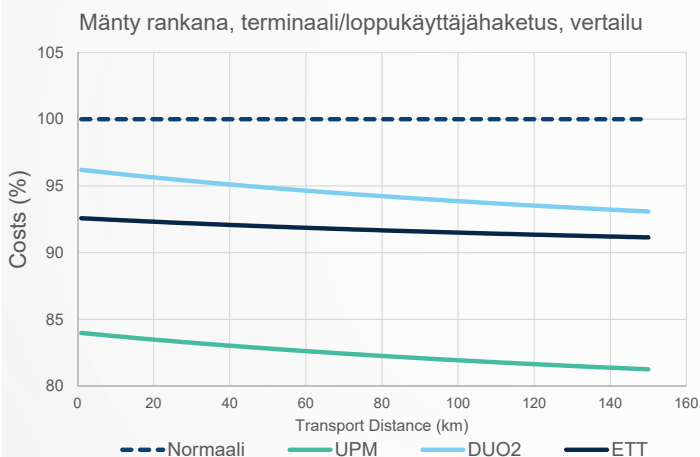
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



KÄYTTÖPAIKKA/TERMINAALIHAKETETTU IRTOBIOMASSA



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

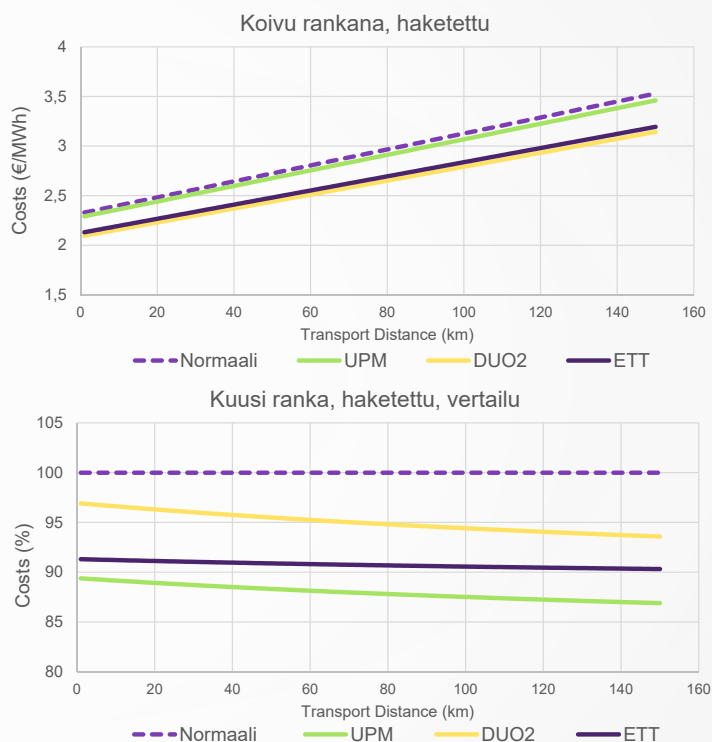
Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019

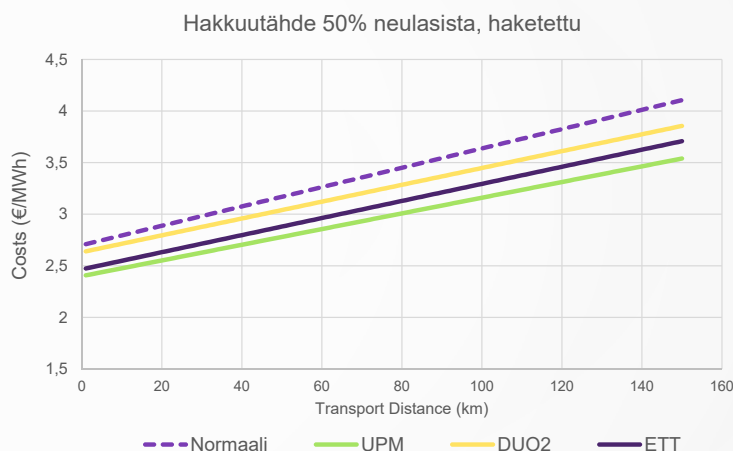
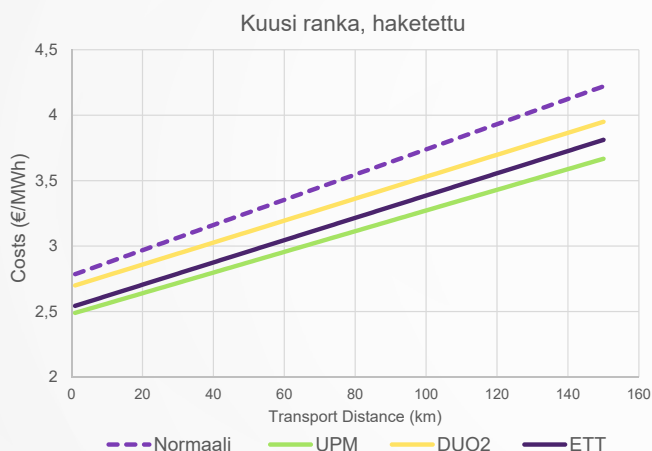


