

# Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa

Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen  
ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen  
hankearvioinneissa



Henna Mäkinen



Ratahallintokeskuksen  
julkaisu A 13/2009

Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa  
Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja  
ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa

Henna Mäkinen

Helsinki 2009

**Ratahallintokeskus**

Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 13/2009

ISSN 1455-2604

ISBN 978-952-445-305-9

Verkkajulkaisu pdf ([www.rhk.fi](http://www.rhk.fi))

ISSN 1797-6995

ISBN 978-952-445-306-6

Kannen ulkoasu: Proinno Design Oy, Sodankylä

Kansikuva: Kehäradan kuvapankki

Paino: Kopijyvä Oy, Kuopio

Helsinki 2009

**Mäkinen, Henna: Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa. Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa.** Ratahallintokeskus, Rataverkko-osasto. Helsinki 2009. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 13/2009. 92 sivua ja 3 liitettä. ISBN 978-952-445-305-9, ISBN 978-952-445-306-6 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## TIIVISTELMÄ

”Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa. Katsaus ulkoisvaikutusten arvottamiseen ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa” käsittelee liikenne- ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa” käsittelee liikenne- ja ulkoisvaikutusten soveltamiseen hankearvioinneissa. Katsauksessa hyödynnettiin EU-komission CE Delftillä teettämää liikenteen ulkoisvaikutusselvitystä, kansainvälisiä ja kansallisia ulkoisten kustannusten tutkimuksia ja liikenne- ja viestintäministeriön Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohjetta.

Katsauksessa tarkasteltiin muun muassa ilmastonmuutokseen, meluun, päästöihin, ruuhkaan ja onnettomuuksiin liittyviä ulkoisia kustannuksia tie- rautatie, laiva- ja lentoliikenteessä. Jokaisen ulkoisvaikutuksen osalta hyödynnettiin kansainvälisiä tutkimustuloksia ja arvioitiin, kuinka Suomen liikenteen ulkoiset kustannukset poikkeavat eurooppalaisesta keskiarvosta. CE Delftin ulkoisten kustannusten suosituksia vertailtiin Ratahallintokeskuksen (RHK) hankearvioinneissa käyttämiin ulkoisten kustannusten yksikköarvoihin.

Ilmastonmuutos- ja pakokaasupäästökustannuksissa laskettiin ulkoiset kustannukset Suomelle CE Delftin suositusten ja LIPASTON päästötietojen perusteella. Näitä ulkoisia kustannuksia vertailtiin CE Delftin laskelmiin Saksan ulkoisista kustannuksista. Katsauksessa laskettiin myös melun ulkoiset kustannukset RHK:n EU-meluselvityksen mukaiselle alueelle. Melukustannuslaskelmissa käytettiin CE Delftin ohjevoja melun ulkoisille kustannuksille.

Katsauksessa vertailtiin keskenään tie-, rautatie-, lento- ja vesiliikenteen ulkoisvaikutuksia. Lento- ja laivaliikenteen ulkoisia kustannuksia on tutkittu huomattavasti vähemmän kuin tie- ja rautatieliikenteen ulkoisia kustannuksia. Kaikille ulkoisille kustannuksille ei ole saatavilla kustannusarviota; ongelma koskee erityisesti lento- ja laivaliikennettä. Vaikka rautatieliikenteen ulkoisia kustannuksia on tutkittu paljon, esimerkiksi tärinälle ei ole vakiintunutta kustannusarviota.

Ulkoiset kustannukset ovat tutkimusten mukaan huomattavasti alhaisempia rautatieliikenteessä kuin tie- tai lentoliikenteessä. Tieliikenteessä suurimmat ulkoisten kustannusten erät ovat ruuhka, onnettomuudet, pakokaasupäästöt ja melu. Tieliikenteen ulkoiset kustannukset korostuvat erityisesti kaupunkiliikenteessä. Junaliikenteessä suurimmat ulkoisten kustannusten erät ovat dieseljunaliikenteen pakokaasupäästökustannukset ja yöjunaliikenteen meluvaikutukset. Liikenteen kasvu lisää usein ulkoisia kustannuksia. Ulkoisten kustannusten kasvua voidaan hillitä ohjaamalla liikenteen kasvua matalampien ulkoisvaikutusten liikennemuotoihin, eli esimerkiksi tie- ja lentoliikenteestä rautatieliikenteeseen.

**Mäkinen, Henna: Trafikens externa effekter i Finland och EU. Översikt över värderingen av externa effekter och tillämpningen av externa effekter i projektbedömningar.** Banförvaltningscentralen, Bannätsavdelningen. Helsingfors 2009. Banförvaltningscentralens publikationer A 13/2009. 92 sidor och 3 bilagor. ISBN 978-952-445-305-9, ISBN 978-952-445-306-6 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## SAMMANDRAG

”Trafikens externa effekter i Finland och EU. Översikt över värderingen av externa effekter och tillämpningen av externa effekter i projektbedömningar” behandlar trafikformernas externa kostnader och beaktningen av dessa i projektbedömningar. Översikten utnyttjar den externalitetsutredning av trafiken som EU-kommissionen låtit göra hos CE Delft, internationella och nationella undersökningar om externa kostnader samt kommunikationsministeriets allmänna anvisningar för bedömning av trafikledsprojekt.

I översikten granskas bland annat kostnader som relaterar till klimatförändringen, buller, utsläpp, rusningar och olyckor för väg-, järnvägs-, fartygs- och flygtrafikens del. För varje externalitet utnyttjades internationella forskningsresultat samt utvärderades hur de externa kostnaderna från den finska trafiken avviker från det europeiska genomsnittet. CE Delfts rekommendationer för externa kostnader jämfördes mot de enhetsciffror som Banförvaltningscentralen (RHK) tillämpar för externa kostnader i projektbedömningar.

För kostnaderna relaterade till klimatförändring och avgasutsläpp beräknades de externa kostnaderna för Finland på basis av CE Delfts rekommendationer och LIPASTOs utsläppsdata. Dessa externa kostnader jämfördes mot CE Delfts kalkyler för de externa kostnaderna i Tyskland. I översikten beräknades också bullerrelaterade externa kostnader för ett område som motsvarar det i RHK:s EU-bullerutredning. Bullerkalkylen använder sig av CE Delfts riktgivande värden för bullrets externa kostnader.

Översikten jämför väg-, järnvägs-, flyg- och vattentrafikens externaliteter sinsemellan. Det har forskats betydligt mindre i de externa kostnaderna för flyg- och fartygstrafiken än för väg- och järnvägstrafiken. Kostnadsuppskattningar finns inte tillgängliga för alla externa kostnader, problemet gäller särskilt flyg- och fartygstrafiken. Även om järnvägstrafikens externa kostnader har undersökts i stor omfattning, finns det ingen vedertagen kostnadsuppskattning för till exempel vibrationer.

De externa kostnaderna är enligt undersökningarna betydligt lägre för järnvägstrafiken än för väg- eller flygtrafiken. De största externa kostnaderna i vägtrafiken härrör från rusningar, olyckor, avgasutsläpp och buller. Vägtrafikens externa kostnader betonas framför allt i stadstrafiken. De största externa kostnadsposterna för tågtrafiken är kostnaderna för dieseltågens avgasutsläpp och nattågstrafikens bullereffekter. Ökade trafikmängder ökar ofta också de externa kostnaderna. Tillväxten av de externa kostnaderna kan därför begränsas genom att styra den ökande trafiken mot trafikformer med mindre externaliteter, såsom från väg- och flygtrafik mot järnvägstrafik.

**Mäkinen Henna: Externalities of transport in Finland and in the EU – Study on estimation of external costs and applying of external costs in project estimation.** Finnish Rail Administration, Rail Network Department. Helsinki 2009. Publications of the Finnish Rail Administration A 13/2009. 92 pages and 3 appendices. ISBN 978-952-445-305-9, ISBN 978-952-445-306-6 (pdf), ISSN 1455-2604, ISSN 1797-6995 (pdf)

## SUMMARY

The study on the externalities of transport in Finland and in the EU is a description of estimating external costs and the applying of external costs in the project estimation. The study is based on “Handbook on External Costs” by CE Delft and national and international studies on external costs. The Guidelines on the Traffic Project Estimation by the Ministry of Transport and Communications of Finland is used to discuss the difference in external costs between the guidelines and international studies.

The study focused on the external costs of climate change, noise, air pollution, congestion, accidents in road, rail, waterway and air transport. On every external cost, the international study results and their suitability to Finland were discussed. The recommendations of CE Delft were compared to the external unit costs used in project estimations of the Finnish Rail Administration.

Climate change and air pollution costs were calculated based on the recommendations of CE Delft and a Finnish calculation system for emissions. The results were compared to the calculations for Germany made by CE Delft. In addition, the external costs of noise were calculated for the Helsinki metropolitan area. For the noise calculations the recommendations of CE Delft for external costs of noise and the noise control program conducted by the Finnish Rail Administration were used.

The externalities of road, rail, waterway and air transport were compared to each other. The externalities of air and waterway transport are significantly less researched than the externalities of road and rail transport. There are no cost estimates for some externalities in air and waterway transport. Even though there is a lot research available on railway externalities there is no established cost estimate for vibration.

The externalities are a lot lower in the railway transport sector than in the road or air transport sector. The most important externalities in road transport are congestion, accidents, air pollution and noise. The externalities of road transport are especially high in the urban transport. The most important externalities of railways are air pollution costs of diesel locomotives and railway noise at night time. The increase in traffic tends to increase the external costs of transport. The increase of external costs can be adjusted by conducting some of the increasing traffic from road and air transport to railway transport.

## ESIPUHE

Selvitys ”Liikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa ja EU:ssa” laadittiin Ratahallintokeskuksessa 2008–2009. Selvityksen tavoitteena oli tarkastella kattavasti liikenteen ulkoisvaikutuksia niin tie-, rautatie-, vesi- kuin lentoliikenteessä. Katsauksessa pyrittiin muodostamaan selkeä kuva eri liikennemuotojen ulkoisvaikutuksista Euroopassa ja Suomessa. Selvityksessä käsiteltiin EU:n alueella tapahtuvaa ulkoisvaikutusten tutkimusta ja peilattiin sitä Suomen rautatiehankearvioinneissa käytettävien ulkoisten kustannusten yksikköarvoihin.

Selvitys on osa Ratahallintokeskuksen vuosien 2008 ja 2009 ulkoisten vaikutusten t&k-projektia. Työ tukee vuonna 2009 hyväksytyyn Ratahallintokeskuksen uuden ilmastostrategian toteutumista. Selvityksen laati maat. ja metsät. maist. Henna Mäkinen. Työhön osallistui ohjausryhmä, jonka asiantuntijajäseninä toimivat ympäristöyksikön päällikkö Arto Hovi (RHK), ympäristöasiantuntija Susanna Koivujärvi (RHK), ympäristöpäällikkö Otto Lehtipuu (VR-konserni) ja laatu- ja ympäristöpäällikkö Vesa Stenvall (VR-konserni).

Helsingissä, lokakuussa 2009

Ratahallintokeskus  
Rataverkko-osasto

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	3
SAMMANDRAG.....	4
SUMMARY .....	5
ESIPUHE.....	6
1 JOHDANTO.....	9
2 ULKOISVAIKUTUS – MIKÄ SE ON?.....	10
2.1 Taustalla taloustieteellinen teoria.....	10
2.2 EU ja ulkoisvaikutusten sisäistäminen.....	11
2.3 Ulkoisvaikutukset ja hankearviointi.....	12
2.4 Ratamaksu.....	13
2.5 Ulkoisvaikutusten arvottaminen.....	13
3 LIIKENNE JA ULKOISVAIKUTUKSET.....	16
3.1 Ilmastonmuutos.....	17
3.1.1 Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset.....	17
3.1.2 Ilmastonmuutos hankearvioinneissa.....	28
3.1.3 Johtopäätökset.....	29
3.2 Melu.....	29
3.2.1 Melun ulkoiset kustannukset.....	29
3.2.2 Melu hankearvioinneissa.....	36
3.2.3 Johtopäätökset.....	38
3.3 Pakokaasupäästöt.....	39
3.3.1 Pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset.....	39
3.3.2 Pakokaasupäästöt hankearvioinneissa.....	47
3.3.3 Johtopäätökset.....	50
3.4 Ruuhka.....	51
3.4.1 Ruuhkan ulkoiset kustannukset.....	51
3.4.2 Ruuhka hankearvioinneissa.....	54
3.4.3 Johtopäätökset.....	56
3.5 Onnettomuudet.....	57
3.5.1 Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset.....	57
3.5.2 Onnettomuudet hankearvioinneissa.....	59
3.5.3 Johtopäätökset.....	60
3.6 Muut ulkoisvaikutukset.....	61
3.6.1 Tärinä.....	61
3.6.2 Luonto ja maisema.....	62
3.6.3 Maaperän ja vesien pilaantuminen.....	64
3.6.4 Herkät alueet.....	65
3.6.5 Energian-, polttoaineen-, ajoneuvojen ja infrastruktuurin tuotannon epäsuorat ulkoiset kustannukset.....	66
3.6.6 Ulkoiset kustannukset kevyelle liikenteelle.....	71
3.6.7 Kustannukset energiariippuvuudesta.....	72
3.6.8 Johtopäätökset.....	73



4	ULKOISVAIKUTUKSET LIIKENNEMUODOITTAIN .....	74
4.1	Tieliikenne .....	74
4.2	Rautatieliikenne .....	78
4.3	Lentoliikenne .....	80
4.4	Laivaliikenne .....	81
4.5	Tie- ja rautatieliikenteen vertailua .....	82
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	87
	LÄHDELUETTELO .....	89

#### LIITTEET

Liite 1	Sanasto
Liite 2	Ulkoisvaikutusten teoriaa
Liite 3	Liikenteen ilmastonmuutos- ja pakokaasupäästökustannukset

## 1 JOHDANTO

Junaliikenne on ympäristöystävällinen ja energiatehokas liikennemuoto, mutta välineitä junaliikenteen ympäristösuoriutumisen mittaamiseen on vain vähän. Yksi tapa mittaamiseen on ulkoisvaikutuksen käsitteen hyödyntäminen. Ulkoisten kustannusten avulla voidaan muun muassa vertailla eri liikennemuotoja keskenään, ja hahmottaa kunkin liikennemuodon suurimmat ympäristö- ja muut ulkoisvaikutukset. Ratahallintokeskus huomioi ulkoiset kustannukset esimerkiksi ratainvestointien hankearviointien ja niissä tehtävien hyöty-kustannuslaskelmien yhteydessä. Ulkoisia kustannuksia voidaan hyödyntää myös väylämaksujen asettamisessa ja liikenteen hinnoittelussa (ruuhkamaksut).

Ulkoisvaikutuksella tai ulkoisilla kustannuksilla tarkoitetaan toiminnasta aiheutuvia haittoja ja hyötyjä, joita ei toiminnassa huomioida ilman ulkopuolisia kannustimia. Esimerkiksi päästöt ja melu ovat negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Kaikki ulkoisvaikutukset eivät ole negatiivisia, vaan esimerkiksi julkisesta liikenteestä syntyy positiivisia ulkoisvaikutuksia.

Selvityksen tavoitteena oli lisätä Ratahallintokeskuksessa tietämystä liikennemuotojen sekä absoluuttisista että suhteellisista ulkoisista kustannuksista. Ulkoisista kustannuksista tarvitaan tietoa, jotta voidaan arvioida paremmin hankkeiden vaikutuksia ihmisiin ja ympäristöön. Vaikka katsauksessa on esitelty ulkoisvaikutusten teoriaa, on pääpaino käytännönläheisessä ja hyödynnettävissä olevassa tiedossa.

Kotimaisia ulkoisten kustannusten tutkimuksia on vähän, ja selvityksessä onkin tukeuduttu myös kansainvälisiin tutkimuksiin. EU-komission CE Delfillä teettämä selvitys liikenteen ulkoisista kustannuksista on katsauksessa keskeisessä roolissa. CE Delftin selvitys kokooa kattavasti nykyiset ulkoisten kustannusten tutkimukset, ja sitä käytetään taustamateriaalina ns. Eurovinjettidirektiivin uudistuksessa.

Luvussa 2 on esitelty ulkoisvaikutusten taustalla olevaa teoriaa ja tämänhetkistä ulkoisvaikutusten huomioimista EU:ssa. Luku 3 käsittelee liikenteestä aiheutuvia ulkoisvaikutuksia. Luvussa on muun muassa laskettu ilmastonmuutoskustannukset ja pako-kaasupäästökustannukset Suomen liikenteelle CE Delftin suositusten ja LIPASTO-päästölaskentajärjestelmän avulla. Melun ulkoisia kustannuksia on havainnollistettu pääkaupunkiseudulle sijoittuvan laskuesimerkin avulla. Jokaisen ulkoisvaikutuksen osalta on verrattu uusimpia tutkimustuloksia tällä RHK:n hankearviointiohjeessa esitettyihin ulkoisten kustannusten yksikköarvoihin.

Neljäs luku keskittyy liikennemuotojen ulkoisvaikutusten kokonaisuuteen ja liikennemuotojen ulkoisvaikutusten vertailuun. Viimeinen luku tiivistää johtopäätökset ja esittää ehdotuksia jatkotoimenpiteiksi.

## 2 ULKOISVAIKUTUS – MIKÄ SE ON?

### 2.1 Taustalla taloustieteellinen teoria

Ympäristöongelmat, ruuhkat ja onnettomuudet ovat liikenteen aiheuttamia epätoivottavia ilmiöitä. Liikenteen käyttäjät eivät päätöksiä tehdessään huomioi näitä seurauksia, vaan ne jäävät yhteiskunnan kannettaviksi. Ympäristöongelmat, ruuhkat ja onnettomuudet ovat toisin sanoen ulkoisvaikutuksia (externalities). Ulkoisvaikutuksesta on kyse silloin, kun jokin henkilö tai yritys toiminnallaan vaikuttaa toisen hyvinvointiin ilman, että he kiinnittävät päätöksenteossa tähän erityistä huomiota.<sup>1</sup> Sen sijaan toimija tekee päätöksensä yksityisten kustannustensa (private costs) perusteella, joita ovat muun muassa polttoainekustannukset, ajoneuvokustannukset tai matkalipun hinta. Toiminnan yhteiskunnalliset kustannukset (social costs) koostuvat yksityisistä kustannuksista ja ulkoisista kustannuksista (external costs).

$$\text{Yhteiskunnalliset kustannukset (social costs) =} \\ \text{yksityiset kustannukset (private costs) + ulkoiset kustannukset (external costs)}$$

Positiivisen ulkoisvaikutuksen (positive externality) tapauksessa toimija nostaa toiminnallaan toisen toimijan hyötyä, ja vastaavasti negatiivinen ulkoisvaikutus (negative externality) vaikuttaa hyötyä laskevasti. Esimerkiksi koulutuksella tai rokotuksilla ajatellaan olevan positiivisia ulkoisvaikutuksia. Liikenteessä positiivisia ulkoisvaikutuksia syntyy esimerkiksi silloin, kun joukkoliikenteeseen tulee lisää käyttäjiä, ja tämän johdosta kaikille tarjottujen palvelujen laatu tai määrä kasvaa.

Ympäristöongelmat ovat puolestaan tyypillisiä negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Negatiivisista ulkoisvaikutuksista käytetään myös nimityksiä ulkoishaitat, ulkoiset kustannukset ja ulkoiskustannukset. Negatiiviset ulkoisvaikutukset ja ulkoishaitat voivat tarkoittaa fyysisiä vaikutuksia tai rahassa mitattuja fyysisiä vaikutuksia. Ulkoiskustannukset ja ulkoiset kustannukset viittaavat aina rahamääräiseksi muutettuihin fyysisiin vaikutuksiin.

Tilanteessa, jossa on ulkoisvaikutuksia, markkinat eivät voi luoda yhteiskunnallisesti optimaalista ratkaisua, vaan niiden sanotaan epäonnistuvan. Henkilö tai yritys ei valitse yhteiskunnallisesti tehokasta toiminnan tasoa. Yhteiskunnallisessa optimissa kulutuksen tai tuotannon yhteiskunnallinen rajakustannus (marginal social cost) on yhtä suuri kuin yhteiskunnan kokema rajahyöty (marginal social benefit). Rajakustannuksella tarkoitetaan yhden lisäyksikön kulutuksesta aiheutuvaa kustannusten lisäystä. Rajahyöty tarkoittaa vastaavasti yhden lisäyksikön kulutuksesta koettua hyödyn muutosta. Rajakustannukset ovat usein nousevia, kun taas rajahyödyt ovat tyypillisesti laskevia. Positiivisten ulkoisvaikutusten tapauksessa yhteiskunnalliset rajahyödyt ovat yksityisiä rajahyötyjä suurempia. Negatiivisten ulkoisvaikutusten tapauksessa yhteiskunnalliset rajakustannukset ovat suuremmat kuin yksityiset rajakustannukset.<sup>2</sup>

Negatiivisen ulkoisvaikutuksen tapauksessa yritys tai henkilö valitsee liian suuren kulutuksen tai tuotannon tason yhteiskunnalliseen optimiin verrattuna. Esimerkiksi

<sup>1</sup> Katso laajempi määrittely ulkoisvaikutuksista ja ulkoisista kustannuksista: CE Delft 2007, 11.

<sup>2</sup> Katso liite 2.

liikenteessä käyttäjät eivät huomioi päätöksenteossaan ympäristövaikutuksia, sillä nämä eivät sisälly liikenteen kuluttajahintaan. Päästöjä syntyy tällöin yli yhteiskunnallisen optimin, ja aiheutuu hyvinvointitappio. Saastuttaja maksaa -periaate (polluter pays principle) ei toteudu.<sup>3</sup>

Sääntelyllä, veroilla ja tukiaisilla pyritään vaikuttamaan toimijan päätöksentekoon siten, että hän valitsisi yhteiskunnan kannalta tehokkaamman ja oikeudenmukaisemman ulkoisvaikutusten tason. Tällöin voidaan sanoa, että ohjauskeinojen avulla ulkoiset kustannukset sisällytetään (internalise) liikenteen hintoihin. Teoriassa rajakustannushinnoittelu tuottaa yhteiskunnallisesti tehokkaan ratkaisun. Rajakustannushinnoittelussa liikenteen käyttäjät maksaisivat kulutuksestaan yhteiskunnallisia rajakustannuksia vastaavan hinnan. Rajakustannushinnoittelua on käytännössä erittäin vaikea tai jopa mahdoton toteuttaa, sillä liikenteen rajakustannukset vaihtelevat voimakkaasti ajan ja paikan mukaan. Rajakustannushinnoittelu ei myöskään riitä kattamaan infrastruktuuri-kustannuksia, mikäli kiinteät kustannukset ovat korkeat tai infrastruktuurin käyttöaste matala. (Euroopan komissio, 2007a.) Esimerkiksi kansainvälinen rautatiejärjestö UIC käyttää ulkoisten kustannusten laskennassa keskimääräiskustannuksia rajakustannusten sijaan.

## 2.2 EU ja ulkoisvaikutusten sisäistäminen

Euroopan komissio on useaan otteeseen tuonut esille liikenteen ulkoisvaikutusten huomioimisen tärkeyden. Liikenteen ulkoisvaikutukset otetaan esille esimerkiksi vuoden 1995 vihreässä kirjassa ”Poliittiset vaihtoehdot liikenteen ulkoisten kustannusten sisällyttämiseksi hintoihin Euroopan unionissa” (Euroopan komissio, 1995). Valkoisessa kirjassa ”Eurooppalainen liikennepolitiikka vuoteen 2010” todetaan, että ”yhteisön toiminnalla on pyrittävä asteittain korvaamaan nykyiset liikennettä rasittavat verot ja maksut tehokkaammilla välineillä, joilla infrastruktuuri- ja ulkoiset kustannukset sisällytetään hintoihin” (Euroopan komissio, 2001). Tarkoituksena ei ensisijaisesti ole kasvattaa verojen ja maksujen määrää, vaan niiden rakennetta tulisi muuttaa siten, että infrastruktuuri- ja ulkoiskustannukset otetaan huomioon. Näin hintarakenne vastaisi paremmin yhteiskunnalle aiheutuneita kustannuksia. Sama linjaus ulkoisvaikutusten sisällyttämisestä hintoihin jatkuu Euroopan komission vuoden 2001 liikennepolitiikan valkoisen kirjan väliarvioinnissa (Euroopan komissio, 2006). Komissio on myös rahoittanut useita ulkoisvaikutuksiin liittyviä tutkimuksia (ks. Euroopan komissio, 2007a, 2–3).

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto antoivat toukokuussa 2006 niin kutsutun Eurovinjetti-direktiivin, joka velvoittaa komissiota esittelemään viimeistään 10. kesäkuuta 2008 ”kaikkien ulkoisten kustannusten arvioimiseksi yleispätevän, avoimen ja ymmärrettävän mallin, jota käytetään vastedes infrastruktuurimaksujen pohjalla. Malliin liitetään vaikutusarvio ulkoisten kustannusten sisäistämisestä kaikissa liikennemuodoissa ja strategia tämän mallin täytäntöönpanemiseksi vaiheittain kaikissa liikennemuodoissa.” (Euroopan unionin virallinen lehti, 2006.) Komission tehtävänä oli siis tutkia liikenteen ulkoisvaikutuksia ja esittää malli niiden arviointiin. Lisäksi komission tuli arvioida ulkoisvaikutusten sisällyttämisen vaikutukset, ja valmistella

<sup>3</sup> Saastuttaja maksaa -periaatteen eli aiheuttajaperiaatteen mukaan vahingonaiheuttajan tulee korvata aiheuttamansa vahingot. Esimerkiksi ympäristövastuudirektiivi (2004/35/EY) perustuu saastuttaja maksaa -periaatteeseen.

strategia mallin käyttöönottamiseksi. Komissio on teettänyt CE Delfillä IMPACTiksi nimetyn selvityksen saadakseen yhteenvedon nykyisestä liikenteen ulkoisvaikutuksia koskevasta tutkimuksesta (CE Delft, 2007).

Heinäkuussa 2008 Euroopan komissio esitti ympäristöystävällisempää liikennettä koskevan toimenpidepaketin. Ulkoisvaikutukset ovat keskeinen osa toimenpidepakettia. Komissio on ehdottanut tehtäväksi strategiaa, jolla varmistetaan yhteiskunnallisten kustannusten entistä parempi huomioiminen liikenteen hinnoissa. Lisäksi komissio antoi kesällä 2008 ehdotuksen Eurovinjetti-direktiivin muuttamisesta.

Ehdotetussa strategiassa esitetään keinoja ulkoisten kustannusten huomioimiseksi kaikissa liikennemuodoissa. Huomioitavia ulkoisvaikutuksia ovat ilmastonmuutos, paikallinen saastuminen, melu ja ruuhkat. Strategia pohjautuu EU:ssa jo käytössä oleviin toimenpiteisiin, sekä ehdotuksiin muun muassa polttoaineverotuksesta ja lentoliikenteen sisällyttämisestä päästökauppaan. CE Delftin IMPACT-selvitys on osa ehdotettua strategiaa: se sisältää yhteisen kehyksen liikenteen ulkoisten kustannusten arviointia varten.

Eurovinjetti-direktiivin muutosehdotus käsitellään seuraavaksi Euroopan parlamentissa ja neuvostossa. Komissio toivoo muutosehdotuksen tulevan voimaan ennen vuotta 2011. Direktiivin muutosehdotus kattaa liikennemuodoista edelleen vain raskaan tie-liikenteen. Ulkoisista kustannuksista direktiivi kattaa pakokaasupäästöt (pl. hiilidioksidi), melun ja ruuhkan. Ilmastonmuutoksen osalta polttoaineveroa ja energia-verotusta pidetään yksinkertaisempina ja tehokkaampina säätelykeinona. Hiilidioksidin myöhempää sisällyttämistä direktiiviin ei ole kuitenkaan poissuljettu. Liikenne-onnettomuuksien osalta tiemaksuja ei pidetä hyvänä ehkäisykeinona, ja komissio etsii ratkaisua esimerkiksi vakuutusmaksuista.

Direktiiviehdotuksessa jäsenvaltioille annetaan mahdollisuus periä raskaalta tie-liikenteeltä tiemaksuja, jotka vastaavat raskaiden ajoneuvojen aiheuttamia ulkoisia kustannuksia. Tiemaksuja ei ehdoteta pakollisiksi, mutta komission aikomuksena on tarkistaa vuonna 2013, voitaisiinko direktiiviä muuttaa jäsenmaita sitovammaksi. Maksujen oikean tason laskenta perustuu yhteiseen kehykseen, jonka pohjana käytetään CE Delftin IMPACT-selvityksen suosituksia. Tiemaksut on perittävä sähköisten järjestelmien avulla, ja perinteisille puomijärjestelmille asetetaan siirtymäaika. Tiemaksuista saatavat tulot tulee ehdotuksen mukaan käyttää hankkeisiin, jotka lieventävät liikenteen haittavaikutuksia.

### **2.3 Ulkoisvaikutukset ja hankearviointi**

Ratahallintokeskus huomioi ulkoiset kustannukset muun muassa ratainvestointien hankearviointien yhteydessä. Hankearvioinneissa pyritään tunnistamaan ratakannan aiheuttamat vaikutukset ja hankkeen kannattavuus yhteiskunnalle. Liikenne- ja viestintäministeriön (2003) Liikenneväylähankkeiden yleisarviointiohje ohjeistaa kaikkien liikenneväylähankkeiden hankearviointia. Ohje on päivitetty vuonna 2007 Joukkoliikenteen vaikutusten arvioinnin yleisohjeella. RHK:n (2004) Ratainvestointien hankearviointiohjeessa on täsmennetty ohjeistusta ratainvestointien vaikutusten erityispiirteiden osalta.

