



Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne

TransSmart-kärkiohjelman loppuraportti

Nils-Olof Nylund | Juho Kostainen |
TransSmart-ydintiimi



Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne

TransSmart-kärkiohjelman loppuraportti

Nils-Olof Nylund, Juho Kostainen & TransSmart-ydintiimi



ISBN 978-951-38-8628-8 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

VTT Technology 325

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8628-8>

Copyright © VTT 2017

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Alkusanat

VTT:n käynnistämä TransSmart-tutkimusohjelma toimi älykkään vähähiilisen liikenteen kehitysalustana. Ohjelma kokosi laajasti yhteen alueen toimijat, ministeriöt, virastot, kuntasektorin, yritykset, toimialajärjestöt ja tutkijat.

Ohjelma käynnistyi varsinaisesti loppuvuodesta 2013, ja ohjelman päättöseminaari järjestettiin Finlandia-talossa Helsingissä 16.2.2017. Käsillä oleva raportti on ohjelman loppuraportti, joka esittelee ohjelman keskeiset tulokset ja tulosten suhteen ohjelmalle asetettuihin tavoitteisiin.

TransSmartin käytännön ohjauksesta vastasi laaja-alainen ohjausryhmä, jonka puheenjohtajana toimi liikenneneuvos Saara Jääskeläinen liikenne- ja vietikenttämisteriöstä. Vuoden 2014 lopulla muodostetun strategisen vaikuttajaryhmän puheenjohtajana toimi Helsingin seudun liikenteen HSL:n toimitusjohtaja Suvi Rihtniemi.

Espoo 28.12.2017

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	3
1. TransSmart-ohjelma lyhyesti	5
2. Hankekokonaisuudet ja vaikuttavuus	9
2.1 Yleistä	9
2.2 TransSmart-ohjelman hyödyntäjäarvointi	10
2.3 Päätöksenteon ja kilpailutuksen tuki	13
2.3.1 Yleistä	13
2.3.2 Liikenteen päästöjen vähentäminen vuoteen 2030	14
2.3.3 Joukkoliikenteen kilpailutuksen tuki (case HSL).....	20
2.4 Ekosysteemit	22
2.4.1 Yleistä	22
2.4.2 Sähköbussijärjestelmät (ePELI)	23
2.4.3 Business ecosystems and platforms for innovations (BECSI).....	26
2.4.4 Finnish Road Weather Excellence (FIRWE)	27
2.5 Kansalliset ja kansainväliset yhteistoimintahankkeet	28
2.5.1 Tutkijatahojen verkottuminen ja yhteistyö julkistahojen ja yritysten kanssa (case Living Lab Bus 2015–2019)	29
2.5.2 Toisiaan täydentävät kompetenssit: Case TTY:n ja VTT:n moottorijarrutushiukkastutkimukset Trafín rahoituksella.....	30
2.5.3 Yhteistoiminta biopolttoaineissa	32
2.5.4 Automaattiajaminen ja C-ITS (EU-projektien kotiuttaminen)	35
2.5.5 IEA-yhteistyö liikennepolttoaineissa	36
2.6 Edistyksellinen anturitekniikka turvallisen ja tehokkaan liikenteen palveluksessa	43
2.6.1 Moottori ja sen anturointi	44
2.6.2 Kevyen liikenteen havainnointi	45
2.6.3 Ajoneuvon ympäristön havainnointi	46
2.6.4 Digitaaliset palvelut	48
2.7 Tieteellisen kompetenssin kehittäminen	49
2.7.1 Yleistä	49
2.7.2 Yhteenveto TransSmartin puitteissa tehdyistä tieteellisistä julkaisuista	49
2.7.3 Esimerkkejä TransSmart-julkaisujen avulla saaduista tieteellisistä saavutuksista ja aihealueen kompetenssin lisääntymisestä.....	51
2.8 Kokeellisen tutkimuksen infrastruktuuri (tutkimusympäristöt).....	52
2.8.1 Yleistä	52
2.8.2 Polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen mittausvalmiudet.....	52
2.8.3 Sähköisten voimalinjojen tutkimusympäristö.....	53
2.8.4 Automaattisen ajamisen tutkimusympäristö.....	55
3. TransSmartin liikennevisio ja sen toteutuminen	58
3.1 Liikenteen ja liikkumisen palvelullistuminen.....	58
3.2 Liikenteen uusiutuvat polttoaineet	59
3.3 Liikenteen sähköistys	63
4. Yhteenveto	65
Liitteet	
Liite A: Transmartin puitteissa tuotettuja julkaisuja teemoittain	

1. TransSmart-ohjelma lyhyesti

TransSmart, Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne, oli vuoden 2013 alussa käynnistynyt nelivuotinen (2013–2016) VTT:n strategisen tutkimuksen kärkiohjelma. Sen tarkoituksena oli toimia sujuvan, kustannustehokkaan ja ympäristöystävällisen liikennejärjestelmän kehitysalustana kokoamalla yhteen eri tutkimusosapuolten liikennesektoria käsittelevää osaamista ja tutkimusta. Vastaavaa, liikennesektorin eri toimijoita yhdistävää alustaa ja toimintamallia ei ollut olemassa.

Ohjelmassa käsiteltyjä teemoja olivat mm. vähähiilinen energia, puhtaat ja energiatehokkaat ajoneuvot ja älykkäät liikennepalvelut sekä näitä tukevat tehokkaat ICT-ratkaisut. Tutkimuksen rinnalla toteutettiin erilaisia käyttöönottoon tähtääviä demonstraatiohankkeita. Toimintaa täydensivät ennakointi- ja arviointitoiminta liikennejärjestelmän sosioteknistä muutoksesta kohti kestävästä kehitystä ja arviot uuden liiketoiminnan syntymahdollisuuksista.

TransSmart-ohjelman ensimmäinen päätavoite oli kehittää ja viedä käytäntöön liikenteen teknologioita ja palveluita, jotka minimoivat sekä kustannukset että ympäristöhaitat.

Toisena päätavoitteena oli uuden vähähiiliseen ja älykkääseen liikenteeseen liittyvän liiketoiminnan kehittäminen yhdessä suomalaisten toimijoiden kanssa. Paras esimerkki tästä lienee kotimaisen sähköbussivalmistajan Linkkerin syntyminen TransSmart-ohjelman siipien suojassa.

Kolmantena ohjelman tavoitteena oli tuottaa päätöksentekoa tukevaa tietoa ja työkaluja liikennejärjestelmän systeemisen muutoksen aikaansaamiseksi, suuntaamiseksi ja vaikutusten arvioimiseksi. TransSmartin tuottamaa taustatietoa on hyödynnetty mm. marraskuussa 2016 julkaistussa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030¹ ja Ilmastopolitiikan suunnitelmassa vuoteen 2030² (KAISU).

TransSmart-ohjelma pyrki yhteiskunnallisesti vaikuttavaan toimintaan erityisesti liikenne- ja viestintäministeriön sekä työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalojen tutkimusalueilla.

TransSmart-kärkiohjelma rakentui neljästä teemasta (**Kuva 1.1**), jotka olivat: 1) Vähähiilinen energia, 2) Edistykselliset ajoneuvot, 3) Älykkäät liikennepalvelut ja 4) Kestävä liikennejärjestelmä. Megatrendien ja liiketoimintamahdollisuuksien tunnistaminen, päätöksentekoa tukeva tutkimus sekä osaamisen kasvattaminen muodostivat yhteisen perustan ja tukipilarin ohjelmateemoissa tehtävälle tutkimukselle.

TransSmartin taustat, rakenne ja toimijat esiteltiin tarkemmin TransSmart vuosiraportissa 2013–2014³. Ohjelman ulkoisesta viestinnästä vastasi Motiva Oy. Ohjelman verkkosivuilta (www.transsmart.fi, **Kuva 1.2**) löytyy mm. aihealueeseen liittyvää taustatietoa, tietoa ohjelmaan linkitetyistä hankkeista, uutiskirjeitä ja raporttiarkisto.

Kokonaisuutta ja siihen liittyviä hankkeita ovat olleet mukana toteuttamassa VTT:n lisäksi mm. seuraavat tutkimusosapuolet:

- Aalto-yliopiston insinööritieteiden korkeakoulu
- Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
- Metropolia-ammattikorkeakoulu
- Suomen ympäristökeskus (SYKE)

¹ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1

² http://valtioneuvosto.fi/artikkeli/-/asset_publisher/10616/ilmastosuunnitelmalla-kohti-kestavaa-vahahiilista-yhteiskuntaa

³ http://www.transsmart.fi/files/300/Alykas_ja_vahahiilista_energiaa_kayttava_liikenne_TransSmart_Vuosi-raportti_2013-2014.pdf

- Tampereen teknillinen yliopisto
- Tampereen yliopisto
- Turun ammattikorkeakoulu
- Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT)

TRANSSMART SISÄLTÖ JA TEEMAT



Kuva 1.1. TransSmartin sisältö ja teemat.



trans

ÄLYKÄS JA VÄHÄHIILISTÄ ENERGIAA
KÄYTTÄVÄ LIIKENNE

Fintrip TransEco

In English Intranet



<p>Tiedotteet</p> <p>29.11.2016 Hyviä tuloksia UPM:n puupohjaisen dieselin käytöstä bussiliikenteessä Lue lisää...</p> <p>7.6.2016 Teknologiateollisuus: Polttomoottoreiden kysyntä kasvaa vaihtoehtoisten polttoaineiden myötä Lue lisää...</p> <p>26.5.2016 VTT: Pohjoismaiset tutkijat ja IEA: Liikenne, teollisuus ja joustavuus suurimmat haasteet hiilineutraalin pohjoismaisen energijärjestelmän saavuttamisessa Lue lisää...</p> <p>Lisää tiedotteita</p>	<p>Juuri nyt!</p> <p>1.6.2017 IEA-AMF – AMFI Newsletter 1/2017 julkaistu Lue lisää...</p> <p>10.4.2017 Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030 Lue lisää...</p> <p>17.2.2017 TransSmart-loppuseminaarin esitykset Lue lisää...</p> <p>3.1.2017 IEA-AMF – AMFI Newsletter 4/2016 julkaistu Lue lisää...</p> <p>Lisää ajankohtaisia</p>
--	---

Kuva 1.2. TransSmartin verkkosivusto (www.transsmart.fi).

TransSmart ei ole, ohjelman koordinaatiohanketta lukuun ottamatta, varsinaisesti rahoittanut tutkimus- ja demonstraatiohankkeita, vaan hankkeiden rahoitus on tullut innovaatorahoituskeskus Tekesistä, ministeriöltä, virastoilta, yrityksiltä ja Euroopan unionilta. TransSmart on tarjonnut yhteistoiminta-alustan tiedonvaihtoon, tiedon koontiin, viestintään ja toiminnan suuntaamiseen.

Hiilineutraaliteen, resurssitehokkuuteen, palveluistumiseen ja automaatioon liittyvien tavoitteiden saavuttaminen vaatii suuria systeemisiä muutoksia, transiitioita, joiden hallintaan tarvitaan erityistä poikkiteollista T&K-panostusta. Kehittyvä teknologia tarjoaa monia vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia tavoitteiden saavuttamiseksi. Mahdollisuuksien hyödyntämiseksi tarvitaan teknologisten edistysaskelten ja uusien palvelumallien lisäksi muutosta myös muilla osa-alueilla, kuten liikennejärjestelmän loppukäyttäjien arvoissa ja asenteissa, yritysten liiketoimintamalleissa sekä julkishallinnon toimintalinjoissa. Erityisen tärkeää on yhteistyö eri toimijoiden kesken eli niin sanottu PPPP-yhteistyö (public-private-people partnership).

TransSmart ohjelman suunnitteluun ja -linjaukseen liittyen tuotettiin kolme julkaisua:

- TransSmart-kärkiohjelman visio ja tiekartta: Älykäs, vähähiilinen liikennejärjestelmä 2030⁴ (2013)
- Englanninkielinen visiojulkaisu "Smart sustainable mobility. A user-friendly transport system is a combination of intelligence, low carbon energy, and adaptable services⁵ (2014)
- TransSmart-tiekartta II⁶ (2015).

⁴ http://www.transsmart.fi/files/79/TransSmart-karkiohjelman_visio_ja_tiekartta_Alykas_ja_vahahiilinen_liikennejarjestelma_2030.pdf

⁵ <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2014/V5.pdf>

⁶ http://www.transsmart.fi/files/328/TransSmart-tiekartta_II.pdf

Vuoden 2015 tiekartassa tarkistettu visio muotoiltiin seuraavasti tiekartan päivityksessä (**Kuva 1.3**):



Kuva 1.3. TransSmart-tutkimusohjelman visio.

Heinäkuussa 2016 Euroopan komissio julkaisi strategian vähäpäästöisestä liikenteestä⁷. Strategiassa on kolme pääkohtaa:

1. Liikennejärjestelmän tehokkuuden parantaminen hyödyntämällä digitalisaatiota maksimaalisesti, käyttämällä älykästä hinnoittelua ja siirtymällä vähäpäästöisempiin liikkumis- ja kuljetusmuotoihin
2. Liikenteen vaihtoehtoisten ja vähäpäästöisten energiamuotojen käyttöönoton nopeuttaminen, esimerkiksi kehittyneet biopolttoaineet, sähkö, vety ja synteettiset uusiutuvat polttoaineet, lisäksi esteet liikenteen sähköistämiseksi tulisi poistaa
3. Siirtyminen kohti nollapäästöisiä autoja, esimerkiksi lataushybridit, täyssähköautot ja polttokennoautot.

On palkitsevaa huomata, että komission tuoreet linjaukset ovat pitkälti yhteneväisiä TransSmartin strategioiden ja toiminnan kanssa.

1. Liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen
2. Ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen
3. Fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja/tai vähäpäästöisillä vaihtoehtoilta.

⁷ http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/news/2016-07-20-decarbonisation_en.htm

2. Hankekokonaisuuudet ja vaikuttavuus

2.1 Yleistä

Seuraavassa esitetään TransSmartin tuloksia eri aihealueisiin ja näkökulmiin pureutuvien hankekokonaisuuus-esimerkkien kautta. Lisäksi esitetään ohjelmasta tehty hyödyntäjäarviointi. Luvussa 3 puolestaan tarkastellaan, miten toteutunut TransSmart-toiminta suhtautuu visio-julkaisuun kirjattuihin haasteisiin ja tavoitteisiin.

Tämä katsaus ei kata kaikkia TransSmart-hankkeita, mutta ohjelman verkkosivuilta löytyy täydellisempi listaus hankkeista lyhyine kuvauksineen. Jo valmistuneiden hankkeiden tai osatehtävien raportit löytyvät niin ikään TransSmart-verkkosivuilta, osoitteesta: <http://www.transsmart.fi/julkaisut>.

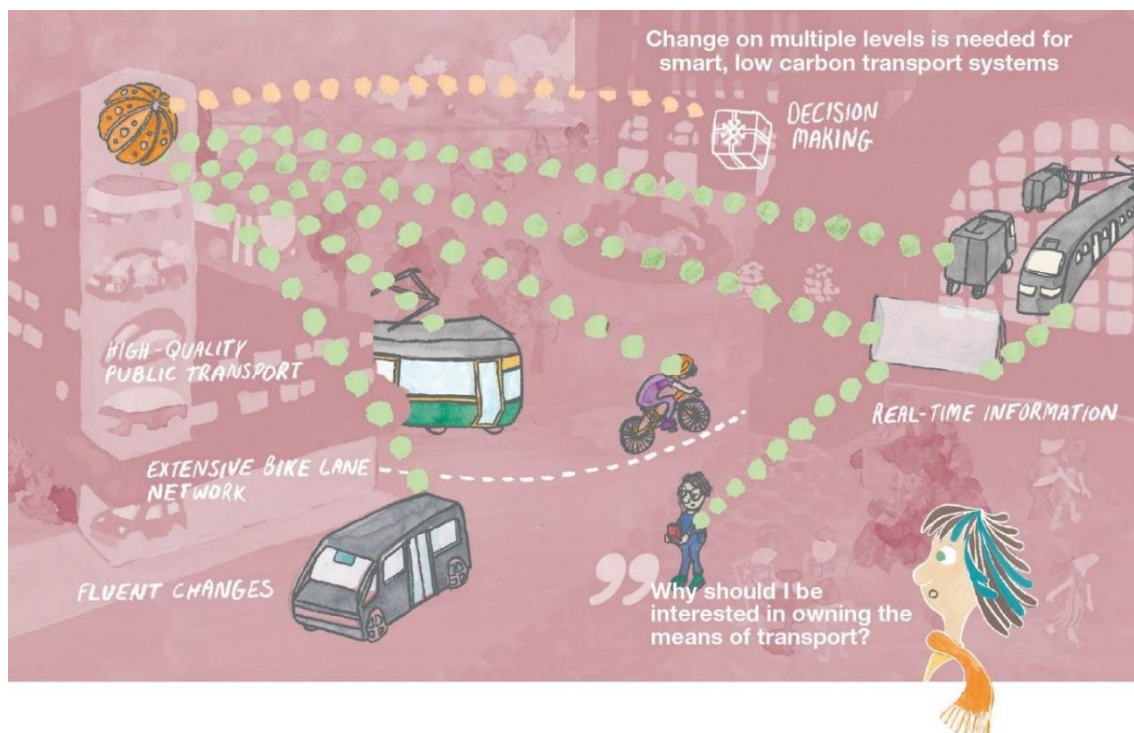
Ohjelman päättöseminaari pidettiin Finlandia-talossa Helsingissä 16.2.2017. Tilaisuuteen osallistui yhteensä 290 liikennealan asiantuntijaa. Seminaarin esityksen on tallennettu ohjelman portaaliin osoitteeseen: http://www.transsmart.fi/ajankohtaista/seminaariaineistot/transsmart-loppuseminaari_16.02.2017

Seminaarin ohjelma tarjosi hyvän läpileikkauksen TransSmart-toimintaan. Esillä olivat mm.:

- Liikenteen päästöjen vähentämisstrategiat Suomessa ja Ruotsissa
- Kansainvälinen yhteistyö
- Tutkimuslaitosten välinen yhteistyö
- Älykäs, palveleva älykäs ja vähähiilinen joukkoliikenne
- Biopolttoaineet
- Sähköajoneuvot
- Liikenteen uudet palvelut ja digitalisaatio
- Automaattiajoneuvot.

TransSmartin tavoitteena oli auttaa ohjaamaan koko liikennejärjestelmää kestävä kehityksen tielle sekä mahdollistaa uuden liiketoiminnan syntymistä ja suunnata t&k-toimintaa sen mukaisesti. Yksittäiset toimenpiteet, kuten pelkkä ajoneuvojen ja polttoaineiden kehittäminen, eivät yksinään riitä suuren muutoksen saavuttamiseksi, vaan lisäksi tarvitaan parannuksia ja muutoksia kokonaisjärjestelmässä, tietotekniikan tehokkaampaa hyödyntämistä, yhteen toimivia matkustus- ja logistiikkaketjuja, parempia toimintatapoja sekä yksittäisten ihmisten ja yhteisöjen käyttäytymisen ja valintojen ymmärtämistä sekä niihin vaikuttamista. TransSmartin alkuvaiheessa luotiin yhtenäistä näkemystä sekä tiekarttaa eri tutkimusteemojen kehityssuuntien tunnistamiseksi ja niiden välisten synergoiden löytämiseksi.

Yksi keskeinen toimialue, jonka ympärille tässä tunnistettiin (kansallisia ja kansainvälisiä) ajureita, markkinatekijöitä sekä TransSmartin neljän teeman vastaavuutta ja synergioita oli *”Älykkään kaupungin joukkoliikenne” (Kuva 2.1)*. Siihen liittyen TransSmartin aikajänteellä vaikuttavia keskeisiä ajureita olivat mm. tavoitteet liittyen lähi- ja CO₂-päästöjen vähennyksiin ja uusiutuvan energian käyttöön, joihin liittyvinä markkinatekijöinä nähtiin mm. (joukko)liikennepalvelun tuottajien sekä kuntien ja kuntayhtymien (joukko)liikennesuunnittelun kehitys.



Kuva 2.1. Älykkään kaupunkiliikenteen elementtejä.

Aikajaksolla 3–5 vuotta keskeisiä tunnistettuja teemoja olivat mm. biopolttoaineiden käyttö, sähköistyminen ja digitalisoituminen, infran hallinta, avoimen datan hyödyntäminen, liikkujan palvelut ja linkittyminen paitsi ajoneuvoihin myös muuhun järjestelmään. Joukkoliikenteen keskeinen toimija, Helsingin seudun liikenne (HSL) ja TransSmart (VTT) solmivatkin vuonna 2013 nelivuotisen puitesopimuksen älykkään vähähiilisen joukkoliikenteen tutkimuksesta.

Ajureiden ja liikennemarkkinan kehityksen osalta suuntaukset ovat pysyneet entisellään ja vieläpä voimistuneet. Päästövähennystavoitteet ovat TransSmartin aikana tiukentuneet entisestään ja palveluympäristön sekä liikennepalveluiden tuottajien ja datan avoimuuden näkökulmasta liikenne- ja viestintäministeriön esitys uudeksi liikennepalvelulaksi ("Liikennekaari") ajaa muutosta kohti entistä palvelullisempaa sekä markkinaehtoisempaa järjestelmää, kohti tiekartassa pitemmälle ennakoitua monipalvelumallia ja uutta liiketoimintaa.

Näihin vastaavia teknologioita, palveluita ja liikennejärjestelmäspecteja arvioitiin olevan CO₂-vapaa käyttövoima ja puhtaan teknologian edelläkävijyys julkisissa hankinnoissa, erilaiset palveluiden toteutussovellukset sekä kokonaisvaltainen palveluympäristö, joka mahdollistaa jatkossa liikkujien palveluiden, tietovirtojen saatavuuden ja automaation kehittymistä ja yhteistoimintaa. Seuraavaksi esitellään tähän liittyviä esimerkkejä TransSmartin aikaisista tuloksista ja toimenpiteistä.

2.2 TransSmart-ohjelman hyödyntäjäarvointi

Ohjelman koordinaatio tilasi syksyllä 2015 Aalto-yliopiston kauppakorkeakoululta (johtamisen laitos) TransSmart-ohjelman hyödyntäjäarvioinnin. Arvioinnin tavoitteeksi määriteltiin ohjelman toteutuksen tukeminen niin, että se saavuttaa tavoitteensa, jotka on kirjattu ohjelman verkkosivulle ja ohjelmaesitteeseen. Arviointi painottui ohjelman ympäristötavoitteisiin ja cleantech-toimintaan, mutta liikennejärjestelmän ja älyliikenteen osuutta tarkasteltiin yleisellä tasolla. Arviointi toteutettiin ohjelman ohjausryhmän itsearviointina käyttäen

menetelmänä haastatteluja, jotka perustuivat yhtenäiseen runkoon, mutta toteutettiin vapaamuotoisesti keskustellen. Haastateltavat valittiin edustamaan mahdollisimman erilaisia tahoja ja pääasiassa ohjausryhmän aktiivisia jäseniä. Ohjelman johtajaa ja Motiva Oy:n viestintäpäällikköä haastateltiin taustatiedon saamiseksi.

Hyödyt

TransSmart-ohjelma koettiin kokonaisuutena hyödylliseksi. Kaikki haastateltavat olivat tästä yksimielisiä. Ohjelman tutkimuksista saa hyvän kokonaiskuvan vähäpäästöisen liikenteen kokonaiskehityksestä. Lisäksi haastateltavat kokivat saaneensa tarpeellista faktatietoa päätöksenteon ja edunvalvonnan tueksi. Monet haastateltavat olivat lisäksi käyttäneet erikseen VTT:n asiantuntijapalveluita. Nämä työt on joko määritelty kuuluvan TransSmart-ohjelman piiriin tai ne ovat erillisiä tilaustöitä. Näitä ovat esimerkiksi ajoneuvojen päästömittaukset ja erilaiset selvitykset ja raportit erilliskysymyksistä.

Eräs tuolloin ajankohtainen ja monen haastateltavan hyödylliseksi mainitsema erillisraportti oli Työ- ja elinkeinoministeriön rahoittama VTT:n ja Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen (VATT) tutkimusraportti ”Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset”⁸. Raportti herätti kuitenkin myös keskustelua joidenkin johtopäätöstensä osalta.

Erityisen hyvin ohjelman tavoitetta uuden liiketoiminnan synnyttämisestä oli haastateltavien mukaan edistänyt sähköbussihankekokonaisuus, jonka spin-offina on syntynyt suomalainen sähköbussiyhtiö Linkker. Myös kansainvälisiä yhteyksiä pidettiin hyödyllisinä. Osallistuminen esimerkiksi kansainvälisen energijärjestön IEA:n teknologiaohjelmiin on tärkeä kanava edistää suomalaisten toisen sukupolven biopolttoaineiden kansainvälistä näkyvyyttä. Ohjausryhmän kokoukset koettiin hyödyllisiksi, mikä näkyy myös niiden hyvänä osallistumisaktiivisuutena.

Viestinnän keinoista haastateltavat pitivät erityisen hyödyllisinä hyvin järjestettyjä ja kiinnostavia seminaareja sekä vuosiraportteja. Lisäksi joistakin erillisraporteista on tullut haastateltaville käsikirjan omaisia faktatiedon lähteitä.

Todettuja kehittämistarpeita

Jotkut ohjausryhmän jäsenet kaipasivat entistä selkeämpää ohjelman ohjaustehtävää ryhmälle. Ohjausryhmällä ei käytännössä ollut päätäntävaltaa koskien suurinta osaa osahankkeista. TransSmart-ohjelma oli enemmän VTT-keskeinen kuin sen edeltäjä TransEco-ohjelma. VTT:n oli vaikeampi saada tutkimuspartnereita ohjelmaan, koska ohjausryhmän päätäntävallassa ollut rahoitus oli aikaisempaa tutkimusvaihetta pienempi. Näin ohjelman merkitys monenlaisten osaamisten yhdistäjänä on jäänyt aiottua pienemmäksi.

Ajoneuvojen päästöjen vähentämiseen liittyvän tutkimuksen ja älyliikennetutkimuksen yhdistäminen laajaksi kokonaisuudeksi ohjelman tavoitteiden mukaisesti ei ole vielä onnistunut kovin hyvin. 11.11.2015 järjestetty älyliikenteeseen keskittyvä vuosiseminaari korjasi vähän tätä ongelmaa. Liikenteen hallinnonalan tutkimusrahoitusta ohjataan kuitenkin melko paljon älyliikennehankkeisiin, mutta tämä ei tapahdu TransSmartin puitteissa.

Reagointi palautteeseen

Keväällä 2016 VTT käynnisti TransDigi-yhteistoiminta-alustan valmistelun. Ajatus on TransSmart-mallin mukaisesti jatkaa eri liikennealan toimijoiden yhteistyötä. TransSmart-hyödyntäjäarvioinnin perusteella TransDigissä älyliikenteelle ja liikenteen digitalisaatiolle on annettu aikaisempaa vahvempi asema. Tutkimuslaitosyhteistyötä vahvistetaan ottamalla koordinaatioon mukaan kymmenkunta tutkimusosapuolta. TransDigistä tehtiin käynnistyspäätös syyskuussa 2017. TransDigiin on suunniteltu kolmea teemaryhmää (Kuva 2.2):

⁸ http://www.transmart.fi/files/297/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipaaastojen_vahentaminen_vuoteen_2030_Kayttovoi-mavaihtoehdot_ja_niiden_kansantaloudelliset_vaikutukset._VTT-R-00752-15.pdf

1. Älykäs infrastruktuuri
2. Informaatio- ja liikkumispalvelut
3. Energia ja ajoneuvot.

Kuvan keskiympyrässä luetellut teemat ovat leikkaavia kaikille teemoille.



TRANSDIGI: TEEMARYHMÄT JA NIIDEN AIHEALUEITA



Kuva 2.2. Suunnitteluvaiheessa olevan TransDigi-yhteistoiminta-alustan rakenne.

TransSmartin hyväksi todettu toimintamalli saa jatkoa uudessa TransDigi yhteistoiminta-alustassa.

Älyliikenteelle ja liikenteen digitalisaatiolle annetaan aikaisempaa vahvempi asema.

Tutkimuslaitosyhteistyötä vahvistetaan ottamalla koordinaatioon mukaan kymmenkunta tutkimusosapuolta.

2.3 Päätöksenteon ja kilpailutuksen tuki

2.3.1 Yleistä

Liikenteen päästöjä, energian käyttöä ja liikennevälineiden teknisiä ominaisuuksia säädelään niin EU-tasoin kuin kansallisin määräyksin.

EU-tasoisia linjauksia ja säädöksiä ovat mm.:

- direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä⁹
 - direktiivin päivitys käynnissä
- direktiivi 2009/30/EY bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimuksista¹⁰
- EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapaketti¹¹
 - ei sisällä vuoden 2020 paketin tavoin sitovaa tavoitetta liikenteen uusiutuvalla energialle
- ajoneuvojen haitallisia pakokaasupäästöjä ja hiilidioksidipäästöjä koskevat säännökset
- ns. 2016 kesäpaketti, sisältäen edellä mainitun vähäpäästöisen liikenteen strategian lisäksi mm. jäsenmaakohtaiset ehdotukset taakanjaksi ei-päästökaupparektorilla¹²
 - Suomelle esitetään 39 %:n vähennystä kasvihuonekaasupäästöihin vuoteen 2030 vertailuvuoden ollessa 2005.

Luvussa 1 mainitussa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 todetaan liikenteen osalta mm.:

- Tehdään koko liikennejärjestelmästä pitkällä aikavälillä erittäin vähäpäästöinen. Liikenteen päästöjä vähennetään vuoteen 2030 mennessä noin 50 prosenttia verrattuna vuoden 2005 tilanteeseen. Päästövähennystoimenpiteet kohdistetaan erityisesti tieliikenteeseen, jossa päästövähennyspotentiaali on suurin.
- Liikennesektorilla siirrytään nykyisestä itsepalvelumarkkinasta palvelumarkkinoille. Tavoitteena on ”liikenne palveluna” -toimintatapaa edistämällä, että henkilöautolla yksin ajettavien matkojen määrä vähenee ja että henkilöautosuoritteiden kasvu kaupunkiseuduilla pysähtyy väestönkasvusta huolimatta.
- Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.
- Tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetäytöt ja ladattavat hybridit) ja vähintään 50 000 kaasukäyttöistä autoa.

Useissa TransSmartiin liittyvissä hankkeissa sekä TransSmartin julkiselle sektorille suunnatussa helpdesk-palvelussa on tuotettu taustadataa päästöinventarioihin, strategiaihin ja myös liikenteen verotuksen kehityshankkeisiin. Esimerkkeinä esitellään selvitykset liikenteen päästöjen vähentämisestä vuoteen 2030 (taustatyötä kansallisiin strategiaihin) ja joukkoliikenteen kilpailutusmenetelmien kehittäminen.

⁹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=FI>

¹⁰ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0030&from=FI>

¹¹ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fi

¹² http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-2545_en.htm

2.3.2 Liikenteen päästöjen vähentäminen vuoteen 2030

Mikä

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeinoja ja niiden kustannusvaikutuksia käsitelleistä hankkeista esitellään kaksi:

1. Liikenteen energiatehokkuustoimenpiteet osana EU:n 2030 ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamista: vaikutukset, kustannukset ja työnjako¹³
2. Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset^{14,15}.

Ensin mainittu hanke toteutettiin osana valtioneuvoston kanslian päätöksentekoa tukevaa selvitys- ja tutkimustoimintaa. Tämä hanke selvitti mm. joukkoliikenteen, kävelyn, pyöräilyn sekä yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvien toimenpiteiden vaikutuksia. Toinen, työ- ja elinkeinoministeriön, liikenne- ja viestintäministeriön ja VTT:n rahoittama hanke keskittyi ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollistamiin päästövähennyksiin. Molemmat hankkeet raportoitiin vuonna 2015. Toisesta hankkeesta tehtiin lisäksi kesäkuussa 2017 julkaistu päivitys.

Miksi

Komissio julkisti esityksen maakohtaisista ei-päästökauppasektorin päästövähennyksistä (taakanjaosta) heinäkuussa 2016. Ehdotuksessa Suomelle esitetään peräti 39 %:n päästövähennystä. Ennakoarvioiden mukaan päästövähennystavoite olisi luokkaa 35 %. Hankkeiden tehtäväksiannoissa tutkijoille annettiin tehtäväksi selvittää, miten liikenteessä saavutettaisiin 40 %:n päästövähennys vuoteen 2030 mennessä.

Referenssivuonna 2005 koko liikennesektorin hiilidioksidipäästöt (CO₂) olivat n. 12,9 miljoonaa tonnia ja tieliikenteen päästöt n. 11,9 miljoonaa tonnia.

Hanke 1 selvitti ensisijaisesti ”pehmeiden” toimenpiteiden vaikutuksia. Hankkeessa 2 liikennesuorite otettiin annettuna suureena, ja päästövähennyksiä tarkasteltiin ajoneuvotekniikan ja vaihtoehtoisten polttoainesten kannalta.

Ketkä

Hankkeen 1 toteuttivat VTT, JT-Con Oy, Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen ympäristökeskus SYKE. Tutkimus tehtiin osana valtioneuvoston kanslian päätöksentekoa tukevaa selvitys- ja tutkimustoimintaa. Hankkeen 2 toteuttivat VTT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT ja Pöry Management Consulting Oy. Alkuperäisen, vuonna 2015 raportoidun hankkeen rahoittavat työ- ja elinkeinoministeriö ja VTT. Vuonna 2017 julkaistu, VTT:n tekemä päivitys rahoitettiin osittain TransSmart-ohjelman vuoden 2016 koordinaatiohankkeesta, osittain liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimesta.

Miten

Molemmissa hankkeissa arvioitiin eri toimenpiteiden vaikuttavuutta ja kustannuksia. Hankkeet toteutettiin useamman toimijan yhteistyönä. Hankkeessa 1 tuotettiin lisäksi tietoa toimenpiteiden vaikutuksista liikenneturvallisuuteen ja kansanterveyteen sekä jäseneltiin kuntien ja valtion työnjakoa päästövähennystoimenpiteiden toteutuksessa.

¹³ http://www.transsmart.fi/files/326/Liikenteen_energiatehokkuustoimenpiteet_osana_EUn_2030_ilmasto_ja_energiatavoitteiden_saavuttamista_Vaikutukset_kustannukset_ja_tyonjako.pdf

¹⁴ http://www.transsmart.fi/files/297/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipaastojen_vahentaminen_vuoteen_2030_Kayttovoi-mavaihtoehdot_ja_niiden_kansantaloudelliset_vaikutukset_VTT-R-00752-15.pdf

¹⁵ http://www.transsmart.fi/files/430/Tieliikenteen_40_hiilidioksidipaastojen_vahentaminen_vuoteen_2030_Vuoden_2016_paivitys_VTT-R-00741-17.pdf

Hankkeessa 1 energiatehokkuustoimenpiteiksi määriteltiin kuusi toimenpideryhmää, joita ovat: (1) joukkoliikenteen edistämistoimenpiteet kaupunkiseuduilla, (2) joukkoliikenteen edistämistoimenpiteet pitkillä matkoilla, (3) kävelyn ja pyöräilyn edistämistoimenpiteet, (4) yhdyskuntarakenteen kehittämistoimenpiteet, (5) tieliikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöönoton edistämistoimenpiteet ja (6) vähäpäästöisten henkilöautojen käyttöönoton edistämistoimenpiteet.

Hankkeessa 2, joka painottui ajoneuvo- ja polttoainetekniikkaan, muodostettiin yhteensä kahdeksan erilaista teknologiaskenaarioita. Perusskenaariona käytettiin pääasiassa bensiini- ja dieselautoihin perustuvaa, ja nykyiseen jakeluelvoitteeseen ja verotukseen perustuvaa skenaariota, jossa päästöt vähenisivät 21 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. Perusskenaariossakin päästövähennemä perustuu ensisijaisesti biopolttoaineiden käyttöön voimassa olevan jakeluelvoitteen mukaisesti (15 %:n todellinen osuus).

Muissa teknologiaskenaarioissa päästöjä vähennettiin eri keinoilla lisää, jotta saavutettiin 40 % vähenemä, ja niiden tuloksia verrattiin tähän perusskenaarioon. Todellisuudessa yksittäiseen ajoneuvoteknologiaan painottuvat vaihtoehdot eivät voi toteutua vuoteen 2030 mennessä. Tarkastelu tehtiin kuitenkin näin, koska tämä oli ainoa tapa, jolla saatiin vertailukelpoista dataa eri vaihtoehtojen kustannuksista ja vaikutuksista kansantalouteen. Drop-in¹⁶-skenaario on mahdollinen autokaluston ja polttoaineen jakelun kannalta, mutta edellyttäisi joko biopolttoaineiden lisääntyvää tuontia tai uuden tuotantokapasiteetin rakentamista Suomeen. Yhdistelmäskenaario perustuu ensisijaisesti drop-in-biopolttoaineisiin, mutta lisäksi käyttöön tulee jonkin verran kaasu- ja sähköautoja.

Taulukko 2.1. Työssä tarkastellut teknologiaskenaariot.

KONV	perusskenaario, vain perinteisiä bensiini- ja dieselautoja, jakeluelvoitteen mukainen biopolttoaineisuus, päästöt -21 %
DROP-IN KONV	lisätään edelliseen drop-in biopolttoaineita niin, että päästöt -40 %
FFV	maksimoitu E85 ja ED95 etanolipolttoaineiden käyttö, päästöt -40 %
CBG	maksimoitu biokaasuautojen määrä, päästöt -40 %
PHEV	maksimoitu lataushybridiautojen määrä, päästöt -40 %
BEV	maksimoitu akkusähköautojen määrä, päästöt -40 %
FCEV	maksimoitu vetypolttoautojen määrä, päästöt -40 %
KEHITYS	yhdistelmäskenaario, päästöt -40 %

Uudentyyppisten polttoaineiden ja ajoneuvokonseptien käyttöönoton vaikutuksia kansantaloudelle tutkittiin kokonaistaloudellisten vaikutusten perusteella eli sen perusteella, mikä on koko yhteiskunnan kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä. Kansantaloutta koskevissa tarkasteluissa luotiin erälle edellä esitellyille teknologiaskenaarioille myös alaskenaarioita riippuen mm. polttoaineiden tuonnista vs. kotimaisuudesta, investoinneista ja kustannusten olettamista.

