

Pekka Iikkanen  
Saara Haapala

## Rautatieliikenteen käyttövoimat tavaraliikenteessä





Pekka Iikkanen, Saara Haapala

# Rautatieliikenteen käyttövoimat tavaraliikenteessä

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2018

Liikennevirasto  
Helsinki 2018

*Kannen kuva: Simo Toikkanen*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-524-2

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Pekka Iikkanen ja Saara Haapala: Rautatieliikenteen käyttövoimat tavaraliikenteessä.** Liikennevirasto, hankesuunnittelu. Helsinki 2018. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2018. 43 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-524-2.

**Avainsanat:** rautatieliikenne, energiankulutus, päästöt, tavaraliikenne

## Tiivistelmä

Suomessa käytettävä veturikalusto on uusiutumassa. VR on tilannut 80 uutta dieselapumootorein varustettua Sr3-sähköveturia ja suunnittelee nykyisen vanhan dieselveturikaluston uusimista. Suomessa uudempaa dieselveturikalustoa edustavat vain Fenniarailin Dr18-veturit. Vetureita on tilattu viisi kappaletta, joista vuonna 2017 oli liikennekäytössä kolme.

Selvityksessä mallinnettiin 1550 kW:n tehoisen D18-veturin polttoaineen kulutus. Polttoaineenkulutusta mallinnettiin polttoaineen kulutusta mittaavan laitteiston tietojen perusteella. Tarkasteltuja muuttujia olivat junakokoonpano, paino, nopeus, pysähdysten määrä sekä radan geometria. Dr18-veturin vetokyky on noin 2000 tonnia. Laaditun mallin mukaan veturin polttoaineen kulutus on noin puolet pienempi kuin vanhojen vastaavaa vetokykyä edustavien veturien kulutus. Selvityksen mukaan dieselveturikaluston uusimisella voidaan saavuttaa merkittävät kuljetustaloudelliset ja hiilidioksidipäästöjä koskevat hyödyt.

Selvityksessä tarkasteltiin, millaisia vaikutuksia dieselveturikaluston uusiutumisella olisi rataverkon jatkosähköistyshankkeiden hyötyihin ja kannattavuuksiin. Sähköistyshankkeita koskevien hankearviointien mukaan energiakustannussäästö ja sen avulla saavutettavat päästökustannussäästöt ovat tärkeimmät sähköistyshankkeiden avulla saavutettavat hyötyerät. Dieselveturikaluston uudistumisen mahdollistaman energiatehokkuuden parane-  
misen vuoksi sähköistyshankkeiden avulla saavutettavat hyödyt jäävät selvästi hankearvioinneissa arvioitua hyötyä pienemmiksi. Dieselveturikaluston uudistamisella saavutetaan keskimäärin noin 40 % hankearviointien mukaisista sähköistyshankkeiden kokonaishyödyistä ja keskimäärin noin 60 % hankearviointien mukaisesta hiilidioksidipäästöjen vähenemästä.

Dieselveturikaluston uusiutuminen heikentävät merkittävästi sähköistyshankkeiden kannattavuutta. Sähköistystarve vähenee myös uusien Sr3-veturien käyttöönoton myötä, sillä veturit voivat liikennöidä lyhyitä matkoja sähköistämättömillä rataosilla.

Selvityksessä laadittu Dr18-veturin polttoaineen kulutusmalli ja sen kustannusvaikutukset on tarkoitus ottaa huomioon ratainvestointien arviointiohjeen seuraavassa päivityksessä. Kulutusmallia ja sen pohjalta määritettyjä alustavia yksikkökustannuksia voidaan hyödyntää jo ennen päivitystä osana ratahankkeiden vaikutusten ja kannattavuuksien herkkyystarkasteluja. Tämä on erityisen tärkeää varsinkin sähköistyshankkeiden arvioinnissa.

Kaasveturit perustuvat uuteen dieselmoottoritekologiaan. Kaasveturit voivat käyttää polttoaineenaan sekä dieselpolttoainetta että nesteytettyä maakaasua (LNG) tai biokaasua. LNG:n jatkuvasti kehittyvien markkinoiden ja saatavuuden vuoksi se on konkreettisempi vaihtoehto. Kaasveturin etuja ovat erityisesti vähäiset päästöt. Käytettäessä nesteytettyä maakaasua polttoaineena vähenevät hiilidioksidipäästöt noin 25 %, typpipäästöt noin 90 % ja hiukkaspäästöt 100 %. Pohjois-Amerikan ja Venäjän käyttökokeilujen pohjalta kaasveturi voi olla myös taloudellisesti kilpailukykyinen tulevaisuuden käyttövoima myös Suomessa.

**Pekka Iikkanen och Saara Haapala: Järnvägstrafikens drivkrafter i godstrafiken.** Trafikverket, projektplanering. Helsingfors 2018. Trafikverkets undersökningar och utredningar 16/2018. 43 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-524-2.

## Sammanfattning

Finlands lokomotivmateriel håller på att förnyas. VR har beställt 80 nya Sr3-ellok med dieselhjälpmotorer och planerar att förnya sin nuvarande gamla dieselloksmateriel. I Finland är det endast Fenniarails Dr18-lok som representerar nyare dieselloksmateriel. Fem lok har beställts och av dem var tre i trafik 2017.

I utredningen modellerades bränsleförbrukningen för ett D18-lok med effekten 1 550 kW. Bränsleförbrukningen modellerades utifrån information från utrustning som mäter bränsleförbrukningen. Variabler som kontrollerades var tågsammansättning, vikt, hastighet, antalet stopp samt banans geometri. Loket Dr18 har en dragkraft på cirka 2 000 ton. Enligt den uppgjorda modellen är lokets bränsleförbrukning cirka hälften lägre jämfört med gamla lok med motsvarande dragkraft. Utredningen visar att man genom att förnya dieselloksmaterielen kan uppnå betydande fördelar vad gäller transportekonomi och koldioxidutsläpp.

I utredningen granskades hurdana konsekvenser en förnyelse av dieselloksmaterielen skulle ha när det gäller fördelar och lönsamhet i anslutning till fortsatta projekt för elektrifiering av bannätet. Enligt elektrifieringsprojektens projektutvärderingar är de viktigaste nyttoposterna som uppnås med hjälp av elektrifieringsprojekten energibesparingar och därmed även besparingar i kostnaderna för utsläpp. Tack vare den förbättrade energieffektivitet som en förnyad dieselloksmateriel möjliggör blir de nyttor som uppnås med hjälp av elektrifieringsprojekten klart lägre än vad som bedömts i projektutvärderingarna. Genom att förnya dieselloksmaterielen uppnås i genomsnitt cirka 40 procent av totalnyttan enligt elektrifieringsprojektens projektutvärderingar och i genomsnitt cirka 60 procent av koldioxidutsläppsminskningen enligt projektutvärderingarna.

Ett förnyande av dieselloksmaterielen försvagar märkbart lönsamheten i elektrifieringsprojekten. Behovet av elektrifiering minskar även i och med ibruktagningen av de nya Sr3-loken, eftersom de kan trafikera korta sträckor på oelektrifierade banavsnitt.

Man har för avsikt att beakta den bränsleförbrukningsmodell som har gjorts upp i utredningen för Dr18-loket och dess kostnadseffekter i följande uppdatering av utvärderingsanvisningen för baninvesteringar. Förbrukningsmodellen och de preliminära enhetskostnader som har definierats utifrån den kan utnyttjas redan före uppdateringen som en del av känslighetsgranskningarna av banprojektens effekter och lönsamhet. Detta är särskilt viktigt i synnerhet vid utvärderingarna av elektrifieringsprojekten.

Gasloken bygger på en ny dieselmotorteknik. Gasloken kan använda både dieselbränsle och flytande naturgas (LNG) eller biogas som bränsle. Tack vare den kontinuerliga utvecklingen av marknaden för och tillgången på LNG, är LNG ett mera konkret alternativ. Fördelarna med gaslok är i synnerhet de låga utsläppen. Vid användning av flytande naturgas som bränsle minskar koldioxidutsläppen med cirka 25 procent, kväveutsläppen med cirka 90 procent och partikelutsläppen med 100 procent. Utifrån tester i Nordamerika och Ryssland kan gas vara också en ekonomiskt konkurrenskraftig framtida drivkraft även i Finland.

**Pekka Iikkanen and Saara Haapala: Railway transport motive power systems in freight traffic.** Finnish Transport Agency, Project Planning. Helsinki 2018. Research reports of the Finnish Transport Agency 16/2018. 43 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-524-2.

## Abstract

The Finnish locomotive fleet is being modernised. VR has ordered 80 new Sr3 electric locomotives equipped with diesel auxiliary engines and is planning to modernise the existing diesel locomotive fleet. The Dr18 locomotives of Fenniarail are the only newer diesel locomotives operating in Finland. Five locomotives have been ordered; three of them were in use in 2017.

The study modelled the fuel consumption of a 1550 kW Dr18 locomotive. Fuel consumption was modelled on the basis of data from fuel consumption measurement devices. The variables analysed were train composition, weight, speed, number of stops and railway line geometry. The Dr18 locomotive has a pulling capability of about 2000 tonnes. According to the drafted model, the fuel consumption of the locomotive is around half of that of old locomotives with equivalent pulling capability. The study indicates that the modernisation of the diesel locomotive fleet can yield substantial benefits in terms of transport economy and carbon dioxide emissions.

The study examined the impacts of the modernisation of the diesel locomotive fleet on the benefits and profitability of further electrification projects on the rail network. According to project appraisals of electrification projects, the energy cost savings and the resulting emission cost savings would be the most important benefits achieved from these projects. Due to the improvement in energy-efficiency enabled by the replacement of the diesel locomotive fleet, the benefits achieved from electrification projects would be clearly lower than assessed in the project appraisals. The modernisation of the diesel locomotive fleet will yield on average about 40% of the total benefits from electrification projects as determined in the project appraisals and on average about 60% of the reduction in carbon dioxide emissions.

The replacement of the diesel locomotive fleet will significantly weaken the profitability of electrification projects. The need for electrification will also decrease due to the introduction of new Sr3 locomotives, as they can operate on short distances on non-electrified railway sections.

It is intended that the fuel consumption model drafted in the study for the Dr18 locomotive and its cost impacts will be taken into consideration in the next update of the appraisal instructions for railway investments. The consumption model and the preliminary unit costs determined based on it can be utilised even before said update in sensitivity analyses of railway project impacts and profitability. This is particularly important in the appraisal of electrification projects.

Gas locomotives are based on new diesel engine technology. Gas locomotives can run on both diesel fuel and liquefied natural gas (LNG) or biogas. Due to the continuously developing market for LNG and its availability, it is the most tangible alternative. The benefits of gas locomotives include their low emissions in particular. When using LNG as fuel, carbon dioxide emissions are reduced by about 25%, nitrogen emissions by about 90% and particulate emissions by 100%. On the basis of trials in North America and Russia, gas locomotives could be economically competitive as future motive power systems in Finland as well.

## Esipuhe

Selvityksessä on tarkasteltu tavaraliikenteessä käytettävän dieselveturikaluston uusimisen avulla saavutettavissa olevia säästöjä polttoaineen kulutuksessa, energia-kustannuksissa ja liikenteen päästöissä. Lisäksi on arvioitu kaluston uusimisen vaikutuksia rataverkon jatkosähköistyshankkeiden hyötyihin ja kannattavuuksiin sekä tarkasteltu nesteytetyn maakaasun (LNG) kansainvälisiä kokemuksia kaasun hyödyntämisestä vetureiden käyttövoimana. Selvityksessä laadittiin Suomessa vuonna 2017 käyttöön otetun Dr18-veturin polttoaineenkulutusmalli mitattuihin kulutustietoihin perustuen.

Selvityksen ohjausryhmään ovat kuuluneet Anton Goebel, Taneli Antikainen ja Kristiina Hallikas Liikennevirastosta. Selvitys on tehty Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työhön ovat osallistuneet Pekka Iikkanen, Saara Haapala (projektisihteeri ja Dr-18-veturin kulutusmallin laatiminen) ja Markus Laine.

Helsingissä maaliskuussa 2018

Liikennevirasto  
Hankesuunnittelu



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Selvityksen taustaa.....	8
1.2	Selvityksen tavoitteet.....	9
2	SUOMEN NYKYINEN VETURIKALUSTO JA PÄÄTETYT KALUSTOHANKINNAT.....	10
2.1	Sähköveturit.....	10
2.2	Dieselveturit.....	11
3	TAVARAJUNIEN ENERGIANKULUTUS .....	13
3.1	Hankearvioinneissa käytettävät mallit.....	13
3.1.1	Mallien laatiminen simuloimalla .....	13
3.1.2	Sähköveturit.....	13
3.1.3	Dieselveturit.....	15
3.2	Dr18-dieselveturin kulutuksen mallintaminen .....	16
3.2.1	Veturin tekninen kuvaus .....	16
3.2.2	Mallin lähtötiedot.....	17
3.2.3	Kulutusmalli.....	20
4	DIESELVETURIEN PÄÄSTÖT.....	22
4.1	LIPASTO-järjestelmän päästökertoimet.....	22
4.2	Kansainväliset päästöstandardit.....	23
4.2.1	Euroopan Unioni.....	23
4.2.2	Yhdysvallat .....	23
4.2.3	Suomen dieselveturikaluston uusiutumisen päästövaikutukset.....	24
5	RATAVERKON JATKOSÄHKÖISTYKSEN HYÖDYT JA KANNATTAVUUS.....	25
5.1	Sähköistyksen tilanne .....	25
5.2	Kuuden sähköistyshankkeen tarkastelut.....	26
5.2.1	Hankearviointien mukaiset hyödyt ja hyöty-kustannussuhteet.....	26
5.2.2	Dieselvetureiden uudistumisen vaikutukset.....	27
6	TAVARALIIKENTEEEN KUSTANNUSMALLI .....	30
6.1	Kustannusmallin rakenne ja nykyiset yksikkökustannukset.....	30
6.2	Dr18-veturin yksikkökustannukset .....	31
7	DIESEL- JA SÄHKÖVETURIEN VÄLINEN KILPAILUKYKY .....	32
7.1	Nykyisiin yksikkökustannuksiin perustuva vertailu.....	32
7.2	Herkkyystarkasteluja .....	34
7.2.1	Energian hinnan sekä valmisteverojen tason merkitys.....	34
7.2.2	Ratamaksuun vuonna 2019 tulevat muutokset .....	36
8	KAASU RAUTATIELIIKENTEEEN KÄYTTÖVOIMANA.....	37
8.1	Liikenteessä käytettävät kaasuvaihtoehdot.....	37
8.2	Nesteytetyn maakaasun ja biokaasun ympäristöhyödyt .....	38
8.3	Kaasuvetureiden kansainvälinen kehitystyö.....	38
8.3.1	Pohjois-Amerikka .....	38
8.3.2	Venäjä .....	39
8.4	LNG:n hyödyntämismahdollisuudet ja edellytykset Suomessa .....	41
9	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	43

# 1 Johdanto

## 1.1 Selvityksen taustaa

Ratojen sähköistyshankkeiden hankearviointien yhteydessä on arvioitu, että yhteiskuntatalouden kannalta radan sähköistystä kannattavampaa voisi olla kuljetusten hoitaminen tehokkaita raskaita dieselvetureita käyttäen. Tämä on esimerkki tilanteesta, jossa väylänpitäjän ja liikennöitsijän intressit eivät kohtaa. Sähkövoiman käyttö tuo säästöjä liikennöitsijälle alemmina kuljetuskustannuksina ja ratamaksuina, mutta aiheuttaa monesti aikaansaatuja säästöjä suuremmat investointikustannukset väylänpitäjälle. Näin käy, koska liikennöitsijä ei joudu osallistumaan hankkeen investointikustannusten kattamiseen esimerkiksi osana ratamaksua. Kysymys rautatieliikenteen käyttövoimasta kytkeytyy vahvasti myös ilmastotavoitteisiin, joihin Suomi on sitoutunut. Tavaraliikennettä palvelevat sähköistyshankkeet onkin nähty keinona vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä. Samanaikaisesti on noussut esille uusia ympäristöystävällisiä käyttövoimia kuten nesteytetty maakaasu (LNG) ja biokaasu (LBG).

Rautatiekuljetuksissa voidaan sähköistetyillä rataosilla käyttää sähkövetureita tai dieselvetureita. Sen sijaan sähköistämättömillä rataosilla liikennöinti on toistaiseksi mahdollista vain dieselvetureilla tai dieselapumootoreilla varustetuilla sähkövetureilla. Näistä jälkimmäiset ovat ns. last mile-vetureita, toisin sanoen niiden avulla voidaan hoitaa lyhytmatkaiset junien vedot tuotantolaitosten ja terminaalien sähköistämättömillä raiteilla.