KOSTEUSPROSENTTI 20: TIENVARSI HAKETETTU

- Seuraavaksi vertailin kuivan (MC 20%) puutavaran tuloksia
- Noin 20 – 50 snt halvempi per MWh
 - Kuormatila hyödynnetään kevyellä hakkeella tehokkaammin, joskin tilaa jää yhä edelleen käyttämättä



KOSTEUSPROSENTTI 20: TIENVARSI HAKETETTU





KOSTEUSPROSENTTI 20: TERMINAALI / KÄYTTÖPAIKKA HAKETETTU

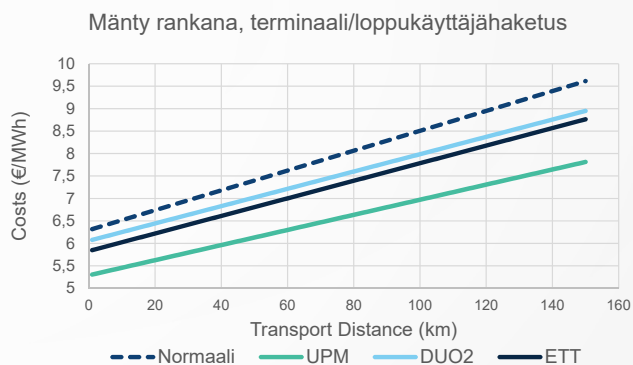
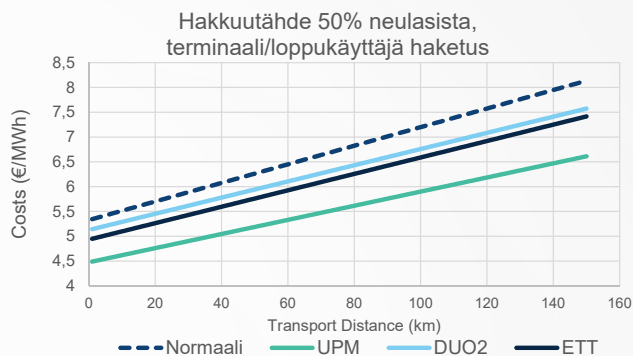
- Erot kuivalla puutavaralla kasvavat, erityisesti DUO2- ja UPM-yhdistelmillä
 - 50snt – 1€ ero per MWh
- Kuormatilan käyttö nousee
 - ETT:llä kuormatila voidaan hyödyntää kokonaan

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

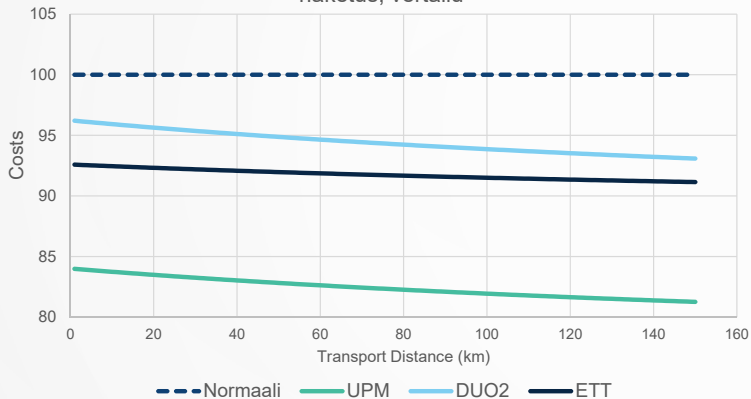
Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019