Hankearviointi tehdään sekä uus-, laajennus- että korvausinvestoinneille, mutta hankearvioinnin taso vaihtelee hankkeesta riippuen. Hankearvioinnin päävaiheita ovat hankekuvaus, vaikutusten kuvaus, vaikutusten arviointi ja siitä tehtävät päätelmät. Vaikutukset arvioidaan laadullisesti ja määrällisesti niiltä osin, kun ne ovat arvioitavissa. Hankearvioinnissa tehdään kannattavuuslaskelma, jossa huomioidaan myös ulkoiset kustannukset. LVM:n Liikenneväylähankkeiden yleisarviointiohje sisältää ohjeet ulkoisten kustannusten yksikköarvoista laskelmia varten. Ulkoisista kustannuksista ohjeessa tarkastellaan onnettomuuksia, päästöjä ja melua.

Luvussa 3 on esitelty ulkoisvaikutukset aihealueittain. Jokaisen ulkoisvaikutuksen osalta on vertailtu hankearviointiohjeen ulkoisten kustannusten yksikköarvoja uusimpien tutkimusten ulkoisten kustannusten arvioihin.

## 2.4 Ratamaksu

Ratamaksu koostuu perusmaksusta, rataverosta ja investointiverosta, ja se peritään rautatieyrityksiltä rataverkon käyttämisestä. Ratamaksun avulla pyritään ohjaamaan rautatieliikenteen kehitystä ja rataverkon käyttöä tehokkaaseen ja yhteiskunnallisesti parempaan suuntaan. Ratamaksun suuruutta arvioitaessa tulee huomioida koko liikennejärjestelmä ja ratamaksun ohjaava vaikutus: vaikka rautatieliikenne aiheuttaakin negatiivisia ulkoisvaikutuksia, ovat ne pienemmät kuin tieliikenteen ulkoisvaikutukset. (RHK, 2007)

Ratamaksulla on ennen ollut suora yhteys ulkoisiin kustannuksiin, jolloin ratamaksu perustui osittain päästö- ja onnettomuuskustannuksiin. Nykyisin ratamaksulla ei ole suoraa yhteyttä rautatieliikenteen yhteiskunnallisiin kustannuksiin. Rataveron perusteissa todetaan kuitenkin, että sähkövetoisen liikenteen suosiminen on ympäristösyistä mahdollista. (RHK, 2007)

## 2.5 Ulkoisvaikutusten arvottaminen

Jotta oikea ohjaus voidaan asettaa, ulkoisvaikutukset tulee tunnistaa ja arvottaa rahassa. Jo fyysisten vaikutusten mittaaminen on usein haasteellista. Ulkoisvaikutuksille ei tyypillisesti ole markkinoilla määriteltyä hintaa. Esimerkiksi melulle, päästöille tai ruuhkalle ei ole markkinahintaa, vaan niistä aiheutuvia kustannuksia täytyy arvottaa erilaisin arvottamismenetelmin.

Arvottamismenetelmillä pyritään määrittämään ulkoisvaikutukset rahassa. Ulkoisten kustannusten määrää voidaan selvittää esimerkiksi kuluttajien maksuhalukkuutta (willingness to pay for an improvement) tai hyväksymishalukkuutta (willingness to accept a compensation for non improvement) mittaamalla. Tilanteesta riippuen arvottamismenetelmä voi perustua esimerkiksi lausuttuihin/ilmaistuihin preferensseihin (stated preferences) tai paljastettuihin preferensseihin (revealed preferences). Lausuttujen preferenssien menetelmissä kuluttajilta tiedustellaan heidän mieltymyksiään suoraan. Lausuttujen preferenssien menetelmiin kuuluvat muun muassa ehdollisen arvottamisen menetelmä (contingent valuation method) ja valintakoemenetelmä (choice experiment method). Paljastettujen preferenssien menetelmissä kuluttajien mieltymykset pyritään selvittämään seuraamalla kuluttajien käyttäytymistä. Tällaisia epäsuoria

menetelmiä ovat muun muassa hedonisten hintojen menetelmä (hedonic pricing method) ja matkakustannusmenetelmä (travel cost method).

Arvottamismenetelmät voidaan jakaa ylhäältä-alas- (top-down) ja alhaalta-ylös- (bottom-up) menetelmiin. Alhaalta-ylös-menetelmässä arvottaminen suoritetaan tarkasti määriteltyjen liikennetilanteiden ja case-tutkimusten perusteella. Alhaalta-ylös-laskelmien avulla voidaan määrittää ulkoishaitan rajakustannukset. Tulokset ovat verrattain tarkkoja ja täsmällisiä, mutta toisaalta alhaalta-ylös-laskelmien tekeminen maksaa paljon, ja niiden yleistäminen voi olla hankalaa. Ylhäältä-alas-menetelmässä laskelmat perustuvat kansallisen tietoaaineiston hyödyntämiseen. Tulokset ovat tällöin koko maan kattavia keskiarvoja, ja niiden avulla voidaan vertailla eri liikennemuotojen kustannuksia. Ylhäältä-alas-laskelmien haittapuolia on yksinkertaistamisen mukanaan tuoma tulosten suurpiirteisyys. Monet tutkimukset käyttävät alhaalta-ylös-menetelmää. CE Delft suosittaa yhdistämään alhaalta-ylös- ja ylhäältä-alas-menetelmät rajakustannusten laskemiseksi. (CE Delft, 2007.) Taulukossa 1 esitelty rajakustannusten ja keskimääräiskustannusten välisiä eroja eri ulkoisvaikutuksittain.

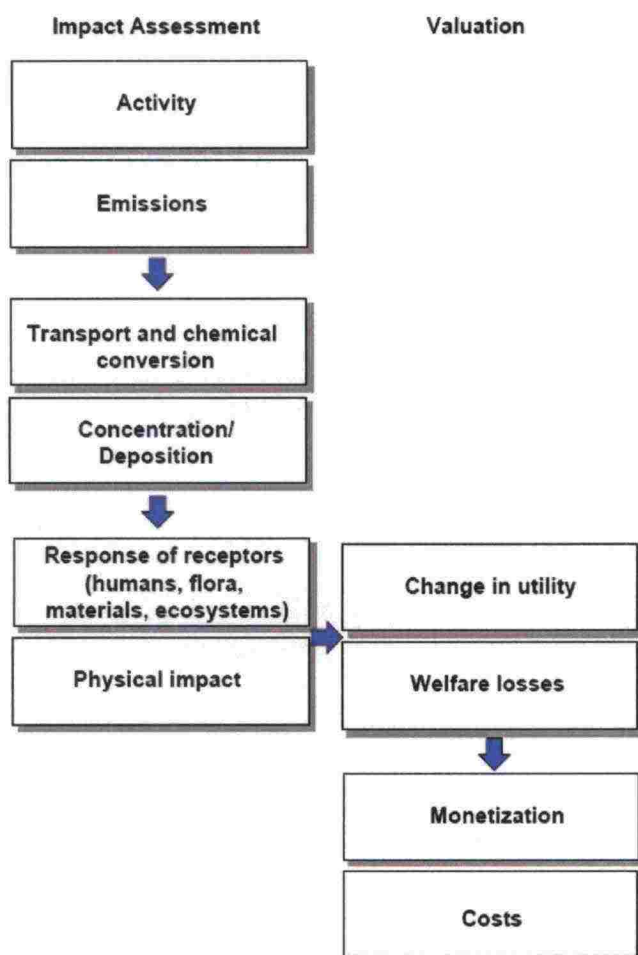
*Taulukko 1. Rajakustannusten ja keskimääräiskustannusten välisiä eroja ulkoisvaikutuksittain. (CE Delft 2007, 16–17.)*

Relation between marginal and average costs and links to internalisation

Cost component	Difference between marginal and average costs	Practical implementation and proposed differentiation
Costs of scarce Infrastructure	In congested areas, marginal costs are above average costs: Difference is relevant to define external costs.	Estimation of marginal cost based on standardised curves for specific traffic clusters (urban-interurban, peak-off-peak). Top-down approaches are hardly feasible.
Accident costs	Marginal costs differ individually (for non-scheduled traffic). Clustering of Infrastructure users according to accident risk is possible (and typically applied by insurance companies). Thus, average and marginal costs can be assumed to be similar in each cluster.	Differentiation (cluster of users) according to schemes applied by insurance companies.
Air pollution costs and human health and building/material damages	Linear dose response function: Marginal costs similar to average costs.	Marginal (averaged) costs per type of vehicle (EURO-class) and traffic and population clusters (urban, interurban).
Air pollution and nature	Linear dose response function: Marginal costs similar to average costs.	Marginal (averaged) costs per type of vehicle (EURO-class) and traffic clusters (urban, interurban).
Noise	Decreasing impact of an additional vehicle with increasing background noise due to logarithmic scale. Marginal costs below average costs.	Marginal (averaged) costs per traffic and population clusters (urban, interurban).
Climate change	Complex cost function. As a simplification: Marginal damage costs similar to average costs (if no major risks included). For avoidance costs, marginal costs are higher than average costs.	Marginal (averaged) costs per type of vehicle and/or fuel.
Nature and landscape	Marginal costs are significantly lower than average costs.	Averaged (or marginal) variable costs per type of Infrastructure.

Monien liikenteen ulkoisvaikutuksien selvittämiseen käytetään vaikutuspolkumenetelmää (Impact Pathway Approach). Vaikutuspolkumenetelmä pohjautuu kuluttajien maksuhalukkuuteen, ja on ExternE-hankkeessa kehitetty.<sup>4</sup> CE Delft suosittaa vaikutuspolkumenetelmää esimerkiksi melun ja ilmansaasteiden arvottamiseen. Vaikutuspolkumenetelmän vaiheet ilmasaasteiden ja melun rajakustannusten arvioimiseksi on esitelty lyhyesti kuvassa 1.

The Impact Pathway Approach for the quantification of marginal external costs caused by air pollution and noise



Kuva 1. Vaikutuspolkumenetelmän vaiheet. (CE Delft 2007, 48.)

Joidenkin ulkoisvaikutusten arvottamiseen käytetään vaihtoehtoisesti haittakustannusmenetelmää tai ehkäisykustannusmenetelmää. Haittakustannusmenetelmä (damage cost approach) on verrattavissa vaikutuspolkumenetelmään. Ensin arvioidaan haittaan liittyvät fyysiset vaikutukset, ja tämän jälkeen estimoidaan fyysisten vaikutusten taloudelliset vaikutukset. Mikäli tuleviin ulkoisiin kustannuksiin liittyy epävarmuutta, mutta vähennystavoitteet ovat asetettavissa, voi olla suositeltavaa käyttää ulkoisvaikutusten ehkäisykustannuksiin perustuvaa lähestymistapaa (avoidance cost approach). Ehkäisykustannusmenetelmä perustuu hyöty-kustannusanalyysiin, ja siinä selvitetään edullisin tapa välttää haitoilta. Haittakustannus- ja ehkäisykustannusmenetelmät voivat soveltua esimerkiksi ilmastomuutuskustannusten laskemiseen.

<sup>4</sup> ExternE- eli Externalities of Energy-hanke on tutkinut ulkoisvaikutuksia vuodesta 1991 lähtien. Tutkimuksen pääpaino on ollut liikenteen ulkoisvaikutuksilla. Hankkeen Internet-sivut: <http://www.externe.info/>



### 3 LIIKENNE JA ULKOISVAIKUTUKSET

Seuraavissa luvuissa on käsitelty eri liikennemuotoihin liittyviä ulkoisvaikutuksia. Luvut pohjautuvat CE Delftin (2007) tekemään IMPACT-selvitykseen, jota Euroopan komissio käyttää muun muassa eurovinjetin direktiivin uudistamisen yhteydessä. Kunkin aihealueen lopussa tarkastellaan liikenne- ja viestintäministeriön tällä hetkellä suosittelemaa ulkoisvaikutusten yksikköarvoa ja sen suhtautumista kansainvälisiin tutkimuksiin.

IMPACT-selvityksen tulokset ovat yhteenveto tämänhetkisestä ulkoisten kustannusten tutkimuksesta. Ulkoiset kustannukset on esitetty rajakustannuksina, eikä niissä ole huomioitu esimerkiksi infrastruktuurin kulumisesta aiheutuvia muuttuvia tai kiinteitä ulkoisia kustannuksia. Tulokset esittävät pääsääntöisesti keskimääräisiä ulkoisia kustannuksia läntisen Euroopan alueella. Kustannuksien perusvuotena on käytetty mahdollisuuksien mukaan vuotta 2000, jotta kustannukset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Tuloksissa on esitetty ne viitearvot, joiden välillä ulkoisten kustannusten määrä useimmissa tapauksissa on. Raportissa esitetyjä ulkoisia kustannuksia ei useimmissa tapauksissa voi sellaisenaan sisällyttää hintoihin, vaan sisällyttämisessä tulee huomioida liikenteenkuluttajan reaktio hinnanmuutokseen. Esimerkiksi ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat tyypillisesti korkeammat kuin optimaalisesti asetettu ruuhkamaksu. (CE Delt 2007, 6–7, 11–12.)

CE Delftin (2007, 7-8) mukaan IMPACT-raportin tuloksia voidaan hyödyntää kolmella eri tasolla:

- 1) Täsmällisimmät ulkoiset kustannukset saadaan arvottamalla ulkoisvaikutukset raportissa ehdotetuilla arvottamismenetelmillä jokaiselle maalle erikseen. Tällöin maita koskevat erityispiirteet tulevat huomioitua. Kustannusten laskemiseksi tarvitaan paljon taustatietoa.
- 2) Toisessa vaihtoehdossa hyödynnetään IMPACT-raportin kustannusarvioita (esim. ajan arvo, elämän arvo, kustannus meluhaitasta) ja omia alueellisia liikennetietoja (esim. onnettomuuksien määrä kilometriä kohden, polttoaineen keskimääräinen kulutus kilometriä kohden, melualueella asuvien määrä). Nämä yhdistämällä saadaan suuntaa antavat ulkoiset kustannukset eri liikennemuodoille. Menetelmän heikkoutena voidaan pitää kustannusten epätarkkuutta; esimerkiksi ruuhkassa vietetyn ajan hinnan ajatellaan olevan sama kaikissa maissa.
- 3) Kolmas vaihtoehto on hyödyntää IMPACT-raportissa annettuja ulkoisia kustannuksia sellaisenaan. Tuloksia voidaan CE Delftin mukaan käyttää karkeina arvioina erityisesti silloin, kun kustannuslaskelmissa hyödynnetään raportissa ehdotettuja kustannustensiirtomenetelmiä.

UIC:n INFRASilla teettämän selvityksen mukaan CE Delftin raportin suositukset ulkoisista kustannuksista ovat samaa suuruusluokkaa INFRAS/IWW:n (2004) tutkimuksen kanssa. Taulukossa 2 on esitetty INFRASin vertailu näiden kahden selvityksen välillä. (INFRAS 2008, 17–18.)

Taulukko 2. IMPACTin (CE Delft 2007) ja UIC:n (INFRAS/IWW 2004) tulosten vertailua. (INFRAS 2008, 18).

<b>Henkilöliikenne</b> (Ulkoiset kustannukset henkilökilometriä kohden, suhde 'tie:rautatie')	
<i>IMPACT - kaupunki</i> (enintään 0,5 miljoonaa asukasta)	<i>Välillä 8:1 (bensinikäyttöinen auto / sähköjuna)</i> <i>ja 2:1 (dieselikäyttöinen auto / dieselyöjuna)</i>
<i>IMPACT – haja-asutusalue</i>	<i>Välillä 4:1 ja 2:1</i>
<i>UIC – keskiarvo kaupungista ja haja-asutusalueesta</i>	<i>3:1</i>
<b>Tavaraliikenne</b> (Ulkoiset kustannukset tonnikilometriä kohden, suhde 'tie:rautatie')	
<i>IMPACT – haja-asutusalue</i>	<i>Välillä 5:1 ja 1,2:1</i>
<i>UIC</i>	<i>4:1</i>

Taulukosta 2 nähdään, että UIC:n saamat keskimääräiset ulkoisten kustannusten suhteet mahtuvat IMPACT-selvityksen ulkoisten kustannusten vaihteluväleihin. Tulosten perusteella rautatieliikenteen ulkoiset kustannukset ovat tieliikennettä pienemmät sekä henkilöliikenteessä että tavaraliikenteessä. Suurimmat erot syntyvät sähkövetoisen junaliikenteen ja bensiinikäyttöisen henkilöauton välille kaupunkiliikenteessä.

### 3.1 Ilmastonmuutos

#### 3.1.1 Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset

Ilmastonmuutoksen kustannusten arviointia pidetään ongelmallisena. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat pitkäaikaisia ja maailmanlaajuisia, ja niiden fyysisessä arvioinnissa ja rahallisessa arvottamisessa on paljon epävarmuutta. Tästä johtuen myös yksittäisestä ajoneuvosta tai junasta johtuvien kustannusten arviointi on haastavaa. Liikenteen ilmastonmuutosvaikutukseen vaikuttaa pääasiassa polttoaineenkulutus ja polttoainevalinnat. CE Delft (2007) suosittelee arvioimaan liikenteen aiheuttamia ilmastonmuutoksen ulkoisia kustannuksia seuraavasti:

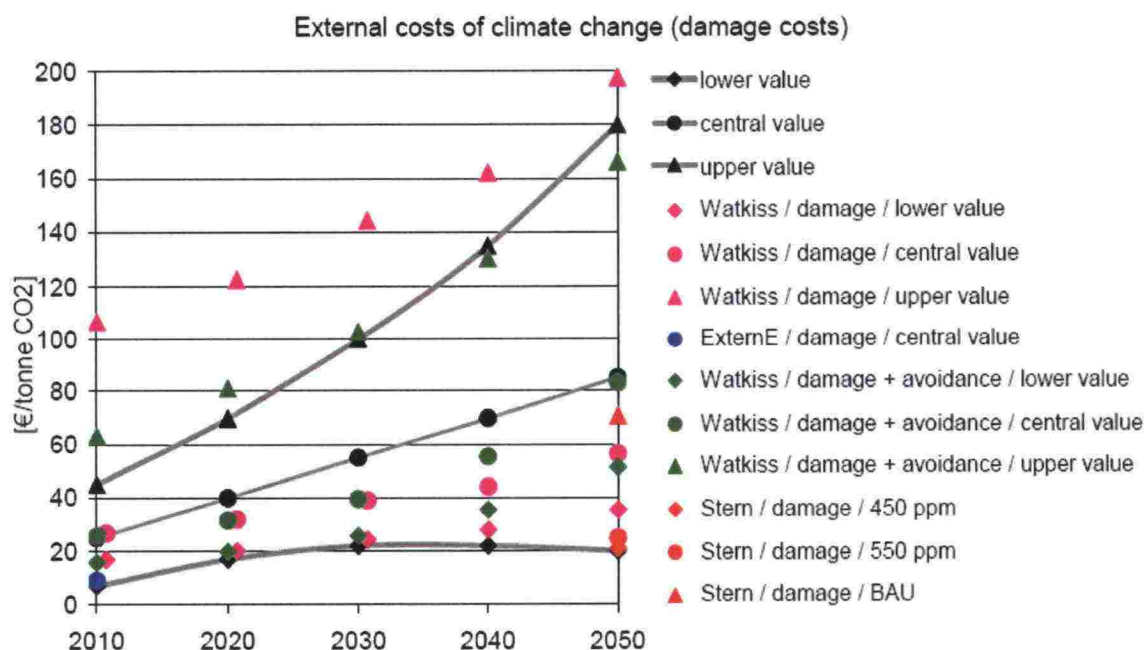
- 1) Arvioidaan maan ajoneuvo- ja junakilometrit ajoneuvo- ja junatyypeittäin
- 2) Kerrotaan saadut kilometrit kunkin kasvihuonekaasun päästökertoimella
- 3) Muutetaan päästöt CO<sub>2</sub>-ekvivalenteiksi GWP-indeksin avulla 5
- 4) Kerrotaan hiilidioksidiekvivalentit kokonaispäästöt ulkoisten kustannusten kertoimella

Toisin sanoen ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset koostuvat ajoneuvon tai junan kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä kerrottuna CO<sub>2</sub>-ekvivalentilla ulkoisten kustannusten kertoimella. CE Delft suosittelee ilmastokustannusten ilmoittamista euroissa per polttoainelitra (€/l).

Jotta kohdan 4 laskenta voidaan suorittaa, ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset tulee arvottaa. Arvottaminen voidaan tehdä esimerkiksi haittakustannusmenetelmän

<sup>5</sup> GWP-indeksit (Global Warming Potential) kuvaavat muiden kasvihuonekaasujen suhteellista ilmasto-vaikutusta, kun hiilidioksidin vaikutus on 1. Tällöin esimerkiksi CH<sub>4</sub>:n GWP on 23 ja N<sub>2</sub>O:n GWP on 296.

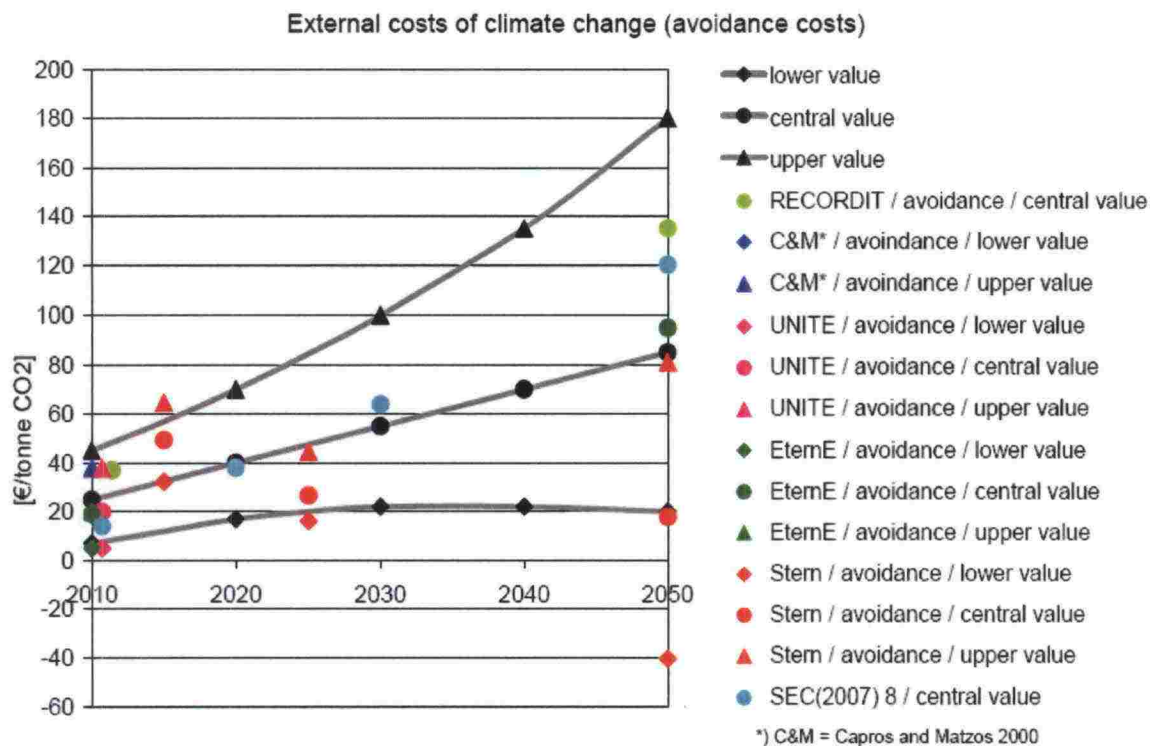
avulla. Haittakustannusmenetelmää käyttävien tutkimusten tulokset ilmaston muutoksen kustannuksista vaihtelevat arvottamisiongelmissä johtuen: esimerkiksi haittoihin liittyvän epävarmuuden, haittojen peruuttamattomuuden ja sukupolvien sisäisen ja välisen tasa-arvon arvottaminen vaihtelee tutkimuksissa. Epävarmuuksien takia herkkyyksianalyysin suorittaminen on erityisen tärkeää. Kuvassa 2 on esitetty haittakustannusmenetelmää käyttävien tutkimusten tuloksia ilmastonmuutoksen ulkoisista kustannuksista. Tutkimusten mukaan hiilidioksiditonin ulkoinen kustannus olisi vuonna 2010 keskimäärin 20–30 euroa. CE Delftin suositukset on merkitty harmailla käyrillä. Vertaamalla keskiarvokäyrää tutkimustuloksiin nähdään, että CE Delft suosittelee hieman suurempia ilmastonmuutostkustannuksia kuin muut tutkimukset.



Kuva 2. Haittakustannusmenetelmällä suoritettujen arvottamistutkimusten suositukset ilmastonmuutoksen ulkoisiksi kustannuksiksi. (CE Delft 2007, 263.)

Haittakustannusmenetelmään liittyvistä epävarmuuksista johtuen ilmastonmuutosta arvioidaan myös ehkäisykustannusmenetelmällä (eli vältettyjen kustannusten menetelmällä). Menetelmässä selvitetään edullisin tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöt halutulle tasolle. Muun muassa UNITE- ja ExternE-tutkimuksissa suositellaan käytettäväksi ehkäisykustannusmenetelmää.<sup>6</sup> Myös Sternin raportissa käytettiin ehkäisykustannusmenetelmää. Yksi ehkäisykustannusmenetelmän heikkous on tulosten vahva sidonnaisuus poliittisiin päätöksiin. Kuvassa 3 on esitetty ehkäisykustannusmenetelmää käyttävien tutkimusten tuloksia ilmastonmuutoksen ulkoisista kustannuksista. Kuvatekstin ”EternE”-tutkimuksella tarkoitetaan ExternE-tutkimusta.

<sup>6</sup> UNITE- eli UNIFICATION of accounts and marginal costs for Transport Efficiency -projektin tavoite oli tuottaa tutkimustietoa liikenteen ulkoisista kustannuksista. Projekti oli käynnissä vuosina 2000–2003. Internet-sivut löytyvät osoitteesta <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/>.



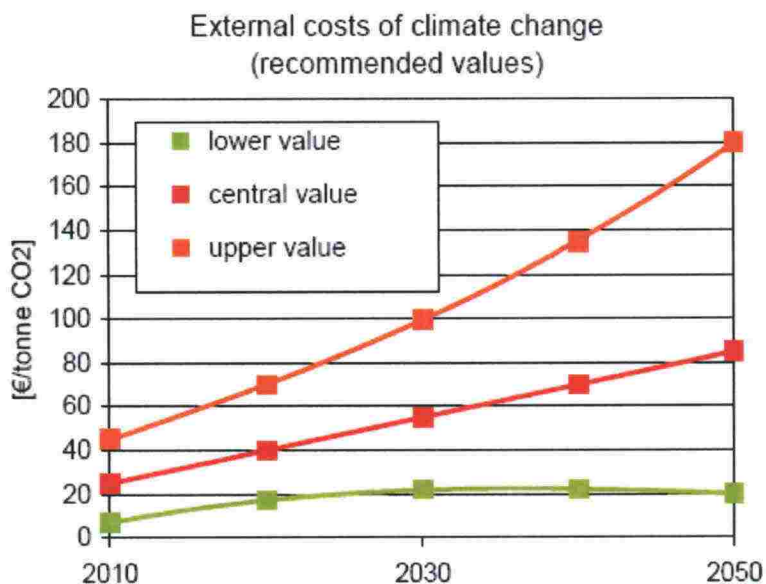
Kuva 3. Ehkäisykustannusmenetelmällä suoritettujen arvottomistutkimusten suosittukset ilmastonmuutoksen ulkoisiksi kustannuksiksi. (CE Delft 2007, 264.)

CE Delft (2007) suosittelee taulukossa 3 ja kuvassa 4 esitettyjä ulkoisia kustannuksia Euroopassa tuotetulle hiilidioksiditonnille. Taulukon kustannukset kuvaavat keskimääräisiä ulkoisia kustannuksia Euroopan maissa. Vuonna 2010 ulkoisten kustannusten arvioidaan olevan noin 25 euroa, ja vuonna 2050 noin 85 euroa. Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset voivat vaihdella maittain esimerkiksi kansallisten vähennystavoitteiden, vähennystavoitteiden sektoreiden välisen jaon ja maiden välisten erisuuruisten välttämiskustannusten takia.

Taulukko 3. Hiilidioksiditonnin ulkoiset kustannukset. (CE Delft 2007, 80.)

Recommended values for the external costs of climate change (in €/tonne CO<sub>2</sub>), expressed as single values for a central estimate and lower and upper values

Year of application	Central values (€/tonne CO <sub>2</sub> )		
	Lower value	Central value	Upper value
2010	7	25	45
2020	17	40	70
2030	22	55	100
2040	22	70	135
2050	20	85	180



Kuva 4. CE Delftin suosittelemat ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset. (CE Delft 2007, 265.)

Ilmastonmuutoksen ulkoisten kustannusten arviointiin CE Delft suosittelee käyttämään ehkäisykustannusmenetelmää lyhyellä aikavälillä ja haittakustannusmenetelmää pitkällä aikavälillä. Suositusta perustellaan sillä, että sille ajanjaksolle, jolle päästövähennystavoitteet on jo asetettu, voidaan laskea arvio tarvittavien toimenpiteiden kustannuksista. Sen sijaan pitkälle aikavälille ei ole päästövähennystavoitteita, joten arvottamiseen tulee käyttää haittakustannusmenetelmää. Kun pitkän aikavälin tavoitteet saadaan asetettua, voidaan käyttää myös ehkäisykustannusmenetelmää.

CE Delft on hyödyntänyt suosituksissaan vuosien 2010–2020 kohdalla ehkäisykustannusmenetelmää käyttäviä tutkimuksia. Vuosien 2010 ja 2020 ilmastonmuutokustannukset on otettu SEC-tutkimuksesta. Vuoden 2010 keskimääräinen ulkoiskustannus (central value) on hieman SEC-tutkimuksen kustannusta suurempi. Tämä heijastaa liikennesektorin korkeampia ehkäisykustannuksia muihin sektoreihin verrattuna. (CE Delft 2007, 265.)