Ennen vuotta 2017 pääosa Suomessa käytettävistä dieselvetureista oli valmistettu 1960–1970-luvuilla eli ne ovat 40–50 vuotta vanhoja. Tavaraliikenteen kotimaan markkinoille on kilpailun avautumisen jälkeen tullut kolme uutta rautatieyritystä: Fenniarail Oy, Ratarahiti Oy ja Aurora Rail Oy. Näistä kaksi viimeistä harjoittaa vain vaihtotyöliikennettä ja toimivat vanhalla dieselveturikalustolla. Sen sijaan linjaliikenteessä toimiva Fenniarail on tilannut viisi 1 550 kW:n Dr18-dieselveturia, joista on kolme otettu kaupalliseen käyttöön vuonna 2017. Myös VR on ilmoittanut suunnittelevansa modernien dieselvetureiden hankkimista.

Liikenneviraston ratakankkeiden arviointiohjeen dieselvetureita koskevat kustannus- ja energiankulutusmallit on määritetty simuloimalla vanhojen dieselveturien teknisiin ominaisuuksiin perustuen. Dieselveturien tekniset ominaisuudet ovat Suomen vanhan veturikaluston valmistamisen jälkeen kehittyneet huomattavasti. Erityisesti on kiinnitetty huomiota vetureiden energiatehokkuuteen ja päästöjen vähentämiseen. Viimeksi mainittua tavoitetta ovat vauhdittaneet kiristyneet EU:n ja Yhdysvaltojen päästöstandardit.

Ratakankkeiden erityisesti sähköistyshankkeiden arviointien kannalta on tärkeää, että hankkeiden vaikutukset voidaan arvioida mahdollisimman hyvin ja luotettavasti. Hankkeiden vaikutukset arvioidaan pitkältä 30 vuoden pituiselta ajanjaksolta. Vaikutusten arvioinnin lähtökohtana olevan veturikaluston energiankulutuksen ja päästö-  
kertoimien tulisi vastata mahdollisimman hyvin 2020–2040-luvuilla käytössä olevaa kalustoa. Käytöstä poistuvan vanhan kaluston asemasta dieselveturien energiankulutuksen arvioinnissa käytettävien mallien ja päästöarvojen tulee perustua uusiin vetureihin.

## 1.2 Selvityksen tavoitteet

Selvityksen yhtenä tavoitteena on laatia Dr18-veturin energiankulutusmalli ja arvioida hankearvioinneissa käytettävien tavaraliikenteen yksikkökustannusten päivittämistarvetta määritettävän laadittavan kulutusmallin pohjalta. Toisena tavoitteena on arvioida ja vertailla uusien ja Suomessa käytettävien vanhojen dieselveturien päästöjä veturien kansainvälisten päästöstandardien ja liikenteen päästöjen laskentajärjestelmän (LIPASTO) mukaisten päästötietojen pohjalta. Kolmantena tavoitteena on arvioida dieselveturikaluston uusiutumisen vaikutuksia tavaraliikennettä palvelevien sähköistyshankkeiden yhteiskuntataloudelliseen kannattavuuteen ja ilmastomuutoksia aiheuttaviin hiilidioksidipäästöihin. Neljäntenä tavoitteena on selvittää kaasuvetureiden kehittämisenäkymiä ja kaasuvetureiden avulla saavutettavia päästövaikutuksia sekä käytön edellytyksiä.

## 2 Suomen nykyinen veturikalusto ja päätetyt kalustohankinnat

### 2.1 Sähköveturit

Sähköveturi saa käyttöenergiänsä virroittimella rautatien yläpuolella olevasta ajolangasta tai raiteiden vieressä tai välissä sijaitsevasta virtakiskosta. Ajolangasta tai virtakiskosta saatu sähkövirta muutetaan veturin sähkömoottorissa liike-energiaksi, joka siirretään voimansiirtolaitteiden eli yleensä ajomoottorikäyttölaitteen kautta veturin pyöriin. Uusin sähköveturikalusto (esim. Sr2 ja Sr3-veturit) pystyvät hyödyntämään jarrutusenergiaa syöttämällä energiaa takaisin ajolankaan.

Nykyisin Suomessa käytettävät sähköveturit ovat VR:n 1970-luvulla hankkimat Sr1-veturit (teho 3280 kW), vuosina 1995–2003 käyttöön otetut Sr2-veturit (teho 6100 kW) sekä vuodesta 2017 käytössä olleet Sr3-veturit (teho 6400 kW). Sr3-veturit ovat kahdella 360 kW:n dieselapumoottorilla varustettuja vetureita, jolloin ne voivat liikennöidä lyhyitä matkoja myös sähköistämättömillä rataosilla (taulukko 1). VR on tilannut vetureita yhteensä 80 kpl, joista ensimmäiset otettiin koekäyttöön vuonna 2017. Sr3-veturit tulevat VR:n mukaan korvaamaan käytöstä poistuvat Sr1-veturit.

Sekä Sr2- että Sr3-vetureiden vetokyky on noin 2000 tonnia. Sama vetokyky saavutetaan myös Sr3-vetureiden dieselapumoottoreilla siirrettäessä vaunustoa sähköistämättömältä raiteelta sähköistetyille raiteelle ja päinvastoin (VR). Radan geometriasta riippuen Sr2- ja Sr3-vetureilla voidaan päästä vielä suurempiin junapainoihin. Esimerkiksi Vartiuksen ja Kokkolan välisissä pellettikuljetuksissa, joissa junapaino ilman veturia on 5400 tonnia, tarvitaan moniajossa vain kaksi Sr2-veturia.

Taulukko 1. Suomessa vuonna 2016 käytössä ollut sähköveturikalusto (lähde: Liikennevirasto, Wikipedia).

Tyyppi	Lkm	Teho (kW)	Suurin akseli-paino (t)	Paino (t)	Suurin veto-voima (kN) (mm)	Huippu-nopeus (km/h)	Valmistaja	Omistaja
Sr1	109	3100	21,5	84	280	140	No-votser-kass	VR
Sr2	46	6100	21	83	300	210	ABB	VR
Sr3	5 (*)	6400 (diesel-apu-moottorit 2 x 360)	22,5	90	350	200	Siemens AG	VR

(\*) veturit olivat v. 2016 koekäytössä, kaupallinen käyttö alkoi v. 2017. Sr3-vetureita on tilattu yhteensä 80 ja ne toimitetaan v. 2016–2026.

## 2.2 Dieselveturit

Dieselveturien käyttö tavaraliikenteessä on 1970-luvulta lähtien vähentynyt sähköistetyn rataverkon laajentumisen ja sähkövetureiden määrän kasvun vuoksi. Dieselvetureilla vuonna 2016 vedetty tavarankuljetussuorite oli 3685 milj. bruttotonnikilometriä, mikä oli vain 18 % koko tavaraliikenteen vetosuoritteista. Keskimääräinen dieselveturien vetämän junan keskimääräinen junapaino (ml. veturin paino) oli 890 tonnia.

Dieselveturit käyttävät polttoaineenaan kevyttä polttoöljyä. Moottorilta saatu voima välitetään akseleille joko mekaanisella vaihteistolla (lähinnä pienveturit), hydraulisesti (esimerkiksi Dv12) tai sähköisesti (esimerkiksi Dr16 ja Dr18). Maailmanlaajuisesti yleisin menetelmä dieselvetureissa on dieselsähköinen voimansiirto. Tässä menetelmässä veturin dieselmoottoriin on kytketty sähkögeneraattori, josta syötetään sähkövirtaa sähkömoottoreille, jotka toimivat varsinaisina ajomoottoreina.

Suomessa oli vuonna 2016 käytössä 216 dieselveturia, joista 173 oli tyyppiä Dv12, 24 tyyppiä Dr14, 16 tyyppiä Dr16 ja 3 tyyppiä Dr18. Suomen dieselveturikalusto on pääosin hyvin vanhaa ja niiden käyttöikä on jatkettu peruskorjauksin. Yleisimmin käytössä olevat Dv12 -veturit valmistettiin 1960–1980-luvuilla (2500-sarja v. 1963–1966, saneerattu 2004–2008, 2600-sarja v. 1974–1984 ja 2700-sarja v. 1965–1972). Dv12-vetureita käytetään sekä vaihtovetureina että linjavetureina. Dr14-veturit valmistettiin vuosina 1970–1972 ja peruskorjattiin vuosina 2002–2005. Dr14 veturia käytetään vaihtotyöveturina. Dr16-veturit valmistuivat vuosina 1985–1992. Dr16-veturia käytetään linjavedossa Pohjois- ja ItäSuomen sähköistämättömillä rataosilla. Uutta modernia kalustoa edustavat ainoastaan Fenniarailin Dr18-veturit, joista ensimmäiset otettiin käyttöön vuonna 2016. Vetureita on tilattu viisi kappaletta, joista vuonna 2017 käytössä oli kolme. Dr18-vetureita käytetään linjaliikenteessä, mutta ne soveltuvat myös vaihtotyöhön.

Dieselvetureilla vedettävissä olevan junan maksimipaino on riippuvainen veturin tehosta ja radan geometriasta. Junan liikkeelle lähtemiksi hyötyä on myös lähtövetokyvystä ja suuresta veturin painosta. Dv12-veturilla voidaan vetää 800–1200 tonnin painoista junaa riippuen radan pituuskaltevuudesta. Monikäytössä maksimijunapainon suuruus voidaan kertoa vetureiden määrällä. Vartiuksen ja Kokkolan välisissä pelletti-junien vedossa (paino ilman veturia 5400 t) käytettiin kolmea Dr16-veturia, jolloin junapaino yhtä Dr16-veturia kohti oli 1800 tonnia. Uusi Dr18-veturi pystyy vetämään noin 2000 tonnia painavan junan. Veturin suuren vetokyvyn (380 kN) ja omapainon vuoksi veturilla saa liikkeelle yli 2000 painavan junan.

### **Suunnitteilla olevat kalustoinvestoinnit**

VR Group on ilmoittanut hankkivansa uusia dieselvetureita yli sadalla miljoonalla eurolla. VR:n mukaan uusia vetureita tarvitaan, sillä nykyiset dieselveturit ovat elinkaarensa lopussa ja asiakkaiden tarpeet ovat muuttuneet. Kilpailutus aloitettiin kevään 2017 aikana. Kilpailutuksesta markkinaoikeuteen tehdyn valituksen vuoksi VR joutui käynnistämään kilpailun uudestaan talvella 2018, minkä vuoksi hankintaa koskevaa päätös siirtyi ennakoitua ajankohtaa (kesä 2018) myöhäisemmäksi.

VR:lta saadun tiedon mukaan uudet dieselveturit hankitaan ensisijaisesti vaihtotyötä varten kuitenkin niin, että vetureilla pystytään ajamaan myös linjalla. VR: mukana tämä täsmentyy prosessin aikana ja on mahdollista, että hankitaan vetureita pelkästään vaihtotöihin (esim. ilman ETCS/STM). Vetokyvyn osalta VR tavoittelee 300 kN:n lähtövetovoimaa. Energiatehokkuuden osalta odotetaan parannusta nykytilanteeseen. VR:n mukaan kulutus on riippuvainen mm. veturin käyttöprofiilista, junapainoista ja ratageometriasta.

*Taulukko 2. Suomessa vuonna 2016 käytössä ollut dieselveturikalusto (Liikennevirasto<sup>1</sup>, Wikipedia).*

Tyyppi	Lkm	Teho (kW)	Suurin akselipaino (t)	Paino (t)	Maksimivetovoima (kN)	Huippunopeus (km/h)	Valmistaja	Omistaja
Dv12	173	1 000	15,5–16,5	63-69	180	125	Valmet, Locomo	VR
Dr14	24	875	19,5	78	240	75	Rauma-Repola, Lokomo	VR
Dr16	23	1500	20,5	82	270	140	Valmet Trans-tech (1985-1992)	VR
Dr18	3 <sup>*</sup>	1 550	20	120	380	90	CZ LOKO, a.s.	Fennia-rail

<sup>\*</sup> vetureita on tilattu 5 kpl, joista 2 toimitettiin vuoden 2017 aikana.

<sup>1</sup> [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti\\_2016-07\\_rautatietilasto\\_2015\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_2016-07_rautatietilasto_2015_web.pdf)

## 3 Tavarajunien energiankulutus

### 3.1 Hankearvioinneissa käytettävät mallit

#### 3.1.1 Mallien laatiminen simuloimalla

Liikennevirasto selvitti sähkö- dieselvetureiden energiankulutusta vuonna 2013 tavaraliikenteen liikennöintikustannusmallien ja ratahankkeiden arviointiohjeen kehittämistä varten. Selvitys tehtiin simuloimalla, jossa junan vetämisessä tarvittavan energian määrä perustui veturien liiketilan ylläpitämiseksi tarvittavan vetoenergian mallintamiseen. Määritetyt kulutusmallit kuvaavat liikenteen ideaalitulannetta, jossa energiankulutukseen eivät vaikuta muun liikenteen aiheuttamat häiriöt, joiden vuoksi junalle aiheutuisi ylimääräisiä kiihdytyksiä ja jarrutuksia. Vetoenergian mallintamisessa otettiin huomioon junan massa, peruskulkuvastus (vierintävastus), ilmanvastus, kaarrevastus ja nousuvastus (radan pituuskaltevuus). Simuloinnit koskivat eri kokoisten junien vetoa Helsingin ja Oulun välisellä rataosuudella. Junien keskimääräinen pysähdysväli oli 100 km. Lisäksi arviotiin junien ei-kaupallisten pysähdysten aiheuttamaa vaikutusta, toisin sanoen lisäkulutusta, joka aiheutuu junan jarruttamisesta ja kiihdyttämisestä uudelleen tavoitenopeuteen.

#### 3.1.2 Sähköveturit

Sähköveturin kulutuksen mallintamisessa tyyppiveturina käytettiin Sr2-veturia. Simuloinneissa tarkasteltiin junia, joiden kokonaismassat oli välillä 83 t (pelkkä veturi)–2 300 tonnia ja keskinopeudet 40–90 km/h. Simulointien perusteella laadittiin sähköveturien energiankulutusta kuvaavat matemaattiset mallit tilanteille, joissa junan keskimääräinen pysähdysväli on 100 km. Muuttujina malleissa olivat keskinopeus (km/h) ja junan massa (t) (kuva 1).

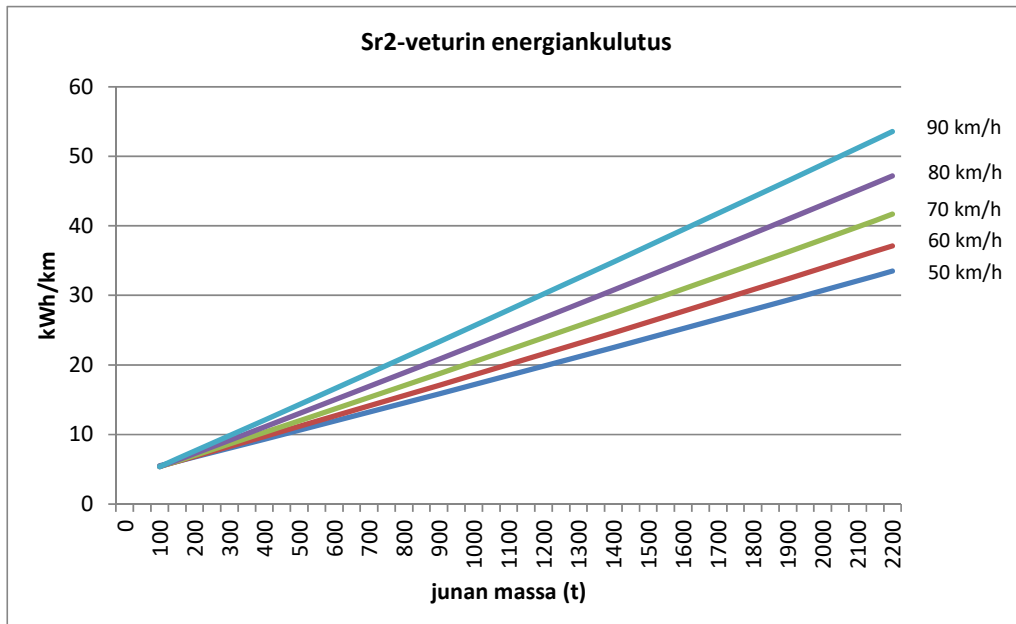
Laaditun kulutusmallin mukaan esimerkiksi 1500 tonnia painavan junan nettoenergiankulutus nopeudella 70 km/h on 29 kWh/km (19,4 kWh/1000 brtkm). Simulointien tulokset vastaavat hyvin kansainvälisissä tutkimuksissa määritettyä tasoa. Esimerkiksi EU-tutkimuksen<sup>2</sup> mukaan intermodaalikuljetukseen käytettävän junan, jonka bruttopaino on 1385 tonnia, energiankulutus on 26 kWh/km (18,8 kWh/1000 brtkm).