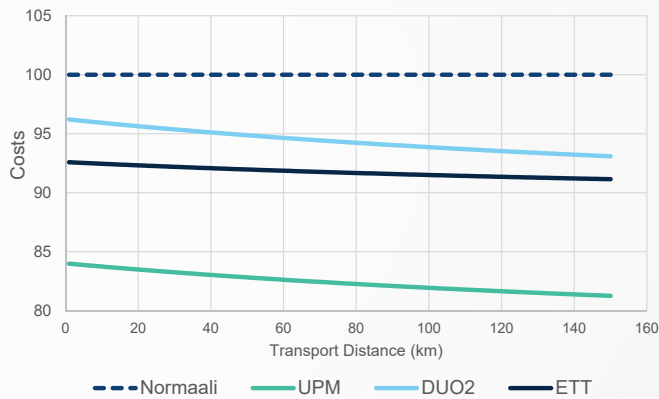


KOSTEUSPROSENTTI 20: TERMINAALI / KÄYTTÖPAIKKA HAKETETTU

Hakkuutähde 50% neulasista, terminaali/loppukäyttäjä haketus, vertailu



Mänty rankana, terminaali/loppukäyttäjä haketus, vertailu

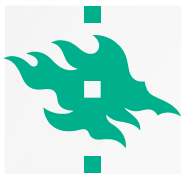


HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

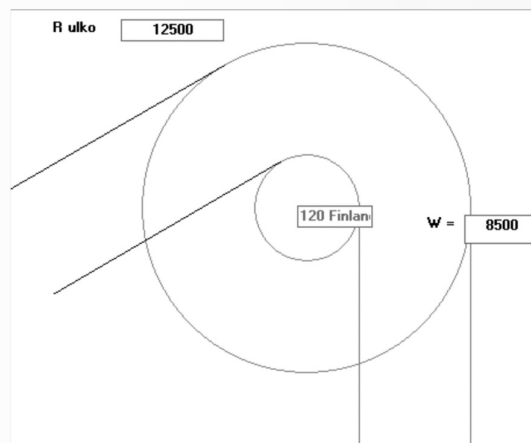
Harri Ruokojärvi / Helsingin Yliopisto

20.11.2019



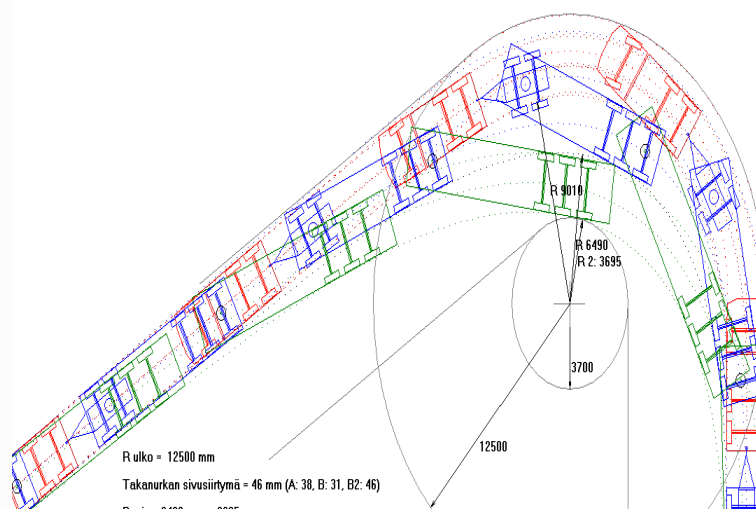
HCT-AJONEUVOJEN KÄYTTÖ

- Suurin kysymys HCT-ajoneuvojen käytössä irtobiomassan kuljetuksessa on kulkukelpoisuus metsäteillä
 - Uusi 120-asteen kääntyvyytesti
 - "...yhdistelmä saa olla siten kääntyvä, että uloimman etukulman kulkiessa 12,50 metrin säteisen ympyrän kaarta pitkin 120-asteen käännöksen ja ajoneuvoyhdistelmän jatkaessa suoraan, yhdistelmän sisäsivu kulkee vähintään 4,00 metrin säteistä kaarta pitkin.
- Rakensin TrailerWin –ohjelmistossa kopiot simuloitavista ajoneuvoista
- "Katotaan miten äijän käy"



ETT

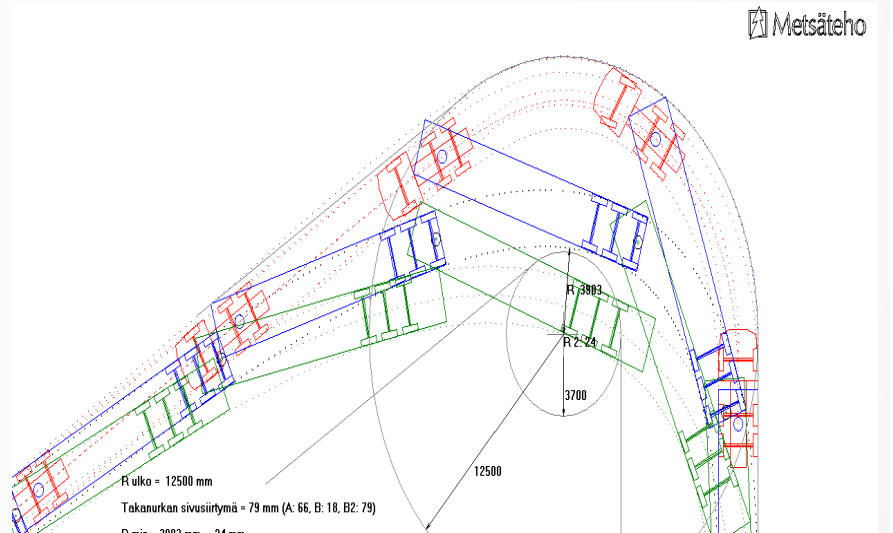
- ETT onnistuu testissä hyvin
 - Useat liitokset
 - Lyhyin ajoneuvo
 - Toisetkin tutkimukset tukevat tätä havaintoa





