

Junaliikenteen päästöjen ja kuljetus- kustannusten vähentäminen

ESISELVITYS



Miika Koivisto, Raisa Valli, Kaisa Kaaresoja,
Olli Jokinen, Annika Paaso

Junaliikenteen päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentäminen

Esiselvitys

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2013

Liikennevirasto

Helsinki 2013

Kannen kuva: Markku Nummelin

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-350-8

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Miika Koivisto, Raisa Valli, Kaisa Kaaresoja, Olli Jokinen, Annika Paaso: Junaliikenteen päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentäminen. Liikennevirasto, Infra- ja ympäristö -osasto. Helsinki 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 43/2013. 52 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-350-8.

Avainsanat: junaliikenteen päästöt, kuljetuskustannukset, EcoDrive-toiminnallisuus, ETJ-2, JETI, LIIKE, LOKI, JUSE

Tiivistelmä

Junaliikenteen päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentäminen on Liikenneviraston strateginen tavoite. Junaliikenteen päästöihin ja kuljetuskustannuksiin vaikuttaa moni asia, kuten muun muassa junien kohtaamiset, hidastukset, kiihdytykset ja pysähdykset sekä ratageometria. Liikennevirasto halusi selvittää mahdollisuudet vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia uusien järjestelmien avulla. Näistä järjestelmistä tärkeimmät ovat ennakkotietojärjestelmän kehitysversio JETI (aiemmin ETJ-2), LIIKE-järjestelmä ja kaikkiin vetureihin tulevat päätelaitekonepöydät. Uusien järjestelmien on tarkoitus olla käytössä vuonna 2015. Tekniikan kehittymisen myötä syntyy mahdollisuus optimoida liikennöintiä ympäristöperustein. Tämän raportin tavoitteena on selvittää mahdollisuudet vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia sekä tunnistaa olennaiset tekijät, joilla voidaan vaikuttaa energiankulutukseen ja päästöihin. Lisäksi raportin tavoitteena on tunnistaa junaliikenteen turvallisuutta parantavia asioita.

Olenaisena osana päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentämiseen liittyy EcoDrive-toiminnallisuuden kehittäminen. Eco Drive-toiminnallisuuden avulla voidaan optimoida junan nopeus ja junien kohtaamiset niin, että energiaa ja kuljetuskustannuksia säästyy. EcoDrive-toiminnallisuus on yhteydessä JETI- ja LIIKE-järjestelmiin. Työssä on arvioitu EcoDrive-toiminnallisuuteen ja sen käyttöönottoon liittyviä tunnistettuja riskejä. Lisäksi raportissa kuvataan EcoDrive-toiminnallisuuden toimintaympäristöä ja siihen liittyvää EU-lainsäädäntöä. Näkökulmana on se, miten kansainvälinen rautatiejärjestö (UIC) on arvioinut raideliikenteen päästöjen vähennyspotentiaalia ja sen perusteella esittänyt toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi.

Raportissa kuvataan ulkomailla jo käytössä olevia vastaavia järjestelmiä. Tämän lisäksi keskeisiä lähtötiedonhankkimismenetelminä työssä ovat olleet sidosryhmien haastattelut sekä työpajat (3 kpl). Työpajat toimivat ideointi- ja työfoorumeina Liikenneviraston asiantuntijoiden, sidosryhmien ja konsultin kesken. Työpajoissa käytiin läpi haastatteluissa tulleita asioita, arvioitiin mahdollisuuksia vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia sekä tunnistettiin olennaiset tekijät, joilla voidaan vaikuttaa energiankulutukseen ja päästöihin. Työpajat toimivat foorumeina, joissa tunnistettiin eri toimenpiteiden hyödyt sekä mahdollisuudet integroida ne osaksi liikenteenohjausjärjestelmiä (JETI ja LIIKE). Lisäksi työpajoissa kirjattiin jatkokehitystä varten konkreettiset etenemispolut ja aikataulu eri toimenpiteille.

Yhtenä tärkeänä kuljetuskustannusten ja päästöjen vähentämisen mahdollisuutena tunnistettiin junaliikenteen täsmällisyys, jonka perustana on ratakapasiteetti ja sen jakoprosessi. Lisäksi ratainfra ja sen vaihteleva pituuskaltevuusprofiili vaikuttavat junien kulkunopeuteen ja sen vaihtelevuuteen sekä sitä kautta energiankulutukseen. Liikenteenohjauksen rooli junien sekä täsmällisen että energiatehokkaan kulun ohjaamisessa on myös merkittävä. Lisäksi liikenteen operatiivinen ohjaaminen voisi toimia nykyistä enemmän automaattisesti energiatehokkuuden näkökulmasta ajatel-

tuna. Luonnollisesti myös kaluston ominaisuudet vaikuttavat kuljetuskustannusten ja päästöjen suuruuteen.

Lopuksi raportissa kuvataan EcoDrive-toiminnallisuuden avulla saavutettavat hyödyt. Ne voidaan todeta kohtalaisiksi pitkällä aikavälillä. EcoDrive-toiminnallisuuden hinnaksi on arvioitu 3–5 miljoonaa euroa, mikä kattaa ensimmäisen vaiheen kehitystyön tanskalaisen Green Speed -järjestelmän pohjalta. Järjestelmän avulla on saavutettu selviä hyötyjä Tanskan junaliikenteessä. Täsmällisyyden on raportoitu nousevan 92 prosentista 95 prosenttiin ja energiansäästö on laskettu olevan 12–16 prosenttia, eli noin 4,7 miljoonaa euroa vuodessa.

EcoDrive-toiminnallisuuden jatkotoimenpiteet on jaoteltu eri osa-alueisiin. Osa-alueet ovat EcoDrive-toiminnallisuus, liikenteenohjaus, kuljettajat, aikataulusuunnittelu ja ratakapasiteetin jakaminen, ratainfra sekä muut. Toimenpiteet on jaettu toteutumisaajan suhteen lyhyen aikavälin (1–3 vuotta), keskipitkän aikavälin (3–5 vuotta) ja pitkän aikavälin (yli 5 vuotta) toimenpiteisiin. Lisäksi eri osa-alueiden toimenpiteiden vastuutahot on nimetty.

Miika Koivisto, Raisa Valli, Kaisa Kaaresoja, Olli Jokinen, Annika Paaso: Förminskning av utsläppen och transportkostnaderna för tågtrafiken. Trafikverket, Infrastruktur och miljö. Helsingfors 2013. Trafikverkets undersökningar och utredningar 43/2013. 52 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-350-8.

Nyckelord: utsläpp från tågtrafiken, transportkostnader, EcoDrive-funktionalitet, ETJ-2, JETI, LIIKE, LOKI, JUSE

Sammanfattning

Att minska utsläppen och transportkostnaderna för tågtrafiken är ett av Trafikverkets strategiska mål. Flera faktorer inverkar på tågtrafikens utsläpp och transportkostnader, bland annat tågens möten, inbromsningar, accelerationer och stopp samt bangeometrin. Trafikverket önskade utreda möjligheterna att minska utsläppen från trafiken och transportkostnaderna med hjälp av nya system. De viktigaste av dessa system är versionen av förhandsinformationssystemet JETI som är under utveckling (tidigare ETJ-2), systemet LIIKE och terminalkoncepten för samtliga lok. Avsikten är att de nya systemen ska tas i bruk 2015. I och med att tekniken utvecklas uppstår möjligheten att optimera trafikeringen med tanke på miljön. Syftet med denna rapport är att utreda möjligheterna att minska utsläppen och transportkostnaderna för trafiken samt att identifiera väsentliga faktorer som påverkar energiförbrukning och utsläpp. Rapporten har dessutom som syfte att identifiera faktorer som förbättrar tågtrafikens säkerhet.

En väsentlig del i minskandet av utsläpp och transportkostnader är utvecklingen av funktionaliteten EcoDrive. Med hjälp av EcoDrive är det möjligt att optimera tågets hastighet och tågens möten så att energi- och transportkostnader sparas. Funktionaliteten EcoDrive är sammankopplad med systemen JETI och LIIKE. I arbetet har man bedömt identifierade risker i anslutning till EcoDrive-funktionaliteten och ibruktagandet av denna. Dessutom beskrivs i rapporten EcoDrive-funktionalitetens verksamhetsmiljö och EU-lagstiftning i anslutning till denna. Arbetets utgångspunkt är den internationella järnvägsorganisationens (UIC) bedömning av minskningspotentialen för spårtrafikens utsläpp och dess förslag på åtgärder för att minska utsläppen utgående från bedömningen.

I rapporten beskrivs motsvarande system som redan används utomlands. Utöver detta har centrala metoder för att samla in information varit intervjuer med intressentgrupper samt workshoppar (3 st.). Workshoparna fungerade som idékläcknings- och arbetsforum för Trafikverkets experter, intressentgrupper och en konsult. I workshoparna gick man igenom sådant som framkommit i intervjuerna, bedömde möjligheterna att minska utsläppen och transportkostnaderna för trafiken samt identifierade väsentliga faktorer som påverkar energiförbrukning och utsläpp. Workshoparna fungerade som forum där man identifierade nyttan med olika åtgärder samt möjligheterna att integrera dem som en del av trafikstyrningssystemen (JETI och LIIKE). Dessutom antecknades under workshoparna konkreta planer för fortsatt utveckling och tidtabeller för olika åtgärder.

En viktig möjlighet för att minska transportkostnader och utsläpp som identifierades var punktligheten hos tågtrafiken, vilket bygger på bankapaciteten och fördelningsprocessen för kapaciteten. Dessutom påverkar baninfrastrukturen och dess varierande längdlningsprofil tågens hastighet och variationer i hastigheten samt

därigenom även energiförbrukningen. Även trafikstyrningen har stor betydelse vid punktlig och energieffektiv styrning av tåg. Dessutom kunde den operativa styrningen av trafiken i högre grad fungera automatiskt med tanke på energieffektiviteten. Tågens egenskaper inverkar naturligtvis även på transportkostnadernas och utsläppens storlek.

Avslutningsvis beskrivs i rapporten den nytta som uppnåtts med funktionaliteten EcoDrive. Nyttan kan konstateras vara tämligen hög på lång sikt. Kostnaden för funktionaliteten EcoDrive har uppskattats till 3–5 miljoner euro, vilket omfattar utvecklingsarbetet inom det första skedet utgående från det danska systemet Green Speed. Systemet har tillfört klar nytta inom den danska tågtrafiken. Rapporter visar att punktligheten har ökat från 92 procent till 95 procent och energibesparingen har beräknats till 12–16 procent, eller ca 4,7 miljoner euro om året.

De fortsatta åtgärderna för funktionaliteten EcoDrive har delats in i olika delområden. Dessa delområden är EcoDrive-funktionalitet, trafikstyrning, förare, tidtabellsplanering och fördelning av bankapacitet, baninfrastruktur och övrigt. Åtgärderna har delats in enligt den tid det tar att förverkliga dem, i åtgärder med kort intervall (1–3 år), medellångt intervall (3–5 år) och åtgärder med långt intervall (över 5 år). Dessutom har ansvariga instanser utsetts för de olika delområdena.

Miika Koivisto, Raisa Valli, Olli Jokinen, Kaisa Kaaresoja, Annika Paaso: The reduction of train emissions and the costs of rail transport. Finnish Transport Agency, Infrastructure and the Environment. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 43/2013. 52 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-350-8.

Keywords: train emissions, transport costs, EcoDrive, ETJ-2, JETI, LIIKE, LOKI, JUSE

Summary

The reduction of train emissions and the costs of rail transport is a strategic objective of the Finnish Transport Agency. These emissions and costs are influenced by many factors, including trains passing each other, decelerations, accelerations and stops, as well as track geometry. The Finnish Transport Agency sought to identify the potential for reducing traffic emissions and the costs of transport through the adoption of new systems. The most important of such systems include JETI (previously called ETJ-2), the LIIKE system and terminal-device concepts to be installed in all locomotives. The goal is to implement the new systems by 2015. Technological advancement creates potential for optimizing traffic according to environmental criteria. The objective of this report is to determine the potential for reducing traffic emissions and transport costs, and to identify the key factors through which energy consumption and emissions can be influenced. The report also aims at identifying potential improvements to railway security.

The development of the EcoDrive functionality is a material part of the intended reductions. The functionality optimizes train speeds and encounters to save energy and transport costs. EcoDrive is connected to the JETI and LIIKE systems. Identified risks related to EcoDrive and its implementation are assessed in this report. EcoDrive's operating environment and the related EU legislation are also discussed. We examine the issue through the assessment of the International Union of Railways (UIC) regarding the potential for reducing railway emissions and the emission-reduction measures proposed on the basis of that assessment.

Corresponding systems already implemented abroad are described in the report. Other core methods for gathering base data for this report included stakeholder-group interviews and workshops (3). The workshops functioned as forums for innovation and cooperation for Finnish Transport Agency specialists, stakeholder groups and the consultant. Work undertaken in the workshops involved reviewing the issues raised in the interviews, assessing the potential for reducing traffic emissions and transport costs, and identifying key factors for influencing energy consumption and emissions. The forum approach enabled identification of the benefits of the various measures and their potential for integration with the traffic control systems (JETI and LIIKE). Concrete paths and schedules for the various measures were also drawn up and recorded during the workshops.

The punctuality of train traffic, based on railway capacity and its distribution process, was identified as a significant opportunity for the reduction of transport costs and emissions. The railway infrastructure and its varying gradient profile have an effect on train speeds and their variation, and consequently on energy consumption. Traffic control also has a significant role in the management of energy-efficient and punctual train traffic. Operational traffic control could also be automated to a greater degree to

achieve better energy-efficiency. The characteristics of rolling stock naturally have an impact on transport costs and emissions.

Finally, the report describes the benefits achieved through use of EcoDrive, which in the long term were judged to be moderate. The price of the EcoDrive functionality has been estimated at EUR 3–5 million, which will cover the costs of first-phase development work based on the Danish Green Speed system. Clear benefits have been achieved in Danish railway traffic through use of this system. According to reports, punctuality has increased from 92 to 95 per cent, and energy savings have been calculated as 12–16 per cent, i.e. approximately EUR 4.7 million per year.

Further measures related to EcoDrive have been divided into sub-sectors, namely EcoDrive itself, traffic control, drivers, timetable planning and distribution of railway capacity, railway infrastructure, and other. The measures have been further classified by lead-time into short-term (1–3 years), mid-term (3–5 years) and long-term (more than 5 years) measures. Finally, responsibility for the various sub-sectors was assigned to appropriate parties.

Esipuhe

Junaliikenteen ympäristöystävällisyys on tärkeä osa tulevaisuuden junaliikennettä. Junaliikenteen päästöihin vaikuttavat monet liikennetekniset ja operatiiviset asiat.

Junaliikenteen päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentäminen on ajankohtainen tutkimusaihe, koska nykyinen liikennepolitiikka edellyttää päästöjen vähentämistä. Syynä tähän esiselvitykseen on tarve integroida ympäristöystävällinen EcoDrive-toiminnallisuus rautatieliikenteenjärjestelmiin. Aihetta ei ole aiemmin selvitetty, joten tämä selvitys antaa tietoa junaliikenteen päästöihin ja kuljetuskustannuksiin vaikuttavista tekijöistä sekä suosittelee toiminnallisuuden jatkokehityksen suuntaa.

Tutkimuksen ovat laatineet Sito Oy:stä Miika Koivisto, Raisa Valli, Kaisa Kaaresoja, Olli Jokinen ja Annika Paaso. Työtä ovat ohjanneet Liikennevirastosta väylänpito-toimialalta yksikön päällikkö Arto Hovi sekä liikenne ja tieto -toimialalta yksikön päällikkö Atte Kanerva, yksikön päällikkö Heli Mattila, liikenteenohjauksen järjestelmä-asiantuntija Pertti Tapola ja liikenneasiantuntija Maija Nurkka. Lisäksi työssä on ollut mukana VR-Yhtymä Oy:stä ympäristöpäällikkö Vesa Stenvall. Työn laadunvarmistuksesta ovat vastanneet Sito Oy:stä Liisa Nyrölä ja Veli-Markku Uski.

Helsingissä syyskuussa 2013

Liikennevirasto

Väylänpito-toimiala / Infra ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	12
1.1	Tausta, tavoitteet ja rajaus	12
1.2	Työn toteutus	12
2	ECODRIVE-TOIMINNALLISUUS.....	13
2.1	Määritelmät ja lyhenteet	13
2.2	Nykytilanne Suomessa	14
2.3	EcoDrive-toiminnallisuuden tavoitteet ja mahdollisuudet.....	15
2.4	EcoDrive-toiminnallisuus.....	17
	2.4.1 EcoDrive-toiminnallisuuden liittyminen järjestelmiin	17
	2.4.2 EcoDrive-toiminnallisuus tavoitetilassa	18
3	ECODRIVE-TOIMINNALLISUUDEN KANNALTA HUOMIOON OTETTAVIA ASIOITA	19
3.1	Toimintaympäristön muutostekijöitä	19
3.2	Toiminnallisuuden suunnittelussa huomioitavia asioita	20
	3.2.1 Energiankulutus ja työympäristö	20
	3.2.2 Yhteensovittaminen ja optimointi.....	22
	3.2.3 Tasapuolisuus sekä energiankulutuksen seuranta- ja palautejärjestelmä	23
3.3	Toiminnallisuuden rakentamisessa ja käytössä huomioitavia asioita	24
4	TOIMINTAYMPÄRISTÖ JA EU-LAINSÄÄDÄNTÖ	26
4.1	Rautatieliikenteen ja energiamarkkinoiden kilpailu	26
4.2	Päästö- ja energiatehokkuustavoitteet tiukentuvat	27
4.3	Energiatehokkuus vaatii taakseen energiatehokasta liikennepolitiikkaa.....	27
5	ULKOMAISET TOIMINTAMALLIT	29
5.1	Tanskan malli – Green Speed	29
5.2	Ruotsin malli – CATO	30
5.3	Sveitsin malli – AF	32
5.4	Yhteenvedo järjestelmien soveltuvuudesta	34
6	VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	35
6.1	Päästöihin ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät	35
6.2	Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät.....	39
	6.2.1 Henkilöjunien kustannusmallin rakenne.....	39
	6.2.2 Tavarajunien kustannusmallin rakenne	40
7	PÄÄSTÖJEN JA KULJETUSKUSTANNUSTEN VÄHENTÄMISMAHDOLLISUUDET	42
7.1	Kapasiteetin jakaminen ja aikataulusuunnittelu	42
7.2	Ratainfra ottaminen huomioon.....	43
7.3	Liikennöinti	44
7.4	Operaattorin toimenpiteet.....	45
7.5	Kaluston ominaisuudet.....	45
7.6	Reaaliaikainen energianmittaus	47
7.7	Innovatiiviset ratkaisut.....	47
8	ECODRIVE-TOIMINNALLISUUDEN AVULLA SAAVUTETTAVAT HYÖDYT	48

9	JATKOTOIMENPITEET	49
	LÄHTEET	51
LIITTEET		
Liite 1	EcoDrive-toiminnallisuuden etenemispolut	

1 Johdanto

1.1 Tausta, tavoitteet ja rajaus

Junaliikenteen päästöihin ja kuljetuskustannuksiin vaikuttavat muun muassa junien kohtaamiset, hidastukset ja kiihdytykset. Liikennevirasto halusi selvittää mahdollisuudet vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia uusien järjestelmien avulla. Näistä järjestelmistä tärkeimmät ovat ennakkotietojärjestelmän kehitysversio JETI (aiemmin ETJ-2), LIIKE-järjestelmä ja kaikkiin vetureihin tuleva veturimikrokonsepti. Järjestelmien (JETI, ja veturimikrokonsepti) on tarkoitus olla käytössä vuonna 2015. Tekniikan kehittymisen myötä syntyy mahdollisuus optimoida liikennöintiä ympäristöperustein.