#### Ei-kaupallisen pysähdysten aiheuttama lisäkulutus

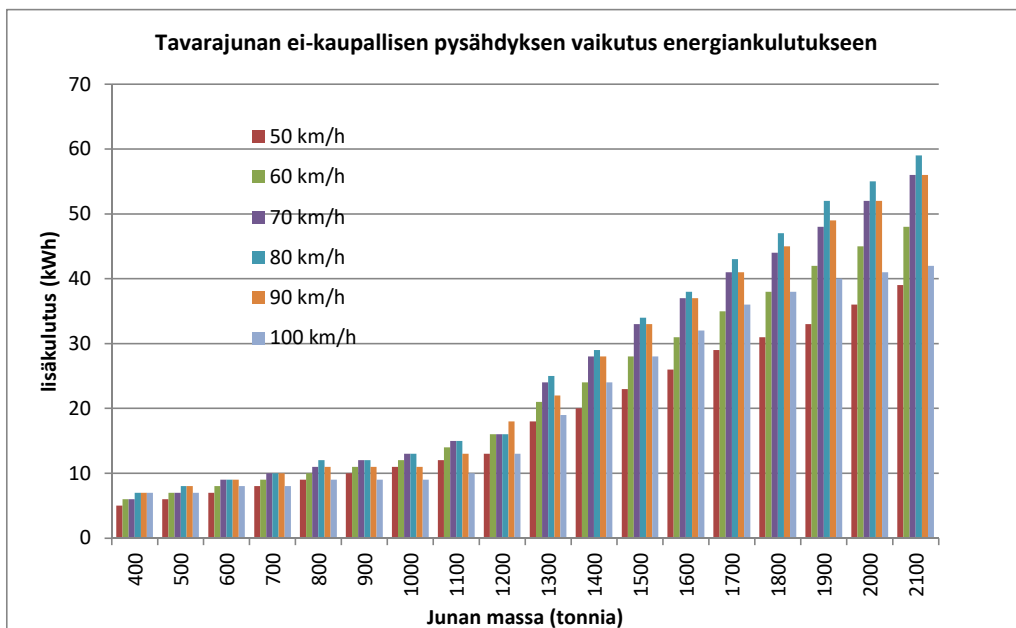
Simulointien mukaan ei-kaupallisen pysähdysten aiheuttaman energian lisäkulutuksen suuruus on riippuvainen junan massan ohella nopeudesta, josta jarrutus aloitetaan ja johon pysähdysten jälkeen kiihdytetään. Junan massan kasvu lisää pysähdysten aiheuttamaa lisäkulutusta. Nopeustason kasvu lisää kulutusta aina noin 80 km:iin/h asti, jota suuremmilla nopeuksilla sähköön takaisinsyöttö jarrutuksen aikana kasvaa niin suureksi, että nettoenergian kulutus laskee (kuva 2).

---

<sup>2</sup> Zanuy, C., Nelidal B., Boysen, H. (2012). Study on railway business for VEL-Wagon and target costs. VEL-Wagon Deliverable D 2.1.



Kuva 1. Simulointeihin perustuva Sr2-veturin energiankulutuksen riippuvuus tavarajunan massasta ja keskinopeudesta.



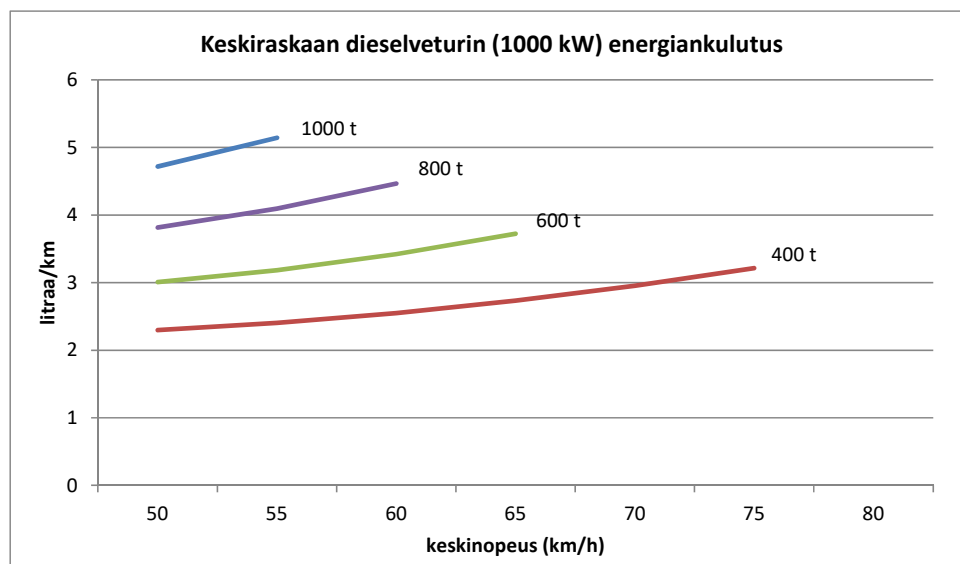
Kuva 2. Simulointeihin perustuva ei-kaupallisen pysähdyn aiheuttama lisä-energiankulutus junan nopeustason ja massan mukaan.



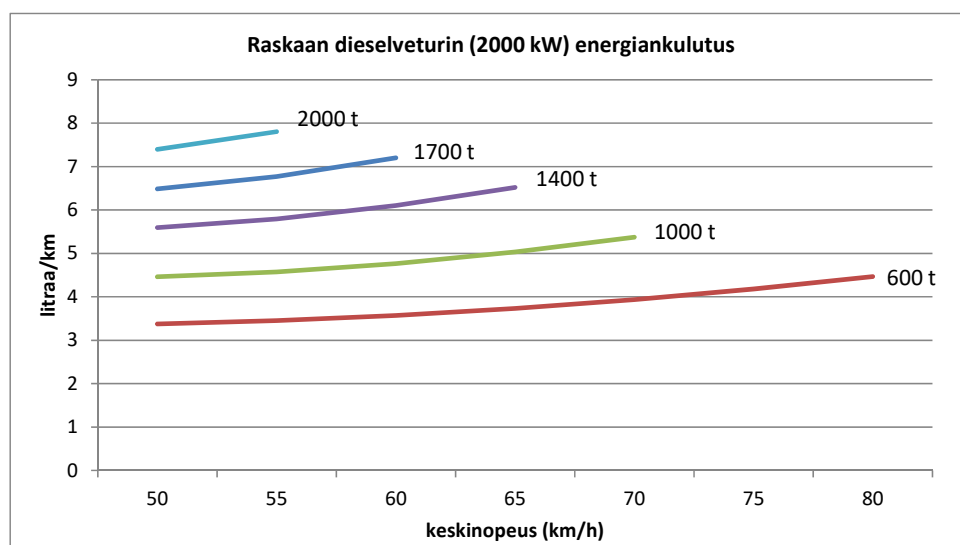
### 3.1.3 Dieselveturit

Dieselveturien osalta simuloinnit tehtiin keskiraskaalle veturille (teho 1000 kW) ja raskaalle 2000 kW ja 3000 kW:n vetureille. Keskiraskaan veturin simulointi perustui Dv12-veturin teknisiin ominaisuuksiin, joista keskeisiä energiankulutuksen kannalta ovat mm. veturin teho, massa ja massan jakautumien akselien kesken sekä yksityiskohtaiset moottoria koskevat tiedot. Raskaiden veturien tekniset ominaisuudet ”rakennettiin synteettisesti” Suomessa Dv12 veturien pohjalta niin, että 2000 kW:n veturissa oli kaksi ja 3000 kW:n veturissa kolme 1000 kW:n moottoria rinnakkain. Simuloinneissa junien tavoitenopeus oli 40–80 km/h.

Simulointien perusteella laadittiin dieselveturien polttoaineen kulutusta kuvaavat matemaattiset mallit tilanteille, joissa junan keskimääräinen pysähdysväli on 100 km. Muuttujina malleissa olivat keskinopeus (km/h) ja junan massa (t) (1000 kW:n ja 2000 kW:n veturien kulutusmallit on esitetty kuvissa 3–4).



Kuva 3. Keskiraskaan dieselveturin (1000 kW) polttoaineenkulutuksen riippuvuus tavarajunan keskinopeudesta ja massasta.



Kuva 4. Raskaan dieselveturin (2000 kW) polttoaineenkulutuksen riippuvuus tavarajunan keskinopeudesta ja massasta.

### Ei-kaupallisten pysähdysten aiheuttama lisäkulutus

Myös dieselveturien pysähdysten aiheuttamaa lisäkulutusta arvioitiin simuloineilla, joskin pysäytysten aiheuttamasta kulutuslisästä ei saatu järkevää mallia. Simulointien mukaan voitiin kuitenkin todeta, että pysähdysten aiheuttamaan lisäkulutukseen vaikuttavat keskeisesti junan massa, tavoitenopeus ja radan pituuskaltevuus liikennepaikalla ja sen läheisyydessä. Simulointien mukaan 1000 kW -tehoisen veturin polttoaineen kulutus kasvaa 3–11 litraa/pysähdys, kun nopeustaso on 60 km/h. Vastaavasti 2000 kW-tehoisen kulutus kasvaa 4–24 litraa/pysähdys.

## 3.2 Dr18-dieselveturin kulutuksen mallintaminen

### 3.2.1 Veturin tekninen kuvaus

Dr18 on tšekkiläisen CZ LOKO a.s.-yhtiön valmistama 774.7 F sarjan moottoriveturi. Veturin pyörästö koostuu kahdesta kolmiakselisesta telistä. Jokaista pyöräkertaa käyttää sen oma sähkömoottori. Veturin päärunko on asetettu teleille kahdeksan kumi-metallivaimentimen avulla. Rungon keskiosan alapuolelle on sijoitettu polttoainesäiliö ja pääilmäsäiliöt (kuva 5).

Veturin vetoaggregaatin muodostavat polttomoottori Caterpillar 3512 C HD ja ajovirraran vaihtovirtageneraattorin ja apuvaihtovirtageneraattorin muodostama koneryhmä. Tehon siirto vetävään pyöräkertaan tapahtuu sähköisesti vaihto/tasavirralla (AC/DC) kuuden vaihtovirtageneraattorista tasasuuntaajan kautta virransyötön saavan DC-sähkömoottorin avulla. Tehon säädössä ja veturin ohjauksessa käytetään MSV elektronika -yrityksen ohjausjärjestelmää. Veturi täyttää EU:n standardin EU stage IIIA mukaiset päästörajat, jotka tulivat voimaan vuonna 2011. Standardi vastaa USA:ssa Ympäristönsuojeluviraston (EPA) asettamaa uusinta standardia (Tier IV). Veturin tekniset ominaisuudet on esitetty taulukossa 3.



Kuva 5. Dr18-veturi (CZ LOKO a.s. valmistama moottoriveturi 774.7 F).

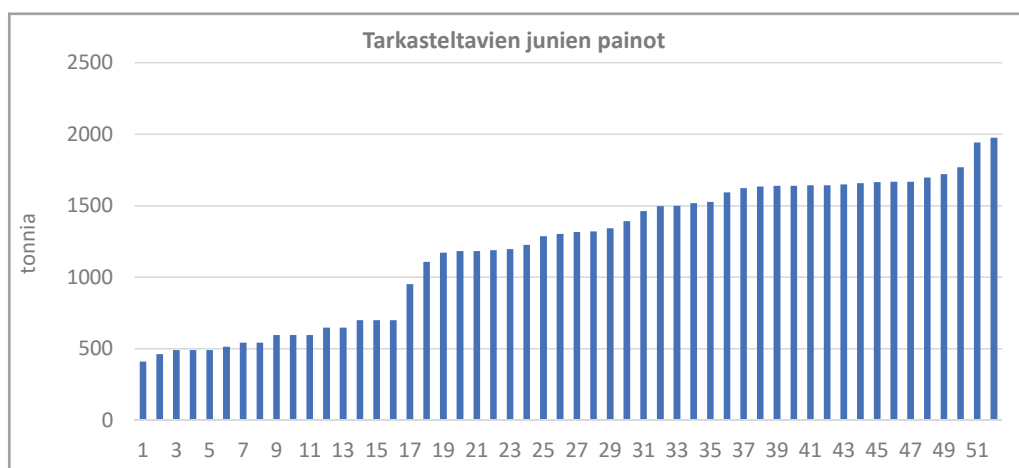
Taulukko 3. Dr18-veturin tekniset ominaisuudet (lähde: CZ LOKO).

Suurin käyttönopeus	90 km/h
Pyörästöjärjestys	C' o C' o
Välityssuhde akselille	76:15
Vetävien pyöräkertojen määrä	6
Ajettavan kaaren pienin säde (nopeudella 5 km/h)	120 m
Suurin leveys	3 140 mm
Suurin korkeus	4 624 mm
Pituus kytkimien akselilinoista mitattuna	17 340 mm
Pituus veturin päädyistä mitattuna	16 120 mm
Telikeskiöiden väli	8 660 mm
Telin akseliväli	4 000 mm
Pyörien halkaisija uusilla pyöränrenkailla	1 050 mm
Tehon siirto sähköinen	AC/DC
Jatkuva teho kytkimellä	1 142 kW
Jatkuva nopeus	16 km/h
Jatkuva vetoteho kytkimellä	257 kN
Maksimaalinen vetoteho kytkimellä	380 kN
Sähködynaamisen jarrun maksimiteho	1 020 kW
Sähködynaamisen jarrun kehittämä maksimivoima (kytkimellä)	120 kN

### 3.2.2 Mallin lähtötiedot

Dr18-veturin polttoaineen kulutusmallissa tarkasteltiin yhteensä 52 ajetusta vuorosta kerättyä polttoaineen kulutustietoa. Tarkasteluun otettiin yhteysväli Kuopio–Juuri-korpi, joka on osa sahatavaran kuljetusreittiä väleillä Kemijärvi–Kotka ja Vartius–Hamina. Yhteysväli sisältää pituuskaltevuuden suhteen vaihtelevia osuuksia, jolloin se ottaa huomioon myös ylä- ja alamäkien vaikutuksen polttoaineenkulutukseen. Tarkasteluun sisällytettävistä vuoroista 37 on liikennöity kuormasuuntaan ja 15 tyhjäsuntaan, joten tarkastelun avulla saadaan tietoa siitä, miten junan paino vaikuttaa sen polttoaineenkulutukseen.

Tyhjäs suunnan junien massat vaihtelivat 411–700 t välillä ja kuormasuunnan junien massat vaihtelivat 953–1976 t välillä (kuva 6). Ajotiedot on kerätty 12/2016–11/2017 välisenä aikana.



Kuva 6. Lähtötietoina käytettyjen junien painot.

Dr18-veturikaluston polttoaineen kulutuksen mittalaitteisto tallentaa polttoaineen määrätietoa noin 0–1 sekunnin välein. Jokaisesta pisteestä tallennetaan junan päivä- ja kellonaikatietoja, GPS-pisteet, polttoaineen määrä tankissa, junan hetkellinen nopeus sekä kilometrilukema.

### **GPS-pisteet ja radan pituuskaltevuus**

Junien ajotietojen GPS-pisteet yhdistettiin Maanmittauslaitoksen avoimeen maastomalliin. Maastomalli on kerätty laserkeilauksella koko Suomen alueelta. Tarkastelussa hyödynnettiin KM10-mallia, jonka ruutukoko on 10 m x 10 m ja korkeustiedon tarkkuus on 1,4 metriä<sup>3</sup>. GPS-pisteiden yhdistäminen maastomalliin tuotti siten tarkkaa tietoa radan pystygeometrian vaihtelusta tarkastelualueella (kuva 7, vaaleanvihreä graafi).

Tarkastelussa jokaisen ajovuoron tiedot rajattiin kattamaan noin 300 kilometrin pituinen rataosuus. Rajaus tehtiin siten, että pystygeometria on tasapainoinen eli ylä- ja alamäkiä on yhtä paljon.