Vuosien 2030–2050 ulkoiset kustannukset perustuvat haittakustannusmenetelmää käyttäviin tutkimuksiin.<sup>7</sup> CE Delftin suosittelemat maksimi- ja minimikustannukset ovat linjassa taustamateriaalina käytettyjen tutkimusten kanssa. Sen sijaan keskimääräiskustannukset näyttävät olevan korkeammat kuin muissa kustannuksissa. Trendi tuoreimmissa tutkimuksissa osoittaa, että haittakustannukset saattavat olla korkeampia kuin aiemmin on arvioitu. (CE Delft 2007, 81.)

Taulukossa 3 esitetyt ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset on taulukossa 4 muunnettu muotoon euroa per polttoainelitra (€/l). Keskimääräisluvussa käytetty hiilidioksiditonin hinta on 25 €. Luvut ovat keskimääräisiä Euroopan alueen kustannuksia, ja niissä on huomioitu koko polttoaineketju öljylähteeltä ajoneuvoon. EU:ssa yleisesti käytetty polttoainevero on 0,4 €/l, mikä on huomattavasti korkeampi kuin taulukossa esitetyt arvot vuodelle 2010. Esimerkiksi bensen ilmastonmuutos-

<sup>7</sup> Katso tarkemmin CE Delft 2007, 261–267.

kustannus olisi noin seitsemän senttiä litraa kohden. Nykyiset verot vaikuttavat liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin, mutta mikäli liikenteen päästöille asetetaan lisävähennystavoitteita, myös alla olevassa taulukossa esitetyt ulkoiset kustannukset tulee sisäistää verotuksen tai muiden ohjauskeinojen avulla.

*Taulukko 4. Tieliikenteen ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset polttoainelitraa kohden. (CE Delft 2007, 83.)*

Climate change costs in €/litre or €/m<sup>3</sup> for different fuels used in road transport based on external cost values from Table 26 and well-to-wheel CO<sub>2</sub> emissions per litre derived from Concawe, 2007

		Petrol	Diesel	LPG	CNG EU mix	CNG 4,000 km
		(€/l)	(€/l)	(€/l)	(€/m <sup>3</sup> )	(€/m <sup>3</sup> )
2010	Lower	0,019	0,022	0,012	0,014	0,016
	Central	0,069	0,078	0,044	0,052	0,056
	Upper	0,124	0,140	0,078	0,093	0,101
2020	Lower	0,047	0,053	0,030	0,035	0,038
	Central	0,111	0,125	0,070	0,083	0,090
	Upper	0,194	0,218	0,122	0,145	0,157
2030	Lower	0,061	0,069	0,038	0,045	0,049
	Central	0,152	0,171	0,096	0,114	0,124
	Upper	0,277	0,311	0,174	0,207	0,225
2040	Lower	0,061	0,069	0,038	0,045	0,049
	Central	0,194	0,218	0,122	0,145	0,157
	Upper	0,373	0,420	0,235	0,279	0,303
2050	Lower	0,055	0,062	0,035	0,041	0,045
	Central	0,235	0,265	0,148	0,176	0,191
	Upper	0,498	0,561	0,314	0,372	0,404

Polttoaineliträn ilmastonmuutuskustannukset voidaan muuttaa ajoneuvo-/junakilometreihin. CE Delftin raportissa on hyödynnetty TREMOVE-tutkimuksen tuloksia ja laskettu ilmastonmuutuskustannukset rautatie-, vesi- ja lentoliikenteelle.<sup>8</sup> Taulukossa 5 on esitetty ulkoiset kustannukset junakilometriä kohden. Sähkövetoisessa junaliikenteessä on huomioitu energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt. Laskennassa on käytetty pohjatietoina Saksan päästökertoimia, mutta saatuja tuloksia voidaan käyttää Euroopan keskimääräiskustannuksina. (CE Delft 2007, 83.)

Taulukon mukaan sähkövetoisen henkilöjunaliikenteen ilmastonmuutokset ovat 11 senttiä junakilometrilta. Sähkömoottorijunaliikenteessä ilmastonmuutuskustannukset ovat 17 senttiä junakilometrilta. Taulukon mukaan dieselvetoisen henkilöjunaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset (10,3 €/km) olisivat vähemmän kuin sähkömoottorijunaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset. Suomessa tilanne on päinvastainen, ja sähkömoottorijunaliikenteen ulkoiset ilmastonmuutuskustannukset ovat alhaisemmat kuin dieseljunaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset. Ilmastonmuutuskustannukset voivat vaihdella maittain erityisesti sähkövetoisessa junaliikenteessä, sillä maiden energiantuotantorakenteet vaihtelevat. Sen sijaan populaation tiheydellä ei ole vaikutusta ilmastonmuutuskustannuksiin, sillä aiheutuvat kustannukset ovat globaaleja. Taulukossa esitetty vaihteluväli on saatu erilaisia hiilidioksidihintoja käyttämällä.

<sup>8</sup> TREMOVE tutkii liikenne- ja ympäristöpolitiikan vaikutuksia liikennesektoriin eri Euroopan maissa. TREMOVE-projektin Internet-sivut: <http://www.tremove.org/>

Taulukko 5. Saksan junaliikenteen ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset junakilometriä kohden. (CE Delft 2007, 85.)

Climate change costs in €/train-km for **passenger and freight trains**. Central value and bandwidths are derived by using cost factors for 2010 as illustrated in Table 26

			Metropolitan			Other Urban			Non Urban		
			indirect emis.	direct emis.	total	indirect emis.	direct emis.	total	indirect emis.	direct emis.	total
			€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km	€/train-km
Passenger	Electric	Locomotive	11 (3.1-19.8)	0 (0-0)	11 (3.1-19.8)	11 (3.1-19.8)	0 (0-0)	11 (3.1-19.8)	11 (3.1-19.8)	0 (0-0)	11 (3.1-19.8)
		Railcar	17.1 (4.8-30.8)	0 (0-0)	17.1 (4.8-30.8)	17.2 (4.8-30.9)	0 (0-0)	17.2 (4.8-30.9)			
		High Speed Train							20.6 (5.8-37.1)	0 (0-0)	20.6 (5.8-37.1)
	Diesel	Locomotive	1.7 (0.5-3)	8.6 (2.4-15.5)	10.3 (2.9-18.5)	1.7 (0.5-3)	8.6 (2.4-15.5)	10.3 (2.9-18.5)	1.7 (0.5-3)	8.6 (2.4-15.5)	10.3 (2.9-18.5)
		Railcar	2.2 (0.6-4)	11.3 (3.2-20.4)	13.6 (3.8-24.4)	2.2 (0.6-4)	11.4 (3.2-20.6)	13.7 (3.8-24.6)			
	Freight	Electric	Locomotive	30.7 (8.6-55.2)	0 (0-0)	30.7 (8.6-55.2)	30.7 (8.6-55.2)	0 (0-0)	30.7 (8.6-55.2)	30.7 (8.6-55.2)	0 (0-0)
Diesel		Locomotive	5.6 (1.6-10.1)	29 (8.1-52.1)	34.6 (9.7-62.2)	5.6 (1.6-10.1)	28.9 (8.1-52.1)	34.6 (9.7-62.2)	5.6 (1.6-10.1)	28.9 (8.1-52.1)	34.6 (9.7-62.2)

### Suomen liikenteen ilmastonmuutuskustannukset

Koska hiilidioksiditonin hinnan voidaan ajatella olevan globaalisti sama, päästöt ovat samanarvoisia joka maassa. Näin ollen Suomen liikenteen ilmastonmuutuskustannusten voidaan ajatella vastaavan suurin piirtein edellä esitettyjä Saksan ilmastonmuutuskustannuksia. Kustannuserot maiden välillä johtuvat eroista päästömäärissä; ilmastonmuutuskustannukset ovat suurempia maissa, joissa päästöt ovat teknisistä tai liikenteellisistä syistä korkeampia.

Liitteessä 3 on laskettu ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset Suomen liikenteelle. Laskelmien pohjalla on käytetty CE Delftin hiilidioksiditonnia koskevia suosituksia ja LIPASTO-päästöjenlaskentajärjestelmän päästötietoja.<sup>9</sup> Laskelmien päätulokset ja niistä vedettävät johtopäätökset on esitetty alla; ensimmäisenä on esitetty yhteenveto henkilöliikenteen ilmastonmuutuskustannuksista, ja tämän jälkeen vastaava kooste tavara-liikenteestä.

<sup>9</sup> LIPASTO on VTT:ssä toteutettu Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Lisätietoja: [www.lipasto.vtt.fi](http://www.lipasto.vtt.fi)

### Ilmastonmuutuskustannusten laskeminen (liite 3)

- Päästötiedot LIPASTOsta
- Hiilidioksidin hinta CE Delftin (2007) suosittelu 25 €/t
- Kustannukset sekä ajoneuvoa/junaa että henkilö-/tonnikilometriä kohden
- Vertailu Suomen kustannusten ja CE Delftin Saksalle laskemien liikenteen ilmastonmuutuskustannusten välillä
- Suomen laskelmissa on oletettu maantieajossa 2,1 henkilöä/ auto, kaupunkiajossa 1,2 henkilöä/ auto ja keskimäärin 1,8 henkilöä / auto
- Junaliikenteen määrissä on hyödynnetty RHK:n ja VR:n tietoja
- LIPASTOn ja CE Delftin päästölaskelmien oletuksissa on eroja  
→ eroja myös ilmastonmuutuskustannuksissa

## **Henkilöliikenne**

### Tieliikenne

Liitteen 3 taulukoista 55–67 nähdään, että tieliikenteen ilmastonmuutuskustannukset ovat Suomessa noin 0,1–0,4 senttiä henkilökilometriä kohden (€/hkm). Kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa Suomessa ja Saksassa, sillä ajoneuvoteknologia on samankaltainen kummassakin maassa. CE Delftin laskemat tieliikenteen ilmastonmuutuskustannukset ovat pääsääntöisesti hieman LIPASTOn pohjalta laskettuja ilmastonmuutuskustannuksia suurempia. Tämä johtuu vaihteluista kilometrikohtaisissa päästöissä, sillä hiilidioksiditonin hinta on kummassakin tapauksessa sama (25 €/t). Ajoneuvoliikenteessä päästöerot voivat johtua esimerkiksi eroista liikenteen joutuisuudessa. Suomessa pysähtymismäärät voivat olla vähäruuhkaisuuden vuoksi Saksaa pienempiä, jolloin päästömäärä kilometriä kohden on vastaavasti pienempi.

Tieliikenteen laskelmista nähdään, etteivät EURO-luokitukset vaikuta ilmastonmuutuskustannuksiin.<sup>10</sup> Myöskään uudemmat EURO-luokat eivät tuo tähän poikkeusta.

### Rautatieliikenne

Liitteen 3 taulukossa 64 on esitetty henkilöjunaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset. Suomessa junaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset ovat arviolta 0,04–0,17 senttiä henkilökilometrilta (€/hkm). Laskelmista nähdään, että ilmastonmuutuskustannukset ovat Suomessa pienempiä kuin Saksassa. Ero korostuu sähkövetoisessa junaliikenteessä. Vaihtelu sähköjunaliikenteen ulkoisissa kustannuksissa johtuu muun muassa Suomen ja Saksan erilaisista sähköntuotantorakenteista; Saksassa fossiilisten polttoaineiden osuus sähköntuotannosta on huomattavasti suurempi kuin Suomessa.

LIPASTOn päästötietojen pohjalta lasketut dieselvetoisen henkilöjunaliikenteen ulkoiset kustannukset ovat pienemmät kuin TREMOVEn pohjalta lasketut Saksan

<sup>10</sup> EU on asettanut ajoneuvoille päästörajoituksia, jotka on jaettu EURO-luokkiin ajoneuvon tuotantovuoden mukaan. Uudet EURO-5-luokan päästörajoitukset tulevat voimaan syyskuussa 2009.



ilmastonmuutuskustannukset. Suomen junakilometrikohtaisia kustannuksia pienentää kiskobussien käyttö, sillä ne ovat perinteisiä dieseljunia vähäpäästöisempiä.

### Laivaliikenne

Laivaliikenteen henkilökilometriä kohden olevat ilmastonmuutuskustannukset ovat huomattavasti korkeammat kuin tie- tai rautatieliikenteen ilmastonmuutuskustannukset (liite 3, taulukko 65). Laivasta riippuen henkilökilometrikohtaiset kustannukset ovat noin 0,8–1,5 senttiä (€/hkm). Päästökustannusvertailua Saksan ja Suomen välillä ei ole tehty, sillä CE Delft ei ole raportissaan laskenut kustannuksia matkustajalaivaliikenteelle.

### Lentoliikenne

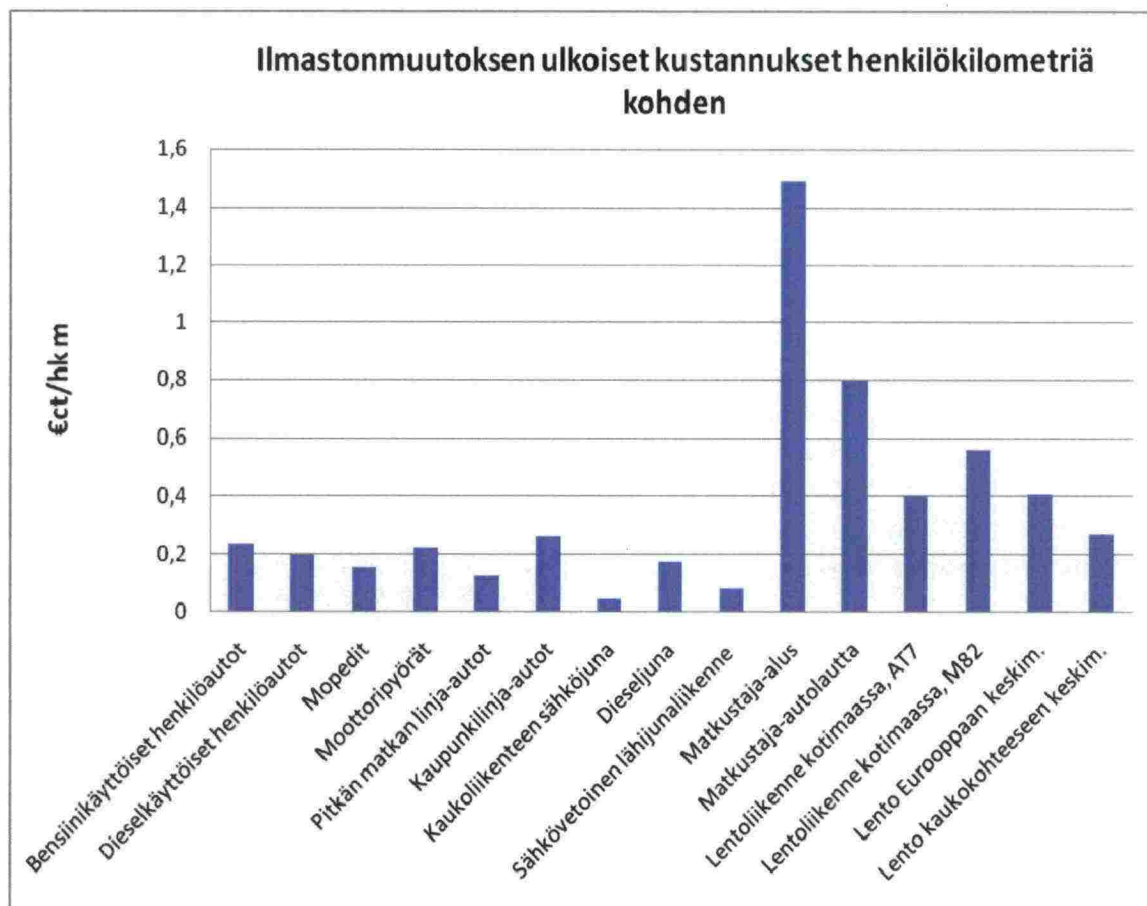
Henkilölentoliikenteen ilmastonmuutuskustannukset on esitetty liitteen 3 taulukoissa 66 ja 67. Lentomatkasta ja konetyypistä riippuen ilmastonmuutuskustannukset ovat noin 0,3–0,6 senttiä henkilökilometriltä. Hiilidioksiditonin hinnan on oletettu olevan sama kuin muissakin liikennemuodoissa, eli 25 €/CO<sub>2</sub>-tonni. Yläilmakehässä päästettyjen CO<sub>2</sub>-päästöjen vaikutus ilmastonmuutokseen muihin CO<sub>2</sub>-päästöihin verrattuna on kuitenkin epävarma, eikä 25 €/t ole välttämättä oikea hinta lentoliikenteessä. Hiilidioksidin lisäksi lentoliikenteestä syntyy muita päästöjä, joiden yhteisvaikutus ilmastonmuutokseen on epäselvä. IPCC on esittänyt, että lentoliikenteen hiilidioksidipäästöt tulisi kertoa yli kahden suuruisella kertoimella, jotta lentoliikenteen ilmastonmuutosvaikutusta voitaisiin verrata muiden liikennemuotojen CO<sub>2</sub>-päästöihin (Grid-Arendal, 2001).

Lentoliikenteen ilmastonmuutuskustannukset on laskettu kahdella tavalla: LIPASTON ja TREMOVE:n päästötietojen pohjalta. TREMOVE antaa samat päästötiedot Suomelle ja Saksalle: toisin sanoen se olettaa suomalaisella ja saksalaisella kalustolla olevan keskimäärin samat päästöt henkilökilometriä kohden. Taulukoita 66 ja 67 vertaamalla nähdään, että ilmastonmuutuskustannukset ovat samaa suuruusluokkaa sekä LIPASTON että TREMOVE:n päästötietojen pohjalta laskettuna.

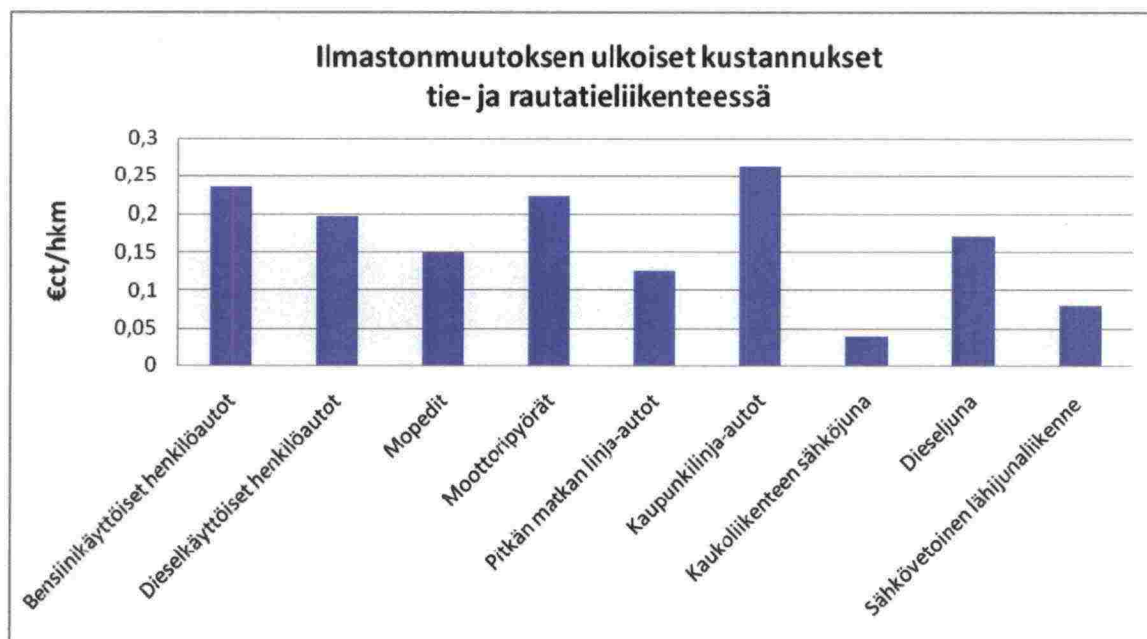
Useat lentoyritykset ja ympäristöjärjestöt ovat tehneet päästölaskureita, joilla voidaan laskea lentomatkoihin aiheutuneita CO<sub>2</sub>-päästöjä. Taulukossa 68 on esitetty tällaisten laskureiden antamia päästömääriä Helsinki–Oulu-välisellä yhdensuuntaisella lennolla. Päästöt on muutettu euroiksi käyttämällä 25 euron hintaa hiilidioksiditonin. Finnairin laskukone antaa alhaisimmat CO<sub>2</sub>-päästöt, 55 kiloa henkeä kohden. SAS:n mukaan yhdelle henkilölle lasketut CO<sub>2</sub>-päästöt ovat konetyypistä riippuen 72–113 kiloa.

### Henkilöliikenteen ilmastonmuutuskustannusten vertailua

Edellä esitetyt henkilöliikenteen ilmastonmuutuskustannukset on koottu kuviin 5 ja 6. Kuvasta 5 nähdään, että henkilökilometriä kohden suurimmat ilmastonmuutuskustannukset aiheuttaa laivaliikenne. Myös lentoliikenteen henkilökilometrikohtaiset kustannukset ovat merkittävät. Sähkövetoisella pitkän matkan junaliikenteellä ja sähkövetoisella lähijunaliikenteellä on selvästi pienimmät ilmastonmuutuskustannukset.



Kuva 5. Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset henkilökilometriä kohden Suomessa.



Kuva 6. Ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset tie- ja rautatieliikenteessä Suomessa.

## Tavaraliikenne

### Tieliikenne

Liitteen 3 taulukoissa 69–74 on esitetty tavaraliikenteen ilmastonmuutoskustannukset kilometriä ja tonnikilometriä kohden. Tavaraliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat maantieajossa arviolta 0,1–0,2 senttiä tonnikilometriä kohden (€/tkm).

Samoin kuin henkilöliikenteessä, erot LIPASTOn pohjalta lasketuissa kustannuksissa ja CE Delftin Saksalle laskemissa ilmastonmuutoskustannuksissa johtuvat eroista kilometrikohtaisissa päästöissä. Tieliikenteessä tämä voi johtua esimerkiksi erilaisista lähtöoletuksista, kuten esimerkiksi ajoneuvojen täyttöasteesta. Tieliikenteen laskelmista (taulukot 69–71) nähdään, ettei EURO-luokitus vaikuta ilmastonmuutoskustannuksiin.

Toisin kuin Suomelle tehdyissä laskelmissa CE Delftin raportissa ilmastonmuutoskustannukset on ilmoitettu vain yhdelle täyttöasteelle. CE Delftin ilmastonmuutoskustannukset vastaavat parhaiten Suomen tyhjänä ajavan ajoneuvon ilmastonmuutoskustannuksia.

### Rautatieliikenne

Liitteen 3 taulukossa 72 on esitetty rautatieliikenteen ilmastonmuutoskustannukset tavaraliikenteen osalta. Sähkövetöisen tavarajunaliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat arviolta 0,02 senttiä ja dieseljunaliikenteen 0,1 senttiä tonnikilomeriltä (€/tkm).

Sähkövetöisen junaliikenteen ilmastonmuutosvaikutukset ovat Suomessa keskimäärin pienempiä kuin Saksassa, sillä sähköntuotannostamme syntyy keskimäärin vähemmän kasvihuonekaasuja. Dieseljunaliikenteessä ilmastonmuutoskustannukset ovat suunnilleen samansuuruisia kummassakin maassa, ja päästöerot johtuvat tutkimuksissa tehdyistä olettamuksista (junapainot ym.).

### Laivaliikenne

Merellä syntyvät tavaraliikenteen ilmastonmuutoskustannukset on esitetty liitteen 3 taulukossa 73. Kustannukset vaihtelevat alustyyppistä riippuen 0,04–0,08 sentin välillä tonnikilometriä kohden.

CE Delftin raportin mukaan Saksan sisävesiliikenteen laivakilometrikohdaiset ilmastonmuutoskustannukset ovat laivatyyppistä riippuen 8–114 senttiä laivakilometriä kohden.<sup>11</sup> Näitä ilmastonmuutoskustannuksia ei voida verrata LIPASTOn pohjalta laskettuihin kustannuksiin, sillä Suomen kustannukset on laskettu meriliikenteelle kun taas CE Delftin laskelmat ovat sisävesiliikenteelle. Myös alusten jaottelutapa on erilainen. Lisäksi CE Delft ilmoittaa kustannukset vain laivakilometreissä, kun taas Suomelle lasketut ilmastonmuutoskustannukset ovat tonnikilometrikohdaisia.

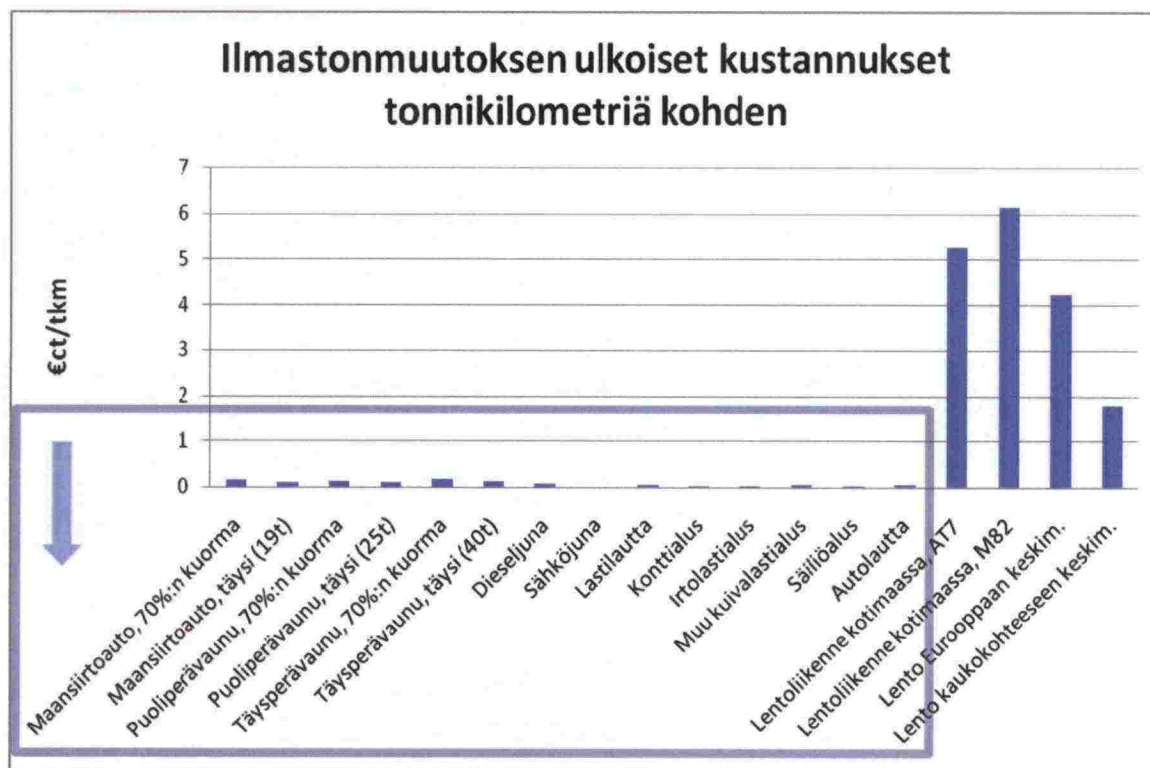
<sup>11</sup> Ks. CE Delft 2007, sivu 85.

## Lentoliikenne

Myös lentoliikenteen tavaraliikenteestä syntyvät ilmastonmuutuskustannukset on laskettu LIPASTOn päästötietojen pohjalta (taulukko 74). Vastaavaa kustannuslaskelmaa ei ole tehty CE Delftin raportissa. Rahtilentoliikenteen tonnikipometrikohtaiset ilmastonmuutuskustannukset ovat huomattavasti muita tavaraliikenteen kustannuksia korkeammat, noin 1,8–6,2 senttiä (€/tkm).

## Tavaraliikenteen ilmastonmuutuskustannusten vertailua

Tavaraliikenteen ilmastonmuutuskustannuksia on vertailtu kuvissa 7 ja 8. Kuvasta 7 nähdään, että suurimmat ilmastonmuutuskustannukset syntyvät lentoliikenteessä. Sen sijaan muiden liikennemuotojen tonnikipometrikohtaiset kustannukset ovat keskenään samaa suuruusluokkaa.



Kuva 7. Liikenteen ilmastonmuutuskustannukset tonnikilometriä kohden.

Koska lentoliikenteen ilmastonmuutoksen ulkoiset kustannukset ovat tavaraliikenteessä huomattavasti korkeammat kuin muiden liikennemuotojen ilmastonmuutuskustannukset, kuvasta 7 on vaikea hahmottaa muiden liikennemuotojen välisiä eroja. Kuvassa 8 onkin vertailtu liikenteen ilmastonmuutuskustannuksia pois lukien lentoliikenne. Kuvasta nähdään, että sähkövetoisella tavarajunaliikenteellä on matalimmat ilmastonmuutuskustannukset. Tavarajunaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset ovat matalammat kuin tieliikenteen ilmastonmuutuskustannukset. Laivaliikenteen ilmastonmuutuskustannukset asettuvat samalle tasolle rautatieliikenteen kanssa.



Kuva 8. Liikenteen (pl. lentoliikenne) ilmastonmuutostekijöiden kustannukset tonnikilometriä kohden.

### 3.1.2 Ilmastonmuutos hankearvioinneissa

Suomessa liikenne- ja viestintäministeriö on asettanut ohjeen liikenneväylähankkeiden arvioinnissa käytettävistä ulkoisten kustannusten yksikköarvoista. Hiilidioksidiekvivalentin päästötonnin kustannusten on arvioitu olevan 32 € vuoden 2000 hintatasossa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2003, 63–65.) Vuoden 2005 hintatasossa CO<sub>2</sub>-tonnin yksikköarvo on 33,8 € (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007, 38). Ohjearvoa käytetään Ratahallintokeskuksessa esimerkiksi hankearvioinneissa (RHK 2004, 41). Liikenne- ja viestintäministeriön asettama ohjearvo on korkeampi kuin CE Delftin vuodelle 2010 suositteleva arvo (25 €).