Laskelmat tehtiin VATT:n VATTAGE - yleisen tasapainon mallilla. Yleisen tasapainon mallia käytettiin tutkimusmetodinä, jotta saatiin laskettua kaikissa teknologiaskenaarioissa sekä eri toimijoille kohdistuvat suorat kustannukset että näiden epäsuorat kerrannaisvaikutukset taloudessa yhteen ja muodostettua näkemys koko yhteiskunnan kannalta parhaista tavoista vähentää liikenteen päästöjä. Skenaarioissa suoraa kustannuksia/vaikutuksia kohdistuu kuluttajille ja yrityksille varsinkin uuden tyyppisten autojen hankinnoista ja uusista polttoaineista, sekä yrityksille näiden lisäksi myös tarvittavista lisäinvestoinneista polttoaineiden ja kelinfranktuuriin. Lisäksi yritysten on oletettu investoivan uudentyyppisten polttoaineiden tuotantoon. Julkinen sektori tukee näitä kotimaisia laitosinvestointeja julkisilla investointituilla, mutta kaikki skenaariot laskevat julkisen talouden kannalta budjettineutraalisti. Tämä tarkoittaa, että mikäli skenaarioissa verotulot laskevat tai julkiset menot kasvavat merkittävästi, verottaja nostaa muiden hyödykkeiden verotusta kuluttajille, jotta kokonaisverotulot eivät laske ja julkinen velka ei nouse.

¹⁶ Drop-in-polttoaine: polttoaine joka on 100-%:sti yhteensopiva olemassa olevan autokaluston ja jakelujärjestelmän kanssa.

Laskennat tehtiin pääosin vuonna 2014. Vuoden 2016 päivityksen (julkaistiin 2017) yhteydessä laskentoihin ja arviointeihin tehtiin mm. seuraavat muutokset (tarkasteltiin edelleen 40 %:n päästövähennystä):

- ajoneuvokaluston energiatehokkuuden ja suoritteiden kehitysarvioita tarkennettiin
- laskettiin auto- ja energiamäärien perusteella uusi ns. perusura vuoteen 2030
- luotiin kaksi uutta kalustoskenaariota, sähköautot maksimoiva skenaario ja kaasutot maksimoiva skenaario
- tarkennettiin arvioita uusiutuvien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista
- sähköautojen hintakehityksen ennusteita tarkennettiin ja varioitiin (tehtiin myös tarkasteluja, joissa polttomootoriauto ja sähköauto arvioitiin samanhintaisiksi)
- uusittiin laskelmat eri skenaarioiden vaikutuksista kansantalouteen.

Keskeiset tulokset

Hankkeen 1 tulosten perusteella voidaan arvioida, että suurten ja keskisuurten kaupunkiseutujen liikennejärjestelmäsuunnitelmien tavoitteita toteuttavilla joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn toimenpiteillä voitaisiin Suomen kaupunkiseuduilla päästä n. 30 % CO₂-päästövähennemisiin vuodesta 2014 vuoteen 2030. Tämä tarkoittaisi kasvihuonekaasu-päästöjen vähenemistä n. 0,6 miljoonalla tonnilla. Arviossa ovat mukana kulutapajakaudan, ajoneuvokaluston ja polttoaineiden teknologisen kehityksen aikaansaamat vaikutukset. Pelkästään ilmastopolitiikan näkökulmasta tarkasteltuna, joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn edistäminen ei ole erityisen kustannustehokasta. Kävelyn ja pyöräilyn toimenpiteiden kansanterveydelliset hyödyt ovat suuret ja vaikuttavat siten merkittävästi suunniteltujen toimenpiteiden taloudelliseen kannattavuuteen ja CO₂-päästövähennyksen kustannuksiin.

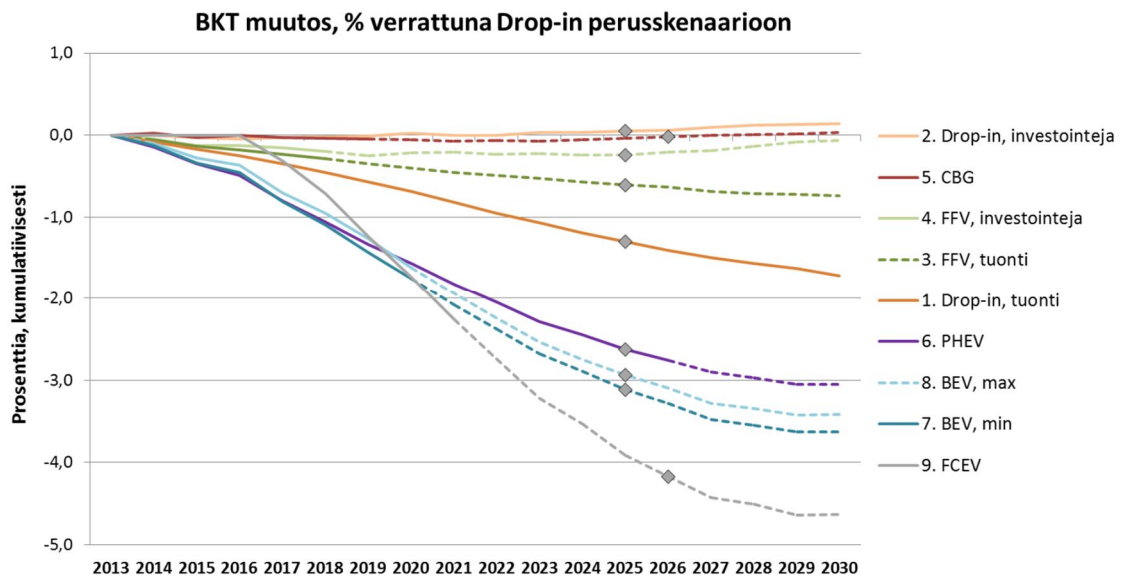
Seutukuntien välisillä pitkillä, yli 100 km matkoilla on parhaillaan käynnissä mittakaavaltaan merkittävä hinnoittelun ja tarjonnan muutos, joka on seurausta lainsäädännön muutoksista sekä kansallisella että EU-tasolla. Uutta tarjontaa on syntynyt ja syntyy jatkuvasti lisää. Ensi kertaa vuosikymmeniin joukkoliikenteen käyttö on laajasti mahdollista henkilöauton käyttöä edullisemmin. Erityisesti suurimpien kaupunkikeskusten välisillä yhteyksillä on olemassa potentiaalia kulutapojen markkinaosuuksien muutoksiin joukkoliikenteen eduksi. Oletettaessa, että n.1,5 % henkilöautolla tehdyistä pitkillä matkoista siirtyisi joukkoliikenteeseen, tarkoittaisi tämä n. 0,5 miljoonan tonnin vähenemää kasvihuone-kaasupäästöissä vuoteen 2030 mennessä nykytilanteeseen (2014) verrattuna. Myös tämä arvio sisältää kaupunkiseutujen tapaan teknologiakehityksen vaikutukset.

Yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvien toimien osalta kaupungistuminen ja siihen liittyvä väestönkasvun keskittyminen kasvaville kaupunkiseuduille vähentää väestön keskimääräistä liikkumistarvetta. Yhdyskuntarakenteen vyöhyketarkastelujen perusteella vuoteen 2030 mennessä voidaan saavuttaa vähennyksiä keskimääräiseen henkilöautosuoritteeseen, jos uusi asuntorakentaminen suunnataan vyöhykkeille, joilla arkimatkat on mahdollista tehdä pääosin jalkaisin, polkupyörällä tai joukkoliikenteellä. Asutuksen trendikehityksen ja yhdyskuntarakennetoimien kautta on mahdollista vähentää arki liikumisen henkilöautokilometrien määrää enintään n. 6 % asukasta kohden. Vaikutus kotimaan henkilöliikenteen kasvihuonekaasupäästöihin on n. 3–4 %, mikä tarkoittaa määrällisesti noin 0,2 miljoonaa tonnia. Hyvä yhdyskuntarakenteen myös tukee monia muita liikenteen päästövähennystoimia muun muassa mahdollistamalla nykyistä kestävämpiä liikkumisvalintoja. Täydennysrakentaminen on yksi tehokkaimmista yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvista toimista. Sillä vaikutetaan sekä uusien asuntojen sijaintiin, että luodaan edellytyksiä joukkoliikenneyhteyksien parantamiselle.

Edellä kuvattujen arvioiden perusteella joukkoliikenteen, kävelyn, pyöräilyn ja yhdyskuntarakenteen kehittämisen toimenpiteillä olisi mahdollista kattaa kokonaisuudesta n. 28 % (1,3 miljoonaa tonnia aikavälillä 2014–2030). Määrä on selkeästi pienempi kuin tieliikenteen teknologiatoimenpiteillä ja biopolttoaineilla mahdollisesti saavutettava jopa n. 5 miljoonan tonnin vähenemä aikavälillä 2014–2030, mutta sen arvoa ei tulisi väheksyä toimenpiteillä saavutettavien muiden hyötyjen vuoksi. Näitä ovat mm. positiiviset vaikutukset ruuhkautumiseen, ilmanlaatuun, liikenneturvallisuuteen sekä merkittävässä määrin kansanterveyteen. Teknolo-

giatoimenpiteet edistävät uusien kalusto- ja polttoainevaihtoehtojen kautta muiden energiatehokkuustoimenpiteiden vaikuttavuutta, joten toimenpidevalikoimat täydentävät toisiaan kestävästä kaupunkiliikenteen tavoitteiden saavuttamisesta.

Kuva 2.3 näyttää kunkin **hankkeessa 2** luodun teknologiaskenaarion vaikutukset bruttokansantuotteeseen kumulatiivisesti verrattuna perusskenaarioon. Yhtenäiset viivat osoittavat, mihin asti kukin skenario on käytännössä todennäköinen teknologioiden nykyiseen yleistymiseen ja odotettuun teknologiseen kehitykseen verrattuna. Viivan muuttuessa katkoviivaksi, kukin skenario alkaa olla epätodennäköinen sellaisenaan (autojen määrä rajoittaa). Vetyautoskenaariosta (9) tulee huomata, että vetyautoja ei ole lainkaan käytössä kyseisessä skenaariossa ennen vuotta 2017 koeautosarjoja lukuun ottamatta. Salmiakkikuviot näyttävät, minä vuonna kussakin skenaariossa on vähennetty päästöjä vähintään 30 prosenttia vuoteen 2005 verrattuna.



Kuva 2.3. Vaikutukset bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa (♦ =30 % vähennys saavutettu). Kuva vuoden 2015 raportista.

Skenaarioiden vaikutuksessa arvonlisäykseen (BKT) on suuria eroja. Skenaarioissa, jotka sisältävät merkittäviä uusia investointeja kotimaahan ja kotimaiseen tuotantoon ilman suuria muutoksia autojen keskihintaan (2, 4 ja 5 skenario), arvonlisäys laskee maksimissaan noin 0,2 prosenttia perusskenaarioon verrattuna kumulatiivisesti. Samaan aikaan, niissä skenaariossa, joissa autojen keskihinta nousee merkittävästi, mutta kotimaisen tuotannon määrä vähemmän, arvonlisäys laskee yhteensä useita prosentteja perusskenaarioon verrattuna pitkällä aikavälillä. Vertailuksi, perusskenaariossa BKT:n reaalisen tason odotetaan nousevan kumulatiivisesti vuoteen 2030 mennessä noin 40 prosenttia vuodesta 2014. Taloudellisten vaikutusten perusteella investoiminen kotimaiseen drop-in-polttoaineiden ja biokaasun tuotantoon olisi koko kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää liikenteenpäästöjä. Myös kotimaassa tuotettu etanoli on varsin kustannustehokas vaihtoehto.

Selvityksen (2015) keskeisimmät tulokset ja päätelmät olivat:

- Perusskenaario, jossa toteutetaan vain nykyiset toimenpiteet, päättyy vuonna 2030 tilanteeseen, jossa liikenteen CO₂-päästöjen vähenemä on runsaat 20 % verrattuna vuoden 2005 tasoon. Tarvittavan lisävähennämisen aikaansaamiseksi tarvitaan liikenteeseen lisää vähähiilistä tai hiilineutraalia energiaa.

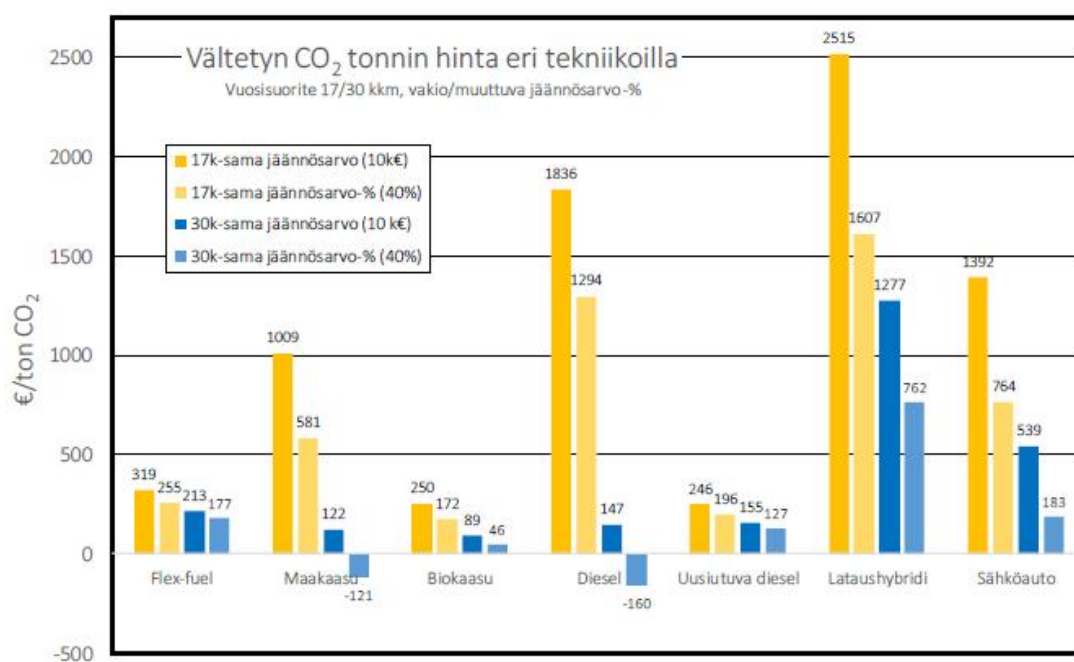
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä on investoiminen kotimaisten, edistyskellisten drop-in-biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseen. Niiden käytöllä ei ole heijastusvaikutuksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään. Myös biokaasun käyttöä voitaisiin lisätä, mutta edellytyksenä on merkittävä kaasujoneuvokannan kasvaminen. Kaluston uusiutumiselle ei kuitenkaan voida asettaa velvoitetta.
- Pääosa lisäkysynnän tyydyttämiseen tarvittavista uusinvestoinneista voitaisiin toteuttaa Suomessa tukeutuen kotimaiseen puu- ja jättepohjaiseen raaka-aineeseen. Kohdistamalla julkista tukea uuden teknologian kaupallistamiseen, kotimainen tuotanto voidaan saada hinnaltaan kilpailukykyiseksi tuontiin nähden. Mikäli kotimaiset uuden teknologian laitokset eivät toteudu, ja jakeluvelvoite halutaan silti toteuttaa, kestävien biopolttoaineiden tuonti kasvaa tai päästöjä joudutaan vähentämään muilla keinoilla.
- Sähköautojen kalliin nykyhinnan takia niiden laajamittainen käyttöönotto kannattaa vasta, kun kyseisten autojen kustannustaso on teknologiakehityksen myötä merkittävästi alentunut.

Päivitys ei oleellisesti muuttanut johtopäätöksiä. Päivitysraportissa tehtiin myös alustava tarkastelu vuoden 2050 tilanteesta. **Päivitysraportin (2017)** tärkeimmät päätelmät ovat:

- Päivityksen perusskenaariossa CO₂ päästöt ovat vuonna 2030 n. 21 % alemmat kuin vertailuvuonna. Päästöjä pitäisi siis edelleen alentaa n. 19 %-yksikköä. Perusskenaariossa biopolttoaineiden todellinen osuus on noin 14 % ja sähkön osuus hyvin pieni.
- Työssä on tarkasteltu viittä eri skenaariota, uusina on esitetty optimistinen "sähkömax"-skenaario, jossa on 400 000 täyssähköautoa ja 200 000 ladattavaa hybridiä, sekä "kaasumax"-skenaario, jossa on 200 000 kaasuhenkilöautoa, 50 000 pakettiautoa ja biokaasulla on 10 % osuus raskaan kaluston suoritteesta. Kummassakin tarvitaan lisäksi 40 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennykseen korkeaseosteisia nestemäisiä drop-in biopolttoaineita. Kaikissa skenaarioissa, ml. sähköautoja painottava "sähkömax", biopolttoaineiden tarve oli nykyistä käyttöä tai Suomen nykyistä tuotantokapasiteettia suurempi.
- Tämän tutkimuksen perusskenaarioon (-21 %) verrattuna energia- ja ilmastostrategiassa tavoitellut 250.000 sähköhenkilöautoa vuonna 2030 alentaisivat päästöjä edelleen vajaat 5 %-yksikköä. Vastaavasti, jos biopolttoaineiden osuus nostettaisiin nykyisestä noin 13 prosentista 30 prosenttiin CO₂-päästöt vähenisivät noin 12 %-yksikköä. Tämän valossa voidaan sanoa, että vuonna 2030 tullaan siis ehdottomasti tarvitsemaan sekä edistyskellisiä biopolttoaineita että hiiletöntä sähköä käyttäviä sähköautoja, jotta päästään 40 tai 50 % kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen.
- Eri ratkaisujen suhteelliset kustannusvaikutukset riippuvat pääosin ulkoisista tekijöistä, kuten raakaöljyn ja sähköajoneuvojen hinnasta. Lisäksi CO₂-päästöjen hinnoittelu sekä EU:n ilmastopoliittikan ohjauskeinot vuoteen 2030 vaikuttavat tilanteeseen. Kotimaisen biopolttoainetuotannon osalta hintakehitykseen voidaan joltain osin vaikuttaa omassa päätäntävällässä olevin toimin. Veroratkaisujen merkitys on tärkeä mentäessä kohti vähähiilistä ja älykästä liikennettä. Hinta-arvio kotimaassa tuotettujen biopolttoaineiden osalta on suuruusluokkaisesti 1000...1200 €/toe (veroton litrahinta 0,82...0,98 €/l, kun fossiilinen dieselpolttoaine on 0,47 €/l).
- Henkilöautoissa vältetyn CO₂-tonnin hinta oli nykyhinnoin ja -veroin biopolttoaineilla (nestemäiset ja kaasut) 50...300 €/tCO₂, lataushybridillä 800...2500 €/tCO₂ ja täyssähköautolla 200...1400 €/tCO₂. Vuotuinen 17 000 tai 30 000 km ajosuorite vaikutti voimakkaasti tulokseen muiden kuin biopolttoaineiden osalta. Dieselautojen osalta on myös kiinnitettävähuomioita taajamien ilmanlaatuvaikutuksiin. Jos sähköauton verollinen hankintahinta laskisi bensiiniauton tasolle, sähköauto olisi hyvin kustannustehokas halvempien käyttökulujen vuoksi. Sähköbussi on jo nyt varsin kilpailukykyinen korkean käyttöasteen ansiosta.
- Kansantaloudelliset vaikutukset arvioitiin laskennallisen, yleisen tasapainomallin avulla. "Sähkömax"-skenaariosta tehtiin kaksi versiota, jotka eroavat toisistaan sähköautojen hintakehityksen osalta: a)

"sähkömax"-perusversio, jossa sähköauto on polttomoottoriautoa kalliimpi vielä vuonna 2030, sekä b) "sähkömax2", jossa sähköauton hinta laskee polttomoottoriauton tasolle jo vuonna 2025. Ensin mainittu oli kallein BKT vaikutuksiltaan, jälkimmäinen edullisin. Uusien sähköautojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnitkin vaikuttavat tulokseen hieman. Laskelmat osoittavat, että mahdolliset edistämistoimenpiteet sähköautojen osalta kannattaisi aloittaa vasta kun hinnat ovat laskeneet ja autojen (akkujen) suorituskyky on parantunut. Eri skenaarioiden vaikutus BKT:hen oli välillä -2,7...+ 0,1 %.

Kuva 2.4 on vältetyn CO₂-tonnin hinta henkilöautojen osalta (eri jäännösarvoilla ja eri vuosisuoritteilla). Vertailukohteena on fossiilista polttoainetta käyttävä bensiiniauto.



Kuva 2.4. Vältetyn CO₂-tonnin kustannus eri jäännösarvoilla ja suoritteella. Vertailukohteena on fossiilista polttoainetta käyttävä bensiiniauto. Kuva vuoden 2017 raportista.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Kummankin tässä esitetyn tutkimuksen tuloksia on hyödynnetty julkishallinnon strategiatyössä, ja hankkeiden tulokset ovat toimineet vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian taustamateriaalina.

Lisätietoja: anu.tuominen@vtt.fi, nils-olof.nylund@vtt.fi, juhani.laurikko@vtt.fi

TransMartin piirissä toteutetut hankkeet liikenteen päästöjen vähentämiskeinoista ja niiden kustannustehokkuudesta ovat palvelleet julkishallinnon päätöksentekoa ja strategiatyötä.

2.3.3 Joukkoliikenteen kilpailutuksen tuki (case HSL)

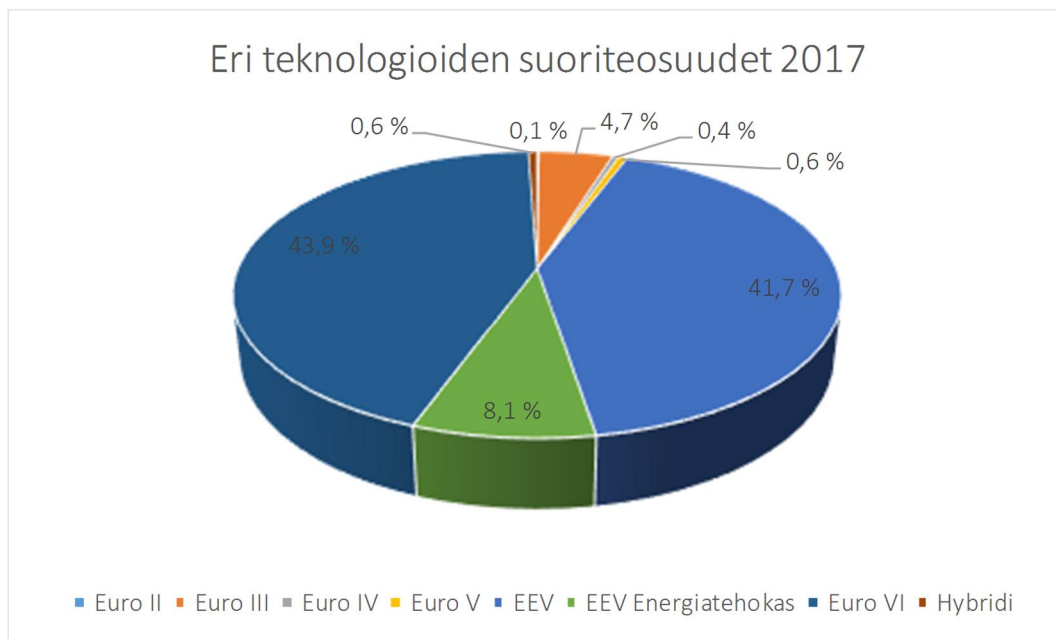
Mikä

Helsingin seudun liikenteen (HSL:n) bussiliikenteen kilpailutusjärjestelmä sisältää ympäristöominaisuudet (lähipäästöt, CO₂-päästöt, energian kulutus, uusiutuva energia) huomioivia elementtejä. Bussien suorituskyvyn arviointi perustuu mitattuun tietoon. HSL (ja sen edeltäjät) ja VTT ovat tehneet yhteistyötä bussien suorituskyvyn määrittelyssä jo 15 vuoden ajan, yhtäjaksoisesti VTT:n raskaiden ajoneuvojen tutkimuslaboratorion valmistumisesta vuonna 2002. HSL ja sen edeltäjät olivat jo alusta alkaen mukana myötävaikuttamassa laboratorion syntyyn.

Miksi

HSL on Suomen merkittävin toimija joukkoliikenteessä. HSL:n tilaaman liikenteen osuus Suomen joukkoliikenteessä on yli 60 %. Sisällyttämällä ympäristöominaisuuksia bussien kilpailutukseen, HSL on saanut aikaiseksi tilanteen, jossa bussiliikennöitsijät pääsääntöisesti tarjoavat kilpailuihin uutta, vähäpäästöistä kalustoa. Tällä hetkellä uusinta tekniikkaa edustavien Euro VI autojen osuus ajosuoritteesta HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä on jo yli 40 % (**Kuva 2.5**). Periaate on, että HSL maksaa hieman lisähintaa puhtaalla kalustolla ajettavasta liikenteestä. Kustannustehokkuuden kannalta on tärkeää, että laskennalliset päästöhödyt ovat tasapainossa lisäkustannusten kanssa.

Vuonna 2015 paljastunut dieselhenkilöautojen päästökandaali on osoittanut, että todelliset päästöt voivat olla merkittävästi raja-arvoja suuremmat. Vastaavaa on nähty myös bussikalustossa, tosin ylitykset eivät ole olleet yhtä merkittäviä. Mittaustoiminnalla on pystytty luotettavasti varmistamaan, mikä on eri tyyppisten bussien todellinen päästötaso.



Kuva 2.5. Eri päästöteknologioiden osuus HSL:n tilaamassa bussiliikenteessä vuonna 2017. Kuvan data HSL.

Ketkä

VTT tekee toimeksiantona HSL:lle bussikaluston mittauksia. Lisäksi VTT tukee HSL:ää kalustostrategioiden laadinnassa ja kilpailuskriteerien kehittämisessä. HSL on antanut busseja koskevan mittausdatan julkiseen käyttöön. Tämä on mahdollistanut yhteistyön mm. Chilen, Norjan, Ruotsin ja kansainvälisen energiajärjestön IEA:n kanssa.

Vuodesta 2013 lähtien HSL:llä ja VTT:llä on puitesopimus älykkään vähähiilisen joukkoliikenteen kehittämisestä. Nyt voimassa oleva sopimus kattaa vuodet 2017–2019. Bussiliikenteen kilpailutuksen tuki on osa tätä sopimusta.

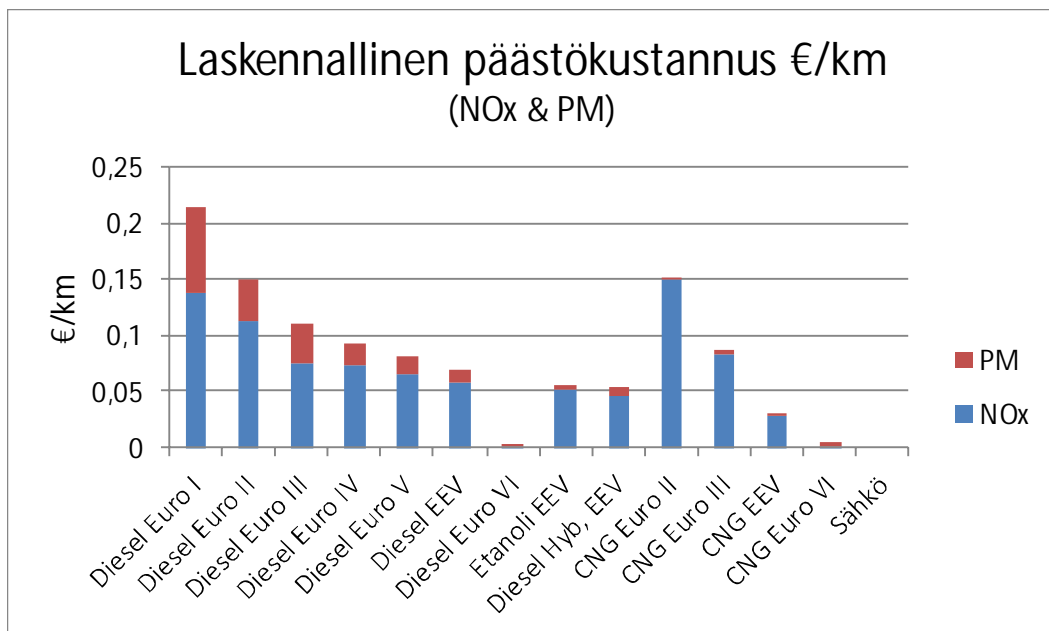
Miten

VTT on vuodesta 2002 alkaen kartuttanut bussien päästötietokantaa. Käytännössä kaikki HSL:n liikenteessä olevat autotyypit on mitattu VTT:n laboratoriossa. Mittaukset tehdään ajamalla todellista ajoa kuvaavia testisyklejä (Braunschweig, World Harmonized Vehicle Cycle). Mitattavia suureita ovat mm. polttoaineen/energian kulutus, CO₂-päästöt ja säännellyt päästöt, hiukkaspäästöjä ja typenoksidipäästöjä painottaen. Mittauksissa on tutkittu mm.:

- eri päästöluokkia edustavien bussien suorituskykyä (dataa päästöluokille Euro I...Euro VI)
- vaihtoehtoisten polttoaineiden toimivuutta (erilaiset uusiutuvat dieselpolttoaineet, etanoli, metaani)
- jälkiasennettavien pakokaasun puhdistuslaitteiden toimivuus.

Kilpailutusta ajatellen päästöjen laskennallinen haitta arvioidaan direktiivissä 2009/33/EY (direktiivi puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä) esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Laskennassa huomioidaan typen oksidit (NO_x), hiukkaset (PM) ja CO₂. Nämä päästökomponentit myös huomioidaan normaalissa kilpailutusmenettelyssä. Liikennöintisopimukset ovat kestoaltaan tyypillisesti 7 vuotta.

Kuva 2.6 on näytetty, miten bussikaluston laskennallinen NO_x ja PM haitta on kehittynyt. Vanhoilla, jo liikenteestä poistuneilla Euro I dieselbusseilla yhteenlaskettu NO_x ja PM päästöhaitta on 0,21 €/km, Euro VI tasoisilla busseilla, käyttövoimasta riippumatta, enää noin 0,005 €/km.



Kuva 2.6. Kaupunkibussien laskennallinen NO_x- ja PM-haitta.

HSL on normaalin kilpailutuksen rinnalle luonut ympäristöbonus-järjestelmän, jonka avulla voimassa oleviin sopimuksiin voidaan sopimuskauden aikana saada päästöjä ratkaisuja. Tyypillisesti HSL on ympäristöbonus-avun avulla hankkinut biopolttoaineita ja säänneltyjä päästöjä alentavia jälkiasennettavia pakokaasujen puhdistusjärjestelmiä. Tarjottujen ratkaisujen kustannustehokkuutta on niin ikään arvioitu direktiivin 2009/33/EY laskentaperusteiden mukaan.

Vuonna 2016 HSL sai hankittua ympäristöbonus-avun avulla noin 7 miljoonaa litraa ylimääräistä biopolttoainetta biopolttoaineen jakeluvaiheen tuomien biopolttoainemäärien lisäksi.

Ympäristöbonus-avun avulla on lisäksi varustettu kaikki 550 linjaa liikennöivät EEV-tasoiset Scania-bussit kotimaisen Proventian toimittamilla SCR-katalysaattori/hiukkassuodatin yhdistelmillä. Proventian laitteiden avulla 550 bussin päästöt on saatu laskettua Euro VI -tasolle, mikä näkyy mm. ilmanlaatumittauksissa alentuneina typidioksidipitoisuuksina. VTT osallistuu laitteistojen toiminnan varmistamiseen.

HSL hyödyntää VTT:n generoimaa bussitietokantaa ja VTT:n osaamista kilpailutusjärjestelmien kehittämisessä. Kilpailutuksen peruserä on ”bang for the buck”, eli puhtaampien teknologioiden kustannukset ovat tasapainossa hyötyjen kanssa.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Tiiviin VTT-yhteistyön tuloksena HSL:llä on käytössään yksi parhaimmista tietokannoista bussien päästöistä ja energiankulutuksesta. VTT on avustanut HSL:ää kilpailutusjärjestelmien kehittämisessä, ja myös toteuttanut uusien teknologioiden arvioita. Lopputulema on, että HSL on saanut kustannustehokkaalla tavalla käyttöön uusinta bussitekniikkaa, vanhempien ajoneuvojen päivityksiä ja biopolttoaineita. HSL:n maksamat korvaukset päästöjä vähentävästä tekniikasta ovat tasapainossa eri toimenpiteiden laskennallisten päästöhyötyjen kanssa. Bussitietokantaa ylläpidetään jatkuvasti, ja se sisältää merkittävää tietoa eri ajoneuvojen suorituskyvystä. Tiettyä ajoneuvoyksilöt on otettu pitkäaikaiseen seurantaan, jotta saadaan tietoa päästötasojen muutoksista ajokilometrien karttuessa.

Lisätietoja: nils-olof.nylund@vtt.fi, petri.soderena@vtt.fi

2.4 Ekosysteemit

2.4.1 Yleistä

Ekosysteemit ovat dynaamisia ja itseorganisoituvia verkostoja, joissa erilaiset toisiaan täydentävät kilpailuehdot yhdistyvät ja kehittyvät. Nämä ominaisuudet ja eri erityisosaamisten ja asiantuntijuuksien yhdistelmät tekevät ekosysteemeistä potentiaalisia radikaalien innovaatioiden tuottajia. Ekosysteemeille tyypillistä on niiden kyky tuottaa uusia nichejä, joita voidaan johtaa strategisesti tarjoamalla lupaaville uusille teknologioille ja niitä tukeville verkostoille ”suojattuja tiloja”, jotta ne voivat kehittyä ja kasvaa. Innovaatioprosessit ja arvonnauho perustuvat liiketoimintaekosysteemeissä avoimeen innovaatioon ja yhteiskehittämiseen. Tästä johtuen ekosysteemeillä on hyvät mahdollisuudet tarttua uusiin liiketoiminta-avauksiin. Lisäksi avoimuus, toisiaan täydentävät toimialat, yhteistyö sekä ekosysteemien kompleksinen ja itseorganisoituvuus luovat hyvät edellytykset uusien nichejen ja startup-yritysten syntyiselle verrattuna esimerkiksi perinteisiin kansallisiin tai alueellisiin klustereihin, jotka rakentuvat tietyn toimialan ympärille, ja joissa tarvittava tieto ja osaaminen ovat pitkälle erikoistuneita.

Ekosysteemit voidaan jakaa kolmeen toisiaan tukevaan luokkaan: liiketoimintaekosysteemi on arvoverkko, jonka yritykset tekevät yhteistyötä ja hyödyntävät toisiaan täydentäviä kyvykkyyksiä ja voimavaroja tuotteen tai palvelun asiakasarvon kasvattamiseksi ja uusien innovaatioiden kehittämiseksi (Moore, 1993)¹⁷.

¹⁷ Moore, J.F. (1993) 'Predators and prey: A new ecology of competition', Harvard business review, Vol. 71, No. 3, pp.75–86.

Tietoekosysteemi on toimijoiden osalta maantieteellisesti klusteroitunut uuden tiedon tuottajien ja sitä hyödyntävien yritysten ja muiden toimijoiden keskittymä, jonka avaintoimijoita ovat yliopistot ja julkiset tutkimusorganisaatiot. Innovaatioekosysteemi on edellisiä käsitteitä hieman laajempi ja pitää sisällään sekä alueella toimivat liiketoimintaekosysteemit että tietoekosysteemit, mutta myös poliittisen, taloudellisen ja teknologisen ympäristön jossa ne toimivat (Adner, 2006)¹⁸.

2.4.2 Sähköbussijärjestelmät (ePELI)

Mikä

ePELI-hankekokonaisuudella luodaan sähköbussiliikennöinnin edellyttämä ekosysteemi ja valmiudet siihen, että sähköbusseilla tapahtuva liikennöinti voidaan sisällyttää normaaliksi osaksi joukkoliikenteen hankintaa.

Teknologiakehityksen, pilotoinnin ja ekosysteemirakentamisen kautta on päästy siihen tilanteeseen, että HSL ottaa lähitulevaisuudessa sähköbussit kilpailutukseen. ePELI pilotointihanke on rakennettu "co-creation" yhteistyöhengessä HSL:n ja VTT:n toimesta.

Miksi

HSL on aloittanut sähköbusseihin ja niiden järjestelmiin liittyvän kehitystoiminnan vuonna 2011. Hankkeiden lähtökohdana on vähäpäästöisyyteen ja energiatehokkuuteen tähtäävän joukkoliikennejärjestelmän luominen. HSL:n strategian mukaan jopa 50 % bussikalustosta voi olla sähköistä tai hybridisoitua vuoteen 2025 mennessä. Työ alkoi Tekesin EVE-ohjelman hankekokonaisuudessa Sähköiset hyötyajoneuvot¹⁹ (ECV) vuosina 2011–2016. Ensi vaiheessa selvitettiin sähköbussien ajoneuvoteknisiä ominaisuuksia ja energiatehokkuutta. Jo hankkeen aikaisessa vaiheessa todettiin, että sähköinen bussiliikenne on ennen kaikkea järjestelmäkysymys, jossa useita asioita ja näkökohtia on työstettävä samanaikaisesti, ennen kaikkea olennaista on ajoneuvojen, liikennejärjestelmän (operointi, aikataulut) ja energianhallinnan (lataus) yhteistoiminnassa.