### **Junan etenemä, nopeus ja polttoaineen määrä**

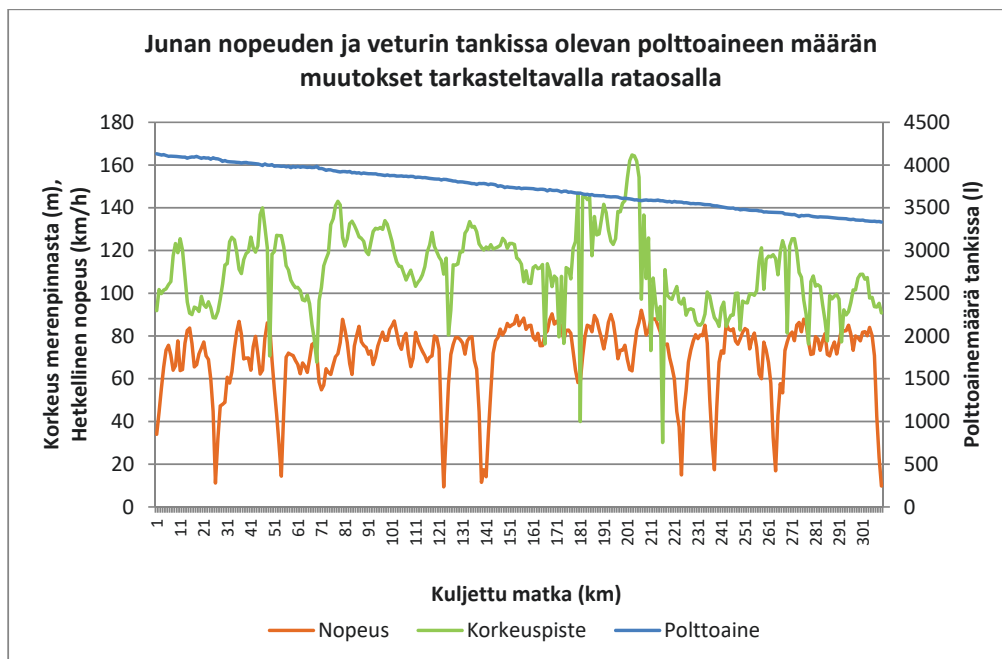
Dr-18-veturikaluston polttoaineen kulutuksen mittalaitteisto ilmoittaa junan kulke-  
man matkan yhden kilometrin tarkkuudella, minkä takia myös tankissa olevalle polttoainemäärälle ja junan hetkelliselle nopeudelle laskettiin kullekin kilometrille keskiarvo. Kilometrikohtainen tarkastelu pienensi junan liikkeistä aiheutuvaa polttoainemäärän hölskyntää ja siitä aiheutuvaa polttoainemäärän merkittävää vaihtelua.

### **Polttoaineenkulutus**

Polttoaineenkulutus kullekin junalle määritettiin asettamalla polttoainemäärä (l)-  
kuljettu-matka(km)-kuvaajaan suora. Suoran yhtälön derivaatta ilmoittaa tarkan polttoaineenkulutuksen. Tarkastelutapa ilmoittaa polttoaineenkulutuksen tarkasti, koska se ottaa huomioon jokaiselle kilometrille määritetyn polttoainemäärän keskiarvopisteen. Kuvassa 7 havainnollistetaan yksittäisen junavuoron nopeuden ja polttoainemäärän muutokset noin 300 kilometrin pituisella rataosalla. Polttoaineen kulutuksen suoran yhtälö saa muodon  $y = -2,60x + 4135$ , missä y kuvaa polttoainemäärää tankissa (l) ja x kuvaa junan etenemää (km). Yhtälöä derivoimalla saadaan junan keskimääräiseksi polttoaineenkulutukseksi 2,60 l/km. Vastaava tarkastelu tehtiin yksitellen jokaiselle junavuorolle.

---

<sup>3</sup> <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/korkeusmalli-10-m>

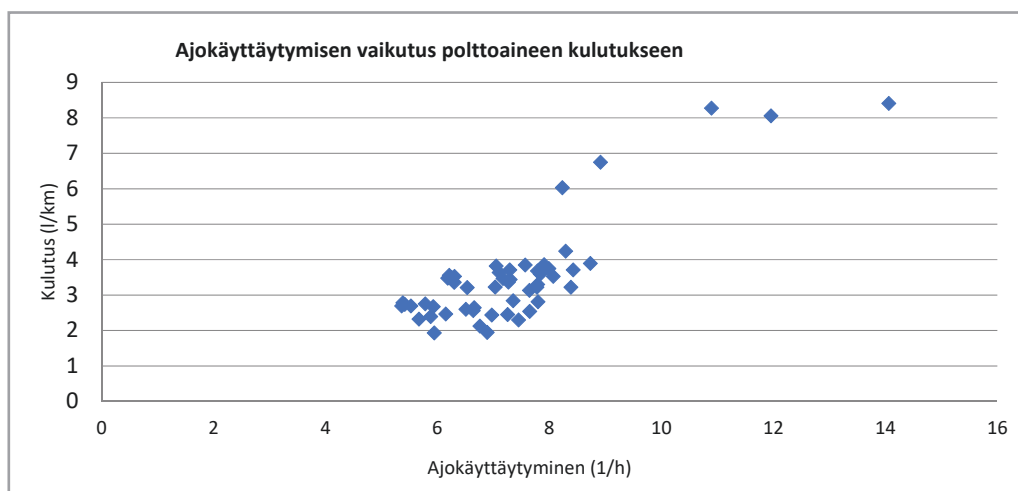


Kuva 7. Esimerkki yksittäisen junavuoron nopeuden ja polttoainemäärän muutoksista noin 300 kilometrin pituisella rataosalla.

### Ajokäyttäytyminen

Työssä tarkasteltiin junien ajokäyttäytymisen vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Ajokäyttäytymistä arvioitiin laskemalla tarkastelualueella havaittujen ajonopeuksien absoluuttinen muutosero kuljettua kilometriä kohden. Graafisesti kuvattuna tunnusluku tarkoittaa nopeus-matka-kuvaajan vaihtelevuutta. Tunnusluvun yksikkö on 1/h. Jos juna kulkee tasaisella nopeudella koko matkan, on sen ajokäyttäytymistä kuvaavan tunnusluvun arvo 0.

Ajokäyttäytyminen-kulutus-kuvaajasta (kuva 8) havaitaan, että tarkasteluun otetuista junavuoroista viisi eroaa merkittävästi muista. Nämä junavuorot jätettiin seuraavissa kappaleissa esitettyjen tarkastelujen ulkopuolelle.



Kuva 8. Kulutuksen riippuvuus ajokäyttäytymisestä (ajonopeudesta).

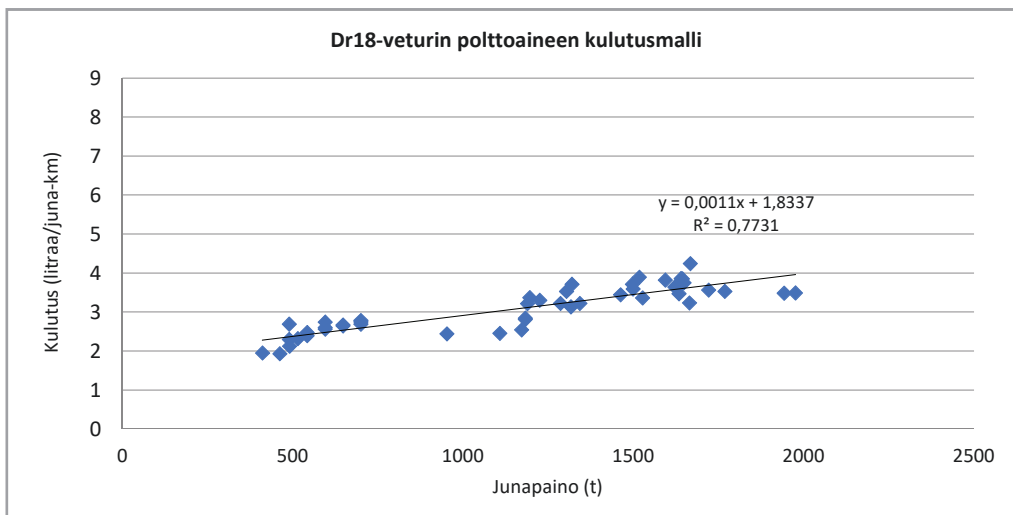
### 3.2.3 Kulutusmalli

Todellisesta datasta mitatun dieselveturin kulutus riippuu merkittävästi pysähdysten lukumäärästä ja ajokäyttäytymisestä. Kuva 8 havainnollisti, että kaikkien tarkasteltujen junavuorojen ajokäyttäytyminen on samaa suuruusluokkaa. Lisäksi tiedetään, että junapaino ja pysähdysten määrät eivät korreloi keskenään.

Junan keskinopeus laskee, kun pysähdysten määrä kasvaa. Toisaalta suuri pysähdysten määrä, ja niistä aiheutuneet ylimääräiset jarrutukset ja kiihdytykset kasvattavat polttoaineenkulutusta. Siksi todellisesta mitatusta datasta määritettynä keskinopeus ei ole luotettava tekijä selittämään keskikulutusta ja keskinopeus-kulutus-kuvaajaan asetettu lineaarinen suora saa laskevan muodon. Tästä johtuen työssä kehitetyssä kulutusmallissa polttoaineenkulutusta ei selitetä keskinopeuden avulla. Mitatusta datasta määritettäessä paras kulutusta selittävä tekijä on junapaino. Kulutusmalli (kuva 9) saa tällöin muodon

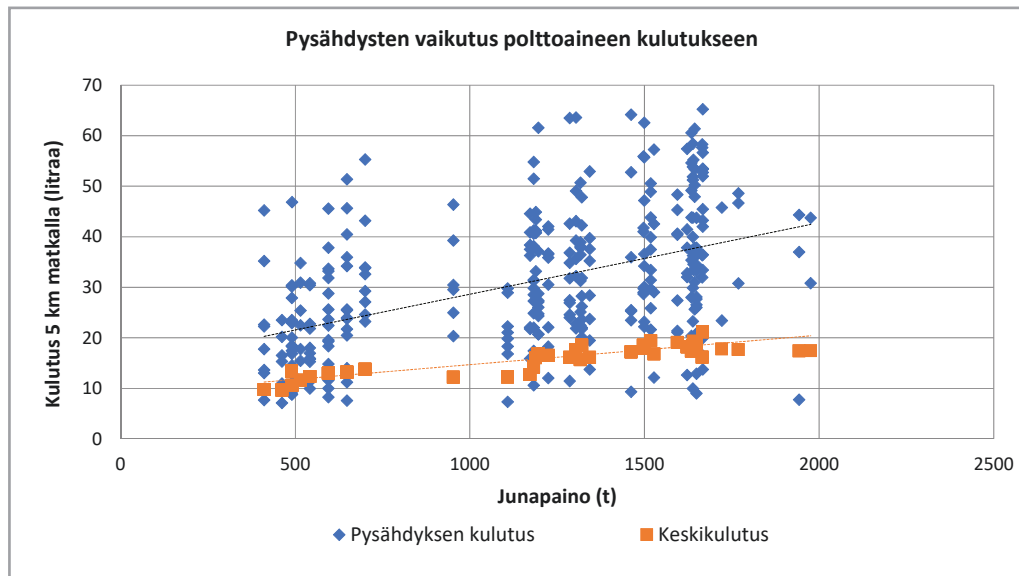
$$y = 0,0011 \cdot x + 1,8337; \text{ missä}$$

y kuvaa kulutusta (litraa/km) ja x kuvaa junan kokonaismassaa (t). Lineaarifunktion luottamusaste  $R^2$  saa arvon 0,77.



Kuva 9. *Dr18-veturin polttoaineen kulutuksen riippuvuus junan massasta.*

Jatkotarkastelussa arvioitiin pysähdysten vaikutusta polttoaineenkulutukseen. Tätä arvioitiin tarkastelemalla junien polttoaineen kulutusta viiden kilometrin matkalla, joka käsitti kaksi kilometriä ennen ja kaksi kilometriä jälkeen junan pysähdysalueen. Tällä viiden kilometrin matkalla junan oletettiin jarruttavan pysähtyäkseen ja kiihdyttävän normaaliin ajonopeuteen pysähdysten jälkeen. Verrattaessa junan keskimääräistä kulutusta ja kulutusta em. viiden kilometrin matkalla, voidaan arvioida pysähdysten aiheuttaman lisäkulutuksen suuruutta. Keskimääräinen lisäkulutus oli junan massasta riippuen 10–23 litraa/pysähdys (kuva 10). Tämä voi johtua esimerkiksi jarrutuksen ja kiihdyttämisen äkkinäisyydestä tai radan pinnanmuodoista jarrutusalueella.



Kuva 10. Pysähtyvän junan polttoaineenkulutus ja keskikulutus 5 kilometrin matkalta.

## 4 Dieselveturien päästöt

### 4.1 LIPASTO-järjestelmän päästökertoimet

Hankearvioinneissa rautatieliikenteen päästöjen laskenta perustuu energiankulutuksen suuruuden arviontiin ja diesel- ja sähköenergian päästökertoimiin. Dieselveturien päästöläjikohtaiset kertoimet osoittavat aiheutuvien päästöjen määrää grammoina yhtä kulutettua polttoainekiloa kohti. Päästöjen määrät saadaan siten energiankulutuksen ja päästökerrointen (g/kWh, g/kg<sub>pa</sub>) tuloina. Suomessa käytettävät päästökertoimet perustuvat VTT:n ylläpitämään liikenteen päästöjen laskentajärjestelmään (LIPASTO), jossa päästökertoimet on määritetty seuraaville yhdisteille:

- hiilivedyt (HC),
- typen oksidit (NO<sub>x</sub>),
- hiukkaset (PM),
- metaani (CH<sub>4</sub>),
- typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O),
- rikkidioksidi (SO<sub>2</sub>),
- hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>).

Kullekin tarkasteltavalle yhdisteelle ominaiset dieselmoottoreiden päästökertoimet (g/kg<sub>pa</sub>) perustuvat VR-Yhtymä Oy:n veturidieseliin ominaispäästömittauksiin, jotka tehtiin vuoden 1998 aikana. Mitatut moottorityypit olivat seuraavat: Tampella-SACM MGO V16 BSHR 1000 kW (käytetään Dv12-vetureissa), Tampella MAN R8V22/30 ATL 875 kW (käytetään Dr14-vetureissa) ja Pielstick 12PA4-V-200VG 1677 kW (käytetään dr16-moottoreissa). Hankearvioineissa käytetään yleisimmän dieselmoottorin eli Dv12-vetureissa käytettävän MGO-moottorin kertoimia (taulukko 4).

Taulukko 4. Mittauksiin perustuvat vanhojen dieselvetureiden päästökertoimet (LIPASTO).

Moottorityyppi/ veturi	Päästökerroin (g/kg <sub>pa</sub> )							
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub> <sup>(*)</sup>	hiukkaset	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
MGO (Dv12)	9,87	4,68	81,5	-	1,39	3162	-	-
MAN (dr14)	12,7	5,54	39,9	-	3,88	3163	-	-
Pielstick (Dr16)	8,03	1,25	42,3	-	1,7	3162	-	-

(\*) Rikkipäästön suuruus on riippuvainen käytettävän polttoaineen rikkipitoisuudesta



## 4.2 Kansainväliset päästöstandardit

### 4.2.1 Euroopan Unioni<sup>4</sup>

Euroopan unionissa uusien vetureiden on noudatettava muualla kuin tieverkolla liikennöivän kaluston direktiiviä (non-road mobile machinery, NRMM, directives). Direktiivin luokituksista I, II, III, IV ja V, luokat III A ja III B koskevat veturikalustoa ja kiskobusseja. Luokat jaetaan edelleen alaryhmiin, jotka riippuvat kaluston tehosta (taulukko 5).

Taulukko 5. EU:n standardien mukaiset raideliikenteen päästörajat<sup>5</sup>.

Luokitus	Teho- luokka	Voimaan- astumis- vuosi	CO g/kWh	HC g/kWh	HC+NOx g/kWh	NOx g/kWh	PM g/kWh
<b>Stage III A</b>							
RC A	P > 130	2006	3,5	-	4,0	-	0,2
RL A	130 < P < 560	2007	3,5	-	4,0	-	0,2
RH A	P > 560	2009	3,5	0,5*	-	6,0*	0,2
<b>Stage III B</b>							
RC B (kiskobussi)	P > 130	2012	3,5	0,19	-	2,0	0,025
R B (veturi)	P > 130	2012	3,5	-	4,0	-	0,025

\* kun veturin teho > 2000 kW ja sylinteritilavuus > 5 litraa: HC = 0.4 g/kWh ja NOx = 7.4 g/kWh

### 4.2.2 Yhdysvallat<sup>6</sup>

Yhdysvaltain päästönormit koskevat uusia ja peruskorjattua kiskobusseja ja diesel- ja kaasuvetureita. Päästönormit on määrittänyt EPA (United States Environmental Protection Agency). Käytettävä standardi määräytyy veturin valmistusvuoden tai peruskorjausvuoden perusteella. <sup>7</sup> Tason 4 standardien oletettiin vaativan kaasupäästöjen jälkikäsitteleteknologiaa, kuten dieselin päästöjen suodatinta, mutta jotkut kaupalliset veturimoottorit täyttävät Tier 4 vaatimukset myös ilman jälkikäsitteletä.