Vaikka LVM:n ohjearvo on CE Delftin arviota suurempi, ohjearvo on linjassa esimerkiksi UIC:n arvion kanssa. UIC arvioi ilmastonmuutoksen ulkoisten kustannusten olevan 20–140 € hiilidioksiditonnia kohden (INFRAS/IWW 2004, 101). Ilmastonmuutoksen ulkoisten kustannusten voitaisiin ajatella olevan n. 15–30 euroa, mikäli päästökaupassa muodostuvan hiilidioksiditonnin hinnan ajateltaisiin kuvaavan ilmastonmuutoksen ulkoisia kustannuksia. Taulukossa 6 on esitetty arvioita hiilidioksiditonnin ulkoisista kustannuksista.

Taulukko 6. Hiilidioksiditonnin ulkoiset kustannukset.

Lähde	€/ CO <sub>2</sub> -tonni
CE Delft (2007)	25
INFRAS/IWW (2004)	20–140
LVM (2003)	32
LVM (2007)	33,8
Päästöluvan hinta	15–30

### 3.1.3 Johtopäätökset

Ilmastonmuutoksen ulkoisten kustannusten voidaan sanoa olevan merkittävät, vaikka varmaa tietoa tarkoista kustannuksista ei vielä olekaan. Olemassa olevista kustannusarvioista ei myöskään olla täysin yksimielisiä, mutta CE Delftinkin suosittama 25 € hinta hiilidioksiditonnille vastaa kohtuullisen hyvin nykyisiä tutkimustuloksia.

Ilmastonmuutokuskustannukset tarkentuvat tulevaisuudessa, mutta toimia ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi tarvitaan jo nyt. Komissio on asettanut Suomelle tavoitteeksi vähentää liikenteen hiilidioksidipäästöjä 16 % vuosina 2008–2020 vuoden 2005 tasoon verrattuna. On mahdollista, että tavoitteita kiristetään entisestään tulevaisuudessa. Lisäksi europarlamentti on asettanut tavoitteen, jonka mukaan 10 % liikenteen energiasta tulee olla vuonna 2020 uusiutuvista energialähteistä.

LVM:n mukaan tavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että uusiutuvien energialähteiden käytön lisäksi liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjä vähennetään 3 miljoonaa tonnia vuoden 2020 perustasosta. Näistä päästöistä 1,7 miljoonaa tonnia pitäisi LVM:n mukaan vähentää liikenteen hinnoittelun avulla. Tehokkaimpana keinona liikenne- ja viestintäministeriö pitää henkilöautoliikenteelle asetettavaa kilometrimaksua. Esimerkiksi keskimäärin 1,4 miljoonan vuosittainen CO<sub>2</sub>-tonnin päästövähennys voitaisiin saavuttaa asettamalla kilometrimaksu keskimäärin 13,2 senttiin. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2008.)

CE Delftin laskemia ilmastonmuutoksen ulkoisia kustannuksia voidaan käyttää suuntaa antavina Suomenkin liikenteelle. Tuloksista nähdään, että junaliikenteen ilmastonmuutokuskustannukset ovat selvästi alhaisemmat kuin esimerkiksi tieliikenteen. Tieliikenteen tuloksista huomataan, ettei ajoneuvokannan uusiutumisella ole juuri ollut vaikutusta ilmastonmuutokuskustannuksiin; ilmastonmuutokuskustannukset ovat suurin piirtein samat EURO-luokasta riippumatta. Sähköisen junaliikenteen ilmastonmuutosvaikutukset ovat riippuvaisia siitä, miten sähkö on tuotettu. CE Delft käyttää esimerkkinä Saksaa, jossa energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöt ovat suuremmat kuin Suomessa.

## 3.2 Melu

### 3.2.1 Melun ulkoiset kustannukset

Melusta aiheutuvat ulkoiset kustannukset jaotellaan terveystaloudellisiin sekä melun häiritsevyydestä johtuviin kustannuksiin. Lisäksi lentoliikenteen melusta aiheutuu lentokenttien alueella kustannuksia, kun maankäyttöä joudutaan rajoittamaan. Toisin kuin monien muiden haittojen kohdalla, melun rajahaitat ovat laskevia. Toisin sanoen

liikenteen kasvaessa lisäliikenteestä koettu haitta pienenee. Alenevien rajahaittojen takia melun ulkoisten kustannusten täsmällinen määrittely ja mittaaminen ovat erityisen tärkeitä. Esimerkiksi melurajan nostaminen 50 dB(A):sta 55 dB(A):iin voi vähentää autoliikenteen melusta kärsivien määrää 50 %:lla. Useissa tutkimuksissa on havaittu raideliikenteen olevan vähemmän häiritsevää kuin muu liikenne. Tämän vuoksi raide-liikenteen meluraja on useissa tutkimuksissa 5 dB(A) suurempi kuin muissa liikenne-muodoissa.

Melun ulkoisiin kustannuksiin vaikuttavat mm. vuorokaudenaika, melusta kärsivien tiheys melun vaikutusalueella ja vallitsevat melutasot. Melun ulkoisia kustannuksia arvioidaan sekä ylhäältä-alas- että alhaalta-ylös-lähestymistavoilla. Ylhäältä-alas-lähestymistavassa kysytään kuluttajien maksuhalukkuutta melun vähenemisestä, ja kerrotaan saatu tulos melulle altistuvien määrällä. Alhaalta-ylös-lähestymistavassa, eli vaikutuspolkumenetelmässä verrataan liikennevirran aiheuttamia melun ulkoisia kustannuksia yhden lisäauton sisältävän liikennevirran ulkoisiin kustannuksiin (raja-kustannukset). Ylhäältä-alas-menetelmällä ei sen sijaan saada rajakustannuksia, vaan tulokset ovat keskimääräiskustannuksia.

Valittu menetelmä vaikuttaa merkittävästi melun ulkoisten kustannusten arvioon. Ylhäältä-alas-menetelmä antaa melulle huomattavasti suuremmat ulkoiset kustannukset kuin alhaalta-ylös-menetelmä, sillä keskimääräiskustannukset ovat alenevien rajakustannusten tapauksessa aina korkeampia kuin rajakustannukset. Teoriassa alhaalta-ylös-menetelmä on parempi, sillä se ottaa huomioon paikalliset olosuhteet toisin kuin ylhäältä-alas-menetelmä. Käytännössä melun rajakustannusten hyödyllisyys ulkoisten kustannusten sisällyttämisessä voidaan kuitenkin kyseenalaistaa: suurissa liikenne-määrissä lisäauton aiheuttama rajakustannus on lähes nolla. Vastaavasti maaseudulla yhden auton aiheuttama rajahaitta on huomattavan suuri. (CE Delft 2007, 222–223.)

Melun ulkoiset kustannukset koostuvat melupäästöistä kerrottuna melulle altistuvien määrällä ja haitalla desibeliä kohden. Melun häiritsevyyden kustannusten (WTP) arvioidaan olevan 0,09–0,11 % asukkaan vuosittaisista tuloista yhtä desibeliä kohden (taulukko 7). Myös melun aiheuttamista terveystaloudellista ollaan varsin yksimielisiä. CE Delftin suosittamat ohjearvot melusta aiheutuville terveydellisille haitoille on esitetty taulukossa 8. CE Delftin suositukset perustuvat UNITE, RECORDIT, ja UBA -tutkimuksille (CE Delft 2007, 229).

Taulukko 7. Melun aiheuttamat ei-terveydelliset haitat eri tutkimusten mukaan.<sup>12</sup>  
(CE Delft 2007, 226.)

Comparison of mean WTP-values per person per year, all estimated by the hedonic pricing method

Study	Mean WTP per person per year
UNITE, 2003	NSDI = 0,9 per dB
RECORDIT, 2001	NSDI = 0,9 per dB
TRL, 2005	NSDI = 0,61 per dB
INFRAS/IWW, 2004a	0.11% per capita income
OECD/INFRAS/Herry, 2003	0.11 % per capita income
ECMT, 1998	0.09% per capita income
CE Delft, 2004b	0.11% per capita income
ITS, 2001	NSDI = 0,2 - 0,67 per dB
Hvid, 2004	1.20% – 1.64% of real estate price per dB
Kristensen et al., 2004	1.20% – 1.64% of real estate price per dB
SAEFL, 2003	1% of real estate price per dB

Taulukko 8. CE Delftin suosittelemat melun aiheuttamat terveydelliset haitat.  
(CE Delft 2007, 66.)

Monetary values for impacts due to noise (€<sub>2000</sub>)

Myocardial infarction (non-fatal, 8 days in hospital, 24 days at home)	
Medical costs	4,700
Absentee costs	2,800
WTP	15,000
<b>Total per case</b>	<b>22,500</b>
Angina Pectoris (severe, non-fatal, 5 days in hospital, 15 days at home)	
Medical costs	2,950
Absentee costs	1,750
WTP	9,400
<b>Total per case</b>	<b>14,100</b>
Hypertension (hospital treatment, 6 days in hospital, 12 days at home)	
Medical costs	1,800
Absentee costs	1,575
WTP	550
<b>Total per case</b>	<b>3,925</b>
Medical costs due to sleep disturbances (per year)	200

Note: Corrected for GDP per capita development by CE Delft (GDP per capita in PPP consumer price index from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).

Source: UNITE (2003b).

Jotta voidaan puhua melun ulkoisista kustannuksista, edellä esitetyt meluhaitat tulee yhdistää vallitsevaan liikennetilanteeseen. CE Delft suosittelee käyttämään HEATCON (2006) tutkimustuloksia, kun halutaan tarkastella melun ulkoisia kustannuksia per henkilö per dB(A) (€/hlö/dB(A)). CE Delftin IMPACT-raportissa on annettu HEATCON kustannusarviot vain Saksalle. Taulukossa 9 on esitetty vastaavat

<sup>12</sup> NSDI = Noise Sensitivity Depreciation Index. NSDI kuvaa melun normitason yläpuolella tapahtuvaa kiinteistön arvon alenemista desibeliä kohti. Esimerkki: jos NSDI on 0,4 prosenttia, on melualueella 75 dB sijaitseva kiinteistö arvoltaan 8 prosenttia alhaisempi kuin vastaava kiinteistö melualueella 55 dB. (Tervonen & Jylänki 2006, 15.)

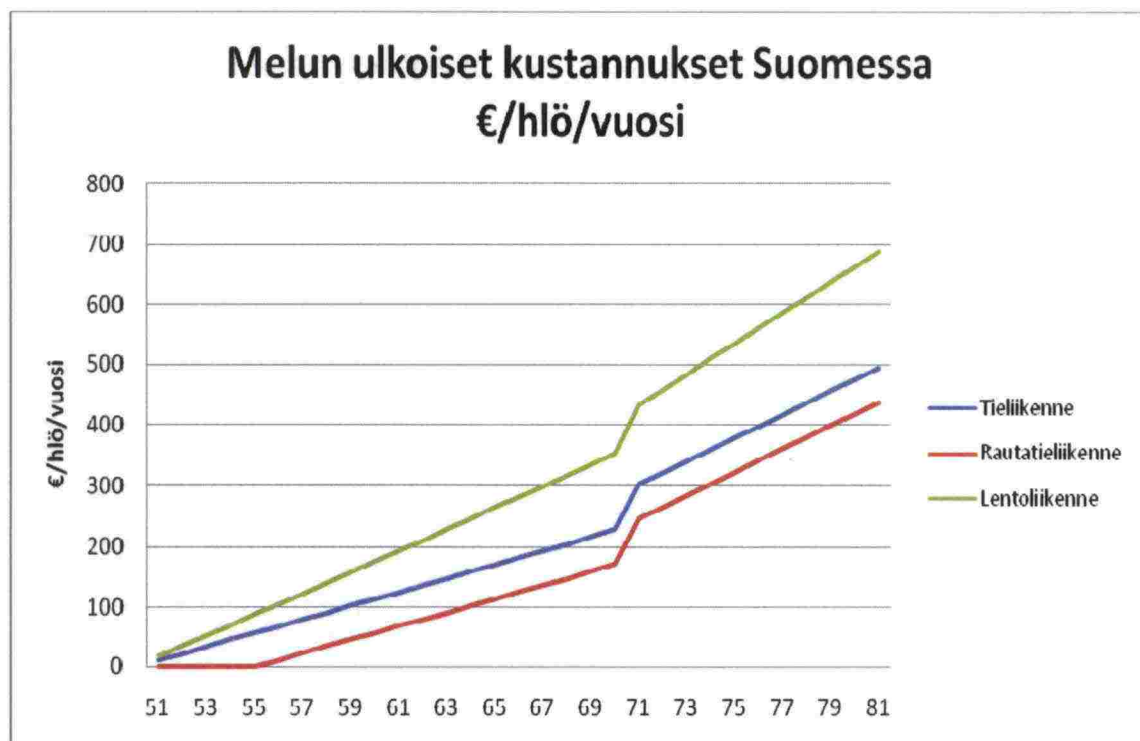


kustannusarviot Suomelle, Ruotsille ja Saksalle. Rautatieliikenteessä ulkoisia kustannuksia on oletettu syntyvän vasta yli 55 desibelin melutasoilla. Tie- ja lentoliikenteessä meluhaittoja on oletettu olevan yli 50 desibelin melutasoilla.

*Taulukko 9. Melun kustannukset Suomessa, Ruotsissa ja Saksassa €/hlö/vuosi (HEATCO 2006, 106–109)*

L <sub>den</sub> dB(A)	Finland			Sweden		
	Road	Rail	Aircraft	Road	Rail	Aircraft
≥51	10	0	16	11	0	17
≥52	20	0	32	22	0	34
≥53	31	0	47	33	0	51
≥54	41	0	63	44	0	68
≥55	51	0	79	55	0	85
≥56	61	10	95	66	11	102
≥57	71	20	110	77	22	119
≥58	81	31	126	88	33	136
≥59	92	41	142	99	44	153
≥60	102	51	158	110	55	170
≥61	112	61	174	120	66	187
≥62	122	71	189	131	77	204
≥63	132	81	205	142	88	221
≥64	143	92	221	153	99	238
≥65	153	102	237	164	110	255
≥66	163	112	252	175	120	272
≥67	173	122	268	186	131	289
≥68	183	132	284	197	142	306
≥69	193	143	300	208	153	323
≥70	204	153	316	219	164	340
≥71	270	219	388	291	236	417
≥72	287	236	410	309	254	442
≥73	304	253	433	327	273	466
≥74	321	270	456	346	291	490
≥75	338	287	478	364	309	515
≥76	355	305	501	382	328	539
≥77	372	322	524	401	346	563
≥78	390	339	546	419	364	588
≥79	407	356	569	437	383	612
≥80	424	373	592	456	401	636
≥81	441	390	614	474	419	661

Kuvassa 9 on havainnollistettu graafisesti ulkoisten kustannusten nousu melun määrän kasvaessa. Kuvasta nähdään, että samoilla desibelimäärillä rautatieliikenteen aiheuttamat ulkoiset kustannukset ovat pienemmät kuin tieliikenteen tai lentoliikenteen ulkoiset kustannukset. 71 desibelin kohdalla tapahtuva äkillinen nousu ulkoisissa kustannuksissa voi johtua esimerkiksi terveyshaitoista, joiden on oletettu syntyvän vasta 70 desibeliä korkeammilla melutasoilla.



Kuva 9. Melun ulkoiset kustannukset Suomessa. (Tiedot: HEATCO 2006, 106.)

### RHK:n EU:n meludirektiivin mukainen ympäristömeluselvitys

RHK:ssa tehtiin vuonna 2007 ympäristömeluselvitys rataosilla Helsingistä Espooseen, Vantaankoskelle ja Riihimäelle. Selvityksessä arvioitiin melulle altistuvien asukkaiden määrää ja asukkaiden kokemaa melutasoa kyseisillä rataosilla. Selvityksen antamat tulokset voidaan muuttaa rahaksi hyödyntämällä HEATCON tuloksia melun ulkoisista kustannuksista.

Taulukossa 10 on esitetty HEATCON melukustannustietojen avulla lasketut melun ulkoiset kustannukset. Ulkoiset kustannukset on ilmoitettu lokakuun 2008 hinnoissa. Selvityksessä melualueella asuvat oli jaoteltu melutasojen mukaisiin ryhmiin. Taulukossa kustannukset on laskettu kunkin ryhmän sekä alimmilla että ylimmillä melutasoilla. Näin saadun arvion mukaan melun ulkoiset kustannukset EU-meluselvitysalueella ovat noin 1,2–3,1 miljoonaa euroa. Henkeä kohden kustannukset ovat keskimäärin 29–76 euroa vuodessa.

Taulukko 10. Rautatieliikenteen aiheuttaman melun ulkoiset kustannukset EU-meluselvitysalueella, 10/2008 hinnoissa.

<b>L<sub>den</sub></b>	<b>Melualueella asuvien määrä</b>	<b>Kustannukset alarajojen mukaan €/vuosi</b>	<b>Kustannukset ylärajojen mukaan €/vuosi</b>
55–59	25474	0	1171804
60–64	9574	545718	986122
65–69	4856	553584	776960
70–74	398	68058	120196
>75	2	642	874
<b>Yhteensä</b>	<b>40304</b>	<b>1 168 002 €</b>	<b>3 055 956 €</b>

Kun tarkastellaan melun ulkoisia kustannuksia ajoneuvokilometriä kohden (€/ajoneuvokm), CE Delft suosittelee käyttämään INFRAS/IWW:n (2003 & 2004) tutkimustuloksia. INFRAS/IWW:n tulokset ovat yhteneväisiä monen muun tutkimuksen kanssa (esim. UNITE 2003, RECORDIT 2001, Kristensen ym. 2004). Tutkimus kattaa useita erilaisia liikennetilanteita. INFRAS/IWW:n melun ulkoisten kustannusten voidaan ajatella esittävän keskimääräisiä EU:n alueen rajamelukustannuksia.

Taulukossa 11 on esitetty INFRAS/IWW:n suositukset melun rajakustannuksiksi. Taulukosta on jätetty pois lentoliikenne, sillä sen kustannukset riippuvat voimakkaasti muun muassa paikallisista tekijöistä ja lentoreiteistä. Rajakustannukset ovat ajoneuvo- ja junakilometrikohtaisia. Junasta syntyvät melun ulkoiset kustannukset ovat huomattavasti suuremmat yksittäiseen ajoneuvoon verrattuna. Junaliikenteen melun ulkoiset kustannukset ovat kuitenkin huomattavasti alhaisemmat, kun huomioidaan kunkin kulkuneuvon kuljettama matkustajamäärä.

Taulukko 11. Melun keskimääräiset rajakustannukset Euroopassa. (CE Delft 2007, 69.)

Unit values for marginal costs for different network types (€/vkm) for road and rail traffic

	Time of day	Urban	Suburban	Rural
Car	Day	<b>0.76</b> (0.76 – 1.85)	<b>0.12</b> (0.04 – 0.12)	<b>0.01</b> (0.01 – 0.014)
	Night	<b>1.39</b> (1.39 – 3.37)	<b>0.22</b> (0.08 – 0.22)	<b>0.03</b> 0.01 – 0.03
MC	Day	<b>1.53</b> (1.53 – 3.70)	<b>0.24</b> (0.09 – 0.24)	<b>0.03</b> (0.01 – 0.03)
	Night	<b>2.78</b> (2.78 – 6.74)	<b>0.44</b> (0.16 – 0.44)	<b>0.05</b> (0.02 – 0.05)
Bus	Day	<b>3.81</b> (3.81 – 9.25)	<b>0.59</b> (0.21 – 0.59)	<b>0.07</b> (0.03 – 0.07)
	Night	<b>6.95</b> (6.95 – 16.84)	<b>1.10</b> (0.39 – 1.10)	<b>0.13</b> (0.06 – 0.13)
LGV	Day	<b>3.81</b> (3.81 – 9.25)	<b>0.59</b> (0.21 – 0.59)	<b>0.07</b> (0.03 – 0.07)
	Night	<b>6.95</b> (6.95 – 16.84)	<b>1.10</b> (0.39 – 1.10)	<b>0.13</b> (0.06 – 0.13)
HGV	Day	<b>7.01</b> (7.01 – 17.00)	<b>1.10</b> 0.39 – 1.10	<b>0.13</b> (0.06 – 0.13)
	Night	<b>12.78</b> (12.78–30.98)	<b>2.00</b> 0.72 – 2.00	<b>0.23</b> (0.11 – 0.23)
Passenger train	Day	<b>23.65</b> (23.65 – 46.73)	<b>20.61</b> 10.43 – 20.61	<b>2.57</b> (1.30 – 2.57)
	Night	<b>77.99</b>	<b>34.40</b>	<b>4.29</b>
Freight train	Day	<b>41.93</b> (41.93 – 101.17)	<b>40.06</b> 20.68 – 40.06	<b>5.00</b> (2.58 – 5.00)
	Night	<b>171.06</b>	<b>67.71</b>	<b>8.45</b>

Central values in bold, ranges in brackets.

Note: The lower limit of the bandwidth is based on dense traffic situations, while the upper limit is based on thin traffic situations. Central values (in bold) chosen based on the predominant traffic situation in the respective regional cluster: urban: dense; suburban/rural: thin.

Melun ulkoiset kustannukset ovat vahvasti paikkasidonnaisia. Muuhun Eurooppaan verrattuna harvaan asutetussa Suomessa voidaan ajatella olevan keskimääräistä pienemmät ajoneuvo-/junakilometrikohittaiset kustannukset. Taulukossa 12 on esitetty UNITE:n tutkimustulokset melun ulkoisista kustannuksista. Nämä kustannukset ovat keskimääräiskustannuksia, eikä niitä siksi voida suoraan verrata edellisen taulukon 11 rajakustannuksiin. Keskimääräiskustannukset ovat tyypillisesti korkeampia kuin rajakustannukset. CE Delftin raportissa mainitaan kuitenkin, että INFRAS/IWW:n ja UNITEn tutkimukset ovat samaa suuruusluokkaa. Vertaamalla nähdään, että Helsingin alueen keskimääräiset henkilöautokilometrin melun ulkoiset kustannukset ovat alhaisemmat kuin vastaavat eurooppalaiset rajakustannukset. Toisaalta Helsinki–Turku-välin raskaan liikenteen aiheuttamat melun ulkoiset kustannukset ovat korkeammat kuin vastaavat eurooppalaiset rajakustannukset.

Taulukko 12. Melun keskimääräiskustannukset UNITEn tutkimuksessa.  
(UNITE 2003, 43.)

Overview of costs due to noise from road vehicles in €cent / vkm

		Passenger car		HGV	
		daytime	night time	daytime	night time
urban case studies	Helsinki	0.22	0.53	n.a.	n.a.
	Stuttgart	1.50	4.50	25.75	78.25
	Berlin	0.47	1.45	7.67	23.33
	Florence	a)			
inter-urban case studies	Helsinki – Turku	n.a.	n.a.	1.58	3.86
	Basel – Karlsruhe	0.02	0.03	0.11	0.18
	Strasbourg – Neubrandenburg (outside built-up areas)	0	0	0	0
	Strasbourg – Neubrandenburg (within built-up areas)	0.12	0.19	3.04	5.06
	Milano – Chiasso	0.01	0.04	0.09	0.35
	Bologna – Brennero	0.001	0.002	0.006	0.02
a) marginal costs not given per vehicle kilometre, but per 1 dB(A) reduction					

### 3.2.2 Melu hankearvioinneissa

Ratahallintokeskuksen hankearvioinneissa käytetään liikenne- ja viestintäministeriön melulle asetettua ohjearvoa, joka on 1010 € vuodessa jokaista yli 55 dB(A):n melulle melulle altistuvaa henkilöä kohden (vuoden 2005 hintatasossa) (LVM 2007, 43). Kustannukset eivät ole suoraan verrattavissa CE Delftin suosittamiin ohjearvoihin eivätkä UNITEn tutkimustuloksiin, jotka ovat ajoneuvokilometrikohtaisia. Jos verrataan LVM:n ohjearvoa esimerkiksi edellä esitettyyn meluselvityslaskelmaan (taulukko 10), ohjearvon voidaan todeta olevan merkittävästi suurempi kuin CE Delftin ohjearvojen avulla lasketut keskimääräiskustannukset (29–76 €/hlö/vuosi).

Tervosen ja Jylängin (2006, 17) mukaan Ratahallintokeskuksen ja Tiehallinnon käyttämä melun taloudellisen arvottamisen tapa ei vastaa muiden maiden käytäntöjä eikä ole yhteneväinen Euroopan komission kanssa. Suomessa käytettyjen yksikköarvojen perusteella ei voida esimerkiksi tarkasti arvioida desibelitason alenemisesta saatavaa hyötyä. Tervonen ja Jylänki esittävät taulukoissa 13–15 arvion Suomen liikenteen aiheuttamista melun ulkoisista kustannuksista, mikäli käytettäisiin ruotsalaisen tutkimuksen ja Euroopan komission työryhmän epävirallisten suositusten mukaisia melun ulkoisia kustannuksia.<sup>13</sup> Tervosen ja Jylängin mukaan taulukoissa esitetyt kokonaishaitat ovat aliarvioita, koska arvottaminen painottaa viihtyvyyshaittoja eikä huomioi esimerkiksi terveysvaikutuksia.

<sup>13</sup> Huomio: Euroopan komission epäviralliset suositukset ovat vuodelta 2005 ja poikkeavat CE Delftin (2007) suosituksista.

Taulukko 13. Tieliikenteen meluhaittojen arvo (€) vuonna 2005. (Tervonen & Jylänki 2006, 37.)

dB-luokka (keskitaso)	Asukasta	Haitan arvo (Ruotsi) – €/yksilö/vuosi	Haitan arvo (EU) – €/yksilö/vuosi	Haitan kokoi- naisarvo € (Ruotsi)	Haitan kokoi- naisarvo € (EU)
55 - 60 (58)	220 755	62	39	13 686 810	8 609 445
60 - 65 (63)	87 526	111	104	9 715 386	9 102 704
65 - (67)	40 920	179	156	7 324 680	6 383 520
<b>Yhteensä</b>	<b>349 201</b>	-	-	<b>30 726 876</b>	<b>24 095 669</b>

Taulukko 14. Katuliikenteen meluhaittojen arvo (€) vuonna 2005. (Tervonen & Jylänki 2006, 37.)

dB-luokka (keskitaso)	Asukasta	Haitan arvo (Ruotsi) – €/yksilö/vuosi	Haitan arvo (EU) – €/yksilö/vuosi	Haitan kokoi- naisarvo € (Ruotsi)	Haitan kokoi- naisarvo € (EU)
55 - 60 (58)	370 800	62	39	22 989 600	14 461 200
60 - 65 (63)	35 020	111	104	3 887 220	3 642 080
65 - (67)	6 180	179	156	1 106 220	964 080
<b>Yhteensä</b>	<b>412 000</b>	-	-	<b>27 983 040</b>	<b>19 067 360</b>

Taulukko 15. Raideliikenteen meluhaittojen arvo (€) vuonna 2005. (Tervonen & Jylänki 2006, 38.)

dB-luokka (keskitaso)	Asukasta	Haitan arvo (Ruotsi) – €/yksilö/vuosi	Haitan arvo (EU) – €/yksilö/vuosi	Haitan kokoi- naisarvo € (Ruotsi)	Haitan kokoi- naisarvo € (EU)
55 - 60 (58)	37 376	62	39	2 317 312	1 457 664
60 - 65 (63)	9 431	111	104	1 046 841	980 824
65 - (67)	1 746	179	156	312 534	272 376
<b>Yhteensä</b>	<b>48 553</b>	-	-	<b>3 676 687</b>	<b>2 710 864</b>

Tervosen ja Jylängin mukaan meluntorjunnasta koituvat hyödyt olisivat 43–109 euroa henkeä kohden vuodessa (taulukko 16), mikäli käytetään ruotsalaisen tutkimuksen tai Euroopan komission työryhmän epävirallisia suosituksia.

*Taulukko 16. Meluntorjunnan hyötyjen arvottamisessa käytetyt arvot vuoden 2008 hintatasossa. (Tiedot vuoden 2005 hintatasossa: Tervonen & Jylänki 2006, 38.)*

€/dB-muutos/henkilö/vuosi		
Altistuksen muutos	Ruotsalaiset arvot	Euroopan komission arvo
58 dB → 53 dB (-5 dB)	43	71
62 dB → 54 dB (-8 dB)	76	113
63 dB → 58 dB (-5 dB)	53	71
68 dB → 63 dB (-5 dB)	109	71

Tervosen (2008, 32) mukaan tieliikenteen meluhaittoja tulisi alentaa voimakkaasti, mutta rajakustannushinnoittelun käyttäminen voi kohdentamisongelmien vuoksi olla hankalaa. Yleinen hinnoittelu voi vaikuttaa melun ulkoisiin kustannuksiin, mikäli se laskee liikennevirtoja tai ohjaa liikennettä pois meluherkiltä teiltä. Tervonen pitää myös yhtenä tieliikenteen melunvähennyskeinona normatiivista ohjausta.

Yöllä tapahtuvaan rautatieliikenteeseen voitaisiin Tervosen (2008, 32) mukaan mahdollisesti hyödyntää melun hinnoittelua. Tällöin yksittäisille rataosuuksille määritettäisiin rataosakohtainen melumaksu. Melumaksun tulisi kuitenkin mahdollisesti olla korkea, jotta toivottava ohjausvaikutus saavutettaisiin.