Ketkä

Sähköbussiliikennöinnin ekosysteemissä on kaksi pääosapuolta, liikenteen tilaajat ja toisaalta teknologia- ja palveluntuottajien verkosto, joka vastaa hankintaorganisaatioiden osoittamiin ja liiketoimintojen tarpeisiin.

ePELI-pilotointivaiheessa ovat jo mukana kaikki ekosysteemin avaintoimijat: liikenteen tilaajaorganisaatio, kaupungit, bussiopeeraattorit, palveluntarjoajat, ajoneuvovalmistajat ja muut teknologiatoimittajat kuten latauslaittevalmistajat.

HSL-alueella tilaajayhteistyötä ovat kehittäneet ja luoneet HSL, Helsingin kaupungin liikennelaitos HKL ja Espoon kaupunki. Teknologian toimittajia ja palvelujen tuottajia ePELI-hankekokonaisuudessa edustavat mm. sähköbussivalmistaja Linkker, latauspalveluita tuottavat Fortum ja Virta sekä HSL-alueen bussiopeeraattorit. Lisäksi ePELlin liittyvän tutkimushankkeen kautta kokonaisuuteen on kytketty myös mukana Tampereen ja Turun sähköbussihankkeet.

¹⁸ Adner R. (2006) 'Match your innovation strategy to your innovation ecosystem' Harvard Business Review, Vol. 84, No. 4, pp. 98–107.

¹⁹ <https://www.ecv.fi/>

Miten

Sähköbussien koskeva työ on siten ajoneuvotekniikkaan painottuneen alkuvaiheen jälkeen laajentunut kokonaisvaltaiseksi markkina- ja toimijaekosysteemiin ja teknologisiin ratkaisuihin liittyväksi kehitystoiminnaksi, jossa oleellinen osa on myös sähköbussijärjestelmien julkinen hankinta. Hankintaprosessin osalta tärkeäksi tulee tällöin roolitus, vastuut ja yhteistyö liikenteen hankinnan ja latausjärjestelmien infrastruktuurin määrittelyn ja hankinnan osalta.

Teknologian valmiusasteen noustessa kokeiluhankkeiden ja pilotoinnin rooli kasvaa matkalla laajamittaiseen uusien käyttövoimien käyttöönottoon kilpailutuksen kautta.

Sähköisen päästöttömän ja elämyksellisen linja-autoliikenteen innovointiympäristö ePELI on HSL:n kehityshanke ja esikaupallinen pilotti, jonka kautta HSL-alueelle luodaan uusi innovatiivisten joukkoliikenteen ratkaisuiden ja teknologioiden käyttöönoton mahdollistava toimintamalli. Tulevaisuuden kestävässä kaupunkiliikenteessä on monia elementtejä, jotka edellyttävät uusien ratkaisuiden ja teknologioiden kehittämistä ja käyttöönottoa todellisessa käyttöympäristössään ja kaupallisin perustein. Tällöin tarvitaan myös tämän kehityspolun mahdollistava mekanismi ja toimintatapa.

ePELI-hankkeessa on kaksi osakokonaisuutta:

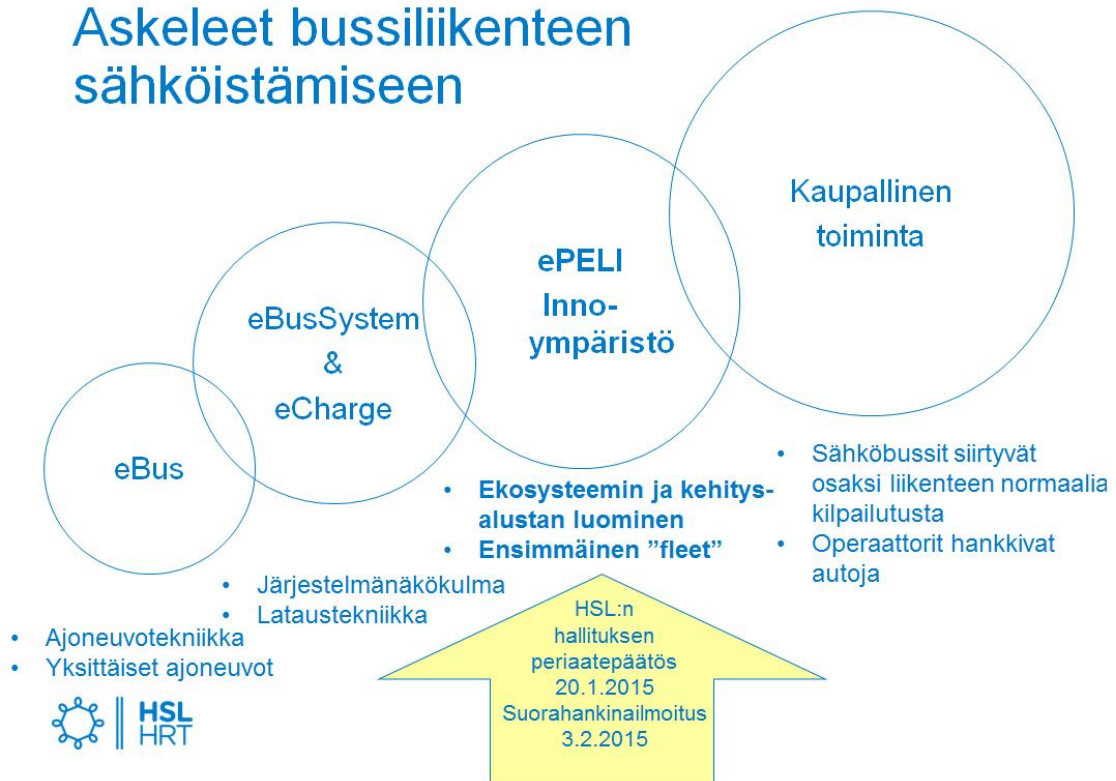
- HSL:n järjestämä esikaupallinen liikennöinti
- VTT:n vastuulla oleva, liikennöinnin rinnalla toteutettava, kahteen osa-alueeseen jakautuva tutkimushanke:
 - sähköbussien teknisen suorituskyvyn monitorointi ja arviointi
 - toimijaekosysteemin ja hankintamenettelyjen kehitys.

ePELI luo innovointiympäristön, jossa sovelletaan HSL:n normaalin kilpailutusjärjestelmän rinnalla uutta, liikennöitsijät sitouttavaa kaluston hankintamallia HSL:n ympäristö- ja sähköbussistrategian toteuttamiseksi. ePELI:ssä on määräaikaaisesti HSL:n hankkima kokeiluunotoinen, kehitysalustana toimiva sähköbussiliikenne Helsingin ja Espoon alueella yhteensä 12 sähköbussilla. Toimijoiksi Helsingissä on sitoutettu busioperaattoreita sekä Helsingin ja Espoon kaupungit vastaamaan latausinfrastruktuurin järjestämisestä. Hankkeessa luodaan yleinen toimintamalli strategian mukaisten, innovatiivisten elementtien käyttöönottoon tavoiteltaessa joukkoliikenteen parempaa houkuttelevuutta, matkakäyttäjien sujuvuutta ja parempaa matkustuskokemusta.

ePELI-hankkeen sähköbussit toimittaa Linkker. Kalustoa ja latausjärjestelmiä sekä niiden toimintaa seurataan pilot-hankkeen ajan tiivistä ja järjestelmän toiminta- ja tuotantokyky raportoidaan HSL:lle. Kokemukset kokonaisjärjestelmän toiminnasta viitoittavat tietä tuleviin liikenteen kilpailutuksiin. Hankkeessa tarkastellaan myös koko HSL-alueen linjastojen soveltuvuutta sähköbusseille ja hyödynnetään aiemmissa hankkeissa kehitettyä GIS-paikkatietotyökalua sähköbussijärjestelmän suunnittelussa ja skaalautuvuuden tarkasteluissa.

Keskeisiä ePELI-kokonaisuuden sisältöjä on sähköisen joukkoliikenteen osalta koko toimijaekosysteemin rakentaminen ja siihen liittyvä esikaupallisen ja kaupallisen markkinavuoropuhelun aikaansaanti (**Kuva 2.7**). Eri teknologia- ja palvelutuottajat, liikenne- ja kaupunkisuunnittelu sekä hankkijaorganisaatiot muodostavat yhdessä toimijaverkon, joka on välttämätön, jotta saavutetaan kilpailutusvalmius sähköbussien kokonaisjärjestelmien osalta.

Askeleet bussiliikenteen sähköistämiseen



Kuva 2.7. ePELI-projekti osana bussiliikenteen sähköistämiseen johtavaa tutkimusta.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

ePELI-hanke tulee lähitulevaisuudessa mahdollistamaan sähköbussiliikennöinnin sisällyttämisen osaksi HSL:n normaalia bussiliikenteen hankintaprosessia. ePELI-hanke on koonnut yhteen sähköbussiliikennöinnissä tarvittavan toimijaekosysteemin. HSL poikkesi normaalista toimintamallistaan, ja hankki innovatiivisella menettelyllä itse 12 sähköbussia. Näin HSL itse kantaa suurimman teknologiariskin uuden teknologian käyttöönotossa.

Hankkeen toteutustapa ja liikenteen tilaajan vahva rooli uuden teknologian edistämiseksi on herättänyt huomioita myös ulkomailla. VTT:n kehittämiä sähköbussiliikennöinnin suunnittelutyökaluja on jo sovellettu niin Euroopassa kuin Etelä-Amerikassa.

Lisätietoja: mikko.pihlatie@vt.fi



Kuva 2.8. Havainnekuva sähköbussien pikalatauspisteestä Helsingin päärautatieasemalla.

2.4.3 Business ecosystems and platforms for innovations (BECSI)

Mikä

BECSI-tutkimushankkeessa (2014–2016) selvitettiin Suomen innovaatiopolitiikan ja innovaatiojärjestelmien kehittämistarpeita ekosysteemien näkökulmasta.

Miksi

Hankkeessa haettiin vastauksia seuraaviin pääkysymyksiin:

- Miten hyödynnetään (julkisia) kehitysympäristöjä paremmin kasvun edistämiseksi?
- Miten edistetään ekosysteemien ja innovaatioalustojen syntymistä ja kehittymistä?
- Mitä oppeja liiketoimintaekosysteemeihin ja innovaatioalustoihin keskittyvillä tapaustutkimuksilla on tarjota suomalaiselle innovaatiopolitiikalle?
- Miten skaalataan potentiaaliset kotimaiset innovaatiot kv. tasolle?
- Miten pienet ja paikallistason empiiriset tapausesimerkit lisäävät ymmärrystä liiketoimintaekosysteemeistä ja kuinka nämä tulokset saadaan yleistettyä kansallisen innovaatiopolitiikan tueksi?

Ketkä

Oulun yliopiston koordinoiman Tekes-rahoitteen hankkeen muut tutkimusosapuolet olivat Lappeenrannan yliopisto ja VTT. Hankkeen sparrausryhmään kuuluivat Teknologiateollisuus, Euroopan investointipankki, TEM ja Tekes. Muita yhteistyökumppaneita olivat BECSIn liikenneteemaan liittyen Vaisala, Foreca, Arctic Machine, Teconer sekä Trafi, Liikennevirasto ja ELY sekä Smart City -teemaan liittyen Taichung, Eindhoven ja Oulu.

Miten

Suomen kehittämistarpeita selvitettiin kotimaisten ja kansainvälisten tapaustutkimusten avulla. Liikenteen alalta innovaatioekosysteeminä tarkasteltiin Suomen talvihoitojärjestelmää ja liiketoimintaekosysteeminä edelliseen liittyvää viennin kasvattamiseen tähtäävää FIRWE-yritysryhmää (Finnish Road Weather Excellence) mm. haastattelujen ja tutkimusvierailujen avulla.

Empiirinen ekosysteemitutkimus ja yhteistyö tukevat Suomen innovaatiojärjestelmän kehittämistä.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Tieteellisten julkaisujen, konferenssiesitysten ja raporttien lisäksi hanke tuotti neljä Tekesin Policy Briefiä toimenpidesuosituksineen Suomen innovaatiopolitiikan ja innovaatiojärjestelmien kehittämiseksi.

TransSmartiin kytkeytyviä relevantteja tuloksia olivat erityisesti

- Toimenpidesuosituksukset erityisesti liiketoimintaekosysteemien näkökulmasta; konkreettisenä ta-pausesimerkinä Suomen talvihoitojärjestelmä ja siihen liittyvä viennin kasvattamiseen tähtäävä Vaisala-vetoinen FIRWE-yritysryhmä.
- "Smart City Governance" -konseptin työstäminen liiketoiminnan edistämisen näkökulmasta. Tulok-sena älykkään kaupungin hallinnan ja vaikutusten arvioinnin viitekehys, joka jäsentää jaetun arvon muodostumista yritysten liiketoimintatavoitteiden ja julkisen sektorin palvelu- ja vaikuttavuustavoittei-den sekä sidosryhmien tavoitteiden kesken.
- Tapaustutkimukset tuovat esiin ekosysteemin toimijoiden erilaiset roolit ja niiden omaksumisen mer-kityksen. Erityisesti julkinen sektori on usein mukana myös ekosysteemien toiminnassa esimerkiksi public-private-yhteistyön ja julkisten hankintojen kautta, ja sen tehtävä on toimia ekosysteemeissä mahdollistajana ja fasilitoijana.

Tuloksia on hyödynnetty Suomen Innovaatiojärjestelmän ja -politiikan yleisen kehittämisen ja päätöksenteon tuen lisäksi älyliikenteen ja Smart City -teemaan kytkeytyvässä T&K-toiminnassa, kuten:

- Innovaatioalustojen kehittäminen kaupunkien kanssa
- Living Lab- ja testausekosysteemien konseptointi ja selvitykset
- Liikenteen kasvuohjelman valmistelutyö.

Lisätietoja: raine.hautala@vtt ja tuomo.k.kinnunen@vtt

2.4.4 Finnish Road Weather Excellence (FIRWE)

Mikä

Vuonna 2014 päättyneen FIRWE (Finnish Road Weather Excellence) -hankkeen tavoitteena oli luoda vien-tikelpoinen tuote- ja palvelukokonaisuus yhdistämällä suomalaisten toimijoiden osaamista yhteiseen joustai-vaan ja standardoituun alustaan. Tällainen alusta mahdollistaa kustannustehokkaan tavon tuottaa kokonai-suuteen yhteensopivia moduuleja eri käyttäjäryhmille ilman, että joudutaan rakentamaan uusia erillisiä ras-kaita alustoja tai markkinointikanavia. Vastaavasti kehitystyön tulos on välittömästi kaikkien osallistujien hyö-dynnettävissä ilman asiakaskohtaista räätälöintiä ja sovittamista myös kansainvälisillä markkinoilla.

Miksi

Suomessa on paljon talvihoitoon liittyvää korkeatasoista osaamista, joka on kuitenkin jakautunut moniin yrityksiin, viranomaistahoihin, yhteisöihin, henkilöihin ja tutkimuslaitoksiin. Pirstaloitunut osaaminen hidastaa osaltaan yhtenäistä järjestelmä- ja palvelukehitystä. Eri toimijoiden vahvuuksien yhteensovittaminen ja muokkaaminen kilpailukykyiseksi – koko palvelun ja tukitoiminnot kattavaksi – paketiksi edistäisi talvihoidon yhtenäistä järjestelmä- ja palvelukehitystä sekä hyödyllisten ja kaupallisesti mielekkäiden kokonaisuuksien luomista.

Ketkä

Tekesin rahoittaman hankkeen toteuttivat Vaisalan, Arctic Machinen, Forecan ja Teconerin muodostama yritysryhmä (pieni liiketoimintaekosysteemi) VTT:n ja Oulun yliopiston T&K-työn tukemana. Yhteistyöverkostoon kuuluivat myös Liikennevirasto, ELY-keskukset, Helsingin ja Tampereen kaupungit, liikenne- ja viestintäministeriö, Trafi, kunnossapidosta vastaavia toimijoita sekä tieto- ja viestintäalan pk-yrityksiä.

Miten

Hankkeessa on kehitettiin modulaarisen kokonaisjärjestelmän osa-alueita sekä integroitiin näitä eri FIRWE-toimijoiden tuottamia tuotteita ja palveluja yhteentoimiviksi kokonaisuuksiksi sisältäen tien olosuhteiden mittausratkaisut (erityisesti mobiilit mittaussuunnitelmat), tienhoitoyksiköiden tiedonkeruujärjestelmien integroinnin sää- ja kelipalveluihin, säätietojen integroinnin kelipalveluihin sekä teiden talvikunnossapidon päätöksenteontukijärjestelmän toiminnallisuuksien kehittämisen mukaan lukien kommunikoinnin hoitotoimenpiteistä vastaavien tahojen lisäksi myös kolmansien osapuolien ja loppukäyttäjien kanssa. Yhteinen kaikki yritykset kattava Proof-of-Concept-pilotointi tehtiin talvella 2013–2014 valtatiellä 6 yhteistyössä talvihoidosta vastaavan urakoitsijan NCC Roadsin kanssa.

Oikein roolitettu ekosysteemit toiminta kokeiluineen mahdollistaa Suomen korkeatasoinen snow how -ja automaatio-osaaminen hyödyntämisen uusien vientikelpoisten ratkaisujen toteuttamiseksi.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Valtatiellä 6 tehdyn pilotin tulosten perusteella kunnossapitoluonnon avulla toteutettavan automaattisen tiedonkeruun mahdollistavaa merkittäviä hyötyjä sekä talvihoidosta vastaavalle pääurakoijalle että hoitourakan tilaajalle. Pilotointiin osallistunut urakoitsija NCC Roads piti kokeilua onnistuneena. Tiedonkeruun automatisoinnin lisäksi myös suolankäytön optimointi tuottaa selviä hyötyjä.

Em. pilotin lisäksi tuote- ja palvelujärjestelmään kytkeytyvää teknologiaa ja muita kehityskomponentteja testattiin ja hyödynnettiin myös Venäjällä, Isossa-Britanniassa ja USA:ssa yrityskohtaisten pilotointien yhteydessä. Osittain FIRWE-hankkeen ansiosta Vaisala teki usean miljoonan euron sopimuksen talvihoidon päätöksenteon tukijärjestelmästä National Roads Authority of Irelandin kanssa.

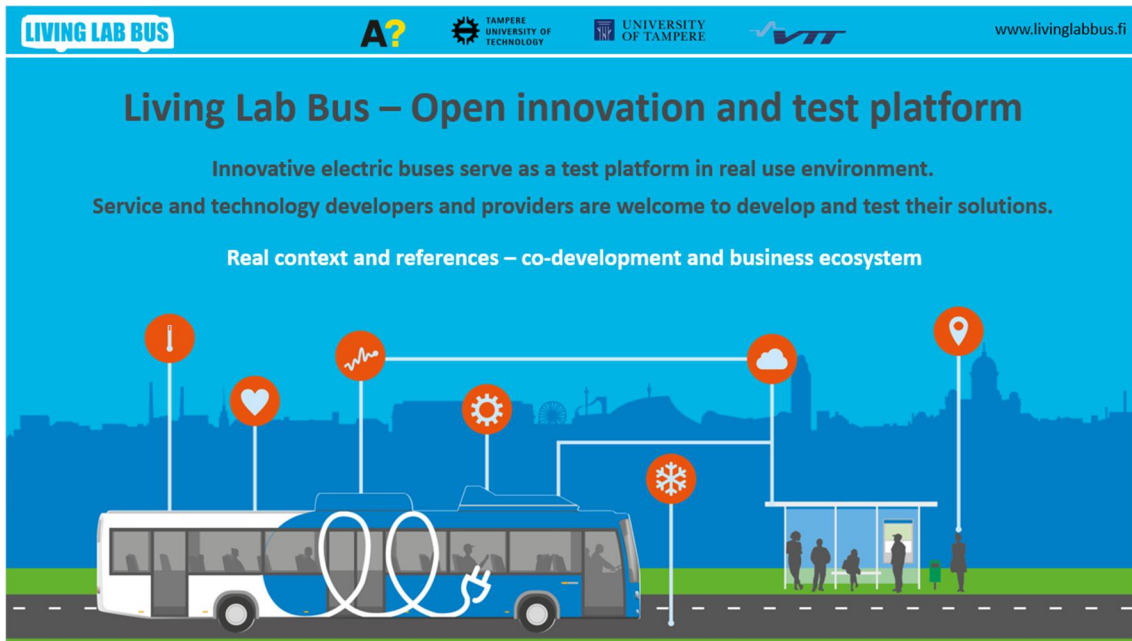
Lisätietoja: raine.hautala@vtt.fi ja aki.aapaoja@vtt.fi

2.5 Kansalliset ja kansainväliset yhteistoimintahankkeet

Seuraavassa on kuvattuna esimerkkejä erilaisista yhteistoimintahankkeista, jotka edistävät yhtenevien tavoitteiden saavuttamista eri toimien kautta. Esimerkit sisältävät mm. t&k-toiminnan tiiviimpää yhteistyötä ja

tiedonvaihtoa, erilaisia keinoja liikenteen päästöhaasteisiin vastaamiseksi sekä yhtenäisen kansallisen näkemyksen ja kansainvälisen viestinnän sekä vaikuttavuuden keinoja. Esimerkit esitetään järjestyksessä kansalliset yhteistoimintahankkeet, esimerkki EU-hankkeista ja esimerkki IEA-hankkeista.

2.5.1 Tutkijatahojen verkottuminen ja yhteistyö julkistahojen ja yritysten kanssa (case Living Lab Bus 2015–2019)



Kuva 2.9. Living Lab Bus – aidossa toimintaympäristössä toimiva avoin kehitys- ja kokeilualusta.

Avoin kokeilu- ja kehitysympäristö edistää laajaa TKI-yhteistyötä ja kontekstin ympärillä olevien aktiviteettien synergiaa sekä halua rakentaa toisiaan täydentäviä ratkaisukokonaisuuksia.

Mikä

Living Lab Bus (2015–2019) on esimerkki tutkimushankkeesta, jossa TransSmartin Triple-Helix-mallissa (julkistahojen, yritysten ja tutkimuksen yhteistyö) on saatu aikaan laajaa yhteistyötä ja tiedonvaihtoa eri tutkimuslaitosten välillä.

Miksi

Living Lab Busissa luodaan uudenlainen arjessa toimiva kehitysympäristö, joka nopeuttaa yritysten tuotekehitystä ja käyttäjäkeskeisten ratkaisuiden käyttöönottoa ketterien kokeilujen avulla. Todellinen käyttöympäristö mahdollistaa palvelutarjoajille tiiviin yhteistyön loppukäyttäjien, joukkoliikenteen järjestäjien ja tutkimuslaitosten kanssa. Tuloksena todennetut referenssit palvelutarjoajille ja parempi joukkoliikennekokemus käyttäjille.

Ketkä

VTT:n koordinoiman Tekes-rahoitteen hankekokonaisuuden muut partnerit ovat Ajeco, EEE Innovations, Foreca, PayiQ, Linkker, HSL, Helsingin ja Tampereen kaupungit sekä Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja Tampereen yliopisto. Kokeiluympäristö on avoin ja uudet kokeilijat sekä projektit ovatkin tervetulleita mukaan.

Miten

Hankkeessa hyödynnetään pääkaupunkiseudulla HSL:n hankkimia kotimaisia Linkker-sähköbuseja konkreettisenä kehitys- ja kokeilualustana, jossa yritykset voivat todentaa ratkaisujaan aidossa toimintaympäristössä. Bussit operoivat normaalissa liikenteessä, tarjoten todellisen ympäristön ratkaisuiden testaamiselle. Busseissa voidaan testata älykkäitä palveluita ja teknologioita aina käyttäjärajapinnoista ja matkustajapalveluista sensoreihin ja havainnointiin sekä liikenneoperaattorien ratkaisuihin.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Tutkimuslaitosten välisessä yhteistyössä osaamisen täydentämisen ja paremman tiedonvaihdon lisäksi yhteinen intressi ja kaikkien omaksi kokema kehitysympäristö tukee kontekstin ympärillä tapahtuvien aktiivisten synergiaa ja halua rakentaa toisiaan täydentäviä kokonaisuuksia.

Lisätietoja: raine.hautala@vtt.fi ja juho.kostiainen@vtt.fi sekä www.livinglabbus.fi

Suomeksi: [http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kotimaisista-sähköbuseista-liikkuvia-kokeilualustoja-pää-kaupunkiseudulle](http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/kotimaisista-sahkobusseista-liikkuvia-kokeilualustoja-paa-kaupunkiseudulle)

In English: <http://www.vttresearch.com/media/news/finnish-electric-buses-serve-as-mobile-testing-platforms-in-the-helsinki-region>.

2.5.2 Toisiaan täydentävät kompetenssit: Case TTY:n ja VTT:n moottorijarrutushiukkastutkimukset Trafin rahoituksella

Mikä

VTT:n moottori- ja ajoneuvolaboratoriossa toteutettiin mittauksia raskaan kaluston alustadynamometrillä vuoden 2014 joulukuussa VTT:n ja TTY:n välisenä yhteistyönä. Tutkimuksen päätavoitteena oli kartoittaa moottorijarrutuksen aikana muodostuvan pienhiukkaspäästön suuruus ja osuus kokonaishiukkaspäästöstä.

Miksi

Pienhiukkaset ovat merkittävä osuus liikenteen lähipäästöjä ja terveydelle haitallisia. TTY:n aerosolifysiikan laboratorio oli havainnut omissa mittauksissaan, että moottorijarrutuksen yhteydessä ajoneuvon moottorista voi tulla huomattava määrä pienhiukkasia. Ilmiötä ei kuitenkaan oltu päästy tutkimaan systemaattisesti ja kontrolloiduissa olosuhteissa. Olemassa olevaan dataan pohjautuen TTY ehdotti yhteistyötä VTT:n moottori- ja ajoneuvolaboration kanssa ilmiön tutkimiseksi kontrolloiduissa ja toistettavissa olosuhteissa.

Ketkä

Hankkeessa yhdistyi VTT:n moottori- ja ajoneuvolaboration pitkäaikainen kokemus raskaan kaluston päästömittauksissa ja TTY:n aerosolifysiikan tutkimusryhmän kansainvälisestäkin korkeatasoisesta osaamisesta pienhiukkasten karakterisointiin liittyen. Osapuolilla on vanha historia yhteisten hankkeiden toteuttamisesta. VTT neuvotteli liikenteen turvallisuusviraston Trafin kanssa hankkeen rahoituksesta, ja Trafi päätti

rahoittaa mittauksia osana panostustaan TransSmart-tutkimusohjelmaan. Trafin lisäksi hanketta rahoittivat VTT ja TTY.

Miten

Hanke toteutettiin VTT:n raskaan kaluston alustadynamometrilla. VTT:n päästömittauslaitteiden lisäksi TTY toi mittauksiin omat laitteensa. Mittausten kohteeksi oli valittu kaksi ajoneuvoa, kuorma-auto ja kaupunkibussi. Mittaukset jaettiin kahteen osuuteen. Moottorijarrutuksen aikana muodostuvaa hiukkaspäästöä ilmiönä tutkittiin tätä tarkoitusta varten tehdyllä ajosyklillä, joka sisälsi kiihdytyksiä, vakionopeudella ajamista ja moottorijarrutuksia. Ilmiön vaikutusta ajoneuvon kokonaishiukkaspäästöön tutkittiin todellista ajoprofiilia kuvaavalla mittaussyklillä (World Harmonized Vehicle Cycle, WHVC). VTT koordinoi mittausten suunnittelua, toteutusta ja raportointia.

Keskeiset tulokset

Laboratorio-olosuhteissa tehdyillä mittauksilla saatiin todennettua TTY:n aikaisemmin tekemät havainnot sekä saatiin toistettavaa dataa ilmiön analysoimista varten. Mittauksissa havaittiin, että moottorijarrutuksen alkuvaiheessa pienhiukkasten pitoisuus nousee merkittävästi. Vällisesti voidaan osoittaa, että hiukkaset muodostuvat moottorin palotilaan pääsevistä voiteluöljyistä.

Taulukko 2.2 listaa tulokset, joista nähdään, että moottorijarrutuksessa syntyvien pienhiukkasten suhteellinen osuus hiukkasten kokonaismäärästä on suurimmillaan, kun ajonopeudet ovat pieniä. Näin ollen ilmiön merkitys terveydelle haitallisiin lähipäästöihin korostuu kaupunkiympäristössä.

Taulukko 2.2. Moottorijarrutuksessa syntyvien pienhiukkasten osuus hiukkasten kokonaismäärästä eri sykleissä mitattuna.

Ajoneuvo	Mittaussykli	Moottorijarrutushiukkasten osuus kokonaishiukkaspäästöstä
Kuorma-auto	40à 20 km/h	26 %
Bussi	40à 20 km/h	24 %
Kuorma-auto	80à 20 km/h	3 %
Bussi	80à 20 km/h	8 %
Kuorma-auto	WHVC	13 %
Bussi	WHVC	9 %

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Hanke oli osa Trafin vuonna 2014 rahoittamaa toimintaa TransSmart-ohjelmassa ja tulokset raportoitiin Trafille julkisessa raportissa. Hankkeen tuloksia hyödynnetään päätöksenteon tukena harkittaessa keinoja lähipäästöjen pienentämiseen.

Yhdistämällä tutkimuslaitosten osaamiset pystyttiin asiakkaalle tarjoamaan kattavampi palvelu, kuin mitä yksittäiset tutkimuslaitokset olisivat pystyneet tarjoamaan. Onnistunut yhteistyö perustuu luottamukseen ja hyvään kommunikaatioon.

Lisätietoja: timo.murtonen@vtt.fi ja topi.ronkko@tty.fi

2.5.3 Yhteistoiminta biopolttoaineissa

Mikä

TransSmartin piirissä käynnistettiin kaksi merkittävää biopolttoaineisiin liittyvää demonstraatio-/implemентаatiohanketta, ”BioPilot” (perinteistä dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot – yhteistyö ja verkostoituminen uusien vaihtoehtojen pilotoinnissa) ja ”BioSata”. Molemmat olivat useamman toimijan verkottuneita yhteishankkeita. Vuosien 2013–2016 ”BioPilot”-hankkeen päärahoittaja oli Tekes, vuosien 2016–2018 ”BioSata”-hankkeen päärahoittaja on työ- ja elinkeinoministeriö. Molemmissa hankkeissa keskitytään hyötyajoneuvojen (bussit, kuorma-autot, työkoneet) biopolttoaineisiin.

Miksi

Sekä Juha Sipilän hallitusohjelma että marraskuussa 2016 julkaistu kansallinen energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030 tukeutuvat liikenteen päästöjen vähentämisessä vahvasti biopolttoaineiden käyttöön. Energia- ja ilmastostrategian mukaan biopolttoaineiden todellinen osuus tieliikenteessä tulisi olla 30 % vuonna 2030.

Dieselmootoreilla ja niihin sopivilla polttoaineilla on merkittävä rooli tavoiteltaessa merkittävää CO₂-päästövähennemää biopolttoaineilla. Tieliikenteessä sähköistys sopii parhaiten taajamiin ja lyhyille ajomatkoille. Toisaalta, esimerkiksi raskas pitkänmatkan maatiiliikenne ei sovellu sähköistykselle.

Raskaat dieselsäilyttävät ajoneuvot ovat monelta kannalta välttämättömiä yhteiskunnan tärkeimpien kuljetustoimintojen kannalta. Niinpä on perusteltua kohdistaa vaihtoehtoisten polttoaineiden kehitystyö nimenomaan raskaan kaluston perinteistä dieselpolttoainetta korvaaviin vaihtoehtoihin. Näin myös siksi, että lentoliikenne ja sääntelyn kiristyessä myös laivaliikenne käyttävät kasvavassa määrin keskitisleitä.

Ketkä

Molemmissa hankkeissa oli ja on mukana useita toimijoita, energiayhtiöitä ja loppukäyttäjiä. Tutkimusosuudesta vastaa VTT. ”BioPilot”-hankkeen osapuolia olivat:

- energiayhtiöt: NEOT/St1, UPM, Gasum ja Neste
- operaattorit ja liikenteen tilaajat: Stara (Helsingin kaupunki), Posti, Helsingin seudun liikenne, Helsingin bussiliikenne, Transdev
- ajoneuvojen toimittajat: Scania, Volvo, Volkswagen
- tutkimusosapuoli: VTT.

”BioSata” hankkeen osapuolia ovat:

- Helsingin seudun liikenne
- Stara
- Neste, St1 ja UPM
- tutkimusosapuoli: VTT.

Miten

”BioPilot”²⁰-kokonaisuus koostui yritysten pilotointihankkeista ja niiden rinnalla olleesta VTT:n tutkimuslaitoshankkeesta.

Pilotointihankkeen yritysosiossa oli kolme pääteemaa/lohkoa (suluissa vastuutaho):

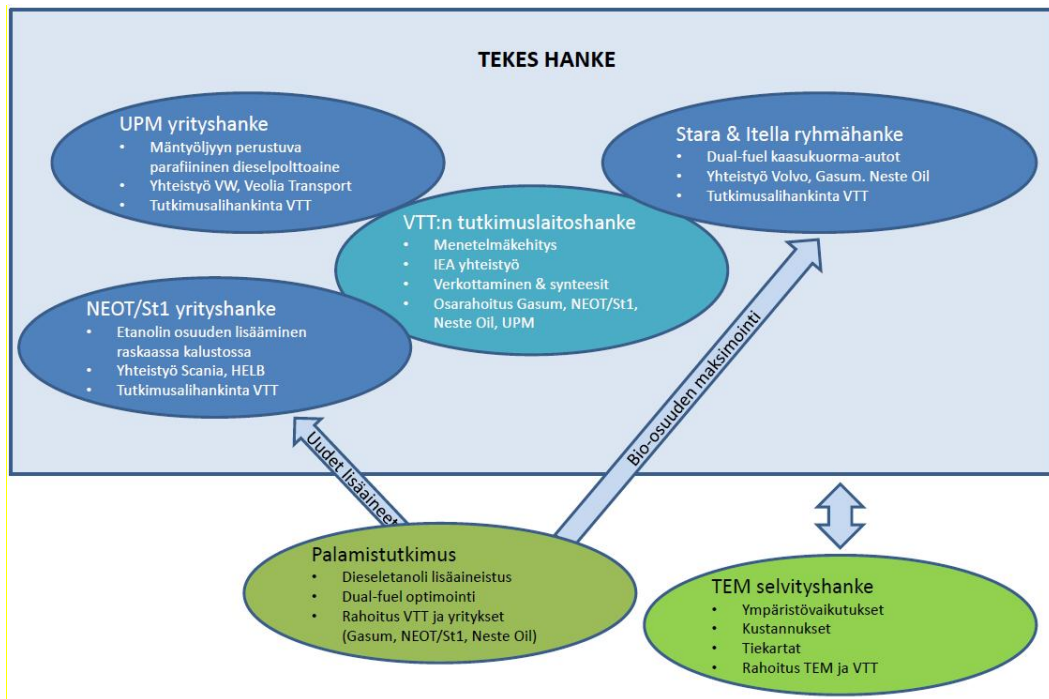
- Etanolin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa (NEOT/St1)
- Mäntyöljyyn perustuva uusiutuva dieselpolttoaine (UPM)

²⁰ http://www.transsmart.fi/files/436/Uudet_dieselmoottorin_biopolttoainevaihtoehdot_BioPilot-loppuraportti_VTT-R-02415-17.pdf

- Biometaanin osuuden lisääminen raskaassa kalustossa ja lisäarvo uusituvalle parafiiniselle diesel-polttoaineelle dual-fuel-ratkaisuissa (ryhmähanke Stara ja Posti (aikaisemmin Itella), koordinaattorina Stara).

VTT:n tutkimuslaitoshanke keskittyi uudenlaisten biopolttoaineiden tuottamien pakokaasupäästöjen karakterisoinnin vaatimaan menetelmäkehitykseen ja vaihtoehtoisiin polttoaineisiin liittyvään IEA-yhteistyöhön palvelun koko hankekokonaisuutta. Kokonaishanke kokosi yhteen tärkeimmät biopolttoaineisiin panostavat energiayhtiöt ja tärkeimmät bussi- ja kuorma-auto-operaattorit.

BioPilot-hankkeen rakenne ja siihen kytkeytyneet hankkeet on esitetty alla (Kuva 2.10).



Kuva 2.10. Kokonaishankkeen rakenne. TEMin selvityshanke viittaa kohdassa 2.3.2 esiteltyyn hankkeeseen. IEA-yhteistyö ja siihen osittain liittynyt menetelmäkehitys esitetään omana kohtanaan kohdassa 2.5.4.

Suureksi osaksi BioPilot-hankkeen myötä syntyneessä yhteistyöverkostossa on myös valmistelu ja käynnistetty Helsingin seudun liikenteen (HSL) ja Helsingin kaupungin (Stara) yhteinen **BioSata**-hanke, joka tähtää siihen, että HSL:n tilaama bussiliikenne ja Staran autot ja työkoneet siirtyvät vaiheittain 100-%:seen biopolttoaineeseen. BioSata-hanke on linkitetty Sitran tuella perustetun Smart & Clean -säätiön pääkaupunkiseudulla toteutettavaan testialustatoimintaan.

Keskeiset tulokset

”BioPilot”-hankkeen tärkeimmät aikaansaannokset ja havainnot olivat:

Raskaat etanoliautot:

- kahden Scania etanolibussin kenttäkoe toteutettiin onnistuneesti
- bussit jatkavat liikennöintiä vielä vuonna 2017 HSL:n ympäristöbonuksen turvin
- etanolipolttoaineen koostumuksen ja lisäaineistuksen vaikutuksia tutkittiin IEA Advanced Motor Fuels (AMF) -ohjelmalle raportoidussa osuudessa
- moottorikokeet saivat jatkoa mm. EU Summeth (Sustainable Marine Methanol) -EU-hankkeessa
- yhteistyö etanolimoottoreita valmistavan Scanian kanssa saatiin käyntiin.