Yhdysvaltalaisen päästönormien rajat linjaveturien osalta on esitetty taulukossa 6.

<sup>4</sup> <https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>

<sup>5</sup> <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-locomotives-emissions-2/>

<sup>6</sup> <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei20/session8/mbergin.pdf>

<sup>7</sup> <https://www.dieselnet.com/standards/us/loco.php>

Taulukko 6. Yhdysvaltojen standardien mukaiset raideliikenteen päästörajat.

Taso	Veturin valmistus- tai peruskorjausvuosi	Standardin voimaantumisvuosi	HC [g/bhp*hr]	CO [g/bhp*hr]	NOx [g/bhp*hr]	PM [g/bhp*hr]
Tier 0	1973–1992	2010	1,00	5,0	8,0	0,22
Tier 1	1993–2004	2010	0,55	2,2	7,4	0,22
Tier 2	2005–2011	2010	0,30	1,5	5,5	0,10
Tier 3	2012–2014	2012	0,30	1,5	5,5	0,10
Tier 4	2015–	2015	0,14	1,5	1,3	0,03

#### 4.2.3 Suomen dieselveturikaluston uusiutumisen päästövaikutukset

Suomessa käytettävän vanhan dieselveturikaluston uusiminen vähentäisi Dr18-veturin kulutusmalliin perusteella dieselvetoisen tavaraliikenteen hiilidioksidipäästöjä noin 50 %. Veturi täyttää EU:n Stage III A mukaiset päästöstandardit. Dr18-veturista ei kuitenkaan ole saatavilla mittauksiin perustuvia päästötietoja. Stage III A jälkeen on otettu käyttöön Stage III B standardi, joka rajoittaa erittäin merkittävästi hiukkaspäästöjä sekä typenoksideja ja hiilivetyjä koskevia päästöjä. Esimerkiksi nykyisiin Suomessa käytettäviin Dv12-vetureiden mitattuihin päästöihin nähden Stage III B merkitsee hiukkaspäästöjen vähenemistä noin 80 %:lla kulutettua energiaa kohti.

## 5 Rataverkon jatkosähköistyksen hyödyt ja kannattavuus

### 5.1 Sähköistyksen tilanne

Suomen rataverkkoa on sähköistetty vuodesta 1965 lähtien. Valtion omistamasta rataverkosta (5923 km) oli vuoden 2017 lopulla sähköistetty noin 3320 km eli 56 %. Viimeisimpiä toteutuneita sähköistyshankkeita ovat olleet Jyväskylä–Äänekoski ja Pännäinen–Alholma. Lisäksi päätettyjä, valtion budjettiin sisältyviä hankkeita ovat rataosien Pori–Mäntyluoto ja Turku–Uusikaupunki sähköistykset. Liikennevirasto on viime vuosina arvioinut rataverkon jatkosähköistyksen tarvetta myös seuraavien rataosien osalta: Hyvinkää–Hanko, Ylivieska–Iisalmi, Siilinjärvi–Ruokosuo, Niirala–Säkäniemi, Joensuu–Uimaharju, Viinijärvi–Siilijärvi, Pieksämäki–Varkaus–Viinijärvi ja Laurila–Kolari, Hämeenlinna Rautaruukki, Jämsä–Kaipola ja Kemi–Ajos. Mikään näistä hankkeista ei ole osoittautunut yhteiskuntatalouden näkökulmasta kannattavaksi (kuva 11).



Kuva 11. Rataverkon sähköistyksen tilanne, sähköistettäväksi päätetyt rataosat sekä rataverkon jatkosähköistyksen arvioinneissa mukana olleet rataosat.

## 5.2 Kuuden sähköistyshankkeen tarkastelut

### 5.2.1 Hankearviointien mukaiset hyödyt ja hyöty-kustannussuhteet

Seuraavassa tarkastellaan sähköistyshankkeiden hyötyjen jakautumista jo toteutetuissa ja esillä olleissa hankkeissa. Tarkastelu perustuu Liikenneviraston laatimiin hankearvioiteihin, joissa liikennöintikustannussäästöjä ja päästökustannussäästöjä on arvioitu voimassa olleen hankearviointiohjeen mukaisesti, toisin sanoen vertailuvaihtoehtoissa käytetään dieselveturien yksikkökustannuksia, joiden polttoaineen kulutus perustuu vanhaan moottoriteknologiaan. Tarkasteltavana olevat hankkeet, hankearviointien ajankohdat ja kannattavuutta osoittavat hyöty-kustannussuhteet olivat seuraavat:

- Hyvinkää–Hanko (v. 2017), HK-suhde 0,9
- Iisalmi–Ylivieska (v. 2015), HK-suhde 0,7
- Ylivieska–Iisalmi + Siilinjärvi–Ruokosuo (v. 2015), HK-suhde 0,9
- Jyväskylä–Äänekoski (v. 2015), HK-suhde 1,4
- Pori–Mäntyluoto (v. 2015), HK-suhde 0,55
- Turku–Uusikaupunki (v. 2015), HK-suhde 0,9.

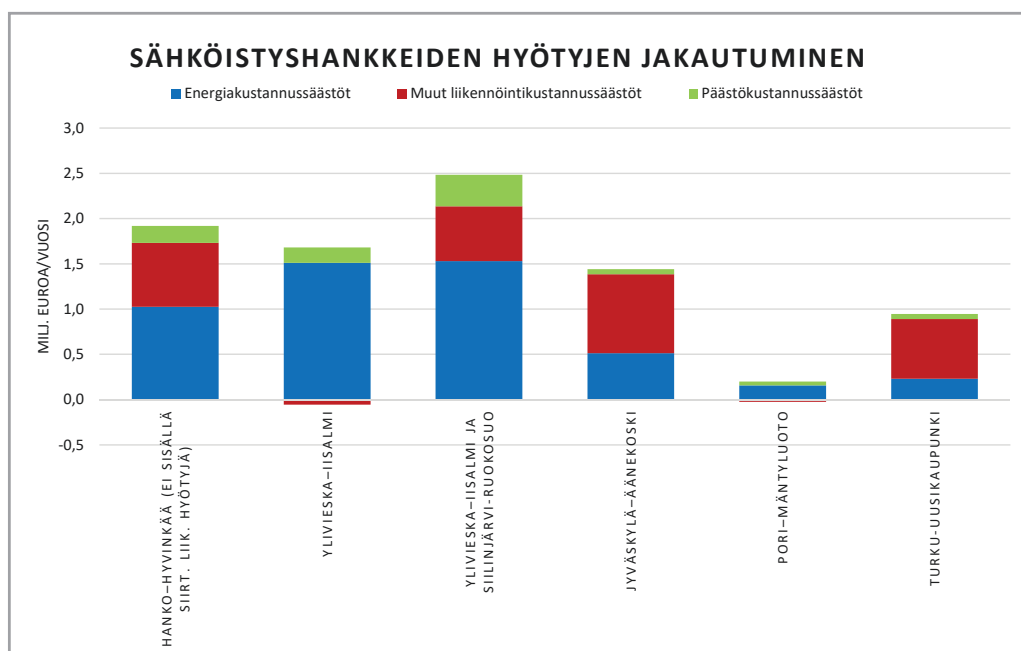
Rataverkon jatkosähköistyshankkeiden avulla saavutettavat hyödyt koskevat pääasiassa tavaraliikennettä. Keskeisimpiä hyötyjä ovat junien vedossa, vetureiden vaihtoissa ja päästöjen kustannuksissa saavutettavat säästöt. Sähköistys voi vaikuttaa myös käytettävään kuljetustapaan ja kuljetusreittiin, jolloin sähköistyksellä on vaikutuksia liikenteen ulkosiin kustannuksiin ja väylien kulumisen kustannuksiin. Nämä vaikutukset voivat olla myös negatiivisia, jos käytetty kuljetusreitti pidentyy.

Liikennöintikustannussäästöistä merkittävimpiä ovat energiakustannussäästöt ja veturien kunnossapitokustannusten säästöt. Myös veturien pääomakustannuksissa voidaan säästää, jos sähköveturien käytöllä on vaikutusta junien vedossa tarvittavien vetureiden määrään. Käytettäessä vanhaa keskiraskasta dieselveturikalustoa, junan veto hoidetaan usein kahden veturin moniajona, kun vastaavan juna vetämiseksi tarvitaan vain yksi sähköveturi. Sen sijaan, mikäli käytössä olisi raskas dieselveturi, ei sähköveturin hyödyntämismahdollisuus vähennä vetureiden tarvetta. Tällöin kaluston pääomakustannukset hieman kasvavat sähköveturin korkeamman hankintahinnan vuoksi. Veturinkuljettajien työvoimakustannukset ovat riippumattomia käyttövoimasta.

Veturien vaihtojen aiheuttamat lisäkustannukset muodostuvat veturien ja vaunujen pääomakustannuksista, veturinkuljettajien työvoimakustannuksista ja vaihtoon osallistuvan ratapihahenkilöstön työvoimakustannuksista. Vaihtoon kuluva aika on keskimäärin noin 40 minuuttia. Veturinvaihto matkan aikana on kannattavaa vain, jos sähkövetoon siirtymisellä saavutettava vetokustannussäästö on suurempi kuin vaihdon aiheuttamat kustannukset. Vanhaan dieselveturikalustoa käytettäessä vaihto on kannattavaa, jos vetokustannussäästöjä saavutetaan karkeasti noin 100 kilometrin matkalla. Raja on aina tapauskohtainen riippuen mm. vaihtoon sitoutuvan kaluston määrästä. Käytettäessä energiatehokkaampaa uutta dieselveturikalustoa, vaihdon kannattavuus edellyttää selvästi pidempää sähkövoiman hyödyntämismatkaa.

Hankearviointien mukaiset hyödyt jaetaan tarkastelua varten energiakustannussäästöihin (ei sisällä polttoaineen valmisteveroja), muihin liikennöintikustannussäästöihin (ei sisällä ratamaksuja) ja päästökustannussäästöihin. Siirtyvän liikenteen hyödyt eivät sisälly tarkasteluihin (näiden merkitys saavutettavien hyötyjen määrästä on yleensä hyvin pieni tai niitä ei ole arvioitu saavutettavan lainkaan).

Kuten kuvasta 12 nähdään, ovat hankkeittain saavutettavien säästöjen jakaumat hyvin erilaisia. Energiakustannussäästöjen osuus hyödyistä on suuri, kun hanke vaikuttaa vain hyvin vähän tai ei lainkaan veturinvaihtotarpeeseen. Tällaisia hankkeita ovat mm. Ylivieska–Iisalmi ja Pori–Mäntyluoto. Muiden liikennöintikustannussäästöjen osuus on vastaavasti suurin hankkeissa, joissa sähköistyksen hyödyntäminen mahdollistaa veturinvaihtojen poisjäämisen ja sähköistyksestä hyötyvä vetomatka on lyhyt. Tällaisia hankkeita ovat mm. Jyväskylä–Äänekoski ja Turku–Uusikaupunki (kuva 12).



Kuva 12. Hyötyjen jakautuminen tarkasteltavissa sähköistyshankkeissa.

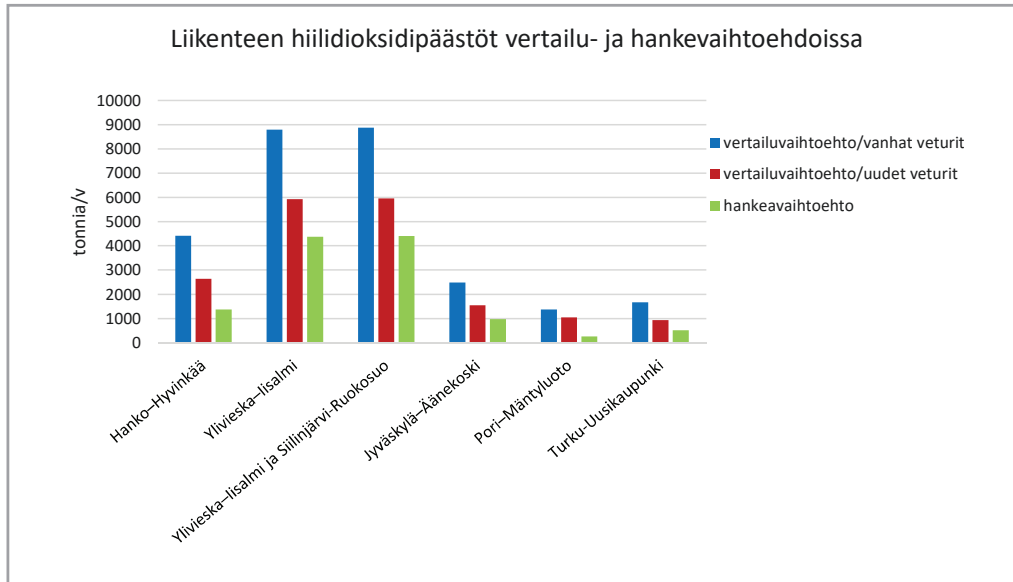
## 5.2.2 Dieselveturien uudistumisen vaikutukset

### Hyödyt ja hankkeiden kannattavuus

Seuraavassa on tarkasteltu, miten edellä esitetyt hankearviointien mukaiset hyödyt pienenevät, kun vertailuvaihtoehtojen polttoaineen kulutukset lasketaan määritetyn Dr18-veturin kulutusmalliin perustuen.

Tarkasteltavien sähköistyshankkeiden liikennöinti- ja päästökustannussäästöt pienenevät keskimäärin noin 40 %, kun hankkeiden vertailuvaihtoehtoisissa dieselveturien energiakustannukset lasketaan Dr18-veturin polttoaineen kulutusmallin perusteella. Vaikutus on keskimääräistä suurempi hankkeissa, jotka eivät vaikuta veturien vaihtotarpeeseen kuljetuksen aikana ja vastaavasti pienempi, kun hanke vähentää veturien vaihtotarvetta matkan aikana.

Hankearvontien mukaan tarkasteltavat sähköistyshankkeet vähentäisivät liikenteen hiilidioksidipäästöjä keskimäärin 57 % (yhteensä 15 700 tonnia/v). Kun veturien polttoaineenkulutus lasketaan Dr18-veturin kulutusmallin avulla, pienenevät vertailuvaihtoehtojen hiilidioksidipäästöt niin, että sähköistys vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä keskimäärin vain 34 % (yhteensä 6200 tonnia/v). Dieselveturikaluston uudistamisen avulla saavutetaan siten keskimäärin noin 60 % sähköistämisen avulla saavutettavista päästöhyödyistä (kuva 13).

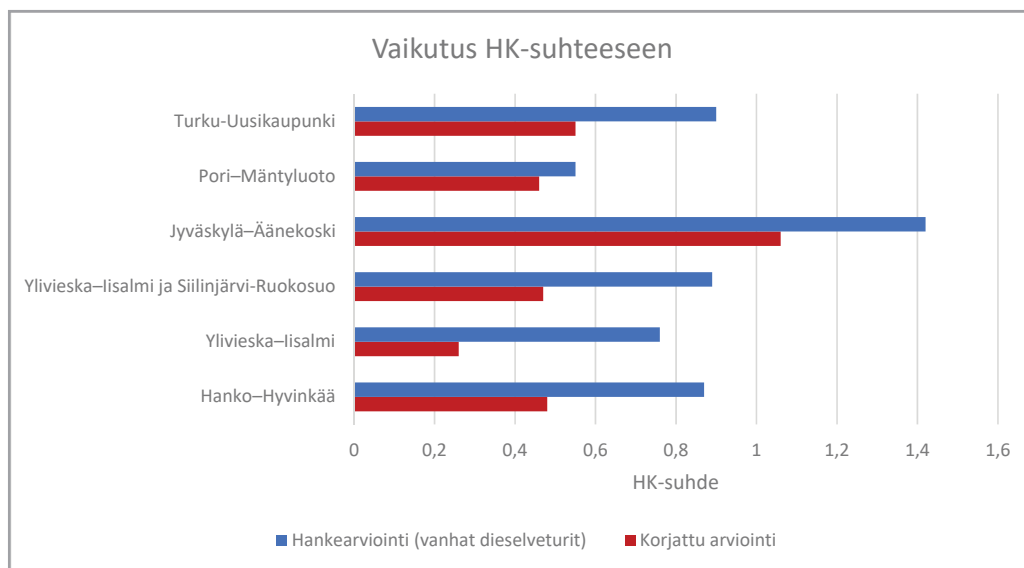


Kuva 13. Kuljetusten hiilidioksidipäästöt tarkasteltavien sähköistyshankkeiden vertailuvaihtoehtoissa (vanhoihin ja uusiin dieselvetureihin perustuvat päästöt) ja hankevaihtoehtoissa (sähköveturin päästöt perustuvat sähköntuotannon keskimääräiset päästöihin).