Tämän selvityksen tavoitteena on selvittää mahdollisuudet vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia sekä tunnistaa olennaiset tekijät, joilla voidaan vaikuttaa energian kulutukseen ja päästöihin. Selvitystyö sisältää myös kustannus-hyötyanalyysin ja vaihtoehtoiset etenemispolut liikenteenohjausjärjestelmien (JETI, LIIKE) toiminnallisuuksien kehittämiseksi ympäristönäkökulmasta. Lisäksi selvitykseen on sisällytetty junaliikenteen turvallisuuden parantamiseen liittyviä asioita.

Pidemmän aikavälin tavoitteena on määrittellä EcoDrive-toiminnallisuudelle laskentamalli, jota LIIKE-järjestelmä ja vetureiden veturimikrot käyttäisivät. Tällöin veturinkuljettajat saisivat reaaliaikaista tietoa liikenteestä ympäristöperusteisten ohjeiden ja suositusten kanssa. Tämä määrittely toimisi ohjeena sovellus- ja turvalaitetoimittajille. Laskentamallin laatiminen voi tulla ajankohtaiseksi tämän selvityksen jälkeen.

1.2 Työn toteutus

Selvityksen lähtötietoina käytettiin ulkomailla jo käytössä olevien järjestelmien kuvausta. Tällä hetkellä Ruotsissa on käytössä CATO (Computer Aided Train Operation) järjestelmä, Sveitsissä Systrans AG:n kehittämä AF-systeemi (Automatic function) ja Tanskassa Cubris Oy:n kehittämä järjestelmä Green Speed.

Keskeisiä lähtötiedon hankkimismenetelmiä työssä ovat olleet haastattelut sekä työpajat. Haastattelut toteutettiin ryhmä- ja yksilöhaastatteluina eri sidosryhmätahoille. Työpajoja järjestettiin kaikkiaan kolme kappaletta. Työpajat toimivat ideointi- ja työfoorumina Liikenneviraston asiantuntijoiden, sidosryhmien ja konsultin kesken. Työpajoissa käytiin läpi haastatteluissa esiin tulleita asioita, arvioitiin mahdollisuuksia vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia sekä tunnistettiin olennaiset energiankulutukseen ja päästöihin vaikuttavat tekijät. Työpajat toimivat foorumeina, joissa tunnistettiin eri toiminnot, toimenpiteiden hyödyt sekä mahdollisuudet integroida toiminnot osaksi liikenteenohjausjärjestelmiä (JETI, LIIKE). Lisäksi työpajoissa kirjattiin jatkokehitystä varten konkreettiset etenemispolut ja aikataulu eri toimenpiteille.

2 EcoDrive-toiminnallisuus

2.1 Määritelmät ja lyhenteet

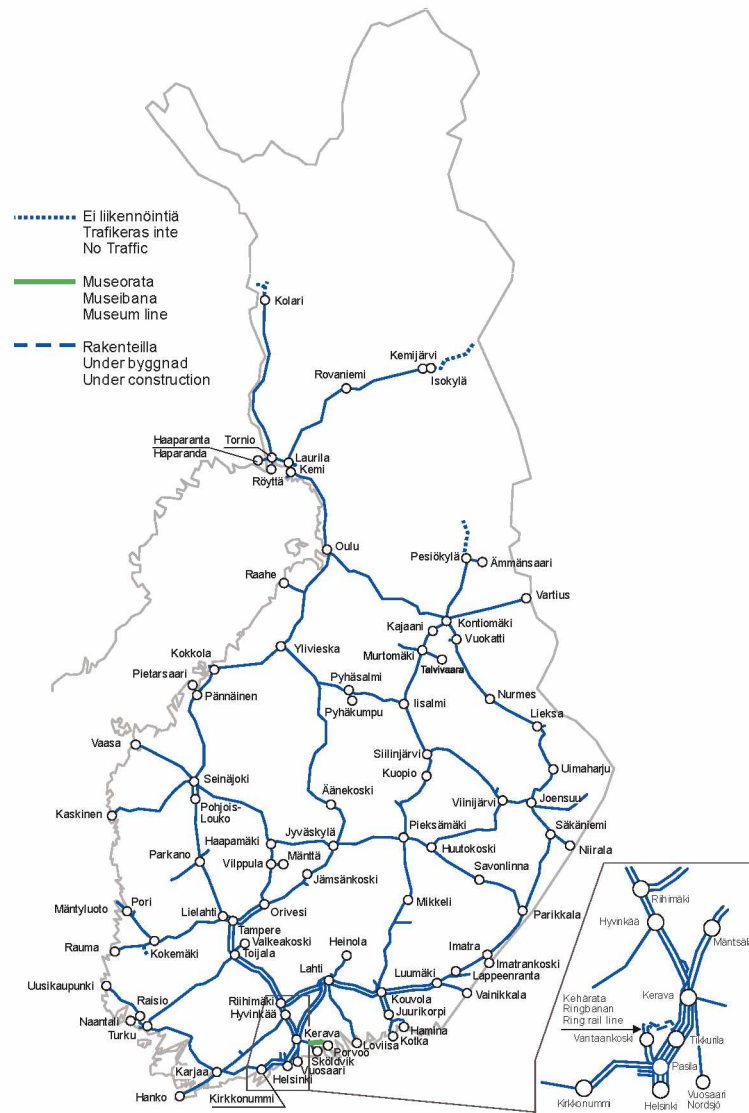
Taulukko 1. Määritelmiä ja lyhenteitä

Dynaaminen malli	<p>Dynaamisella mallilla tarkoitetaan EcoDrive- toiminnallisuuden osalta sellaista mallia, joka on tehty reaaliajassa muuttuvaksi ja joka optimoi liikennettä pääosin dynaamisten tietojen perusteella.</p> <p>Dynaamisessa EcoDrive-toiminnallisuuden mallissa tietotarpeina on staattisen mallin tietojen lisäksi toteutunut aikataulu ja junan mäkeenjäätitodennäköisyys. Lisäksi tässä mallissa voi olla mukana myös simulointimahdollisuus.</p>
Ennakoilmoitusjärjestelmä (ETJ-2)	<p>Liikenneviraston tietojärjestelmä, jolla ylläpidetään ja tuotetaan rautatieliikenteen eri osapuolille junaturvallisuuden kannalta välttämättömiä tietoja. Lisäksi järjestelmällä ylläpidetään tietokantaa, sekä sovitetaan yhteen junaliikenteen ja ratatöiden aiheuttamia liikenne rajoitteita. ETJ-2 järjestelmä on korvattu termillä JETI (Junaliikenteen ennakkotiedot).</p>
ERTMS	<p>European Rail Traffic Management System.</p> <p>Euroopan laajuinen rautatieliikenteen ohjausjärjestelmä, jonka kulunvalvontaan ja junaturvallisuuteen liittyvä osa on ETCS.</p>
ETCS	<p>European Train Control System on eurooppalainen junien automaattisen kulunvalvonnan standardi. Se on suunniteltu korvaamaan 14 keskenään yhteensopimatonta kulunvalvontajärjestelmää.</p>
JETI	<p>Junaliikenteen ennakkotiedot. Ks. Ennakoilmoitusjärjestelmä (ETJ-2).</p>
JUSE	<p>JUSE-järjestelmä on järjestelmä, jossa kirjataan junien myöhästymis- ja kulkutiedot sekä niiden syyt. (Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja 2011, 15.) LIIKE-järjestelmän osa "LOKI" korvaa toiminnot vuonna 2014.</p>
LIIKE	<p>LIIKE-järjestelmä on ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä, joka tarjoaa reaaliaikaiset näkymät koko rataverkon liikennetilanteesta ja jonka kautta haetaan ratakapasiteettia (Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja 2011, 15; Rautateiden verkko selostus vuodelle 2013 2011, 14). LIIKE koostuu monista osasovelluksista, joista liikenteenohjaajalle tärkeimpiä ovat mm. reaaliaikataulugrafiikka, sähköiset aikataulut, lähtölupajärjestelmä, junien raiteiston ja reitinhallinta. LIIKE sisältää kaikkien junien myönnettyt ja suunnitellut aikataulut sekä toteuma tiedot. (Rautatieliikenteenohjauksen käsikirja 2011, 15.)</p>

Liikenteen valkoinen kirja	EU:n valkoinen kirja, joka sisältää yhtenäistä Euroopan liikennealuetta koskeva etenemissuunnitelman. Sen tarkoituksena on ohjata liikennejärjestelmää parempaan kilpailukykyyn ja resurssitehokkuuteen. Yksi valkoisen kirjan tavoitteista on liikenteen kasvun ja liikkuvuuden tukeminen siten, että 60 prosentin päästövähennystavoite saavutetaan.
LIPASTO	LIPASTO on Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Laskentajärjestelmän pääosat ovat neljän liikennemuodon ja työkoneiden päästömallit (päästöjen inventointi) sekä liikennevälineiden ja työkoneiden yksikköpäästökertoimet. Laskentajärjestelmää ylläpidetään ja kehitetään VTT:ssä.
LOKI	Liikenteenohjauksen kirjaukset. Ks. JUSE.
Staattinen malli	Staattisella mallilla tarkoitetaan EcoDrive-toiminnallisuuden osalta sellaista mallia, jota ei ole tehty reaaliajassa muuttuvaksi ja joka optimoi liikennettä muuttumattomien tietojen perusteella. Staattisessa EcoDrive-toiminnallisuuden mallissa tietotarpeina ovat junatyyppi, junapaino, energiankulutus eri kuormituksilla, ratainfra, nopeus ja junan suunniteltu aikataulu ja opastimien paikat.

2.2 Nykytilanne Suomessa

Suomen liikennöitävän rataverkon pituus on 5 919 kilometriä, josta yksiraiteista rataa on 5 349 kilometriä ja sähköistettyä 3 067 kilometriä. Rataverkon kauko-ohjatuista 4 798 kilometristä 1 817 kilometriä on radio-ohjattuja ratoja. Vuorokaudessa rataverkolla liikennöi noin 310 henkilökaukoliikenteen junaa, lähes 900 henkilölähiliikenteen junaa sekä noin 500 tavarajunaa. Kaksi- tai useampiraiteisia rataosia on pääosin Etelä-Suomen alueella, kuten kuvasta 1 nähdään. (Rautatieliikenteen täsmällisyys vuonna 2011 2012, 12.)



Kuva 1. Suomen rataverkko vuonna 2013 (Rautateiden verkkoselostus vuodelle 2013 2011, 26)

Suomessa ei ole tällä hetkellä käytössä automaattista, ympäristökäytävien huomioon ottavaa junien ohjausjärjestelmää. Käytössä on automaattinen junakulunvalvonta turvalaitteineen, minkä lisäksi liikenteenohjaajat ohjaavat liikennettä automaattisten junakulkuteiden avulla. EcoDrive-toiminnallisuus parantaisi tätä tilannetta ohjaamalla veturinkuljettajia ajamaan energiatehokkaammin. Samalla kuljetuskustannukset alenisivat.

2.3 EcoDrive-toiminnallisuuden tavoitteet ja mahdollisuudet

EcoDrive-toiminnallisuuden päätavoitteita ovat liikennöinnin päästöjen ja kuljetuskustannuksien vähentäminen sekä toiminnallisuuden avulla energian säästäminen. Näiden tavoitteiden toteutuessa ympäristöarvot ja -imago paranevat. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa turvallisuutta parantavia toimenpiteitä rautatieympäristössä. Tavoitteena on, että toiminnallisuus hoitaisi liikenteen perustilanteet ja vapauttais

työntekijät (rataliikennekeskus, operaatiokeskus, liikenteenohjaus, kuljettajat) keskittymään päätöksiä vaativiin tehtäviin.

EcoDrive-toiminnallisuuden avaintekijänä on aktiivinen, reaaliaikainen junakohtaustautomatiikka, joka toteutetaan osana LIIKE-järjestelmän toimintoja. Junakohtaustilanteet suunnitellaan ja toteutetaan ottaen huomioon muun muassa junien paino ja ratainfrastruktuurin kulloinkin tiedossa olevat ominaisuudet LIIKE ja JETI tulevat sisältämään tiedot radan profiilista). Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi annettaessa kuljettajalle rullausohjeita tai ohjeita käyttää esimerkiksi sähköjarrua vähentämään junan nopeutta. Näin jarrutettaessa voidaan samalla syöttää jarrutusenergiaa takaisin verkkoon. Kun kuljettaja saa ennakolta tietoa edessä olevista liikennetapahtumista, hänen on mahdollista ennakoida ja suunnitella energiatehokkaampaa ja sujuvampaa ajotapaa. Tämä mahdollistaa myös optimoinnin, että ”edullisempi” juna pysähtyy ja odottaa raskaampaa junaa, joka voi mennä pysähtymättä ohi.



Kuva 2. Junakohtaustilanne

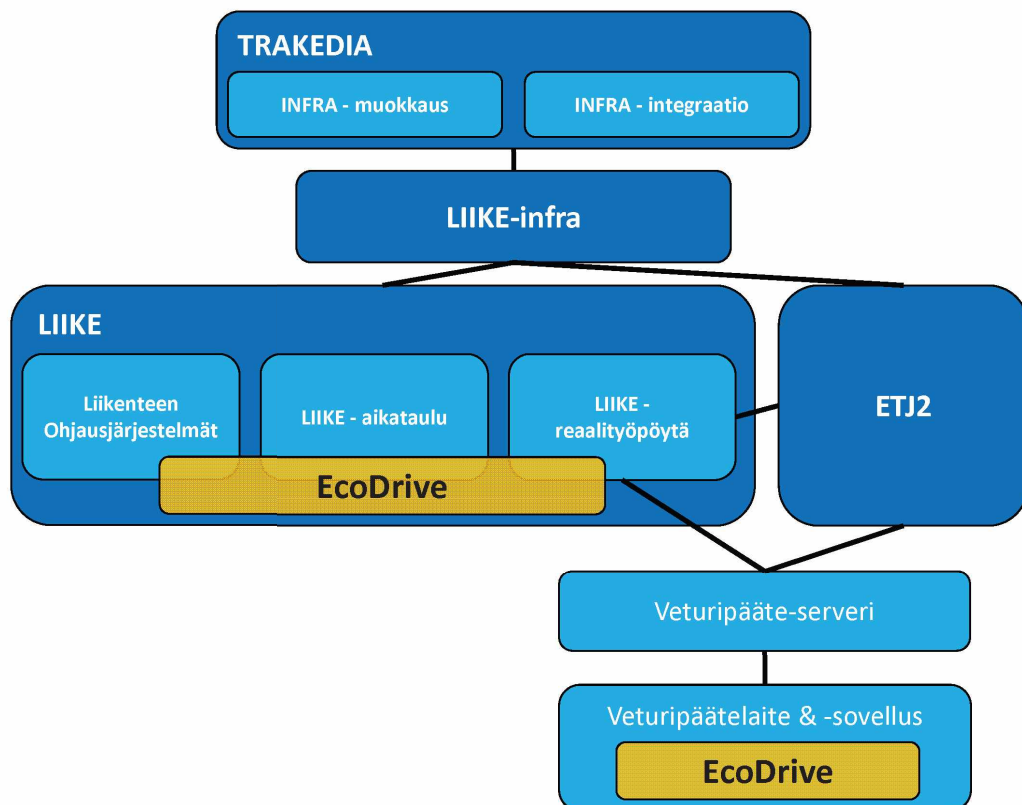
Toinen EcoDrive-toiminnallisuuden mahdollisuus on aktiivinen junan nopeuden suositus kuljettajalle olosuhteiden mukaan. Tällä voidaan osin toteuttaa myös junakohtaustoimintoa ohjaamalla kohtaavan junan nopeutta siten, ettei sen tarvitse turhaan pysähtyä odottaessa kohdattavaa junaa. Suurin hyöty saadaan siitä, että käytetään aktiivisesti muusta liikenteestä saatavaa tietoa (LIIKE- ja turvalaitejärjestelmistä) ja mahdollisista etukäteen tiedossa olevista pysähdyksistä. Junan kuljettaja voi aloittaa junan rullaamisen ilman tehoja, jolloin säästyy energiaa. Tällöin juna kulkee omalla massallaan eteenpäin. Junan rullaus voi olosuhteista riippuen viedä junaa jopa kymmeniä kilometrejä eteenpäin ilman, että ajomooottoreita tarvitsee vetää lainkaan. Toiminnallisuus mahdollistaa useiden miljoonien eurojen vuosittaiset säästöt vetovoiman energiakustannuksissa.

2.4 EcoDrive-toiminnallisuus

EcoDrive-toiminnallisuus yhdistää jo olemassa olevia järjestelmiä ja uusia järjestelmiä. Tässä kappaleessa kuvataan EcoDrive-toiminnallisuuden ja kyseisten järjestelmien suhdetta toisiinsa.

2.4.1 EcoDrive-toiminnallisuuden liittyminen järjestelmiin

EcoDrive-toiminnallisuus käsittää kaksi moduulia. Toinen on tarkoitettu liikenteenohjaajien sovellukseksi ja toinen veturinkuljettajien sovellukseksi. Oheisesta kuvasta 3 nähdään, miten liikenteenohjaajien sovellus tulisi osaksi LIIKE-järjestelmää. Samasta kuvasta nähdään myös se, että veturinkuljettajien käytettäväksi tulevat veturipäätelaitteet sisältävät heille tarkoitetun EcoDrive-toiminnallisuussovelluksen.