Mäntyöljyyn perustuva uusi dieselpolttoaine:

- uuden polttoaineen suorituskyvyn määrittely laboratorioissa tehdyin ajoneuvokokein ja kenttäkokein
- aloitus henkilöautoilla ja seospolttoaineella, sekä täyden mittakaavan tuotannon käynnistyttyä bussikokeet, joissa vaiheittainen siirtyminen 100-%:seen mäntyöljypohjaiseen polttoaineeseen
- pitkäkestoiset materiaalikokeet
- BioPilot-hankkeen aikana UPM siirtyi koetuoannosta täysmittaiseen kaupalliseen tuotantoon.

Dual-fuel-kaasukuorma-autot:

- Volvon toimittamien Euro V -tasoisten dual-fuel-autojen pakokaasupäästöt ja dieselin korvausaste eivät vastanneet odotuksia
- yksinkertaisella imusarjaan kaasua ruiskuttavalla dual-fuel-tekniikalle ei pystytty täyttämään Euro VI -päästö määräyksiä
- Volvolla on kehitteillä uusi kaasun suoraruiskutustekniikkaan perustuva (High Pressure Direct Injection) dual-fuel-moottori
- Neuvoteltu suomalaisten osapuolien kanssa tämän uuden teknologian kokeilusta osana mahdollista uutta IEA AMF -projektia.

Pakokaasuanalytiikka vaihtoehtoisille polttoaineille:

- Onnistuttiin kehittämään kustannustehokas "harm – no harm" -testausmetodi vaihtoehtoisille polttoaineille
- Menetelmäkehitystä tehtiin osittain IEA-yhteistyönä
- Menetelmäkehityksen validoinnissa saavutettiin uutta tietoa vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävillä Euro 6 -tasoilla henkilöautoilla.

"BioSata" -hanke on tätä kirjoitettaessa (syksy 2017) vasta käynnistysvaiheessa. Vuonna 2016 tehtiin taustatyötä mm. eri autonvalmistajien hyväksynnöistä biopolttoaineille, liikennöitsijöiden suhtautumisesta biopolttoaineisiin sekä laboratoriomittauksia eri polttoainelaatujen vaikutuksesta ajoneuvojen suorituskykyyn. Ensimmäinen konkreettinen askel biopolttoaineen käyttöönotossa oli Staran päätös kesältä 2017 ottaa käyttöön 100 %:n uusiutuva dieselpolttoaine kolmessa omassa jakelupisteessään.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Yleisellä tasolla hankkeilla tavoitellaan biopolttoaineiden lisääntyvää käyttöä raskaissa ajoneuvoissa ja työ-koneissa, mm. kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti. Lisäksi sekä Helsingin seudun liikenteellä (HSL) että Helsingin kaupungilla on omat tavoitteensa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. BioPilot-hankkeessa selvitettiin mm. uusien bionielujen avaamista (etanoli, biokaasu), kohteena raskaat dieselajoneuvot, sekä uusiutuvan dieselpolttoaineen tarjonnan laajentamista varmentamalla uuden kotimaisesta metsäraaka-aineesta valmistetun polttoaineen toimivuus käytännön oloissa.

Sekä BioPilot- että BioSata-hankkeissa onnistuttiin luomaan yhteistyömallit, joissa mukana on useampi energiayhtiö edistämässä biopolttoaineiden loppukäyttöä. Hankkeissa on muodostunut tehokas yhteistointaverkko suomalaisille biopolttoainetoimijoille. Kotimaiset pilotointihankkeet on myös linkitetty kansainväliseen verkkoon varmistamalla tehokas kaksisuuntainen tiedonsiirto vaihtoehtoisiin polttoaineisiin liittyvässä IEA-yhteistyössä. Lisäksi kansainvälistä näkyvyyttä haetaan Smart & Clean -yhteistyön avulla.

Lisätietoja: nils-olof.nylund@vtt.fi, juhani.laurikko@vtt.fi, petri.soderena@vtt.fi

Biopolttoainehankkeissa on onnistuttu muodostamaan tehokas yhteistointaverkko suomalaisille biopolttoainetoimijoille. IEA- ja Smart & Clean yhteistyön kautta tieto suomalaisesta biopolttoaineosaamisesta ja suomalaisista strategioista siirtyvät myös kansainväliseen tietosuuteen.

2.5.4 Automaattiajaminen ja C-ITS (EU-projektien kotiuttaminen)

Mikä

Connected and Automated Driving (CAD) on noussut niin kansallisesti kuin kansainvälisesti merkittäväksi autoteollisuutta ohjaavaksi kehitystrendiksi. Markkinoiden odotetaan nousevan 42 miljardiin euroon vuoteen 2025 mennessä [BloombergTechnology News], ja vuonna 2040 75 % autoista olisi täysin automaattisia [IEEE Expert Members]. Liikenteen automatisointiin liittyy suoraan autojen keskinäinen verkottuminen sekä digitaalisen infrastruktuurin kehittäminen. Merkittävin asia on latenssiaikojen minimointi siten, että autot pysyvät pitämään muita autoja anturilähteinä. Anturidatan fuusiointi ja ajoneuvon älykkyyden kasvattaminen kulkevat käsi kädessä automaation kehittämisessä toimimaan erilaisissa ympäristöissä ja keliolosuhteissa. Lisäksi automaation lisääntymisen vaikutukset kuljettajan toimintaan, vuorovaikutukseen liikenteessä ja sitä kautta liikenneturvallisuuteen, liikenteen sujuvuuteen ja energiankulutukseen ja päästöihin ovat tärkeitä osakokonaisuuksia, joihin keskitytään useissa meneillään olevissa EU-hankkeissa.

Miksi

Automaatioteknologian optimaalinen kehittäminen liikenteessä voi parantaa liikenne turvallisuutta, liikenteen sujuvuutta ja ihmisten liikkumismahdollisuuksia. VTT:n projektiportfolio niin C-ITS- kuin automaattiajoneuvojen tutkimuskentässä on noussut hyvin vahvaksi tarjoten mahdollisuuden mennä mukaan autoteollisuuden vetämiin kovatasoisiiin EU-hankkeisiin (ks. kuva 2.10). Tietotaitoa on myös jaettu kotimaassa niin Teke-sin kuin toimeksiantojen kautta paikallisille ICT-alan yrityksille ja työkonevalmistajille sekä niiden alihankkijoille.

5G- ja ITS-G5-verkkojen avulla autot voivat vaihtaa tietoa keskenään ja siten pidentää niiden anturijärjestelmien kattavuutta. Verkkojen alueella Suomessa on vahvaa teollista osaamista, jota voidaan automaatiokehityksessä hyödyntää. Teknologia on suoraan käytettävissä myös muissa liikkumisvälineissä kuten laivat sekä työkoneet. Vaikutusarvio-osaaminen on myös vahvaa Suomessa, ja VTT:llä onkin merkittävä rooli vaikutusarviomenetelmissä ja vaikutusten arvioinneissa useissa isoissa EU-hankkeissa, joista viimeisimpänä syyskuussa 2017 aloitettu 68 miljoonan euron L3Pilot-hanke.



Kuva 2.11. Automaattiajamisen projektiportfolio.

Ketkä

Automaattisia ajoneuvoja kehittävät erityisesti eurooppalainen autoteollisuus ja sen alihankkijat mutta myös kotimaiset ja globaalit työkonevalmistajat. C-ITS-palveluissa ja televerkoissa erityisesti perinteiset IT-yhtiöt (Nokia, Tieto, Elisa jne.) sekä telematiikka- ja liikennetietotalot (mm. Dynniq ja Vaisala) ovat aktiivisia toimijoita. Lisäksi palvelujen alueella on paljon pieniä start-up-yrityksiä. Myös anturikomponentteja kehittävät monet suomalaisetkin yritykset. Viranomaiset ovat ajava voima automaatiokehityksessä ja erityisesti infrastruktuuri-investointien suunnittelussa. Tutkimuksen rooli on merkittävä sekä teknisessä kehitystyössä että riippumattomien arviointien tekemisessä.

Miten

Kehitetään ohjelmistoja ja antureita, jotka mahdollistavat autojen automaation käyttämisen myös vaikeissa keliolosuhteissa. Ohjelmistoilla yhdistetään paitsi ajoneuvon eri anturilähteiden (kamerat, laserskanner ja tutkat) älykkäällä tavalla niin myös hyödynnetään ulkoisia IoT-palveluja. Autot verkottuvat ja ne paitsi luovat, myös hyödyntävät digitaalisia tietovarantoja.

Lisäksi VTT kehittää jatkuvasti osaamistaan ja menetelmiään älyliikenteen vaikutusten arvioinnissa. Osaamisella on vahvat perinteet jo tienvarsiteknologian arvioinnin ajalta, ja sitä on kehitetty nyt entistä enemmän automaation, ihmisen toiminnan analysoinnin, sekä koko liikennejärjestelmään kohdistuvien suorien ja epäsuorien vaikutusten arviointiin.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

TransSmart on mahdollistanut vahvan EU-tason projektiportfolion kehittämisen automaattisen ajamisen ja C-ITS-kehityksen alueelle. VTT:n projekti portfolion arvo on n. 7 M€, joka mahdollistaa pitkäjänteisen kehittämisen aina vuoteen 2019 asti. VTT on noussut myös tunnetuimmaksi suomalaiseksi autoteollisuuden T&K-toimijaksi, joka on luonut parhaat mahdolliset verkostot toimimiseen liikenteen robotisaation kanssa. Tästä hyötyy suoraan myös kotimainen työkoneteollisuus.

Lisätietoja: matti.kutila@vtt.fi, jukka.laitinen@vtt.fi

TransSmart on mahdollistanut vahvan EU-tason projektiportfolion kehittämisen automaattisen ajamisen ja C-ITS-kehityksen alueelle, edistäen kotimaista teollisuutta, osaamista ja näkyvyyttä.

2.5.5 IEA-yhteistyö liikennepolttoaineissa

Mikä

Kansainvälisellä energijärjestöllä IEA:lla on yhteensä noin 40 tutkimussopimusta (Technology Collaboratorion Programme TCP) eri tekniikan alueilta²¹. Liikenteeseen liittyviä sopimuksia on yhteensä seitsemän, joukossa liikennepolttoaineita käsittelevä **Advanced Motor Fuels (AMF)**²². AMF käynnistyi jo vuonna 1984 nimellä "Alcohols as motor fuels". Vuosien saatossa AMF:n puitteissa on käynnistetty yli 50 projektia (An nexia).

²¹ <https://www.iea.org/tcp/>

²² <http://www.iea-amf.org/>

Miksi

AMF tarjoaa riippumattoman kansainvälisen yhteistoiminta-alustan kehittyneitä liikennepolttoaineita koskevaan tiedonvaihtoon ja tutkimusyhteistyöhön. Monesta muusta IEA-sopimuksesta poiketen AMF myös tuottaa omaa tutkimusdataa. AMF:n tavoitteena on tuottaa luotettavaa, tieteellisesti verifioitua dataa ja arviointia kehittyneistä liikennepolttoaineista käytettäväksi päätöksen teossa eri tasoilla. Datan tuottamiseksi AMF:

- yhdistää resursseja ja dataa kansainvälisellä tasolla
- tunnistaa ja ratkaisee vaihtoehtoisten polttoaineiden teknologiaan ja käyttöön liittyviä haasteita
- suorittaa tutkimusta usean toimijan yhteistyöhön perustuen
- järjestää ja seuraa kehittyneiden moottoripolttoaineiden ja niihin liittyvien ajoneuvo- ja pakokaasun jälkikäsitteilyteknologioiden demonstrointeja
- yhdistää tietoja ja tuottaa suosituksia niin julkisen sektorin kuin yritystenkin päätöksentekoon.

Resurssien yhdistäminen ja kaksisuuntainen tiedonvaihto ovat Suomen kannalta tehokkaita tapoja toimia puhtaampien liikennepolttoaineiden edistämistyössä.

Ketkä

Tällä hetkellä AMF-sopimukseen osallistuu yhteensä 17 partneria 15 eri maasta (Japanista kolme osallistuvaa tahoa). VTT toimii sopimuksessa Suomen edustajana. Normaalisti Tekes edustaa Suomea IEA-tutkimussopimuksissa.

Miten

Suomi liittyi sopimukseen vuonna 1990, ja siitä lähtien Suomen ja VTT:n vastuulla on ollut katkeamaton sarja AMF Annexeja. Suomi on myös hoitanut sopimuksen puheenjohtajuutta tai varapuheenjohtajuutta vuodesta 1998 lähtien. Suomi onkin ollut yksi AMF-sopimuksen aktiivisimmista partnereista.

Toukokuussa 2017 VTT isännöi AMF Executive Committee -kokousta Helsingissä. Kokouksen yhteydessä järjestettiin seminaari ”Finnish policies, strategies and technology”. Seminaarissa puheenvuoroja pitivät työ- ja elinkeinoministeriö, HSL, Öljy- ja biopolttoaineala ry, Gasum, Neste, St1, UPM, Valmet, Wärtsilä ja VTT. Seminaarin päätteeksi vieraat tutustuivat VTT:n Bioruukki-pilotointikeskukseen.

TransSmartin aikana VTT toimi kahden AMF Annexin vastuutahona:

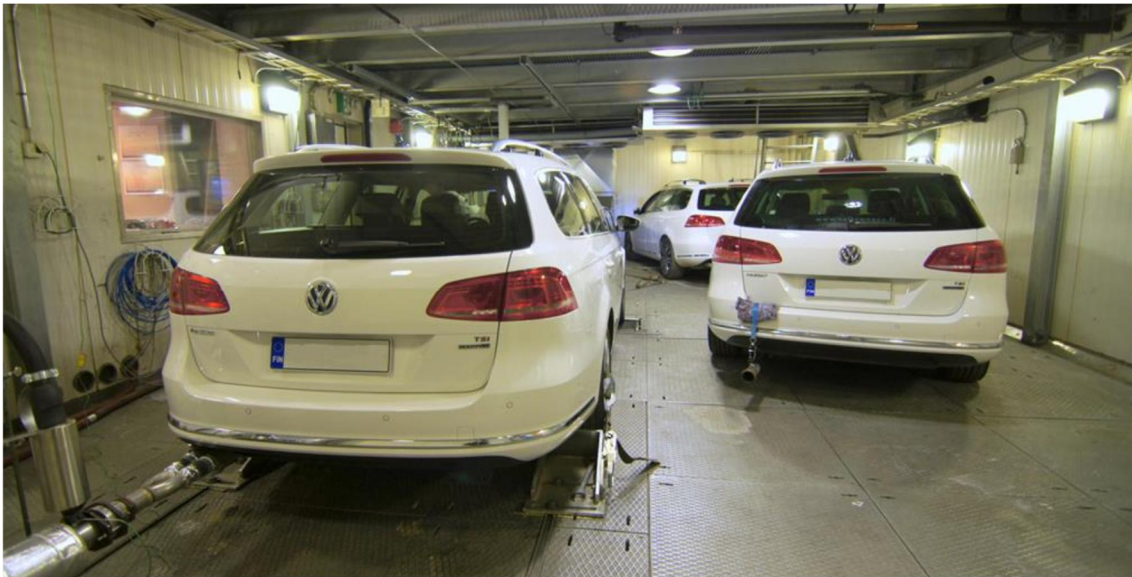
- Annex 43: CARPO – Performance Evaluation of Passenger Car Fuel and Powerplant Options²³ (rahoitusta erillisellä Tekes-päätöksellä)
- Annex 49: COMVEC – Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles²⁴ (rahoitusta Bio-Pilot-hankkeen kautta).

Molemmat hankkeet raportoitiin vuonna 2016. Kumpikin hanke toteutettiin useamman laboratorion yhteistyönä, ja kummassakin tuotettiin uutta ensi käden AMF dataa.

CARPO-hankkeessa tutkittiin erilaisia henkilöautoja ja niiden polttoaineita, ja mukana oli myös sähköautoja. Tässä hankkeessa Kanada, Kiina, Ruotsi ja Suomi tuottivat uutta mittausdataa. Lisäksi Japani ja USA toimittavat projektiin käyttöön sopivaa, jo olemassa olevaa dataa. Mittauksissa punaisena lankana oli ajatus siitä, että kukin laboratorio mittaisi autoa, johon on tarjolla mahdollisimman monta voimalaiteratkaisua. Näin eliminoidaisiin itse auton ominaisuudet, ja päästäisiin vertaamaan voimalinjavaihtoehtoja toisiinsa. VTT:llä päädyttiin mittaamaan Volkswagen Passatia (**Kuva 2.12**). Mitatut vaihtoehdot olivat bensiini (kaksi tehoversiota), diesel (kaksi tehoversiota), flex-fuel-etanoliauto, bi-fuel-kaasuauto (bensiini ja metaani) sekä sähköauto (muunnossähköauto).

²³ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_43.pdf

²⁴ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_49.pdf



Kuva 2.12. CARPO-hankkeen Volkswagen Passat -autoja VTT:n pakokaasulaboratoriossa.

COMVEC-hankkeen tavoitteiksi kirjattiin:

- Yhteisestä testimetodiikasta sopiminen erilaisten hyötyajoneuvojen suorituskyky- ja vertailumittauksissa
- Hyötyajoneuvoja (tavara-ajoneuvoja) koskevan suorituskykydatan generointi täydentämään aikaisempia IEA AMF hankkeita (Annex 37 busseihin, Annexit 38 ja 39 liittyivät kuorma-autoihin ja Annex 43 henkilöautoihin).

COMVEC-hankkeeseen osallistui yhteensä 8 eri tutkimuslaitosta neljältä eri mantereelta (Aasia, Eurooppa, Etelä-Amerikka, Pohjois-Amerikka):

- Environment and Climate Change Canada (ECCC), Kanada
- Centro Mario Molina (CMMCh), Chile
- China Automotive Technology and Research Center (CATARC), Kiina
- Danish Technological Institute (DTI), Tanska
- Organization for the Promotion of Low Emission Vehicles (LEVO), Japani
- Swedish Transport Administration (STA),
- PTT Research and Technology Institute, Thaimaa
- VTT, Suomi (koordinaattori).

Näistä japanilainen osapuoli teki mittauksia moottoridynamometriin asennetuilla moottoreilla. Muut osapuolet mittasivat kokonaisia autoja alustadynamometrissa.

Työ alkoi yhteisten testimenetelmien määrittelyllä. Ajoneuvomittauksissa (alustadynamometrimittauksissa) päätettiin käyttää World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) -testisykliä. Ohjeellinen kuorma oli 50 % täydestä kuormasta. Kaikki mittaukset tehtiin täysin lämmenteillä moottoreilla.

Alustadynamometrimittauksin testattiin yhteensä 35 erilaista ajoneuvoa, pakettiautoista rekkavetureihin. Autot ryhmiteltiin (ohjeellisesti) kolmeen pääluokkaan:

- Luokka 1: kevyet tavara-autot (kokonaispaino 2 500–5 000 kg)
 - paketti- ja avolava-autot
- Luokka 2: keskiraskaat kuorma-autot (kokonaispaino 5 000–18 000 kg)
 - jakelukuorma-autot, jäteautot ja vastaavat kaksiakseliset autot
- Luokka 3: rekkaveturit (kokonaispaino ~ 40 000 kg).

BioPilot-hankkeen puitteissa, osittain IEA-yhteistyöhön liittyen tehtiin myös **pakokaasumittausten menetelmäkehitystä**.

Uusien vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto tuo päätöksentekoon haasteita niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Nykyisin yleisesti käytettävät pakokaasujen mittausten menetelmät eivät riitä määrittämään kaikkia uusien ajoneuvojen ja vaihtoehtoisten polttoaineiden päästövaikutuksia. Menetelmiä tulee parantaa, jotta valintoja tehtäessä ja uusia polttoainelaatua käyttöönotettaessa voidaan mahdollisimman laajasti ja luotettavasti arvioida hyötyjä ja haittoja, eikä aiheuteta tahattomasti uudenlaisia päästöongelmia.

Projektin tavoitteena oli kehittää, parantaa ja optimoida VTT:llä jo olemassa olevia analyysi-menetelmiä vaihtoehtoisten polttoaineiden ja tekniikoiden pakokaasupäästöjen tarkempaan karakterisointiin ja vaikutusten arviointiin. Lisäksi tavoitteena oli löytää kokonaisvaltaisempia menetelmiä pakokaasupäästöjen ympäristö- ja terveyshaittojen määrittämiseksi. Uusilla teknologioilla ja polttoaineilla on piirteitä, joiden tutkimiseen ei ole ollut olemassa sopivia analyysimenetelmiä.

Analyyssimenetelmien validointi suoritettiin kahden mittauskampanjan yhteydessä:

- Alustava validointi IEA AMF Annex 44:ssä: "Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels" (Annex 44, vastuutaho CATARC, Kiina). VTT:llä tutkittiin kahden FFV-auton päästöjä kolmella alkoholipolttoaineella (E10, E85 ja E100) +23 °C:ssa ja -7 °C:ssa. (Aakko-Saksa et al. 2014²⁵)
- Mittauskampanja viidellä henkilöautolla VTT:llä huhtikuussa 2015.

Keskeiset tulokset

CARPO-raportissa todetaan:

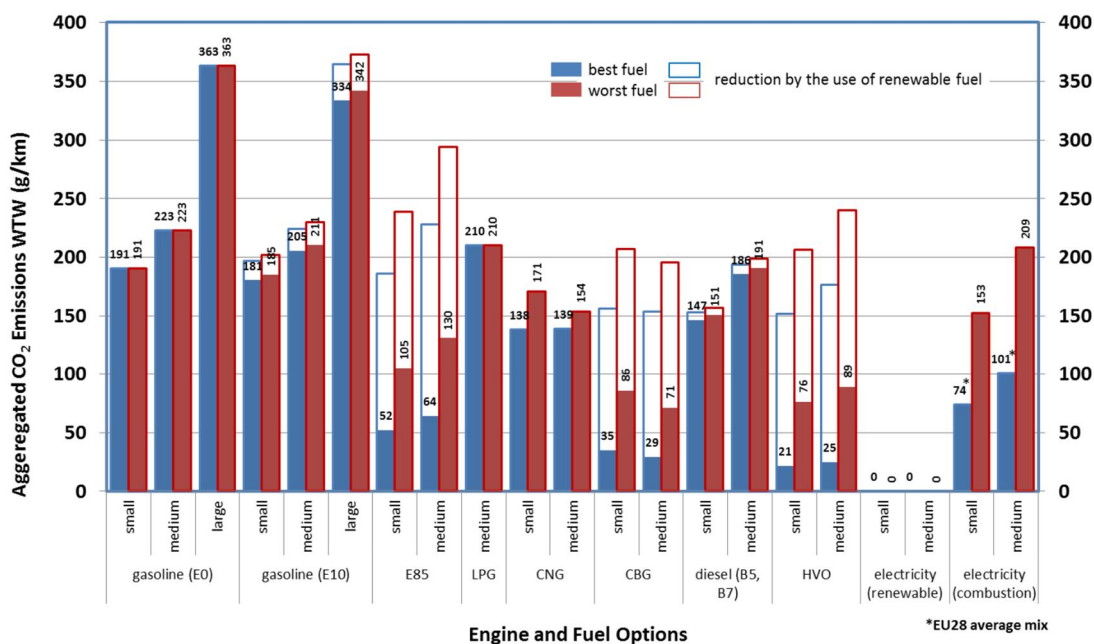
"Fossiilisia polttoaineita käyttävien polttomoottoriautojen suurin ongelma on korkeat CO₂ päästöt (well-to-wheel tarkastelussa). Oikeanlaista uusiutuvaa polttoainetta käytettäessä polttomoottori on kuitenkin edelleenkin varteenotettava vaihtoehto. Esimerkkinä olkoon yksinkertaisella ja toimintavarmalla kolmitoimikatalyysaattorilla varustettu ottomoottori, joka biokaasulla (biometaanilla) toimiessaan käyttää uusiutuvaa polttoainetta täyttäen samalla kaikkein ankarimmat pakokaasupäästövaatimukset.

Puristusyttytteiset moottorit (dieselmoottorit) tarjoavat paremman hyötysuhteen, mutta haasteena on typen oksidien (NO_x) päästöjen hallinta. Dieselmoottoreissa uusiutuvan energian osuus voidaan nostaa hyvin koreaksi käyttämällä parafiinista uusiutuvaa dieselpolttoainetta (HVO). Parafiininen polttoaine auttaa lisäksi lähipäästöjen vähentämisessä pienentäen hyvän syttyvyytensä ansiosta typen oksidien muodostumista sekä molekyyliarakenteensa kautta hiukkaspäästöjä.

Sähköautojen korkea hyötysuhde pitää koko energiaketjun well-to-wheel CO₂ päästöt kohtuullisena siinäkin tapauksessa, ettei käytetty sähkö ole 100 %:sesti uusiutuvaa. Sähköautojen keskeiset ongelmat tekniikan nykytasolla ovat lyhyt toimintamatka ja korkeat kustannukset."

Kuva 2.13 esittää tätä eri käyttövoimien koko energiaketjun yli tehtyä CO₂-päästöjen vertailua.

²⁵ Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Roslund, P., Koponen, P., Nuottimäki, J., Karjalainen, P., Rönkkö, T., Timonen, H., Saarikoski, S. and Hillamo, R. (2014) Research on Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels – VTT's contribution to the IEA-AMF Annex 44. Research Report: VTT-R-03970-14, 2014. VTT, 28 p. + app. 6 p.



Kuva 2.13. Henkilöautojen käyttövoimavaihtoehtojen kokonaisten energiaketjujen vertailua.

CARPO-hankkeessa kehitettiin myös eräänlainen suorituskykyindeksi. Sähköauto on tämän indeksin perusteella paras vaihtoehto. Keskimääräisellä eurooppalaisella sähköllä (EU-28) toimiva sähköauto on parempi kuin mikään fossiilisella polttoaineella toimiva polttomoottorivaihtoehto. Paras polttomoottorivaihtoehto oli uusiutuvalla parafiinisella polttoaineella toimiva diesel, biokaasulla toimivan ottomoottorin ollessa hyvä kakkonen. Huonoimman indeksin saivat bensiini- ja nestekaasukäyttöiset ottomoottorit (fossiilisilla polttoaineilla toimiessaan).

Englanninkielinen CARPO-loppuraportti²⁶ on kokonaisuudessaan ladattavissa IEA AMF -verkkosivulta.

COMVEC-hankkeen "key messages" tiivistettiin seuraavasti:

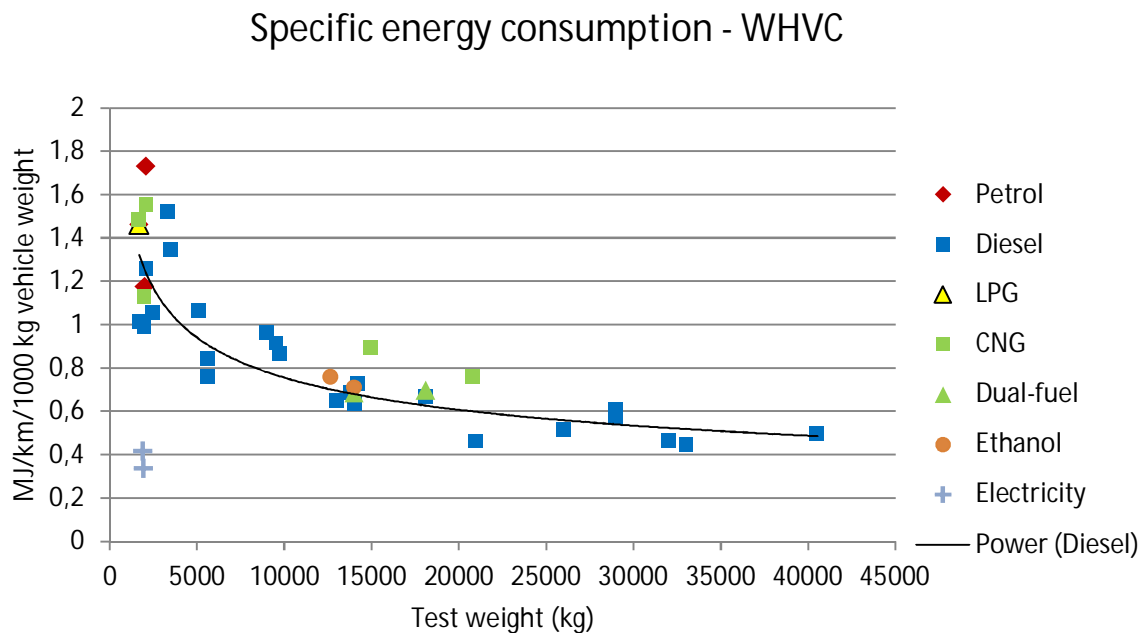
- Siirtyminen Euro III -tasoisista autoista Euro IV- tai Euro V -tasoiisiin autoihin ei välttämättä tuo mukanaan todellisia päästöhyötyjä, vasta Euro VI (tai US 2010) tuo mukanaan merkittäviä päästövehennyksiä
 - tämä tulisi ottaa huomioon kehittyvillä markkinoilla uusista päästövaatimuksista päätettäessä, Suomessa tämä tulisi ottaa huomioon esim. kuljetuspalveluluiden hankinnassa
 - Euro VI -dieselautot tosin vaativat kunnossa pysyäkseen korkealaatuisia rikittömiä polttoaineita, mikä saattaa tehdä niiden käytöstä haasteellista kehittyvillä markkinoilla, joissa polttoaineiden laatu ei aina ole paras mahdollinen
- Päästöjen vähentämisteknologia/päästölukitus määrää ensisijaisesti säänneltyjen päästöjen tason, ei niinkään polttoaine
- Vaste pakokaasupäästöissä siirryttäessä dieselpolttoainetta suoraan korvaaviin polttoaineisiin (bio-diesel, uusiutuva diesel) vaihtelee ajoneuvosta toiseen, ja myös ajoneuvoluokasta (kevyet hyötyajoneuvot vs. kuorma-autot) toiseen
 - Euro VI -tasolla polttoaineen suora vaikutus päästöihin on hyvin rajallinen, koska absoluuttinen päästötaso on hyvin matala niissä käytettävien hyvin kehittyneiden päästöhallintajärjestelmien ansiosta
 - Vanhemmissa ajoneuvoissa esim. parafiinisen polttoaineen käyttö tavanomaisen dieselpolttoaineen sijaan voi alentaa säänneltyjä päästöjä aina 30 %:iin asti, päästökompontista riippuen

²⁶ Performance Evaluation of Passenger Car, Fuel and Powerplant Options (CARPO). http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_43.pdf

- Polttoaineen tai energian kantajan hiili-intensiteetti määrittelee elinkaaren (well-to-wheel) CO₂, ei niinkään ajoneuvoteknologia
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden CO₂ tarkastelut tulisi aina tehdä well-to-wheel-periaatteella, ei pelkästään pakoputken päästä mitattuja (tank-to-wheel) CO₂-päästöjä arvioiden
- Ajoneuvon sähköistys yhdistettynä vähähiiliseen sähköön on hyvä vaihtoehto niin paikallisten päästöjen kuin well-to-wheel CO₂-päästöjen kannalta
 - on kuitenkin otettava huomioon, ettei sähköistys sovellu kaikkiin hyötyajoneuvoihin
- Vastaavasti Euro VI (tai US 2010) -tasoinen ajoneuvo yhdistettynä kestävästi tuotettuun uusiutuvaan polttoaineeseen on hyvä vaihtoehto niin paikallisen ilman laadun kuin ilmaston kannalta
- Eräät hiljattain ilmestyneet raportit enteilevät, että biopolttoaineet ovat kustannustehokas vaihtoehto tieliikenteen CO₂-päästöjen vähentämiseksi (sähkö- ja polttokennoautoihin verrattuna)
 - fossiilinen maakaasu sen sijaan ei ole kustannustehokas keino raskaiden ajoneuvojen CO₂-päästöjen vähentämiseksi.

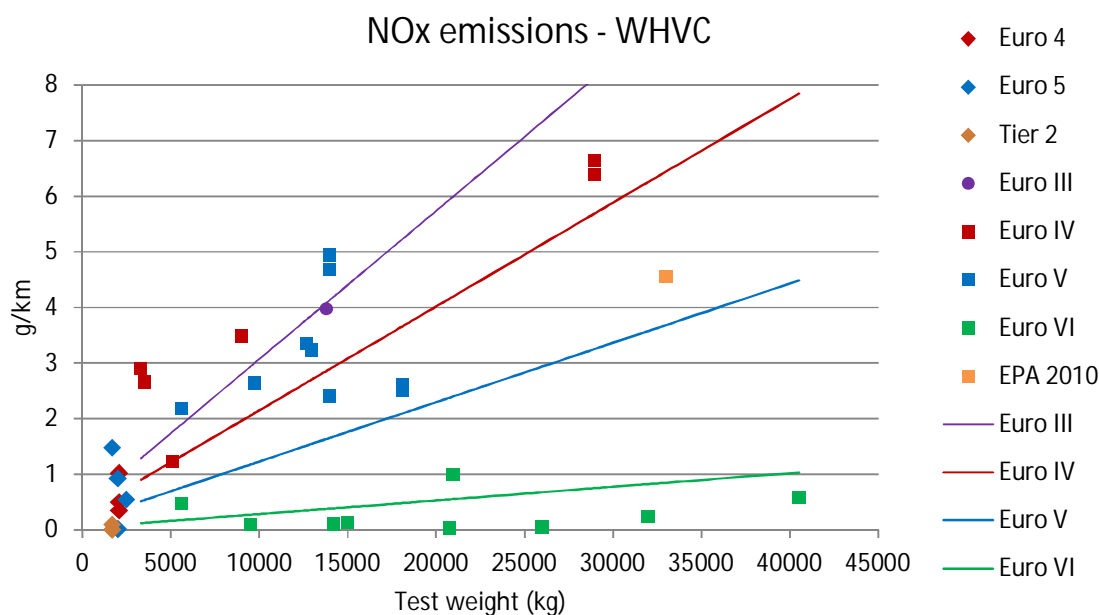
Englanninkielinen COMVEC-loppuraportti²⁷ on kokonaisuudessaan ladattavissa IEA AMF -verkkosivulta.

Kuva 2.14 on energian ominaiskulutus (energiankulutus suhteessa ajoneuvon massaan) polttoaineittain ja **Kuva 2.15** NO_x-päästö. Energiatehokkuuden osalta sähköautot ovat omaa luokkaansa, kun taas kaasuautot kuluttavat enemmän energiaa kuin dieselautot keskimäärin. Euro VI -tasoinen autojen todellinen NO_x-päästö on pääsääntöisesti alle raja-arvojen, kun taas Euro IV- ja V-tasoinen autojen NO_x-päästöt ovat selvästi suuremmat kuin raja-arvot antaisivat olettaa.



Kuva 2.14. Energian ominaiskulutus polttoaineittain.

²⁷ http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_49.pdf



Kuva 2.15. NO_x-päästö päästoluokittain. Yhtenäiset viivat edustavat eri päästoluokkien raja-arvoista johdettuja arvoja.

Pakokaasumittausten **menetelmäkehityksessä** parannettiin useita menetelmiä ja kehitettiin kokonaan uusia. Hiilivetyerittelyä ja aldehidianalyysiä parannettiin vaihtoehtoisille polttoaineille paremmin sopiviksi. Yksi uusi hankkeessa kehitetty menetelmä on pakokaasun puolihaihtuvien yhdisteiden keräys (ns. Empore-suodattimet) ja niiden huomioon ottaminen päästöjen vaikutusten arvioinnissa.

Hankkeessa kehitettiin ja otettiin käyttöön myös pakokaasutilavuuspohjainen näyteannostelu biologisiin testeihin. Näin uusien polttoaine-, moottori- ja jälkikäsitteilytekniikoiden vaikutuksia voidaan tutkia kohtuullisin kustannuksin. Hankkeessa otettiin käyttöön myös uusia näytteiden käsittelymenetelmiä, kuten hiukkasten ultraääniuutto aikaa ja liuottimia paljon kuluttavan Soxhlet-uuton tilalle PAH-näytteiden valmistelussa.

Hiukkasten ja semihaihtuvan osuuden biologisten vaikutusten arviointiin otettiin käyttöön oksidatiivisen potentiaalin määrittäminen (DTT-analyysi) ja pienten näytemäärien mutageenisuudesta (microAmes). Mittausmenetelmien kehitystyön lisäksi projektin aikana testattiin ja evaluoitiin eri analyysipalvelujen tarjoajia. Uudenlainen lähestyminen näyteannosteluihin ja uuttoihin sekä uudet palveluntarjoajat parantavat testien joustavuutta ja kustannustehokkuutta.

Uusia menetelmiä validoitiin mittauskampanjojen avulla, osittain IEA yhteistyönä Annex 44:n puitteissa. Hankkeessa kehitettyjä menetelmiä ja kerättyä tietoa voidaan vastaisuudessa käyttää hyväksi vaihtoehtoisten polttoaine-, moottori- ja jälkikäsitteilytekniikoiden pakokaasupäästöjen suorien ja epäsuorien vaikutusten arvioimisessa.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Suomi on ollut yksi aktiivisimmista AMF-osapuolista, ja Suomi on pystynyt ohjaamaan AMF:n toimintaa niin, että se on mahdollisimman hyvin palvellut Suomen intressejä. AMF:n puitteissa on vuosien saatossa onnistuttu kehittämään useita merkittäviä, uutta ensi käden dataa tuottaneita kansainvälisiä yhteishankkeita. Yhteishankkeet ovat merkinneet vipuvartta ja mahdollisuutta kustannusten jakamiseen useamman maan kesken.

AMF-toiminta on kaksisuuntaista. Suomi on kustannustehokkaalla tavalla saanut tietoa vaihtoehtoisista polttoaineista, pystynyt ohjaamaan AMF:n toimintaa ja saanut luotua arvokkaita kansainvälisiä kontakteja. AMF:n puitteissa syntynyttä tietoa on hyödynnetty kansallisia polttoainestrategioita laadittaessa. Toisaalta

AMF on mahdollistanut suomalaisen biopolttoaineosaamisen ja suomalaisyritysten tunnetuksi tekemisen maailmalla. Esimerkkinä tästä olkoon, että Neste on toimittanut koepolttoaineita, lähinnä uusiutuvaa dieseliä, niin VTT:n vastuulla olleisiin hankkeisiin kuin muiden osapuolien hankkeisiin, tehden sitä kautta tuotteitaan tunnetuksi.