### Hyöty-kustannussuhteet

Seuraavassa on tarkasteltu, miten vertailuvaihtoehdossa käytettävien dieselvetureiden polttoaineen kulutus vaikuttaa hankkeiden kannattavuutta osoittaviin hyöty-kustannussuhteisiin. Päästökustannusten laskennassa on otettu huomioon kulutettavan polttoaineen määrän vaikutus hiilidioksidipäästöjen eri yhdisteiden määrään, mutta ei pienhiukkasten, typenoksidien ja hiilivetyjen päästökertoimien eroja uuden ja vanhan dieselveturin välillä. Laskelmat on tehty hankearvioinnin kertoimia käyttäen.

Uusien ja vanhojen dieselvetureiden välisellä polttoaineen kulutuserolla on merkittävä vaikutus hankkeiden HK-suhteisiin. HK-suhteet pienenevät eniten hankkeissa, joissa hankearvointien mukaan suurimmat säästöt muodostuvat energiakustannuksissa. Esimerkiksi Ylivieska-Iisalmi-rataosan sähköistyksen HK-suhde pieneen 0,7:sta noin 0,3:een (kuva 14).

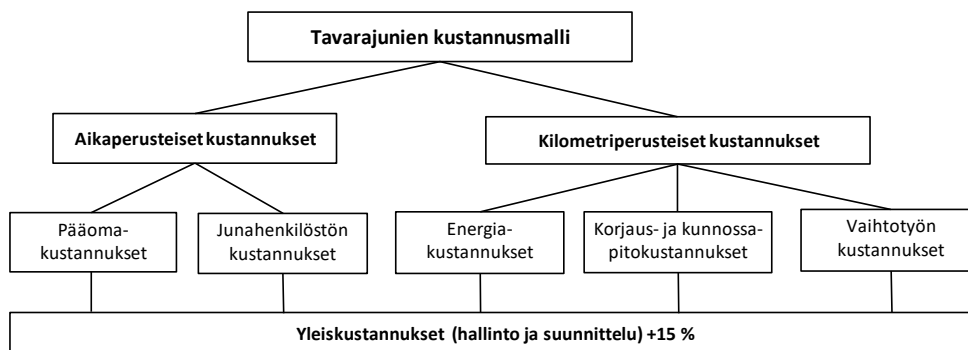


*Kuva 14. Sähköistyshankkeiden hankearviointien mukaiset HK-suhteet ja korjatut, uusien dieselvetureiden pienemmän polttoaineen kulutuksen perustuvat HK-suhteet.*

## 6 Tavaraliikenteen kustannusmalli

### 6.1 Kustannusmallin rakenne ja nykyiset yksikkökustannukset

Liikenneviraston liikennöintikustannusmallin mukaan tavarajunien kustannukset muodostuvat kuljetusajasta ja matkan pituudesta riippuvista kustannuksista sekä kuljetusten suunnittelusta, hallinnosta yms. aiheutuviista yleiskustannuksista. Kuljetusajasta riippuvia kustannuksia ovat kaluston pääomakustannukset ja kuljettaja- ja ratapihahenkilöstön työvoimakustannukset. Vastaavasti matkan pituudesta riippuvia kustannuksia ovat energiakustannukset ja kaluston kunnossapitokustannukset (kuva 15).



Kuva 15. Liikenneviraston tavaraliikenteen kustannusmallin rakenne.

#### Yksikkökustannukset

Tavarajunien yksikkökustannusten (taulukko 7) määrittämisen yhtenä lähtökohtana ovat edellä, luvussa 3.1.3 esitetyt energiankulutusmallit. Muut perusteet on esitetty Liikenneviraston vuonna 2013 laaditussa selvityksessä<sup>8</sup>. Keskimääräisiin kilometripohjaisiin yksikkökustannuksiin sisältyvät energiakustannukset perustuvat sähköveturien osalta 70 km/h:n ja dieselveturien osalta 60 km/h:n keskinopeuteen. Energiakustannukset voidaan laskea myös todellisen nopeuden mukaisesti. Tällöin kilometripohjaista yksikkökustannusta korjataan mallin mukaisen keskimääräisen kulutuksen ja todellisen kulutuksen erotusta vastaavalla kustannuksella. Taulukon kaikki kustannukset ja verot ovat vuoden 2013 hintatasossa.

<sup>8</sup> Rautatieliikenteen kustannusmallit. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2013.



Taulukko 7. Hankearviointiohjeen mukaiset tavaraliikenteen yksikkökustannukset ja keskimääräinen polttoaineen valmistevero (vuoden 2013 hintataso).

Veturi/vaunu	Veroton kustannus		Polttoainevero
	€/h	€/km	€/km
Keskiraskas dieselveturi, 1000 kW	178	2,39	0,28
• 1. veturi	65	2,39	0,28
• 2. veturi	2,05	0,15	0,03
• vaunu			
Raskas dieselveturi, 2000 kW	199	3,27	0,42
• 1. veturi	87	3,27	0,42
• 2. veturi	2,05	0,15	0,03
• vaunu			
Sähköveturi, 6100 kW	235	1,39	0,00
• 1. veturi	122	1,39	0,00
• 2. veturi	2,05	0,19	0,00
• vaunu			

## 6.2 Dr18-veturin yksikkökustannukset

Dr18-dieselveturin yksikkökustannusten tarkka määrittäminen edellyttäisi tietoja myös vetureiden hankintahinnasta ja kunnossapitokustannuksista. Näiden tietojen puuttuessa yksikkökustannukset on määritetty taulukossa 7 esitetyn 2000 kW:n veturin kustannusten pohjalta. Oletuksena on ollut, että 1550 kW:n tehoisen Dr18-veturin kustannukset poikkeavat 2000 kW:n veturin kustannuksista ainoastaan energiakustannusten osalta. Tällöin aikaperusteiset yksikkökustannukset ovat molemmilla vetureilla yhtä suuret. Sen sijaan keskimääräinen kilometripohjainen yksikkökustannus on Dr18-veturilla 0,35 €/veturi-km ja 0,07 €/vaunu-km pienempi kuin vanhan kulutusmallin mukaisella 2000 kW:n veturilla (taulukko 8).

Taulukko 8. Dr18-veturin veturin kulutukseen perustuva 1550 kW:n veturin vetämän junan yksikkökustannukset ja keskimääräinen polttoaineen valmistevero vuoden 2013 hintatasossa.

Veturi/vaunu	Veroton kustannus		Polttoainevero
	€/h	€/km	€/km
Raskas dieselveturi, 1550 kW	199	2,92	0,34
• 1. veturi	87	2,92	0,34
• 2. veturi	2,05	0,08	0,01
• vaunu			

## 7 Diesel- ja sähköveturien välinen kilpailukyky

### 7.1 Nykyisiin yksikkökustannuksiin perustuva vertailu

#### Vertailumenetelmä

Seuraavassa arvioidaan dieselveturien ja sähköveturien kilpailukykyä. Tarkasteltavina ovat vanhat dieselveturit (tehot 1000 kW ja 2000 kW), Dr18-veturin polttoaineenkulutukseen perustuva 1550 kW:n dieselveturi ja sähköveturi (6000 kW). Vertailut perustuvat luvussa 6 esitettyihin Liikenneviraston yksikkökustannusten taustatietoihin ja niiden perusteella määritetyn 1550 kW:n veturin kustannuksiin. Kustannuksia tarkastellaan kuvan 14 kustannusrakenteen tarkkuudella.

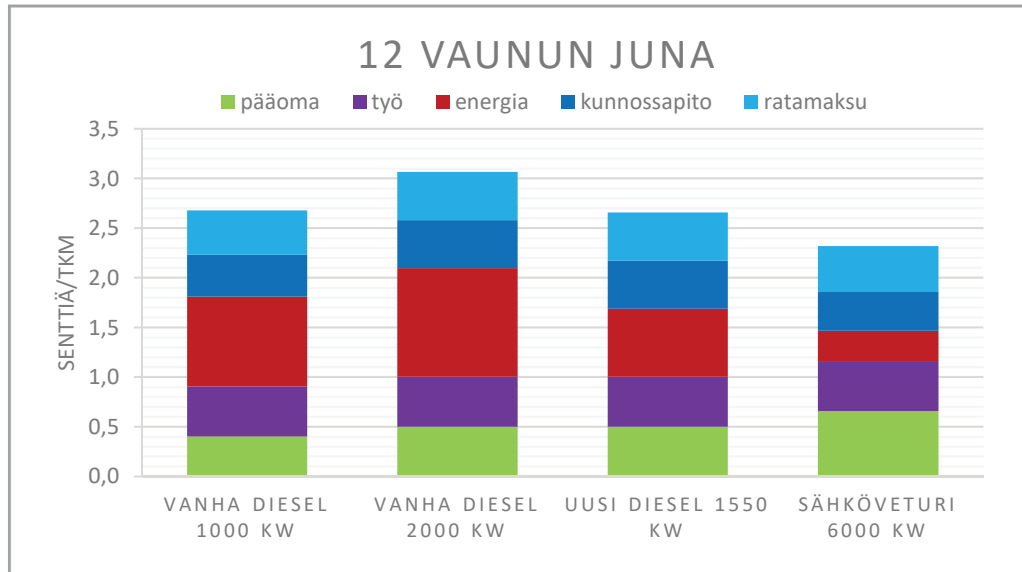
Vertailua varten määritettiin tavarajunien liikennöintikustannukset (mukaan lukien polttoaineen valmisteverot ja ratamaksut) tonnikilometriä kohti vedettäessä 12 ja 23 vaunun mittaisia junia. Kuormasuunnassa 12 vaunun junan bruttopaino ilman veturia on 1020 tonnia (85 tonnia/vaunu) ja nettopaino 744 tonnia (62 tonnia/vaunu). Vastaavasti 23 vaunun bruttopaino ilman veturia on 1955 tonnia ja nettopaino 1426 tonnia. Paluusuunnassa junassa ei ole lastia. Junan keskimääräinen kulkunopeus on 60 km/h.

#### Vertailujen tulokset

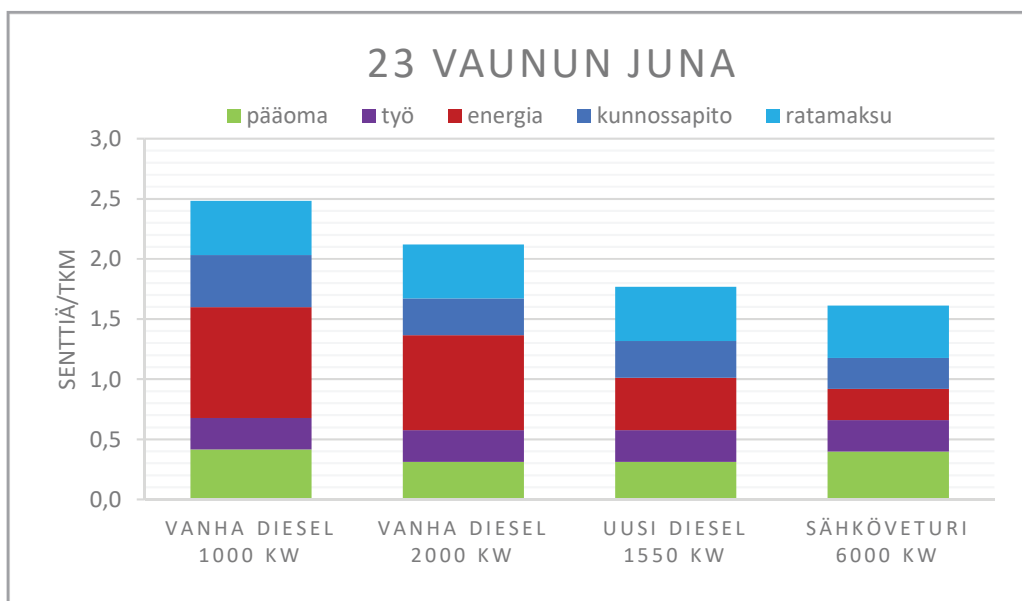
Kummankin tarkasteltavan junan osalta sähköveturi on edullisin veturityyppi. Sähköveturin etua on erityisesti pienet energiakustannukset, johon osaltaan vaikuttaa sähköverottomuus, kun taas kevyen polttoöljyn hintaan sisältyvien valmisteverojen osuus on huomattava.

Kevyemmän, 12 vaunun junan vetämisessä vanha 1000 kW:n veturi ja uusi 1550 kW:n veturi ovat lähes yhtä edulliset. Tarkasteltava junan bruttopaino (1020 tonnia + veturi) on vanhan 1000 kW:n veturin kannalta optimaalinen, kun taas uusi 1550 kW:n veturi on ylitehokas vedettävä junan massaansa nähden. Näiden molempien dieselveturien kustannukset ovat 15 % sähköveturin kustannuksia suuremmat.

Painavamman, 23 vaunun junan vetämisessä sähköveturin, vanhan 2000 kW:n dieselveturin ja uuden 1550 kW:n dieselveturin vetokyvyt ovat lähes optimaaliset. Uusi dieselveturi on kuitenkin 17 % vanhaa 2000 kW:n veturia kustannustehokkaampi. Ero vanhaan 1000 kW:n veturiin nähden kasvaa jo 29 %:iin. Näin suurta kustannustehokkuuden eroa selittää 1000 kW:n veturin riittämätön vetokyky junapainoon nähden, minkä vuoksi junan vetämisessä tarvitaan kaksi veturia. Sähköveturin kustannusetuuteen dieselveturiin nähden on vain 10 % (kuvat 16–17).



Kuva 16. Vanhan 1000 kW:n, vanhan 2000 kW:n dieselveturin, uuden 1550 kW:n dieselveturin sekä 6100 kW:n sähköveturin vetämän 12 vaunun tavara-junan keskimääräiset kustannukset tonnikipometriä kohti.



Kuva 17. Vanhan 1000 kW:n, vanhan 2000 kW:n dieselveturin, uuden 1550 kW:n dieselveturin sekä 6100 kW:n sähköveturin vetämän 23 vaunun tavara-junan keskimääräiset kustannukset tonnikipometriä kohti.

## 7.2 Herkkyystarkasteluja

### 7.2.1 Energian hinnan sekä valmisteverojen tason merkitys

Energian hinta on yksi tärkeimmistä ja herkimmin muuttuvista kustannuskomponenteista. Energian hinnan vaihtelut heijastuvat merkittävästi erityisesti dieselveturien kilpailukykyyn, sillä dieselveturin kokonaiskustannuksista energiakustannusten osuus oli edellä esitettyjen tarkastelujen mukaan vanhoilla vetureilla 34–37 % ja uudella 1550 kW:n veturilla 25–26 %. Vastaavasti sähköveturin kustannuksissa energiakustannusten osuus oli junan koosta riippuen 13–16 %.