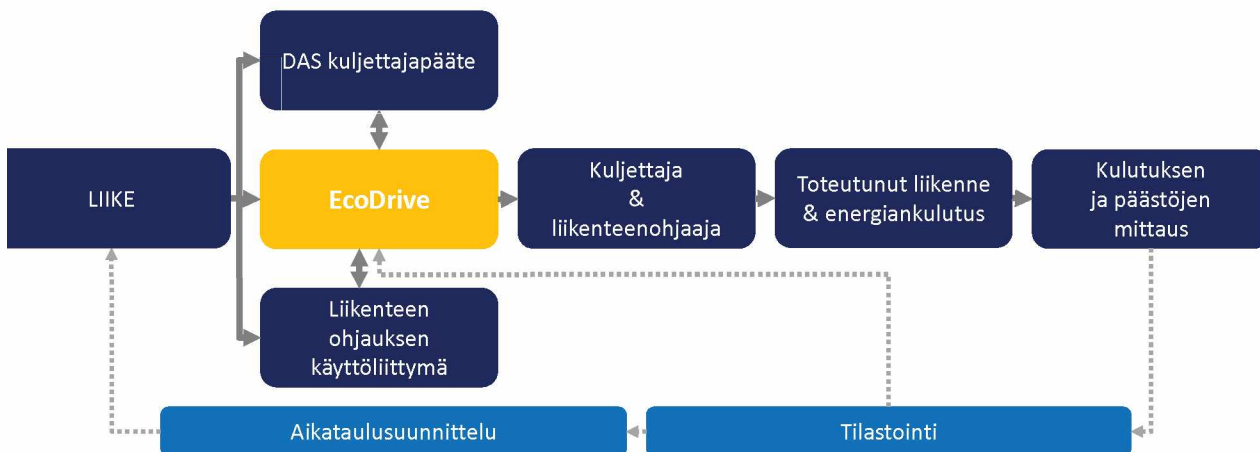
Kuva 3. EcoDrive-toiminnallisuuden liittyminen LIIKE-perheeseen

2.4.2 EcoDrive-toiminnallisuus tavoitetilassa

EcoDrive-toiminnallisuuden keskeisenä ajatuksena on, että kuljettajan tarvitsee aktiivisesti seurata ajaessaan ainoastaan yhtä käyttöliittymää. Käyttöliittymä on suoraan yhteydessä Liikenteen seurantaohjausjärjestelmään (LIIKE), liikenteenohjauksen käyttöliittymään sekä DAS (Driving assistant system) – kuljettajapääteeseen, jolloin EcoDrive-toiminnallisuuden mukainen käyttöliittymä laskee tarvittavat tiedot valmiiksi kuljettajalle. Yhden käyttöliittymän periaatteella parannetaan kuljettajan valmiuksia ajaa energiaa säästävasti ja kuljettajan mahdollisuuksia keskittyä ensisijaisesti ajamiseen.

EcoDrive-toiminnallisuuden mukainen käyttöliittymä antaa kuljettajalle ohjeet energiatehokkaasta ajotavasta. Tieto optimaalisesta ajotavasta on kuitenkin vain ohjeistava. Viime kädessä päätöksen ajamisesta tekee kuljettaja liikenteenohjaajan antamien reunaehtojen perusteella. Junaliikenteen toteutuneen energiankulutuksen ja sitä vastaavat päästöt määrittävät viime kädessä liikenteenohjaajien kyky ohjata liikennettä optimaalisesti sekä kuljettajan kyky ja halukkuus noudattaa EcoDrive-toiminnallisuuden mukaisen käyttöliittymän antamia ohjeita.

Keskeisenä osana EcoDrive-toiminnallisuutta ja junaliikenteen energiankulutuksen vähentämistä on toteutuneen energiankulutuksen mittaaminen ja tiedon tilastointi toiminnan tulevaa kehittämistä varten. Tilastoinnin tietoa voidaan käyttää antamaan tietoa reittikohtaisista keskiarvoista sekä tarkentamaan reittikohtaisia optimaalisia ajo-ohjeita EcoDrive-toiminnallisuuden mukaisen käyttöliittymän kautta. Toteutuneiden matkojen tilastoja voidaan hyödyntää myös aikataulusuunnittelussa parantamaan tulevien matkojen mahdollisuutta vähentää energiankulutusta. EcoDrive-toiminnallisuus on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. EcoDrive-toiminnallisuus tavoitetilassa

3 EcoDrive-toiminnallisuuden kannalta huomioon otettavia asioita

Luvun sisältö on koottu yhteenvedona kolmesta ryhmähaastattelusta, joihin osallistui henkilöitä Liikennevirastosta ja VR-Yhtymä Oy:stä. Haastatteluissa keskityttiin kolmeen eri teemaan, joita olivat: ”EcoDrive-toiminnallisuuden tavoitteet ja käyttötarkoitus”, ”Muuttuva maailma” sekä ”Nykytilanne ja nykyiset toimintamallit”. Teemahaastatteluiden pohjalta asiat on ryhmitelty uudestaan seuraavien teemojen alle:

- toimintaympäristön muutostekijöitä
- toiminnallisuuden suunnittelussa huomioitavia asioita
- toiminnallisuuden rakentamisessa ja käytössä huomioitavia asioita

3.1 Toimintaympäristön muutostekijöitä

EcoDrive-toiminnallisuuden kehittämisessä on tarpeen ottaa huomioon erityisesti toimintaympäristön muutostekijöitä, jotka muuttavat raideliikenteen määrää, toteuttamista ja nykyisiä toimintamalleja.

EU:n liikennepolitiikassa pyritään raideliikenteen kilpailun avaamisella ja teknisellä yhteensovittamisella lisäämään raideliikenteen kulku- ja kuljetusmuoto-osuutta. Myös Suomessa pyritään raideliikenteen osuuden kasvattamiseen. Tällä hetkellä Suomessa tavaraliikenteen osuus on jo Euroopan keskiarvoa korkeampi, mutta matkustajaliikenteen osuus Euroopan keskiarvoa alempi.

Liikenteen valkoisessa kirjassa on esitetty tavoite erityisesti pitkien kuljetusten siirtämisestä maanteiltä ympäristöystävällisempiin kuljetusmuotoihin. EU:lla on myös tarve kehittää ns. vihreitä kuljetusketjuja. Tärkeitä lähtökohtia raideliikenteen edistämiseksi ovatkin päästöjen ja ruuhkautumisen vähentäminen. Tämä edellyttää energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ja niillä saavutettujen tulosten seuranta.

Euroopan laajuisesti kehitetään välineitä energiatehokkuuden seurantaan. Kehitettäessä Suomessa järjestelmiä on tarpeen ottaa nämä välineet huomioon. Esimerkiksi on tarpeen seurata ERMTS -toiminnon kehittämistä, jotta jatkossa voidaan varmistaa laitteistohankintojen ja muun toiminnan standardinmukaisuus.

Eniten raideliikenteen kysyntään vaikuttaa teollisuuden kehittyminen. Puujalostusteollisuus on viime vuosikymmeninä ollut muutoksen kourissa globaalin markkinatilanteen vuoksi. Puukuljetusten vuosittaiset tuontimäärät Venäjältä ovat vaihdelleet. Itä- ja Pohjois-Suomessa on käynnistetty kaivoksia ja arktisen alueen merkitys on kasvamassa. On epäselvää, mihin suuntaan puunjalostus- ja metalliteollisuuden kuljetukset kehittyvät.

Kustannustehokkuuden nimissä on tarpeen tehostaa kuljetusketjuja, mikä saattaa johtaa joidenkin reittien ruuhkautumiseen ja toisten vajaakäyttöön. Taloudellinen kehitys ja teollisuuden rakennusmuutos luovat tulevaisuuteen epävarmuutta. On kuitenkin selvää, että EcoDrive-toiminnallisuus antaa aiempaa paremman mahdollisuuden vihreiden kuljetusketjujen luomiselle.

Liikennepoliittisessa selonteossa on käyttäjälähtöinen matka- ja kuljetusketjujen suunnittelu nostettu keskeiselle sijalle. Ketjujen suunnittelu korostaa kokonaisuuden hallintaa ja tiedon välittämistä toimijoiden kesken. Toimijoita raideliikenteeseen onkin odotettavissa jatkossa enemmän raideliikenteen kilpailun avautuessa. Esimerkiksi henkilöliikenteessä HSL hoitaa seudun joukkoliikenteen kilpailutuksen kokonaisuudessaan vuonna 2018. Nykyisiä suunnittelu- ja toimintajärjestelmiä onkin kehitettävä tasapuolisiksi, avoimiksi ja syrjimättömiksi.

Taulukko 2. Toimintaympäristön muutostekijöihin liittyvät tunnistetut riskit

Toimintaympäristön muutostekijöihin liittyvät tunnistetut riskit
Raideliikenteen kysyntään liittyvät epävarmuudet
Kapasiteettitarpeen vaihtelut
Energiatehokkuustoimenpiteiden todentaminen

3.2 Toiminnallisuuden suunnittelussa huomioitavia asioita

3.2.1 Energiankulutus ja työympäristö

EcoDrive-toiminnallisuuden yhtenä tavoitteena on energiankulutuksen vähentäminen. EcoDrive-toiminnallisuus on vain yksi keino. Sen vuoksi kannattaa arvioida, kuinka paljon EcoDrive-toiminnallisuus tuo säästöä energiankulutukseen. Suurimmat säästöt energiankulutuksessa saatetaan saada muilla keinoin esim. raitainfran kapasiteetin jaolla, kuljetusreittien suunnittelulla, välttämällä tyhjien vaunujen kuljettamista, hallitsemalla konttiliikennettä, jakamalla riittävästi tietoa, vaihteistojen lämmitystavoilla ja hyödyntämällä kaluston ominaisuuksia. Muun muassa junan liike-energiaa voidaan hyödyntää tilapäisenä energiavarastona (energian palauttaminen verkkoon jarrutettaessa).

Raitainfran kapasiteetin jakamisen suunnittelussa voidaan huomioida energiakulutus ja –tehokkuus. Esimerkiksi yksittäisten junien aikataulut voidaan suunnitella energiatehokkaaksi ja kapasiteetin jakamisessa priorisoida näitä junia. Junien kohtaamislanteiden suunnittelussa on hyvä ottaa junan painot huomioon, jolloin kahdesta junasta kevyempi ohjataan pysähtymään ja painavampi juna saa mennä ensin. Näin painavan junan pysäyttämiseen ja uudelleen kiihdytykseen ei mene energiaa. EcoDrive-toiminnallisuus kehitetään tämänkaltaisiin tilannekohtaisen optimoinnin tarpeisiin.

EcoDrive-toiminnallisuuden käytön myötä tavoitteena on lisätä energiatehokasta ajotapaa. Toiminnallisuuteen on sisällyttävä ajotavan ohjausjärjestelmä, jossa olisi energiatehokasta ajamista tukevat työkalut. EcoDrive-toiminnallisuutta suunniteltaessa on mietittävä, mitä informaatiota ja parametreja kuljettajan on saatava energiatehokkaan ajon mahdollistamiseksi. Toiminnallisuuden käyttöönoton yhteydessä on tärkeä kouluttaa kuljettajat energiatehokkaaseen ajotapaan. Näin saadaan järjestelmästä täysi hyöty.

Energiatehokas ajotapa edellyttää energiatehokasta ja täsmällistä liikenteenohjausta. Tavoitteena on, että operatiivisessa ohjauksessa toiminta olisi järjestelmällisesti aktiivista ja vuorovaikutteista. Tällä hetkellä toiminta on liikenneohjaajakohtaista. Tavoitteen toteutuminen edellyttää liikenteenohjaajien osaamisen kehittämistä ja toimintatapojen yhtenäistämistä. Lisäksi tavoitteena on liikennejärjestelmän optimointi reaaliajassa. Tällöin junilla olisi dynaamiset aikataulut, ja tieto aikataulumuutoksista tulisi liikenteenohjaajien kautta kuljettajille.

EcoDrive-päätelaitekonsepti vaikuttaa veturinkuljettajien työympäristöön ja toimintatapoihin. Veturinkuljettajien toimintaympäristöön voi tulla isoja muutoksia 5–10 vuoden aikajänteellä.

Tavoitteena on, että järjestelmä ohjaisi veturinkuljettajien ajotapaa niin, että kuljettaja saisi tiedon reaaliaikaisesta liikennetilanteesta. Lisäksi kuljettajalla olisi mahdollista ennakoita järjestelmän avulla liikennetilannetta ja suunnitella ajotapaa etukäteen. EcoDrive-toiminnallisuuteen liittyvät prioriteetit ovat järjestyksessään turvallisuus, täsmällisyys ja energian kulutuksen vähentäminen.

Sovellukseen kytketään myös liikenteenohjausautomaatiikka, joten päätelaitekonsepti vaikuttaa myös liikenteenohjaajien työympäristöön ja toimintatapoihin. Järjestelmä ei saa tehdä päätöksiä eri toimijoiden puolesta, vaan sen on tarjottava ratkaisuehdotuksia ristiriitatilanteissa. Tavoitteena on, että järjestelmä hoitaa liikenteen perustilanteet ja vapauttaisi työntekijät (ainakin liikenteen ohjaus, kuljettajat) keskittymään akuutteja päätöksiä vaativiin tehtäviin. Mahdolliset EcoDrive-toiminnallisuuden vaikutukset myös esimerkiksi Liikenneviraston Rataliikennekeskukseen ja VR-Yhtymä Oy:n operaatiokeskukseen täytyy ottaa huomioon.

EcoDrive-toiminnallisuutta suunniteltaessa järjestelmän helppo käytettävyys on otettava huomioon. Uuden tiedon on tultava liikenteenohjaajille ymmärrettävässä ja yksiselitteisessä muodossa. Liikenteenohjauksen kuormittavuus ei saa kasvaa uuden toiminnallisuuden myötä. Tavoitteena on, että automaatiikkaa tullaan hyödyntämään mahdollisimman paljon.

Taulukko 3. *Energiankulutukseen ja työympäristöön liittyvät tunnistetut riskit*

Energiankulutukseen ja työympäristöön liittyvät tunnistetut riskit
EcoDrive-toiminnallisuus ei vähennä energiankulutusta tai energiaa kuluu junaliikenteessä enemmän kuin aikaisemmin.
Yksittäisen junan liikkeiden simulointi ei vastaa todellisuutta, joten junia ei ole mahdollista kuljettaa järjestelmän suunnittelemalla tavalla.
Simulointi rataverkon tasolla ei vastaa todellisuutta, joten junakohtauksia ei pystytä sovittamaan järjestelmän suunnittelemalla tavalla.
Eri osapuolten vuorovaikutus ei toimi käytännössä riittävän saumattomasti, joten simuloitu tilanne ei toteudu käytännössä.
Teorian ja reaalityodellisuuden väliset suuret erot, jotka estävät optimointia toteutumasta käytännössä.
Työntekijöitä (kuljettajia ja liikenteenohjaajia) ei kyetä motivoimaan riittävästi, järjestelmä koetaan raskaaksi, käyttäjät kokevat asiantuntemuksensa olevan uhattuna eivätkä ota järjestelmää käyttöön.

3.2.2 Yhteensovittaminen ja optimointi

EcoDrive-toiminnallisuuden edellytys on järjestelmän yhteensovittaminen muiden liikenteen tavoitteiden kanssa. Junaliikenteen simulointimoduuli on oltava yhteensopiva eri käyttötarkoituksiin. EcoDrive-toiminnallisuuden on oltava integroitavissa energiansäästöön liittyviin järjestelmiin ja toimintaan, häiriönhallinnan ja päätöksenteon tukijärjestelmiin, informaatioon liittyviin järjestelmiin sekä aikataulusuunnitteluun. Lisäksi laskennassa on voitava hyödyntää erilaisia kulkutietoja, kuten esimerkiksi turvalaitteista saatavaa tietoa, rataverkon kaluston valvontatietoja ja GPS-paikkatietoja.

Ennakoilmoitusjärjestelmä (ETJ) on Liikenneviraston tietojärjestelmä, jonka avulla ylläpidetään ja tuotetaan rautatieliikenteen eri osapuolten junaturvallisuuden kannalta välttämättömiä tietoja. Lisäksi järjestelmällä sovitetaan yhteen junaliikenteen ja ratatöiden aiheuttamia liikennerajoitteita. Järjestelmän kehitysversion JETI on tarkoitus olla käytössä vuoden 2014 alusta. Vuonna 2015 käyttöön tulee myös JETI-järjestelmän veturipäätelaite. Uuden järjestelmäsovelluksen avulla on mahdollista vähentää liikennöinnin päästöjä ja kuljetuskustannuksia optimoimalla liikennöintiä ympäristöperustein. Taloudellisen ajotavan ohjausjärjestelmä saatetaan kytkeä samaan järjestelmään kuin JETI.

JETI-järjestelmän avulla junien aikataulusta saadaan reaaliaikaista tietoa. EcoDrive-toiminnallisuuden, JETI- ja LIIKE-järjestelmien yhteensopivuus on otettava huomioon uusien toiminnallisuuksien ja järjestelmien kehitysmoduuleja suunniteltaessa. Jos nämä eivät ole yhteensopivia, niin reaaliaikaisen tiedonkulku katkeaa.

Energian ja kustannusten säästö ovat osa optimoinnin kokonaisuutta. Lisäksi on otettava huomioon myös muut optimoitavat tekijät. Näitä ovat esimerkiksi täsmällisyys, turvallisuus, mahdolliset ristiriidat tavoitteiden kesken ja myös riskit sekä erilaisten toimien seuraukset. Tärkeää on myös niveltää EcoDrive-toiminnallisuus muihin työkaluihin, jotka käyttävät optimointiperiaatetta hyväkseen. Esimerkiksi ratakapasiteetin jakoperiaatteita voitaisiin kehittää huomioimaan energiasäästöperiaatteet.

Liikenteen optimoinnissa on tärkeää ottaa huomioon liikennöitsijöiden näkemykset muun muassa junien priorisoinnin suhteen. Näin saadaan yhteinen näkemys priorisoinnin tärkeydestä eri junilla.

Kaluston käyttöä on pyrittävä optimoimaan rataosittain junapainojen mukaan. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi voitaisiin hyödyntää saatavilla olevia rataverkon akselipainotietoja ja kaluston valvontatietoja.

Järjestelmän olisi hyvä optimoida kokonaisuutta ja koko verkon käyttöä toimivuuden ja energiasäästön näkökulmasta. Esimerkiksi kevyt matkustajajuna väistää raskasta tavarajunaa tai yksittäisen junan kannattaa joskus ajaa täyttä vauhtia, jotta muut junat säästäisivät energiaa. Lisäksi aikataulu ja täsmällisyys ovat tärkeitä tavoitteita, mutta nekin voivat joustaa toleranssien puitteissa, mikäli energiasäästöt ovat merkittäviä.

Taulukko 4. Yhteensovittamiseen ja optimointiin liittyvät tunnistetut riskit

Yhteensovittamiseen ja optimointiin liittyvät tunnistetut riskit
Yhteistoiminta eri toimijoiden (infran haltija ja rautatieoperaattori) kesken ei toteudu riittävän sujuvasti.
EcoDrive-toiminnallisuus ei integroidu osaksi kokonaisuutta.

3.2.3 Tasapuolisuus sekä energiankulutuksen seuranta- ja palautejärjestelmä

Tasapuolisuus eri operaattoreiden kesken on tärkeä lähtökohta kun uudenlaista järjestelmää kehitetään monitoimijaisessa ympäristössä. Järjestelmän tasapuolisuutta ja toimivuutta lisää se, että kyseessä on keskitetty Liikenneviraston tarjoama järjestelmä, jolloin erillisiä järjestelmiä ei synny. Järjestelmän kustannusten, hyötyjen ja vastuiden jakamisesta on keskusteltava hyvissä ajoin hankkeen osapuolten välillä.

Järjestelmän kehityksen ja käytön kustannukset on jaettava eri osapuolten kesken, koska hyödytkin jakaantuvat eri toimijoille. Kukin taho on kuitenkin vastuussa omien vastuukokonaisuuksiensa kustannuksista, kuten esimerkiksi operaattorit veturipäänteen osalta.