AMF:n puitteissa luodut kontaktit ovat myös mahdollistaneet kahdenkeskisiä hankkeita, mm. akseleilla Suomi–Chile ja Suomi–Japani.

IEA AMF hankkeissa suomalainen polttoaineosaaminen on nostettu maailmankartalle. Aktiivisella toiminnalla Suomi on pystynyt muokkaamaan AMF:n toimintaa niin, että se mahdollisimman hyvin palvelee Suomen intressejä. Kansainväliset yhteistyöhankkeet antavat vipuvartta käytössä oleviin tutkimusresursseihin ja tuotettavan tiedon määrään.

Lisätietoja: nils-olof.nylund@vtt.fi (IEA AMF, COMVEC), juhani.laurikko@vtt.fi (CARPO), paivi.aakko-saksa@vtt.fi (menetelmäkehitys)

2.6 Edistyksellinen anturitekniikka turvallisen ja tehokkaan liikenteen palveluksessa

Mikä

VTT:n tietointensiiviset tuotteet ja palvelut -liiketoiminta-alue (KIPS) kehittää mm. anturitekniikoita eri sovel-lusalueille. Ns. MEMS (**Micro-Electro-Mechanical Systems**) -antureille on tyypillistä pieni koko ja alhainen hinta. MEMS-antureita sovelletaan laajasti mm. kiihtyvyyden, värähtelyjen ja paineiden mittauksiin. Myös kemiallisten yhdisteiden tunnistamiseen kehitettyä spektrometriaa voidaan soveltaa pienoiskokoon ja mas-satuotantoon.

Miksi

Edistyksellistä anturitekniikkaa voidaan hyödyntää mm. polttomoottorien ohjauksen ja hyötysuhteen paran-tamiseen, liikenneturvallisuuden parantamiseen ja liikenneympäristön havainnointiin tarkoitettuja anturitek-niikoita laajemminkin ajoneuvojen automatisoinnin mahdollistamiseen. Anturitekniikkaa kehittävien ryhmien ja sovelluksia lähellä olevien tutkimusryhmien (ajoneuvo- ja moottoritekniikka, älyliikenne, automaattiajoneu-vot) yhteistyöllä haluttiin myös vahvistaa yhteistyötä VTT:n eri liiketoiminta- ja tutkimusalueiden välillä.

Ketkä

VTT:n sisäisissä miniprojekteissa tutkittiin KIPS:ssa kehitettyjen teknologioiden toimivuutta TransSmart-oh-jelmaan liittyvissä sovelluksissa. Rahoitettavat miniprojektit valittiin ohjelman ydintimissä ja valinnat hyväk-sytettiin ohjelman sisäisellä johtoryhmällä. TransSmart-ohjelma mahdollisti teknologian (erilaiset anturitek-niikat) ja tarpeiden (älykkään vähähiilisen liikenteen anturointitarpeet) yhdistämisen.

Miten

Ehdotuksia pyydettiin ydintiimin havaitsemien liiketoimintatarpeiden ja potentiaalisen kysynnän pohjalta. Useissa aiheissa perusteknologia oli jo valmiina, mutta räätälöintiä liikenne/ajoneuvosovelluksiin ei ollut tehty. Miniprojektit toimivat testeinä ja demonstraattoreina eri teknologioiden sovellettavuudesta.

KIPSin TransSmart-hankkeet jakautuivat neljään pääteemaan:

- moottori ja sen anturointi (perimmäinen tavoite toiminnan optimointi ha tehokkuuden maksimointi), ks. 2.6.1
- turvallisuuden parantaminen (fokus kevyessä liikenteessä), ks. 2.6.2
- ajoneuvon ympäristön havainnointi (liittyy ajoneuvojen automatisointiin), ks. 2.6.3
- digitaaliset palvelut (liittyy mm. matkustajapalveluiden kehittämiseen), ks. 2.6.4.

Vaikuttavuus ja tulosten hyödyntäminen

Tehdyt suhteellisen pienet miniprojektit luovat pohjaa tulevaisuuden isommille tutkimushankkeille sekä tuotavat julkaisuja ja demoja, jotka edistävät myös suorien toimeksiantoprojektien myyntiä. Monessa tapauksessa kyseessä on VTT:llä kehitettyjen osaamisten yhdistämisestä ja hyödyntämisestä uusien partnereiden ja asiakkaiden kanssa. Laajemmassa mittakaavassa kyse on valmistautumisesta liikennesektorin digitalisointiin ja siihen liittyviin suuriin murroksiin kuten liikenteen automatisoituminen, sähköistyminen, vähähiilisyys ja tietoliikenteen räjähdysmäinen lisääntyminen.

Seuraavassa lyhyet kuvaukset toteutetuista pienistä anturitekniikkaan liittyvistä projekteista mainituissa neljässä pääteemassa.

2.6.1 Moottori ja sen anturointi

Moottorien anturit: Lisääntyvä instrumentointi ja teollinen internet mahdollistavat moottorien ja kokonaisten ”laivastojen” hallinnan. Oletettavasti myös internetiin kytkettyjen anturien lisääntyvät ja antureille asetetaan uusia vaatimuksia.

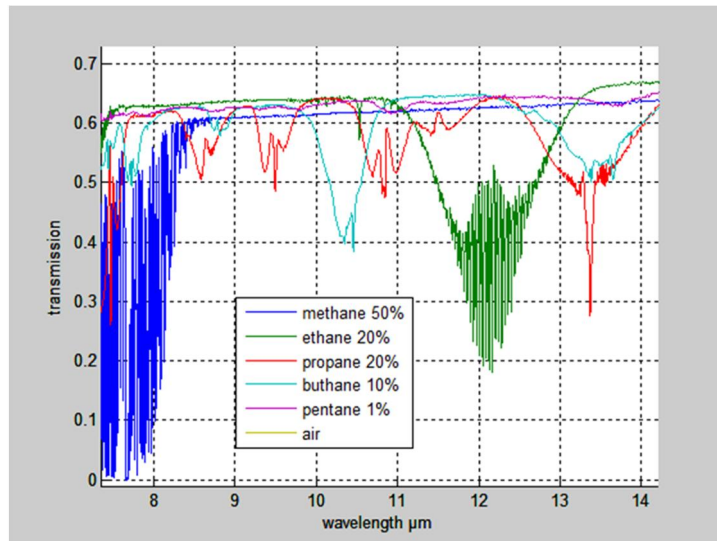
Sylinteripaineen mittaus

Sylinterin paineen mittaus mahdollistaa tarkan moottorin käynnin säädön ja huomattavan polttoaineen kulutuksen ja päästöjen minimoinnin. Antureita ja niiden lukupiirejä valmistettiin testattavaksi moottoreissa. Antureille kehitettiin pakkausmenetelmä joka mahdollistaa toiminnan korkeissa lämpötiloissa. Anturit testattiin etukäteen ja niiden painevaste todettiin hyvin lineaariseksi. Anturien asennus moottoreihin suunniteltiin ja sylinterinkannen koneistus tehtiin, mutta projektin aikana antureita ei ehditty testata, koska sopivat testimoottorit olivat varattu muuhun käyttöön.

Polttoaineen laadun mittaus

Tiedon polttoaineen laadusta ja koostumuksesta toivotaan auttavan tehostamaan palamisprosessia moottorissa sekä vähentämään haitallisia emissioita. Polttoaineen laatu vaikuttaa myös moottorin toimintaan ja kestävyuteen. Tiedon uskotaan hyödyttävän moottorien, ajoneuvojen ja työkoneiden valmistajia, sekä näiden alihankkijoita.

Nestekaasun laadun mittauksesta mikrospektrometrillä tehtiin feasibility study. Aiemmin VTT:llä kehitettyjä mikrospektrometrejä on käytetty mm. ilman hiilidioksidipitoisuuden mittaukseen. Valitsemalla spektrometrin aallonpituusalue sopivasti voidaan mitata myös polttoaineena käytettävien hiilivetyjen pitoisuuksia ja niissä esiintyviä epäpuhtauksia. Aluksi koottiin anturien vaatimukset eri lähteistä. Kaasujen läpäisy spektrit simuloitiin (metaanista, etaanista oli dataa saatavilla) ja mitattiin (etaani, propaani, butaani ja pentaani). Lyhyillä NIR- ja MIR-aallonpituuksilla eri kaasujen karakteristiset piikit olivat osin päällekkäin, pidemmällä termisen IR:n alueella kaasut erottuvat helpommin, mutta mittaus vaatii leveämmän kaistan ja mahdollisesti useita antureita. Maakaasun laadun mittaus MEMS-mikrospektrometrillä todettiin mahdolliseksi.



Kuva 2.16. Termisen infrapuna-alueen spektrit testatuista hiilivedyistä.

2.6.2 Kevyen liikenteen havainnointi

Jalankulkijat ja pyöräilijät ovat usein vaikeasti havaittavia ja helposti haavoittuvia kohteita liikenteessä. Projektissa testattiin uusia konsepteja niiden kevyen liikenteen havainnointiin käyttäen radioaaltoja (Bluetooth ja tutka).

Jalankulkijan/pyöräilijän havainnointi liikennevaloissa

Nykyisin valo-ohjatuissa risteyksissä on usein käytössä painonappi, jolla jalankulkija voi pyytää vuoroa liikennevaloissa. Autot havaitaan usein induktiosilmukan avulla automaattisesti. Risteystä lähestyvää pyöräilijää tai jalankulkijaa ei sen sijaan havaita automaattisesti. Parantuneen havainnoinnin avulla voitaisiin liikennevalojen ohjausta optimoida siten, että kevyt liikenne voitaisiin ottaa paremmin huomioon. Tässä mini-projektissa oli tarkoitus kokeilla menetelmiä, joilla liikennevaloja lähestyvä kevyt liikenne havaitaan automaattisesti "ilman napin painamista". Tutkitut menetelmät olivat tutka liikennevalopylväessä ja bluetooth-yhteys pylvään ja kulkijan matkapuhelimen välillä. Molemmilla menetelmillä jalankulkija voidaan havaita yli 10 metrin etäisyydeltä. Molemmat menetelmät toimivat ja ovat myös suhteellisen edullisia. Bluetooth-yhteyttä käyttävä järjestelmä pystyttäisiin myös integroimaan erilaisiin kuluttajien palveluihin kuten "reittiopas".



Kuva 2.17. Bluetooth-yhteys pylvään ja kulkijan matkapuhelimen välillä.

Liikennetutka

TransSmart ohjelmassa kehitettiin ihmisten ja polkupyörien havaitsemiseen kevyttä lyhyen kantaman tutkaa. Tutka perustuu 24 GHz:n FMCW-teknologiaan. Tutka on kehitetty VTT:llä erityisesti kannettavaksi lyhyen kantaman tutkaksi, jonka kantama on optimoitu alle kymmeneen metriin. Tämä etäisyys on riittävä liikenteessä hitaiden kohteiden, kuten jalankulkijoiden havaitsemiseen esimerkiksi liikennevalojen tai suojateiden kohdalle kiinnitetyillä kiinteillä tutkilla. TransSmart-projektissa kehitettiin erityisesti matalan tason tutka-algoritmeja jalankulkijoiden havaitsemiseksi ja seuraamiseksi (detection&tracking). Projektissa toteutettiin toiminto Range-Doppler ja Kalman-suodattimia käyttäen. Tutkalla voidaan erottaa jalankulkija ympäristön kiintoaaleista, sekä seurata yksittäistä jalankulkijaa.

Tutkan kehitys jatkuu sekä rauta- että algoritmipuolella. Sovellusalueina tutkitaan ihmisten havaitsemista urbaanissa ympäristössä SmartCity ja liikennesovelluksiin, kannettavia tutkia ihmisille, erityisesti erityisryhmille kuten näkövammaisille (GuideSense), kone- ja robottiympäristöjä, sekä miehittämättömiä lennokkeja.

2.6.3 Ajoneuvon ympäristön havainnointi

Ajoneuvoissa tarvitaan kuljettajan tueksi erilaisia menetelmiä ympäristön havainnoimiseksi hämärässä tai muutoin huonoissa olosuhteissa. Tämän lisäksi ympäristön havainnointi ja tarkka paikannus ovat edellytyksiä tulevaisuuden autonomisten ajoneuvojen käyttöönotolle. TransSmart-ohjelmassa tutkittiin mahdollisuuksia hyödyntää VTT:n kehittämää hyperspektrikuvausteknologiaa ajoneuvoissa.

Lähi-infrapuna-alueen hyperspektrikuvaus (NIR-HIS)

NIR-HIS miniprojektissa kehitettiin ja testattiin kuvantavia spektroskooppisia laitteita. Lähtökohdaksi oli aiemmissa projekteissa muihin sovelluksiin kehitetyt spektrikamerat sekä muihin projekteihin hankitut muut kamerat. Tavoitteena oli saada tietoa, että onko näkyvän aallonpituusalueen ulkopuolella mahdollista havaita paremmin ja luotettavammin ihmisiä, muita autoja, tien reunoja yms. autonomiselle autolle tärkeitä kohteita. Tämä havainnointi pyrittiin tekemään passiivivalaistuksella. Aluksi keskityttiin SWIR-alueen (Short Wave InfraRed, 1000–1600 nm) spektrikuvantamiseen. Testeissä kuitenkin todettiin, että signaalitaso ei kunnolla riittänyt ja niinpä laajennettiin testejä myös NIR (Near infraRed)-, laajakaistaiseen SWIR- ja TIR (Thermal

InfraRed) -kuvantamisiin. Testien perusteella voidaan todeta, että SWIR-kuvantaminen vaatii aktiivivalaisun. Muita havaintoja oli, että TIR-kuvissa ihmiset ja käynnissä olevat autot oli helppo havaita, niiden säteilemän lämmön vuoksi. NIR-alueen kuvissa signaalitasot olivat hyvät ja jotkut kohteet (vaatteet, jotkut autot) näkyivät paremmin kuin näkyvällä alueella. Vuonna 2016 käynnistyneessä monivuotisessa DENSE-projektissa (ECSEL) kehitetään SWIR-alueen spektrikuvantamista aktiivivalaisulla.

Aktiivivalaisun käyttö NIR ja SWIR-alueen kuvauksessa

Yksinkertaisen spektrikameran herkkyys ei riitä NIR-alueen kuvaukseen hämärässä tai muuten vaikeissa olosuhteissa. Tavanomaisen hyperspektrikameran vaihtoehtona kokeiltiin Mikesissä kehitettyä aktiivivalaisua spektrikuvausta. Kuvaus perustuu valaisuun uudella laajakaistaisella superkontinuumi-laserilla sekä VTT:n Fabry-Perot-interferometriin käyttöön värien erottelussa. Mikesissä rakennettiin pienikokoinen testi-laitteisto, jota testattiin VTT:n testiajoneuvossa. Laitteella voidaan erotella erilaisia kohteita ympäristössä, mutta vielä vaaditaan runsaasti optimointia järjestelmän luotettavuuden parantamiseksi. Järjestelmällä on mahdollista tehdä ympäristön 3D-kuvantamista ja kartoitusta sekä tunnistaa ympäristön materiaaleja. Tämä saattaa osoittautua hyödylliseksi, kun ajoneuvoihin lisätään autonomisia ominaisuuksia. Tämän teknologian kehitystä jatketaan DENSE ECSEL -hankkeessa sekä Tekesin ChallengeFinland-hankkeessa "Tehokas ja turvallinen kaivos".

Valomatto

Painettu elektroniikka joustaville pinnoille tuo uudenlaisia elektroniikan integrointimahdollisuuksia. Etenkin ajoneuvoissa joustavat ja kaarevat LED-valaisinrakenteet tuovat uutta ja kevytrakenteista toiminnallisuutta. Esimerkkinä LED-valaisinten integrointi joustavalle nauhalle, joka voidaan asentaa auton kylkeen joko kuvantaville ympäristöantureille valonlähteenä tai varoittamaan kevyttä liikennettä ajoneuvon aikeista. LED-valoja ladottiin taipuisalle alustalle VTT:llä Oulussa ja se asennettiin VTT:n testiauton etuosaan Tampereella. Valomattoa kokeiltiin viestimään jalankulkijoille siitä, että heidät havaittiin LiDAR-laitteella. Jatkossa teknologia on hyödynnettävissä automaattiajoneuvojen ja kevyen liikenteen väliseen viestimiseen.



Kuva 2.18. Marilyn saa hellän potkun Lidariin.

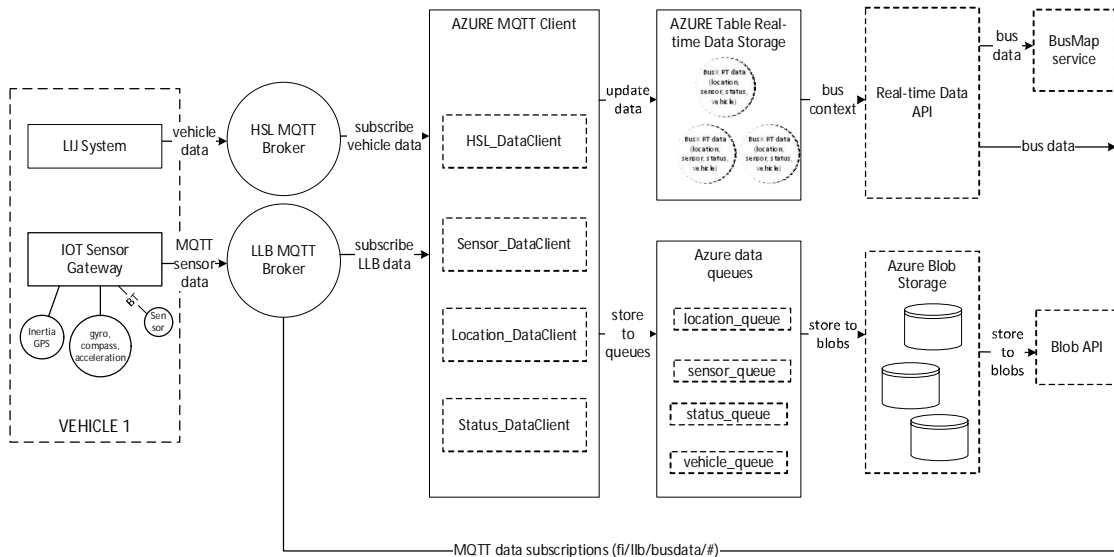
2.6.4 Digitaaliset palvelut

Bluetooth-majakka

BT-Beacon-projektin tavoitteena oli tutkia Bluetooth-majakkateknologian hyödyntämistä joukkoliikenneympäristössä. Projektissa toteutettiin teknologiademona, jossa majakoita hyödynnettiin joukkoliikenneopastuksen apuna. Demossa majakat asennettiin pysäkeille sekä ajoneuvoihin ja niiden avulla joukkoliikenneopastus pystyi paikantamaan käyttäjän asemalle saapumisen, pysäkille olemisen, ajoneuvoon nousemisen ja ajoneuvosta poistumisen. Demo validoitiin Helsingin metrossa järjestetyssä kenttätestissä, jonka tulokset antoivat osviittaa, että lähestymistapa toimii metroympäristössä tarjoten tarkkaa ja reaaliaikaista opastusta sisätiloissa. Lisäksi projektissa toteutettiin teknologiakatsaus beacon teknologian mahdollisuuksista ja nykytilanteesta yleisesti, joukkoliikenne kontekstiin kohdennettu state-of-the-art-selvitys beacon-teknologian hyödyntämismahdollisuuksista sekä markkinakatsaus beaconeiden liiketoimintanäkymistä. Tutkimustyötä jatkettiin IOT Services -projektissa sekä hyödynnettiin PayIQ:n toimeksiantoprojektissa. Tutkimustyö jatkuu erityisesti beacon-pohjaisen liputuksen osalta, jossa tutkitaan automaattisen liputuksen mahdollisuutta BIBO (Be-In Be-Out) ja WIWO (Walk-In Walk-Out) -skenaarioissa.

IoT-palvelut

IoT-palvelut-projektin tavoitteena oli tutkia uudentyyppisiä palvelukonsepteja joukkoliikennekontekstissa. Projektissa hyödynnettiin VTT:n TinyNode-sensoriratkaisuja sekä BTBeacon-projektissa kehitettyjä Bluetooth-majakkateknologioita. Projektissa rakennettiin järjestelmä IoT-datan keräykseen ja välitykseen pilveen sekä erityyppisiä datan visualisointeja. Järjestelmä koostuu joukkoliikenneajoneuvossa sijaitsevasta IoT sensor gateway -komponentista sekä Microsoft Azure -ympäristössä toimivasta pilvipalvelusta, joka toimii rajapintana datan tallennukseen ja jakamiseen kolmansien osapuolien palveluille. Alla olevassa kuvassa (Kuva 2.19) on kuvattu toteutetun järjestelmän arkkitehtuuri.



Kuva 2.19. IoT-ympäristön ja pilvipalvelun järjestelmäarkkitehtuuri.

Älykäs pysäkki

Liikkuvien ajoneuvojen lisäksi joukkoliikenneympäristöön kuuluu olennaisena osana myös erilaiset infrastruktuuri osaset, kuten pysäkit, asemat ja terminaalit. Tässä miniprojektissa kokeiltiin uudentyyppisiä älykkään pysäkin palvelukonsepteja kolmessa eri käyttötapaussessa: 1) ympäristöanturit älykkäällä pysäkillä ja datan siirto ajoneuvojen kautta pilveen, 2) e-ink-näyttöjen käyttö pysäkillä, 3) majakoiden käyttö pysäkillä lähestyvän bussin ilmaisemiseen. Kohdassa 1) muokattiin VTT:n TinyNode-antureita pysäkkiympäristöön (ulkoilma) sopiviksi ja toteutettiin datan keruu ja pilveen välitys ajoneuvossa sijaitseva Gateway-komponentin avulla. Ajoneuvon, ja pysäkillä sijaitsevan IoT-sensorin välisen kommunikaatiolinkin (Bluetooth beacon) toimivuuden arvioimiseksi järjestettiin kenttätesti, jossa tutkittiin ajoneuvojen nopeuden ja lähetystaajuuden vaikutusta tiedonsiirron onnistumiseen. Kohdassa 2) toteutettiin e-Ink-pohjainen testiympäristö, jolla arvioitiin e-Ink-tekniikan toimivuutta joukkoliikennekontekstissa erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Kohdassa 3) toteutettiin mittauksia joissa arvioitiin Bluetooth 4.0 -majakoiden hyödyntämistä ajoneuvojen ja käyttäjien (matkapuhelimien) tarkkaan ja nopeaan paikannukseen. Kaikkien näiden kohtien kehitys jatkuu muissa hankkeissa.

2.7 Tieteellisen kompetenssin kehittäminen

2.7.1 Yleistä

Tutkimusprojektissa saavutettu uusi tieto on tavallisesti tallennettu projektista kirjoitettavaan tutkimusraporttiin tai -raportteihin. Tutkimusraportti on yleensä muotoiltu niin, että se kattaa käsiteltävän projektin osan alueen sillä tavalla, että projektiin osallistuneet saavat yhteenvedon siitä, mitä projektissa on tehty ja saavutettu. Julkisesta raportista myös muut asiasta kiinnostuneet saavat kuvan projektin tuloksista. Monesti projektin resurssit ja aikataulu ovat niin tiukkoja, että projektin puitteissa ei ole mahdollista käyttää muuhun kirjoitustyöhön kuin raportin tekoon. Joskus konferenssipaperin kirjoittaminen ja tulosten esittäminen kansainvälisessä konferenssissa on pystytty sisällyttämään projektisuunnitelmaan. Toki joissakin erityisen laajoissa hankkeissa kuten EU-projekteissa voi olla enemmän liikkumavaraa ja tehokkaille tutkijoille mahdollisuus myös muuhun disseminaatioon.

TransSmart-ohjelma on mahdollistanut sen, että kirjoitustyöstä innostuneet tutkijat ovat voineet lisätä ymmärrystä tutkimustensa aihepiiriin hyödyntämällä projekteista syntyneitä aineistoa tieteellisten paperien kirjoittamisessa. Etenkin tieteellisessä artikkelissa projektin tulokset linkitetään tutkimusraporttia laajemmin olemassa olevaan tutkimustietoon, ja vertaisarvioinnin ja -palautteen myötä saavutettuihin tuloksiin tulee uudenlaisia näkökulmia. Artikkelia kirjoittaessa tuloksia pitää pystyä tarkastelemaan laajemmasta näkökulmasta ja perustelevaan, miten tulokset linkittyvät laajempiin kokonaisuuksiin kuten yleisesti hyväksytyihin teorioihin ja muuhun tutkimukseen samalta aihealueelta. Tällainen tulosten analysointi lisää huomattavasti tutkijoiden ymmärrystä aihealueeseen, jolloin tutkijoille tulee hyvä näkemys siitä, kuinka yksittäisen mahdollisesti tiukasti rajatun projektin tuloksia pystyy soveltamaan myös laajemmin. Lisäksi hyvin kirjoitettu artikkeli tarjoaa mahdollisuuden jakaa ja mainostaa muille tätä saavutettua ymmärrystä.

2.7.2 Yhteenveto TransSmartin puitteissa tehdyistä tieteellisistä julkaisuista

Taulukko 2.3 **Error! Reference source not found.** on kerätty VTT:n julkaisurekisteristä tiedot TransSmartin puitteissa tehdyissä julkaisuista kunakin TransSmartin toimintavuotena sekä myös niistä TransSmartin aikana tehdyistä julkaisuista, joiden ilmestyminen on siirtynyt vasta alkuvuodelle 2017. Määrissä on pientä epätarkkuutta, koska osa julkaisuista puuttuu tilastoista esimerkiksi sen vuoksi, että kirjoittaja on ehtinyt siirtyä pois VTT:n palveluksesta julkaisun kirjoittamisen ja sen ilmestymisen välillä. Toisaalta osan poikkeittellimmistä julkaisuista voisi yhtä hyvin sisällyttää johonkin muuhun VTT:n kärkiohjelmaan. Taulukkoon on eroteltu kolme julkaisutyyppiä sekä mainittu arvio muista julkaisuista. Mainitut julkaisutyytit ovat:

1. Vertaisarvioitu tieteellinen artikkeli (A1). Nämä julkaisut ovat tieteellisissä lehdissä vertaisarvioinnin perusteella julkaistavaksi hyväksytyjä artikkeleja, jotka täyttävät kustantajansa ja lehtensä asettamat

tieteelliset kriteerit. TransSmartin puitteissa tehdyt tämän julkaisutyypin julkaisut ovat olleet yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta englanninkielisiä.

2. Tieteellisen kokoomateoksen luku (A2). Nämä julkaisut ovat tieteellisiin kirjoihin tavallisesti vertaisarvioinnin perusteella julkaistavaksi hyväksytyjä lukuja, jotka täyttävät kustantajansa ja kirjaprojektin vetäjän asettamat tieteelliset kriteerit. TransSmartin puitteissa tehdyt tämän julkaisutyypin julkaisut ovat olleet kaikki englanninkielisiä.
3. Kansainvälisen tieteellisen konferenssin esitelmä (B1). Tämän B1-luokituksen määrittely on hieman muuttunut vuosien 2014–2017 aikana, joten osa tähän luokkaan kuuluvista julkaisuista on voitu merkitä johonkin toiseen luokkaan tai päinvastoin. Alkujaan B1-julkaisuksi merkittiin paperi, joka on hyväksytty kansainväliseen tieteelliseen konferenssiin vertaisarvioinnin kautta. Lisäksi yksi kirjoittajista on esittänyt paperin kyseisessä konferenssissa. TransSmartin puitteissa tehdyt tämän julkaisutyypin julkaisut ovat olleet kaikki englanninkielisiä.

Muut julkaisut sisältävät VTT:n julkaisurekisteristä löytyneet muut kuin edellä mainittuihin kolmeen luokkaan liittyvät julkaisut (esim. julkiset projektiraportit, artikkelit kotimaisissa lehdissä, seminaariesitykset, opinnäytetyöt). Määrä on arvio, koska näiden julkaisujen tilastoinnissa ollaan vähemmän tarkkoja kuin edellä mainittujen kolmen luokkien tilastoinnissa. Lisäksi julkaisun aihepiiriin kuulumisesta TransSmartin aihepiiriin ei ole tarkasteltu sillä tarkkuudella kuin edellä mainittujen kolmen luokan julkaisuja. On myös huomioitavaa, että näiden julkaisujen tieteellinen taso vaihtelee, koska näihin luokkiin kuuluu julkaisuja lyhyistä sanomalehtiartikkeleista aina väitöskirjoihin.

Taulukko 2.3. TransSmart-kärkiohjelman puitteissa julkaistujen tieteellisten paperien lukumäärät vuosittain. VTT:n järjestelmään kirjatut julkaisut.

	2014	2015	2016	(2017)	Yhteensä
Tieteelliset vertaisarvioidut artikkelit (A1)	13	26	17	15	72
Tieteellisen kokoomateoksen luku (A2)	1	0	4	1	6
Kv. tieteellisen konferenssin esitelmä (B1)	31	17	15	0	63
Arvio muista tilastokelpoisista julkaisuista	42	43	33	8	125

Julkaisutietokanta löytyy seuraavasta web-osoitteesta: <http://www.otilib.fi/vtt/jure/laaja.html>

Liitteessä 1 on esimerkkejä TransSmartin puitteissa tuotetuista raporteista ja julkaisuista.

TOP5 – Ajoneuvot, päästöt, polttoaineet:

Aakko-Saksa, P., Laurikko, J., Roslund, P., Nylund, N.-O., Mannonen, S., Vauhkonen, V. Crude Tall Oil-Based Renewable Diesel in Passenger Car Field Test. SAE Paper 2014-01-2774. SAE 2014 International Powertrain, Fuels & Lubricants Meeting, October 20-23, 2014, Birmingham, United Kingdom. 8 p. DOI:10.4271/2014-01-2774.

Timonen, H., Karjalainen, P., Saukko, E., Saarikoski, S., Aakko-Saksa, P., Simonen, P., Murtonen, T., Dal Maso, M., Kuuluvainen, H., Bloss, M., Ahlberg, E., Svenningsson, B., Pagels, J., Brune, W H., Keskinen, J., Worsnop, D R., Hillamo, R., Rönkkö, T. Influence of fuel ethanol content on primary emissions and secondary aerosol formation potential for a modern flex-fuel gasoline vehicle. Atmospheric Chemistry and Physics. Vol. 17 (2017) No: 8, 5311-5329.

Karjalainen, P., Timonen, H., Saukko, E., Kuuluvainen, H., Saarikoski, S., Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Bloss, M., Dal Maso, M., Simonen, P., Ahlberg, E., Svenningsson, B., Brune, W H., Hillamo, R., Keskinen, J., Rönkkö, T. Time-resolved characterization of primary particle emissions and secondary particle formation from a modern gasoline passenger car. Atmospheric Chemistry and Physics. Vol. 16 (2016) No: 13, 8559–8570. DOI: 10.5194/acp-17-5311-2017.

Halmeaho, T., Rahkola, P., Pippuri, J., Tammi, K. (2014). Hybrid city bus design evaluation using system level simulations: IEEE. IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2014, Istanbul, Turkey, 1–4 June 2014 (2014), 1671–1676. ISBN 978-147992399-1 DOI:10.1109/ISIE.2014.6864866.

Ranta, M., Karvonen, V., Potter, J.J., Pasonen, R., Pursiheimo, E., Halmeaho, T., Ponomarev, P., Pihlatie M. (2016). Method Including Power Grid Model and Route Simulation to Aid Planning and Operation of an Electric Bus Fleet, Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2016, 17–20 October 2016, Hangzhou, China, Proceedings. IEEE (2016), 5 p., doi: 10.1109/VPPC.2016.7791724.

TOP5 – Älykkäät liikennepalvelut ja kestävät liikennejärjestelmät:

Silla, A., Leden, L., Rämä, P., Scholliers, J., Van Noort, M., Bell, D. (2017). "Can cyclist safety be improved with intelligent transport systems?", Accident Analysis and Prevention, vol. 105, ss. 134–145.

Hinkka, V., Pilli-Sihvola, E., Mantsinen, H., Leviäkangas, P., Aapaoja, A., Hautala, R. (2016). "Integrated winter road maintenance management - new directions for cold regions research", Cold Regions Science and Technology, Vol. 121. No. 6, pp. 108–117.

Öörni, R., Meilikhov, E., Korhonen, T. (2015). "Interoperability of eCall and ERA-GLONASS in-vehicle emergency call systems", IET Intelligent Transport Systems, Vol. 9, No. 6, pp. 582–590.

Malmivuo, M., Luoma, J., Porthin, M. (2017). "Studded and unstudded winter tires in fatal road accidents in Finland", Traffic Injury Prevention, vol. 18, 5, ss. 550–555.

Jutila, M., Scholliers, J., Valta, M., Kujanpää, K. (2017). "ITS-G5 Performance improvement and Evaluation for Vulnerable Road User Safety Services", IET Intelligent Transport Systems, vol. 11, No. 3, ss. 126–133.

2.7.3 Esimerkkejä TransSmart-julkaisujen avulla saaduista tieteellisistä saavutuksista ja aihealueen kompetenssin lisääntymisestä

Palkitut konferenssipaperit

Vuonna 2014 kaksi TransSmartin puitteissa tehtyä konferenssipaperia palkittiin konferenssinsa parhaana paperina.

Ensimmäinen paperi oli erikoistutkija Sami Koskisen ITS World 2014 -konferenssissa Detroitissa esittämä "Generating Summaries from Field Operational Test Data", joka palkittiin konferenssin parhaana teknisenä paperina. Kyseisessä paperissa Koskinen esitti, miten kahdesta EU-projektissa tehtyjen laajojen kenttäkokeiden suuria datamääriä pystyy käsittelemään tehokkaasti ja saamaan datasta haluttua tietoa.

Toisessa paperissa logistiikan tutkijat Antti Permala, Eetu Pilli-Sihvola, Ville Hinkka ja Karri Rantasila yhdessä saksalaisen Institute of Shipping Logistics'n tutkija Oliver Kleinin kanssa esittivät European Conference on ICT for Transport Logistics (ECITL 2014) -konferenssissa Dortmundissa paperin "Decentralized Approach to Logistics Execution Monitoring in Multi-actor Network", joka palkittiin konferenssin parhaana tieteellisenä paperina. Paperissa kerrottiin minkälaisen sovelluksen kuljetusten monitoroinniksi VTT on kehittänyt EU komission e-Freight vision soveltamiseksi ja minkälaisia tuloksia saksalainen ACOS-logistiikka-operaattori on saanut testaamalla tätä sovellusta. Lisäksi paperissa haastettiin joitakin logistiikan tietojärjestelmien käyttöön liittyviä teorioita ja yleisiä trendejä perustuen kehitettyyn sovellukseen ja testituloksiin.

VTT:n julkaisupalkinto

TransSmartin polttoaine- ja päästötutkija Päivi Aakko-Saksa palkittiin VTT:n julkaisupalkinnolla vuoden 2016 tieteellisten vertaisarvioitujen julkaisujen perusteella. Näihin kuuluivat muun muassa alkoholi- ja meriliikenteen polttoaineisiin liittyvät artikkelit yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston ja Ilmatieteen laitoksen kanssa.

Tutkimuskokonaisuuden tieteellisten tulosten syntetisointi

TransSmart-kärkiohjelma mahdollisti resurssien suuntaamista yhteenvedon tekemiseen useiden suoritettujen tutkimusprojektien tuloksista. Hyvä esimerkki tällaisesta menestyksekkästä tutkimustulosten syntetisoinnista on tutkijoiden Ville Hinkan, Eetu Pilli-Sihvolan, Heikki Mantsisen, Pekka Leviäkankaan, Aki Aapa-ojan sekä Raine Hautalan kirjoittama ja arvostetussa Cold Regions Science and Technology -lehdessä julkaistu artikkeli ”Integrated winter road maintenance management - new directions for cold regions research”, jossa yhdistettiin usean teiden talvikunnossapidon ja äärisäiden liikennevaikutusten tutkimukseen liittyneiden projektien tutkimustuloksia sekä luotiin teoreettinen pohja uusille tutkimusavauksille aiheesta.

2.8 Kokeellisen tutkimuksen infrastruktuuri (tutkimusympäristöt)

2.8.1 Yleistä

Kokeellinen, tutkimusympäristöjä hyödyntävä tutkimustoiminta on ollut olennainen osa TransSmartin ”Vähähiilinen energia” ja ”Edistykselliset ajoneuvot” -teemojen toimintaa. Lisäksi osana ”Älykkäät liikennepalvelut” -teemaa olleessa ”liikenteen robotisaatio/automaattijoneuvot” aihepiirissä on rakennettu ja hyödynnetty tutkimusympäristöjä. Muutokset toimintaympäristössä aiheuttavat jatkuvaa tutkimuslaitteistojen päivitystarvetta. Päivitystarvetta aiheuttavat mm.:

- pakokaasunormien kiristyminen
- pakokaasulainsäädäntöön sisällytettävät uudet menetelmät
- kohdassa 2.5.5 raportoitu tarve pakokaasuanalytiikan kehittämiseen
- ajoneuvojen sähköistyminen
- ajoneuvojen automaatio.

VTT:llä on käytössään varsin ainutlaatuiset moottorien ja ajoneuvojen tutkimustilat, mukaan lukien sekä kevyen että raskaan kaluston alustadynamometrit ja niihin liittyvät pakokaasumittauslaitteistot. Raskaan kaluston laboratorion suurimpia työllistäjiä ovat olleet HSL:n kanssa toteutetut hankkeet, aiheina mm. bussikaluston kilpailutusmenetelmien kehitys ja uusien bussityyppien suorituskyvyn verifiointi, biopolttoaineet ja bussien sähköistäminen.