#### Kevyen polttoöljyn hinnan ja valmisteverojen kehitys

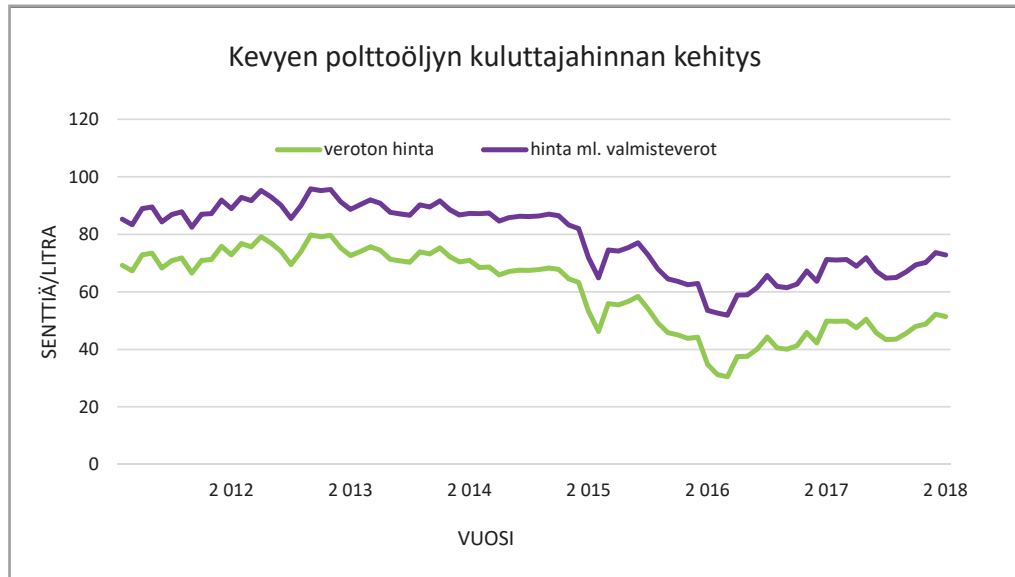
Liikenneviraston kustannusmallissa käytetty kevyen polttoöljyn veroton hinta oli 73 senttiä/litra ja kuluttajahintaan sisältyvä polttoaineen valmistevero 18,7 senttiä/litra. Veroton hinta perustuu vuosien 2009–2013 keskimääräiseen hintatasoon. Tämän jälkeen veroton hinta on pudonnut voimakkaasti raakaöljyn hinnanlaskun seurauksena. Alimmillaan veroton hinta oli vuoden 2016 alkupuolella, jolloin se oli noin 30 senttiä/litra eli noin 60 % kustannusmallin tasoa alempi. Tämän jälkeen kevyen polttoöljyn veroton hinta on noussut niin, että hintataso oli vuoden 2017 lopulla noin 50 senttiä/litra eli 30 % kustannusmallin tasoa alempi. Perittävän valmisteveron määrä on ollut vuoden 2016 alusta lähtien 21,4 senttiä/litra. Ottaen huomioon polttoaineen valmisteverot, oli vuoden 2017 lopun hintataso noin 20 % alempi kuin kustannusmallissa käytetty (kuva 18).

Polttoöljyn verollisen hinnan muutos 20 %:lla merkitsee vanhan keskiraskaan veturin kokonaiskustannuksissa noin 7 %:n (noin 0,2 senttiä/tkm), vanhan raskaan veturin (2000 kW:n) kustannuksissa 7-8 %:n (noin 0,2 senttiä/tkm) ja uuden veturin kustannuksissa noin 5 % :n (noin 0,1 senttiä/tkm) muutosta kustannusmallin tasoon nähden.

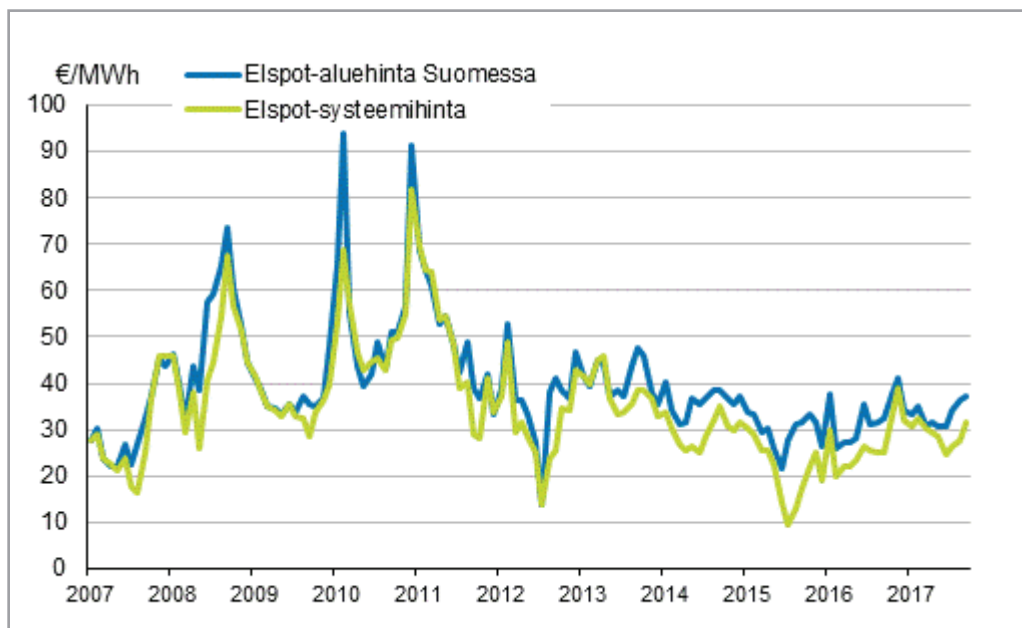
#### Sähkön hinnan kehitys

Rautatieliikenteessä käytettävän sähkön kokonaishinta muodostuu sähkön myyntihinnasta ja sähkön siirto hinnasta syöttöasemalle. Vuoden 2013 alusta lähtien rautatieyritykset maksavat myös jännitehäviöistä ajojohdossa. Liikenneviraston kustannusmallissa käytetty sähkön hinta on 60 €/MWh ja se perustui vuosien 2009–2013 keskimääräiseen hintatasoon ja sen päälle tulevista kustannuksista. Rautatieliikenteen käyttämästä sähköstä ei peritä sähköveroä. Sähkön veroton markkinahinta on vuoden 2013 jälkeen pudonnut kevyen polttoöljyn hinnan tapaan merkittävästi. Alimmillaan hinta on ollut alle 30 €/MWh. Vuoden 2017 lopulla Nord Pool Spot-sähköpörssin keskihinta oli hieman alle 40 €/MWh eli noin reilun kolmanneksen alempi kuin kustannusmallin hinnan lähtökohta ollut taso (kuva 19).

Sähkön energiahinnan muutos 20 %:lla merkitsee sähköveturin kokonaiskustannuksissa 3–4 %:n (noin 0,05 senttiä/tkm) muutosta kustannusmallin tasoon nähden.



Kuva 18. Kevyen polttoöljyn verottoman ja valmisteveron sisältämän kuluttajahinnan kehitys sekä vastaavat Liikenneviraston kustannusmallissa käytettävät arvo.



Kuva 19. Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvot vuodesta 2007 lähtien (Tilastokeskus).

### 7.2.2 Ratamaksuun vuonna 2019 tulevat muutokset

Rautatieliikenteeltä perittävä ratamaksun perusmaksu on ollut liikennelajikohtainen toisin sanoen erilainen henkilö- ja tavaraliikenteelle. Tavaraliikenteeltä perittävä perusmaksu on ollut vuodesta 2010 lähtien 0,1350 senttiä/bruttotonnikilometri. Lisäksi vuosina 2010–2014 on peritty rataveroa, joka sähkövetoiselta tavaraliikenteeltä on ollut 0,05 senttiä ja dieselvetoiselta liikenteeltä 0,1 senttiä bruttotonnikilometriä kohti. Sähkövetoisen liikenteen ratavero on ollut ympäristösyistä dieselvetoista liikennettä suurempi.

Vuodesta 2019 lähtien Liikennevirasto asettaa ratamaksun perusmaksun infrakustannuksiin perustuen, jolloin dieselvetoiselta liikenteeltä ei voida periä sähköradan kustannuksia. Samalla liikennelajikohtainen hinnoittelu korvataan käyttövoimakohtaisella hinnoittelulla. Vuonna 2019 perusmaksun yksikköhinnat ovat:

- sähkövetoinen liikenne: 0,1653 senttiä/bruttotonnikilometri
- dieselvetoinen liikenne: 0,1259 senttiä/bruttotonnikilometri.

Ratavero ei ole enää Liikenneviraston ratamaksujärjestelmän osa, vaan se on osa kansallista lainsäädäntöä. Liikenne- ja viestintäministeriö voi halutessaan sen kautta vaikuttaa rautatieliikenteen kustannusrasitukseen.

Vuonna 2019 voimaan astuvat muutokset merkitsevät parannusta dieselveturien kilpailukykyyn ja heikennystä sähköveturin kilpailukykyyn. Mikäli ratavero säilyy aiemmin perityn suuruisena pienenevät dieselvedon ratamaksu ja ratavero yhteensä noin 4 %. Vastaavasti sähkövedon ratamaksu ja ratavero nousevat tällöin yhteensä noin 16 %.

Ratamaksun ja rataveron osuus vanhojen dieselveturien kokonaiskustannuksista on junan painosta riippuen 16–21 % ja uuden dieselveturin kustannuksista 18–5 %. Ratamaksun hinnoittelun muutokset pienentävät siten tarkasteltavien dieselveturien vetämien junien kokonaiskustannuksia alle prosentilla. Vastaavasti ratamaksun ja rataveron osuus sähköveturin kokonaiskustannuksista on 20–27 %. Ratamaksun hinnoittelun muutokset lisäävät siten sähköveturin vetämän junan kokonaiskustannuksia 3–4 %.

## 8 Kaasu rautatieliikenteen käyttövoimana

### 8.1 Liikenteessä käytettävät kaasuvaihtoehdot

Liikenteessä hyödynnettävän kaasun olomuotoja ovat paineistettu maa- tai biokaasu (CNG, CBG) tai nesteytetty maa- tai biokaasu (LNG, LBG). Nesteytettyä maakaasua (LNG) käytetään erityisesti raskaan liikenteen polttoaineena, koska LNG:llä on huomattavasti paineistettua maakaasua (CNG) suurempi energiatiheys, jolloin samalla tilavuudella saavutetaan suurempi toimintasäde.

**Nesteytetty maakaasu (LNG)** on alle kiehumispisteensä jäädytettyä maakaasua, joka koostuu pääosin metaanista (CH<sub>4</sub>). Tarkempi koostumus riippuu maakaasun alkuperästä. Nesteytyksen avulla mahdollistetaan maakaasun kuljetus käyttöpisteeseen ilman siirtoputkistoa. Nesteytettynä maakaasu vaatii huomattavasti vähemmän varastointitilaa kaasumaiseen olomuotoonsa verrattuna, jolloin se soveltuu laivaliikenteen ja muun raskaan liikenteen polttoainevaihtoehdoksi. LNG:n tilavuus jää nestemäisenä vain 0,06 %:iin normaaliolotilassa olevan kaasun tilavuudesta. Energiasisällöltään 310 litraa LNG:tä vastaa öljybarrelia (159 l) ja yksi tonni LNG:tä vastaa 1370 m<sup>3</sup> maakaasua.

Nestemäiseen muotoon maakaasu saadaan erillisissä nesteytyslaitoksissa ja se saadaan pysymään nestemäisessä olomuodossa pitämällä sitä noin -160 °C lämpötilassa normaali-ilmanpaineessa. Nesteytetyn maakaasun tiheys on luokkaa 420–450 kg/m<sup>3</sup>. Alhaisen tiheydensä takia LNG vaatiikin enemmän varastointitilaa kuin esimerkiksi raskas polttoöljy. Nesteytettynä maakaasua ei voida käyttää polttoaineena, vaan se tulee höyrystää takaisin kaasumaiseen olomuotoon viimeistään käyttökohteissa.

Meriliikenteen kiristyneiden ympäristönormien, erityisesti ns. rikkidirektiivin vuoksi LNG:n käyttö on yleistymässä uusien laivojen polttoaineena. LNG on leviämässä myös tieliikenteeseen ympäristöystävälliseksi raskaiden ajoneuvojen polttoaineeksi, sillä LNG:n korkeamman energiatiheyden ansiosta tankkausvälit saadaan hyväksyttävälle tasolle. LNG:n käyttö myös rautatieliikenteen käyttövoimana on aktiivisen kehityksen alla.

**Biokaasu (LBG)** on kaasuseos, joka on hapettomissa olosuhteissa tapahtuvan mikrobien elintoiminnan jätteenä syntyvää kaasua, josta suurin osa on metaania ja hiilidioksidia. Mikrobit käyttävät ravinteenaan useimpia kasvi- ja eläinperäisiä orgaanisia yhdisteitä. Poikkeuksena on ligniini, jota on runsaasti erityisesti puussa. Siitä syystä puu ei sovellu biokaasun tuotantoon, mutta esimerkiksi paperi soveltuu, sillä se koostuu selluloosasta. Biokaasua syntyy luonnossa jatkuvasti mm. ihmisen ja eläinten ruoansulatusjärjestelmässä sekä biomassan hajotessa (liikennebiokaasu.fi). Biokaasu sisältää 60–65 % metaania (CH<sub>4</sub>) ja 30–35 % hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>). Lisäksi biokaasussa on muun muassa vettä (H<sub>2</sub>O), typpeä (N<sub>2</sub>), happea (O<sub>2</sub>), vetyä (H<sub>2</sub>), ammoniakkaa (NH<sub>3</sub>) ja rikkivetyä (H<sub>2</sub>S) syötteestä riippuen. Biokaasun lämpöarvo on hyvä, keskimäärin 6,4 kWh/m<sup>3</sup> (Wikipedia).

Suomen biokaasutuotanto on kasvussa johtuen mm. uudistuneesta jätelainsäädännöstä, joka kieltää orgaanisen jätteen sijoituksen kaatopaikoille. Biokaasulaitoksissa tuotettavan biokaasun potentiaaliseksi määräksi on arvioitu noin 10 TWh vuodessa. Tämä määrä riittäisi noin miljoonan kaasuauton tarpeisiin. Tällä hetkellä biokaasun tuotantopotentiaalista on hyödynnetty Suomessa vain noin 4 %. Suomessa biokaasulaitosten raaka-aineena käytetään nykyisin pääosin jätteitä, mutta suurin potentiaali on peltobiomassassa, jota Suomessa ei vielä juurikaan hyödynnetä (Gasum).

Biokaasusta voidaan valmistaa biometaania liikennepolttoaineeksi. Tämä edellyttää kaasun jalostusta yli 97 %:n metaanipitoisuuteen ja epäpuhtauksien poistoa. Liikennebiokaasu on tähän mennessä Suomessa kulutettu paineistettuna biokaasuna (CBG). Biokaasu voidaan nesteyttää vastaavasti kuin maakaasu, mutta Suomessa ei ole biokaasun nesteytyslaitoksia eikä nesteytettyä biokaasua (LBG, Liquefied BioGas) ole käytetty liikenteessä.

## 8.2 Nesteytetyn maakaasun ja biokaasun ympäristöhyödyt

Nesteytetyn maakaasu (LNG) käytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä muihin fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Nesteytetyn maakaasun käytöllä typpipäästöt vähenevät 90 % ja hiilidioksidipäästöt 20-30% verrattuna dieselpolttoaineisiin. LNG:n käytöstä ei synny lainkaan rikkioksidi- tai hiukkaspäästöjä. LNG:tä käyttämällä hiilidioksidipäästöt alenevat noin 25 prosenttia raskaaseen polttoöljyyn verrattuna. LNG ei sisällä rikkiä tai raskasmetalleja, eikä sen käytöstä synny haitallisia pienhiukkaspäästöjä. LNG on polttoaineena turvallinen vaihtoehto, sillä maakaasun syttymisalue ilmassa on kapeampi ja syttymislämpötila korkeampi kuin öljypohjaisilla polttoaineilla. Mahdollisen vuodon sattuessa LNG ei sekoitu veteen vaan höyrystyy välittömästi ja haihtuu ilmaan. LNG on myös hajuton, mauton ja myrkytön kaasu, joka ei aiheuta korroosiota eikä se ole syövyttävää

## 8.3 Kaasuvetureiden kansainvälinen kehitystyö

### 8.3.1 Pohjois-Amerikka

Pohjois-Amerikan rataverkko kattaa 225 000 kilometriä ja ulottuu kaikkialle mantereella. Tavaraliikenne on perustunut yksinomaan dieselveurien käyttöön. Pohjois-Amerikka kaasuvetureita on kehitetty jo pitkään. Kehitystyötä on viime vuosina vauhdittanut räjähdysmäisesti Pohjois-Amerikassa kasvanut liuskekaasun tuotanto, jonka seurauksena kaasun hinta on alentunut merkittävästi.

Pohjois-Amerikan rautatieliikenteessä toimii seitsemän ns. Class I luokan rautatieyri-tystä: Burlington Northern Santa Fe (BNSF), Canadian National (CN) and Canadian Pacific (CP), CSX Transportation (CSX), Kansas City Southern (KCS), Norfolk Southern (NS) and Union Pacific (UP). Nämä yritykset käyttivät vuonna 2013 noin 4,1 miljardia gallonia (15,5 miljardia litraa) dieselpolttoainetta, jonka kustannukset olivat \$US 11,6 miljardia.