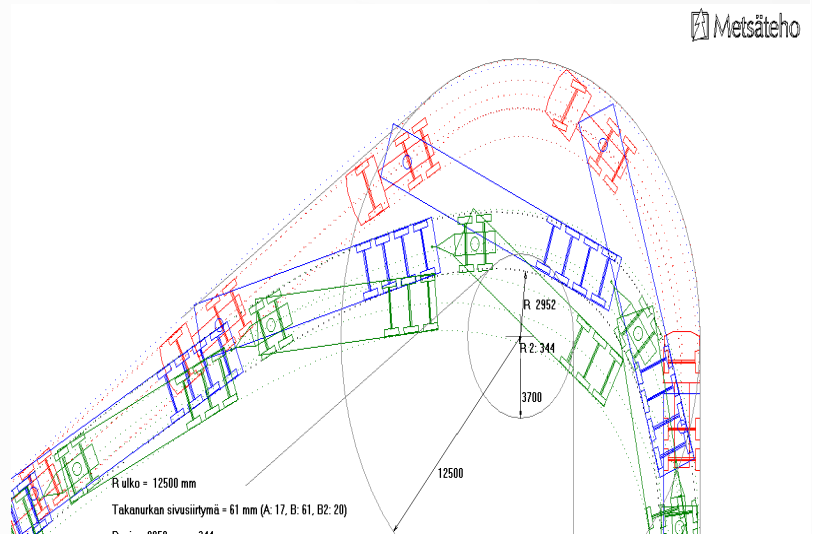
DUO2

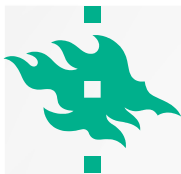
- Duo2
- Pituus ja vain kaksi liitosta
 - Käyttö vain ”helppoilla” kohteilla
- Suunniteltu operoimaan terminaalien välillä



UPM

- UPM:n Dolly-rakenne toisessa perävaunussa helpottaa tilannetta
 - Ehkäpä Dolly-pohjaiset yhdistelmät tulevaisuutta?





SIMULAATION HEIKKOUEDET

- Kuormaamisen vaikeus
 - Nosturien ulottuma, tarve kameroille
 - Hakettamattoman puun kuormaustuottavuus?
- Kulkukelpoisuus
 - Simulaatiossa kaikkien ajoneuvojen kulkukelpoisuus oletettiin samanlaiseksi
 - Kääntyvyydessä ei otettu huomioon mahdollisuutta telien nostolle
 - Mahdollinen ajankulutus metsäteillä voi vaikuttaa ratkaisevasti tulokseen
- Vähentynyt pintapaine
 - Armollisempia metsäteille?



KÄÄNTYVYYDESTÄ JA TULOKSISTA -JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

- Suurin kompastuskivi HCT-ajoneuvoille on kääntyvyys
 - Paikoitellen 25.25 metrin yhdistelmä on vaikea operoida
 - ETT:n moduuli -rakenteella mahdollista, uhraten kuormatilaa?
- Suunnitelmissa lopulliseen työhön lisää kääntyvyysanalyysia
 - Simulaatio metsäautotien kääntöpaikasta?
- Alustavien tulosten perusteella hakkeen kuljettaminen 76-tonnin HCT-ajoneuvolla vaikuttaisi huonolta idealta: Kantavuus loppuu kesken
 - Kuivemmalla hakkeella erot tasoittuvat
- Hakettamattoman energiapuun kuljetus, erityisesti hakkuutähteiden, olisi parempi idea.
 - HCT-ajoneuvoja hyödyntämällä metsähakkeen kustannuksia alemmas
- Mahdollisesti yli 25.25 pitkiä irtobiomassa-autoja liikenteeseen tulevaisuudessa?