Vastikään hankittu, todellisten ajotilanteiden päästöjen mittaamiseen tarkoitettu PEMS-laitteisto (Portable Emission Measurement System) on omalta osaltaan mahdollistanut uusien moniasiakashankkeiden kehittämisen niin tieliikenneajoneuvoihin kuin työkoneisiin.

2.8.2 Polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen mittausvalmiudet

Ajoneuvolaboratorion sekä kevyen että raskaan alustadynamometrin vanhentuneet pakokaasuanalysointilaitteet uusittiin ohjelmakauden aikana. Lisäksi uusittiin kevyen alustadynamometrin pakokaasujen laimennus- ja näytteenottolaitteisto. Samalla päivitettiin molempien alustadynamometriä ohjelmistot. Raskaan alustadynamometrin pakokaasujen laimennus- ja näytteenottolaitteiston uusimisen suunnittelu käynnistettiin ohjelmakauden aikana, ja laitteisto tullaan uusimaan ensi vuonna. Ohjelmakaudella hankittiin myös lisää analysointivalmiuksia sekä sääntelemättömien päästöjen (MicroGC, nestetyyppijäähdytteinen FTIR, Micro Soot Sensor) että säänneltyjen päästöjen (kaksi PN-hiukkaskaskuria, kaksi CLD NO_x-analysointilaitetta) mittauksiin.

Tutkimusympäristön päivittämisellä ja ajanmukaistamisella ollaan merkittävästi vahvistettu VTT:n tutkimus-
tarjoamaa kokeellisten mittausvalmiuksien osalta.

Tutkimusympäristölle hankittiin ohjelmakauden lopussa PEMS -mittalaitteisto, jolla mahdollistetaan pako-
kaasumittaukset liikenteessä todellisissa ajo-olosuhteissa (RDE Real Driving Emissions). RDE-vaatimus on
sisältynyt alusta alkaen vuonna 2013 voimaan tulleeseen raskaan kaluston Euro VI -päästömääräykseen.
Henkilöautojen osalta RDE-vaatimus tulee käyttöön syksyn 2017 aikana. Dieselhenkilöautojen päästöska-
daali on omalta osaltaan selvästi tuonut esiin tarpeen parantaa todellisten päästöjen valvontaa.

Hankittu laitteisto on monikäyttöinen, sillä laitteistolla voidaan mitata henkilö- ja pakettiautojen sekä ras-
kaiden ajoneuvojen pakokaasujen lisäksi myös työkoneiden pakokaasuja (**Kuva 2.20**). Vastaavia laitteistoja
on vain muutamia maailmalla.

Laitteisto hankittiin projektiin "Euro VI city buses real driving emissions", joka on VTT:n ensimmäinen
merkittävä ns. Shared Benefit -yhteishanke. Hankkeessa ovat VTT:n lisäksi mukana HSL, Liikenteen turval-
lisuusvirasto Trafi, Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), Helsingin kaupunki ja norjalainen TØI (The
Institute of Transport Economics). Samassa yhteydessä hankittiin tutkimuskäyttöön paikallisliikenteeseen
soveltuva bussi, joka on varustettu HSL:n matkakorttien lukulaitteistolla. Bussi on maalattu HSL:n (ja VTT:n)
värein ja tunnuksin. Bussia käytetään PEMS-mittauksen ja RDE-mittausmenetelmän kehitysalustana sekä
osan aikaa HSL:n julkisessa liikenteessä korvaamaan operaattoreiden busseja, jotka tarvitaan VTT:n bus-
sien pakokaasututkimuksissa. Bussi tullaan päivittämään uusimpaan Euro VI -päästöluokkaan yhteistyö-
kumppanimme Proventian toimesta.

PEMS-laitteistoa tullaan käyttämään sekä busseihin että työkoneisiin kohdassa 2.5.3 esitellyssä "BioPi-
lot"-hankkeessa.



Kuva 2.20. VTT:n omaan, HSL:n väreihin maalattuun bussiin asennettu PEMS-mittalaitteisto.

2.8.3 Sähköisten voimalinjojen tutkimusympäristö

Aiemmin rakennetun tutkimusympäristön (akkulaboratorio, moottoritestipenkki) lisäksi ohjelmakauden ai-
kana on jatkettu eBus-hankkeessa rakennetun sähköisen kaupunkibussin prototyypin ("bussimuuli") kehiti-

tämistä. Bussiin on vaihdettu uusi pikalatauksen mahdollistava Leclanchen toimittama akusto, jota on testattu Leclanchen toimeksiannosta erisuuruisilla lataustehoilla. Pikalatausta varten bussin katolle on asennettu pantografi, jolloin voidaan hyödyntää pääkaupunkiseudulla olemassa olevaa bussien latausinfrastruktuuria. Bussissa on edelleen asennettuna siinä jo aiemmin ollut dieselgeneraattori, ja sen lisäksi syksyllä 2017 bussissa on testattu vetypolttokennon käyttöä ajonaikaisessa akuston lataamisessa (range extender). Vetylaitteisto tulee jäämään bussiin jatkokehitystä varten.

Bussissa on testattu erilaisia moottoreita, ja tällä hetkellä bussissa asennettuna oleva moottori on Lappeenrannan yliopiston ja Saimaan ammattikorkeakoulun Tekesin rahoittamassa KOOLER-hankkeessa kehittämä suorajäähdytteinen moottori²⁸. Bussin avulla suoritettiin moottorin prototyypin suorituskykymittaukset raskaalla alustadynamometrillä kevään 2017 aikana.

Bussin avulla on mahdollista testata vertailukelpoisesti erilaisten raskaan kaluston sähköisten voimalinjosten todellista suorituskykyä ajamalla vakioituja ajosyklejä raskaalla alustadynamometrillä. Viimeisimpänä mittauksena bussilla on mitattu mm. Santiagon kaupunkisykliä liittyen Chilen sähköbussihankkeeseen.

Tulevaisuudessa bussi tullaan varustelemaan myös automaattisen ajon mahdollistamalla anturoinnilla ja tarvittavilla toimilaitteilla, ja bussin avulla tullaan pilotoimaan erilaisia automaattiajon osa-alueita. Lähitulevaisuuden suunnitelmissa on kehittää bussin avulla myös IoT-datan hyödyntämistä, ajoneuvojen ohjauksjärjestelmiä ja uuden tyyppisiä moottoreiden inverttereitä, sekä latausratkaisuja.



Kuva 2.21. VTT:n prototyypibussi/kehitysalusta ("eMULE") pikalataamassa Tapiolassa.

Pääkaupunkiseudun sähköbussien latausverkoston kehittämisessä bussia on tarkoitus hyödyntää vielä vuoden 2017 aikana mm. bussin ja laturin välisten kommunikaatio-ongelmien selvittämisessä ja kommunikoinnin laadun varmistamisessa.

²⁸ <https://proha.saimia.fi/webproha/projekti.aspx?pid=62>

2.8.4 Automaattisen ajamisen tutkimusympäristö

Automaattiajoneuvojen tutkimusympäristöön kuuluu 3 ajoneuvoa, 1 tienvarsiyksikkö sekä kevyt laboratorio-tila liikennepalvelinten ylläpitämiseksi (kts. **Kuva 2.22** ja **Kuva 2.23**). Marilyn on ensimmäinen automaattiseen toimimiseen kykenevä henkilöauto Suomessa, jota on ajettu myös oikean liikenteen joukossa. Autoista Marilyn on tarkoitettu kaupunkialueen automaation kehittämiseen ja Martti vaikeisiin tie-/keliolosuhteisiin (sorapinta, ei kaistaviivoja, luminen tie, jne.).

Tienvarsiyksikköä käytetään 5G-verkkojen tarjoamien mahdollisuuksien kokeiluun sekä liikennedatan välittämiseen tienvarsiyksiköiltä. Alustassa on kamera ja kitkanmittaustekniikkaa, joka voidaan välittää ajoneuvoille kriittisissä kohdissa (esim. risteykset) C-ITS-viestinä ajoneuvoon.



Kuva 2.22. C-ITS ja automaattiauton tutkimusalustat Marilyn (vasemmalla) ja Martti (oikealla).

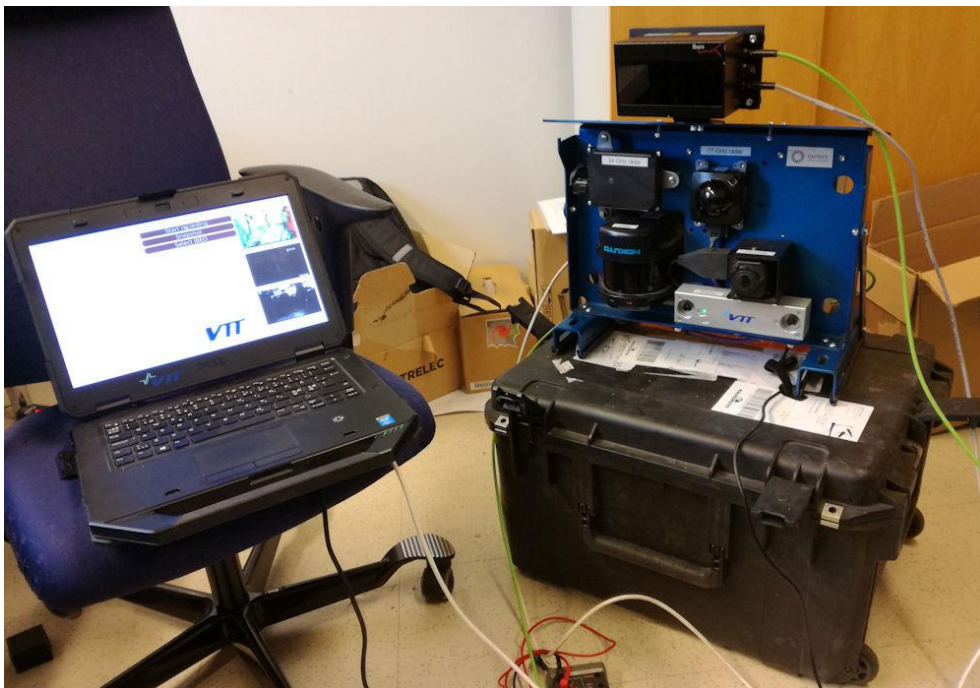


Kuva 2.23. Tienvarsiyksikkö yhteistoiminnallisten palveluiden kehittämiseen.

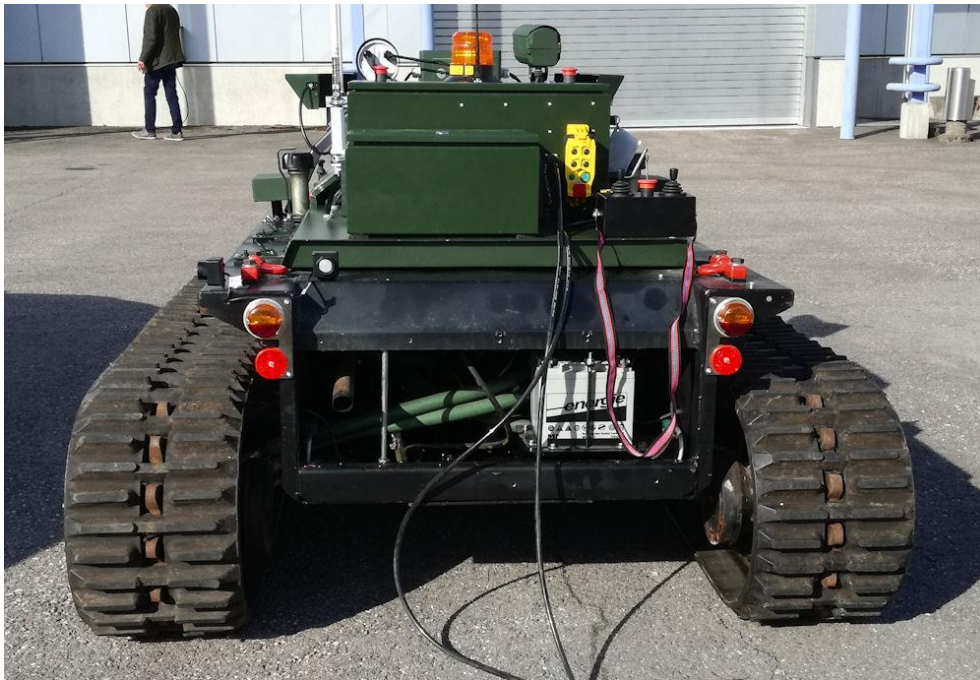
Vaikka ajoneuvot ovat fyysisesti isoin asia, niin varsinaisesti infran arvo on ainutlaatuisessa anturoinnissa. Infraan kuuluu 7 laser-skanneria, 20 kameraa, 20 tietokonetta, 5 kommunikaatioyksikköä, 10 tutkaa, työkaluja, optiikkaa, toimilaitteita, jne. Kaiken varustelun yhteisarvo on lähes 150 k€, joka kansallisesti hyvin poikkeava ja Euroopan laajuisestikin autonvalmistajat pois lukien merkittävä.

Edellisten lisäksi tutkimusympäristö sisältää tela-ajoneuvon, jolla kehitetään työkonemaailman ympäristönhavainnointi ja ajoneuvon ohjaamista maastossa. Työkonekehityksessä hyödynnetään samoja autopuolen komponentteja, mutta ohjelmistot ovat erikseen räätälöityjä.

Kaikki fyysinen infrastruktuuri edustaa sellaisia komponentteja, joita autoissa voidaan odottaa vasta 2-5 vuoden kuluttua. Komponentit sinällään ovat kaupallisia ja ne on valittu siten, että ne mahdollistavat ohjelmistokomponenttien rakentamisen joka on ydinasia VTT:n automaattisen liikenteen teknologian kehittämisessä. Lisäksi tämä infra mahdollistaa vaikutusarviointityyppisen toiminnan kehittämisen ja pitämisen askeleen edellä siitä, mitä on tulossa markkinoille, jolloin ne palvelevat myös vaikutusten ennakkointia.



Kuva 2.24. Anturit, tietokoneet, ohjaislaitteet jne.



Kuva 2.25. TELA-ajoneuvo työkoneautomaation kehittämiseen.

3. TransSmartin liikennevisio ja sen toteutuminen

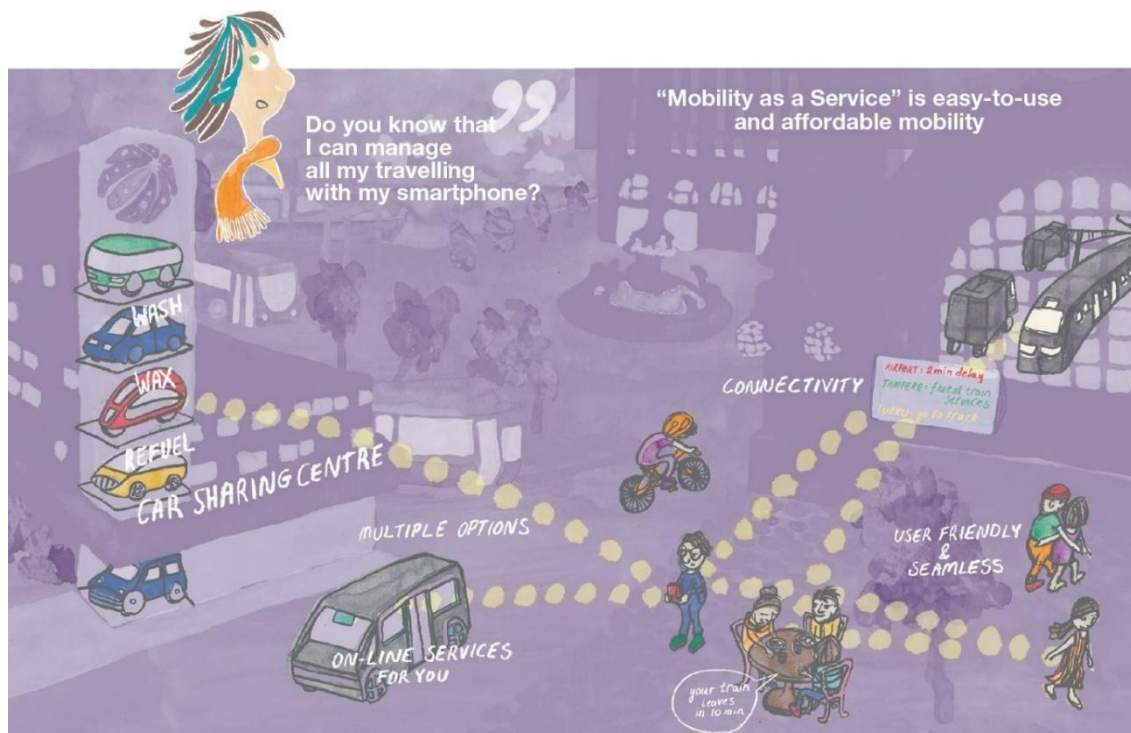
TransSmartin visiojulkaisu²⁹ (2014) kuvasi haasteiden ja tavoitteiden lisäksi kestävään liikenteeseen liittyviä mahdollisuuksia kolmesta aihealueesta:

- liikenteen ja liikkumisen palvelullistuminen
- siirtyminen fossiilisista uusiutuviin polttoaineisiin
- liikenteen sähköistyminen.

Alla on lyhyt katsaus näiden aihepiirien muutoksista ja kehityksestä TransSmartin aikana.

3.1 Liikenteen ja liikkumisen palvelullistuminen

Keväällä 2014 hahmotellussa visiossa kuvattiin liikenteen alalla keskustelun olevan siirtymästä entistä enemmän monimuotoisten liikkumispalveluiden tarjoamisen, saavutettavuuden ja paketoitavuuden suuntaan. Perinteisiä liikennepalveluita joustavampien ja käyttäjälähtöisempien vaihtoehtojen sekä lisäarvopalveluiden oli muodostumassa tavoitteilta yhteinen, joskin monikäsitteinen, visio liikkumisesta palveluna. Alkaen kesällä 2014 Helsingissä järjestetystä ITS European -kongressista käsite on levinnyt suomalaislähtöisenä ”Mobility as a Service (MaaS)” -konseptina ja ilosanomana maailmanlaajuiseen tietoisuuteen.



Kuva 3.1. Tutkimusteemoja liikenteen ja liikkumisen palvelullistumisen ympärillä.

Konseptin markkinoinnin ja leviämisen sekä pilottikokeiluiden myötä paria vuotta myöhemmin aiheen tiimoilta on sekä muodostunut uusia yrityksiä että valmisteltu lainsäädännön muutoksia, jotka vuodesta 2018 alkaen vaikuttavat liikennemarkkinoihin ja sen erilaisiin toimijoihin (kuten kuljetus-, liikenne-, liikkumis-, välitys- ja yhdistämisspalveluiden tarjoajiin).

²⁹ <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2014/V5.pdf>

Uusien liikkumisen palveluratkaisuiden ja liiketoimintamallien ollessa vasta syntyvaiheessaan, odotetutkin vaikutuksia ei ole vielä nähtävissä esim. henkilöautojen omistumäärissä, joka on kasvanut tasaisesti väestön ja kotitalouksien myötä (ks. **Taulukko 3.1**).

Taulukko 3.1. Henkilöautoja Suomessa tuhatta asukasti kohti (Tilastokeskus).

Vuosi	2012	2013	2014	2015	2016
Henkilöautoja per 1000 asukasta	563	574	584	594	608

Viimeaikaiset tutkimukset autojen yhteiskäytöstä ja erilaisten uusien liikkumispalvelujen kiinnostavuudesta on havaittu, että niistä ovat ensisijaisesti kiinnostuneita autottomat kuluttajat, eikä niinkään ne, joilla nyt on jo käytössään auto. Lyhyellä aikavälillä muutos ei siksi välttämättä vähentäisikään autojen määrää.

Mitä on tapahtumassa

Kiertotalous ja sen alle kuuluvat käsitteet, kuten jakamistalous, ovat kovassa nousussa. Esimerkiksi autonjakopalvelut ovat yleistymässä ja käyttäjämääriltään kasvussa ympäri maailmaa, minkä vaikutuksesta autonostopäätöksiin alkaa olla viitteitä.

Rajapintojen avautumisen myötä lähitulevaisuudessa on odotettavissa monipuolisia uusia pilotteja ja palveluita, jotka yhdistelevät paitsi liikkumispalveluita myös niihin luontevasti kytkeytyviä toimintoja kuten matkojen ja tapahtumat. Tähän liittyy haasteita mm. oikeiden palvelukanavien tunnistamiseksi, jotta palvelutarjoama on loppukäyttäjille luontevan rajapinnan tai sovelluksen kautta löydettävissä. Myös käyttäjien asiakkuuksien ja palveluiden personoinnin yhtenäistäminen, mutta toisaalta myös yksityisyyden suoja, ovat noussemassa enemmän ja enemmän esille MyData-periaatteen muodossa. Myös lohkoketjujen tapaiset uudet ratkaisut voivat löytää liikenteen parista sovelluskohteita ja tuoda mukanaan aivan uudenlaisia toimintamalleja.

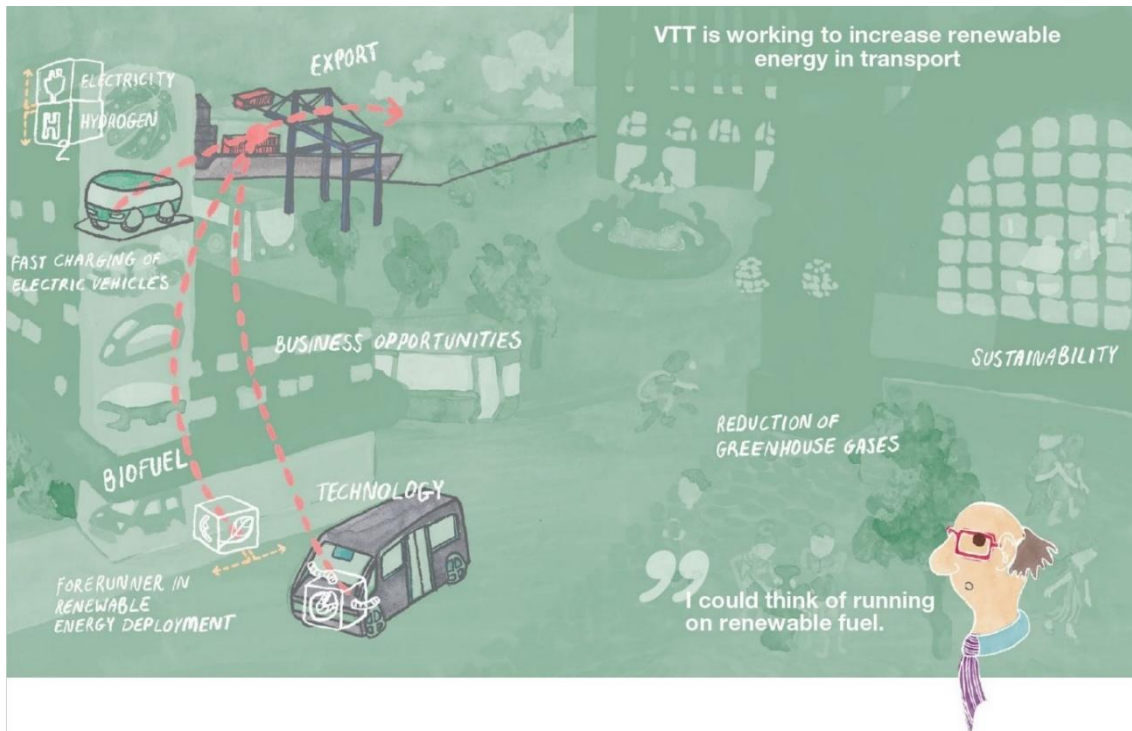
Seuraavat askeleet

Henkilökohtaisten tietojen lisäksi myös tietoturva ja kyberturvallisuus ovat entistä keskeisempiä erilaisten laitteiden, ajoneuvojen ja infran keskustellessa, toimiessa automaattisesti ja etäohjattuna. Varsinkin valtavana kehitystrendinä oleva automaattiajaminen tulee edellyttämään paitsi pitkälle kehitettyä ja älykästä teknologiaa niin myös erittäin korkeaa turvallisuutta ja luotettavuutta järjestelmiltä.

3.2 Liikenteen uusiutuvat polttoaineet

TransSmart-visiojulkaisussa todettiin, että biomassoihin perustuvien uusiutuvien polttoaineiden tuotannossa järjestelmät ja arvoketjut poikkeavat merkittävästi perinteisen öljyteollisuuden vastaavista. Biopolttoaineiden kohdalla prosessi- ja arvoketjut pitävät sisällään vaihtoehtoisia raaka-aineita, ja prosessit saattavat tuottaa sivuvirtoja ja sivutuotteita, joilla on arvoa liikennesektorin ulkopuolella. Tämänkaltaiset monitahoiset, useamman toimijan arvo- ja prosessiketjut edellyttävät toisaalta uusia toimintamalleja, toisaalta toimijoille syntyy uusia mahdollisuuksia.

On kuitenkin selvää, etteivät biopolttoaineet yksin pysty tyydyttämään kokonaan liikenteen polttoainetarvetta. Liikenteen energian käyttöä tulisi pienentää, ja energian tarve tulisi tyydyttää tasapainoisella yhdistelmällä biopolttoaineita, uusiutuvaa sähköä, uusiutuvaa vetyä ja myös fossiilisia polttoaineita.



Kuva 3.2. Esimerkkejä tutkimusteemoista liikenteen uusiutuvien polttoaineiden ympärillä.

Mitä on tapahtunut

Suomessa on ollut voimassa biopolttoaineiden jakeluelvoitelaki vuodesta 2008 lähtien. Lakia muutettiin 2010 (1420/2010). Voimassa olevan lain mukaan velvoite nousee asteittain 6 %:sta (2011–2014) 20 %:iin vuonna 2020. Jakeluelvoitelain prosenteissa on mukana ns. tuplalaskenta, jonka mukaan jätteisiin ja tähteisiin perustuvat biopolttoaineet voidaan laskea velvoitteeseen kertoimella kaksi.

Kuvassa 3.1 on biopolttoainemäärien kehitys Suomessa. Kuva näyttää jakeluelvoitteen mukaisen tavoitteen (jossa mukana tuplalaskenta) ja todellisen biopolttoaineosuuden ilman tuplalaskentaa. Todellinen biosuus kävi n. 13 %:ssa vuosina 2014 ja 2015, koska suurin osa käytetystä biopolttoaineesta on kaksoislaskennan piirissä, laskennallinen osuus 2014 ja 2015 oli jo yli 20 %, eli yli vuoden 2020 tavoitteen. Jakeluelvoite on joustava. Laissa sanotaan:

- *Jos jakelija on kalenterivuonna toimittanut kulutukseen enemmän biopolttoainetta kuin 5 §:n 1 momentissa säädetään, jakelija saa ottaa ylimenevän osuuden huomioon seuraavan kalenterivuoden jakeluelvoitetta laskettaessa.*

Tämä joustomahdollisuus selittää biopolttoainemäärien romahtamisen vuonna 2016, jolloin biopolttoaineiden todellinen osuus oli vajaa 5 %. Biokomponenteilla on ollut kova kysyntä vientimarkkinoilla, ja lisäämällä vientiä kotimaisten toimitusten kustannuksella toimijat ovat voineet optimoida taloudellisen tuloksensa, mikä onkin järkevää. Vuoden 2020 laskennallinen tavoite, 20 %, tullaan joka tapauksessa saavuttamaan.

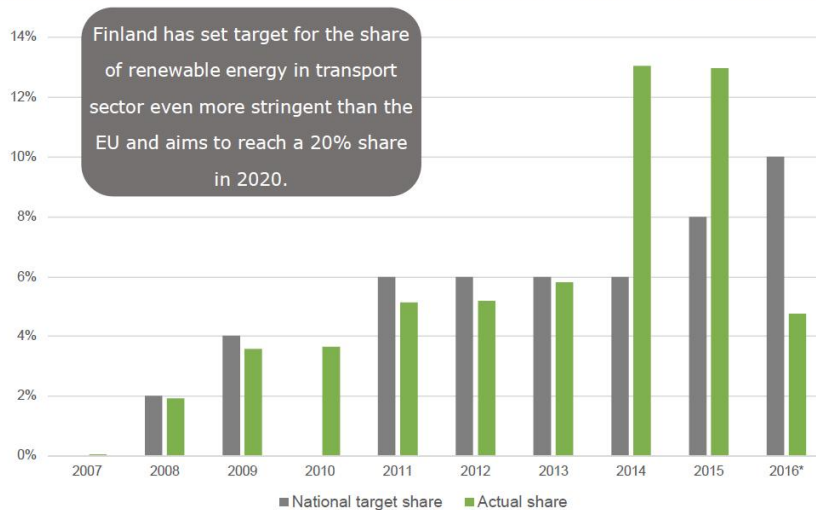
Kohdassa 2.3.1 kerrottiin kansallisesta vuoden 2030 energia- ja ilmastostrategiasta, joka liikenteen päästöjen vähentämisen osalta tukeutuu vahvasti biopolttoaineiden hyödyntämiseen. Strategian mukaan liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen (todellinen) osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä. TransSmartin piirissä tehdyt selvitykset liikenteen päästöjen vähentämisestä vuoteen 2030 (ks. 2.3.2) ovat omalta osaltaan vaikuttaneet Suomen biopolttoainestrategian muotoutumiseen.

Kohdassa 2.5.3 esiteltyt biopolttoainehankkeet, ”BioPilot” ja ”BioSata”, ovat omalta osaltaan pyrkinet biopolttoaineiden käytön edistämiseen raskaissa ajoneuvoissa.

TransSmartin aikajaksolla 2013–2016 (2017) teolliset toimijat ovat edistäneet biopolttoaineiden tuotanto mm. seuraavasti:

- UPM: mäntyöljyyn perustuvan uusiutuvan dieselin tuotannon käynnistyminen Lappeenrannassa 2015
- North European Bio Tech Oy (NEB, SOK:n ja St1:n yhteisyritys): sahanpurua käyttävän bioetanoli- tehtaan rakentaminen Kajaaniin 2016–2017
- Gasum: Gasum lisää biokaasun tuotantokapasiteettia, joulukuussa 2016 Gasum osti ruotsalaisen biokaasuntuottajan Swedish Biogas Internationalin osakekannan, yrityskaupan myötä Gasumista tuli pohjoismaiden suurin biokaasun tuottaja.

Share of renewable energy in transport sector



Source: State Treasury, Petroleum and Biofuels Association Finland



oil.fi

Kuva 3.3. Biopolttoainemäärien kehittyminen Suomessa. Kuva Öljy- ja biopolttoaineala ry (2017).

Teknisessä mielessä voidaan sanoa, että biopolttoaineiden alueella on tapahtunut edistymistä, mm. yllä esitettyjen kapasiteettilisäysten muodossa. Myös polttoainestandardien osalta on tapahtunut kehitystä. Kesällä 2016 hyväksyttiin lopullisesti eurooppalainen polttoainestandardi EN15940, ”Synteettisesti valmistettu tai vetykäsittely parafiinidieselöljy”. Standardi kattaa uusiutuvan parafiinisen dieselpolttoaineen. Raskaiden ajoneuvojen Euro VI -päästö määräykset edellyttävät, että moottorit tulee sertifioida niillä polttoaineella, joilla ne tulevat toimimaan. Standardin myötä useat merkittävät raskaiden ajoneuvojen valmistajat ovat sittemmin sertifioineet moottoreitaan uusiutuvalle dieselille (HVO, hydrotreated vegetable oil), ja näin ollen myös hyväksyvät tämän polttoaineen käytön Euro VI -moottoreissaan. Esim. Volvo on myös takautuvasti hyväksynyt uusiutuvan dieselin käytön vanhemmissa moottorityypeissä.

Toisaalta, epävarmuus liittyen tulevaan biopolttoaineita koskevaan sääntelyyn on lisääntymässä.

Mitä on tapahtumassa

Komission antoi marraskuussa 2016, osana ns. talvipakettia, ehdotuksen uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämistä koskevan direktiivin (2009/28/EY) uudistamisesta, ns. RED II -ehdotus.

Uusiutuvan energian direktiiviehdotus sisälsi sitovat EU-tason kestävyyskriteerit liikenteen biopolttoaineille, bionesteille sekä jatkossa myös sähkön- ja lämmöntuotantoon käytettäville kiinteille ja kaasumaisille biomassoille. Komissio ehdotti myös erillistä velvoitetta kasvattaa kehittyneiden biopolttoaineiden osuutta (TEM tiedote 30.11.2016³⁰).

RED II -direktiiviehdotuksen käsittely ja lopullisen hyväksytyin direktiivin vieminen kansalliseen lainsäädäntöön vienee muutamia vuosia. Liikenteen osalta tärkeä kysymys on mm. mikä tulee olemaan lopullinen EU-tason päätös kestävästä uusiutuvista liikennepolttoaineista ja niiden raaka-aineista. Esimerkiksi kuinka vuonna 2030 voidaan käyttää sellaisia raaka-ainelähteitä, jotka ovat nyt tuotannossa, kuten ruokapohjaiset kasvit, käytetyt paistinrasvat ja eläinrasvat. Lähinnä mäntyöljyyn on liittynyt myös keskustelu, josko biotaloudessa lisäarvotuotteiden ensisijainen käyttö tulee olla ehdoton energiakäyttöön verrattuna, kun nyt mäntyöljyä voi käyttää biopolttoaineisiin. Jos rajaukset raaka-aineissa tulevat tiukaksi esim. palmuöljytuotannon sivutuotteet rajautuisivat pois, niin puupohjaista liikennepolttoainetuotantoa tarvittaisiin Pohjoismaissa enemmän.

Samaan aikaan EU:ssa käydään keskustelua LULUCF:stä (Land Use, Land Use Change and Forestry), eli maankäytön, maankäytön muutosten ja metsätalouden vaikutuksista kasvihuonekaasutaseisiin. Suomi haluaisi biotalous- ja bioenergiatavoitteittensa takia lisätä metsien hakkuita. Nyt on uhkana, että asia tulkitaan siten, että hakkuita lisättäessä Suomen metsistä tulisi laskennallinen kasvihuonekaasujen päästö.

Sekä RED II -päivitys että LULUCF-keskustelu tuovat haasteita liikenteen biopolttoaineille. RED II -rajoittaisi tiettyjä nyt käytössä olevia biopolttoaineiden raaka-aineita, ja LULUCF puolestaan voi tuoda rajoitteita metsäbiomassan käytölle. Regulaatiokehityksen ollessa auki on selvää, etteivät biopolttoainetoimijat ole valmiita tekemään merkittäviä laitosinvestointeja.

Seuraavat askeleet

Suomen osalta 30 %:n biopolttoaineosuuden saavuttaminen vuonna 2030 edellyttäisi jakeluvaihtelain päivitystä. Toisaalta, kun EU-tasoinen regulaatio on täysin auki, tässä vaiheessa on ennen aikaista kiinnittää sitovat kansalliset 2030 tavoitteet biopolttoaineille.

Valtioneuvoston kanslian syyskuussa 2017 julkistamassa vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelmassa³¹ on otsikon ” biotalous ja puhtaat ratkaisut ” kolme liikenteen vaihtoehtoisiin energioihin suoraan tai välillisesti liittyvää aihetta:

- 4.4: Maankäyttösektorin toimien (metsitys, maatalousmaan hoito, metsäkadon vähentäminen) mahdollisuudet, kustannukset ja kokonaisvaikutukset ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi (LULUCF teema)
- 4.6: Sähkö- ja kaasuautojen hankintojen kustannustehokkaat edistämiskeinot
- 4.7: Liikenteen biopolttoaineiden 30 prosentin tavoite ja uusiutuvan energian direktiiviehdotus vuosille 2021–2030 (RED II): vaikutusarvio kustannustehokkaasta biopolttoaineiden polun toteutuksesta.

Nämä selvitykset tullevat omalta osaltaan ohjaamaan kansallisia post-2020-tavoitteita liikenteen uusiutuville polttoaineille.

³⁰ http://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/rehn-tiilikainen-ja-berner-komission-energian-talvipaketti-antaa-hyvan-pohjan-jatkoneuvotteluille

³¹ http://vnk.fi/artikkeli/-/asset_publisher/valtioneuvoston-paatoksentekeva-tukeva-selvitys-ja-tutkimussuunnitelma-2018-hyvakskyty

3.3 Liikenteen sähköistys

Mitä on tapahtunut

Sähköisen liikenteen osalta tilanne on kehittynyt ohjelman aikana voimakkaasti, vaikkakin sähköajoneuvojen määrä on Suomessa vielä pieni. Joukkoliikenteen osalta HSL:n strategia on jäsenetty ja konkreettisia toimia siirtymiseksi järjestelmien kaupalliseen ja laajamittaiseen käyttöönottoon on tehty ePELI-pilottihankkeessa. Helsinki, Espoo, Turku ja Tampere ovat hankkineet pikalatauslaitteistoja sähköbussijärjestelmille. Tällä hetkellä sähköbussuja on HSL-alueella 10 kappaletta, Turussa kuusi ja Tampereella neljä. HSL valmistautuu parhaillaan sähköbussien kilpailutukseen osana normaalia liikennepalvelujen hankintaprosessia. Sähköbussijärjestelmät kokonaisuutena lähestyvät teknisesti riittävää tuotantokykyä ja luotettavuutta laajamittaisempaan käyttöönottoon.



Kuva 3.4. Liikenteen sähköistykseen liittyviä tutkimusteemoja.