Energiasäästöä tukevien palaute- ja kannustusjärjestelmien rakentamisessa luotettava energiamittaustieto on ensiarvoisen tärkeää. Rataverkon energiankulutuksen seurantaan siirrytään näillä näkymin vuonna 2020. Kyseessä on Energy Billing -tyyppinen energian mittaukseen perustuva laskutus. Uusi sähköveturi- ja sähkömoottorijunakalusto varustetaan jo nyt energiankulutusmittareilla.

Junaliikenteen ympäristöystävällisyys ja toimien vaikuttavuus kaipaavat tuekseen laskureita. Laskentaperiaatteiden on oltava läpinäkyviä ja hyväksyttäviä, lisäksi laskennan on perustuttava luotettaviin lähtötietoihin.

Taitava ja motivoitunut veturinkuljettaja pystyy radan pystygeometriaa hyödyntämällä sekä nopeutta ja nopeusmuutoksia optimoimalla säästämään merkittävästi energiaa. Kuljettajilla on suuri rooli yksittäisen kuljetuksen energiankulutuksen vähentämisessä. Tavoitteena on laatia palautejärjestelmä, jonka avulla kuljettaja saisi tiedon kuljetuksen energiankulutuksesta. Tavoitteena on kehittää kannustusjärjestelmä, jolloin kuljettaja palkittaisiin hyvästä ajotavasta.

Taulukko 5. Tasapuolisuuden sekä energiankulutuksen seuranta- ja palautejärjestelmään liittyvät tunnistetut riskit

Tasapuolisuuden sekä energiankulutuksen seuranta- ja palautejärjestelmään liittyvät tunnistetut riskit
Järjestelmän seuranta- ja palautejärjestelmä ei ole luotettava.
Päästövähennystoimet kohdistetaan epäolennaiseen.
Ei saada toivottuja imagoetuja.

3.3 Toiminnallisuuden rakentamisessa ja käytössä huomioitavia asioita

Toiminnallisuuden ensimmäisen version on oltava riittävän yksinkertainen ja toimia luotettavasti. Tavoitteena on kehittää toiminnallisuutta vaiheittain eteenpäin.

Ennen EcoDrive-toiminnallisuuden käyttöönottoa on varmistettava toiminnallisuuden käyttövarmuus. Toiminnallisuus ei saa vaikuttaa junaturvallisuuteen. Lisäksi normaalin kulunvalvonnan on toimittava. EcoDrive-toiminnallisuuden kaikki tieto tallentuu sähköisesti, jolloin toiminnallisuuden käyttövarmuus korostuu. Lisäksi tiedon välittämisessä käytettävien langattomien verkkojen toimintavarmuus on myös varmistettava niin pitkälle kuin mahdollista. Verkkojen on pystyttävä päivittymään tarpeeksi usein, jotta toiminnallisuus toimisi luotettavasti. Liikennevirasto selvittää langattomien verkkojen toimivuutta rautatieolosuhteissa (ml. tunneliolosuhteet). Pyrkimyksenä on, että järjestelmät kestävät tietoliikennekatkoksia ilman merkittävää häiriintymistä. Jos EcoDrive-toiminnallisuus halutaan tulevaisuudessa ulottaa Liikenneviraston Rataliikennekeskukseen tai rautatieoperaattorin toiminnanohjausjärjestelmiin (esimerkiksi VR-Yhtymä Oy:n osalta Operaatiokeskuksen järjestelmiin), täytyy näiden kytkösten toimia myös luotettavasti.

Taulukko 6. Toimintavarmuuteen liittyvät tunnistetut riskit

Toimintavarmuuteen liittyvät tunnistetut riskit
Toimintavarmuus heikkoa.
Lähtötietoja ei saada riittävästi.

Ratainfraan kehittämisellä voidaan vaikuttaa junaliikenteen päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentämiseen sekä energiankulutuksen pienenemiseen. Suomessa ei juuri ole kaksiraiteisia rataosuuksia, joten rataverkolla tulisi olla tulevaisuudessa riittävästi ohitus- ja kohtaamispaikkoja junakohtaamisia varten.

Painavien junien mäkeenjänti on tunnistettu ongelmaksi talvella ja ns. lehtikeleillä (keliä, jolloin puista tippuu lehtiä märälle kiskon pinnalle). Ratainfraan kunnossapitotöillä voidaan vähentää näitä ongelmia. Lähinnä syksyisin esiintyvää lehtikeliä voidaan helpottaa hiomalla märkä lehtiaines pois kiskon pinnasta. Talvella rata voidaan aurata tarpeeksi aikaisessa vaiheessa, jotteivät junat joudu puhdistamaan itse rataa lumesta.

Taulukko 7. Ratainfraan liittyvät tunnistetut riskit

Ratainfraan liittyvät tunnistetut riskit
Ohitus- ja kohtaamispaikkojen riittämättömyys
Junien mäkeenjäntien lisääntyminen

Kuljettajan on voitava hakea veturipääteeltä tiedot esimerkiksi junan painosta, tavoitenopeudesta, rataprofiilista, tavoitevetovoimasta ja tehontarpeesta. Lisäksi veturipääteeltä olisi hyvä saada aikataulun poikkeamatiedot, eli onko juna myöhässä vai etuajassa. Myös tuleva tavoiteajankohta (esimerkiksi kohtaustilanne tulossa yksiraiteisella radalla) olisi hyödyllistä tietoa. Kuljettajan olisi hyvä saada palautetta ajotansa energiatehokkuudesta ja sen suhtautumisesta keskiarvoon. Ajomoodissa olisi näytettävä JETI-tieto ja ajotavan ohjausjärjestelmä. Tätä varten olisi veturipäätelaitteissa hyvä olla kaksi käyttöliittymää.

Liikenteenohjauksessa olisi hyvä olla mahdollisuus tarkastella eri liikennetilanteita. Tämä tarkoittaa sitä, että eri liikennetilanteita simuloidaan joko reaaliaikaisesta tilanteesta eteenpäin tai jo toteutuneita tilanteita. Tällöin simuloinnin pohjana ovat aiemmat liikenteen toteumatiedot. Tavarajunia varten järjestelmässä olisi hyvä olla mahdollisuus laskea, kuinka paljon aikaa tietyn tyyppiseltä ja painoiselta junalta kuluu suunniteltuun matkaan.

Taulukko 8. Tekniikkaan liittyvät tunnistetut riskit

Tekniikkaan liittyvät tunnistetut riskit
Tehdään liian monimutkainen ja järeä järjestelmä.
Hyödyt jäävät oletettua pienemmäksi.

4 Toimintaympäristö ja EU-lainsäädäntö

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen ovat olleet jo pitkään yhteiskuntapolitiikan keskeisiä tavoitteita. Tavoitteiden oletetaan tiukentuvan lähivuosikymmeninä ja koskevan yhteiskunnan kaikkia sektoreita enenevässä määrin. Vuonna 2012 julkaistun Liikennepoliittisen selonteon yhtenä keskeisenä tavoitteena on turvallisen ja sujuvan liikkumisen ohella liikenteen päästöjen vähentäminen ja kestävän kehityksen edistäminen myös liikennepoliitikassa.

4.1 Rautatieliikenteen ja energiamarkkinoiden kilpailu

Euroopan unioni ja sen liikennepoliittikka vaikuttavat kansalliseen politiikkaan ja lainsäädäntöön. Keskeisiä liikennepoliittisia tavoitteita ovat olleet jo pitkään rautatieliikenteen avaaminen kilpailulle ja rautatiejärjestelmän yhteentoimivuus (2008/57/EY). Nämä molemmat vaikuttavat liikenteen energiatehokkuustoimien kehittämiseen.

Yhteentoimivuusdirektiivissä ei ole yksilöity teknisiä määräyksiä koskien energian hankintaa tai mittausta. Direktiivi edellyttää kuitenkin, että kaikkia rautatieyrityksiä tulee kohdella syrjimättömästi. Lisäksi yhteentoimivuusdirektiivin teknisissä eritelmissä (YTE) edellytetään, että uuteen vetokalustoon asetettavan energiakulutusmittarin on täytettävä YTE:ssä annetut vaatimukset. Lisäksi verkon haltijan on 5 vuoden kuluessa järjestettävä energian mittaus niin, että kulutus voidaan laskuttaa perustuen mittarin tietoihin.

Euroopan rautatievirastolle (ERA) on annettu mandaatti kehittää mittaus- ja laskutussäätelyä. Mittaus- ja laskutussäätelyyn vaikuttavat myös sähkön sisämarkkinoita koskevat yhteiset säännöt (2009/72/EY), joiden yksityiskohtaista vaikutusta ratasähköverkon laskutuskäytäntöihin paraikaa selvitetään.

Energiamarkkinoiden kilpailu ja rautatieliikenteen kilpailun vapautuminen aiheuttavat Suomessa seuraavia muutostarpeita:

- Rataverkon haltija on vastuussa sähkönjakelusta rautatieyritysten liikkuvaan kalustoon.
- Toistaiseksi koko sähköratajärjestelmää on käsitelty energiamarkkinoilla yhtenä kuluttajana, jolla on 82 liittymää 110 kV sähköverkkoon. Suurin piirtein puolet on liitetty Fingridin kantaverkkoon ja puolet paikallisiin jakeluverkkoihin.
- Uusien rautatieyritysten myötä tilanne muuttuu: Pitää selvittää, kuinka paljon kukin rautatieyritys käyttää sähköä liikennöinnissään. **Kohtuullinen tarkkuus kulutusjakoon saadaan vain mittaamalla jokaisen sähköveturin ja sähkömoottorijunan kulutus.**
- Rataverkonhaltija selvittää mittausten perusteella sähkömarkkinoille ratasähköverkon sähkötaseen. Rataverkon haltijalla on oltava sähköntoimittaja, joka on vastuussa siitä, että verkossa on aina riittävästi sähköä saatavilla.

- Jokaisen yrityksen valitsema energiantoimittaja laskuttaa sähköenergiasta rataverkon haltijan antamien kulutustietojen mukaisesti. Rataverkon haltija laskuttaa sähkön siirrosta kustannusvastaavasti kulutusten suhteessa.

4.2 Päästö- ja energiatehokkuustavoitteet tiukentuvat

Euroopan komissio julkaisi maaliskuussa 2011 liikennepolitiikan tulevaisuutta koskevan valkoisen kirjan. Se linjaa komission pitkän aikavälin vision vuoteen 2050 saakka ja tärkeimmät toimet sen saavuttamiseksi. Yhtenä sen tavoitteista on liikenteen päästöjen vähentäminen 60 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on siirtää liikkumista ja kuljetuksia ympäristöystävällisiin liikennemuotoihin. Yhtenä päästöjen vähennyskeinona pyritään vähintään 30 prosenttia yli 300 kilometrin pituisista maantiekuljetuksista siirtämään rautatie- ja vesiliikenteeseen. Tavoite on, että tämä toimenpide toteutetaan vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteena on myös siirtää jopa yli 50 prosenttia maantiekuljetuksista rautatie- ja vesiliikenteeseen vuoteen 2050 mennessä. Näitä tavoitteita pidetään tärkeinä, vaikka tekniset keinot nähdäänkin tehokkaimpina päästöjen vähentämisessä.

Ennen EU:n valkoista kirjaa liikenteen ilmastotavoitteita on kirjoitettu liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittisessa ohjelmassa (ILPO) vuonna 2009 - 2020. Siinä yhtenä keskeisenä kaikkia liikennemuotoja koskevana keinona on esitetty liikenteen energiatehokkuuden parantaminen. Myös Kansainvälinen rautatiejärjestö (UIC) on nähnyt energiatehokkuuden keskeisenä tavoitteenaan. UIC:n tavoite on, että vuoteen 2030 mennessä junaliikenteen keskimääräisiä päästöjä vähennetään Euroopan tasolla 50 % ja energiatehokkuutta parannetaan 30 % vuoteen 1990 verrattuna (päästö tai kulutus/tkm tai hkm). Tarkoitus on kehittää Euroopan rautateitä kohden hiilivapaata liikennettä vuoteen 2050 mennessä ja puolittaa energian kulutus vuoteen 1990 verrattuna.

4.3 Energiatehokkuus vaatii taakseen energiatehokasta liikennepolitiikkaa

Junaliikenteen päästöjen vähentäminen ja energiatehokkuuden parantaminen ovat moniulotteisia haasteita. Vaikka kohteena on ensisijaisesti junaliikenteen energiankulutuksen ja energiatehokkuuden parantaminen, olisi tarkasteltava samaan aikaan koko Suomen liikennejärjestelmätasolla tapahtuvia muutoksia. Onnistunut junaliikenteen kehittäminen parantaa junaliikenteen houkuttelevuutta suhteessa muihin liikkumismuotoihin ja muuttaa kulkumuotojakaamaa, joka voi nostaa junaliikenteen todellisia päästöjä liikennemäärien kasvaessa.

Todellisten päästöjen vähentämisen rinnalla tulisi myös tarkastella junaliikenteen energiatehokkuuden paranemista eli kuinka paljon tavaraa ja ihmisiä tarvittavalla energiamäärällä on liikutettu. Energiatehokkuuden parantaminen ja koko liikennejärjestelmän päästöjen vähentäminen vaativat viime kädessä junaliikenteen houkuttelevuuden parantamista. Junien kapasiteetti olisi saatava mahdollisimman hyvin hyödynnettyä, esim. ”myymällä junat aina täyteen”. Tätä kautta myös perinteiset liiken-

teen houkuttelevuuden parametrit, kuten matkustusaika ja lipun hinta, nousevat merkittäväksi osaksi kokonaisenergiatehokkuuden parantamista.

Junaliikenteen kaluston ja sen käytön energiatehokkuuden parantamisen tueksi tarvitaan myös energiatehokkuutta ja päästöjä huomioivaa liikennepolitiikkaa. Nostamalla energiatehokkuuden parantaminen ja päästöjen vähentäminen nykyisen liikennepolitiikan päätöksentekokriteerien rinnalle voidaan junaliikennettä kehittää kokonaisuutena eteenpäin energiatehokkuutta huomioivaan suuntaan. Tämä vaatii yhteistyötä ja uusien työkalujen luomista eri portinvartijaryhmien kanssa, jotta kuljettajat, liikenteenohjaajat, aikataulusuunnittelijat, ratainfrastruktura vastaavat tahot sekä raideliikenteen brändin vartijat pystyvät huomioimaan energiatehokkuuden ja päästöjen vähentämisen päivittäisessä toiminnassaan.

5 Ulkomaiset toimintamallit

Tässä luvussa kuvataan erilaisia EcoDrive-toiminnallisuussovelluksia eri maista. Sovellukset ovat kehitetty kyseisen maan liikenteeseen ja ratainfraan. Esimerkkinä ovat Tanska, Ruotsi ja Sveitsi.

5.1 Tanskan malli – Green Speed

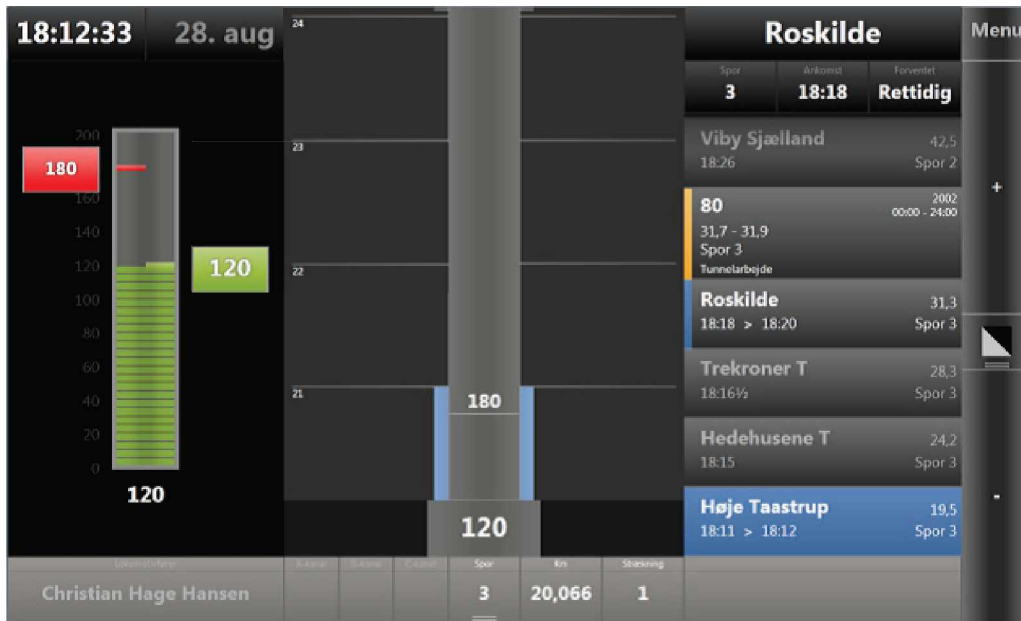
Green Speed on Cubris Oy:n kehittelemä Tanskan raideliikenteessä käytössä oleva junien ohjauksen järjestelmä, jolla voidaan avustaa junan kuljettajia ajamaan aiempaa energiatehokkaammin. Green Speedin ensisijaisena tavoitteena on parantaa junaliikenteen täsmällisyyttä ja toissijaisena tavoitteena pienentää raideliikenteen operoinnin energiankulutusta ja päästöjä. Green Speed -järjestelmä päivittää jatkuvasti ehdotusta optimaalisesta nopeudesta, jolla juna saapuu määränpään ajoissa mahdollisimman pienellä energiankulutuksella.

Järjestelmän päätavoitteiden lisäksi sen hyötyinä voidaan pitää pienempää junakaluston ja raiteiden kulumista, matkustajien ja henkilökunnan tyytyväisyyttä sekä reaaliaikaisen datan ja aikataulujen automatisoinnin kautta parantunutta turvallisuutta, kun kuljettajat voivat keskittyä entistä enemmän ajamiseen manuaalisen aikataulujen laskemisen sijasta.

Green Speed -järjestelmä rakentuu erilaisista osista ja vähimmillään Green Speed voi tarkoittaa pelkkää tietokonetta, joka analysoi ja optimoi junan nopeutta sijaintitiedon avulla. Täydellisimmillään junan veturissa on kosketusnäyttöinen ohjauspaneeli, ajo-tietoja päivittävä tietokone sekä GPS-antenni ja nopeusanturi, jotka antavat sijainti- ja nopeustietoja. Lisäksi jokainen juna on yhdistetty systeemin keskuskoneeseen, jolloin junat voivat myös reagoida toistensa liikkeisiin ja optimoida täsmällisyyttä ja energiankulutusta koko junaliikenteen operoinnin tasolla.