Suomen lentoliikenteessä on käytössä melumaksu, jota maksetaan taajamien lähetyvillä sijaitsevilla lentokentillä. Yöaikaisista nousuista ja laskuista maksetaan lisämaksu. Melumaksun määrittämisessä ei oletettavasti ole käytetty melun ulkoisvaikutusten arvottamista. Tervosen (2008, 33) mukaan maksun taso on alhainen, eikä se todennäköisesti vaikuta nousujen ja laskujen ajoitukseen tai lentokaluston ominaisuuksiin.

Tervosen (2008, 33) mukaan liikennemelun haittakustannuksia koskevat uudet kansainväliset tutkimusmenetelmät tunnetaan Suomessa huonosti, ja menetelmäkehitykseen tulisikin jatkossa panostaa. Kansainvälisiä tuloksia voidaan mahdollisesti soveltaa, mutta suomalaisten tutkimusten tulokset ovat tärkeitä melukustannusten oikean tason selvittämiseksi.

### **3.2.3 Johtopäätökset**

Meluhaittojen arvottamisesta ja melun ulkoisten kustannusten laskentatavoista ollaan verrattain yksimielisiä. Useissa tutkimuksissa rautatiemelun on koettu muuta melua vähemmän häiritseväksi, ja siksi 5 dB:n ”rautatiebonusta” voidaan pitää perusteltuna. Melun laskevien rajakustannusten takia tutkimuksissa selvitetty melun ulkoiset kustannukset ovat voimakkaasti riippuvaisia lähtöoletuksista. Melun ulkoiset kustannukset ovatkin voimakkaasti paikkasidonnaisia, ja laskelmissa tulisi ensisijaisesti hyödyntää paikallisia tutkimuksia.

Hankearvioinneissa käytetyt melukustannukset eivät vastaa CE Delftin nykyisiä suosituksia melun ulkoisista kustannuksista. Toisaalta CE Delftin suosittamat eurooppalaiset melun ulkoiset kustannukset eivät sovellu kovinkaan hyvin harvaan asuttuun Suomeen. Paremman puutteessa HEATCON Suomea käsitteleviä tutkimustuloksia voidaan käyttää melulaskelmiin, joissa selvitetään esimerkiksi tietyllä alueella syntyvät melukustannukset. HEATCON melukustannuksia ei kuitenkaan voida käyttää

tilanteissa, joissa tarvitaan tietoa yhden junan tai ajoneuvon aiheuttamasta ulkoisvaikutuksesta. Juna tai ajoneuvokilometrikohtaisten sekä henkilö- ja tonnikilometrikohtaisten ulkoisten melukustannusten selvittämiseksi tarvittaisiin kansallisia tutkimuksia.

### 3.3 Pakokaasupäästöt

#### 3.3.1 Pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset

Pakokaasupäästöt aiheuttavat muun muassa terveystaloudellisia, materiaalivahinkoja, satotappioita ja maaperän ja vesien pilaantumista. Pakokaasujen ulkoiset kustannukset on paljon tutkittu ulkoisten kustannusten osa-alue: metoditutkimusten lisäksi tutkimuksia löytyy niin päästöjen kokonais-, keskimääräis- kuin rajakustannuksista. Näistä tutkimuksista CE Delft pitää merkittävimpinä ExternE- sekä CAFE CBA-tutkimuksia.

Pakokaasupäästöjen ulkoisten kustannusten arvottamiseen CE Delft suosittaa ExternE-projektissa kehitettyä alhaalta-ylös-lähestymistapaan perustuvaa vaikutuspolkumenetelmää.<sup>14</sup> Vaikutuspolkumenetelmä ottaa johdonmukaisesti huomioon kustannuksiin vaikuttavat lähtötiedot. Toisaalta vaikutuspolkumenetelmä on kallis ja aikaa vievä, ja siksi osa tutkimuksista käyttää ylhäältä-alas-menelmiä. Arvottamisen tuloksena päästöjen ulkoiset kustannukset voidaan ilmoittaa esimerkiksi seuraavasti:

$$\begin{aligned} & \text{Päästöjen ulkoiset kustannukset} \\ & = \text{päästölaji} \times \text{kyseisen päästön ulkoisten kustannusten kerroin} \end{aligned}$$

Kuten ulkoisten kustannusten arvottamiseen usein myös pakokaasupäästöjen ulkoisten kustannusten arvottamiseen liittyy kysymyksiä ja epävarmuutta. Tällaisia kysymyksiä ovat esimerkiksi tilastollisen elämän arvo ja sukupolvien välisen tasa-arvon määrittäminen. CE Delft suosittaa menetetyin elinvuoden arvoiksi ExternE-tutkimuksen tulosten mukaiset 75 000 € (välittömät vaikutukset) ja 50 000 € (krooniset vaikutukset). Menetetyn elämän arvon voidaan tällöin laskea olevan miljoona euroa. Tämä on alempi kuin onnettomuuslaskelmissa käytetty elämän arvo (1,5 milj. €). WTP-tutkimuksissa on todettu ihmisten arvottavan eri tavalla äkillistä, onnettomuudesta johtuvaa elämänmenetystä kuin päästöjen aiheuttamaa pitkäaikaista vaikutusta.

CE Delft suosittelee käyttämään päästötonnin kustannusten arvioimisen pohjana HEATCO- ja CAFE CBA -tutkimusten tuloksia. Kummankin tutkimuksen tulokset ovat samaa suuruusluokkaa ja kummassakin tutkimuksessa kustannukset on laskettu jokaiselle EU-maalle. Hiukkasten (PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>) osalta CE Delft suosittelee HEATCO:n tutkimustuloksia, ja muiden päästöjen osalta CAFE CBA:n tuloksia. Suositus perustuu siihen, että HEATCO-tutkimuksessa on eritelty hiukkasten kustannukset useampaan aluekategoriaan kuin CAFE CBA:ssa. Muiden päästöjen osalta CAFE CBA:n kustannuslaskelmien lähtöoletusten ajatellaan olevan HEATCOa vakaammalla pohjalla. Kustannukset on esitelty taulukossa 17. Merkittävimmät päästötonnia kohden syntyvät kustannukset tulevat pienhiukkas- (PM<sub>2,5</sub>) ja typpioksidipäästöistä (NO<sub>x</sub>). Suomen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ovat alhaisemmat kuin keskimäärin

<sup>14</sup> Lisätiedot: ks. luku 2.5 ja kuva 1.



Euroopassa, sillä maan väestötiheys ja väestön alueellinen jakautuminen vaikuttavat merkittävästi pakokaasupäästöjen ulkoisten kustannusten tasoon.

*Taulukko 17. Pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset päästötonnia kohden (€/päästötonni). (CE Delft 2007, 54.)*

Table 13 Air pollution costs in €/tonne of pollutant for road, rail, waterways

Pollutant	Factor costs in €, 2000 prices, Unit: € 2000/t of pollutant						PM <sub>10</sub> (non-exhaust)		
	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub> (exhaust)			HEATCO	UBA transferred to HEATCO <sup>1)</sup>	HEATCO
Source	CAFÉ CBA	CAFÉ CBA	CAFÉ CBA	HEATCO	UBA transferred to HEATCO <sup>1)</sup>	HEATCO/CAFÉ CBA (for maritime)	HEATCO	UBA transferred to HEATCO <sup>1)</sup>	HEATCO
CAFÉ CBA sensitivity	VOLY median (PM/O3)	VOLY median (PM/O3)	VOLY median (PM/O3)						
Unit	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000	€ 2000	€ 2000	€ 2000	€ 2000	€ 2000
Local environment				Urban Metropolitan <sup>2)</sup>	Urban <sup>3)</sup>	Outside built-up areas	Urban metropolitan <sup>2)</sup>	Urban <sup>3)</sup>	Outside built-up areas
Finland	800	200	1,800	337,100	108,600	28,100	134,800	43,400	11,200
EU-25	4,400	1,000	5,600			26,000			

Taulukko 18 sisältää CE Delftin suositamat ohjearvot sähköntuotannon päästöjen kustannusten arvioimiseen. Haitallisimpana päästönä pidetään hiukkaspäästöjä (PM<sub>10</sub>) ja esimerkiksi typpioksidin osuus päästökustannuksista on pieni.

*Taulukko 18. Sähköntuotannon päästöjen ulkoiset kustannukset. (CE Delft 2007, 55.)*

Air pollution costs in €/tonne of pollutant for electricity generation

Pollutant	Factor costs in €, 2000 prices, Unit: €2000/t of pollutant				
	NO <sub>x</sub>	NM VOC	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub> exhaust	
Source	CAFÉ CBA	CAFÉ CBA	CAFÉ CBA	HEATCO	HEATCO
CAFÉ CBA sensitivity	VOLY median (PM03)	VOLY median (PM03)	VOLY median (PM03)		
Unit	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000 (emissions 2010)	€ 2000	€ 2000
Local environment				Urban metropolitan	Outside built-up areas
Finland	800	200	1,800	5,600	2,800

Taulukoissa 17 ja 18 esitetyt pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ovat muutettavissa ajoneuvo- ja junakilometrikohtaisiksi kustannuksiksi (€/juna- tai ajoneuvokm). Taulukoissa 19–22 on esitetty liikenteen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset Saksassa. Ajoneuvojen päästötiedoissa on hyödynnetty REMOVE-projektin tietokantaa, ja päästötonnikohdaiset ulkoiset kustannukset on otettu HEATCO- ja CAFE CBA-tutkimuksista. CE Delftin päästökustannuslaskelmissa on käytetty seuraavia oletuksia ja jaotteluja:

- Pakokaasupäästöjen kohdalla merkittävä ulkoisiin kustannuksiin vaikuttava tekijä on ajoneuvon nopeus. Laskelmissa on käytetty keskimääräisiä nopeuksia ajoneuvoille kaupunkialueella, kaupunkialueen ulkopuolella ja moottoriteillä.
- Metropolialueella tarkoitetaan yli puolen miljoonan asukkaan kaupunkeja, ja urbaanilla alueella alle puolen miljoonan asukkaan kaupunkeja.
- Tieliikenteen laskelmissa on otettu huomioon vain suorat, polttoaineen käytöstä aiheutuvat päästöt. Epäsuorat, esimerkiksi energiantuotannosta aiheutuvat päästöt on käsitelty kohdassa ”muut ulkoisvaikutukset” (ks. luku 3.6).
- Sähkövetoisen rautatieliikenteen osalta sähköntuotannosta aiheutuneet päästöt on huomioitu junakilometrikohtaisissa päästökustannuksissa.

Tieliikenteen pakokaasupäästökustannuksista nähdään, että EURO-luokituksella, ajoneuvon koolla ja väestötiheydellä on merkittävä vaikutus ulkoisiin kustannuksiin. Kaksi ensimmäistä liittyy ajoneuvon kilometrikohdaisiin päästöihin, ja viimeinen siihen, missä ajo tapahtuu. Metropolialueella pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin haja-asutusalueella.

*Taulukko 19. Saksan tieliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ajoneuvokilometriä kohden (€/ajoneuvokm). (CE Delft 2007, 57)*

Air pollution costs in €/t/vkm (€2000) for passenger cars and heavy duty vehicles (Example Germany, Emissions from TREMOVE model, HEATCO and CAFE CBA cost factors for Germany used), Price base 2000

Vehicle	Size	EURO-Class	Metropolitan (€/t/vkm)	Urban (€/t/vkm)	Interurban (€/t/vkm)	Motorways (€/t/vkm)	Average (€/t/vkm)	
Passenger Car Petrol	<1,4L	EURO-0	5.9	2.3	1.7	1.9	2.0	
		EURO-1	1.7	1.4	0.6	0.8	0.9	
		EURO-2	0.9	0.6	0.3	0.4	0.4	
		EURO-3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	
		EURO-4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
	1,4-2L	EURO-0	5.1	1.8	1.4	1.6	1.6	
		EURO-1	1.7	1.5	0.6	0.8	0.9	
		EURO-2	0.9	0.6	0.3	0.4	0.4	
		EURO-3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	
		EURO-4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
	>2L	EURO-0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	
		EURO-1	1.4	1.2	0.6	0.8	0.8	
		EURO-2	0.8	0.6	0.3	0.4	0.4	
		EURO-3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	
		EURO-4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Passenger Car Diesel	<1,4L	EURO-2	4.0	1.8	0.8	0.9	1.1
			EURO-3	3.1	1.5	0.9	1.0	1.1
			EURO-4	1.7	0.8	0.5	0.5	0.6
EURO-5			0.7	0.4	0.3	0.3	0.4	
EURO-0			13.8	4.8	1.4	1.5	2.4	
1,4-2L		EURO-1	4.8	2.0	1.0	1.3	1.4	
		EURO-2	4.0	1.8	0.8	0.9	1.1	
		EURO-3	3.1	1.5	0.9	1.0	1.1	
		EURO-4	1.7	0.8	0.5	0.5	0.6	
		EURO-5	0.7	0.4	0.3	0.3	0.4	
>2L		EURO-0	14.1	5.1	1.7	1.8	2.7	
		EURO-1	4.8	2.0	1.0	1.3	1.4	
		EURO-2	4.0	1.8	0.8	0.9	1.1	
		EURO-3	3.1	1.5	0.9	1.0	1.1	
		EURO-4	1.7	0.8	0.5	0.5	0.6	
Trucks	<7.5t	EURO-0	20.1	11.3	9.1	9.0	9.1	
		EURO-1	12.0	6.7	5.4	5.3	5.4	
		EURO-2	8.1	5.6	5.0	5.0	5.0	
		EURO-3	7.5	4.8	4.0	3.9	4.0	
		EURO-4	3.2	2.5	2.3	2.3	2.3	
	7.5-16t	EURO-5	2.3	1.6	1.4	1.4	1.4	
		EURO-0	28.2	15.7	11.9	11.1	11.6	
		EURO-1	18.4	10.6	8.1	7.6	7.9	
		EURO-2	12.4	8.5	7.2	6.9	7.1	
		EURO-3	10.2	7.2	6.0	5.5	5.8	
	16-32t	EURO-4	5.3	4.1	3.5	3.3	3.4	
		EURO-5	3.8	2.7	2.2	2.0	2.1	
		EURO-0	29.0	16.5	12.7	11.8	12.1	
		EURO-1	16.3	9.9	7.8	7.3	7.5	
		EURO-2	12.9	9.1	7.5	7.1	7.2	
	>32t	EURO-3	9.4	7.0	5.8	5.3	5.5	
		EURO-4	5.2	4.1	3.5	3.2	3.3	
		EURO-5	3.8	2.7	2.2	2.0	2.1	
		EURO-0	38.3	22.3	16.8	14.9	15.3	
		EURO-1	28.1	16.1	12.0	10.6	10.9	
>32t	EURO-2	18.9	13.2	10.7	9.6	9.8		
	EURO-3	14.6	10.6	8.5	7.6	7.7		
	EURO-4	7.4	6.1	5.1	4.5	4.6		
	EURO-5	5.2	3.8	3.1	2.8	2.8		

Source emission factors: TREMOVE Base Case (model version 2.4.1).

Note: metropolitan: cities with >0.5 million inhabitants, urban: cities with < 0.5 million inhabitants

Saksan junaliikenteen päästökustannukset on esitetty taulukossa 20. Sähköjuna-  
liikenteen päästökustannukset koostuvat sähköntuotannon päästöjen aiheuttamista  
paikallisista haitoista. Dieseljunaliikenteen kustannukset riippuvat voimakkaasti väestö-  
tiheydestä; metropolialueella päästöjen ulkoiset kustannukset ovat yli kaksi kertaa  
suuremmat kuin maaseudulla.

*Taulukko 20. Saksan junaliikenteen päästökustannukset. (CE Delft 2007, 59.)*

Air pollution costs in €/train-km passenger and freight trains (Example Germany, HEATCO and  
CAFE CBA cost factors for Germany used)

			Metropolitan			Other Urban			Non Urban		
			Indirect emis.	Direct emis.	Total	Indirect emis.	Direct emis.	Total	Indirect emis.	Direct emis.	Total
			€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km	€/t/ train-km
Passenger	Electric	Locomotive	4.9	0.0	<b>4.9</b>	4.9	0.0	<b>4.9</b>	4.9	0.0	<b>4.9</b>
		Railcar	7.6	0.0	<b>7.6</b>	7.7	0.0	<b>7.7</b>			
		High Speed Train							9.2	0.0	<b>9.2</b>
	Diesel	Locomotive	8.7	204.7	<b>213.3</b>	8.7	108.8	<b>117.5</b>	8.7	90.7	<b>99.4</b>
		Railcar	11.5	271.0	<b>282.4</b>	11.5	144.8	<b>156.4</b>			
Freight	Electric	Locomotive	13.7	0.0	<b>13.7</b>	13.7	0.0	<b>13.7</b>	13.7	0.0	<b>13.7</b>
	Diesel	Locomotive	29.2	690.0	<b>719.2</b>	29.2	366.8	<b>396.0</b>	29.2	305.8	<b>335.0</b>

Laivaliikenteen päästökustannukset on esitetty taulukossa 21. Laivaliikenteen pako-  
kaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ovat hyvin matalat, sillä päästöille altistuvia on  
hyvin vähän.

Taulukko 21. Saksan laivaliikenteen päästökustannukset. (CE Delft 2007, 60.)

Air pollution costs in €/ship-km for Inland Waterways (Example Germany, HEATCO and CAFE CBA cost factors for Germany used)

Ship Type	Direct Emissions	
	€/ship-km	
Dry Cargo <250 ton		0.89
Dry Cargo 250-400 ton		0.89
Dry Cargo 400-650 ton		1.22
Dry Cargo 650-1,000 ton		1.86
Dry Cargo 1,000-1,500 ton		2.54
Dry Cargo 1,500-3,000 ton		4.63
Dry Cargo > 3,000 ton		4.63
Push barge <250 ton		6.05
Push barge 250-400 ton		6.05
Push barge 400-650 ton		6.06
Push barge 650-1,000 ton		6.04
Push barge 1,000-1,500 ton		6.05
Push barge 1,500-3,000 ton		6.05
Push barge > 3,000 ton		12.60
Tanker <250 ton		0.89
Tanker 250-400 ton		0.90
Tanker 400-650 ton		1.22
Tanker 650-1,000 ton		1.86
Tanker 1,000-1,500 ton		2.54
Tanker 1,500-3,000 ton		7.28
Tanker > 3,000 ton		7.28

Source emission factors: REMOVE Base Case (model version 2.4.1).

Lentoliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset on esitetty taulukossa 22. Pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset syntyvät pääosin nousu- ja laskuvaiheista, ja siksi henkilökilometrikohtaiset kustannukset ovat lyhyillä matkoilla suuremmat kuin pitkillä matkoilla.

Taulukko 22. Saksan lentoliikenteen päästökustannukset. (CE Delft 2007, 60.)

Air pollution costs in €/ct/pkm for Air Transport (Example Germany, HEATCO and CAFE CBA cost factors for Germany used)

Flight distance	Direct Emissions	
	€/ct/pkm	€/LTO
<500 km	0.21	45
500-1,000 km	0.12	70
1,000-1,500 km	0.08	117
1,500-2,000 km	0.06	138
>2,000 km	0.03	300

Source emission factors: REMOVE Base Case (model version 2.4.1).

### Suomen liikenteen päästökustannukset

Suomen liikenteen päästökustannukset on laskettu CE Delftin suositusten ja LIPASTOn päästötietojen pohjalta. Pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset on esitetty eri liikennemuodoille liitteen 3 taulukoissa 75–93.

Taulukoissa on myös verrattu CE Delftin laskemia Saksan päästöjen ulkoisia kustannuksia LIPASTOn pohjalta laskettuihin suomalaisiin kustannuksiin. Päästöjen ulkoiset kustannukset riippuvat muun muassa asuintiheydestä, joten Saksan päästökustannukset ovat luonnollisesti korkeampia kuin Suomen päästökustannukset.

#### **Pakokaasupäästöjen ulkoisten kustannusten laskeminen**

- Päästötiedot LIPASTOsta
- Päästökustannukset CE Delftin raportista
- Suomen laskelmissa on oletettu maantieajossa 2,1 henkilöä/auto, kaupunkiajossa 1,2 henkilöä/ auto ja keskimäärin 1,8 henkilöä/auto
- Junaliikenteessä on hyödynnetty RHK:n ja VR:n materiaalia
- LIPASTOn ja CE Delftin päästölaskelmien oletuksissa on eroja
  - o → eroja myös päästökustannuksissa
- Suomen väestötiheys alhaisempi kuin Saksan
  - o → Saksassa päästöjen ulkoiset kustannukset ovat korkeammat kuin Suomessa

## **Henkilöliikenne**

### Tieliikenne

Henkilöliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoisia kustannuksia on esitelty liitteen 3 taulukoissa 75–87. Päästökustannukset vaihtelevat voimakkaasti sijainnista riippuen. Bensiinikäyttöisen henkilöauton päästökustannukset ovat katuajossa yli kaksinkertaiset maantieajoon verrattuna. Dieselajoneuvoilla vastaava ero on kymmenkertainen. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästökustannukset ovat keskimäärin 0,1 ja dieselikäyttöisten 0,6 senttiä henkilökilometritä (€/hkm).

Laskelmista nähdään, että myös EURO-luokituksilla on merkittävä vaikutus päästökustannuksiin. Koska päästökustannukset on laskettu vuonna 2008 saatavilla olleiden LIPASTOn päästötietojen pohjalta, puuttuvat niistä EURO 4 ja EURO 5 -luokat. CE Delftin Saksaa koskevista laskelmista nähdään, että uudemmilla ajoneuvoilla on vanhoja ajoneuvoja selvästi alhaisemmat päästökustannukset.

### Junaliikenne

Henkilöjunaliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset on esitetty liitteen 3 taulukossa 84. Sähköntuotannon päästöjen on laskelmissa oletettu noudattavan suomalaista keskiarvoa, vaikka VR käyttääkin nykyisin ns. vihreää sähköä. Päästökustannukset ovat Suomessa junatyypistä ja sijainnista riippuen 0,01–0,5 senttiä henkilökilometritä (€/hkm). Sähkövetöisen junaliikenteen päästökustannukset syntyvät sähköntuotantolaitosten läheisyydessä, eivätkä kustannukset siten riipu liikennöintipaikasta.

Suomessa on Saksaan verrattuna huomattavasti alhaisemmat päästökustannukset. Pitkän matkan sähköjunaliikenteen ulkoiset kustannukset ovat noin kolmasosa Saksan

vastaavaan liikenteeseen verrattuna. Sähkövetoisessa lähijunaliikenteessä ero on jopa kaksikymmentäkertainen. Dieseljunaliikenteessäkin ero Saksan junaliikenteeseen on kymmenkertainen. Ulkoisten kustannusten ero syntyy pääosin väestötiheyden eroista, mutta myös sähköntuotannon rakenne-eroilla on vaikutus päästökustannuksiin.

### Laivaliikenne

Taulukossa 85 on esitetty matkustajalaivaliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset. Päästökustannusten on arvioitu olevan 1,1–2,1 senttiä henkilökilometriltä (€/hkm). CE Delft ei ole laskenut vastaavia kustannuksia henkilöliikenteelle, vaan kustannukset on laskettu ainoastaan sisävesien tavaraliikenteelle.

### Lentoliikenne

Lentoliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset on esitelty taulukoissa 86 ja 87. CE Delft ja sen raportissaan käyttämä REMOVE-tutkimus huomioivat päästöistä vain typenoksidit, joten samaa lähtöoletusta on käytetty myös Suomen laskelmille. Laskelmista nähdään, että LIPASTOsta saatavat lentoliikenteen NO<sub>x</sub>-päästöt ovat suuremmat kuin REMOVE:n NO<sub>x</sub>-päästöt. Taulukosta 87 nähdään, että Saksan lentoliikenteen pakokaasupäästökustannukset ovat noin kymmenkertaiset Suomen lentoliikenteeseen verrattuna.

### **Tavaraliikenne**

#### Tieliikenne

Liitteen 3 taulukoissa 88–93 on esitelty tavaraliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoisia kustannuksia Suomessa. Päästökustannukset riippuvat liikennöintipaikan lisäksi ajoneuvon koosta ja EURO-luokituksesta. Suurin osa tieliikenteen päästöjen ulkoisista kustannuksista syntyy pienhiukkaspäästöistä. Pienhiukkaspäästöjen lisäksi typenoksidit vaikuttavat ulkoisiin kustannuksiin. Kuten henkilöliikenteessä, myös tavaraliikenteessä Saksassa päästökustannukset ovat korkeammat kuin Suomessa.

#### Junaliikenne

Tavarajunaliikenteessä on vertailtu päästöjen ulkoisia kustannuksia kaupunkialueella ja asutusalueen ulkopuolella (taulukko 91). Sähköjunien päästökustannukset ovat 0,01 senttiä tonnikilometriltä (€/tkm). Dieseljunaliikenteessä kustannukset ovat 0,1 senttiä tonnikilometriltä asutusalueen ulkopuolella. Junien päästökustannuksista valtaosa syntyy pienhiukkas- ja typenoksidipäästöistä. Vertaamalla Suomen ja Saksan päästökustannuksia nähdään, että ero kustannusten välillä on 5–8-kertainen.

#### Laivaliikenne

Liitteen 3 taulukossa 92 on esitetty laivaliikenteen päästöjen ulkoisia kustannuksia tonnikilometriä kohden. Laskelmien mukaan päästökustannukset ovat Suomessa alustyyppistä riippuen 0,1–0,2 senttiä tonnikilometriltä (€/tkm).

CE Delftin suosittamat sisävesiliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset ovat Saksassa alustyyppistä riippuen 0,89–12,6 euroa laivakilometriä kohden (€/laivakm). Suomelle lasketut päästökustannukset ja CE Delftin Saksalle laskemat päästökustannukset eivät ole vertailukelpoisia, sillä CE Delft on laskenut päästökustannukset ainoastaan sisävesiliikenteelle. Lisäksi CE Delft ilmoittaa kustannukset laivakilometreissä, kun Suomen laskelmissa on käytetty tonnikipilometrejä.

### Lentoliikenne

Kuten henkilölentoliikenteen myös tavaralentoliikenteen päästökustannusten laskennassa on päästöistä huomioitu ainoastaan typenoksidit. Lentoliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset on esitetty liitteen 3 taulukossa 93. Laskelmien mukaan päästökustannukset vaihtelevat 0,3–1,0 sentin välillä tonnikipilometriä kohden (€/ct/tkm). CE Delftin raportissa ei ole arviota tavaralentoliikenteen pakokaasupäästöjen ulkoisista kustannuksista, joten taulukossa on esitetty vain Suomelle tehdyt laskelmat.

#### **3.3.2 Pakokaasupäästöt hankearvioinneissa**

Ratahallintokeskus käyttää hankearvioinneissaan liikenne- ja viestintäministeriön suosittamia päästökustannusten yksikköarvoja (RHK 2004, 41–42). Päästökustannukset on päivitetty vuonna 2007 (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007, 42–43). CE Delftin raportissa päästökustannukset oli ilmoitettu sekä päästötonnia kohden (taulukko 17) että liikennemuodoittain (esim. taulukko 20). Liikenne- ja viestintäministeriön yksikkökustannukset on esitetty suurin piirtein samalla tavalla, mikä helpottaa vertailua aikaisemmin esitettyjen laskelmien ja LVM:n yksikköarvojen välillä. Haastetta vertailuun tuottaa lähinnä se, että CE Delft käyttää ajoneuvojen luokitteluun EURO-luokituksia, mikä ei vastaa liikenne- ja viestintäministeriön ajoneuvojen luokittelutapaa.

Tieliikenteen osalta LVM:n suosittamat yksikkökustannukset on esitetty taulukoissa 23 ja 26. Toisin kuin LVM, CE Delft ei ole jaotellut päästötonnikohtaisia kustannuksia eri liikennemuodoille, vaan jokaisen liikennemuodon päästö samalla alueella tuottaa saman ulkoisen kustannuksen. Vertaamalla LVM:n tonnikohtaisia päästökustannuksia CE Delftin päästökustannuksiin (taulukko 17) nähdään, että typenoksidipäästöt ovat kummassakin taulukossa samaa suuruusluokkaa (CE Delft 800€/t, LVM 773 €/t). Sen sijaan muissa päästöissä on merkittäviäkin eroja. Rikkidioksidipäästöjen ulkoiset kustannukset ovat LVM:n arvion mukaan (8760 €/t) huomattavasti suuremmat kuin CE Delftin arvion mukaan (1800 €/t). Pienhiukkaspäästöjen osalta CE Delftillä ja LVM:llä on erilainen aluejaottelu. LVM:n pienhiukkaspäästöjen ulkoiset kustannukset näyttäisivät kuitenkin olevan alhaisemmat kuin CE Delftin arvioissa.



Taulukko 23. Tieliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset Suomessa vuoden 2005 hintatasossa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007, 42.)

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin
SO <sub>2</sub>	€/tonni	14 100	2 100	8 760
NO <sub>x</sub>	€/tonni	1 170	458	773
PM <sub>2,5</sub>	€/tonni	213 000	6 640	109 000
CO	€/tonni	25,5	0,73	16,4
Hiilivedyt	€/tonni	70,2	70,2	70,2
Kasvihuonekaasut CO <sub>2</sub> -ekvivalentteina	€/tonni	33,8	33,8	33,8
Likaantumisen	senttiä/ajoneuvo-km	0,095	0,00095	0,042

Taulukossa 24 on esitetty LVM:n yksikköarvot tieliikenteen ajoneuvokilometrikohtaisille pakokaasupäästökustannuksille. Kustannukset ovat vuoden 2003 ohjeesta, sillä niitä ei ole esitetty uudemmassa, vuoden 2007 ohjeessa. Yksikköarvoja voidaan verrata aiemmin esitettyihin Suomea koskeviin laskelmiin (taulukot 75–83 ja 88–90). Henkilöautojen ja erityisesti dieselkäyttöisten henkilöautojen osalta LVM:n yksikköarvot ovat huomattavasti korkeammat kuin LIPASTOn ja CE Delftin tietojen pohjalta lasketut ulkoiset kustannukset. Myös linja-autoliikenteen ja tavaraliikenteen päästökustannukset ovat LVM:n ohjeessa korkeammat kuin edellä lasketut ulkoiset päästökustannukset.

Taulukko 24. Eri ajoneuvojen päästöjen ulkoiset kustannukset Suomen taajamissa ja haja-asutusalueilla sekä keskimäärin, senttiä/ajoneuvokilometri, vuoden 2000 hintatasossa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2003, 63.)

Ajoneuvo	Taajama	Haja-asutusalue	Suoritteilla painotettu keskiarvo
- senttiä/ajoneuvo-km -			
Henkilöautot, ei katalysaattoria	1,2	0,6	0,9
Henkilöautot, katalysaattori	0,9	0,5	0,7
Henkilöautot, diesel	4	0,7	2
Pakettiautot, ei katalysaattoria	1	0,8	1
Pakettiautot, katalysaattori	1,0	0,7	0,9
Pakettiautot, diesel	5	1,1	3
Linja-autot	12	3	7
Kuorma-autot, ei perävaunua	12	3	7
Kuorma-autot, perävaunu	13	4	6

Junaliikenteen osalta liikenne- ja viestintäministeriö suosittelee taulukoissa 25, 26 ja 27 esitettyjä yksikköarvoja. LVM:n päästökustannukset poikkeavat CE Delftin päästökustannuksista; rikkidioksidikustannukset ovat LVM:llä korkeammat kuin CE Delftillä, kun taas typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöt ovat CE Delftin arviota alhaisemmat.

Taulukko 25. Dieseljunaliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset Suomessa yhdisteittäin vuoden 2000 hintatasossa (euroa/tonni sekä senttiä/junakilometri). (Liikenne- ja viestintäministeriö 2003, 64.)

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Liikenteen määrällä painotettu keskiarvo
SO <sub>2</sub>	€/tonni	16 575	612	3 203
NO <sub>x</sub>	€/tonni	1 622	186	419
PM <sub>2,5</sub>	€/tonni	66 959	1 896	12 457
CO	€/tonni	15	1	3
Hiilivedyt	€/tonni	236	236	236
Kasvihuonekaasut CO <sub>2</sub> -ekvivalentteina	€/tonni	32	32	32
Likaantumisen	sentti/juna-km	27	0.11	1,46

Myös sähköntuotannon päästökustannukset ovat erisuuruisia LVM:n ohjeessa ja CE Delftin raportissa. Hiukkaspäästöjen ja rikkidioksidipäästöjen ulkoiset kustannukset ovat CE Delftin raportissa korkeammat kuin LVM:n ohjeessa. Sen sijaan typenoksidipäästöjen ulkoiset kustannukset ovat CE Delftin raportissa vain puolet LVM:n ohjearvosta.

Taulukko 26. Suomen sähköjunaliikenteen sähköntuotannon keskimääräiset päästöjen ulkoiset kustannukset päästötonnia kohti vuonna 2005. (Liikenne- ja viestintäministeriö 200.)

Yhdiste	€/tonni
SO <sub>2</sub>	1 092
NO <sub>x</sub>	1 617
PM <sub>2,5</sub>	2 204
CO <sub>2</sub>	33,8

Taulukossa 27 on esitetty LVM:n ohjearvot junaliikenteen päästökustannuksista. LVM:n ohjearvot ovat moninkertaiset verrattuna LIPASTOn ja CE Delftin raportin pohjalta laskettuihin Suomen junaliikenteen päästökustannuksiin (taulukot 84 ja 91). LVM:n mukaan sähkövetoisen henkilöjunaliikenteen päästökustannukset ovat 0,45 senttiä henkilökilometriltä (0,45 €/hkm). Ohjearvo on korkeampi kuin edellä lasketut päästöjen ulkoiset kustannukset (pitkän matkan liikenteessä 0,01 €/hkm ja lähijunaliikenteessä 0,02 €/hkm). Dieselvetoisen henkilöjunaliikenteen ohjearvot ovat myös huomattavasti korkeammat kuin edellä esitetyt laskelmat: CE Delftin ja LIPASTOn pohjalta lasketut pakokaasupäästöjen kustannukset ovat kaupunkialueella 0,5 €/hkm ja haja-asutusalueella 0,2 €/hkm. LVM:n ohjearvot ovat näihin verrattuna moninkertaiset (taajamassa 3,82 €/hkm, haja-asutusalueella 0,35 €/hkm).

LVM:n päästökustannusten ohjearvot ovat myös tavaraliikenteessä verrattain korkeat. Sähkövetoisessa tavaraliikenteessä ero edellä esitettyihin laskelmiin on kolmin-

kertainen, kaupunkialueen dieselvetoisessa tavaraliikenteessä ero on jopa kuusin-kertainen. Sen sijaan haja-asutusalueen päästökustannukset ovat suurin piirtein samansuuruiset, ja ero päästökustannusten välillä on vain puolitoistakertainen.

*Taulukko 27. Diesel- ja sähkövetoisen junaliikenteen päästökustannukset vuonna 2000. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2003, 64.)*

Junaliikenteen muoto	Veto	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin*
€/1000 bruttotonnikilometriä (koko liikenne)	Sähkö	-	-	0,17
	Diesel	6,2	0,6	0,8
€/1000 henkilökilometriä (henkilöliikenne)	Sähkö	-	-	0,45
	Diesel	38,2	3,5	5,2
€/1000 tonnikilometriä (tavaraliikenne)	Sähkö	-	-	0,33
	Diesel	18,1	1,6	2,5

Tervonen (2008) arvioi katsauksessaan yllä esiteltyjä LVM:n ohjearvoja. Hänen mukaansa Suomessa tunnetaan pakokaasupäästöjen haittakustannuksia arvottavien tutkimusmenetelmien perusteet, mutta niiden kansainvälistä kehitystä ei ole seurattu. Tämän vuoksi Suomessa käytössä olevat yksikköarvot ovat vanhentuneita, etenkin, kun Suomen liikennejärjestelmän päästömäärät ovat suomalaisten tutkimusten jälkeen muuttuneet. Tervosen mukaan on tarpeellista päivittää päästökustannusten arvottamismenetelmiä ja haittakustannusarvoja. (Tervonen 2008, 30.)

Suomessa päästökustannusten vähentäminen on hoidettu pääosin normiohjauksen ja tekniikan kehittämisen keinoin. Tervosen (2008, 28) mukaan tieliikenteen pakokaasupäästöjen hinnoittelu tarjoaa hyödyntämättömiä mahdollisuuksia. Sen sijaan rautatieliikenteelle Tervonen ei suosita päästöhinnoittelua. Tervonen perustelee asiaa sillä, että päästöhaitat painottuvat ratapihoille ja sekä RHK että VR pyrkivät hankkimaan sähkönsä vähäpäästöisistä energialähteistä.

### 3.3.3 Johtopäätökset

Pakokaasupäästöjen ulkoisia kustannuksia on tutkittu paljon, ja niistä ollaankin verrattain yksimielisiä. Päästötonnin ulkoisten kustannusten arvioimiseen CE Delft suosittelee käyttämään HEATCON ja CAFE CBA:n tutkimuksia. Näissä tutkimuksissa on arvioitu jokaiselle EU-maalle, myös Suomelle, maakohtaiset pakokaasupäästökustannukset. Ajoneuvo- ja kilometrikohtaiset pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset saadaan yhdistämällä nämä päästötonnin hinta-arviot esimerkiksi TREMOVEN tai LIPASTON maakohtaisiin liikennettä kuvaaviin päästötietoihin.

Suomelle lasketuista kustannustaulukoista nähdään, että pienhiukkaset ja typenoksidit muodostavat suurimman osan pakokaasupäästöjen ulkoisista kustannuksista. Ajoneuvojen osalta polttoaineella ja EURO-luokituksilla on merkittävä vaikutus päästökustannuksiin. LIPASTON tietojen perusteella tehdyt laskelmat eivät kata EURO-4- ja EURO-5-luokkia. CE Delftin raportista nähdään kuitenkin, että uudempien EURO-

luokkien ajoneuvojen päästökustannukset ovat selvästi alhaisemmat kuin esimerkiksi EURO-3-ajoneuvojen päästökustannukset.

Liikenne- ja viestintäministeriön Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohjeessa annetut pakokaasupäästöjen yksikköarvot ovat selvästi LIPASTOn ja CE Delftin raporttien perusteella laskettuja kustannuksia suurempia. Kuten Tervonenkin (2008) toteaa, Suomessa tarvitaan päästöjen ulkoisten kustannusten päivittämistä oikealle tasolle.

### 3.4 Ruuhka

#### 3.4.1 Ruuhkan ulkoiset kustannukset

Ruuhkan ulkoiset kustannukset koostuvat matka-ajan pitenemisestä, ajoneuvon kunnossapito- ja toimintakustannusten kasvusta, ruuhkan aiheuttamasta hyvinvoinnin laskusta, polttoaineen kulutuksen kasvusta, matka-ajan luotettavuuden laskusta ja sopivien liikennöintiaikojen niukkuudesta. Tieliikenteessä suurin ruuhkan ulkoisten kustannusten erä on matka-ajan pitenemisen aiheuttamat kustannukset. Rautatie-liikenteessä ja muussa aikataulutetussa liikenteessä merkittävin ruuhkan ulkoisten kustannusten erä on sopivien liikennöintiaikojen niukkuus. Matka-ajan luotettavuuden lasku on kustannuserä erityisesti tavaraliikenteelle. Ulkoisia kustannuksia ovat ne kustannusten osuudet, jotka liikenteenkäytön takia aiheutuvat muille liikenteenkäyttäjille. Toisin sanoen, mikäli raideliikenteessä on vain yksi toimija, ei toimijalle katsota koituvan niukkuudesta aiheutuvia ulkoisvaikutuksia.

Ruuhkan yhteiskunnalliset rajakustannukset ilmaisevat kustannusten muutoksen silloin, kun yksi lisäkäyttäjä liittyy käyttämään liikennepalveluita. Liikenteen kasvuun liittyy negatiivisten ulkoisvaikutusten lisäksi myös positiivisia ulkoisvaikutuksia. Mohring-vaikutuksesta on kyse silloin, kun liikennepalveluja liittyy käyttämään uusia käyttäjiä, joiden ansiosta palvelut paranevat myös nykyisille käyttäjille. UNITE-tutkimuksen mukaan nämä positiiviset ulkoisvaikutukset voivat kompensoida tai jopa ylikompensoida ruuhkista aiheutuvat kustannukset.

CE Delftin selvityksen mukaan tutkijat ovat verrattain yksimielisiä parhaista ruuhkan arvottamisen menetelmistä. Yhteisymmärryksestä huolimatta tutkimustulokset ruuhkan ulkoisista kustannuksista poikkeavat toisistaan merkittävästi. Erot johtuvat esimerkiksi erilaisista ajan arvon ja matka-aikakäyrien valinnoista. CE Delftin mukaan ruuhkan ulkoiset kustannukset voidaan laskea seuraavasti:

$$\text{Ruuhkan ulkoiset kustannukset} = \text{kasvanut matka-aika} \times \text{ajan arvo} \times \text{liikenteen määrä}$$

Ajan arvoa (Value Of Time, VOT) on tutkittu laajalti sekä kansainvälisissä että kansallisissa tutkimuksissa. CE Delft suosittelee raportissaan käyttämään WTP-haastatteluihin perustuvia kansainvälisiä tutkimuksia. WTP-haastatteluihin perustuvat tutkimukset ovat helpommin siirrettävissä vastaamaan eri maiden liikenneolosuhteita kuin kansalliset tutkimukset, jotka usein käyttävät ylhäältä-alas-menetelmiä.

Olemassa olevista ajan arvon tutkimuksista CE Delft pitää HEATCON tutkimusta käyttökelpoisimpana, sillä se hyödyntää tuoreimpia saatavilla olevia WTP-tutkimuksia. Taulukossa 28 on esitetty HEATCON tutkimustulokset ajan arvosta henkilö- ja tavara-liikenteessä. Ajan arvo on keskiarvo EU-25-alueelle. Esimerkiksi työmatkalla tapahtuvan viivästyksen arvo on liikennevälineestä riippuen 19,11–32,80 euroa tunnilta (€/h) henkilöä kohden. Tavara-liikenteessä ajan arvo on 1,22–2,98 euroa tunnilta (€/h) per tonni. Jos HEATCON tuloksia halutaan muuttaa maakohtaisiksi ajan arvoiksi, tulee taulukon laskelmat muuntaa maakohtaisiksi bkt/hlö- ja ostovoimakertoimia käyttäen.

*Taulukko 28. HEATCON suosituksiset ajan arvosta henkilö- ja tavara-liikenteessä vuoden 2002 hinnoissa. (CE Delft 2007, 30.)*

Recommended values of Time in passenger and freight transport (EU-25 average)

Sector/purpose	Unit	Car/HGV	Rail	Bus/Coach	Air
Passenger transport					
– Work (business)	€ <sub>2002</sub> /passenger, hour	23.82		19.11	32.80
– Commuting, short distance		8.48		6.10	*
– Commuting, long distance		10.89		7.83	16.25
– Other, short distance		7.11		5.11	*
– Other, long distance		9.13		6.56	13.62
Freight transport	€ <sub>2002</sub> /ton, hour	2.98	1.22	/	n. a.

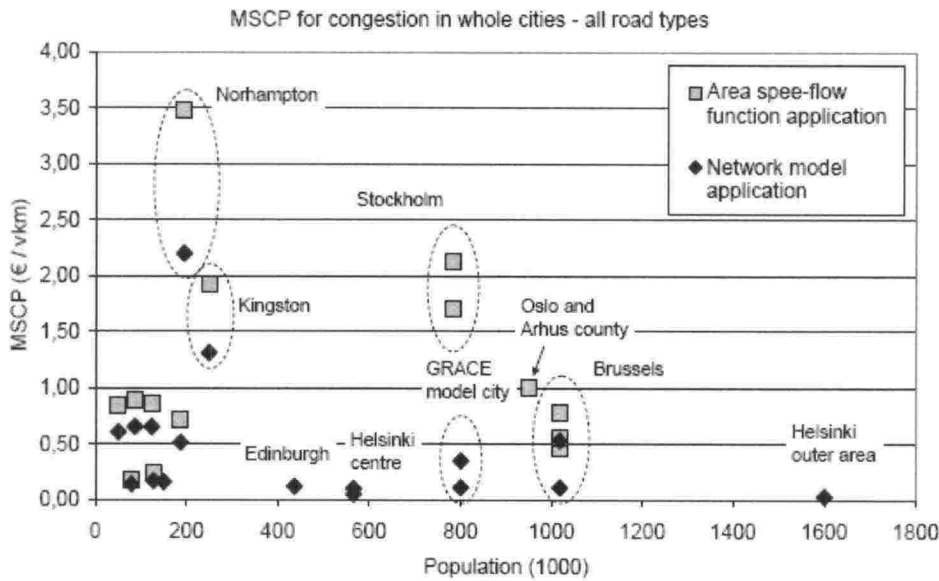
Ruuhkan ulkoisten kustannusten laskemiseksi tarvitaan ajan arvon lisäksi tieto siitä, millä liikenteen määrällä ruuhka syntyy. Saksassa on tehty tutkimus ajoneuvomäärän vaikutuksesta ajonopeuteen kolmikaistaisella moottoritillä. Koska ruuhkan syntyyn vaikuttaa moni tekijä (liikennejärjestelyt, sää, vaihtoehtoiset reitit, ajotavat), tulisi kuitenkin ensisijaisesti käyttää omia matka-aikafunktioita. Jos paikallisia tutkimuksia ei ole, voidaan CE Delftin mukaan hyödyntää saksalaisen tutkimuksen tutkimustuloksia (ks. CE Delft 2007, 30–31). Matka-aikafunktioiden suurimmat epävarmuudet liittyvät liikennekapasiteetin täyttymiseen ja sen jälkeiseen liikenteen sujuvuuteen. Jos käytetään muita kuin paikallisia tutkimuksia, tai paikallisten tutkimusten täsmällisyydestä ei ole varmuutta, voi rajakustannukset asettaa maksimiinsa jo hieman ennen kapasiteetti-rajajen saavuttamista.

Mikäli ruuhkalle asetetaan vero, kysynnän hintajousto määrittää, kuinka veroon reagoidaan. Kysynnän hintajoustolla tarkoitetaan kysynnän suhteellista muutosta, kun suhteellista hintaa muutetaan. Kysynnän hintajouston ollessa pieni liikenteen hinnan noustessa kysyntä laskee suhteessa vähemmän kuin hinta nousee.<sup>15</sup> CE Delftin selvityksessä suositellaan kysynnän hintajoustoksi haja-asutusalueilla -0,3:a ja tiheissä liikenneverkostoissa arvoja -0,5:stä -0,7:een. Kysyntä joustaa toisin sanoen melko vähän hinnan muuttuessa, ja joustoa tapahtuu vähemmän haja-asutusalueella kuin tiheiden liikenneverkostojen alueella.

**Kuva 10** Kuvassa 10 on esitetty eri tutkimuksissa saatuja ruuhkan hintoja useilla eri kaupunkialueilla. Hinnat ovat ”rajakustannushintoja”, eli rajakustannuksiin perustuvia ruuhkan hintoja, joissa on huomioitu kysynnän hintajousto. Kuvasta nähdään, että ruuhkan rajakustannushinta vaihtelee voimakkaasti väestömäärästä riippumatta.

<sup>15</sup> Esimerkki: Oletetaan, että kysynnän hintajousto on -0,5 %. Tällöin hinnan noustessa 10 %, laskee kysyntä 5 %.

Helsingin alueen ruuhkan hinnan on arvioitu olevan matala: UNITE-tutkimuksessa on arvioitu hinnan olevan alueesta riippuen 1–11 senttiä ajoneuvokilometriltä.



Source: Compilation to €2,000/vkm using UNITE, 2002c; TRENEN-II-STRAN, 1999; GRACE, 2006a; Newbery and Santos, 2002; Prud'home and Kopp, 2006. MC-ICAM, 2004.

Kuva 10. Tutkimustuloksia ruuhkan yhteiskunnallisista rajakustannushinnoista eri kaupungeissa. (CE Delft 2007, 32.)

CE Delft suosittelee ruuhkan yhteiskunnallisiin rajakustannuksiin perustuvaa ruuhkan hintaa, joissa on huomioitu kysynnän hintajousto. Suositellut teliikenteen hinnat on esitelty taulukossa 29. Suositusten perusteet on esitetty raportissa erittäin suppeasti. Taulukon hinnat pätevät aamuruuhkaan; iltapäiväruuhkan kustannukset ovat pienemmät. Vertaamalla suositeltuja hintoja UNITE-tutkimuksen Helsingin ruuhkahintoihin voidaan todeta, että Helsingin ruuhkat vastaavat parhaiten CE Delftin suositusten luokkaa ”maaseutumainen alue”. Suomen alhaisista ruuhkahinnoista huolimatta ruuhkan ulkoiset kustannukset eivät ole mitättömiä, kun niitä verrataan muihin ulkoisiin kustannuksiin.

Taulukko 29. Ruuhkan hinta tieliikenteessä. (CE Delft 207, 34.)

Proposed ranges of marginal social cost prices (optimal external costs) of congestion by road class and type of area (€/vkm 2000)

Area and road type	Passenger cars			Goods vehicles			HGV
	Min.	Centr.	Max	Min.	Centr.	Max.	PCU
<b>Large urban areas (&gt; 2,000,000)</b>							
Urban motorways	0.30	0.50	0.90	1.05	1.75	3.15	3.5
Urban collectors	0.20	0.50	1.20	0.50	1.25	3.00	2.5
Local streets centre	1.50	2.00	3.00	3.00	4.00	6.00	2
Local streets cordon	0.50	0.75	1.00	1.00	1.50	2.00	2
<b>Small and medium urban areas (&lt; 2,000,000)</b>							
Urban motorways	0.10	0.25	0.40	0.35	0.88	1.40	3.5
Urban collectors	0.05	0.30	0.50	0.13	0.75	1.25	2.5
Local streets cordon	0.10	0.30	0.50	0.20	0.60	1.00	2
<b>Rural areas</b>							
Motorways*	0.00	0.10	0.20	0.00	0.35	0.70	3.5
Trunk roads*	0.00	0.05	0.15	0.00	0.13	0.23	2.5

Edellä on esitelty ruuhkan ulkoiset kustannukset vain tieliikenteelle. Aikataulutetun rautatie- ja lentoliikenteen odottamattomat myöhästymiset ovat verrannollisia tieliikenteen ruuhkalle, mutta odottamatonta ruuhkaa ei esiinny samassa määrin kuin tieliikenteessä. Sopivien liikennöintiaikojen niukkuus vastaa aikataulutetussa liikenteessä ruuhkaa. Infrastruktuurista aiheutuvan sopivien liikennöintiaikojen niukkuuden on joissain tapauksissa todettu sisältyvän epäsuorasti matkalippujen hintoihin.

Rautatieliikenteessä ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat hyvin pienet. UNITE D7 -tutkimuksen mukaan rautatieliikenteen ruuhkakustannukset aamuruuhkan aikaan ovat 0,2 euroa junakilometriltä (€/junakm). Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan rautatieliikenteen positiiviset ulkoisvaikutukset (Mohring-vaikutus) saattavat olla 5–10 kertaa ulkoisia kustannuksia suuremmat.

Lentoliikenteessä esimerkiksi Madridin lentokentällä ruuhkankustannuksien on arvioitu olevan 10 euroa lentokilometriltä (€/lentokm). EU-alueella lentoliikenteen Mohring-vaikutuksen on arvioitu olevan 2–16 euroa lentokilometriä kohden (€/lentokm). Ruuhkan ei katsota olevan tärkeä ulkoisvaikutus henkilölaivaliikenteessä, mutta satamissa rahtilaivojen ruuhkista syntyy ulkoisia kustannuksia.

### 3.4.2 Ruuhka hankearvioinneissa

Varsinaista ruuhkaa ei juuri esiinny Suomen rautateillä, mutta Ratahallintokeskuksen hankearvioinneissa otetaan huomioon hankkeen tuoma muutos matkustajien matkustusajassa. Matkustajien saama ajallinen hyöty on useissa ratahankkeissa merkittävä. Matkustajien ajan arvon määrittämiseen käytetään liikenne- ja viestintäministeriön yksikköarvoja, jotka on esitetty taulukossa 30.

Taulukko 30. Matkustajan ajan arvo kaikissa liikennemuodoissa vuoden 2005 hintatasossa. (LVM 2007, 30.)

Matkan tarkoitus	Yksikköarvot vuonna 2005 (€/h, henkilö)		Matkan tarkoitus Suomessa keskimäärin (HLT 2004–2005)					
	Kuljettaja	Matkustajat	Linja-auto	Juna	Muu raide-liikenne	Lento-liikenne	Henkilöauto	Kaikki matkat
Työajan matka	19,18	25,59	2 %	6 %	3 %	31 %	8 %	4 %
Työ- tai asiointimatka	-	7,22	98 %	94 %	97 %	69 %	92 %	96 %
Vapaa-ajan matka	-	7,22						

Vertaamalla LVM:n ohjearvoja CE Delftin suosituksiin nähdään, että sekä HEATCON että LVM:n arviot matkustajan ajan arvosta ovat samansuuntaisia.<sup>16</sup> HEATCON arviot ovat EU:n keskiarvoja, mutta toisaalta niissä ajan arvo on eroteltu liikennemuodoittain. Työmatkalla käytetty aika on kummassakin arvioitu lähes samansuuruisiksi (LVM 25,59 €/h, HEATCO 23,82 €/h). Sen sijaan muut matkat ovat LVM:n arviossa selvästi alhaisempia. Esimerkiksi työ- ja asiointimatkaan käytetyn ajan arvo on LVM:n ohjeessa alle puolet HEATCON suosittelemasta arvosta.

Tiehallinto käyttää hankearvioinneissaan tieliikenteessä tapahtuvalle ruuhkalle taulukoissa 31, 32 ja 33 esitettyjä yksikköarvoja. Tiehallinnon käyttämät yksikköarvot ovat hienojakoisempia kuin LVM:n suosittelemat kaikkien liikennemuotojen yhteiset yksikköarvot. Tiehallinnon ja HEATCON matka-ajan arvot ovat samaa suuruusluokkaa.

Taulukko 31. Kevyen ajoneuvon matka-aikasäästön arvot Suomessa vuonna 2005. (Tiehallinto 2006, 11.)

Autolaji	Matkan tarkoitus	Kuormitus henkilöä/ auto	euroa/ tunti/ henkilö	euroa/ tunti, auto
Kevyt ajoneuvo	Työajan matka (14,8 %)	1,34	23,59	31,56
	Työ- tai asiointimatka (37,4 %)	1,44	7,22	10,40
	Vapaa- tai loma-ajan matka (47,9 %)	2,18	7,22	15,76
	<b>Keskimäärin</b>	1,78	9,04	16,09
Henkilöauto	Työajan matka (13 %)	1,30	25,59	33,27
	Työ- tai asiointimatka (38 %)	1,43	7,22	10,32
	Vapaa- tai loma-ajan matka (49 %)	2,20	7,22	15,88
	<b>Keskimäärin</b>	1,79	8,95	16,03
Pakettiauto	Työajan matka (35 %)	1,50	16,19	24,29
	Työ- tai asiointimatka (30 %)	1,60	7,22	11,55
	Vapaa- tai loma-ajan matka (35 %)	1,90	7,22	13,72
	<b>Keskimäärin</b>	1,67	10,04	16,77

<sup>16</sup> Huomaa, että HEATCON arvot ovat vuoden 2002 hinnoissa, ja LVM:n vuoden 2005 hinnoissa.



Taulukko 32. Raskaan ajoneuvon matka-aikasäästön arvot Suomessa vuonna 2005.  
(Tiehallinto 2006, 11.)

Autolaji	Matkan tarkoitus	Kuormitus henkilöä/ auto	euroa/ tunti/ henkilö	euroa/ tunti/ auto
<b>Raskas ajoneuvo</b>				56,02
<b>Kuorma-auto</b>	Työajan matka	1,1	16,64	18,30
Linja-auto keskimäärin	Kuljettaja	1	19,18	
	<u>Matkustajat:</u>			
	Työajan matka (5 %)		25,59	
	Työ- tai asiointimatka (35 %)		7,22	
	Vapaa- tai loma-ajan matka (60 %)		7,22	
	<b>Keskimäärin matkustajia</b>	13,50	7,94	126,08
Linja-auto kaupunkiliikenne	Kuljettaja	1	20,29	
	<u>Matkustajat:</u>			
	Työajan matka (3 %)		25,59	
	Työ- tai asiointimatka (54 %)		7,22	
	Vapaa- tai loma-ajan matka (43 %)		7,22	
	<b>Keskimäärin matkustajia</b>	15,5	7,80	140,83
Linja-auto kaukoliikenne	Kuljettaja	1	17,4	
	<u>Matkustajat:</u>			
	Työajan matka (5 %)		25,59	
	Työ- tai asiointimatka (35 %)		7,22	
	Vapaa- tai loma-ajan matka (60 %)		7,22	
	<b>Keskimäärin matkustajia</b>	10,3	8,13	101,18

Taulukko 33. Yhdistelmäajoneuvon matka-aikasäästön arvot Suomessa vuonna 2005.  
(Tiehallinto 2006, 11.)

Autolaji	Matkan tarkoitus	Kuormitus henkilöä/ auto	euroa/ tunti, henkilö	euroa/ tunti, auto
<b>Yhdistelmäajoneuvo</b>	Työajan matka	1,1		<b>19,57</b>
Puoliperävaunu	Työajan matka	1,1	17,11	18,82
Täysperävaunu	Työajan matka	1,1	17,91	19,70

### 3.4.3 Johtopäätökset

Ruuhka on pääosin tieliikenteen ulkoisvaikutus; aikataulutetussa juna- tai lentoliikenteessä puhutaan usein sopivien liikennöinti-aikojen niukkuudesta. Toisaalta myös aikataulutetussa liikenteessä voi olla odottamattomia matka-aikojen viivästymisiä, jolloin myöhästymiset ovat verrattavissa tieliikenteen ruuhkan aiheuttamiin viivästyksiin. Ruuhkalla on matka-ajan pitenemisen lisäksi myös muita kustannuksia; esimerkiksi ilmastonmuutoskustannukset ja päästökustannukset kasvavat ruuhkan myötä.

Ruuhkan aiheuttamia ulkoisia kustannuksia on tutkittu paljon. Suomen kannalta käyttökelpoisimpia olisivat kansalliset ruuhkatutkimukset, sillä ruuhkan ulkoiset kustannukset riippuvat voimakkaasti paikallisista liikenneolosuhteista kuten liikennejärjestelyistä ja vaihtoehtoisten reittien määrästä. Tervosen (2008, 23) mukaan tieliikenteen osalta

ruuhkakustannusten laskenta hallitaan hyvin, mutta muiden liikennemuotojen ruuhkan arvottamiseen ei juuri löydy tutkimuksia. Tervonen pitää suomalaisessa tieliikenteen ruuhkakustannusten laskennassa ongelmallisena sitä, että menetetyt ja säästyneen matka-ajan ajatellaan olevan samanarvoiset. Tervosen mukaan tässä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää ulkomailla saatuja tutkimustuloksia menetetyt ja säästyneen ajan arvon suhteesta.

Ratahallintokeskus käyttää hankearvioinneissaan LVM:n ruuhkan ohjearvoja, jotka poikkeavat CE Delftin ja HEATCON ruuhkakustannusten suosituksista. LVM:n ohjearvot tarvitsevat päivittämistä. Päivittämisessä tulisi ottaa huomioon niin paikallinen tutkimus kuin kansainväliset suositukset. HEATCON tuloksia ei voida suoraan käyttää Suomen oloissa, sillä eurooppalainen keskiarvo ruuhkan ulkoisista kustannuksista on luultavasti liian suuri verrattuna Suomen liikenteen todellisiin ruuhkakustannuksiin.