Sähköistys eri teollisissa ympäristöissä sekä muille kaupallisille ja hyötyajoneuvoille sekä työkoneille on edennyt rinnan sähköisen bussiliikenteen kanssa. Tuotejulkistuksia on tehty mm. sähköisistä satamakoneista ja kehityshankkeita on käynnissä useilla muilla työkonesektoreilla. Kalmar on julkistanut hybridi- ja täyssähköisen konttilukin tuotevalikoimaan. Tampereella on kokeilukäytössä täyssähköinen rekka, jonka operaattori Niinivirta suunnittelee sähkörekalla operoinnin laajentamista myös Helsinkiin. Staralla on Helsingissä suunnitelmia kokeilla sähköistä urbaania työkonetta. Visedo on toimittanut voimalinjoja useisiin erilaisiin sähköisiin hyötyajoneuvoihin ja työkoneisiin. Edellä mainittujen lisäksi valmistelu- ja selvityshankkeita sekä teollista tuotekehitystä on useilla osa-alueilla kuten roska-autot ja jätehuolto, kaivoskoneet. Valmet Automotive on ottanut uudeksi liiketoiminta-alueekseen sähköajoneuvojen akustot ja toimittaa niitä Avantin työkoneisiin.

Vaikka henkilöautoluokan sähköajoneuvot eivät ole olleet TransSmartin painopistealue, edistyy sähköinen liikenne sillä alueella jatkuvasti ja sähköajoneuvojen ja latauspisteiden lukumäärä on ollut kasvussa jo

useita vuosia. Yhtymäkohtana henkilöautojen ja kaupallisten ajoneuvojen välillä on lataukseen liittyvät palvelut, jossa Virta ja Fortum ovat laajentaneet toiminta-alueetta myös hyötyajoneuvojen ja kaupallisten ajoneuvojen alueelle. Virta toimii tällä hetkellä lataukseen liittyviä palveluja tarjoavana operaattorina HSL:n ePELI-hankkeessa. Se tarjoaa palvelujaan Suomen lisäksi myös ulkomailla.

Mitä on tapahtumassa

Latausjärjestelmien osalta tekninen kehitys on ollut melko nopeaa, mutta voidaan myös sanoa, että erityisesti raskaan kaluston pikalatauksen osalta ei järjestelmien teknologinen valmiustaso vielä ole riittävä laajamittaiseen käyttöönottoon. Erityinen huomiota ja kehittämistä vaativa alue on latausjärjestelmien ristiinoperoitavuus eri valmistajien tuotteiden välillä sekä eri valmistajien ajoneuvoille. Keskeisessä roolissa tässä on kansainvälinen standardointityö etenkin automaattisten pikalatauslaitteiden osalta. Sähköbussijärjestelmissä on kansainvälisesti edelleen kaksi pääkonseptia: varikkolataus ja käytönaikainen pikalataus. Pikalatauksessa käytetään yleisimmin pantografeja, joiden toimintasuunta ja kommunikaation protokollat eivät ole täysin vakiintuneita ja standardoituja. Tämä rajoittaa tällä hetkellä vielä järjestelmien yhteensopivuutta ja ristiinoperoitavuutta. Tilanne on kuitenkin nopeasti paranemassa.

Seuraavat askeleet

Yhteenvetona kehityksestä, on odotettavissa, että lähivuosina sähköisen liikenteen järjestelmien käyttöönotto tulee entisestään nopeutumaan teknologian valmiustason noustessa, uusien tuotteiden tullessa markkinoille ja hintojen laskiessa valmistusmäärien kasvun kautta.

Sähköautojen globaali markkinakehitys enteilee mallien runsastumista, hintojen kohtuullistumista ja sitä myöten myynnin kasvua. Useissa maissa on asetettu määrällisiä tavoitteita sähköautoille, ja Suomessakin hallituksen energia- ja ilmastostrategiaan (2017) on kirjattu tavoite 250 000 ladattavan auton saamisesta liikenteeseen 2030 mennessä. Sen saavuttamiseksi on suunnitteilla erilaisia kannustimia ja muita tukitoimia.

4. Yhteenveto

Vuoden 2013 alussa käynnistynyt nelivuotinen VTT:n strategisen tutkimuksen kärkiohjelma TransSmart, Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne, päättyi helmikuussa 2017 pidettyyn loppuseminaariin. TransSmart toimi älykkään vähähiilisen liikenteen kehitysalustana. Ohjelma kokosi laajasti yhteen alueen toimijat, ministeriöt, virastot, kuntasektorin, yritykset, toimialajärjestöt ja tutkijaorganisaatiot. Näin varmistettiin tiedon tarpeen ja tutkimusresurssien kohtaaminen. Verkottunut toimintamalli mahdollisti myös tehokkaan viestinnän tutkimuksen sisällöstä ja tuloksista. Julkiseksi tarkoitetut tutkimustulokset eivät jääneet pelkästään yhden tilaajan käyttöön.

Monesta muusta VTT:n ohjelmasta poiketen TransSmartilla oli laaja ulkoinen ohjausryhmä. Ohjelman ohjausryhmässä oli yritysten ja toimialaryhmien lisäksi edustettuina neljä ministeriötä, liikenne- ja viestintäministeriö (LVM), työ- ja elinkeinoministeriö, valtiovarainministeriö, ympäristöministeriö sekä LVM:n alaiset virastot Liikennevirasto ja Liikenteen turvallisuusvirasto. Niinpä TransSmart kohosikin kansalliseksi yhteistyöalustaksi älykkään vähähiilisen saralla.

TransSmartin neljä pääteemaa olivat:

1. Vähähiilinen energia
2. Edistykselliset ajoneuvot
3. Älykkäät liikennepalvelut
4. Kestävä liikennejärjestelmä.

Teemat eivät kuitenkaan olleet siloja, sillä monet hankkeet käsittelivät useampaa kuin yhtä teemaa. Liikenteen päästöjen kustannustehokkaassa vähentämisessä järjestelmäajattelu onkin tärkeää, ja kokonaisuutta on syytä tarkastella ns. helikopteriperspektiivistä.

TransSmart-ohjelman ensimmäinen päätavoite oli kehittää ja viedä käytäntöön liikenteen teknologioita ja palveluita, jotka minimoivat sekä kustannukset että ympäristöhaitat.

Toisena päätavoitteena oli uuden vähähiiliseen ja älykkääseen liikenteeseen liittyvän liiketoiminnan kehittäminen yhdessä suomalaisten toimijoiden kanssa.

Kolmantena ohjelman tavoitteena oli tuottaa päätöksentekoa tukevaa tietoa ja työkaluja liikennejärjestelmän systeemisen muutoksen aikaansaamiseksi, suuntaamiseksi ja vaikutusten arvioimiseksi. TransSmart-ohjelma pyrki yhteiskunnallisesti vaikuttavaan toimintaan erityisesti liikenne- ja viestintäministeriön sekä työ- ja elinkeinoministeriön hallinnonalojen tutkimusalueilla.

TransSmartin keskeisiä toimintoja ja toimintamalleja olivat:

- verkottaminen
- "co-innovation" ja co-creation" eli yhdessä ideointi ja kehittäminen
- useiden toimijoiden yhteishankkeiden toteuttaminen
- uusien toimintaekosysteemien luominen ja niiden syntymisen edistäminen
- pilotoinnit ja uusien ratkaisujen todentaminen todellisissa toimintaympäristöissä
- ympäristö- ja kustannustekijät huomioivien selvitysten tuottaminen julkishallinnolle päätöksen teon pohjaksi
- tieteellinen pätevytyminen ja julkaisutoiminta.

Esimerkkeinä ohjelman merkittävistä aikaansaannoksista voidaan mainita:

- TransSmartin tuottama taustatieto vuoden 2030 kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan ja ilmastopolitiikan suunnitelmaan vuoteen 2030
- nelivuotinen puitesopimus HSL:n kanssa älykkääseen vähähiiliseen joukkoliikenteeseen liittyvistä toimituksista ja tämän puitesopimuksen puitteissa toteutetut hankkeet
- ekosysteemiajattelun vahvistaminen verkottamalla julkiset toimijat, teollisuus, palveluntuottajat ja tiettyissä tapauksissa myös kuluttajat
- useiden toimijoiden yhteishankkeet biopolttoaineissa, liikenteen sähköistyksessä ja uusissa liikennepalveluissa

- o liikenteen sähköistyksessä mainittakoon erityisesti suomalaisen sähköbussivalmistajan Linkkerin syntyminen VTT:n spin-offina ja HSL esikaupallinen ePELI sähköbussipilotointi
- onnistumiset automaatti- ja sähköajoneuvoihin sekä automaattiajamiseen liittyvissä EU-hankkeissa
- pilotointi ja living-lab -tyyppinen toiminta, esimerkkeinä BioPilot/biopolttoaineet, ePELI/sähköbussit ja Living Lab Bus/matkustuspalveluiden kehitys- ja testausympäristö
- kokeellisen tutkimuksen infrastruktuurin ylläpito ja päivitys (perinteiset ajoneuvot, pakokaasuanalytiikka, sähkö- ja automaattiajoneuvot).

Ohjelmasta tehtiin loppuvuodesta 2015 Aalto-yliopiston Kauppakorkeakoulun toimesta hyödyntäjäarviointi. Arviointi painottui ohjelman ympäristötavoitteisiin ja cleantech-toimintaan, mutta liikennejärjestelmän ja älyliikenteen osuutta tarkasteltiin yleisellä tasolla. Arviointi toteutettiin ohjelman ohjausryhmän itsearviointina.

TransSmart-ohjelma koettiin kokonaisuutena hyödylliseksi. Kaikki haastateltavat olivat tästä yksimielisiä. Ohjelman tutkimuksista saa hyvän kokonaiskuvan vähäpäästöisen liikenteen kokonaiskehityksestä. Lisäksi haastateltavat kokivat saaneensa tarpeellista faktatietoa alueelta päätöksenteon ja edunvalvonnan tueksi. Eräs tuolloin ajankohtainen ja monen haastateltavan hyödylliseksi mainitsema raportti selvitys tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämismahdollisuuksista ja vähentämisen kustannuksista vuoteen 2030.

E erityisen hyvin ohjelman tavoitetta uuden liiketoiminnan synnyttämisestä oli haastateltavien mukaan edistänyt sähköbussihankekokonaisuus, ml. sähköbussiyhtiö Linkker. Myös kansainvälisiä yhteyksiä pidettiin hyödyllisinä, esimerkkinä toiminta IEA:n teknologiaohjelmissa biopolttoaineiden osalta.

Kehittämistarpeiden puolella todettiin ohjelman VTT-keskeisyys, ja se, että älyliikenteen tutkimus on josakin määrin edelleen jäänyt ajoneuvo- ja energiatutkimuksen varjoon.

Keväällä 2016 VTT käynnisti TransDigi yhteistoiminta-alustan valmistelun, huomioiden hyödyntäjäarvioinnista saatu palaute. Ajatus on TransSmart-mallin mukaisesti jatkaa eri liikennealan toimijoiden yhteistyötä. TransSmart-hyödyntäjäarvioinnin perusteella TransDigissä älyliikenteelle ja liikenteen digitalisaatiolle on annettu aikaisempaa vahvempi asema. Tutkimuslaitosyhteistyötä vahvistetaan ottamalla koordinaatioon mukaan kymmenkunta tutkimusosapuolta. TransDigistä tehtiin käynnistyspäätös syyskuussa 2017. TransDigiin on suunniteltu kolmea teemaryhmää 1) "Älykäs infrastruktuuri", 2) "Informaatio- ja liikkumispalvelut" ja 3) "Energia ja ajoneuvot" sekä TransDigi-kokonaisuutta ohjaava strateginen ohjausryhmä (Kestävä saumaton ja turvallinen liikkuminen sekä uusi liiketoiminta).

Liite A: Transsmartin puitteissa tuotettuja julkaisuja teemoittain

Ajoneuvot, pakokaasupäästöt, mittaustekniikka

Tieteelliset artikkelit

1. Aakko-Saksa, P. et al. (2015). Nitrogen containing exhaust emissions for consideration in the aerosol research. *Aerosol Technology*, <http://www.tut.fi/at2015/wp-content/uploads/Nitrogen-containing-exhaust-emissions-for-consideration-in-the-aerosol-research.pdf>.
2. P. Karjalainen, L. Ntziachristos, T. Murtonen, H. Wihersaari, P. Simonen, F. Mylläri, N.-O. Nylund, J. Keskinen, T. Rönkkö. (2016). "Heavy duty diesel exhaust particles during engine motoring formed by lube oil consumption", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 50 No. 22, pp 12504–12511, DOI: 10.1021/acs.est.6b03284.
3. Karjalainen, P; Timonen, H; Saukko, E; Kuuluvainen, H; Saarikoski, S; Aakko-Saksa, P; Murtonen, T; Bloss, M; Dal Maso, M; Simonen, P; Ahlberg, E; Svenningsson, B; Brune, W H; Hillamo, R; Keskinen, J; Rönkkö, T. (2016). "Time-resolved characterization of primary particle emissions and secondary particle formation from a modern gasoline passenger car.", *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 16, No: 13, pp. 8559–8570.
4. Timonen, H Karjalainen, P; Saukko, E; Saarikoski, S; Aakko-Saksa, P; Simonen, P; Murtonen, T; Dal Maso, M; Kuuluvainen, H; Bloss, M; Ahlberg, E; Svenningsson, B; Pagels, J; Brune, W H; Keskinen, J; Worsnop, D R; Hillamo, R; Rönkkö, T. (2017). "Influence of fuel ethanol content on primary emissions and secondary aerosol formation potential for a modern flex-fuel gasoline vehicle", *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 17, No. 8, pp. 5311–5329.

Muut julkaisut

5. Laurikko, Juhani, Nuottimäki, Jukka, Bergman, Micke; Benchmarking of current and near-future passenger car powerplant options; FISITA 2014 Congress, paper F2014-CET-011, Proc. of FISITA World Automotive Congress, June 2014, Maastricht, the Netherlands. 8 p.
6. Nuottimäki, Jukka; Laurikko, Juhani; Nylund, Nils-Olof; Performance Evaluation of Passenger Car, Fuel And Powerplant Options; Paper F2014-CET-040, Proc. of FISITA World Automotive Congress, June 2014, Maastricht, the Netherlands. 9 p.
7. Laurikko, J., Erkkilä, K., Nylund, N.-O. Real-World Emissions And Energy Use of Different Heavy-Duty Vehicle Categories. Paper F2014-CET-012, Proc. of FISITA World Automotive Congress, June 2014, Maastricht, the Netherlands. 8 p.
8. Nuottimäki, Jukka; Kuutti, Hannu; Laurikko, Juhani; Evaluation of Tires Influence to Vehicles Energy Consumption and a Review on European Union's Tire Labelling Regulations 1222/2009 Test Methods; Paper F2014-MVC-047, Proc. of FISITA World Automotive Congress, June 2014, Maastricht, the Netherlands. 8 p.
9. Laine, Petri; Nuottimäki, Jukka, Laurikko, Juhani; Improving Heavy Duty Aerodynamics; Paper F2014-MVC-017, Proc. of FISITA World Automotive Congress, June 2014, Maastricht, the Netherlands. 8 p.
10. Aakko-Saksa, P., Murtonen, T., Roslund, P., Koponen, P., Nuottimäki, J., Karjalainen, P., Rönkkö, T., Timonen, H., Saarikoski, S. & Hillamo, R. 2014. Research on Unregulated Pollutants Emissions of

Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels – VTT's contribution to the IEA-AMF Annex 44. Research Report: VTT-R-03970-14. 28 p. + app. 6 p.

11. Aakko-Saksa, P., Laurikko, J., Roslund, P., Murtonen, T. and Nylund N.-O. Complex exhaust emission impacts from gasoline, diesel, alcohol, and natural gas fuelled cars. 21st International Symposium on Alcohol Fuels, ISAF (2015), ISAF-0127.
12. Nylund, N.-O., Tamminen, S., Sipilä, K., Laurikko, J., Sipilä, E., Mäkelä, K., Hannula, I., Honkatukia, J.: Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidi-päästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset. Tutkimusraportti VTT-R-00752-15, VTT, Espoo 2015, 105 s. + liitteet 204 s.
13. Laurikko, Juhani, Cold-Start Emissions and Excess Fuel Consumption at Low Ambient Temperatures: Update on the Impact of EU5 and EU6 Technology on Passenger Cars. Paper F2016-ESYD-004, Proc. FISITA World Automotive Congress, September 26–30, 2016, Busan, Republic of Korea. 15 p.
14. P. Karjalainen, L. Ntziachristos, T. Murtonen, F. Mylläri, H. Wihersaari, J. Keskinen and T. Rönkkö; Non-combustion Exhaust Particles Observed During Decelerations of Heavy Duty Diesel Vehicles”, 20th ETH-Conference on Combustion Generated Nanoparticles June 13th–16st 2016, Zürich.
15. Aakko-Saksa, P., Roslund, P. & Koponen, P. 2017. Development and Validation of Comprehensive Emission Measurement Methods for Alternative Fuels at VTT. VTT-R-04494-16. 103 p.
16. Laurikko, J. (edited) 2016. Performance Evaluation of Passenger Car, Fuel and Powerplant Options. A Report from the IEA Alternative Motor Fuels Technology Collaboration Programme. CARPO Final Report. AMF Annex 43. 104 p.
17. Lehtoranta, K., et.al. 2016. Natural Gas Engine Emission Reduction by Catalysts. Emission Control Science and Technology – Early Access. Springer (2016) No: December, 11 p.
18. Nylund, N.-O. (Edited) 2016. Fuel and Technology Alternatives for Commercial Vehicles. A Report from the IEA Alternative Motor Fuels Technology Collaboration Programme. COMVEC Final Report. AMF Annex 49. 105 p.
19. Aakko-Saksa, P. et al. Development and validation of comprehensive emission measurement methods for alternative fuels at VTT. Research Report: VTT-R-04494-16, 2016. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2016/VTT-R-04494-16.pdf>
20. Laurikko, Juhani; Real-World Emissions of Passenger Cars; Customer Report VTT-CR-04717-16; VTT, 2016, 67 p. (public).

Biopolttoaineet

Tieteelliset artikkelit

21. Aakko-Saksa, P., Laurikko, J., Roslund, P., Nylund, N.-O., Mannonen, S., Vauhkonen, V. (2014). Crude Tall Oil-Based Renewable Diesel in Passenger Car Field Test. SAE Paper 2014-01-2774. SAE 2014 International Powertrain, Fuels & Lubricants Meeting, October 20-23, 2014, Birmingham, United Kingdom. 8 p.
22. Nylund, N.O.; Karvonen, V.; Kuutti, H.; Laurikko, J. (2014). Comparison of diesel and natural gas bus performance. SAE Technical Papers. No: 2014-01-2432, 11 p.

Muut julkaisut

23. Aakko-Saksa, P. et al. Research on Unregulated Pollutants Emissions of Vehicles Fuelled with Alcohol Alternative Fuels - VTT's contribution to the IEA-AMF Annex 44. Research Report: VTT-R-03970-14, 2014.
24. Roslund, P. et al. UPM BioVerno: Materials testing and fuel stability testing. Customer report: VTT-CR-04213-15, 2015. VTT, 182 p.
25. Juhani Laurikko, Petri Söderena; The Position of Methane as Motor Fuel – Current Outlook and Near-Future Trends. Customer Report.
26. Nylund, N.-O., Laurikko, J., Kytö, M. & Aakko-Saksa, P. Uudet dieselmootorin biopolttoainevaihtoehdot – BioPilot-loppuraportti – VTT-R-02415-17, 2017.

Laivapolttoaineet ja -päästöt

Tieteelliset artikkelit

27. Kajolinna, T. et al. (2015). Efficiency testing of three biogas siloxane removal systems in the presence of D5, D6, limonene and toluene. Fuel Processing Technology, Vol. 139, pp. 242–247.
28. Aakko-Saksa, P. et al. Fuel flexibility of future combustion engine power plants. Fuels & Lubes International. F&L Asia Ltd. Vol. 22 (2016) No: 4, 50–54.
29. Aakko-Saksa, P. et al. Fuel flexibility of the future combustion engine power plants. CIMAC Technical Paper Database. CIMAC (2016), Paper no. 070. <http://www.cimac.com/publication-press/technical-database/index.html>.

Muut julkaisut

30. Elg, M., Quach, S.L., Kinnunen, A., Zou, G. & Tammi, K. Improvements in Machinery Design of a Bulk Carrier by Utilising Multi-Domain Energy Flow Simulation. Proc. of 13th Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries. COMPIT'14. Redworth, UK, 12-14 May 2014. pp. 397–407.
31. Aakko-Saksa, P. et al. Black carbon measurements using different marine fuels. CIMAC Technical Paper Database. CIMAC (2016), Paper no. 068. <http://www.cimac.com/publication-press/technical-database/index.html>.
32. Simonen, P. et al. A new oxidation flow reactor for measuring secondary aerosol formation of rapidly changing emission sources. Atmospheric Measurement Techniques. Vol. 10 (2017) No: 4, 1519–1537.
33. Timonen, H. et al. Black carbon measurement validation onboard (SEAEFFECTS BC WP2) Research Report : VTT-R-04493-17. 2017, 42 p. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-04493-17.pdf>.
34. Aakko-Saksa, P. et al. Black carbon emissions from a ship engine in laboratory (SEA-EFFECTS BC WP1). Research Report: VTT-R-02075-17. 2017. VTT, 112 p. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2017/VTT-R-02075-17.pdf>.

Sähköajoneuvot

Tieteelliset artikkelit

35. Halmeaho Teemu, Rahkola Pekka, Pippuri Jenni, Tammi Kari, (2014). Hybrid city bus design evaluation using system level simulations: IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2014, Istanbul, Turkey, 1–4 June 2014 (2014), 1671–1676. ISBN 978-147992399-1. DOI:10.1109/ISIE.2014.6864866.
36. Halmeaho T., Antila M., Kataja J., Silvonen P., Pihlatie M. (2015). Advanced driver aid system for energy efficient electric bus operation, 1st International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, VEHITS 2015, 20 - 22 May 2015, Lisbon, Portugal, Proceedings. SciTePress, pp. 59–64.
37. Kukkonen S., Erkkilä V., Manninen A., Haavisto J., Pihlatie M., (2015). "Method for dimensioning battery and thermal management systems for heavy-duty vehicle applications using aged battery experimental data and advanced modelling techniques", ECS Transactions, Vol. 68, Issue 2.
38. Halmeaho Teemu, Rahkola Pekka, Tammi Kari, Pippuri Jenni, Pellikka Ari-Pekka, Manninen Aino, Ruotsalainen Sami, (2016). Experimental Validation of Electric Bus Powertrain Model Under City Driving Cycles: The Institution of Engineering and Technology. IET Electrical Systems in Transportation - Early Access (2016), No. September DOI:10.1049/iet-est.2016.0028.

Muut julkaisut

39. Lajunen, A. 2014. Improving the Energy Efficiency and Operating Performance of Heavy Vehicles by Powertrain Electrification, 2014. Doctoral dissertations 125/2014. Aalto University. 92 p. + app. 80. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/13953>
40. Haarnoja T., Halmeaho T., Manninen A. & Tammi K. Sensorless Position Estimation Method for Magnetic Bearings Based on the Direct Measurement of the Current Slope. Proc. of the 7th IET international conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD2014), Manchester, UK, April 2014.
41. Hentunen, S. Kukkonen, T. Lehmuspelto, M. Pihlatie, Development and validation of a Li-ion battery pack for non-road mobile machinery applications, Electric Vehicle Symposium EVS27, Barcelona, Spain, November 17–20, 2013.
42. Kukkonen Samu, Erkkilä Ville, Haavisto Jari, Pihlatie Mikko, (2014). Energy storage technology requirements for heavy (hybrid) electric commercial vehicles - A promising growing market and durability reference for high-tech batteries, Large Lithium Ion Battery Technology and Application Symposium, LLIBTA 2014, 20 - 21 May 2014, Kyoto, Japan, Proceedings. Advanced Automotive Batteries (2014).
43. Keränen, J., Pippuri, J., Malinen, M., Ruokolainen, J., Råback, P., Lyly, M., Tammi, K. 2014. Efficient Parallel 3D Computation of Electrical Machines with Elmer. IEEE Transactions on Magnetics.
44. Pihlatie Mikko, Kukkonen Samu, Halmeaho Teemu, Karvonen Veikko, Nylund Nils-Olof, (2014). Fully electric city buses – The viable option, IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2014, 17–19 December 2014, Florence, Italy. IEEE (2014), 8 p., <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/OA-Fully-Electric.pdf>.

45. Laurikko J., Pihlatie M., Nylund N.-O., Halmeaho T., Kukkonen S., Lehtinen A., Karvonen V., Mäkinen R., Ahtiainen S., (2015). Electric city bus and infrastructure demonstration environment in Espoo, Finland. 28th International Electric Vehicle Exhibition, EVS28 2015, 3–6 May 2015, KINTEXGoyang, South Korea, Proceedings. Korean Society of Automotive Engineers (2015), 11 p.
46. Halmeaho T., Rahkola P., Pellikka A.-P., Ruotsalainen S., Tammi K., (2015). Electric City Bus Energy Flow Model and Its Validation by Dynamometer Test. Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2015, IEEE, 19–22 October 2015, Montreal, QC, Canada: Proceedings. ISBN 978-1-4673-7637-2.
47. Ranta M., Karvonen V., Potter J.J., Pasonen R., Pursiheimo E., Halmeaho T., Ponomarev P., Pihlatie M., (2016). Method Including Power Grid Model and Route Simulation to Aid Planning and Operation of an Electric Bus Fleet, Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2016, 17–20 October 2016, Hangzhou, China, Proceedings. IEEE, 5 p., doi: 10.1109/VPPC.2016.7791724.
48. Karvonen, V., Nylund, N.-O. & Kallonen, S. 2016. Euro VI -päästö-tason kaupunkibussien käytönaikaiset päästöt. VTT-CR-03289-16. 27 s.
49. Laurikko, Juhani; Present and near-future outlook on hybrid, electric and hydrogen-fuelled vehicles. VTT Customer Report VTT-CR-04638-16. VTT 2016, 95 p + Appendix 44 p. (public)

Älykkäät liikennepalvelut ja kestävät liikennejärjestelmät

Tieteelliset julkaisut

50. Koiso-Kanttila, J., Soikkeli, A., Aapaoja A. (2014). "Interactive Planning of Suburban Apartment Buildings", Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering Vol. 8, No. 10, pp. 947–954.
51. Kutila, M., Jokela, M., Fruttaldo, S., Montanari, R., Pallaro, N. (2014). "Advanced study of project ownership challenges in research organisation", WSEAS Transactions on Business and Economics. Vol. 11, pp. 562–570.
52. Leden, L., Gärder, P., Schirokoff, A., Monterde-i-Bort, H., Johansson, C., Basbas, S. (2014). "A sustainable city environment through child safety and mobility-A challenge based on ITS?", Accident Analysis and Prevention, Vol. 62 No: January, pp. 406–414.
53. Leviäkangas, P., Aapaoja, A., Kinnunen, T., Pilli-Sihvola, E., Hautala, R., Zulkarnain. (2014). "The Finnish road weather business ecosystem – turning societal benefits into business and the other way round", Engineering Management Research, Vol. 3, No. 1, pp. 56–67.
54. Majava, J., Leviäkangas, P., Kinnunen, T., Kess, P., Foit, D. (2014). "Spatial health and life sciences business ecosystem: a case study of San Diego", Management, Vol. 9, No. 4, pp. 307–332.
55. Pilli-Sihvola, E., Rantasila, K., Hinkka, V., Permala, A. (2014). "The European Approach to Addressing RFID Privacy". International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications, Vol 4, No. 3, p. 260–271.
56. Rantasila, K., Hinkka, V., Pilli-Sihvola, E., Permala, A., (2014) "Unveiling the RFID business – A Survey of the Finnish RFID Sector", International Journal of Radio Frequency Identification Technology and Applications, Vol 4, No 3, pp. 244–259.

57. Väisänen, T., Ritamäki, M., Scholliers, J., Toivonen, S. (2014). "Security analysis and review of digital signature-based low-cost RFID tag authentication", *International Journal of RF Technologies: Research & Applications*. Vol. 6 No. 1, pp. 31–49.
58. Zulkarnain & Leviäkangas, P & Kinnunen, T & Kess, P. (2014). "The Electric Vehicles Ecosystem Model – Construct, Analysis and Identification of Key Challenges", *Managing Global Transitions*, Volume 12 No. 3, pp. 253–277.
59. Öörni, R. and Korhonen, T. (2014). "eCall minimum set of data transmission – results from a field test in Finland", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 8, No. 8, pp. 639–647.
60. Haapala, A., Härkönen, J., Leviäkangas, P., Kess, P., Häggman, H., Arvola, J., Stoor, T., Ämmälä, A., Karppinen, K., Leppilampi, M., Niinimäki, J. (2015). "Bioeconomy potential - focus on Northern Finland", *International Journal of Sustainable Economy*, Vol. 7, No. 1, pp 66–90.
61. Fuessl, E., Oberlader, M., Beanland, V, Pereira, M., Simões, A. , Turetschek, Ch., Kaufmann, C., Joshi, S., Rößger, L., Leden, L., Spyropoulou, I., Roebroek, H., Carvalhais, J., Underwood, G. (2015). "Methodological development of a specific tool of assessing acceptability of assistive systems of PTW-riders", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 1, 12–21.
62. Hinkka V, Häkkinen M, Holmström J & Främling K. (2015). Supply chain typology for configuring cost-efficient tracking in fashion logistics. *International Journal of Logistics Management*, Vol. 26. No. 1, pp. 42–60.
63. Hyvönen, M.; Rajala, M.; Virtanen, A.; Jankkari, J.; Huhtala, K. & Ritala, R. (2015). Assistive situation awareness system for mobile multimachine work environments. *IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems*. Vol. 16, No. 6, pp. 3403–3413.
64. Öörni, R. (2015). Demand for intelligent vehicle safety systems in Europe. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, Issue 10, pp. 916–923.
65. Pilli-Sihvola E, Aapaoja A, Leviäkangas P, Kinnunen T, Hautala R and Takahashi N. (2015). "Evolving winter road maintenance ecosystems in Finland and Hokkaido, Japan", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 6, pp. 633–638.
66. Permala A, Rantasila K, Porthin, M, Hinkka V, Eckhardt J, & Leonardi, J. (2015). "Multi-criteria evaluation method for freight logistics innovations", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 6, pp. 662–669.
67. Öörni, R.; Meilikhov, E. & Korhonen, T. (2015). "Interoperability of eCall and ERA-GLONASS in-vehicle emergency call systems", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 6, pp. 582–590.
68. Kulmala, R.; Leviäkangas, P.; Mäkinen, T. (2015). Guest Editorial. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 9, No. 6, p. 565.
69. Rantasila, K. and Ojala, L. (2015). "National-level logistics costs: An overview of extant research", *International Journal of Logistics: Research & Applications* Vol. 18, no. 4, pp. 313–324.
70. Haapasalo H, Aapaoja A, Björkman S and Matinheikki M. (2015). "Applying the Choosing by Advantages method to select the optimal contract model for road maintenance", *International Journal of Procurement Management*, Vol. 8, No. 6, pp. 643–665.

71. Pilli-Sihvola E, Permala A, Hinkka V, Klein O & Rantasila K. (2015). "Decentralized Approach to Logistics Execution Monitoring in Multi-actor Network", *International Journal of Advanced Logistics*. Vol. 4. No 1, Pp. 27–36.
72. Tuominen, A., Wessberg, N. and Leinonen, A. (2015). Participatory and prospective value network analysis: supporting transition towards biofuels in Finnish road transport. *European Journal of Futures Research*, Vol. 3, No 6, pp. 1–13.
73. Leviäkangas P. & Aapaoja A. (2015). Resilienssin käsite ja operationalisointi – case liikennejärjestelmä. *Kunnallistieteellinen aikakauskirja* 1/2015.
74. Aapaoja A. & Leviäkangas P. (2015). The evolution of local innovation system in Northern Finland – Case Renewable Energy Solutions Pilots in Oulu. *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol. 6, No. 5, pp. 336–346.
75. T. Järvi, A. Tuominen, P. Tapio and V. Varho. (2015). A transport policy tool for reduction of CO2 emissions in Finland – Visions, scenarios and pathways using pluralistic backcasting method. *Transportation Research Procedia* (2015), pp. 185–198.
76. Kutila, M., Pyykönen, P. Lybeck, A., Niemi, P. & Nordin E. (2015). Towards Autonomous Vehicles with Advanced Sensor Solutions. *World Journal of Engineering and Technology*, Vol. 3, pp. 6–17.
77. Leviäkangas P. & Aapaoja A. (2015) Resilience of transport infrastructure systems. *CSID Journal of Infrastructure Development*, Vol. 1, No.1, pp. 80–90.
78. Leviäkangas, P, Talvitie, A., Nokkala, M. (2015), "A slice or the whole Cake? Network ownership, governance and public-private partnerships in Finland", *Research in Transport Economics*, Vol. 49, pp. 2–13.
79. Leviäkangas, P., Kinnunen, T., Aapaoja, A. (2016). "Infrastructure public–private partnership project ecosystem – financial and economic positioning of stakeholders", *The European Journal of Finance*, Vol. 22, No. 3, pp. 221–236.
80. Mononen, P and Leviäkangas, P. (2016). "Transport safety agency's success indicators – How well does a performance management system perform?", *Transport Policy*, Vol. 45, pp. 230–239.
81. Hinkka V, Pilli-Sihvola E, Mantsinen H, Leviäkangas P, Aapaoja A & Hautala R. (2016). "Integrated winter road maintenance management - new directions for cold regions research", *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 121. No. 6, pp. 108–117.
82. Silla, A & Kallberg, V-P. (2016). "Effect of railway safety education on the safety knowledge and behaviour intention of schoolchildren", *Evaluation and Programme Planning*, Vol. 55, pp. 9–16.
83. Calefatto, C.; Ferrarinia, C.; Landini, E.; Kutila, M.; Quinteirod, E.G. (2016). "The modularisation design approach applied to the ADAS domain: the DESERVE project experience", *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 2265–2273.
84. Hinkka, V., Eckhardt, J., Permala, A., Mantsinen, H. (2016). "Changing training needs of port workers due to future trends", *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 4085–4094.
85. Auvinen, H., Järvi, T., Kloetzke, M., Kugler, U., Bühne, J.-A., Heini, F., Kurte, J., Esser, K. (2016). Electromobility scenarios: research findings to inform policy. *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 2564–2573.

86. Scholliers, J., Permalaa, A., Toivonen, S., Salmela, H. (2016). "Improving the security of containers in port related supply chains", *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 1374–1383.
87. Barnard, Y., Innamaa, S., Koskinen, S., Gellerman, H., Svanberg, E., Chen, H. (2016). Methodology for field operational tests of automated vehicles. *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 2188–2196.
88. Scholliers, J., van Noort, M., Johansson, C., Mans, D., Silla, A., Bell, D., Hancox, G., Leden, L., Giannelos, I., Bax, B., Malone, K. (2016). "Impact assessment of its applications for vulnerable road users", *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 4515–4524.
89. Scholliers, J., Jutila, M., Valta, M., Kauvo, K., Virtanen, A., Pyykönen, P. (2016). "Co-operative traffic solutions for hybrid communication environments", *Transportation Research Procedia*, vol. 14C, ss. 4542–4551.
90. Hietajärvi, A.-M., Karvonen, I. (2016). "Management of risks in export networks: the role of collaboration", *International Journal of Applied Logistics*, vol. 6, 1, ss. 47–63.
91. Norros, I., Kuusela, P., Innamaa, S., Pilli-Sihvola, E., Rajamäki, R. (2016). "The Palm distribution of traffic conditions and its application to accident risk assessment", *Analytic Methods in Accident Research*, vol. 12, ss. 48–65.
92. Havârneanu, G.M., Burkhardt, J.-M., Silla, A. (2016). "Optimizing suicide and trespass prevention on railways: a problem-solving model from the RESTRAIL project", *International Journal of Injury Control and Safety Promotion – early access*.
93. Kallberg, V.-P., Silla, A. (2017). "Prevention of railway trespassing by automatic sound warning-A pilot study", *Traffic Injury Prevention*, vol. 18, No. 3, ss. 330–335.
94. Silla, A., Leden, L., Rämä, P., Scholliers, J., Van Noort, M., Bell, D. (2017). "Can cyclist safety be improved with intelligent transport systems?", *Accident Analysis and Prevention*, vol. 105, ss. 134–145.
95. Leviäkangas, P., Mok Paik, S., Moon, S. (2017). "Keeping up with the pace of digitization: The case of the Australian construction industry", *Technology in Society*, vol. 50, ss. 33–43.
96. Malmivuo, M., Luoma, J., Porthin, M. (2017). "Studded and unstudded winter tires in fatal road accidents in Finland", *Traffic Injury Prevention*, vol. 18, 5, ss. 550–555.
97. Malmivuo, M., Luoma, J. (2017). "Effects of winter Tyre type on roughness and polishing of road surfaces covered with ice and compact snow", *European Transport Research Review*, vol. 9, No. 2, pp. 1–8.
98. Peltola, H., Luoma, J. (2017). "Comparison of road safety in Finland and Sweden", *European Transport Research Review*, vol. 9, No. 3, pp 1–13.
99. Öörni, R., Goulart, A. (2017). "In-Vehicle Emergency Call Services: eCall and Beyond", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, 1, ss. 159–165.
100. Silla, A., Rämä, P., Leden, L., van Noort, M., de Kruijf, J., Bell, D., Morris, A., Hancox, G., Scholliers, J. (2017). "Quantifying the effectiveness of ITS in improving safety of VRUs", *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 11, No. 3, ss. 164–172.

101. Jutila, M., Scholliers, J., Valta, M., Kujanpää, K. (2017). "ITS-G5 Performance improvement and Evaluation for Vulnerable Road User Safety Services", IET Intelligent Transport Systems, vol. 11, No. 3, ss. 126–133.
102. Scholliers, J., Van Sambeek, M., Moerman, K. (2017). "Integration of vulnerable road users in cooperative ITS systems", European Transport Research Review, vol. 9, No. 15, pp. 1–9.
103. Mononen, P., Leviäkangas, P., Haapasalo, H. (2017). "Decision matrix for prioritising services: first steps towards full-scale impact analysis of a public agency", International Journal of Public Sector Performance Management, vol. 3, No. 1, pp. 1–17.
104. Öörni, R., Luoma, J. (2017). "Realised safety impacts of electronic stability control in Finland", IET Intelligent Transport Systems, vol. 11, 3, ss. 158–163.
105. Aapaoja, A., Kostianen, J., Zulkarnain, Leviäkangas, P. (2017). "ITS service platform: in search of working business models and ecosystem", Transportation Research Procedia, vol. 25, ss. 1781–1795.
106. Öörni, R., Malin, F. (2017). "Early adopters of emergency braking and speed alert", IET Intelligent Transport Systems, vol. 11 No. 8, ss. 467–474.