Green Speed -järjestelmä tarvitsee seuraavia tietoja, joiden avulla se pystyy optimoimaan junaliikennettä:

- junan pituus ja paino
- junan kiihdytys ja jarrutuskyky
- maksiminopeus
- sijainti
- radan käyttö
- nopeusrajoitukset
- radan topografia
- asemat
- rataverkosto
- arvioidut saapumis- ja lähtöajat



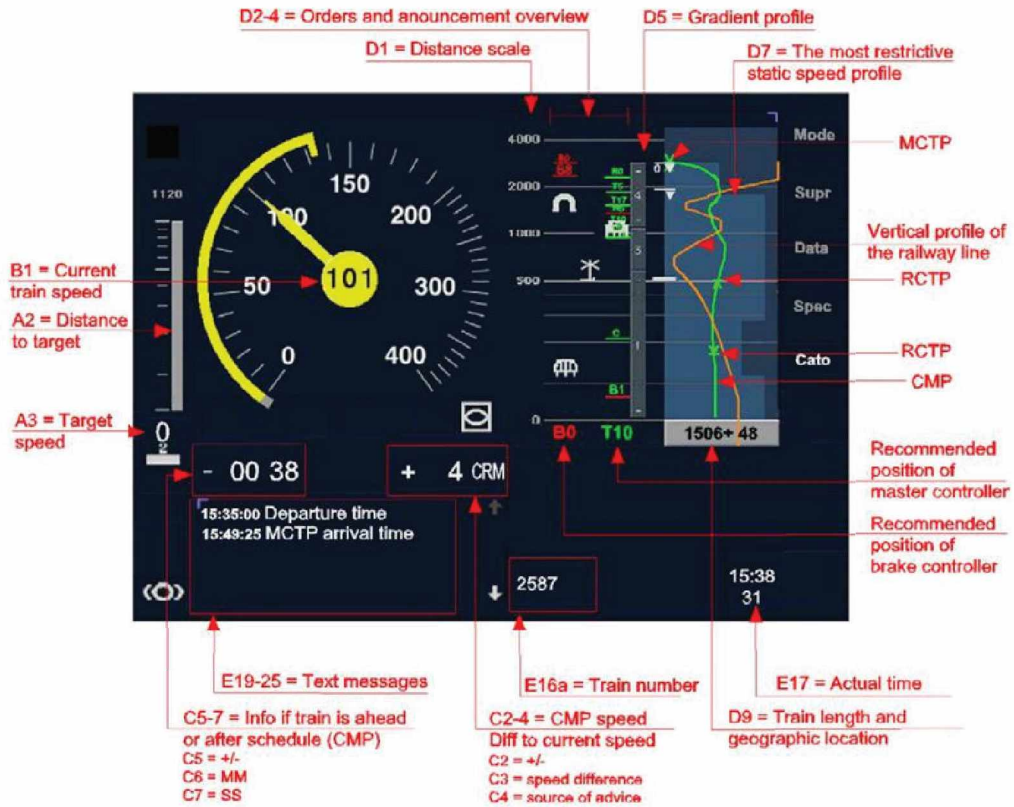
Kuva 5. Green Speed järjestelmän käyttöliittymä (Cubris 2013)

5.2 Ruotsin malli – CATO

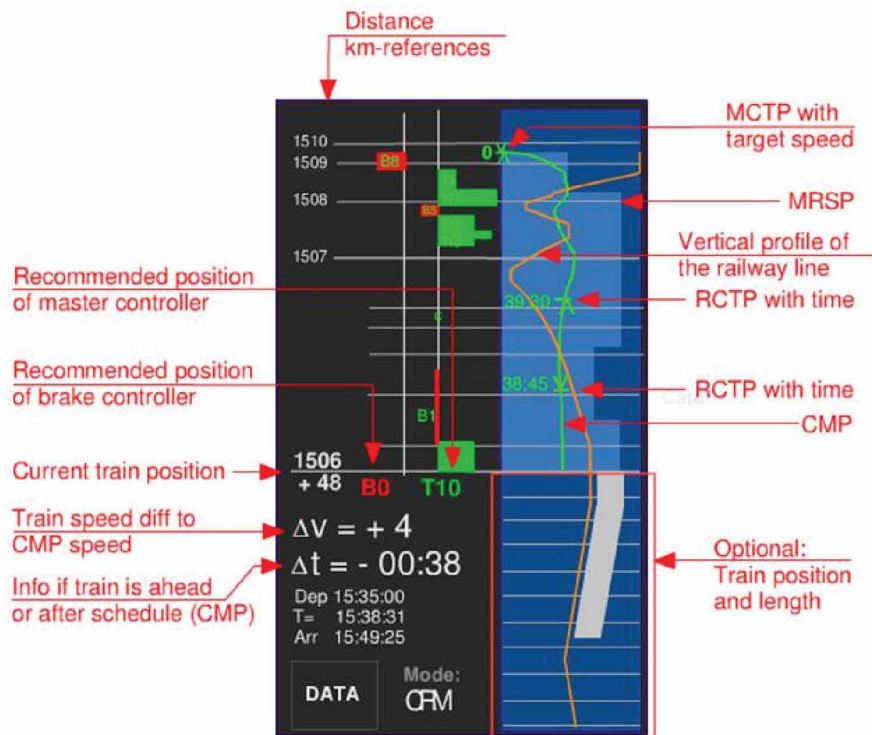
Ruotsissa käytössä oleva CATO (Computer Aided Train Operation) on Transrail Sweden AB:n kehittämä järjestelmä junien operoinnin ja kuljettajien ohjaamisen parantamiseksi. Järjestelmän tavoitteena on energiankulutuksen vähentäminen, infrastruktuurin käytön parantaminen sekä kaluston ja raiteiden kulutuksen vähentäminen. Toissijaisena etuna nähdään, että järjestelmän avulla voidaan tehostaa henkilökunnan ja kaluston käyttöastetta sekä parantaa kuljettajien työympäristöä. (Transrail 2005.)

CATO-järjestelmä rakentuu kolmen keskeisen tiedon, suunnitellun aikataulun, junien sijainnin rataverkolla ja junien suorituskyvyn ympärille. Näiden kolmen tekijän avulla voidaan optimoida toteutuvia aikatauluja kulloisenkin tilanteen mukaan ja säätää reaaliaikaisesti junien nopeutta. Tämä helpottaa esimerkiksi yksiraiteisten rataosuuksien käyttöä, kun junien ohitusaikatauluja voidaan optimoida reaaliaikaisesti ja ennakoivasti. Lisäksi tuottamalla ajantasaista aikataulutietoa junien kuljettajien käyttöön, järjestelmällä voidaan vähentää junien energiankulutusta optimoimalla junien nopeus sekä välttämällä turhia kiihdytyksiä ja jarrutuksia. Turhien kiihdytysten ja jarrutusten vähentäminen vähentää samalla infrastruktuurin ja kaluston kulumista. (Transrail 2005.)

Järjestelmän avulla voidaan lisäksi parantaa aikataulujen optimointia liikennetilanteen mukaan esimerkiksi antamalla etuoikeus niille junille, jotka ovat aikataulustaan myöhässä. Tällöin voidaan parantaa junien täsmällisyyttä ja edesauttaa junien saapumista asemille kuten on suunniteltu. (Transrail 2005.)

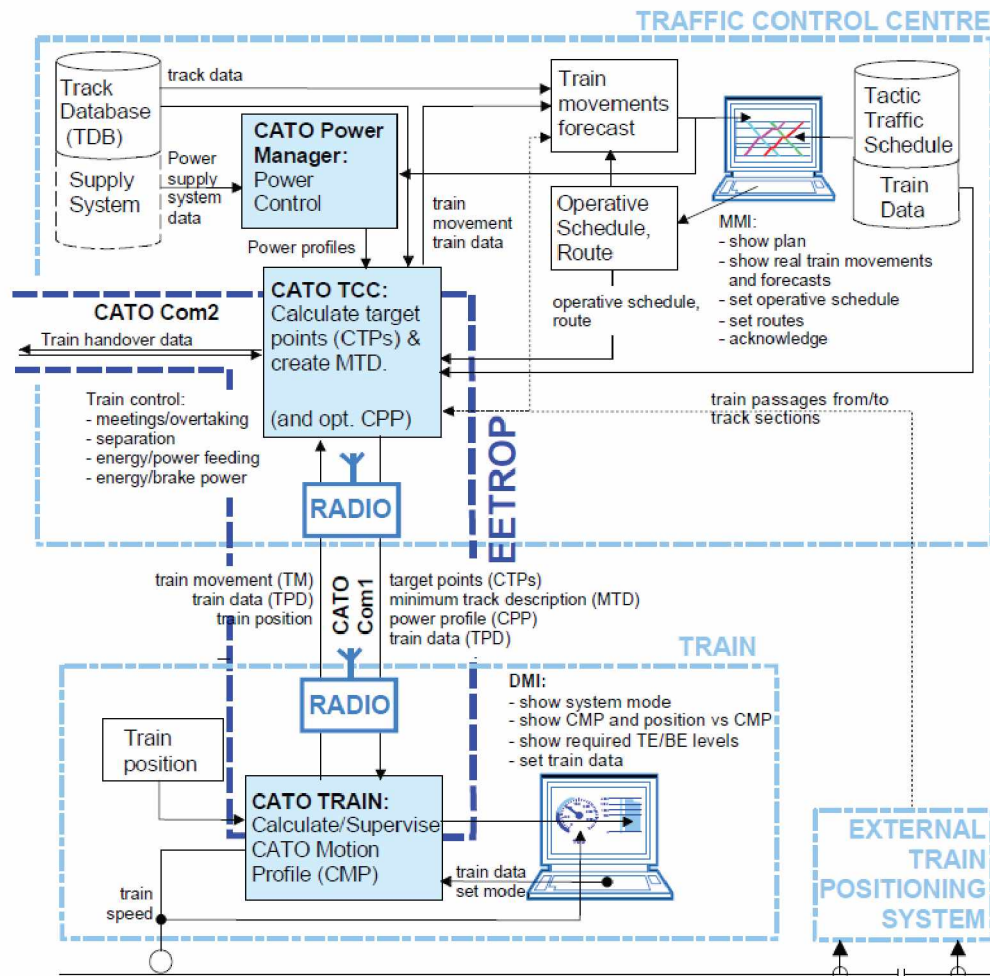


Kuva 6. CATO-järjestelmän ohjausnäky (1/2); Copyright Transrail Sweden AB (Transrail 2005)



Kuva 7. CATO-järjestelmän ohjausnäky (2/2) (Transrail 2005)

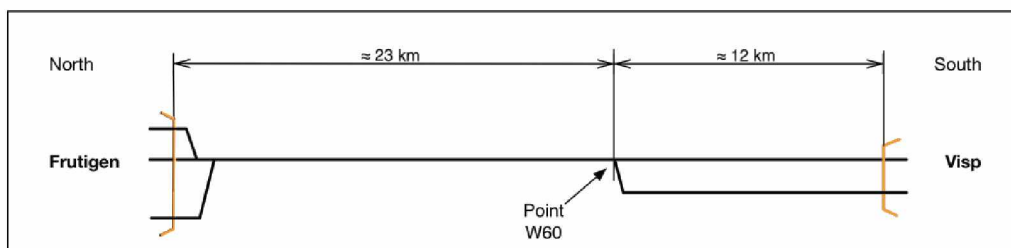
CATO-järjestelmän rakenne on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 8. CATO-järjestelmän toimintamalli (Transrail 2005)

5.3 Sveitsin malli – AF

AF-järjestelmä (Automatic function) on Sveitsin Lötschbergin tunnelissa käytössä oleva junien ohjauksen järjestelmä, joka ratkaisee tunnelin liikennöinnissä syntyviä toiminnallisia ristiriitoja automaattisesti tai liikenteenohjaajan ohjeiden mukaisesti tilanteen mukaan. Lötschbergin tunneli on yhteensä 34.6 kilometriä pitkä tunneli, josta 21 kilometrin osuus operoidaan yhdellä raiteella. Tunnelin kapasiteetin maksimointiseksi tunnelin liikennettä operoidaan ohjelmistoon perustuvalla toimintojen automatisointijärjestelmällä, AF:llä. (Mehta, Röbiger & Montigel, Systransis Ltd 2010.)



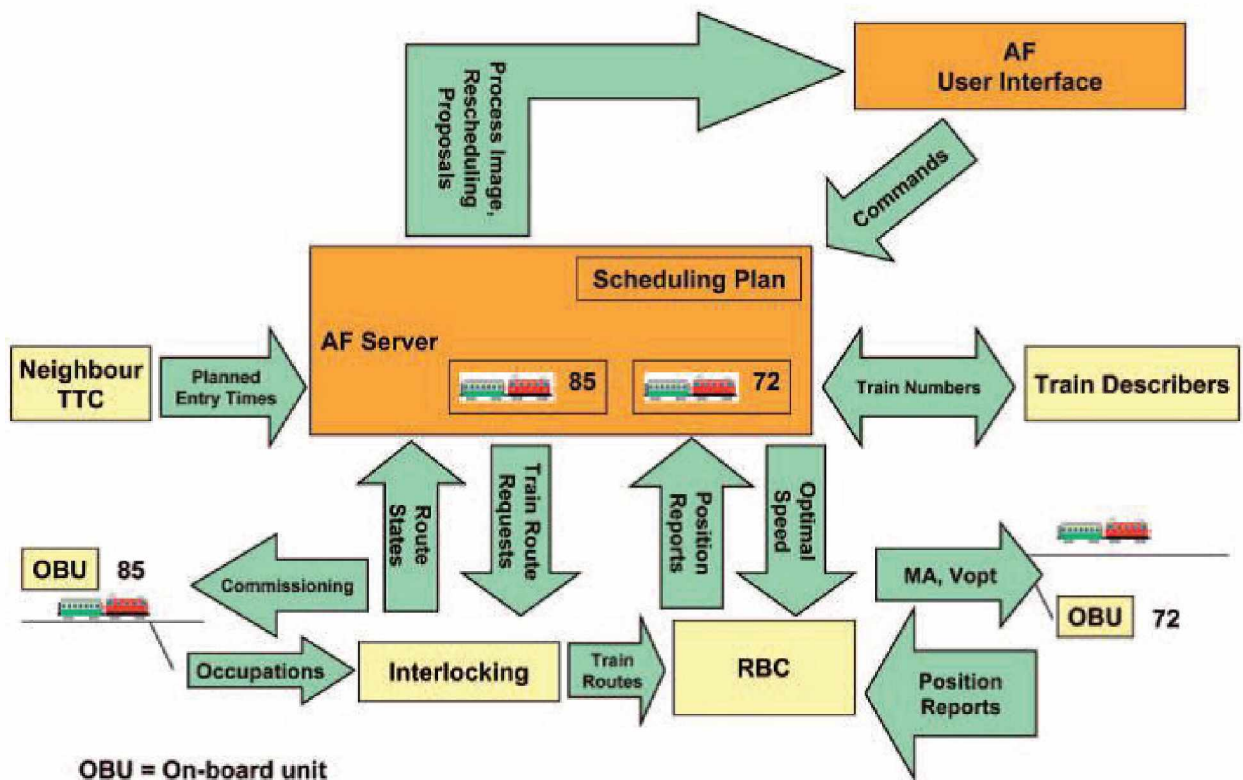
Kuva 9. Lötschbergin tunnelin topografia (Mehta, Röbiger & Montigel, Systransis Ltd 2010)

AF-järjestelmän pääperiaatteena on, että se seuraa reaaliaikaisesti operaattorien annettua aikataulutusta ja vertaa sitä junien paikkatietoon, jota kerätään reaaliaikaisesti tunnelista. Järjestelmän avulla junien reittivaihtoehdot voidaan optimoida junatyypin suorituskyvyn mukaan ja ratkaista ruuhkautumiskonflikteja etsimällä vaihtoehtoisia reittejä. Tämä perustuu järjestelmän kykyyn arvioida junien ohituspaikkojen ennustusajat sekuntien tarkkuudella. AF-järjestelmän avulla voidaan lisäksi optimoida reaaliaikaisesti junien nopeutta, jolloin voidaan parantaa tunnelin kapasiteettia ja vähentää energiankulutusta.

Lisäksi AF-systeemillä voidaan määrittää jokaiselle junalle tietty tärkeyskerroin, jolloin systeemillä voidaan laskea optimaalinen painotettu kokonaismyöhästyminen. Tämän avulla voidaan esimerkiksi henkilöjunille antaa etuajo-oikeuksia suhteessa tavarajuniin.

Junien operoinnin parantamisen ja kapasiteetin lisäyksen ohella Lötschbergin tunnelissa on AF:n avulla saavutettu merkittäviä energiansäästöjä. Perustuen ”Latent energy savings due to the innovative use of advisory speeds to avoid occupation conflicts” (Mehta et al.) -tutkimukseen kolmen kuukauden aikana energiansäästö on ollut 45 655 kWh eli keskimäärin 12.4 prosenttia (12.9 % tavarajunien osalta ja 10.3 % henkilöjunien osalta). Saman tutkimuksen mukaan junien jarrutuksesta voidaan saada talteen 20–40 prosenttia junien jarrutuksessa menettämästä energiasta. (Regenerative braking). (Mehta, Rößiger & Montigel, Systransis Ltd 2010.)

AF-järjestelmän rakenne on esitetty alla olevassa kuvassa.



Kuva 10. AF-järjestelmän rakenne (Montigel, Systransis Ltd 2009)

5.4 Yhteenveto järjestelmien soveltuvuudesta

Yhteenveto esimerkkimaiden järjestelmien soveltuvuudesta Suomen rautatieympäristöön:

- Tanska on tasainen maa, jossa tavarajunien osuus on pieni. Tanskalainen järjestelmä ei välttämättä sovellu kaikilta osin suoraan Suomen olosuhteisiin.
- Ruotsalainen järjestelmä on kehitetty Ruotsin pohjoisosien malmiradoille, joten se on sovellettavissa Suomessa yksiraiteisille osuuksille, joissa tavarajunien osuus on merkittävä.
- Sveitsiläisestä järjestelmästä on toistaiseksi kokemuksia rataosuudella, jossa ei ole kaupallisia pysähdyksiä. Järjestelmän tehnyt yritys aikoo laajentaa järjestelmää laajemmalle Sveitsiin (Tapola 2013.)