Kansainvälisten tutkimusten mukaan tieliikenteen ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat merkittäviä. Liikenteen kasvun myötä ruuhkaongelmat voivat lisääntyä entisestään, mikäli liikenteen kasvu painottuu tieliikenteeseen. Rautatieliikennettä lisäämällä voidaan vähentää tieliikenteen ruuhkia ja siten tieliikenteen ulkoisia kustannuksia.

### 3.5 Onnettomuudet

#### 3.5.1 Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset

Onnettomuuksien ulkoisia kustannuksia ovat ne onnettomuuskustannukset, joita vakuutukset eivät kata. Toisin sanoen ulkoisten kustannusten taso ei riipu vain onnettomuuksien määrästä, vaan myös vakuutusjärjestelmästä. Onnettomuuksien ulkoisia kustannuksia voivat olla muun muassa materiaalivahingot, lääkekustannukset sekä kivusta ja särystä aiheutuvat kustannukset.

Onnettomuuksien ulkoisista kustannuksista on runsaasti tutkimuksia, mutta useimmat niistä keskittyvät kokonais- eikä rajakustannuksiin. Tutkijoiden kesken ei ole syntynyt konsensusta siitä, mikä on paras menetelmä ulkoisten onnettomuuskustannusten arvottamiseen. CE Delft suosittaa tilanteesta riippuen joko alhaalta-ylös- tai ylhäältä-alas-lähestymistapaa. Onnettomuuksien rajakustannusten arvottamiseen käytetään alhaalta-ylös-lähestymistapaa ja onnettomuuksien kokonais- ja keskimääräiskustannusten arvottamiseen ylhäältä-alas-lähestymistapaa. CE Delftin mukaan onnettomuuksien rajakustannukset, kokonaiskustannukset voidaan laskea alla olevien laatikoiden osoittamalla tavalla. Ylemmän laatikon riskijoustolla tarkoitetaan lisäonnettomuuden riskiä kyseisellä liikennemäärällä.

Onnettomuuksien rajakustannukset =  
liikenteen määrä × riskijousto × onnettomuuden yksikkökustannus × onnettomuuden ulkoisvaikutusten osuus

Onnettomuuksien kokonaiskustannukset =  
onnettomuuksien määrä × onnettomuuden yksikkökustannus × onnettomuuden ulkoisvaikutusten osuus

Vain osa onnettomuuksista tulee viranomaisten tietoon, joten laskelmissa käytetään korjaavia kertoimia kaikkien onnettomuuksien huomioimiseksi. CE Delft suosittaa käyttämään taulukossa 34 esitettyjä HEATCO:n korjauskertoimia. Korjauskertoimet ovat keskiarvoisia Euroopan alueelle. Korjauskertoimet ovat sitä suurempia, mitä lievemmästä onnettomuudesta on kyse. Korjauskertoimista löytyy myös liikenne-  
muotokohtaisia eroja. Esimerkiksi pyöräonnettomuuksien korjauskertoimet ovat hyvin suuria, kun taas auto-onnettomuuksien korjauskerroin on keskimääräistä pienempi.

*Taulukko 34. Vajaaraportoinnista johtuvat korjauskertoimet (CE Delft 2007, 40.)*

Recommendation for European average correction factors for unreported accidents

	Fatality	Serious injury	Slight injury	Average injury	Damage only
Average	1.02	1.50	3.00	2.25	6.00
Car	1.02	1.25	2.00	1.63	3.50
Motorbike/ moped	1.02	1.55	3.20	2.38	6.50
Bicycle	1.02	2.75	8.00	5.38	18.50
Pedestrian	1.02	1.35	2.40	1.88	4.50

Source: HEATCO (2005).

Vajaaraportoinnista johtuvien korjauskertoimien lisäksi onnettomuuskustannusten laskentaan tarvitaan muun muassa arvio elämän arvosta. Elämän arvoksi CE Delft suosittelee käyttämään puoltatoista miljoonaa euroa, joka on keskiarvo useiden tutkimuksen käyttämästä elämän arvosta. Kyseessä on keskimääräinen eurooppalainen arvo, ja se tulee muuntaa maakohtaisesti henkeä kohden olevan bruttokansantuotteen ja ostovoimapariteetin mukaan. Suomen osalta arviot on esitetty taulukossa 35.

*Taulukko 35. Kuolemantapausten ja onnettomuuksien kustannukset Suomessa (CE Delft 2007, 42.)*

Table 9 Estimated values for casualties avoided (€2002, factor price)

Country	Value of safety per se			Direct and indirect economic costs			Total		
	Fatality*	Severe injury	Slight injury	Fatality	Severe injury	Slight injury	Fatality	Severe injury	Slight injury
Finland	1,580,000	205,000	15,800	158,000	25,600	1,500	1,738,000	230,600	17,300

Jotta onnettomuuksien ulkoiset kustannukset voidaan laskea, tarvitaan edellä mainittujen onnettomuuksien vajaaraportoinnin ja elämän arvon lisäksi tietoa muun muassa onnettomuusriskistä ajoneuvokilometriä kohden, riskin suhteesta liikenteen määrään ja ruuhkan vaikutuksesta onnettomuusriskiin. Myös käytössä oleva vakuutusjärjestelmä vaikuttaa onnettomuuksien ulkoisten kustannusten määrään.

Onnettomuuksien ulkoisten kustannusten yleistäminen on haastavaa, mutta kansallisten onnettomuuskustannustutkimusten puuttuessa CE Delft suosittelee käyttämään UNITE-tutkimuksessa saatuja tutkimustuloksia. UNITEN Suomen tieliikenteelle laskemat ulkoiset onnettomuuskustannukset on esitetty taulukossa 36. Henkilöauton ulkoisten

onnettomuuskustannusten on arvioitu olevan noin 0,25–3,43 senttiä ajoneuvokilometriltä (€ct/ajoneuvokm).

*Taulukko 36. Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset Suomessa (€ct/ajoneuvokm).  
(CE Delft 2007, 44.)*

Unit values for accidents for different network types in (€ct/vkm) for passenger cars, motor cycles and heavy duty vehicles (€2000)

	Passenger cars			Motor cycles			HDV		
	Urban roads	Motorways	Other roads	Urban roads	Motorways	Other roads	Urban roads	Motorways	Other roads
	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm	€ct/vkm
Finland	3.43 (-0.25-5.4)	0.25 (-0.41-0.41)	1.31 (-1.55-2.13)	25.27 (-1.55-72.12)	0.16 (-0.49-0.49)	4.5 (-9.08-12.76)	8.75 (-0.33-11.61)	0.25 (-0.25-0.25)	2.21 (-2.13-2.94)

Rautatie- ja lentoliikenteelle ei ole olemassa vastaavanlaisia onnettomuuskustannuslaskelmia, sillä vakuutusjärjestelmät poikkeavat tieliikenteen vakuutusjärjestelmistä. Yleisesti ottaen tieliikenteessä ulkoisten onnettomuuskustannusten osuus kaikista onnettomuuskustannuksista on suurempi kuin muissa liikennemuodoissa. Euroopassa rautatieliikenteen keskimääräisten ulkoisten onnettomuuskustannusten on laskettu olevan 8–30 senttiä junakilometriä kohden. Lentoliikenteen osalta CE Delft suosittaa käyttämään INFRAS/IWW:n (2004) tuloksia. Niiden mukaan lentoliikenteen ulkoiset onnettomuuskustannukset ovat noin 12–309 euroa nousua/laskeutumista (LTO) kohden.

### 3.5.2 Onnettomuudet hankearvioinneissa

Liikenne- ja viestintäministeriön ohjeessa (2007) on annettu yksikköarvot tieliikenteen onnettomuuskustannuksille. Rautateillä tapahtuvat tasoristeysonnettomuudet luetaan kuuluvan tieliikenteen onnettomuuksiin, jolloin esimerkiksi tasoristeyksen poistaminen vähentää onnettomuuksista aiheutuvia ulkoisia kustannuksia.

Hankearvioinneissa käytetyt yksikköarvot on esitetty taulukossa 37. Vertaamalla LVM:n ohjearvoja CE Delftin suosituksiin (taulukko 34) nähdään, että lievän onnettomuuden ulkoiset kustannukset ovat CE Delftin mukaan 17 300 euroa (vuoden 2002 hinnoissa), kun LVM:n ohjearvon mukaan onnettomuuskustannukset ovat 44 300 euroa (vuoden 2005 hinnoissa). Kuoleman yksikköarvo on kummassakin ohjeessa samansuuruinen (LVM 1 752 000 €, CE Delft 1 738 000€).

Taulukko 37. RHK:n käyttämät tieliikenteen onnettomuuskustannukset Suomessa vuoden 2000 hintatasossa. (LVM 2007, 40.)

Onnettomuuden seuraus/onnettomuustyyppi	Kustannus (€)
Kuolema	1 752 000
Pysyvä vamma	986 000
Vaikea tilapäinen vamma	227 000
Lievä tilapäinen vamma	44 300
Tilapäinen vamma keskimäärin	135 000
Keskimääräinen (ei kuolemaan johtanut) vamma	221 000
Kuolemaan johtanut onnettomuus	2 205 000
Vammautumiseen johtanut onnettomuus	330 000
Henkilövahinko-onnettomuus keskimäärin	471 000
Omaisuusvahinko-onnettomuus	2 700
Tieliikenneonnettomuus keskimäärin	118 000
Tasoristeysonnettomuus keskimäärin	350 000

Tervosen (2008, 25) mukaan tieliikenteen onnettomuusriskien ja onnettomuuskustannusten laskenta hallitaan hyvin. Onnettomuuksista aiheutuvan hyvinvoinnin menetyksen arvottamista on tehty Suomessa kuitenkin vähän, ja laskennassa hyödynnetäänkin ulkomaisia tutkimustuloksia. Suomalainen onnettomuusriskin arvottaminen parantaisi kustannusarvioiden tarkkuutta. Muiden liikennemuotojen osalta tutkimustarve ei ole suuri, sillä onnettomuuksien harvinaisuuden vuoksi onnettomuuskustannusten taso on matala. Tervosen mukaan hinnoittelu muussa kuin tieliikenteessä ei myöskään merkittävästi vähentäisi onnettomuusriskiä ja -kustannuksia.

### 3.5.3 Johtopäätökset

Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset muodostavat tieliikenteessä merkittävän osan ulkoisista kustannuksista. Sen sijaan rautatieliikenteessä onnettomuuksien ulkoiset kustannukset ovat vähäisiä. Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset ovat kuitenkin osa RHK:n hankearviointeja, sillä hankkeet vaikuttavat usein tieliikenteen onnettomuuskustannuksiin.

CE Delftin (2007) raportissa on esitetty suositusarvot henkilövahingoille Suomessa. Nämä onnettomuuksien ulkoiset kustannukset vastaavat osittain Suomessa käytettyjä yksikköarvoja, mutta etenkin lievien onnettomuuksien yksikkökustannukset vaihtelevat.

LVM:n hankearviointien yksikköarvoista puuttuvat kilometrikohtaiset onnettomuuskustannukset. CE Delftin suosittlemassa UNITE-tutkimuksessa on esitetty suositusarvot Suomen onnettomuuksien ulkoisiksi kustannuksiksi ajoneuvokilometriä kohden. Esimerkiksi henkilöauton ulkoiset onnettomuuskustannukset ovat kulkuväylästä riippuen 0,25–3,43 senttiä ajoneuvokilometritä (€/ajoneuvokm).

### 3.6 Muut ulkoisvaikutukset

Edellisissä luvuissa on esitelty tutkimuksissa yleisimmin huomioitua ulkoisvaikutusta. Tämän lisäksi liikenne voi vaikuttaa muun muassa eliöstöön, maisemaan, maaperään ja vesistöihin. Joillain alueilla myös tärinä on merkittävä ulkoisvaikutus. Näitä ulkoisvaikutuksia ei usein huomioida, sillä niiden arvottaminen on verrattain epävarmaa ja monimutkaista. Vakiintuneita arvottamismenetelmiä ei välttämättä ole olemassa. Näiden ulkoisvaikutusten tapauksessa liikenteen määrällä ei tyypillisesti ole suoraa, tarkasti määriteltyä yhteyttä vaikutuksiin. Tällöin rajakustannusten määrittely ei välttämättä ole tarkoituksenmukaistakaan, vaan tarvitaan muita määrittelytapoja. Seuraavissa alaluvuissa on lyhyesti esitelty näitä tutkimuksissa harvemmin huomioituja ulkoisvaikutuksia.

Ratahallintokeskuksen hankearviointiohjeessa ei ole annettu yksikköarvoja esimerkiksi tärinästä aiheutuvalle haitalle tai maaperän ja vesien pilaantumiselle. Jatkossa voi tulla aiheelliseksi selvittää myös näiden ulkoisvaikutusten yksikköarvojen lisääminen hankearviointiohjeeseen.

#### 3.6.1 Tärinä

Suomessa tärinä on verrattavissa monin tavoin meluun. Meluun ja tärinään viitataan usein yhdessä, mutta ulkoisia kustannuksia käsittelevissä tutkimuksissa kustannukset on arvioitu vain melulle. Kansainvälisiä tutkimuksia tärinän ulkoisista kustannuksista on erittäin niukasti. Tärinä saatetaan myös kategorisoida samaan luokkaan runkomelun kanssa. Tärinää ei ole huomioitu esimerkiksi CE Delftin (2007) tai INFRAS/IWW:n (2004) raporteissa.

Myöskään Tervonen (2008) ei ota kantaa tärinän ulkoisiin kustannuksiin liikenteen ulkoisvaikutuksia käsittelevässä muistiossaan. Tervosen mukaan syy tärinän arvottamistutkimusten vähäisyyteen lienee se, että yleistettävissä olevien kustannusarvioiden määrittäminen on erittäin vaikeaa. Toinen syy voi olla se, että tutkimuksissa on priorisoitu ulkoisvaikutuksia, joilla on selvästi mitattavia haittavaikutuksia terveyteen (melu, pakokaasut).

Sveitsin ympäristö-, liikenne-, energia- ja viestintäministeriö on teettänyt INFRASilla selvityksen tärinän ulkoisista kustannuksista Sveitsissä. Tutkimuksessa laskettiin tärinällä olevan kahdenlaisia haittoja: rakennuksiin kohdistuvia haittoja ja ihmisiin kohdistuvia haittoja. Vakavat ihmiseen kohdistuvat terveyshaitat todettiin tutkimuksessa vähäisiksi. Tärinän ihmisille aiheutuvat kustannukset koostuivatkin tutkimuksessa suurimmaksi osin epämiellyttävyyden tunteesta ja unihäiriöistä.

Sveitsiläisessä tutkimuksessa esitellään kaksi tapaa arvottaa tärinästä koitua haitta. Toinen arvottamismenetelmä perustuu ehkäisykustannuksiin ja toinen haittakustannuksiin. Ehkäisykustannusmenetelmässä tärinän ulkoisten kustannusten ajatellaan vastaavan sitä rahamäärää, joka käytetään tärinän ehkäisyyn tietyn tärinätason saavuttamiseksi. Ehkäisykustannukset lasketaan tietyllä rataosuudella tehtävien toimenpiteiden kustannuksista, ja saatu kustannus kerrotaan koko maan tärinähaittaa koskevalla ratapituudella. (ARE 2006, 123–131.) Menetelmää voitaneen käyttää

tapauksissa, joissa tärinän ehkäisemisen kustannukset ovat suurin piirtein samansuuruiset paikasta riippumatta.

Haittakustannusmenetelmässä tärinästä aiheutuvat haittakustannukset lasketaan erikseen rakennuksille ja ihmisille. Rakennusten osalta haittakustannusten arviointia pidetään erittäin ongelmallisena, sillä Sveitsissä rakennuksille arvioidaan aiheutuvan vahinkoja hyvin harvoin. Ihmisten kokemien haittakustannusten arviointi on myös haastavaa, sillä useimmissa tapauksissa kokemukset melun ja tärinän häiritsevyydestä kulkevat käsi kädessä.

Asukkaiden kokeman tärinän ulkoisten kustannusten erottamista melun ulkoisista kustannuksista on ongelmallista, sillä tärinäalueet ovat samalla usein myös melualueita. Öhströmin (1996) tutkimuksessa ongelma pyrittiin ratkaisemaan vertailemalla melualueita sellaisiin alueisiin, joilla esiintyy sekä tärinä- että meluhaittoja. Havaittiin, että asukkaat arvioivat tärinäalueilla haitat suunnilleen samansuuruisiksi kuin vastaavalaaisilla melualueilla, joilla melu oli 10 dB tärinäalueen melua korkeampi. Sveitsiläisessä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään Öhströmin 10 dB:n lisäkustannusta alueilla, joilla esiintyi melun lisäksi tärinää. Soveltamalla melun kustannusten arvottamista voitiin saada karkea arvio tärinän mahdollisista kustannuksista. (ARE 2006, 123–131, 233–236.)

Sveitsiläisessä tutkimuksessa käytetyt ehkäisykustannus- ja haittakustannusmenetelmät tuottivat jokseenkin samansuuntaiset tulokset. Ehkäisykustannusmenetelmällä rautatie liikenteen aiheuttaman tärinän vuosittaisiksi ulkoisiksi kustannuksiksi saatiin noin 13 miljoonaa euroa (20 miljoonaa Sveitsin frangia). Tärinän kustannuksista reilu kolmannes aiheutui tavaraliikenteestä ja vajaa kaksi kolmasosaa henkilöliikenteestä. Haittakustannusmenetelmällä tärinän vuosittaisiksi ulkoisiksi kustannuksiksi saatiin noin 11 miljoonaa euroa (18 miljoonaa Sveitsin frangia), joista reilu 40 % oli terveyskustannuksia ja loput hedonisten hintojen menetelmällä laskettuja tärinän häiritsevyyden kustannuksia. (ARE 2006, 123–131.)

Suomessa tärinä on meluun verrattavissa oleva ongelma, ja tutkimusta tärinän ulkoisista kustannuksista tarvitaan. Olisi tarpeellista saada edes karkea arvio tärinän ulkoisten kustannusten suuruusluokasta ja tärinän osuudesta liikenteen ulkoisvaikutuksista.

### **3.6.2 Luonto ja maisema**

Elinympäristön menetys, elinympäristön pirstaloituminen ja elinympäristön laadun heikkeneminen ovat luontoon ja maisemaan liittyviä liikenteen ulkoisvaikutuksia. Nämä ulkoiset kustannukset syntyvät enimmäkseen infrastruktuurin olemassaolosta eivätkä niinkään sen käytöstä. Tämän johdosta lisäliikenteestä koituvat rajakustannukset ovat erittäin matalat.

Luontoon ja maisemaan kohdistuvien haittojen arvottamiseen käytetään esimerkiksi korjaus- tai kompensatiokustannuksiin perustuvaa menetelmiä. Näissä menetelmissä ulkoiset kustannukset määritetään sen mukaan, paljonko haittojen poistaminen tai kompensointi maksaa. IWW/INFRASin (2004) tekemän tutkimuksen mukaan korjauskustannukset voivat olla esimerkiksi 10–40 euroa neliometriä kohden (€/m<sup>2</sup>).

CE Delftin selvityksessä luonnolle ja maisemalle aiheutuvat ulkoiset kustannukset on esitetty Sveitsiä esimerkkinä käyttäen (taulukko 38). Koska luonnolle ja maisemalle aiheutuvien haittojen rajakustannukset ovat erittäin matalat, on kustannukset suhteutettu infrastruktuurin kokoon. Esimerkiksi tieliikenteessä luonnolle ja maisemalle aiheutuvien vuosittaisten keskimääräiskustannusten on arvioitu olevan 11 000 euroa kilometriltä. Rautatieliikenteessä vastaavat vuosittaiset kustannukset ovat keskimäärin 16 000 euroa kilometriltä.

*Taulukko 38. Keskimääräiset vuosittaiset kustannukset Sveitsissä infrastruktuuri-kilometriä kohden. (CE Delft 2007, 89.)*

Habitat fragmentation and habitat loss (main methodology): average costs per km Infrastructure for road and rail transport in Switzerland

Transport mode	Average costs (in 1,000 EUR/(km*a))		
	Habitat loss	Habitat fragmentation	Total
Road total	3.6	7.1	11
Motorways	19	92	110
1 <sup>st</sup> class / national roads	3.2	13	16
2 <sup>nd</sup> class / regional roads	4.2	2.7	6.9
3 <sup>rd</sup> class roads	2.2	1.6	3.9
Railway total	6.0	10	16
Railway single track	3.3	5.6	8.9
Railway multi track	14	23	37

Source: OSD, 2003 (data for year 2000).

CE Delft suosittelee käyttämään sveitsiläisessä tutkimuksessa saatuja arvoja (taulukko 38) karkeassa kustannusten arvioinnissa, mikäli kansallisia tutkimuksia ei ole saatavissa. Taulukossa 39 on esitetty vaihtoehtoisella arviointimenetelmällä saadut keskimääräiskustannukset. Kustannukset ovat IWW/INFRASin laskemia ja koskevat Eurooppaa keskimäärin.

*Taulukko 39. INFRAS/IWW:n suositukset keskimääräisistä kustannuksista Euroopassa infrastruktuurikilometriä kohden. (CE Delft 2007, 89.)*

Costs for nature and landscape (alternative methodology): average costs per km Infrastructure for road, rail and water transport in Europe (data for EU15 plus CH and N)

Transport mode	Average costs (in 1,000 EUR/(km*a))
Road total	4,1
Motorways	49
1 <sup>st</sup> class / national roads	5,5
2 <sup>nd</sup> class / regional roads	4,0
3 <sup>rd</sup> class roads	3,1
Railway total	1,7
Railway single track	1,3
Railway multi track	2,1

Source: INFRAS/IWW, 2004a (data for year 2000).

Vertaamalla INFRAS/IWW:n laskelmia sveitsiläiseen tutkimukseen nähdään, että sveitsiläisten saamat kustannukset ovat selvästi korkeammat kuin IWW/INFRASin laskemat luonnon ja maiseman kustannukset. Tieliikenteen osalta ero kustannusten



välillä on melkein kolminkertainen ja rautatieliikenteessä lähemmäs kymmenkertainen. Sveitsiläinen tutkimus arvioi rautatieliikenteen hieman tieliikennettä haitallisemmaksi luonnolle ja maisemalle. IWW/INRFAS arvioi puolestaan tieliikenteen yli kaksi kertaa rautatieliikennettä haitallisemmaksi. Suurista tutkimuksen välisistä eroista nähdään, että tutkimukset eivät ole yksimielisiä luonnolle ja maisemalle aiheutuvien ulkoisten kustannusten määrästä. Lisäksi tutkimuksista nähdään, että luonnolle ja maisemalle aiheutuviin kustannusten määrään vaikuttavat merkittävästi myös paikalliset olosuhteet. Voidaan olettaa, että Sveitsissä kustannukset maisemalle ja luonnolle ovat Alppien vuoksi suuremmat kuin Euroopassa keskimäärin.

### 3.6.3 Maaperän ja vesien pilaantuminen

Liikenteessä tapahtuvat polttoaine- ja muut vuodot aiheuttavat vahinkoa maaperälle ja pinta- ja pohjavesille. Erityisen vahingollisia maaperälle ja vesille ovat raskasmetallit ja PAH-yhdisteet. Lyijyttömään polttoaineeseen siirtymisen myötä raskasmetallipäästöt ovat kuitenkin vähäisiä. Maaperälle ja vesille aiheutuvien ulkoisten kustannusten arvottamiseen käytetään esimerkiksi korjauskustannuksiin tai haittakustannuksiin perustuvia menetelmiä. Taulukossa 40 on esitetty kahdessa eri tutkimuksessa lasketut pilaantuneiden maiden puhdistuksesta aiheutuvat kustannukset.<sup>17</sup> Tutkimuksesta riippuen pilaantuneiden maiden puhdistuksesta aiheutuvien kustannusten on laskettu olevan 36–58 euroa kuutiometriä kohden (€/m<sup>3</sup>). Suomessa puhdistuskustannukset ovat eurooppalaisia arvioita korkeammat; karkean arvion mukaan puhdistuskustannukset olisivat noin 100 euroa kuutiometriltä (€/m<sup>3</sup>).

Taulukko 40. Pilaantuneiden maiden puhdistuksesta aiheutuvat kustannukset kuutiometriä kohden (CE Delft 2007, 90).

Repair costs for the disposal and replacement of the polluted soil

Data source, country	Specific repair costs (in EUR/m <sup>3</sup> )
OSD, 2006, Switzerland	58
UNITE, 2000c, EU	36

Source: OSD, 2006 (data for 2004), UNITE, 2000c (data for 1998).

CE Delft suosittelee käyttämään maaperän ja vesien ajoneuvo- ja junakilometrikohtaisiin ulkoisiin kustannuksiin sveitsiläisen tutkimuksen tuloksia, jotka on esitelty taulukossa 41. Taulukon mukaan tieliikenteessä maaperälle ja vesille aiheutuvat ulkoiset kustannukset ovat 0,06–1,07 senttiä ajoneuvokilometriä kohden (€/ajoneuvokm). Rautatieliikenteessä maaperälle ja vesille aiheutuvien ulkoisvaikutusten on laskettu olevan 0,29–1,02 senttiä junakilometriltä (€/junakm). Tutkimuksessa on oletettu, että kustannukset vesille ovat hyvin vähäisiä. Taulukon kustannukset koostuvatkin puhtaasti pilaantuneiden maiden puhdistuskustannuksista. (ARE 2006, 110.) Taulukossa esitetyt kustannukset voidaan muuttaa maakohtaisiksi käyttämällä maan henkeä kohden olevaa bruttokansantuotekerrointa ja ostovoimapariteettikerrointa.

<sup>17</sup> OSD:n mukaan Sveitsissä kriittiset pitoisuudet pilaantuneille maille ovat seuraavat: kadmium 2 g/m<sup>3</sup>, sinkki 300 g/m<sup>3</sup>, lyijy 200 g/m<sup>3</sup>, kupari 150 g/m<sup>3</sup> ja PAH-yhdisteet 20 g/m<sup>3</sup>. (CE Delft 2007, 281.)

Taulukko 41. Maaperän ja vesien pilaantumisesta aiheutuvat kustannukset ajoneuvo-/  
junakilometriä kohden Sveitsissä. (CE Delft 2007, 90.)

Soil and water pollution: unit costs for road and rail transport in Switzerland

	Transport mean	Unit costs, in €/vkm
Road	Passenger cars	0.06
	Busses (Public transport)	1.07
	Coaches	1.05
	Motorcycles	0.04
	Vans	0.17
	Heavy duty vehicles	1.05
Rail	Rail total	0.43
	Rail passenger	0.29
	Rail freight	1.02

Taulukossa 41 esitetyt maaperälle ja vesille aiheutuvat ulkoiset kustannukset ovat karkeita arvioita, ja CE Delft suosittaa käyttämään ensisijaisesti kansallisia tutkimuksia. Ajoneuvo- ja junakilometrikohdaisia kustannuksia ei kuitenkaan voida laskea Suomelle vaikka puhdistuskustannukset tiedettäisiinkin, sillä tarvitaan lisää tietoa esimerkiksi puhdistettavien alueiden määrästä suhteessa liikenteen määrään.

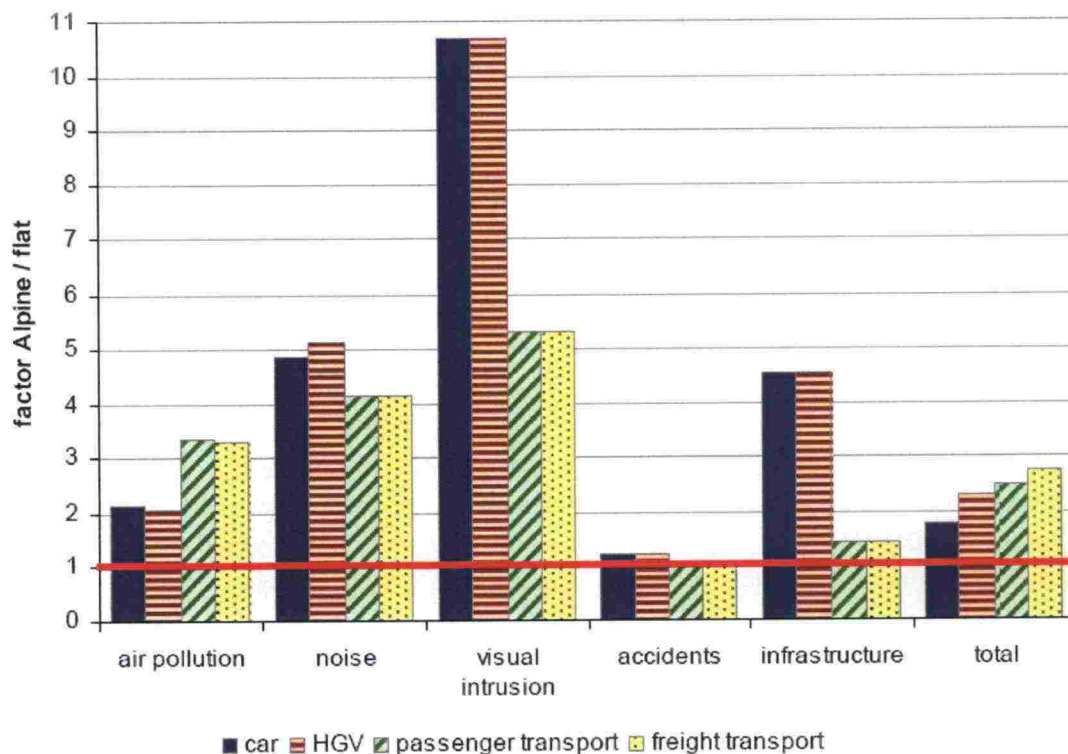
### 3.6.4 Herkät alueet

Niin kutsuttu eurovinjetti-direktiivi (1999/62/EC) sallii rakennuskustannusten kattamiseksi tullimaksujen keräämisen herkällä alueilla kuten Alpeilla ja Pyreneillä. Herkkien alueiden käsite ei CE Delftin mukaan ole yksiselitteinen. GRACE-tutkimuksessa herkällä alueilla tarkoitetaan alueita, joilla ympäristölle aiheutuvat haitat ovat tavallista suurempia. Haitat voivat olla suurempia esimerkiksi paikallisten erityisolosuhteiden tai harvinaisten luonto- tai kulttuuriperintökohteiden takia.