Muut julkaisut

107. Permala, A., Rantasila, K., Pilli-Sihvola, E., Hinkka, V., (2014) "RFID: From Closed Manufacturers' Systems to Supply Chain-Wide Tracking" In: Wang, John (Ed.), Management Science, Logistics, and Operations Research. Pp. 53–64. IGI Global.
108. Aapaoja, A., Leviäkangas, P. Palveluverkostot takaavat tieverkoston talvikunnossapidon. Lapin kansa – alakerta 13.10.2014.
109. Hautala, R., Aapaoja A., Leviäkangas, P. FIRWE - yhteistyöllä enemmän irti suomalaisesta tiesääosaa- misesta. Liikenteen suunta 2/2014.
110. Innamaa, Satu. 2014. Automaatiolla älykkyyttä liikenteeseen. VTT Impulssi.
111. Innamaa, Satu. 2014. DRIVE C2X Assessed the Impacts of Cooperative Systems. Nordic Road and Transport Research.
112. Innamaa, Satu. 2014. Intelligent Transport through Automation. VTT Impulse.
113. Rantasila, Karri; Mantsinen, Heikki; Lankinen, Matti. Helsinki-Pietari -älyliikennekäytävän kehittäminen. Tie&Liikenne 1/2014. <http://www.tieyhdistys.fi/binary/file/-/id/53/fid/522/>
114. Silla, Anne. Management of safety and reliability in road transport companies. Nordic Road and Transport Research (2014) No: 1, p. 3.
115. Silla, Anne; Kallberg, Veli-Pekka. Junan allejäännit – voidaanko vuotuista 60 uhrin määrää vähentää? Väylät ja liikenne. Tampere, 27.–28.8.2014. Suomen tieyhdistys. Helsinki, pp. 340–343
116. Burkhardt, J.-M., Rådbo, H., Silla, A., Paran, F. A model of suicide and trespassing processes to support the analysis and decision related to preventing railway suicides and trespassing accidents at railways. Transport Research Arena 2014, TRA2014, 14–17 April 2014, Paris, France.

117. Eckhardt, J., Rantala, J. The role of corridor development in boosting the European industrial future based on Northern Scandinavian mines. Transport Research Arena, TRA 2014, 14–17 April 2014, Paris, France.
118. Hinkka, V. Use of the actors approach to develop a new design theory for logistics. Proceedings of the 26th Annual Conference of the Nordic Logistics Research Network (NOFOMA), Copenhagen, Denmark, June 12–13, 2014.
119. Pilli-Sihvola, E., Permala, A., Hinkka, V., Rantasila, K., Klein, O. Decentralized Approach to Logistics Execution Monitoring in Multi-actor Network. Conference paper at 7th European Conference on ICT for Transport Logistics, Dortmund, Germany, 5-7 November 2014.
120. Innamaa, S., Norros, I., Pilli-Sihvola, E. The role of traffic and environmental conditions in increasing accident risk. Transport Research Arena, TRA 2014, 14–17 April 2014, Paris, France.
121. Innamaa, S., Rämä, A. Driver behaviour Impacts of cooperative in-vehicle signage. ITS World Congress 2014.
122. Joerg R., Penttinen, M., Rämä, P., Gotschol, C. User acceptance of C2X functions. 10th ITS European Congress, 16 - 19 June 2014, Helsinki, Finland.
123. Koiso-Kanttila, J., Soikkeli, A., Aapaoja A. 2014. Interactive Planning of Suburban Apartment Buildings. XII International Conference on Architectural, Civil and Environmental Engineering. October 9–10 Bali, Indonesia.
124. Koskinen, S. Generating Summaries from Field Operational Test Data. 21st ITS World Congress on Intelligent Transport Systems 2014.
125. Kutila, M., Jokela, M., Fruttaldo, S., Montanari, R., Pallaro, N., Project ownership and steering committee challenges in international context. The 2014 International Conference on Economics, Management and Development, EMD 2014, Interlaken, Switzerland, 22–24 Feb 2014.
126. Kutila, M., Pyykönen, P., van Koningsbruggen, P., Pallaro, N., Pérez-Rastelli, J., 2014. The DESERVE project: Towards future ADAS functions. International Conference on Embedded Computer Systems: Architectures, Modeling and Simulation SAMOS XIV, Samos Island, Greece, 14–17 July 2014.
127. Mans, D.; Giannelos, I.; Silla, A., van Noort, M., Leden, L., Johansson, C. 2014. Methodology for assessment of impacts of ITS on vulnerable road users. 10th ITS European Congress, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
128. Penttinen, M., Diederichs, F., Pagle, K., Portouli, E., Rämä, P. Impact Evaluation Methodology for Collaborative Transport Applications. 21st ITS World Congress on Intelligent Transport Systems, 2014.
129. Penttinen, M., Laitinen, J., Rämä, P., Innamaa, S., Sintonen, H. Towards Holistic Assessment of Automated Driving. In Proceedings of the 21th ITS World Congress, Detroit, USA, 1–7 Oct. 2014.
130. Tarkiainen, M., Peltola, H., Koskinen, S., Schirokoff, A. TRAFISAFE – Feedback for novice drivers. 10th ITS European Congress, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
131. Permala A., Rantasila K., Eckhardt J., Leonardi J. Evaluation method for freight logistics innovations. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.

132. Permala A., Scholliers J., Rantasila K., Toivonen S., Salmela H. Selection and Application of Security Sensors for Cargo Container Risk Management. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
133. Pilli-Sihvola E., Hautala, R. Realising the benefits of Finnish snow-how by turning it into products and services. In Proceedings of the 14th International Winter Road Congress, Andorra la Vella, Andorra, 4.–7.2.2014.
134. Pilli-Sihvola, E., Aapaoja, A., Leviäkangas, P., Kinnunen, T., Hautala, R., Takahashi, N. Evolving winter road maintenance ecosystems in Finland and Hokkaido, Japan. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
135. Pilli-Sihvola, E., Hautala, R., Leviäkangas, P. New ways of providing and taking advantage of road weather information. In Proceedings of the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington, D.C., USA, 12.–16.1.2014.
136. Pyykönen, P.; Kauvo, K., Viitanen, J., Eloranta, P. Vehicle ITS station for C2X communication . In Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2014, 4–6 September 2014, Cluj-Napoca, Romania.
137. Innamaa, S., Penttinen, M., Pilli-Sihvola, E., Aittoniemi, E., Rämä, A. Use and Impacts of Travel Time Information in Finland. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
138. Scholliers, J., Bell, D., Morris, A., Garcia, A.B. Improving safety and mobility of Vulnerable Road Users through ITS applications. Transport Research Arena 2014, TRA2014, 14–17 April 2014, Paris, France.
139. Scholliers, J., Bell, D., Morris, A., Garcia, A.B. Potential of ITS to Improve Safety and Mobility of VRUs. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
140. Scholliers, J., Toivonen, S., Salmela, H., Salminen, P. Camera Technology for Detecting Intrusion in Trucks and Trailers. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
141. Silla, A., Kallberg, V.-P. Two pilot tests for the prevention of railway trespassing in Finland. Global Level Crossing Safety & Trespass Prevention Symposium, GLXS 2014, 3–8 August 2014, Urbana, IL, United States.
142. Toivonen, S., Scholliers, J., Askola, H., Hannola, L., Tervonen, N. New possibilities of using monitoring technology to improve supply chain security. Transport Research Arena 2014, TRA2014, 14–17 April 2014, Paris, France.
143. Öörni, R., Meilikhov, E. and Korhonen, T. Interoperability of eCall and ERA-GLONASS in-vehicle emergency call systems. In Proceedings of 10th European Conference on Intelligent Transport Systems, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
144. Aittoniemi, E., Penttinen, M., Rämä, P., Rech, J. Evaluating user acceptance of C2X systems by focus group discussions. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.
145. Aittoniemi, E., Rämä, P., Penttinen, M., Lahtela, A. Assessing the impacts of a reindeer warning service. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, Helsinki, Finland, 16.–19.6.2014.

146. Havarneanu, G., Burkhardt, J.-M., Silla, A. Safety measures against railway trespass. 28th International Congress of Applied Psychology, ICAP 2014, 8–13 July 2014.
147. Kulmala, R., Penttinen M. Road authorities' strategies for moving from co-operative systems to automation? In Proceedings of the 21th ITS World Congress, Detroit, USA, 1–7 Oct. 2014.
148. Penttinen, M. Designed for distraction? In Proceedings of the 10th European Conference on Intelligent Transport Systems, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
149. Penttinen, M. 2014. Drivers' need for information and the problem of distraction. ETSC Pin Talk Distracted Driving. <http://etsc.eu/7-october-2014-distracted-driving-helsinki/>
150. Penttinen, M. Towards more sustainable urban transport. In Proceedings of the 10th European Conference on Intelligent Transport Systems, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
151. Pilli-Sihvola, E., Pyykönen, P., Kostianen, J., Tergujeff, R., Hautala, R. Co-operative road weather information - slipperiness detection. In Proceedings of the 21th ITS World Congress, Detroit, USA, 1–7 Oct. 2014.
152. Rantasila, K., Mantsinen, H., Casey, T., Hautala, R., Lankinen, M. Development of ITS multi-service from idea to deployment. In Proceedings of the 10th ITS European Congress, 16–19 June 2014, Helsinki, Finland.
153. Rantasila, K., Hautala, R., Lankinen, M., Lankinen L. Deploying ITS Services: case Finland – Russia smart transport corridor. In Proceedings of the 21th ITS World Congress, Detroit, USA, 7–11 Oct. 2014.
154. Tergujeff, R., Hautala, R. Ajoneuvo anturina tienpinnan liukkauden tunnistamisessa. Väylät & Liikenne päivien 2014 esitelmäjulkaisu.
155. Öörni, Risto (2014). Autojen hätäviestijärjestelmä eCallin käyttöönotto Suomessa ja Euroopassa. Esiintelmä TransSmart-seminaarissa 9.10.2014, Helsinki. http://www.transmart.fi/files/161/Autojen_hataviestijarjestelma_eCallin_kayttoonotto_Suomessa_ja_Euroopassa_Risto_Oorni_VTT.pdf
156. Öörni, R. Deployment status and users' willingness to pay – results on selected in-vehicle ITS systems. Joint UNECE-Belgium Workshop on Intelligent Transport Systems "Towards a new transportation culture: technology innovations for safe, efficient and sustainable mobility" 17–18 November 2014, Brussels. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/events/2014/Joint_BELGIUM-UNECE_ITS/06_ITS_Nov2014_Risto_Oorni_VTT_Finland.pdf
157. Hautala, R., Karvonen, V., Laitinen, J., Laurikko, J., Nylund, N.-O., Pihlatie, M., Rantasila, K., Tuominen, A., Ed. Nylund, Nils-Olof; Belloni, Kaisa. Smart sustainable mobility. A user-friendly transport system is a combination of intelligence, low carbon energy and adaptable services. VTT Visions 5, 2014. ISBN 978-951-38-8274-7 (print), ISBN 978-951-38-8275-4 (online).
158. Kallberg, V.-P., Luoma, J., Mäkelä, K., Peltola, H., Rajamäki, R. 2014. Ajoneuvojen liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset. VTT Technology: 197. <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T197.pdf>
159. Silla, A., Luoma, J. Turvallisuuden ja toimintavarmuuden hallinta tieliikenteen kuljetusyrityksissä. VTT Technology: 149. VTT, Espoo, 2014, 45 s. + liitt. 9 s.

160. Peltola, H., Tarkiainen, M., Koskinen, S., Liedes, M. 2014. Uusien kuljettajien ajotapapalaute. Trafín tutkimuksia 9/2014. http://www.trafi.fi/file-bank/a/1415197308/9cec3d0faa1c4236ba6cc69db3b55234/16148-Trafín_tutkimuksia_09-2014_-_Uusien_kuljettajien_ajotapapalaute.pdf
161. Leviäkangas, P., Schneitz, A., Aapaoja, A. The evolution of Finnish "Dream School" – via public entrepreneurship from innovative concepts to national scale-up. Published in proceedings of the 4th International Conference on Education and Management Innovation; Bandar Seri Begawan, Brunei, February 4–5, 2015.
162. Aapaoja, A., Haapasalo, H. Standardointi ja esivalmistus teollisessa rakentamisessa. Rakentajainkalenteri 2015, p. 110–115
163. Silla, A & Kallberg, V-P. (2015). Seeking a new route for trespass prevention. International Railway Journal. Simmons-Boardman Publishing. Vol. 55, No: 7, 40–43.
164. Konttaniemi H & Aapaoja A. Teiden talvikunnossapidosta uutta liiketoimintaa. Lapin Kansa 4.11.2015.
165. Aapaoja A & Konttaniemi H. Teiden talvihoidon vienti lisääisi arktista osaamista. Kaleva 19.12.2015
166. Seppänen, M & Permala, A. Viro satsaa kalustoon ja älyyn. Osto&Logistiikka 5/2015, pp. 60–61.
167. Tuominen, A.; Tervonen, J.; Järvi, T.; Mäkelä, K.; Liimatainen, H.; Nykänen, L.; Rehunen, A. Liikenteen päästöjen vähentämiskeinot täydentävät toisiaan. Tie & Liikenne. Suomen Tieyhdistys (2015) No: 7, 18–19.
168. Innamaa, S. 2015. Lisääntyvä automaatio vaikuttaa tieliikenteeseen monin tavoin. Fintrip, Kirjoitukset.
169. Gellerman H; Innamaa, S; Curbelo, S. (2015). The sharing network. Thinking Highways, Volume 10, Number 3.
170. Aapaoja A. & Leviäkangas P. The evolution of local innovation system in Northern Finland – Case Renewable Energy Solutions Pilots in Oulu. 14th International Conference on Quality in Research (QiR) 2015, 10–13 August, Lombok, Indonesia.
171. Permala A, Rantasila K, Hinkka V & Eckhardt J. Implementation of advanced ICT solutions for multi-modal freight transport collaboration. 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France, October 5–9, 2015.
172. Eloranta P., Jämsä J., Nurmi P., Ortiz Ugalde P. & Kauvo K. Co-operative ITS Deployment – Experiences and Future Views. 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France, October 5–9, 2015
173. Öörni, R. Realised impacts of electronic stability control in Finland. 22nd ITS World Congress, 5–9 October 2015, Bordeaux, France.
174. Silla, A. and Öörni, R. Effects of demonstrations of three in-vehicle ITS systems on user perception. 22nd ITS World Congress, 5–9 October 2015, Bordeaux, France.
175. Hadjidimitriou, S. and Öörni, R. A framework for assessment of European member states' readiness for eCall deployment. In Proceedings of IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 15–18 September 2015, Gran Canaria, Spain.
176. Calefato, C., Ferrarini, C., Kuttila, M. & Landini, E. Development of cost efficient ADAS tool platform for automotive industry. The 22nd ITS World Congress. Bordeaux, France. 5–9 Oct., 2015.

177. Silla, A & Öörni, R. Effects of demonstration of three in-vehicle ITS systems on user perception. 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France, October 5–9, 2015
178. Silla, A; Leden, L; Rämä, P; Van Noort, M; Bell, D; Scholliers, J. Can safety of cyclists be improved with intelligent transport systems? International Cycling Safety Conference 2015, ICSC 2015, 15–16 September, Hannover, Germany
179. Silla, A; Rämä, P; Leden, L; Van Noort, M; Bell, D; Morris, A; Hancox, G & Scholliers, J. Are Intelligent Transport Systems effective in improving the safety of vulnerable road users? 22nd ITS World Congress, Bordeaux, France, October 5–9, 2015
180. Innamaa, S.; Koskinen, S. Data Catalogue for Field Operational Tests. 22nd ITS World Congress, 5–9 October 2015, Bordeaux, France.
181. Jutila, M.; Scholliers, J.; Valta, M.; Kujanpää, K. Assessment of the performance of ITS-G5 for vulnerable road user safety applications. 23rd ITS World Congress, 5-9 October 2015, Bordeaux, France.
182. Hancox, G.; Silla, A; Scholliers, J; van Noort, M.; Bell, D. "Current and future trends in VRU accidents in Europe – why we need ITS solutions". 22nd ITS World Congress, 5–9 October 2015, Bordeaux, France.
183. Tuominen, A., Auvinen, H., Building a Vision and a Roadmap for a National Transport Research Programme – Smart, Low-Carbon Transport System 2030. Proceedings of the Conference “Sustainable Futures in a Changing Climate”, 11–12 June 2014, Helsinki, Finland. Finland Futures Research Centre FFRC eBOOK 2/2015
184. Lahti J., Brambilla M., Ceri S., Zuccala M., Celino I. Empowering digital cities through interconnected services. 23rd ITS World Congress, 5–9 October 2015, Bordeaux, France.
185. Ouoba J., Lahti J., Ahola J. Connecting Digital Cities: Return of Experience on the Development of a Data Platform for Multimodal Journey Planning. SUMS 2015.
186. Rantasila, K. The Impact of Mobility as a Service concept to Land Use in Finnish Context. International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology, Kuwait City, November 2015.
187. Pihlajamaa, O., Laakko, T., Kostiainen, J., Lankinen, L. VoiceInfo – Location-based Social Voice Media for Traffic Information Generation and Provision. 23rd ITS World Congress, 5-9 October 2015, Bordeaux, France.
188. Kostiainen, J., Pihlajamaa, O. On exploitation of social features in mobility service platforms. 23rd ITS World Congress, 5-9 October 2015, Bordeaux, France.
189. Kauvo K. & Koskinen S. Technical Report: Technical Assessment of NordicWay Coop Demonstration. Research Report: VTT-R-04147-15, 2015. VTT, 39 p.
190. Kanner, H. & Malmivuo, M. Jääpito hyväksynnän yhteiskuntataloudelliset vaikutukset. Asiakasraportti: VTT-CR-00364-15. 2015. VTT, 31 s.
191. Innamaa, S.; Malin, F. and Rämä, P. Kilometraveron vaikutukset liikkumiseen. VTT Technology: 227. 2015. VTT, Espoo, 62 s. + liitt. 45 s.

192. Leviäkangas, Pekka; Aapaoja, Aki; Hautala, Raine; Kinnunen, Tuomo. Finnish winter road management - the evolving business ecosystem. BECSI WP2 project report. VTT Technology: 208, 2015. VTT, Espoo, 37 p. + app. 4 p.
193. Norros, I; Innamaa, S. and Kuusela, P. (2015) Palm distribution of road conditions and its application in incident risk analysis on main roads in Finland. VTT-R-05040-15. 21 p.
194. Innamaa, S; Kallio, M. (2015). SUJUVA-palvelun laatu. VTT Tutkimusraportti. VTT-R-04877-15.
195. Innamaa, S; Rämä, P. (2015). Improving safety with cooperative systems. SMART CITY, VTT Research Highlights 12.
196. Rämä, P; Innamaa, S. (2015). From field operational tests to better services – methods and tools. SMART CITY, VTT Research Highlights 12.
197. Innamaa, S; Penttinen, M. (2015). Impacts of nomadic device-based services on safety and mobility SMART CITY, VTT Research Highlights 12.
198. Silla, A; Seise, A & Kallberg, V-P. Tasoristeysten turvallisuustoimenpiteiden kartoittaminen ja arviointi. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä: 7. Liikennevirasto, 2015, 49 p. + app.
199. Peltola, H; Eckhardt, J. & Rajamäki R. Rekisteritunnusten lukulaitteet. Liikenneturvallisuusvaikutusten arviointi. Trafin tutkimuksia 12-2015. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, 2015, 30 s.
200. Peltola, H. Talviajan nopeusrajoitusten liikenneturvallisuusvaikutukset. Vuosien 2010–2014 onnettomuuksien tarkastelu. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 61/2015. 27 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN1798-6664, ISBN 978-952-317-169-5.
201. Innamaa, S; Kanner, H.; Rämä, P. & Virtanen, A. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Trafin tutkimuksia 1/2015. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Helsinki 2015, ISBN 978-952-311-066-3; ISSN 2342-0294 (verkkójulkaisu)
202. Malin, F. (2015). Users' awareness and demand for advanced driver support systems. Aalto University Master's Thesis, 60 p. + app. 14 p.
203. Rantasila, K. (2015) The impact of Mobility as a Service concept to land use. Aalto University Master's Thesis, School of Science.
204. Tuominen, A.; Tervonen, J.; Järvi, T.; Mäkelä, K.; Liimatainen, H.; Nykänen, L.; Rehunen, A. (2015) Liikenteen energiatehokkuustoimenpiteet osana EU:n 2030 ilmasto- ja energiatavoitteiden saavuttamista: vaikutukset, kustannukset ja työnjako. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 14/2015. ISSN PDF 2342-6799. ISBN PDF 978-952-287-193-0. Syyskuu 2015.
205. Järvi, T., Auvinen, H., Balke, I., Heintz, F. (2015) Summary of the results and conclusions. eMAP Deliverable 2.2 eMAP (electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options) project deliverable D2.2
206. Kugler, U., Schimeczek, C., Klötzke, M., Schmid, S., Gis, W., Järvi, T. and Auvinen, H. (2015). Scenario report, with an in-depth description of the scenarios' background eMAP (electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options) project deliverable D6.2
207. Kurte, J., Esser, K., Baum, H., Heintz, F., Balke, I., Järvi, T., Auvinen, H., Kugler, U., Klötzke, M., Gis, W. (2015). Evaluation of scenarios for electromobility with an integrated quantitative assessment

- and multi criteria analysis. eMAP (electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options) project deliverable D7.1
208. Baum, H., Kurte, J., Esser, K., Bühne, J.A. Heini, F., Auvinen, H., Järvi, T., Balke, I., Gis, W. (2015) Policy recommendations – Deployment support options & strategies for electromobility. eMAP (electromobility – scenario based Market potential, Assessment and Policy options). Project deliverable D8.1.
 209. Scholliers, J.; Bell, D; Morris, A; Garcia Melendez, A.B.; Martin Perez, O. (2016) Improving safety and mobility of Vulnerable Road Users through ITS applications. Wiley/ISTE. Thematic Volume 3 on Traffic and Safety.
 210. Tuominen, A., Wessberg, N., Leinonen, A., Eerola, A., Bolwig, S. (2016). Creating Prospective Value Chains for Renewable Road Transport Energy Sources up to 2050 in Nordic Countries. In: Energy and Environment (Eds. André, M.; Samaras, Z.). Wiley, ss. 173–188.
 211. Lewis, Alan; Ehrler, Vereia; Auvinen, Heidi; Maurer, Hedi; Davydenko, Igor; Burmeister, Antje; Seidel, Saskia; Lischke, Andreas; Kiel, Jan. (2016). Harmonizing Carbon Footprint Calculation for Freight Transport Chains. In: Energy and Environment (Eds. André, M.; Samaras, Z.). Wiley, ss. 309–323.
 212. Scholliers, J.; Permala, A.; Toivonen S & Salmela H. Security Management of Container Handling in Ports. In Proceedings of 6th Transport Research Arena, April 18–21, 2016, Warsaw, Poland.
 213. Scholliers, J; van Noort, M; Johansson, C; Mans, D; Silla, A; Bell, D; Hancox, G; Leden, L; Giannelos, I, Bax, B; Malone, K. Impact Assessment of ITS Applications for Vulnerable Road Users. In Proceedings of 6th Transport Research Arena, April 18–21, 2016, Warsaw, Poland.
 214. Scholliers J., Valta M., Jutila M., Kauvo K., Virtanen A., Pyykönen P. Co-operative Traffic Solutions for Hybrid Communication Environments. In Proceedings of 6th Transport Research Arena, April 18–21, 2016, Warsaw, Poland.
 215. Calefato, C., Ferrarini, C., Landini, E., Kutila, M, Garcia Quinteiro, E. The modularisation design approach applied to the ADAS domain: the DESERVE project experience. Transport Research Arena 2016 (TRA 2016). Warsaw, Poland.
 216. Hinkka, V., Eckhardt, J., Permala, A. & Mantsinen, H. Changing training needs of port workers due to future trends. Transport Research Arena 2016 (TRA 2016). Warsaw, Poland.
 217. Hautala R., Mantsinen H., Aapaoja A., Leviäkangas P. Better products and services for winter maintenance. 31st Winter Road Congress, Tampere, Finland, February 17–18, 2016.
 218. Scholliers, J., Bell, D., Morris, A., Garcia M., Alejandra B., Martin Perez, O. (2016). Improving safety and mobility of Vulnerable Road Users through ITS applications. Traffic Safety, G. Yannis and S. Cohen (Eds.) Chapter 16. John Wiley & Sons, Inc, vol. 4.
 219. Afriandi, Zulkarnain. (2016). Exploring the transport system under technological change - market, business ecosystem and business model viewpoints, VTT. 98 p. + app. 85 p. VTT Science; 139. ISBN 978-951-38-8471-0; 978-951-38-8470-3.
 220. Barnard, Y., Koskinen, S., Innamaa, S., Gellerman, H., Svanberg, E., Zlocki, A., Chen, H. (2016). Data Management and Data Sharing in Field Operational Tests. Intelligent Transportation Systems: From Good Practices to Standards, edited by Paolo Pagano. CRC Press, ss. 59–70.

221. Aapaoja A., Pilli-Sihvola, E., Hinkka, V., Hautala, R. "Preconditions for establishing and maintaining test sites for cooperative mobility", 23rd ITS World Congress, Melbourne, Australia, October 10–14, 2016. Published in conference proceedings.
222. Kostiainen, J., Hautala, R., Hinkka, V., Aapaoja, A. "Setting up an ITS innovation environment with many stakeholders", 23rd ITS World Congress, Melbourne, Australia, October 10–14, 2016. Published in conference proceedings.
223. Hinkka, V., Eckhardt, J., Permal, A., Mantsinen H. "Changing Training Needs of Port Workers Due to Future Trends". Published in proceedings of 6th Transport Research Arena Conference (TRA2016), Warsaw, Poland, April 18-21, 2016.
224. Sena, Michael L.; Kostiainen, Juho; Aapaoja, Aki. 2016. Business Models for a Pan-European e-Mobility Marketplace. 11th ITS European Congress, 6–9 June 2016, Glasgow, Scotland, ERTICO (ITS Europe). 7 p.
225. Somma, Giacomo; Stender, Lasse; Innamaa, Satu; Kapl, Bianca; Martínez Oliveira, José. Way forward for public procurement of innovation in C-ITS deployment. 11th ITS European Congress, 6–9 June 2016, Glasgow, Scotland.
226. Kulmala, Risto; Innamaa, Satu; Kauvo, Kimmo; Kotilainen, Ilkka; Schirokoff, Anna; Scholliers, Johan. NordicWay and Coop cellular C-ITS pilot projects first results. 11th ITS European Congress, 6–9 June 2016, Glasgow, Scotland.
227. Aittoniemi, E., Rämä, P., Penttinen, M. Acceptance and impacts of a real time reindeer warning service. In Proceedings of 11th ITS European Congress, 6–9 June 2016, Glasgow, Scotland.
228. König, David; Sochor, Jana; Eckhardt, Jenni. State-of-the-art survey on stakeholders' expectations for Mobility-as-a-Service (MaaS) – highlights from Europe. In Proceedings of 11th ITS European Congress, 6–9 June 2016, Glasgow, Scotland.
229. Lahti, J., Heino, I., Kostiainen, J., Siira, E. Bluetooth Beacon Enabled Mobility Services and Opportunities in Public Transit. In Proceedings of 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 10–14 October 2016, Melbourne, Australia.
230. Penttinen, Merja; Kulmala, Risto; Lone, Dörge. Impacts and CBA of new ITS deployments in NEXT-ITS corridor. In Proceedings of 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 10–14 October 2016, Melbourne, Australia.
231. Penttinen, M., Rämä, P., Kahilaniemi, S., Pagle, K., Aittoniemi, E. Evaluations of the collaborative TEAM-applications. In Proceedings on 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 10–14 October 2016, Melbourne, Australia.
232. König, D., Sochor, J., Eckhardt, J., Böhm, M. State-of-the-art survey on stakeholders' expectations for Mobility-as-a-Service (MaaS). In Proceedings of 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 10–14 October 2016, Melbourne, Australia.
233. Sochor, J., Eckhardt, J., König, D., Karlsson, M. Future needs and visions for Mobility as a Service: Insights from European workshops. 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 10–14 October 2016, Melbourne, Australia, 12 p.

234. Pyykonen, Pasi; Peussa, Pertti; Kutila, Matti; Fong, Kok-Wei. 2016. Multi-camera-based smoke detection and traffic pollution analysis system. In Proceedings (ss. 233–238) of 12th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2016, 8–10 September 2016, Cluj-Napoca, Romania.
235. Kutila, Matti; Pyykönen, Pasi; Ritter, Werner; Sawade, Oliver; Schäufele, Bernd. Automotive LIDAR sensor development scenarios for harsh weather conditions. In Proceedings (ss. 265–270) of 19th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC 2016, 1–4 November 2016, Rio de Janeiro, Brazil.
236. Aapaoja, A.; Kostianen, J.; Zulkarnain, Z.; Leviäkangas, P. ITS service platform: In search of working business models and ecosystem. 14th World Conference on Transport Research, WCTR 2016, 10–15 July 2016, Shanghai, China.
237. Leviäkangas, Pekka; Eckhardt, Jenni; Rantala, Jarkko; Aapaoja, Aki. Corridors – A political tool or business to be managed?. 14th World Conference on Transport Research, WCTR 2016, 10–15 July 2016, Shanghai, China.
238. Afriandi, Z., Aapaoja, A., Hautala, R., Kinnunen, T. Innovation capability of Finnish Road Weather and Maintenance Network - challenges and maturity level. Standing International Road Weather Commission (SIRWEC) 2016, 28–29 April 2016, Colorado, USA.
239. Scholliers, Johan; Kutila, Matti. Connected and automated driving - Tampere test site. Väylät & Liikenne Seminaariesitelmät. Suomen tieyhdistys, ss. 217–222. Väylät & Liikenne 2016, 7–8.9.2016, Tampere.
240. Hautala, R., Mantsinen, H., Aapaoja, A., Leviäkangas, P. Better products and services for winter maintenance. 31st Winter Road Congress, 17–18 February 2016, Tampere, Finland.
241. Lehtonen, S., Virtanen, A., Askola, H. 2016. Liikenteen sähköisten palveluiden tietoturva – niihin kohdistuvat tietoturvariskit ja häirintämenetelmät sekä näiden vaikutukset ja ennaltaehkäisy. Espoo, VTT. 57 s. VTT Technology; 253. ISBN 978-951-38-8406-2. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T253.pdf>.
242. Innamaa, Satu; Malin, Fanny. 2016. Kilometriven vaikutukset liikkumiseen pääkaupunkiseudulla. Espoo, VTT. 20 s. VTT Technology; 254. ISBN 978-951-38-8407-9. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T254.pdf>.
243. Malmivuo, M., Luoma, J. 2016. Rengastyyppin vaikutukset lumi- ja jääpolanteen liukkauteen ja kulumiseen. Espoo, VTT. 48 s. + liitt. 3 s. VTT Technology; 244. ISBN 978-951-38-8392-8. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T244.pdf>.
244. Keinänen-Toivola, M.M., Heikkilä, R., Rytönen, J., Laihonon, P., Hinkka, V. & Koivisto, H. (2016). NAMHUB-ekosysteemin valmisteluprojektin loppuraportti. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/116542/2016_B_11_SAMK_NAMHUB_loppuraportti.pdf?sequence=1.
245. Silla, A. 2016. Liikennekonfliktimenetelmä ja sen mahdollisuudet, VTT. 49 s. VTT Technology; 248. ISBN 978-951-38-8396-6. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T248.pdf>,
246. Tuominen, A., Auvinen, H., Aittoniemi, E. Esiselvitys liikenteen uusien palveluiden ympäristövaikutuksista ja niiden arvioinnista. Helsinki, Liikennevirasto. 36 s. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä; 28/2016. ISBN 978-952-317-275-3.

247. Lumiaho, Aki; Kutila, Matti. (2016). Liikenteen robotiikka. Robotiikan taustaselvityksiä. Liikenne- ja viestintäministeriö, ss. 34–43.
248. Malin, Fanny; Luoma, Juha; Peltola, Harri. (2016). Tien kunnan vaikutukset liikenneturvallisuuteen. Tie & Liikenne. Suomen Tieyhdistys ry, vol. 86, 6, ss. 22–23.
249. Peltola, Harri; Luoma, Juha. (2016). Vauhti lisää turmariskiä myös pääteillä. Liikenneviikku. Liikenneturva, 3, ss. 10–11.
250. Kutila, M., Pyykönen, P., Casselgren, J., Jonsson, P. (2017). Road condition monitoring. Computer Vision and Imaging in Intelligent Transportation Systems, Eds. Robert P. Loce, Raja Bala, Mohan Trivedi. Wiley-Blackwell.
251. Mans, D., Giannelos, I., van Breemen, R., Rood, M., Silla, A., Rämä, P., Scholliers, J., Perez, O.M., Malone, K. (2017). Recommendations for actions concerning supporting ITS developments for VRUs. European Transport Research Review. Springer, vol. 9, No. 2, ss. 22.
252. Malone, K., Silla, A., Johanssen, C., Bell, D. (2017). "Safety, mobility and comfort assessment methodologies of intelligent transport systems for vulnerable road users", European Transport Research Review. Springer, vol. 9, 2, ss. 21.
253. Luoma, Juha; Peltola, Harri; Kuisma, Salla. (2017). Talvirenkaiden käyttö kesällä henkilöautoissa. Espoo, VTT. 18 s. VTT Technology; 284. ISBN 978-951-38-8506-9. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T284.pdf>.
254. Tuominen, A., Ruutu, S., Kanner, H. (2017). Yhteiskäyttöautojen ja uusien kyytipalveluiden liikenteelliset vaikutukset. Systeemidynaaminen tarkastelu, VTT. 17 s. VTT Technology; 285. ISBN 978-951-38-8507-6. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T285.pdf>

Nimeke	Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne TransSmart-kärkiohjelman loppuraportti
Tekijä(t)	Nils-Olof Nylund, Juho Kostiainen & TransSmart-ydintiimi
Tiivistelmä	<p>TransSmart, Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne (2013–2016), oli VTT:n strategisen tutkimuksen kärkiohjelma. Sen tarkoituksena oli toimia sujuvan, kustannustehokkaan ja ympäristöystävällisen liikennejärjestelmän kehitysalustana kokoamalla yhteen eri tutkimusosapuolten liikennesektoria käsittelevää osaamista ja tutkimusta. Ohjelmassa käsiteltyjä teemoja olivat mm. vähähiilinen energia, puhtaat ja energiatehokkaat ajoneuvot ja älykkäät liikennepalvelut sekä näitä tukevat tehokkaat ICT-ratkaisut. Tutkimuksen rinnalla toteutettiin erilaisia käyttöönottoon tähtääviä demonstraatiohankkeita. Toimintaa täydensivät ennakointi- ja arviointitoiminta liikennejärjestelmän sosioteknisestä muutoksesta kohti kestävää kehitystä ja arviot uuden liiketoiminnan syntymahdollisuuksista.</p> <p>Käsillä oleva raportti on ohjelman yhdistetty loppu- ja yhteenvetoraportti, jossa esitellään itse ohjelma ja sen tärkeimmät aikaansaannokset sekä arvioidaan ohjelman vaikuttavuutta. Raportti rakentuu ohjelman visiojulkaisun, tiekartan ja vuosien 2013–2014 ja 2015 vuosiraportteihin. TransSmart-tyyppinen yhteistoiminta jatkuu uuden, TransDigi-nimisen yhteistoiminta-alustan puitteissa.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8628-8 (URL: http://www.vtt.fi/julkaisut) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8628-8
Julkaisuaika	Joulukuu 2017
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	66 s. + liitt. 19 s.
Projektin nimi	TransSmart
Rahoittajat	
Avainsanat	kestävä älykäs liikenne, vähähiilinen energia, edistyskelliset ajoneuvot, älykkäät liikennepalvelut, liikennejärjestelmä
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Smart mobility integrated with low-carbon energy Final report of TransSmart spearhead program
Author(s)	Nils-Olof Nylund, Juho Kostiainen & TransSmart core team
Abstract	<p>TransSmart, Intelligent and Low Carbon Energy (2013-2016), was a Spearhead Programme of VTT Strategic Research. Its purpose was to act as a development platform for a smooth, cost-effective and environmentally friendly transport system by bringing together the knowledge and research of the transport sector from different research partners. The themes discussed in the program included, among others, low carbon energy, clean and energy-efficient vehicles and intelligent transport services, as well as efficient ICT solutions. Along with the research projects, various demonstrations were launched. The undertakings were complemented by foresight studies and assessment activities of the socio-technical transformation of the transport system towards sustainable development, and estimates of the opportunities for new business.</p> <p>The present report is a combined summary and summary report of the program, which presents the program itself and its main achievements, and evaluates the effectiveness of the program, as well. The report is based on the annual publication of the program, the road map and the 2013-2014 and 2015 annual reports. TransSmart-type collaboration will continue within the new TransDigi collaboration platform.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8628-8 (URL: http://www.vttresearch.com/impact/publications) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8628-8
Date	December 2017
Language	Finnish, English abstract
Pages	66 p. + app. 19 p.
Name of the project	TransSmart
Commissioned by	
Keywords	sustainable smart transport, low carbon energy, intelligent transport services, transport system
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne

TransSmart-kärkiohjelman loppuraportti

ISBN 978-951-38-8628-8 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8628-8>