6 Vaikuttavat tekijät

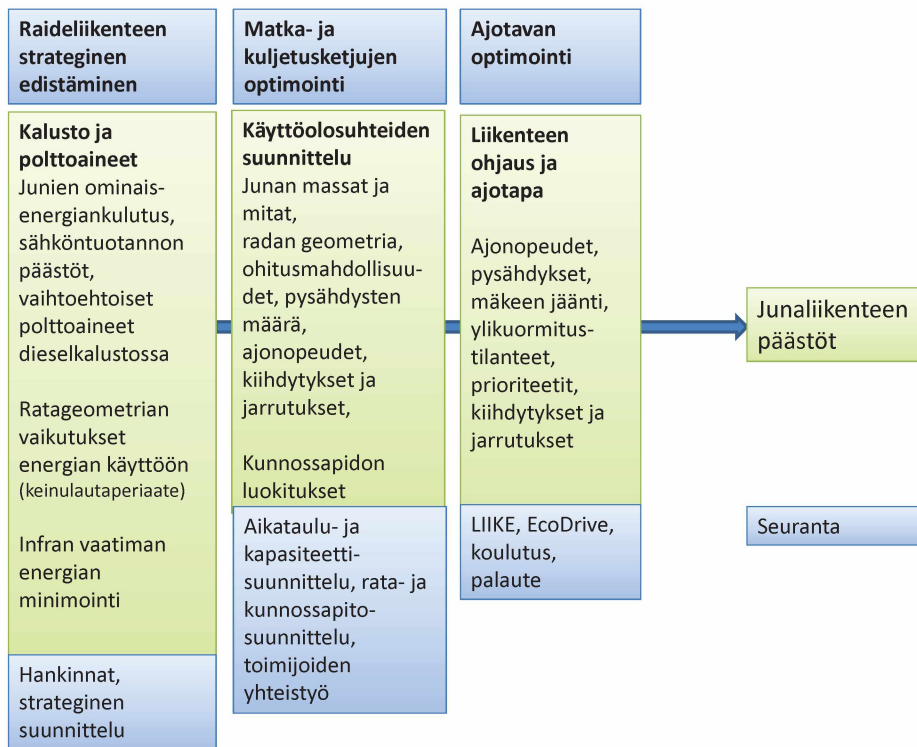
6.1 Päästöihin ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Kansainvälinen rautatiejärjestö (UIC) on arvioinut raideliikenteen päästöjen vähennyspotentiaalia ja sen perusteella esittänyt toimenpiteitä päästöjen vähentämiseksi. Koska Suomessa sähkövedon osuus kuljetussuoritteesta on merkittävä, päästöt aiheutuvat pääosin energiantuotannon päästöistä. Tästä huolimatta raideliikenteessä tehdyillä toimilla on suuri vaikutus energiankulutukseen ja siitä syntyviin kustannuksiin. Taulukossa 9 on esitetty Kansainvälisen rautatiejärjestön (UIC) ehdotuksia päästöjen vähentämisen toimenpiteiksi. Lisäksi UIC on arvioinut kyseisten toimenpiteiden vähennyspotentiaaleja.

Taulukko 9. Raideliikenteen päästöjen vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet (UIC 2008)

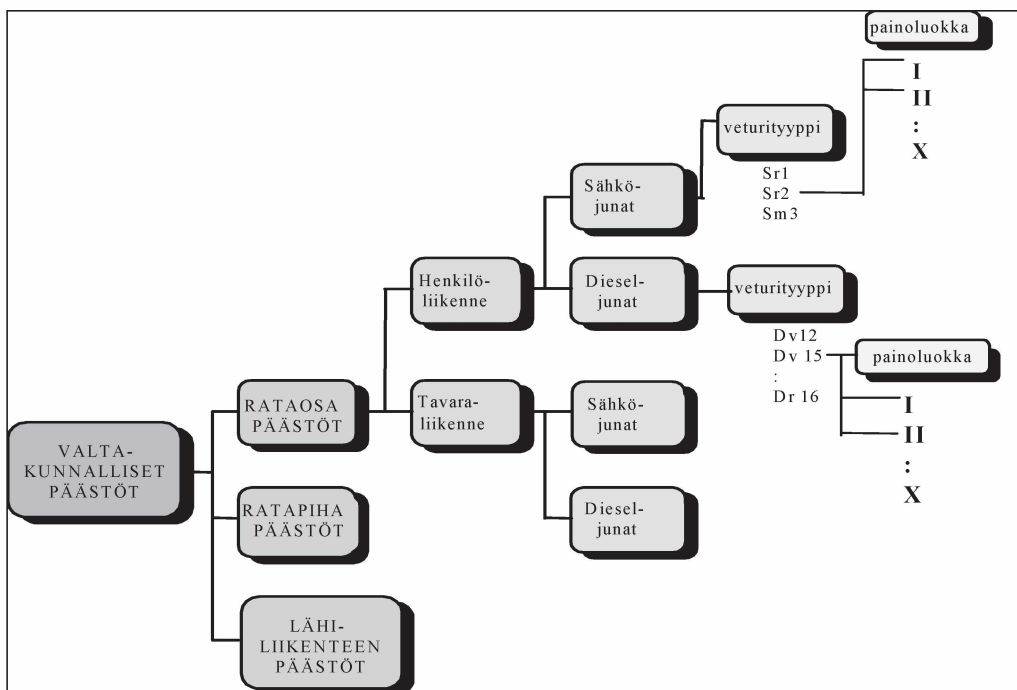
Raideliikenteen päästöjen vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet	Päästövähennyspotentiaali (%)
Energiankulutuksen mittaaminen – perusta kaikelle kehittämiselle	
Energiatehokas ajaminen	5 - 10
Kuormitusasteen nosto	< 30
Uusi kalusto	< 30
Kansallisen energiantuotannon kehitys	5 - 10
Jarrutusenergian hyödyntäminen	10 - 20
Infrastruktuurin energiankulutuksen hallinta	5 - 10
Vaihtoehtoiset energialähteet	20 - 80
Sähköistäminen	< 50
Biodieselin hyödyntäminen	< 40

Kaiken kaikkiaan päästöjen ja energiankulutuksen suuruuteen vaikuttavat kulku-
neuvojen ominaisuudet (massa, ominaiskulutus eri kuormituksilla, kuten nopeuksilla),
polttoaineiden ominaisuudet (sähkön tuotanto, diesel, biodiesel), käytetyn sähkön
takaisinsyöttömahdollisuudet (jarrutusenergian hyödyntäminen), kaluston käytön
jakautuminen ja määrä, väylän korkeus- ym. tekijät, reitin sisältämät pysähdykset,
nopeus ja nopeuden vaihdokset, häiriötilanteet ja sääolosuhteet. Näillä tekijöillä on
suurin merkitys energiankulutukseen. Asiaa käsitellään tarkemmin taulukossa 11, ks.
myös kuva 11.



Kuva 11. Junaliikenteen päästöjen muodostuminen ja vaikutusmahdollisuudet

Junaliikenteen päästöjä on laskettu vuonna 2012 julkaistussa ”Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä – RAILI 2011”-tutkimuksessa. Tutkimuksessa päästöjen laskenta jaettiin kolmeen eri osaan, rataosan päästöihin, ratapihan päästöihin sekä lähiliikenteen päästöihin alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 12. Junaliikenteen päästöt (Lipasto/Raili 2008)

Junaliikenteen päästöihin vaikuttaa merkittävästi junaliikenteen tarvitsema energian määrä ja polttoaineen laatu. Junaliikenteen energiankulutusta on tarkemmin käsitelty seuraavassa osioissa (*taulukko 11*). Energian kulutukseen vaikuttavat tekijät). Suomessa liikennöivät junat voidaan jakaa pääosin kahteen ryhmään, sähköjuniin ja dieseljuniin.

Raili-laskentajärjestelmän dieseljunien päästöjen laskennassa käytetään alla taulukossa olevia päästökertoimia.

Taulukko 10. RAILI 1998 - RAILI 2011:ssä käytetyt päästökertoimet dieselmoottoreille (Lipasto/Raili 2011)

Moottorityyppi	CO (g/kgpa)	HC (g/kgpa)	NO _x (g/kgpa)	hiukkaset (g/kgpa)	CO ₂ (g/kgpa)
Pielstick (Dr16)	8,03	1,25	42,3	1,7	3162
MAN (Dr14,Dv15, Dv16)	12,7	5,54	39,9	3,88	3163
MGO (Dv12, Dr13)	9,87	4,68	81,5	1,39	3162

Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa (*Taulukko 11*. Energian kulutukseen vaikuttavia tekijöitä) on tarkasteltu energian kulutukseen vaikuttavia tekijöitä ja sitä, miten ne voidaan ottaa huomioon raideliikenteen suunnittelun ja toteutuksen eri vaiheissa.

Taulukko 11. Energian kulutukseen vaikuttavia tekijöitä

Päästöihin ja energian kulutukseen vaikuttava tekijä	Vaikutusmekanismi	Mahdollisuus vähentää vaikutusta
<p>Massa jarrutusenergian hyödyntäminen, rataprofiili</p>	<p>Massa vaikuttaa suoraan junien kulkuvastukseen.</p> <p>Lähtö- ja saapumispisteen korkeuserolla on suuri merkitys käytettävän sähköenergian määrään.</p> <p>Nousuissa veturiin syötetyllä energialla täytyy korvata mäen nousuun tarvittava energia. Laskussa tämä tulee vastaavasti hyödyksi.</p> <p>Uutta rataa suunnitellessa huomioidaan keinulautaperiaate (rata nousee asemalle saavuttaessa ja laskee asemalta lähdettäessä)</p> <p>Eniten korkeuseron huomioon ottamisella on merkitystä tiettyyn suuntaan säännöllisesti kulkevalle raskaalle tavaraliikenteelle, kuten esimerkiksi malmin ja metallien kuljetuksille.</p>	<p>Junien aikataulusuunnittelu, junakoon optimointi yhteysvälin ominaisuuksien perusteella.</p> <p>Erityyppisten ja -painoisten junien ominaiskulutustiedon hyödyntäminen aikataulusuunnittelussa.</p> <p>Uudessa kalustossa liike-energian pienentäminen jarruttamalla voidaan ohjata takaisin sähköverkkoon. Sr2-veturin mittausten mukaan verkkoon takaisin syötetty jarrutusenergia oli keskimäärin lähes 10 % verkosta otetusta. Lähiliikennejunilla hyöty on vielä suurempi.</p> <p>Nousujen ja laskujen hyödyntämisellä taitava veturinkuljettaja säästää merkittävästi energiaa silloin kun se aikataulullisesti on mahdollista.</p> <p>Aikataulujen suunnittelu ja pitäminen niin, että liikenne on sujuvaa ja rullausmahdollisuudet käytetään hyväksi näyttää olevan merkittävin energiansäästötoimenpide.</p>
<p>Nopeus sekä kiihdytykset ja pysähdykset</p>	<p>Nopeus vaikuttaa ilmanvastukseen toisessa potenssissa ja sitä myöten lisää kilometriä kohti käytettävää energiaa vastaavalla tavalla.</p> <p>Ilmanvastuksesta aiheutuva energiantarve aikayksikössä eli teho kasvaa nopeuden kolmannessa potenssissa.</p> <p>Nopeuden lisäys (kiihdytys) lisää junan liike-energiaa, mikä näkyy kulutuksessa.</p> <p>Pysähdysten lukumäärillä on suuri merkitys energiankäytölle.</p> <p>Pysähdysten lisäksi ylimääräiset jarrutukset ja kiihdytykset lisäävät energiankäyttöä.</p>	<p>Määritetään matkan AB optiminopeus eri junille huomioon ottaen rataprofiili, pysähdykset ja otetaan huomioon aikataulusuunnittelussa.</p> <p>Mittausten mukaan henkilöjunat (H) kuluttivat 20–50 % enemmän tonnikilometriä kohti kuin IC-junat. Tavarapuolella lähi- ja keräilyliikenteen TL-junat kuluttivat 25–80 % tavaraliikenteen keskiarvokulutusta enemmän.</p> <p>Pysähdysten ja niitä seuraavien kiihdytysten suuren lukumäärän vuoksi taajamajunien ominaiskulutuksen voidaan olettaa olevan huomattavasti suuremman kuin kaukojunien.</p> <p>Aikataulujen suunnittelulla ja liikenteen hallinnalla on kansainvälisten kokemusten mukaan todettu saatavan nopeasti merkittäviä energiansäästöjä.</p> <p>Liikenteen ohjauksessa voidaan ottaa huomioon parhaat kohtauspaikat, prioriteetit ja antaa tavoite-nopeus.</p>

6.2 Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tekijät

Kuljetuskustannukset koostuvat kaluston kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista, työkustannuksista sekä ratamaksusta. Kaluston kiinteät kustannukset muodostuvat muun muassa kalustoon sitoutuneesta pääomasta, kaluston vakuutusmaksuista, liikennöintisopimusmaksuista ja huoltokustannuksista. Kaluston muuttuvia kustannuksia ovat sekä sähköenergia- ja polttoainekustannukset että huoltokustannukset. Työkustannukset koostuvat kuljettajien ja konduktöörin palkoista ja muista henkilöstökustannuksista. Lisäksi kustannuksiin lasketaan myös väyläkustannukset eli tässä tapauksessa ratamaksut, kuljettava reitti ja aikataulupoikkeamista johtuvat mahdolliset sanktiot. (Hokkanen, Karhunen & Luukkainen 2004, 156–157.)

Kuljetuskustannuksiin vaikuttaa myös kuljetettava lasti. Toisin sanoen, ihmisten ja tavarain kuljetus hinnoitellaan eri tavalla. Tavaraliikenteessä täyttöaste vaikuttaa rautateillä välillisesti kuljetuskustannuksiin, koska juna ajetaan sen pituisena kuin se on tarpeen täyttöasteen ollessa mahdollisimman korkea. Lisäksi junaliikenteen kuljetuskustannuksiin vaikuttavat tyhjänä ajatut kilometrit. Nämä kilometrit johtuvat pakollisista siirroista ja paluukuljetuksista. Liikennesuunnittelu pyrkii minimoimaan nämä ns. tuottamattomat kilometrit.

Bowersox ja Closs ovat määritelleet kuljetuskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä, jotka täytyy ottaa huomioon hinnoiteltaessa kuljetuspalvelua. Näitä tekijöitä ovat kuljetusetäisyys, kuljetettava määrä, tavarain koko, lastaustilan hyödynnettävyys, tavarain käsiteltävyys, tavarain alttius vahingoittumiselle ja markkinat. Toisaalta kuljetuskustannuksiin vaikuttavat reittien ja kuljetusten suunnittelu. Tällöin on otettava huomioon edellä mainitut tekijät. (Bowersox & Closs, 1996, 365.)

Yhdessä energiatehokkuustavoitteen kanssa suurimman hyödyn kuljetuskustannuksiin vaikuttavista tekijöistä antaa kuljetusten suunnittelu, jonka avulla voidaan pyrkiä täsmälliseen junaliikenteeseen ja energiaystävällisempään ajotapaan pysähdyttäessä vain tarpeellinen määrä.

6.2.1 Henkilöjunien kustannusmallin rakenne

Matka-ajasta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- kaluston pääomakustannukset, jotka muodostuvat
 - kaluston hankintahinnasta
 - hankinnan koroista
- junahenkilöstön (veturinkuljettajat ja konduktöörit) työvoimakustannukset, jotka muodostuvat
 - palkkakustannuksista henkilösivukustannuksineen
 - työhön liittyvistä kuluista (esim. majoitus- ja matkakustannuksista)
- junien käyttövalmiushuollon kustannukset
 - Näillä tarkoitetaan kaluston pesun, siivoamisen, vessojen tyhjennysten, vesisäiliöiden täydentämisen yms. kustannuksia. (Iikkanen 2013, 11.)

Matkan pituudesta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- vetureiden ja moottorivaunukaluston käyttämän energian kustannukset
- kaluston kunnossapidon ja korjauksen kustannukset. (Iikkanen 2013, 11.)

Yleiskustannuksia ovat mm.:

- hallintokustannukset
- suunnittelukustannukset
- markkinoinnin ja lipunmyynnin kustannukset
- toimitilojen ylläpidon ja käytön kustannukset
- vakuutusmaksut. (Iikkanen 2013, 11.)

Henkilöjunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto on seuraava:

Taulukko 12. Henkilöjunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto

Junan liikennöintikustannus = matka-aika (h) * (a1 + lisäyksikköjen määrä * a2) +
matkan pituus (km) * (b1 + lisäyksikköjen määrä * b2),

a1 = perusyksikön aikakustannus (€/h)

a2 = lisäyksikön aikakustannus (€/h)

b1 = perusyksikön matkakustannus (€/km)

b2 = lisäyksikön matkakustannus (€/km) (Iikkanen 2013, 11.)

Erialaisten henkilö- ja tavaraliikenteen veturi- ja junatyyppeiden energiankulutuksen matemaattisia malleja voidaan laskea erilaisilla kaavoilla. Näitä kaavoja on julkaistu LI-PASTOssa ja Liikenneviraston julkaisussa ”Rautatieliikenteen kustannusmallit” (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2013). Kyseisten julkaisujen kaavat eroavat jonkin verran toisistaan.

6.2.2 Tavarajunien kustannusmallin rakenne

Matka-ajasta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- kaluston pääomakustannukset, jotka muodostuvat
 - kaluston hankintahinnasta
 - hankinnan koroista
- veturinkuljettajien työvoimakustannukset, jotka muodostuvat
 - palkkakustannuksista henkilösivukustannuksineen
 - työhön liittyvistä kuluista (esim. majoitus- ja matkakustannuksista).
 (Iikkanen 2013, 27.)

Matkan pituudesta riippuvaisia kustannuksia ovat:

- energiakustannukset
- vetureiden ja vaunujen kunnossapidon ja korjauksen kustannukset
- vaihtotyön kustannukset (vain vaunuryhmäkuljetukset). (Iikkanen 2013, 27.)

Yleiskustannuksia ovat mm.:

- hallintokustannukset
- suunnittelukustannukset
- markkinoinnin ja myynnin kustannukset
- toimitilojen ylläpidon ja käytön kustannukset
- vakuutusmaksut. (Iikkanen 2013, 27.)

Tavarajunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto on seuraava:

Taulukko 13. Tavarajunien liikennöintikustannusmallien perusmuoto

Junan liikennöintikustannus = matka-aika (h) * (a1 + vaunujen määrä * a2) +
matkan pituus (km) * (veturien määrä * b1 + vaunujen määrä * b2),

a1 = veturien aikakustannukset (€/h) (*)

a2 = vaunun aikakustannus (€/h)

b1 = veturin matkakustannus (€/km)

b2 = vaunun matkakustannus (€/km)

(* Veturien aikakustannusten summa, kun junassa on useampia vetureita.. Aikakustannus toista ja kolmatta veturia kohti on pienempi kuin yhtä veturia kohti (junassa vain yksi kuljettaja). (Iikkanen 2013, 28.)

7 Päästöjen ja kuljetuskustannusten vähentämismahdollisuudet

7.1 Kapasiteetin jakaminen ja aikataulusuunnittelu

Junaliikenteen täsmällisyyden perustana on ratakapasiteetti ja sen jakoprosessi. Ratakapasiteetilla tarkoitetaan radan ominaisuuksiin perustuvaa rataosakohtaista junaliikenteen välityskykyä aikayksikköä kohden. Ratakapasiteetin jakoprosessilla tarkoitetaan ratakapasiteetin jakamista rataverkolla liikennöivien junien kesken. (Rautateiden verkkoselostus vuodelle 2013 2011, 38.) Rataverkon ratakapasiteettia haetaan Liikennevirastolta sekä kullekin aikataulukaudelle että aikataulukauden aikana tietyin määräajoin. Ratakapasiteettia voi hakea myös kiireellisenä ratakapasiteettina muuta kuin säännöllistä liikennettä varten. (Mukula 2008, 24.)