Kaasukäyttöisten veturien tekniikan kehityksessä aktiivisia ovat Caterpillar/EMD, General Electric GE, ja MP&ES. Tällä hetkellä kaikki edellä mainitut suuret raideliikenneyritykset tutkivat LNG:n mahdollisuuksia linjaliikenteessä. BNSF ja Electro-Motive Diesel (EMD) toimivat yhteistyössä pilottinaan GE. EMD on lisäksi yhteistyössä Kanadan rautateiden (CN) kanssa. Westport Innovations toimii yhteistyössä Caterpillarin kanssa tavoitteenaan lisätä kaasuteknologiaa Caterpillarin tuotteisiin, kuten EMD-vetureihin. Veturien kaupallisen tuotannon on ennustettu alkavan vuonna 2017. Evolution Series -vetureihin asennetaan jälkikäteen GE's NextFuel™-ominaisuus, joka muuttaa veturin sekä diesel- että maakaasuvetoiseksi. Myös muiden valmistajien kehitystyö perustuu dieselveturien moottoritekniikkaan. Esimerkiksi EMD on vuonna 2012 alkaneessa tutkimusohjelmassa modifioinut 3000 hevosvoiman dieselveturin hyödyntämään myös LNG:tä. Veturissa voidaan käyttää pelkästään LNG:tä tai LNG:n ja dieselpolttoaineen seosta.

Pohjois-amerikkalaisten veturien valmistajien (EMD ja GE) tutkimusten mukaan kaasua ja dieselpolttoainetta hyödyntävien TIER4-päästöstandardit täyttävien dieselveturien muuttaminen kaasukäyttöisiksi nostaa moottorin kustannuksia 20–40 %. Lisäksi kustannuksia aiheuttaa tarvittavasta polttoainesäiliöstä, joka tavanomaisesti sijaitsee erillisessä vaunussa (kuva 20).



Kuva 20. LNG-käyttöisiä vetureita testikäytössä USA:ssa.<sup>9</sup>

LNG-vetoisten vetureiden hyödyiksi on arvioitu pitkät tankkausvälit, pienentynyt polttoaineen kulutus ja pienentyneet kasvihuonekaasupäästöt. LNG-vetoisilla vetureilla on laskettu 30 % pienemmät hiilidioksidipäästöt ja 70 % pienemmät typpipäästöt.

LNG-tekniikkaan siirtyminen vaatii kuitenkin mittavia investointeja sekä kalustoon että infrastruktuuriin. Lisäksi vielä ei ole varmuutta ylläpitokustannuksien suuruudesta eikä tankkauksen yksityiskohdista. Yksikään suurista yrityksistä ei suunnittele siirtävänsä täysin kaasuvetoisiin vetureihin ennen sääntelyn varmuutta ja investoinnin kannattavuuden vahvistumista. On arvioitu, että kaupallinen tavaralinjaliikenne alkaisi Pohjois-Amerikassa vuosina 2018–2019.

### 8.3.2 Venäjä

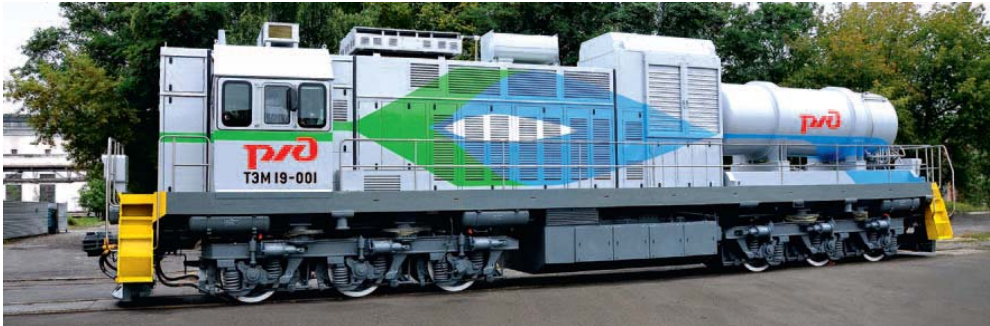
Venäjällä kaasukäyttöisen TEM19-vaihtotyöveturin kehittäminen aloitettiin vuonna 2012 venäläisen CJSC Transmashholding-yhtiön tytäryhtiö BMZ:n toimesta. Sen yhteistyökumppaneina toimivat Uralcryomash Volzhsky Diesel ja VNIKTI rautatiekaluston tutkimusinstituutti. Veturin koekäyttö aloitettiin vuonna 2013 ja kesäkuussa

<sup>9</sup> BSNF, CN

2015 TEM19 hyväksyttiin kaupalliseen käyttöön. Venäjän rautatiet aloitti marraskuussa 2015 veturin käytön Yegorshinin veturivarikolla.

TEM19-veturin rakenne on modulaarinen ja koostuu ohjaamosta, jäähdytysjärjestelmästä, nesteytetyn maakaasun syöttöjärjestelmästä, kompressorista, sähködynaamisesta jarrutusjärjestelmästä, kryogeenisestä säiliöstä, moottorista ja generaattorista. Tarvittavat lisälaitteet sekä automaattinen palon- ja kaasunilmaisin on koottu omaan erilliseen moduuliinsa.

Polttoaineena veturi käyttää nesteytettyä maakaasua (LNG). Polttoainetta kuljetetaan irrotettavassa säiliössä, joka sijaitsee moottorin edessä (kuva 21). Veturiin on integroitu telemaattinen järjestelmä, joka parantaa turvallisuutta. Järjestelmä tunnistaa potentiaaliset LNG:n käytön vaarat ja tallentaa junan kuljettajan toimintaa. Järjestelmä on yhteydessä automaattiseen palon- ja kaasunilmaisinjärjestelmään.



Kuva 21. LNG-käyttöinen TEM19-vaihtotyöveturi<sup>10</sup>.

Ludinskin dieselveturitehtaan valmistama LNG-käyttöinen GT1h-002 -veturi on tarkoitettu linjaliikenteeseen. Veturin koeajot käynnistettiin toukokuussa 2016 700 kilometrin pituisella Surgut-Voinovka-rataosuudella. Koeajossa käytetyn junan paino oli 9000 tonnia. Koeajon yhteydessä arvioitiin teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien ohella myös ympäristövaikutuksia. Veturilla on tarkoitus aloittaa kaupallinen liikennöinti samalla rataosuudella.

Kesäkuussa 2016 venäläinen maakaasu- ja öljykonserni Gazprom, Venäjän rautatiet ja joukko rautatiekaluston valmistajia allekirjoittivat sopimuksen maakaasun käytön lisäämisestä rautatie- ja tiekuljetuksissa. Sopimuksen mukaan Gazprom rakentaa yhdessä Venäjän rautateiden kanssa rautatiekaluston maakaasutankkauksen edellyttämän infrastruktuurin ja Venäjän rautatiet kouluttaa veturihenkilökuntaa kaasuveturien käyttöön. Lisäksi sovittiin TEM19-vetureiden 50 veturin suuruisen koe-erän valmistamisesta ja LNG-käyttöisten GT1h-002-vetureiden käyttöönotosta.

LNG-veturien junien suurimmaksi hyödyksi Venäjällä arvioidaan polttoainekustannusten pienentyminen. Koekäyttöjen perusteella vuosittaiset energiakustannukset ovat 20 % pienemmät kuin perinteisillä dieselvetureilla. Nesteytetyn maakaasun käytön muiksi hyödyksi on arvioitu ympäristöhaittojen pieneminen, kotimaisen energianlähteen hyödyntämisen lisääminen ja kotimaisen teollisuuden edistäminen.

<sup>10</sup> Railway equipment. September 2016.

## 8.4 LNG:n hyödyntämismahdollisuudet ja edellytykset Suomessa

LNG:n hyödyntäminen veturien polttoaineena edellyttää toimivia LNG-markkinoita ja LNG:n jakeluverkon rakentamista ja kilpailukykyistä hintaa vaihtoehtoisiin polttoaineisiin nähden. Yksi tärkeimpiä LNG:n liikepolttoaineena hyödyntämisen edellytyksiä on toimivan jakeluverkon rakentaminen. Suomessa, jossa pääosa hyödynnettävästä LNG:stä on tuontikaasua, tärkeän osan jakeluverkosta muodostavat tuontiterminaalit ja jakeluverkosto terminaaleista asiakkaille.

Suomessa Gasum on tuottanut nesteytettyä maakaasua (LNG) vuodesta 1996 alkaen. Gasum avasi Porvoon Kilpilahteen uuden tuotantolaitoksen (kaasun nesteytyslaitos) vuonna 2010. Sen tuotantokapasiteetti 20 000 t/a ja varasto n. 2000 m<sup>3</sup> (750 tonnia). Gasumilla on myös erikoisvalmisteisia säiliöautoja LNG:n toimittamiseksi käyttökoh-teisiinsa.

Suomeen LNG:tä tuodaan kaasutankkereilla rannikon tuontiterminaaleihin. Terminaaleissa LNG varastoidaan nestemäisenä. Vuoden 2017 lopulla toiminnassa oli kaksi terminaalia, joista toinen on Skangasin terminaali Porin Tahkoluodossa ja toinen Mangan terminaali Tornion Röyhtässä. Porin terminaalin varastokapasiteetti on 30 000 m<sup>3</sup> ja Tornion 50 000 m<sup>3</sup>. LNG:n jakelu Porin terminaalista asiakkaille tapahtuu joko uudelleenkaasutuksen jälkeen yhdysputken kautta paikalliselle teollisuus-alueelle tai nesteytettynä tankkereilla ja säiliöautoilla. Tornion terminaalista LNG:tä tullaan kuljettamaan kaasumaisena putkistoa pitkin paikalliselle terästeollisuudelle. Tornion LNG-terminaalin on tarkoitus palvella myös Suomen, Ruotsin ja Norjan pohjoisosien teollisuutta, merenkulkua ja raskasta liikennettä, jolloin jakelu asiakkaille hoidetaan tankkiautoilla. Myös Haminaan ollaan rakentamassa LNG-terminaalia Haminan Energian toimesta. Terminaalin suunniteltu varastokapasiteetti on 30 000 m<sup>3</sup>. Terminaalin on arvioitu valmistuvan vuonna 2018.

Liikennepolttoaineena LNG:tä hyödynnetään Suomessa meriliikenteessä ja raskaassa tieliikenteessä. LNG:n hyödyntäminen rautatiekuljetuksissa edellyttäisi LNG:n tankkauspaikkaverkon rakentamista. Infrastruktuurin rakentamista varten on mahdollista saada EU:n tukea. EU-maat voivat Euroopan komission antamien suuntaviivojen mukaisesti tukea energiainfrastruktuurihankkeita tietyin edellytyksin. Tuen on oltava välttämätöntä hankkeen toteuttamiseksi, ja se on rajattava tarpeelliseen vähimmäismäärään. Hanke ei saa aiheuttaa kielteisiä vaikutuksia kilpailuun, ja kaikille osapuolille on annettava esteetön pääsy uuteen kaasuinfrastruktuuriin. Suomessa valtion tukea on myönnetty mm. tuontiterminaalihankkeille sekä Gasumille LNG-liikenne-tankkausasemaverkoston rakentamiseen.

Suomessa raskaan liikenteen käyttämän LNG:n hintatasosta ei ole saatavilla julkista tietoa. LNG:n tukkuhinta maailmanmarkkinoilla on vuosina 2010–2016 ollut 10–20 €/MWh. Globaalin ja Euroopan markkinan hintaennusteiden mukaan lähivuosina tukkuhinta vaihtelee välillä 20–30 eur/MWh. Jakelukustannusten arvioidaan Suomessa olevan 40–50 % tukkuhinnasta. Lisäksi hintaan lisätään voimassaolevat verot.

Suomessa polttoaineen valmistevero koostuu energiasisältöverosta, hiilidioksidiverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Maakaasun valmistevero koskee sekä kaasumaista että nesteytettyä maakaasua (LNG). Veroa peritään 17,424 €/MWh. Edellä esitettyihin LNG:n tukkuhinnan odotusarvioihin, jakelukustannuksiin ja veroihin perustuen LNG:n vähittäismyyntihinta ilman arvonlisäveroa voisi olla luokkaa 55–70 €/MWh. Todettakoon, että dieselveturien käyttämän kevyen polttoöljyn veroton hinta on vuoden 2010 jälkeen ollut 45–70 €/MWh. Polttoöljyn hintaan sisältyvän valmisteveron määrä noin 21 €/MWh.

## 9 Johtopäätökset

Suomessa käytettävät dieselveturit ovat pääosin hyvin vanhoja ja niiden energiatehokkuus on huono. Dieselveturikaluston uusiminen onkin erittäin tehokas keino vähentää veturien energiatehokkuutta ja ilmaston muutoksia aiheuttavia hiilidioksidipäästöjä.

Suomessa uudempaa dieselveturikalustoa edustavat vain Fenniarailin Dr18-veturit. Veturiteita on tilattu yhteensä viisi, joista vuonna 2017 oli liikennekäytössä kolme. Myös VR on ilmoittanut uusivansa vanhaa dieselveturikalustoaan. Dr18-veturin polttoaineenkulutus on veturin mittauksiin perustuvien tietojen noin puolet vanhojen veturien polttoaineenkulutuksesta. Koska energiakustannusten osuus on noin 35 % vanhojen vetureiden liikennöintikustannuksista, voidaan kalustoa uusimalla saavuttaa hiilidioksidipäästöjen vähennyksen ohella myös merkittävät kuljetustaloudelliset säästöt. Diesel- ja sähköveturien kilpailukykyvertailun mukaan sähköveturi on vain 10–15 % edullisempi kuin uusi raskas dieselveturi.

Sähköistyshankkeita koskevien hankearviointien mukaan energiakustannussäästö ja sen avulla saavutettavat päästökustannussäästöt ovat tärkeimmät sähköistyshankkeiden avulla saavutettavat hyötyerät. Dieselveturikaluston uudistumisen mahdollistaman energiatehokkuuden paranemisen vuoksi sähköistyshankkeiden avulla saavutettavat hyödyt jäävät selvästi hankearvioinneissa arvioituja hyötyjä pienemmiksi. Dieselveturikaluston uudistamisella saavutetaan keskimäärin noin 40 % hankearviointien mukaisista sähköistyshankkeiden kokonaishyödyistä ja keskimäärin noin 60 % hankearviointien mukaisesta hiilidioksidipäästöjen vähenemästä. Niissä hankkeissa, joissa sähköistyksellä ei ole vaikutusta veturien vaihtotarpeeseen kuljetusmatkan aikana, dieselveturikaluston uusimisen vaikutukset ovat kaikkein suurimmat. Vastaavasti dieselveturikaluston uusimisen vaikutukset ovat pienempiä hankkeissa, joissa osa hyödyistä aiheutuu veturien vaihtotarpeen poistumisesta.

Energiatehokkaiden dieselveturien hankkimisen ohella rataverkon jatkosähköistyksen tarvetta ja hyötyjä vähentävät osaltaan VR:n päättämät Sr3-sähköveturien hankinnat. Nämä veturit on varustettu dieselapumootoreilla, jotka mahdollistavat lyhyet junien vedot sähköistämättömillä rataosilla. Uusi sähköveturikalusto vähentää siten lyhyiden rataosien sähköistämättömyydestä aiheutuvaa veturien vaihtotarvetta.

Selvityksessä laadittu Dr18-veturin polttoaineen kulutusmalli ja sen kustannusvaikutukset on tarkoitus ottaa huomioon ratainvestointien arviointiohjeen seuraavassa päivityksessä. Kulutusmallia ja sen pohjalta määritettyjä alustavia yksikkökustannuksia voidaan hyödyntää jo ennen päivitystä osana ratahankkeiden vaikutusten ja kannattavuuksien herkkyystarkasteluja. Tämä on erityisen tärkeää varsinkin sähköistyshankkeiden arvioinneissa.

Kaasueturit perustuvat uuteen dieselmoottoritekologiaan. Kaasueturit voivat käyttää polttoaineenaan sekä dieselpolttoainetta että nesteytettyä maakaasua (LNG) tai biokaasua. LNG:n jatkuvasti kehittyvien markkinoiden ja saatavuuden vuoksi se on konkreettisempi vaihtoehto. Kaasueturin etuja ovat erityisesti vähäiset päästöt. Käytettäessä nesteytettyä maakaasua polttoaineena vähenevät hiilidioksidipäästöt noin 25 %, typpipäästöt noin 90 % ja hiukkaspäästöt 100 %. Pohjois-Amerikan ja Venäjän käyttökokeilujen pohjalta kaasueturi voi olla myös taloudellisesti kilpailukykyinen tulevaisuuden käyttövoima myös Suomessa. Se voisi soveltua käyttövoimaksi esimerkiksi Lapin kaivoskuljetuksissa.





ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-524-2  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto

