

Raskas ajoneuvokalusto:

# Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka



Liikenteessä säästävästi, turvallisesti  
ja kevyemmin päästöin

# Suunnittelu tuo säästöjä



## **Ajo-opastin neuvoo kuljettajaa**

Reaaliaikainen ajo-opastin auttaa bussin kuljettajaa ajamaan mahdollisimman taloudellisesti ja silti aikatauluja noudattaen. Opastimien ohjelmistoon sisältyy tiedonkeruu ajoneuvon liiketilasta, polttoaineen kulutuksesta sekä paikkatiedosta.

Ajo-opastimen pääperiaate on ohjeistaa kuljettajaa kiihdyttämään taloudellisesti tavoitenopeuteen ja ajamaan niin matalaa vakionopeutta kuin aikataulut sallivat. Näin minimoidaan polttoaineen kulutus. Toimiakseen oikein ajo-opastin tarvitsee tietoja ajoneuvon liiketilasta, sijainnista reitillä ja aikataulussa pysymisestä. Näiden jatkuvasti mitattavien suureiden lisäksi opastinjärjestelmään syötetään tiedot pysäkeistä ja aikataulusta sekä reitistä ja sen nopeusrajoituksista.

Ajo-opastimia on testikäytössä kaupunkibusseissa ja niiden toimintaa kehitetään edelleen yhteistyössä liikenneoitsijoiden kanssa. Polttoainetta säästyä keskimäärin viisi prosenttia palvelun täsmällisyyden samalla parantuessa. Tavoitteena on saada opastin lähitulevaisuudessa kaupalliseksi tuotteeksi, joka auttaa saavuttamaan merkittäviä polttoainesäästöjä ja noudattamaan aikatauluja.

## **Ajoneuvoyhdistelmä kuorman mukaan**

Suurilla yhdistelmillä voidaan saavuttaa paras energiatehokkuus. Täyteen kuormatulla 60 tonnin yhdistelmällä energiatehokkuus on parempi kuin 42 tonnin yhdistelmällä parhaimmillaan. Jos 42 tonnin yhdistelmän täysi kuorma kuljetetaan 60 tonnin yhdistelmällä vajaaksi täytettynä, polttoaineen kulutus litraa/tonnikilometri on runsaat 10 prosenttia korkeampi. Kuorma siis määrää, minkälainen ajoneuvoyhdistelmä kannattaa valita. Liian suurta ajoneuvoa tai yhdistelmää ei kannata käyttää.

## **Huolitellun aerodynaamisesti**

Raskaan kaluston aerodynamiikkaa voidaan parantaa ajoneuvon etu- ja takapäin muotoilulla. Etukulmat kannattaa pyöristää, minkä jälkeen suurin osa ajoneuvon ilmanvastuksesta syntyy auton takapäin vaikutuksesta. Myös takapäin muotoilua voidaan parantaa pyöristämällä kulmat ja viistämällä kattoja ja kylkiä. Esimerkiksi uudet pikavuorobussit ovat jo usein varsin huoliteltuja yksityiskohtia myöten.

RASTUn tuulitunnelimittauksissa pikavuorobussin pienoismallilla auton keulan pyöristäminen madalsi ilmanvastusta selvästi, mutta tuulilasin kallistuksella ei saatu yhtä suurta etua. Peräosan kulmien pyöristäminen pienensi vastuskerrointa selkeästi ja perän viistäminen suipoksi alensi vastuskerrointa erittäin paljon. Auton peräosan muotoilu vaikuttaa sivutuuliherkkyyteen enemmän kuin etupään muotoilu.

## **Perävaunun omamassan keventäminen kannattaa**

Perävaunun omamassan pienentämisellä saadaan säästöjä polttoainekuluissa tai vastaavasti kuormaa voidaan ottaa enemmän. Omamassan kevennys ei saa kuitenkaan heikentää rakennetta liikaa.

Kevennys voidaan toteuttaa käyttämällä rungossa keveämpiä ja lujempia materiaaleja, optimoimalla runkorakenne, akselisto, renkaiden koko ja päällirakenne.

Alumiini, suurlujuusteräket ja erilaiset komposiitit sekä muovit ovat yleisesti käytettyjä kevennysmateriaaleja perävaunujen valmistuksessa. Alumiinia käytetään enemmän kuin komposiitteja, koska se on halvempaa ja helpompi liittää perävaunun runkorakenteisiin.

# Hankinta ja huolto avainasemassa

## Automallien polttoaineen kulutus- ja päästöerot ovat suuria

RASTU-hankkeessa mitattiin ajoneuvoja kaupunkibusseista 60 tonnin ajoneuvoyhdistelmiin. Päästömääräysten tiukentumisen myötä myös ajoneuvojen energiatehokkuus on selvästi parantunut.

VTT:n ajoneuvotietokanta on saatu tulosten myötä erittäin kattavaksi ja ajantasaiseksi. Tietokannat ovat tärkeitä työkaluja käytössä olevan ajoneuvokaluston ympäristövaikutusten arvioimisessa sekä kalustovalinnoissa.

Mittausten mukaan uusimpien EEV (Environmentally Enhanced Vehicle) -dieselbussien todelliset päästöt vaihtelevat erittäin paljon. Parhaissa tapauksissa ongelmalliset typen oksidit ja partikkelipäästöt olivat EEV-autojen päästörajojen mukaiset,

mutta autokohtaiset erot olivat suuret. EEV-autojen todelliset päästöt ovat silti keskimäärin selvästi vähäisemmät kuin mitattujen Euro IV -autojen päästöt. Uusimmat EEV-bussit kuluttivat keskimäärin viisi prosenttia vähemmän polttoainetta kuin Euro III ja IV -bussit ja yli kymmenen prosenttia vähemmän kuin Euro II -bussit.

Uusimpien Euro IV ja Euro V -luokan kuorma-autojen todelliset päästöt vastasivat keskimäärin ilmoitettua päästöluokkaa. Kuten kaupunkibusseissa, myös kuorma-autoissa uudet moottorityypit ovat entistä taloudellisempia. Tähän on vaikuttanut SCR (selective catalytic reduction) -järjestelmää hyödyntävien moottorien säätöjen optimointimahdollisuus, ja toisaalta uusien moottorityyppien markkinoille tulo.

Kaikkissa autoluokissa energiatehokkain ja taloudellisin vaihtoehto oli SCR-järjestelmällä varustettu auto. Toiseksi taloudellisimmaksi vaihtoehdoksi mittauksissa nousi EGR-auto sekä 18- että 42-tonnisissa ajoneuvoyhdistelmissä. EGR (Exhaust Gas Recirculation) tarkoittaa pakokaasujen takaisinkierätyä dieselmoottorin palotilaan typen oksidipäästöjen pienentämiseksi. Hyvä energiatehokkuus voidaan siis saavuttaa erilaisilla tekniikoilla.

## Vuotuinen polttoaineen säästö

RASTUn tuloksia hyödyntämällä voi helposti saavuttaa jopa useiden prosenttien polttoainesäästöt. Taulukossa on havainnollistettu, mitä jo viiden prosentin säästö merkitsee auton vuotuisessa polttoaineen kulutuksessa eri ajoneuvotyypeillä.

Ajoneuvotyyppi	Ajosuorite km/vuosi	Polttoaineen kulutus litraa/100 km	Säästö (5 %) litraa/vuosi
Moduuliyhdistelmä (60 t)	180 000	45	4 050
Kaupunkilinja-auto	60 000	42	1 575
Pikavuorolinja-auto	115 000	23	1 323

## Renkaat vaikuttavat energiankulutukseen

Kuorma-auton perävaunun, vetoakselin ja etuakselin oikeilla rengasvalinnoilla voidaan säästää polttoaineen kulutuksessa jopa yli kymmenen prosenttia.

Turvallisuutta ei saa unohtaa. Vaikka rengas vähentäisikin polttoaineen kulutusta, ei se välttämättä ole paras vaihtoehto pito-ominaisuuksiltaan. Sama pätee myös toisinpäin. Toisaalta myös samaan käyttöön tarkoitettujen renkaiden välillä on havaittu noin viiden prosentin kulutuseroja.

## Pienet akselistopikkeamat eivät lisää polttoaineen kulutusta

Akselistopikkeamalla tarkoitetaan ajoneuvon tai karrin akselien poikkeamakulmaa ajoneuvon keskilinjaan nähden. Ajoneuvojen akselistoissa on aina suuntauspoikkeamia, mutta poikkeamien yleisyyttä ja suuruusluokkaa sekä todellista vaikutusta polttoaineen kulutukseen ei kuitenkaan ole aiemmin tiedetty.

VTT kartoitti RASTU-tutkimuksessa poikkeamien yleisyyden ja suuruusluokan noin kolmekymmenestä Transpoint Oy:n ajoneuvosta sekä suoritti tarvittavat maantie- ja alustadynamometrikoheet vaikutusten selvittämiseksi. Tulokset osoitti-





VTT:n kehittämä mittaamenetelmä paljasti eri automalleilla huomattavia eroja polttoaineen kulutuksessa ja päästöissä.

vat, ettei virhetilanteiden ja suoristettujen akselien välillä ollut havaittavissa eroa mittatarkkuuden rajoissa.

### Parhaat renkaat taakse

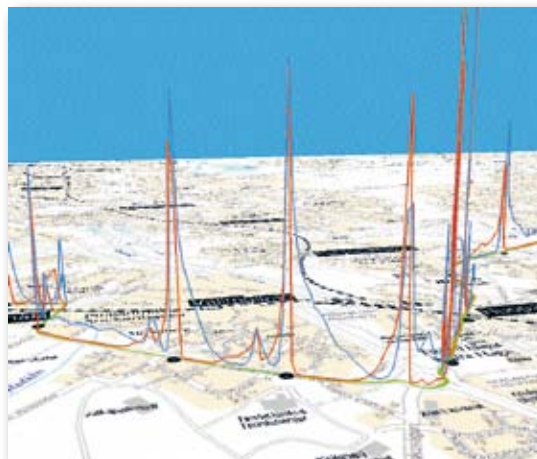
Raskaan kaluston ja etenkin moduuliyhdistelmän vakautta sekä sen parantamista rengastuksen avulla selvitettiin simulointiohjelmalla. Rengastuksella tarkoitetaan apuvaunun ja perävaunun eri akselleilla käytettäviä eritasoisia renkaita, uusia ja kuluneita.

### Moottorin päästövähennystekniikan vaikutus eri polttoaineilla

Polttoaineella on suuri merkitys päästöihin. Vetykäsittellyllä dieselpolttoaineella (NExBTL) ja Ruotsin Miljöklass 1 -vaatimukset täyttävällä dieselöljyllä hiukkaspäästöt laskivat merkittävästi tavanomaisen kauppalaatuisen dieselpolttoaineen tasosta.

Moottorin päästövähennystekniikka	Päästölaaji	Päästömuutos verrattuna perinteiseen dieselöljyyn	
		NExBTL	Miljö Klass 1
Urearuiskutus (SCR)	typen oksidit	-10 %	-25 %
	hiukkaset	-30 %	-15...-20 %
Pakokaasujen takaisinkierrätys (EGR)	typen oksidit	-10 %	0...+7 %
	hiukkaset	-46 %	-40 %

RASTU-projektissa kehitetyillä työkaluilla tuotettu analyysi Jokerilinjan ominaisuuksista. Kuvassa punainen viiva esittää jarrutusten määrää ja sininen polttonesteen kulutusta. Esimerkki on Pitäjänmäeltä lännestä itään ajettaessa.



Simuloinneissa selvisi, että oikeanlaisella rengastuksella pystytään vaikuttamaan perävaunun heilahteluun merkittävästi. Tutkimuksen perusteella voidaan suositella parempikuntoisten renkaiden sijoittamista ajoneuvoyhdistelmän jokaisen ajoneuvoyksikön taka-akselille ja teliakselistojen viimeisille akselleille. Jo aiemmin on tiedetty, että henkilöautoissa on suotavaa asentaa parempikuntoiset renkaat auton taka-akselille.

### Poltto- ja voiteluaineissa on eroja

RASTUssa tehtiin polttoainekokeita uusiutuvalla vetykäsittelytekniikalla tuotetulla NExBTL-dieselillä, perinteisellä RME-biodieselillä ja ruotsalaisella rikittömällä, vähäaromaattisella Miljö Klass 1 -dieselillä. Näitä polttoaineita verrattiin perinteiseen dieselöljyyn. Voiteluaineiden vaikutusta polttoaineen kulutukseen tutkittiin sekä Cummins-dieselmoottorilla moottorijarrudynamometrissä että kokonaisessa ajoneuvossa alustadynamometrillä.

Myös voiteluöljyn valinnalla voidaan vaikuttaa jonkin verran polttoaineen kulutukseen. Käyntilämpöisellä moottorilla tehdyissä kokeissa saatiin polttoaineen kulutuksen eroksi kahden öljyn välillä suurimmillaan noin 1,2 prosenttia, yksittäisessä kuormapisteessä ero oli suurimmillaan noin 1,5 prosenttia. Suuruusluokka oli sama sekä uusilla öljyillä että ajoneuvoissa normaalissa liikenteessä vanhenetuilla öljyillä.

**RASTU-tutkimuskokonaisuudessa tutkijat ja kuljetusyritykset yhdistivät voimansa kehittääkseen raskaan ajoneuvokaluston turvallisuutta ja kustannustehokkuutta sekä tuottaakseen luotettavaa tietoa ajoneuvojen päästöistä. Oikealla käytöllä ja ajotavalla sekä valitsemalla vähäpäästöisiä ajoneuvoja on mahdollista säästää sekä ympäristöä että kustannuksia.**

Uudet ajoneuvot kuluttavat polttoainetta vähemmän kuin vanhat. Myös niiden haitallisia päästöjä on saatu vähennettyä huomattavasti. Vaikka teknologian kehitys on tuonut tullessaan paljon etuja, kuljettajan ajotavalla on silti erittäin suuri merkitys auton energiankulutukseen. Säästöjen lisäämisen ja päästöjen vähentämisen lisäksi on aina muistettava turvallisuus.

### **Seurantajärjestelmät auttavat parantamaan ajotapaa**

Tarkka ja automaattinen polttoaineen kulutuksen kuljettaja- ja autokohtainen seuranta on välttämätön työkalu energiatehokkuuden todentamisessa. Seurannan oikeudenmukainen ja luotettava toteutus on kuitenkin ollut vaikeaa, koska polttoaineen kulutukseen vaikuttavat suuresti myös teki-

jät, kuten tien geometria, sääolosuhteet, liikenteen määrä, kuorma ja auton ominaisuudet.

Tavoitteena on rakentaa älykkäitä energiankulutuksen seuranta- ja kannustinjärjestelmiä. Niissä kuljettajan vaikutus polttoaineen kulutukseen saadaan erotettua ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta, jolloin kuljettajien oikeudenmukainen vertailu, palkitseminen ja kohdennettu kouluttaminen ovat mahdollisia.

Kuljettajien taloudellisen ajotavan kannustinjärjestelmällä voidaan parantaa ja pitkittää taloudellisen ajotavan koulutusten vaikutusta, mikä tuo säästöjä kuljetusyritykselle. Onnistuneet seuranta- ja kannustinjärjestelmät kiinnittävät yrityksen koko henkilöstön huomion taloudelliseen ajotapaan ja parantavat siten yrityksen kannattavuutta ja kilpailukykyä.





## RASTUsta TransEcoon

Vuosien 2006–2008 RASTU-hanke – Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka – oli jatkoa raskaiden ajoneuvojen energiatehokkuuden tutkimukselle (HDENERGIA 2003–2005). RASTUssa myös turvallisuusnäkökohdilla, IT-sovelluksilla ja päästöillä oli tärkeä asema. RASTUa seuraa vielä laajempi TransEco-tutkimusohjelma, jossa raskaan liikenteen lisäksi tutkitaan muun muassa henkilöautoja ja vaihtoehtoisia energialähteitä liikenteessä.

RASTU-hanke saattoi yhteen raskaan ajoneuvosektorin tärkeimmät osapuolet: valtionhallinnosta keskeisimmät ministeriöt ja virastot, kuljetuspalveluiden ostajat ja tuottajat, sektoria palvelevat muut

yrietykset ja tutkijatahot. Keskeisiä tutkimusaiheita olivat uusien raskaiden ajoneuvojen todellinen suorituskyky, ajoneuvotekninen kehityspotentiaali, IT-sovellukset, liikennöinnin optimointi raportointijärjestelmineen sekä operaattoreiden toimet energiankulutuksen vähentämiseksi.

Hankekokonaisuudessa oli mukana viisi tutkimusosapuolta ja lähes 20 rahoittajatahoa. Hankkeella on verkkosivut, joilta löytyy muun muassa osahankkeiden erillisraportteja, yhteenvetoraportteja sekä seminaariesitelmää.

Lisätietoja:  
[www.rastu.fi](http://www.rastu.fi)

**Motiva**

### Motiva Oy

Urho Kekkosen katu 4–6 A  
 PL 489  
 00101 Helsinki

Puhelin 0424 2811  
 Faksi 0424 281 299  
[www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)

**VTT**

### VTT

PL 1000  
 02044 VTT  
[www.vtt.fi](http://www.vtt.fi)

Yhteyshenkilö:  
 Tutkimusinsinööri Kimmo Erkkilä  
 Puh. 020 722 5232  
[kimmo.erkkila@vtt.fi](mailto:kimmo.erkkila@vtt.fi)

  
**ClimBus**