Olemassa olevalla kalustolla suurimmat päästöjen vähennysvaikutukset saadaan kapasiteetti- ja aikataulusuunnittelulla. Niillä luodaan raamit toiminnalle, jota sitten liikenteen ohjauksella ja ajolla täydennetään. Pääosa vaikutuksista syntyy aikataulujen kautta, sillä henkilöliikenne kulkee pääsääntöisesti aikataulujen mukaan. Tavari liikenteelle voitaisiin laatia yhteysväleittäin optimaaliset aikaikkunat. Aikaikkunat edellyttävät kuljetusketjun parempaa hallintaa. Tavoitteena olisikin tavaraliikenteen energiankulutuksen kokonaisoptimointi.

Suunnitteilla oleva ratamaksu voi tuoda kannustuksen optimointiin. Se voi ohjata systemaattisempaan aikataulun suunnitteluun ja poistaa kiireellisen kapasiteetin varauksia. Kuitenkin maksun toteutuksessa tarvitaan joustoa kilpailukyvyyn varmistamiseksi.

LIIKE- tulee parantamaan kapasiteetin suunnittelua, mutta se tarvitsee pohjakseen liikennöitsijän aikataulun suunnittelua. Liikennöitsijän käytössä olevaa nykyistä aikataulun suunnittelun työkalua voitaisiin kehittää niin, että se ottaisi paremmin huomioon energiatehokkuuden. Näin aikataulusuunnittelusta voitaisiin saada energiatehokkaita ehdotuksia, jotka sitten kapasiteetin jaossa voitaisiin ottaa huomioon. Yhteistyöllä on tässä tärkeä merkitys.

Rautatieyhtiön intressissä on välttää tarpeettomia pysähdyksiä, jotka lisäävät kustannuksia. Pysähdysten aiheuttamista lisäkustannuksista ei kuitenkaan ole tarkkaa tietoa, mikä on laskenut kiinnostusta pysähdysten optimointiin. Prioriteetti on kuitenkin selvä: raskaat junat kannattaa priorisoida kevyempien edelle. Esimerkiksi vientisatamiin suuntautuvat tavarajunat kannattaa ajattaa pysähtymättä ja vastaan tulevat tyhjät junat pysäyttää kohtauspaikoilla. Tuontisatamista lähtevien tavarajunien kanssa toimitaan päinvastoin. Kukin liikennetilanne on kuitenkin arvioitava tapauskohtaisesti rataprofiilin mukaan.

Rautatieyhtiön yhteistyö asiakasrajapinnassa auttaa optimoimaan kuljetusketjuja. Ketjun parempaan hallintaan tähtää paraikaa käynnissä oleva kääntymäaika- ja tarkastelu. Tarkastelulla pyritään ottamaan pois aikataulutuksessa liialliset yrityksen ja liikennöitsijän kuljetusketjun ajoittamiseen liittyvät pelivarat. Näin voidaan parantaa

kuljetusketjun täsmällisyyttä ja vähentää kaluston tarpeetonta seisomista. Myös LOKI-järjestelmän työkalu auttaa täsmällisyyden seurantaan (korvaa JUSE-järjestelmän).

Tällä hetkellä aikataulujen toteutumista ei seurata systemaattisesti ja yksittäisen liikenneohjaajan kädenjälki näkyy käytännön ajoissa. Palautteella ja motivoinnilla on kehittämisessä suuri merkitys. Kokemusten avulla voidaan kehittää aikataulu- ja kapasiteettisuunnittelua niin, että voidaan paremmin tukea kuljetusketjun sujuvuutta, välttää tarpeettomia pysähdyksiä ja vähentää energiankulutusta. Liikenteenohjauksesta saatava tieto tulee jatkossa antamaan palautetta Liikennevirastolle nykyistä paremmin, mikä auttaa suunnittelun optimointia.

7.2 Ratainfra ottaminen huomioon

Suomen ratainfra pituuskaltevuusprofiili on hyvin vaihteleva verrattuna esimerkiksi Tanskan tasaiseen profiiliin. Junien nopeus ei ole tasaista vaihtelevasta profiilista johtuen. Esimerkiksi ennen jyrkkää nousua junan on luonnollisesti kiihdytettävä, jolloin energiaa kuluu myös enemmän. Rataosan liikenne määrää pituuskaltevuuden raja-arvot. Alla olevassa taulukossa on koottu pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla ja sivuraiteilla. (RATO 2, 21.)

Taulukko 14. Pituuskaltevuuden raja-arvot suoralla radalla ja sivuraiteilla (RATO 2, 21)

RATA	PITUUSKALTEVUUS [‰]		
	Suositteltava	Maksimiarvo	Lupa-arvo
Sekaliikenne- radat	≤ 10	12,5	25
Matkustaja- liikenne- radat	≤ 10	15	40
Tavaraliikenne- radat	≤ 10	12,5	25
Sivuraiteet	≤ 12,5	15	30

Junien vetovoima vaikuttaa sekä junien maksiminopeuteen että keskinopeuteen. Eryteisesti raskaiden tavarajunien nopeudet saattavat pudota hyvinkin alhaisiksi jyrkissä, pitkissä nousuissa. Määrävä nousu on rataosan jyrkin nousu, joka määrittelee suurimman sallitun junapainon tietyille vetovoimakokoonpanolle.

Päästöjä ja kuljetuskustannuksia voidaan vähentää ottamalla ratainfra paremmin huomioon. Veturinkuljettajat voisivat erityisesti hyödyntää junan rullausmahdollisuutta (ajaminen ilman tehoja). Lisäksi voitaisiin parantaa junan painon ja ratainfra ominaisuuksien yhteensovittamista. Tämä vähentäisi päästöjä ja kuljetuskustannuksia. ETJ2 tulee sisältämään tiedot radan profiilista, joten pysähdykset ja rullaukset voitaisiin jatkossa etukäteen suunnitella. Tällä hetkellä ongelmana on raskaiden tavarajunien mäkeenjänti, joka aiheuttaa tavarajunien ja myös niiden jäljessä kulkevien matkustajajunien myöhästymistä. Järjestelmää voitaisiin hyödyntää junien aikatauluttamisessa ja junakohtaamisessa ottaen huomioon ratainfrastruktuurin kulloinkin tiedossa olevat ominaisuudet. Turhien pysähtymisten karsiminen vähentäisi energiankulutusta.

Ns. keinulautaperiaatetta voitaisiin hyödyntää uutta rataa rakennettaessa. Keinulautaperiaate tarkoittaa sitä, rataprofiili on asemalta lähdeettäessä laskeva ja asemalle tultaessa nouseva. Tämä mahdollistaa junan hyvän kiihtyvyyden sekä hidastuvuuden. Samalla säästetään energiaa. (RATO 20, 94)

Ilmamassan aiheuttama junan kulkuvastus on tunnelissa merkittävästi suurempi kuin vapaassa ilmatilassa. Ilmanvastuksen vähentäminen vaikuttaa energiankulutukseen vähentävästi. Aerodynaaminen vastus tulee tunnelissa rajoittaa sellaiseksi, että liikkuvan kaluston vetoteho on riittävä halutun junanopeuden ylläpitämiseksi tunnelissa. Aerodynaamiseen vastukseen vaikuttavat eniten junan nopeus sekä tunnelin ja junan mitat ja aerodynaaminen mitoitus. Aerodynaamiseen mitoitukseen vaikuttaa mm. liikkuvan kaluston, tunnelin ja sen suuaukkorakenteiden aerodynaaminen mitoitus sekä usean junan peräkkäinajon todennäköisyys tunnelissa. Lisäksi kaksiraiteisessa tunnelissa junien kohtaamisen ja rinnakkainajon todennäköisyys, kullekin junatyypille sallittava kulkuvastus ja sen edellyttämä vetotehon lisäys ja/tai sallittava nopeuden hidastuminen vaikuttavat mitoitukseen.

Uusien tunneleiden suunnittelussa paineenvaihtelujen vaikutus otetaan huomioon ratatunnelin poikkileikkausmitoissa. Mitoitusnopeuden ollessa yli 160 km/h, tehdään tunnelipoikkileikkaukseen aerodynaaminen mitoitus (normaalipoikkileikkausta suurennetaan) (RATO 18, s. 16, 19 - 21).

7.3 Liikennöinti

Liikenteenohjauksella voidaan parantaa optimaalista liikenteen kulkua nopeallakin aikavälillä (alle 2 vuotta). Nykyisten priorisointisääntöjen ohien olisi hyvä kehittää energian kulutuksen huomioon ottavat pelisäännöt. Niiden kehittäminen voisi helpottaa energiansäästöä. Pelisäännöt ovat kuitenkin vain ohjaavia niin sanottuja nyrkki-sääntöjä energiansäästöä, sillä liikenteenohjaus ottaa huomioon myös liikenteellisen jatkotilanteen. On lisäksi tarpeen muistaa, että rautatieyrityksellä on paras tieto kuljetuksen tärkeydestä.

Kuljettajalle tarvitaan ohjausta EcoDrive-ajamiseen. Kuljettaja tarvitsee tiedon, kun muuttuneen liikennetilanteen vuoksi on tarve päivittää aikataulua. Hänelle voitaisiin antaa ohje optimaalisesta nopeudesta, jolloin voitaisiin välttää pysähdykset ja koko kuljetusketju saataisiin sujuvaksi.

Palaute auttaa myös liikenteen ohjausta kehittämään toimintaansa. Tarvitaan myös motivointia. Liikenteenohjauksen työn merkityksen esille saaminen energiatehokkuuden parantamisessa voisi auttaa motivoinnissa. Palautteen antoa voitaisiin ohjeistaa, jotta se saataisiin systemaattisemmaksi (tuki, kaavakkeen kehittäminen).

Koulutus on ensiarvoisen tärkeää. Koulutuksen merkitys on suuri erityisesti dynaamisen mallin testauksen ja käytön opetteluun yhteydessä. Se on myös luonnollinen paikka koulutukselle. Dynaamisuuden lisääntyessä saadaan aiempaa reaaliaikaisempaa ja yksilöidymppää tietoa. Samalla myös työkalujen kehittäminen on välttämätöntä.

7.4 Operaattorin toimenpiteet

Aikataulujen suunnittelussa joillekin matkoille annetaan esimerkiksi 20 minuuttia enemmän aikaa, jotta kuljettaja voi ajaa saman aikataulun energiatehokkaasti. Esimerkiksi junan ajomatalla saattaa olla tietty lyhyt osuus, jossa suurin osa koko matkan energiasta kuluu. Väljentämällä aikataulua merkittävästi tuolla rataosalla kokonaisvaikutus kulku-aikaan jää pieneksi, mutta vaikutus energiankulutukseen voi olla sitä suurempi. Toisaalta tietyille kuljetuksille kustannustaso on tärkeämpi kuin nopeus (esim. puutavarakuljetukset). Tämän vuoksi olisi operaattorin hyvä ottaa tämä hinnoittelussa ja aikataulusuunnittelussa huomioon. Tavarajunien hidastaminen entisestään nopeiden henkilöjunien seassa voi tosin vähentää ratakapasiteettia, mikä on myös syytä ottaa huomioon. Aikataulusuunnitteluprosessi vaatii kuitenkin kehittämistä, jotta suunnittelusta saadaan kaikki hyöty irti.

Liikenteen operatiivisessa ohjaamisessa voitaisiin toimia nykyistä aktiivisemmin. Nyt ohjaaminen on liikenteenohjaajakohtaista, joka riippuu heidän asenteistaan ja osaaamisesta vastata sen hetkisestä liikenteen ohjaamisesta. Junien kohtaustilanteissa on epävarmuutta siitä, mitä junaliikennettä tulisi priorisoida ensimmäisenä.

Nopeusrajoitukset tietyillä rataosuuksilla vaihtelevat keskenään. Tilapäisrajoitukset, kuten ratatyöaikaiset nopeusrajoitukset, eivät voi poiketa suuresti rataosan nopeudesta energiatehokkaan ajon kärsimättä.

7.5 Kaluston ominaisuudet

Suomessa käytetään vaihtelevaa veturikalustoa. Veturikalustoon kuuluvat eri tavalla käytettävät dieselveturit, sähköveturit ja moottorijunat. VR-Yhtymä Oy:llä on kaupallisessa liikenteessä käytössä kaksi sähköveturityyppiä: Sr1 ja Sr2 ja kolme dieselveturityyppiä: Dv12, Dr14 ja Dr16. Vaihtotyössä on käytössä myös uudentyyppinen veturi Dr35. Sen lisäksi lähi- ja taajamaliikenteessä käytetään useita sähkömoottorijunatyyppejä (Sm1-Sm5). Moottorijuniin lasketaan myös Pendolino- (Sm3) ja Allegrojunat (Sm6).

Dieselvetureista ovat käytössä rataliikenteessä Dv12, Dr14 ja Dr16. Dv12:sta käytetään nykyisin pääasiassa tavaraliikenteessä. Suurin junapaino on jyrkempi nousuisilla radoilla 800 tonnia ja loivemmillä rataosuuksilla 1200 tonnia. Dr14 on suunniteltu raskaaseen vaihtotyöhön ja laskumäkityöskentelyyn, mutta sitä on käytetty myös vähissä määrin myös tavaraliikenteessä. Dr16 on suunniteltu linja-ajoon, mutta se toimii myös raskaassa vaihtotyössä. Veturiteita käytetään tavara- ja henkilöliikenteessä sähköistämättömillä rataosuuksilla.

Sähkövetureista käytössä Suomen raideliikenteessä ovat Sr1 ja Sr2. Sr1 on ollut käytössä melkein kaikilla sähköistetyillä rataosuuksilla, niin henkilö- kuin tavaraliikenteessä. Sr2 sähköveturi on suunniteltu tavara- ja matkustajajunien vetoon.

Moottorijunia on erityyppisiä. Suomessa käytössä olevia sähkömoottorijunia ovat Sm1-Sm6 -mallit. Sähkömoottorijuna Sm1 on vanhinta radoillamme liikkuvaa moottorijunakalustoa ja Sm2 on paranneltu versio Sm1:stä. Sm3:n (Pendolino) uuden kallistuvan korin ansiosta junien nopeudet mutkissa ovat lähes 35 % suuremmat aikaisemmasta. Sm4 ja Sm5 -mallit ovat hyvin nykyaikaisia sähkömoottorijunia. Sm4 on

suunniteltu pidemmille matkoille, mutta Sm5 nimenomaan kaupunkiradoille ja lyhyille asemaväleille junan hyvän kiihtyvyyden vuoksi. Tulevaisuudessa Sm4 ja Sm5 -mallit tulevat korvaamaan Sm1 ja Sm2 -mallit. VR-Yhtymä Oy:n ja Venäjän rautateiden omistuksessa olevan Karelian Trains:in sähkömoottorijuna, jolla liikennöidään Helsingin ja Pietarin välistä reittiä. Sm6 perustuu uudempaan Pendolino sukupolveen. (Vahtera 2011.)

Junien energiatehokkuuteen vaikuttaa keskeisesti junien moottorien hyötysuhde eli kuinka tehokkaasti junat pystyvät käyttämään saamaansa energian hyödyksi. Suomessa on tällä hetkellä käytössä voimantuotantotavoiltaan kahdentyyppisiä junia, dieseljunia ja sähköjunia. Diesel-junien moottorien hyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa käyttämällä uudempaa teknologioita hyödyntäviä moottoreita sekä parantaa moottorin jäähdytystä ja muuta avustavaa voimansiirtolaitteistoa. Sähköjunien hyötysuhdetta voidaan vastaavasti parantaa tehokkaamman voimansiirron lisäksi parantamalla muuntajien ja muuntimien tehokkuutta.

Junien kiihdyttäessä tai noustessa ylämäkeen juniin varastoituu kineettistä energiaa. Jarrutusenergian talteenotolla tämä energia voidaan ottaa talteen jarrutuksessa ja muuntaa sähköksi. Jarrutuksesta talteenotettu energia voidaan myöhemmin käyttää hyödyksi junaa kiihdytettäessä. Energian talteenottoa voidaan käyttää hyväksi myös diesel-junissa, jolloin vaaditaan junan täydentämistä sähköä käyttäväksi hybridiajoneuvoksi. Esimerkiksi Gröna Tåget -konseptin mittauksissa yli 20 % energiasta pystyttiin hyödyntämään uudelleen.

Kaluston yksi keskeinen energiankulutusta määrittävä tekijä on kaluston paino. Energiatehokkuuden näkökulmasta keskeinen suhdeluku on junan painon ja sen kuljetettavan kapasiteetin välillä. Perinteisesti matkustajajunien painon suhdeluku on ollut noin 400–800 kg/istuin. Esimerkkireferensseinä voidaan mainita Japanilainen Shinkansen (537 kg/istuin) ja Kööpenhaminan lähijuna (360kg /istuin) (UIC – International Union of Railways 2003). Suomessa käytössä olevan 2-kerroksisen IC-vaunun suhdeluku on 478 kg/istuin. Kaluston painon vähentämiseksi voidaan esittää kaksi erilaista strategiaa, *komponenttiperustainen painon vähentäminen* sekä *kokonaisvaltainen painon vähentäminen*. Komponenttiperustaisessa painon vähentämisessä keskitytään katsomaan junan yksittäisiä osia ja etsimään keinoja, jolla junan painoa voidaan vähentää osa osalta muuttamatta junan kokoonpanoa. Kokonaisvaltaisessa junan painon vähentämisessä pyritään vähentämään junan painoa löytämällä kokonaisuuden kannalta uudenlaisia ratkaisuja. Junan painon vähentämisellä voidaan nähdä olevan myös vaikutus junan kitkaan. Kitkaa voidaan nähdä olevan kahdenlaista: mekaanista kitkaa, joka syntyy liikettä vastustavasta raiteiden kitkasta, jota voidaan vähentää radan hoidolla sekä kitkasta, joka syntyy kaarteissa.

Junien aerodynamiikalla on suuri rooli junien energiankulutuksen vähentämisessä. Mitä suurempia nopeuksia kohti siirrytään, sen suurempi rooli aerodynamiikalla on junien energiankulutukseen. Junien ilmanvastusta voidaan vähentää pääosin kahdella tavalla: parantamalla junien ulkoista geometriaa virtaviivaisemmaksi ja vaikuttamalla junan pinnan materiaalien karkeuteen. Luonnollisesti myös kaikki ulkonevat pinnat junissa lisäävät osaltaan ilmanvastusta. Tavarajunien aerodynamiikan kannalta merkittävä tekijä on avonaiset tai puoliavonaiset vaunut, joiden avonaisuus sekä suuret välit vaunun välillä aiheuttavat ilmanvastusta lisäävää turbulenssia.

Samalla kun junaliikenteessä yritetään nostaa asiakkaiden kokemaa palvelutasoa ja työntekijöiden työympäristön tasoa, heikennetään helposti junien energiantehokkuutta. Junan matkustamon valaistus, tehostettu sisätilojen lämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihto nostavat helposti junien käyttämää energianmäärää. Hyödyntämällä paremmin auringonvaloa ja uusia teknologioita sekä ottamalla ilmanvaihto, jäähdytys ja lämmitys paremmin mukaan jo suunnitteluvaiheessa voidaan parantaa matkustamon laatutasoa ilman, että joudutaan tinkimään energiatehokkuudesta.

7.6 Reaaliaikainen energianmittaus

EcoDrive-toiminnallisuuden mukaisilla junien ohjauksen systeemeillä voidaan antaa kuljettajille tietoa siitä, miten heidän tulisi optimaalisesti ajaa. Kuljettajien päätökseksi kuitenkin jää, miten hyvin he noudattavat annettuja ajo-ohjeita. Ainoa keino saada tietää kuljettajan osuus energiankulutuksesta, ja sitä kautta kehittää kuljettajien taloudellista ajotapaa, on saada reaaliaikaista dataa junien energiankulutuksesta mittaroinnin avulla. Samalla luotettava energianmittaus on ainoa keino, jolla voidaan todentaa tehtyjen energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuus.

Sähköjunien osalta reaaliaikainen mittaus on pian mahdollista, mutta suurin haaste nykyisen kaluston kohdalla on energianmittaus dieselkalustossa. Nykyisellä dieselkalustolla on jäljellä noin 10 vuoden käyttöaika, joten tulisi hyvin tarkkaan laskea, missä määrin nykyisen kaluston varustaminen mittareilla on taloudellisesti ja energiansäästöllisesti kannattavaa.

7.7 Innovatiiviset ratkaisut

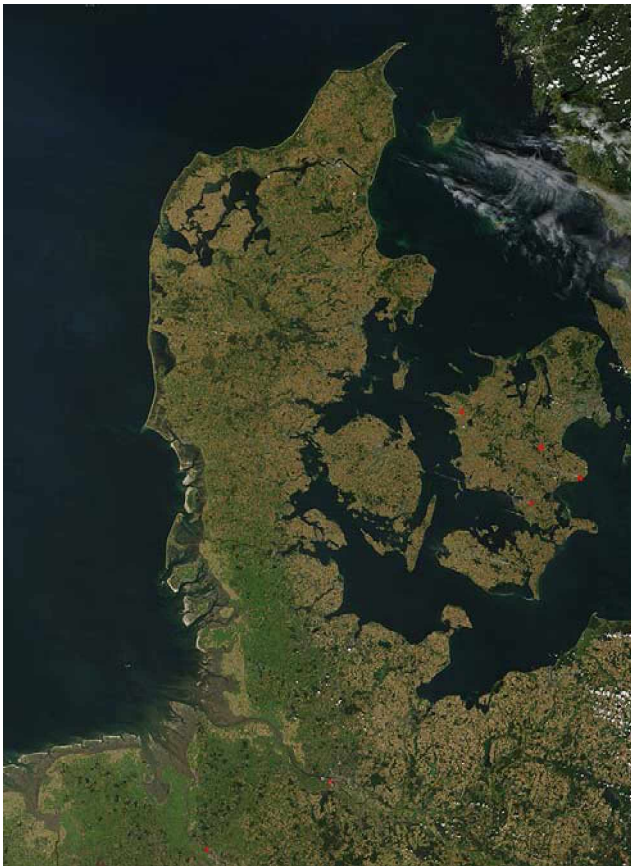
Perinteisimpien energiatehokkuuden ratkaisuiden rinnalle voidaan kehittää myös uudenlaisia tapoja vähentää energiankulutusta ja siitä syntyviä päästöjä. Yksi potentiaalinen vaihtoehto on vähentää päästöjä on aurinkosähköjunat (PV-Trains), jolloin junien katoille ja sivupintoihin asennetaan aurinkosähköpaneeleita, joilla voidaan kattaa osa junien tarvitsemasta sähköstä. Aurinkosähköjunia on pilotoitu esimerkiksi Italiassa vuosina 2003–2005 EU-projektissa (PVTRAIN / TrenItalia). (Green Car Congress 2005.)

8 EcoDrive-toiminnallisuuden avulla saavutettavat hyödyt

EcoDrive-toiminnallisuuden hyödyt voidaan todeta pitkällä aikavälillä kohtalaiseksi. Toiminnallisuuden kustannuksista on haasteellista näin etukäteen saada suuruusluokkatietoja, koska tanskalaisen Green Speed- ja ruotsalaisen CATO-järjestelmien hintatietoja ei ole käytettävissä. Tämän vuoksi tässä kustannus-hyötyanalyysissä lähestymisnäkökulmaksi valittiin säästöpotentiaali, eli minkälaisia säästöjä kyseinen toiminnallisuus voi antaa ja minkälaisella aikavälillä.

EcoDrive-toiminnallisuuden hinnaksi on tässä arvioitu 3–5 miljoonaa euroa, mikä kattaa ensimmäisen vaiheen kehitystyön tanskalaisen Green Speed -järjestelmän pohjalta. Green Speed -järjestelmän avulla on saavutettu selviä hyötyjä Tanskan junaliikenteessä. Täsmällisyyden on raportoitu nousevan 92 prosentista 95 prosenttiin ja energiasäästön on laskettu olevan 12–16 prosenttia luokkaa eli noin 4,7 miljoonaa euroa vuodessa. Cubris Oy mainostaa, että järjestelmän takaisinmaksuaika on noin 3–4 vuotta.

Suomen ja Tanskan geometriaa vertaamalla voidaan todeta, että kustannussäästöt ovat suuremmat Suomessa kuin Tanskassa. Tanska on lähes kokonaan tasaista maantieteellisesti, kun taas Suomi on mäkinen maa. Jos tasaisessa maastossa saadaan useamman miljoonan euron vuosittaiset säästöt, voidaan todeta, että suomalaisessa liikenteessä säästöt voivat olla jonkin verran suurempia.



Kuva 13. Satelliittikuva Tanskasta (Schmaltz, MODIS Rapid Response Team & NASA/GSFC 2004)

9 Jatkoimenpiteet

Jatkotoimenpiteiden aiheita työstettiin EcoDrive-työpajoissa kevään 2013 aikana. Ohessa on esitetty työpajojen aikana esiin tulleita aiheita, joita pidettiin tärkeimpinä.

EcoDrive-toiminnallisuuden jatkotoimenpiteet on jaoteltu eri osa-alueisiin. Osa-alueet ovat EcoDrive-toiminnallisuus, Liikenteenohjaus, Kuljettajat, Aikataulusuunnittelu ja ratakapasiteetin jakaminen, Ratainfra sekä osa-alue Muut. Toimenpiteet on lisäksi jaettu toteutumisaikavälien suhteen lyhyen aikavälin (1–3 vuotta), keskipitkän aikavälin (3–5 vuotta) ja pitkän aikavälin (yli 5 vuotta) toimenpiteisiin. Lisäksi eri osa-alueiden toimenpiteiden vastuutahot on nimetty (liite 1).

”EcoDrive-toiminnallisuus” – osa-alueen vastuutahoiksi on nimetty Liikennevirasto ja rautatieyrittäjä. Lyhyen aikavälin tavoite on staattisen mallin kehittäminen. Mallin tarvitsemat osatekijät ovat mm. junatyyppi, junapaino, junan energiankulutus eri kuormituksilla, ratainfra, nopeus ja aikataulu. Keskipitkän aikavälin tavoitteena on dynaamisen mallin kehittäminen. Mallin tarvitsemat osatekijät ovat staattisen mallin osatekijöiden lisäksi opastimien paikat, tavarajunien nousuihin jäämisen paikat ja kapasiteettirajoitteet. Lisäksi tavoitteena tässä vaiheessa on energiakulutuksen vaikutuksen kehittäminen kannustimena. ”EcoDrive-toiminnallisuus” –osa-alueen pitkän aikavälin tavoitteena on dynaamisen mallin jatkokehitys. Tähän liittyy simulointimahdollisuuden lisääminen toiminnallisuuteen.

”Liikenteenohjaus” – osa-alueen vastuutahoiksi on nimetty Liikennevirasto ja liikenteenohjaus. Lyhyen aikavälin tavoitteena on yhteisen toimintamallin kehittäminen rautatieyrittäjien (kuljettajat) kanssa. Toiminnallisuuden käyttöönottoon liittyy tärkeänä tekijänä kuljettajien kouluttaminen EcoDrive-toiminnallisuuden käyttöön. Lisäksi tavoitteena on reaaliaikaisen liikenteenohjauksen prioriteettisääntöjen yhdenmukaistaminen ratakapasiteettijakoprosessin kanssa. Tähän yhteyteen on tavoitteena kehittää palautejärjestelmä, joka antaa palautetta aikataulusuunnittelijoille juna-aikataulujen toteutumisesta. Lisäksi on tarpeen miettiä, miten tavarajunien linjallejäänti ehkäistään (ratainfraalla olevissa jyrkissä nousuissa). Lisäksi liikenteenohjauksen junakohtaisia ohjeita on tarpeen päivittää. ”Liikenteenohjaus” – osa-alueen keskipitkän aikavälin tavoitteena on dynaamisen mallin testaus ja käytön opettelu. Lisäksi kehitetään lisää yhteistä toimintamallia. Liikenteellisen päätöksenteon vaikutusten arviointikriteerien kehittäminen kuuluu keskipitkän aikavälin tavoitteisiin. Pitkän aikavälin tavoitteena on palautekanavan kehittäminen.

”Kuljettajat” – osa-alueen vastuutahoksi on nimetty rautatieyrittäjä. Lyhyen aikavälin tavoite on yhteisen toimintamallin kehittäminen Liikenneviraston liikenteenohjausoperaattorin kanssa. Lisäksi toiminnallisuuden käyttöön ottoon liittyy tärkeänä tekijänä kuljettajien kouluttaminen EcoDrive-toiminnallisuuden käyttöön. Tähän yhteyteen on tavoitteena kehittää palautejärjestelmä, joka antaa palautetta aikataulusuunnittelijoille miten juna-aikataulut ovat toteutuneet. ”Kuljettajat”-osa-alueen keskipitkän aikavälin tavoitteena on dynaamisen mallin testaus ja käytön opettelu. Lisäksi kehitetään lisää yhteistä toimintamallia. Tavoitteisiin kuuluu myös energiatehokkaan ajotavan vaikutusten arviointikriteerien kehittäminen. Pitkän aikavälin tavoitteena on lisäksi palautekanavan kehittäminen.

”Aikataulusuunnittelu ja ratakapasiteetin jakaminen” -osa-alueen vastuutahoiksi on nimetty Liikennevirasto ja rautatieyrittäjä. Lyhyen aikavälin tavoite on junien toteutuneiden aikataulujen seuranta. Lisäksi tavoitteena on junien aikataulujen kehittäminen toteutuneiden aikataulujen perusteella. Lisäksi lyhyen aikavälin tavoitteena on ratakapasiteettijakoprosessin prioriteettisääntöjen yhdenmukaistaminen reaaliaikaisen liikenteenohjauksen kanssa.” – ”Aikataulusuunnittelu ja ratakapasiteetin jakaminen”-osa-alueen keskipitkän aikavälin tavoitteena on palautekanavan kehittäminen ja simulointimahdollisuuden lisääminen toiminnallisuuteen. Pitkän aikavälin tavoitteena on palautekanavan kehittäminen.

”Ratainfra”-osa-alueen vastuutahoksi on nimetty Liikennevirasto. Lyhyen aikavälin tavoitteena on nopeusrajoituksista johtuvien liikenteen sujuvuuden häiriöpaikkojen selvittäminen. Pitkän aikavälin tavoitteena on rataprofiilien tarkistus ja profiilin muuttaminen tarvittaessa.

Osa-alueen ”Muut” vastuutahoksi on nimetty Liikennevirasto, rautatieyrittäjä ja liikenteenohjaus. Lyhyen aikavälin tavoitteena on toimijoiden roolijaon kehittäminen tulevaisuutta ajatellen. Lisäksi tavoitteena on lippujen hinnoittelupolitiikan käyttäminen energiatehokkuuden apuna. Lisäksi lyhyen aikavälin tavoitteena on palautekanavien organisointi ja aktivointi. Keskipitkän aikavälin tavoitteena on vaihteenlämmitysten käytön optimointi.

Tunnistettuja riskejä täytyy tarkentaa varsinaisen työn alkaessa. Riskit on syytä jakaa osiin ja tarkastella, miten niitä voidaan hallita tai jopa poistaa. Suosituksena on riskien läpikäyminen infran haltijan ja rautatieoperaattorin kesken.

Lähteet

Bowersox, D. & Closs, D. 1996. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. McGraw-Hill, USA.

Cubris 2013. Greenspeed - Driver Advisory System Plus Punctuality and energy savings. Kööpenhamina. 9-10.1.2013. Cubris Oy. Seminaariesitys.

Iikkanen, P. 2013. Rautatieliikenteen kustannusmallit. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2013. Viitattu: 16.5.2013.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2013-15_rautatieliikenteen_kustannusmallit_web.pdf

Green Car Congress. 2005. Italian Trains with Solar-Power Boost. 22.10.2005. Viitattu: 25.5.2013. http://www.greencarcongress.com/2005/10/italian_trains_.html

Hokkanen, S., Karhunen, J. & Luukkainen, M. 2004. Logistisen ajattelun perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Lipasto/Raili. 2008. VTT. Lipasto - liikenteen päästöt. Viitattu 15.5.2013.

<http://lipasto.vtt.fi/raili/railio8.htm>

Lipasto/Raili. 2011. Tutkimusraportti 2011. VTT. Lipasto - liikenteen päästöt. Viitattu 26.8.2013. <http://lipasto.vtt.fi/raili/raili2011raportti.pdf>

Mehta, F., Roßiger, C. & Montigel, M. 2010. Latent Energy Savings Due to the Innovative Use of advisory Speeds to Avoid Occupation Conflicts. *Computers in Railways XII. Computer System Design and Operation in Railways and Other Transit Systems. WIT Transactions on The Built Environment, Vol 114*. WIT Press. ISSN 1743-3509 (online).

Montigel M. 2009. Operations control system in the Lötschberg Base Tunnel. Reprint from RTR, 2/2009. DVV Media Group GmbH, Eurailpress, Hamburg.

Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20. Ympäristö ja rautatiealueet. Liikenneviraston ohjeita 18 / 2012 Helsinki: Liikennevirasto.

Rautatieliikenteen täsmällisyys vuonna 2011. 2012. Rautatieliikenteen täsmällisyys 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 16/2012 Helsinki: Liikennevirasto. Viitattu: 25.5.2013. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-16_rautatieliikenteen_tasmallisyys_web.pdf

Rautateiden verkkoselostus vuodelle 2013. 2011. Rautateiden verkkoselostus 2013. Liikenneviraston väylätietoja 2/2011. Kuopio: Kopijyvä Oy. Viitattu: 25.2.2013. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lv_2011-02_rautateiden_verkkoselostus_web.pdf

Schmaltz J., MODIS Rapid Response Team & NASA/GSFC. 31.8.2004. Viitattu: 30.5.2013. <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=71880>

Tapola, P. 2013. Ylitarkastaja, järjestelmäasiantuntija. Liikennevirasto. Sähköposti 20.8.2013.

Transrail 2005. CATO – JIT Operation and Eco-Driving by Transrail. Nordic Rail / Future Transport 11.10.05. Transrail Sweden AB. Esitys.

UIC - International Union of Railways. 2003. Energy efficiency strategies for rolling stock and train operation. Viitattu:25.5.2013.

<http://www.railway-energy.org/static/EnergyEfficiencyTech.pdf>

International Union of Railways (UIC) 2008, Emission reduction guidelines.

Vahtera M. 2011. Suomen rautatieliikenteen vetokalusto- Kalustotuntemus. Seminaarityö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Forssa. 2011.

EcoDrive-toiminnallisuuden etenemispolut

Aikaväli	Osa-alue					
	EcoDrive-toiminnallisuus	Liikenteenohjaus	Kuljettajat	Aikataulusuunnittelu / Ratakapasiteetin jakaminen	Ratainfra	Muut
Vastuu	<i>Liikennevirasto, Rautatieyrittäjä</i>	<i>Liikennevirasto ja liikenteenohjaus</i>	<i>Rautatieyrittäjä</i>	<i>Rautatieyrittäjä, Liikennevirasto</i>	<i>Liikennevirasto</i>	<i>Liikennevirasto ja liikenteenohjaus, Rautatieyrittäjä</i>
Lyhyt (1-3 vuotta)	<i>Staattisen mallin kehittäminen</i>	Yhteisen toimintamallin kehittäminen rautatieyrittäjän (kuljettajat) kanssa	Yhteisen toimintamallin kehittäminen Liikenneviraston ja liikenteenohjauksen kanssa	Junien toteutuneiden aikataulujen seuranta	Nopeusrajoituksista johtuvien liikenteen sujuvuuden häiriöpaikkojen selvittäminen	Toimijoiden roolituksen kehittäminen tulevaisuutta ajatellen
	Staattisen mallin tarvitsemat osatekijät: - junatyyppi - junapaino - energiankulutus eri kuormituksilla - ratainfra - nopeus - aikataulu	Yhteisen toimintamallin ja Eco Drive toiminnallisuuden kouluttaminen	Yhteisen toimintamallin ja Eco Drive toiminnallisuuden kouluttaminen	Junien aikataulujen kehittäminen toteutuneiden aikataulujen perusteella		Lippujen hinnoittelu energiatehokkuuden apuna (toiminnassa jo nyt)
		Reaaliaikaisen liikenteenohjauksen prioriteettisääntöjen yhdenmukaistaminen ratakapasiteettijako-prosessin kanssa	Palautteen anto juna-aikataulujen toteutumisesta suunnittelulle	Ratakapasiteettijako-prosessin prioriteettisääntöjen yhdenmukaistaminen reaaliaikaisen liikenteenohjauksen kanssa		Palauttekanavien organisointi ja aktivointi
		Palautteen antaminen juna-aikataulujen toteutumisesta suunnittelulle				
		Tavarajunien linjallejäämisen ehkäiseminen (ratainfraalla olevissa jyrkissä nousuissa): liikenteenohjauksen junakohtaisten ohjeiden päivittäminen				
Keskipitkä (3-5 vuotta)	<i>Dynaamisen mallin kehittäminen</i>	Dynaamisen mallin testaus ja käytön opettelu	Dynaamisen mallin testaus ja käytön opettelu	Palauttekanavan kehittäminen		Vaihteenlämmitysten käytön optimoiminen
	Dynaamisen mallin tarvitsemat osatekijät: - junatyyppi - junapaino - energiankulutus eri kuormituksilla - ratainfra - nopeus - aikataulu - opastimien paikat - tavarajunien nousuihin jäämisen todennäköisyys - kapasiteettirajoitteet	Yhteisen toimintamallin jatkokehitys	Yhteisen toimintamallin jatkokehitys	Eco Drive -toiminnallisuuden simulointimahdollisuus		
	Energiankulutuksen vaikutuksen kehittäminen kannustimena	Liikenteellisen päätöksenteon vaikutusten arviointikriteerien kehittäminen	Energiatohokkaan ajotavan vaikutusten arviointikriteerien kehittäminen			
Pitkä (yli 5 vuotta)	<i>Dynaamisen mallin jatkokehitys</i>	Eco Drive-toiminnallisuuden palautekanavan kehittäminen	Eco Drive-toiminnallisuuden palautekanavan kehittäminen	Eco Drive-toiminnallisuuden palautekanavan kehittäminen	Rataprofiilien tarkistus ja muokkaaminen tarvittaessa (määräraha-riippuvainen)	
	Eco Drive-toiminnallisuuden simulointimahdollisuus					