Herkkien alueiden ulkoisvaikutusten yleistäminen on vaikeaa, sillä tutkimuksia on hyvin vähän. GRACE-tutkimuksessa on tutkittu Alppien alueen ulkoisvaikutuksia. Tutkimusta ei voida yleistää esimerkiksi Suomen herkkiin alueisiin. Sen avulla voidaan kuitenkin havainnollistaa ulkoisten kustannusten eroja tavallisten alueiden ja herkkien alueiden välillä.

GRACE-tutkimuksessa selvitettiin ulkoisten kustannusten eroa Alppien alueella ja ”tavallisella” alueella. Arvottamismenetelmänä käytettiin vaikutuspolkumenetelmää. Tutkimustulokset on esitetty kuvassa 11. Tutkimuksen mukaan tieliikenteen ulkoiset kustannukset ovat vuoristoalueella noin kaksinkertaiset verrattuna tavallisen alueen ulkoisiin kustannuksiin. Rautateille vastaava lukema on hieman suurempi, 2,5. Ero kertoimissa johtuu pääosin rautatieliikenteen suuremmista partikkelipäästöistä mäki-jarrutuksissa.

Factors Alpine/flat for the different effects for road (car and HGV) and rail transport (passenger and freight transport)



Source: GRACE, 2006c.

Kuva 11. Kertoimet herkkien alueiden ulkoisten kustannusten laskentaan Alpeilla. (CE Delft 2007, 90.)

Suurin ulkoisten kustannusten ero vuoristoalueen ja tavallisen alueen välillä on maisemaan kohdistuvassa haitassa. Vaikka maisemahaitoista koetut ulkoiskustannukset ovat yli kymmenkertaiset tavalliseen alueeseen verrattuna, ei rajakustannuksissa juuri ole eroa. Lisäliikenteen tuoma maisemahaitta on kummassakin tapauksessa olematon ja suurin haitta aiheutuu infrastruktuurin olemassaolosta.

Sveitsiläiset tutkimustulokset ovat siirrettävissä ainoastaan muille vuoristoalueille, eikä niitä voida hyödyntää muiden herkkien alueiden kustannusten arvioinnissa. Tutkimustuloksia ei voida hyödyntää Suomen liikenteeseen. Mikäli Suomessa lasketaan ulkoisia kustannuksia erityisen herkillä alueilla (kulttuurimaisemat, arvokkaat luontokohteet), tarvitaan näillä alueilla omat tutkimuksensa ulkoisten kustannusten kertoimien selvittämiseksi.

### 3.6.5 Energian-, polttoaineen-, ajoneuvojen ja infrastruktuurin tuotannon epäsuorat ulkoiset kustannukset

Energiantuotanto, ajoneuvojen valmistus ja infrastruktuurin rakentaminen ja kunnossapito aiheuttavat liikenteessä epäsuoria ulkoisvaikutuksia. Nämä ulkoisvaikutukset syntyvät muualla kuin itse liikenteessä, ja siksi niiden sisäistäminen tulisi ainakin osittain hoitaa liikennesektorin ulkopuolella (esimerkiksi energiasektorissa). Epäsuorista ulkoisista kustannuksista energiantuotannon ja polttoaineketjun kustannukset ovat tutkituimpia. Sen sijaan esimerkiksi infrastruktuurin tuotannon ja kunnossapidon

epäsuorista kustannuksista on vain vähän tietoa. CE Delftin (2007) raportti keskittyy vain energian- ja polttoaineentuotannon aiheuttamiin epäsuoriin ulkoisiin kustannuksiin.

Junaliikenteen merkittävimmät epäsuorat ulkoisvaikutukset aiheutuvat sähkövetoisen raideliikenteen sähköntuotannosta.<sup>18</sup> Taulukoissa 42–46 on esitetty Saksan tieliikenteen, rautatieliikenteen, lentoliikenteen ja sisävesiliikenteen kuluttamien polttoaineiden tuotannosta aiheutuvat epäsuorat kustannukset. Päästötiedot on saatu TREMOVEsta. Mukaan on laskettu vain energiantuotannosta aiheutuvat pakokaasupäästöt ja ilmastonmuutuskustannukset; esimerkiksi ydinvoiman aiheuttamia ulkoisia kustannuksia ei ole huomioitu. Taulukoissa esitettyjä ulkoisia kustannuksia ei voida siirtää suoraan Suomen oloihin, sillä pakokaasupäästöistä aiheutuvat ulkoiset kustannukset riippuvat muun muassa väestön tiheydestä.

---

<sup>18</sup> Sähkövetoisen junaliikenteen sähkönkulutuksen aiheuttamat epäsuorat ulkoisvaikutukset on huomioitu luvussa 3.3.

*Taulukko 42. Tieliikenteen polttoaineen tuotannosta aiheutuvat epäsuorat ulkoiset kustannukset Saksassa (CE Delft 2007, 94.)*

Costs of up- and downstream processes (fuel production, air pollution and climate change costs) in €/ct/vkm for passenger cars and heavy duty vehicles (Example Germany, Emissions from TREMOVE model, HEATCO and CAFE CBA valuation factors for Germany used, climate change valuation based on costs factors (€/t CO<sub>2</sub>) for 2010 (Table 26)), Price base 2000

Vehicle	Size	EURO-Class	Metropolitan	Urban	Interurban	Motorways	Average
			(€/ct/vkm)	(€/ct/vkm)	(€/ct/vkm)	(€/ct/vkm)	(€/ct/vkm)
Passenger Car Petrol	<1,4L	EURO-0	0.81	0.85	0.63	0.78	0.74
		EURO-1	0.90	0.90	0.62	0.64	0.70
		EURO-2	0.83	0.83	0.56	0.58	0.64
		EURO-3	0.82	0.81	0.56	0.57	0.63
		EURO-4	0.74	0.74	0.52	0.54	0.58
	1,4-2L	EURO-0	1.00	0.99	0.74	0.97	0.88
		EURO-1	1.08	1.07	0.71	0.72	0.81
		EURO-2	1.01	1.01	0.67	0.66	0.76
		EURO-3	0.97	0.97	0.65	0.66	0.74
		EURO-4	0.90	0.90	0.61	0.62	0.69
	>2L	EURO-0	0.83	0.83	0.57	0.57	0.64
		EURO-1	1.40	1.39	0.90	0.90	1.03
		EURO-2	1.38	1.37	0.91	0.90	1.03
		EURO-3	1.16	1.16	0.74	0.71	0.85
		EURO-4	1.25	1.24	0.78	0.73	0.89
Passenger Car Diesel	<1,4L	EURO-0	1.11	1.10	0.69	0.65	0.79
		EURO-2	0.51	0.50	0.38	0.40	0.42
		EURO-3	0.47	0.46	0.35	0.36	0.38
		EURO-4	0.43	0.42	0.32	0.33	0.35
		EURO-5	0.45	0.45	0.34	0.35	0.37
	1,4-2L	EURO-0	0.64	0.64	0.41	0.45	0.48
		EURO-1	0.69	0.69	0.52	0.55	0.58
		EURO-2	0.67	0.66	0.50	0.52	0.55
		EURO-3	0.61	0.61	0.45	0.47	0.50
		EURO-4	0.55	0.55	0.41	0.42	0.45
	>2L	EURO-5	0.58	0.58	0.43	0.44	0.48
		EURO-0	0.89	0.88	0.56	0.62	0.67
		EURO-1	0.96	0.95	0.72	0.76	0.80
		EURO-2	0.92	0.91	0.68	0.72	0.76
		EURO-3	0.83	0.83	0.62	0.64	0.68
Trucks	<7.5t	EURO-4	0.75	0.75	0.56	0.58	0.62
		EURO-5	0.76	0.76	0.57	0.59	0.63
		EURO-0	1.58	1.58	1.44	1.40	1.42
		EURO-1	1.34	1.34	1.24	1.24	1.25
		EURO-2	1.28	1.28	1.19	1.20	1.20
	7.5-16t	EURO-3	1.35	1.35	1.26	1.25	1.26
		EURO-4	1.27	1.27	1.18	1.17	1.18
		EURO-5	1.30	1.30	1.20	1.19	1.20
		EURO-0	2.46	2.45	2.16	2.01	2.09
		EURO-1	2.10	2.09	1.87	1.74	1.81
	16-32t	EURO-2	2.03	2.02	1.81	1.70	1.76
		EURO-3	2.11	2.10	1.87	1.74	1.81
		EURO-4	1.97	1.96	1.75	1.63	1.69
		EURO-5	2.00	2.00	1.78	1.65	1.72
		EURO-0	2.44	2.44	2.16	2.00	2.05
>32t	EURO-1	2.10	2.09	1.86	1.74	1.78	
	EURO-2	2.02	2.02	1.80	1.68	1.72	
	EURO-3	2.11	2.10	1.87	1.74	1.78	
	EURO-4	1.97	1.96	1.75	1.62	1.66	
	EURO-5	2.00	2.00	1.78	1.65	1.69	
>32t	EURO-0	3.54	3.54	3.05	2.73	2.78	
	EURO-1	3.11	3.10	2.69	2.41	2.46	
	EURO-2	3.03	3.02	2.63	2.35	2.40	
	EURO-3	3.11	3.11	2.68	2.39	2.44	
	EURO-4	2.90	2.90	2.50	2.23	2.27	
EURO-5	2.95	2.95	2.54	2.26	2.31		

Source emission factors: TREMOVE Base Case (model version 2.4.1).

Rautatieliikenteen käyttämän polttoaineen ja sähkön epäsuorat ulkoiset kustannukset on esitetty taulukossa 43. Kustannuksissa ei ole huomioitu sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästöjä, sillä ne on käsitelty jo luvussa 3.3. Sen sijaan taulukko kattaa sähkön- tuotannon ja polttoaineen tuotannon päästökustannukset: taulukossa 43 esitetyt epäsuorat kustannukset ovat samat kuin luvussa 3.3 esitetyt junaliikenteen epäsuorat päästökustannukset (taulukko 20). Kuten tieliikenteessä, myös rautatieliikenteessä suomalaiset ulkoiset kustannukset voidaan muun muassa väentihyden takia olettaa pienemmiksi kuin saksalaiset kustannukset.

*Taulukko 43. Rautatieliikenteessä käytetyn polttoaineen ja sähkön tuotannoista aiheutuvat epäsuorat ulkoiset kustannukset Saksassa. (CE Delft 2007, 95.)*

			Metropolitan	Other Urban	Non Urban
			€/ train-km	€/ train-km	€/ train-km
Passenger	Electric	Locomotive	4.9	4.9	4.9
		Railcar	7.6	7.7	
		High Speed Train			9.2
	Diesel	Locomotive	8.7	8.7	8.7
		Railcar	11.5	11.5	
Freight	Electric	Locomotive			13.7
	Diesel	Locomotive			29.2

Source emission factors: TREMOVE Base Case (model version 2.4.1).

”Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset” -julkaisussa on arvioitu dieseljunaliikenteen käyttämän polttoaineen ja sähköjunaliikenteen käyttämän sähkön tuotannoista aiheutuvia epäsuoria kustannuksia Suomessa. Päästöjen terveyshaittojen ja ilmastonmuutoskustannusten lisäksi huomioitiin materiaalien korroosio ja likaantuminen, metsien happamoituminen, metsien otsonivauriot ja satovauriot. Julkaisu on valmistunut vuonna 1999 ja päästötiedot ovat vuodelta 1996. Julkaisu ei siten edusta nykyistä junaliikenteen tilannetta.

Julkaisussa arvioitiin dieseljunaliikenteen polttoaineentuotannon epäsuorien kustannusten olevan vuonna 1996 hieman yli 100 000 euroa vuodessa (vuoden 2008 rahassa).<sup>19</sup> Luvussa on huomioitu dieselin tuotannosta syntyvät haitat sekä kotimaassa että ulkomailla. Epäsuorien ulkoisten kustannusten osuus dieseljunaliikenteen polttoaineketjun kokonaishaitoista oli 0,8 %. Toisin sanoen 99,2 % dieseljunaliikenteen pakokaasupäästö- ja ilmastonmuutoskustannuksista syntyi vuonna 1996 liikenteessä. (RHK 1999, 56–59.)

Samassa julkaisussa arvioitiin myös sähköjunaliikenteen epäsuorat kustannukset. Sähköjunaliikenteessä epäsuorien kustannusten arvioitiin olevan 5,1 miljoonaa euroa vuodessa (vuoden 2008 rahassa). Kustannukset sisältävät energian tuotannosta aiheutuvat ulkoiset kustannukset ja polttoaineketjujen alkupään kustannukset. (RHK 1999, 59–63.)

CE Delftin arvioimat sisävesiliikenteen ja lentoliikenteen polttoaineen tuotannoista aiheutuvat epäsuorat ulkoiset kustannukset on esitetty taulukoissa 44 ja 45. Kuten

<sup>19</sup> Dieseljunaliikenteen polttoaineketjun arvioituidet kokonaiskustannukset olivat vuoden 1997 rahassa 60,9 milj. markkaa vuodessa. Sähköjunaliikenteen haittojen arvioitiin olevan vuoden 1997 rahassa 24,9 milj. markkaa vuodessa.

aiemmissä taulukoissa myös nämä ulkoiset kustannukset on laskettu Saksan liikenteen päästötiedoista.

*Taulukko 44. Sisävesiliikenteen polttoaineen tuotannosta aiheutuvat epäsuorat ulkoiset kustannukset Saksassa. (CE Delft 2007, 95.)*

Costs of up- and downstream processes (fuel production, air pollution and climate change costs) in €/ship-km for inland waterway transport (Example Germany, Emissions from REMOVE model, HEATCO and CAFE CBA valuation factors for Germany used, climate change valuation based on costs factors (€/t CO<sub>2</sub>) for 2010 (Table 26)), Price base 2000

Ship Type	Indirect Emissions	
	€/ship-km	
Dry Cargo <250 ton		0.08
Dry Cargo 250-400 ton		0.08
Dry Cargo 400-650 ton		0.11
Dry Cargo > 3,000 ton		0.40
Dry Cargo 1,000-1,500 ton		0.22
Dry Cargo 1,500-3,000 ton		0.40
Dry Cargo 650-1,000 ton		0.16
Push barge <250 ton		0.52
Push barge 250-400 ton		0.52
Push barge 400-650 ton		0.52
Push barge 650-1,000 ton		0.52
Push barge 1,000-1,500 ton		0.52
Push barge 1,500-3,000 ton		0.52
Push barge > 3,000 ton		1.08
Tanker <250 ton		0.08
Tanker 250-400 ton		0.08
Tanker 400-650 ton		0.11
Tanker 650-1,000 ton		0.16
Tanker 1,000-1,500 ton		0.22
Tanker 1,500-3,000 ton		0.62
Tanker > 3,000 ton		0.62

Source emission factors: REMOVE Base Case (model version 2.4.1).

*Taulukko 45. Lentoliikenteen polttoaineen tuotannosta aiheutuvat epäsuorat kustannukset Saksassa. (CE Delft 2007, 96.)*

Costs of up- and downstream processes (fuel production, air pollution and climate change costs) in €/pkm for Air Transport (Example Germany, HEATCO and CAFE CBA cost factors for Germany used, climate change valuation based on costs factors (€/t CO<sub>2</sub>) for 2010 (Table 26))

Flight distance	Indirect Emissions	
	€/pkm	€/flight
<500 km	0,71	149
500-1,000 km	0,53	318
1,000-1,500 km	0,40	612
1,500-2,000 km	0,38	914
>2,000 km	0,40	4.265

Source emission factors: REMOVE Base Case (model version 2.7).

Edellisissä kustannustaulukoissa ei ole huomioitu ajoneuvojen valmistuksesta, käytöstä ja hävityksestä sekä infrastruktuurin rakentamisesta ja kunnossapidosta syntyviä epäsuoria ulkoisvaikutuksia. Esimerkiksi infrastruktuurin rakentamisesta ja kunnossapidosta voi kuitenkin syntyä merkittäviä ulkoisia kustannuksia.

INFRAS/IWW:n (2004) tutkimuksen mukaan tieliikenteessä muut kuin polttoaineen tuotannon epäsuorat kustannukset ovat suuruusluokaltaan noin 30–40 % kaikista liikenteen epäsuorista ulkoisista kustannuksista. Lentoliikenteessä ajoneuvojen valmistuksen, käytön ja hävityksen sekä infrastruktuurin rakentamisen ja ylläpidon osuus epäsuorista ulkoisvaikutuksista on vain 2–8 %; toisin sanoen polttoaineen tuotannosta syntyvien ulkoisten kustannusten osuus epäsuorista kustannuksista on hyvin korkea. Sisävesiliikenteelle vastaava osuus on 20–30 %.

Rautatieliikenteessä infrastruktuurin ja ajoneuvojen valmistamisen ja kunnossapidon osuus epäsuorista kustannuksista riippuu muun muassa siitä, miten liikenteessä käytetty sähkö on tuotettu. Radan rakentamisen ja kunnossapidon epäsuorat kustannukset muodostavat suuren osan epäsuorista ulkoisista kustannuksista etenkin silloin, kun junaliikenteessä käytetyn sähkön tuotannossa on syntynyt vain vähän päästöjä. Radan rakentamisen ja kunnossapidon ulkoisten kustannusten arvioimiseksi tarvitaan lisätutkimusta.

### **3.6.6 Ulkoiset kustannukset kevyelle liikenteelle**

Motorisoitu liikenne aiheuttaa ulkoisia kustannuksia kevyelle liikenteelle: matka-ajat pitenevät ja kevyen liikenteen väylille on vähemmän tilaa motorisoidun liikenteen takia. Näitä ulkoisvaikutuksia voidaan kutsua estevaikutuksiksi. Kevyelle liikenteelle aiheutuvia estevaikutuksia arvioidaan muun muassa haittakustannus- ja kompensatiokustannusmenetelmillä.

Kevyen liikenteen matka-aikojen pitenemistä aiheutuvia estevaikutuksia voidaan arvioida haittakustannusmenetelmällä. Menetelmässä arvioidaan jalankulkijoiden kasvaneita odotusaikoja risteyksissä. Pyöriteiden niukkuudesta syntyviä estevaikutuksia voidaan arvioida kompensatiokustannusmenetelmällä. Kompensatiokustannusmenetelmässä arvioidaan, paljonko enemmän pyöräkaistan rakentaminen maksaa lisääntyneen motorisoidun liikenteen takia kuin normaalilla liikennemäärällä.

CE Delft käyttää kevyen liikenteen estevaikutusten esittämiseen INFRAS/IWW:n (2004) laskelmia, jotka on esitetty taulukossa 46. Kustannukset ovat keskimääräisiä Euroopan alueella. Tieliikenteessä kustannukset ovat 0,11–0,77 senttiä ajoneuvokilometriä kohden (€/ajoneuvokm). Rautatieliikenteessä kustannukset ovat keskimäärin 16,50–17,93 senttiä junakilometrilä (€/junakm).



*Taulukko 46. Keyyelle liikenteelle aiheutuvat ulkoiset kustannukset Euroopassa (CE Delft 2007, 97.)*

Additional costs in urban areas: unit costs for road and rail transport in Europe (EU-15 plus CH and NO, European average results)

	<i>Transport mean</i>	<i>Unit costs, in €ct/vkm</i>
Road	Passenger cars	0.26
	Busses and coaches	0.66
	Motorcycles	0.11
	Vans	0.37
	Heavy duty vehicles	0.77
Rail	Rail total	16.83
	Rail passenger	16.50
	Rail freight	17.93

### **3.6.7 Kustannukset energiariippuvuudesta**

Myös öljyriippuvuus aiheuttaa ulkoisia kustannuksia. Näitä kustannuksia ovat muun muassa hyvinvoinnin siirtymä öljyn kuluttajilta tuottajille, mahdolliset BKT:n menetykset öljyn niukkuuden takia sekä öljyn hinnanmuutosten aiheuttamat yhteiskunnalliset sopeutumiskustannukset. Öljyriippuvuudesta on tehty useita tutkimuksia, mutta vain harva niistä on käsitellyt öljyriippuvuuden ja liikenteen välistä yhteyttä. Tutkimukset keskittyvät pääasiassa Yhdysvaltoihin, eikä CE Delftin raportissaan esitellä yhtään eurooppalaista tutkimusta. Taulukossa 47 on esitetty CE Delftin kokoamat yhdysvaltalaiset tutkimustulokset energiariippuvuuden ulkoisista kustannuksista.

*Taulukko 47. Energiariippuvuudesta aiheutuvat ulkoiset kustannukset (CE Delft 2007, 99.)*

Marginal external costs of oil dependency from different studies in €/l mineral oil

<b>Study</b>	<b>Baseyear for calculation</b>	<b>USD/barrel</b>	<b>€ct/l mineral oil**</b>	<b>Specific aspects considered</b>
Leiby et al., 1997	1993	0.23 – 9.91	0.17 – 7.2	Different scenarios from 'zero probability of net disruption' to 'Monopsony of US and monopoly of OPEC'
NRC, 2002	Assumption: 1999	5	3.35	
Parry and Darmstadter, 2004	Based on NRC, 2002	5	3.35	Includes aspect of monopsony
Leiby, 2007	2004	13.6	10.63	Includes costs of enhancing oil security (strategic oil reserves, military presence in Middle East)

Notes: \* The NRC 2002 study is an update of earlier work, the base year does not become clear.

\*\* Values are transformed with the relevant annual exchange rate according to the Swiss National Bank.

Tutkimustuloksia ei voida siirtää suoraan Euroopan oloihin, sillä Yhdysvaltojen talouden rakenne ja käytettyjen energiamuotojen jakauma ovat erilaisia kuin Euroopassa. CE Delftin mukaan tutkimustuloksia voidaan kuitenkin käyttää karkeana arviona kustannusten suuruusluokasta Euroopassa.

### **3.6.8 Johtopäätökset**

On useita ulkoisvaikutusten osa-alueita, joita on tutkittu hyvin vähän. Tärinään liittyviä tutkimuksia on erittäin niukasti, mikä johtunee muun muassa tärinähaittojen tapauskohtaisuudesta. Toinen rautatieliikenteen vähän tutkittu ulkoisvaikutusten alue on epäsuorat ulkoisvaikutukset. Radan rakentamisella ja kunnossapidolla on merkittäviä ympäristövaikutuksia, vaikka niiden junakilometrille jaetut kustannukset olisivatkin pienet.

Uusien ulkoisvaikutusten sisällyttäminen RHK:n hankearviointeihin on erittäin haasteellista, sillä käyttökelpoisten tutkimusten määrä on pieni.

#### 4 ULKOISVAIKUTUKSET LIIKENNEMUODOITTAIN

Edellisissä luvuissa on esitetty yksittäisiä ulkoisvaikutuksia eri liikennesektoreilla. Kokonaisuuden kannalta on kuitenkin oleellista hahmottaa, mitkä ulkoisvaikutukset ovat merkittäviä ja milloin ulkoisvaikutusten määrä on pieni. Seuraavissa kappaleissa on vertailtu Saksan ja Suomen liikenteen ulkoisvaikutuksia. CE Delft on laskenut ulkoisvaikutukset Saksan liikenteelle. Suomelle ei ole vastaavia laskelmia, mutta kunkin ulkoisten kustannusten laskelman kohdalla on pohdittu, miten ulkoiset kustannukset voisivat poiketa Suomessa Saksan liikenteen ulkoisvaikutuksista.

Myös liikennemuotojen keskinäinen ulkoisvaikutusten vertailu on tarpeen. Luvussa 4.2 on vertailtu tie- ja rautatieliikenteen ulkoisvaikutuksia. Myös tässä luvussa käytetään hyödyksi CE Delftin laskelmia Saksan liikenteelle.

Ulkoisvaikutusten koko vaihtelee maittain, joten CE Delft on laskenut ne Saksan liikenteelle. Alla olevassa laatikossa on kerrottu jokaista liikennemuotoa koskevat oletukset.

##### **Liikennemuotokohtaiset ulkoisvaikutukset**

- Ulkoiset kustannukset ovat CE Delftin laskemia Saksan liikenteen ulkoisia kustannuksia
- Ulkoiset kustannukset ovat ajoneuvo-/ junakilometrikohtaisia
- Ulkoiset kustannukset on ilmoitettu vuoden 2000 eurohinnoissa
- Perusvuosi ei ole kaikkien ulkoisten kustannusten osalta sama, joten ulkoisten kustannusten erät eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään
- Kussakin liikennemuodossa on valittu keskeisimmät ulkoisvaikutukset, joiden perusteella koko liikennemuodon ulkoisvaikutukset on laskettu
- Kustannukset on ilmoitettu kahden desimaalin tarkkuudella, mikä on joidenkin kustannusten osalta tarkempi kuin edellisissä luvuissa

#### 4.1 Tieliikenne

Saksan tieliikenteen ulkoiset kustannukset on esitetty taulukossa 48. CE Delft on laskenut ulkoiset kustannukset EURO-3-luokan ajoneuvoille, sillä EURO-3 on tällä hetkellä yleisin ajoneuvoluokka.

Taulukko 48. Tieliikenteen ulkoiset kustannukset ajoneuvokilometriä kohden (€/ajoneuvokm) Saksassa. (CE Delft 2007, 103.)

Road transport: exemplary unit values per cost component in €/vehicle-km for Germany (€2000)

Cost component		Passenger car	Heavy duty vehicle (HDV)
€/vkm		Unit costs (bandwidths)	Unit costs (bandwidths)
Noise	Urban, day	0.76 (0.76 - 1.85)	7.01 (7.01 - 17.01)
	Urban, night	1.39 (1.39 - 3.37)	12.8 (12.8 - 31)
	Interurban, day	0.12 (0.04 - 0.12)	1.1 (0.39 - 1.1)
	Interurban, night	0.22 (0.08 - 0.22)	2 (0.72 - 2)
Congestion	Urban, peak	30 (5 - 50)	75 (13 - 125)
	Urban, off-peak	0 (-)	0 (-)
	Interurban, peak	10 (0 - 20)	35 (0 - 70)
	Interurban, off-peak	0 (-)	0 (-)
Accidents	Urban	4.12 (0 - 6.47)	10.5 (0 - 13.9)
	Interurban	1.57 (0 - 2.55)	2.7 (0 - 3.5)
Air pollution	Urban, petrol	0.17 (0.17 - 0.24)	(-)
	Urban, diesel	1.53 (1.53 - 2.65)	10.6 (10.6 - 23.4)
	Interurban, petrol	0.09 (0.09 - 0.15)	(-)
	Interurban, diesel	0.89 (0.89 - 1.8)	8.5 (8.5 - 21.4)
Climate change	Urban, petrol	0.67 (0.19 - 1.2)	(-)
	Urban, diesel	0.52 (0.14 - 0.93)	2.6 (0.7 - 4.7)
	Interurban, petrol	0.44 (0.12 - 0.79)	(-)
	Interurban, diesel	0.38 (0.11 - 0.68)	2.2 (0.6 - 4)
Up- and downstream processes	Urban, petrol	0.97 (0.97 - 1.32)	(-)
	Urban, diesel	0.61 (0.61 - 1.05)	3.1 (3.1 - 6.9)
	Interurban, petrol	0.65 (0.65 - 1.12)	(-)
	Interurban, diesel	0.45 (0.45 - 0.92)	2.7 (2.7 - 6.7)
Nature & landscape	Urban	-	0 (0 - 0)
	Interurban	0.4 (0 - 0.4)	1.15 (0 - 1.15)
Soil & water pollution	Urban/Interurban	0.06 (0.06 - 0.06)	1.05 (1.05 - 1.05)
<b>Total</b>			
<b>Urban</b>	Day, peak	38.4 (8.4 - 63.9)	107.3 (33.7 - 187.4)
	Day, off-peak	7.9 (3.5 - 13.3)	34.8 (22.5 - 67)
	Night, off-peak	8.6 (4.1 - 14.8)	40.6 (28.2 - 80.9)
<b>Interurban</b>	Day, peak	14.1 (1.7 - 26.7)	54.4 (13.3 - 109)
	Day, off-peak	4.1 (1.7 - 6.7)	19.4 (13.3 - 39)
	Night, off-peak	4.2 (1.8 - 6.8)	20.3 (13.6 - 39.9)

### Tieliikenteen ulkoisvaikutusten jakautuminen

Tieliikenteen ulkoisvaikutuksia tarkastelemalla nähdään, että henkilöliikenteessä suurin yksittäinen ulkoisten kustannusten erä on ruuhka. Tieliikenteen ulkoiset kustannukset ovat ruuhka-aikaan korkeimmillaan lähes viisinkertaiset verrattuna ruuhkattomaan tieliikenteeseen. Ruuhkan jälkeen seuraavaksi suurin ulkoisten kustannusten erä on onnettomuuksien ulkoiset kustannukset. Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset ovat suuria erityisesti kaupunkialueilla; haja-asutusalueen kilometrikohtaiset onnettomuus-kustannukset ovat alle 40 % kaupunkialueen onnettomuus-kustannuksista. Ruuhkaa ja onnettomuuksia lukuun ottamatta henkilöliikenteen ulkoisten kustannusten erät ovat keskenään suurin piirtein samansuuruisia.

Tavaraliikenteessä suurimmat ulkoisten kustannusten erät muodostuvat ruuhkan ja onnettomuuksien lisäksi melusta ja pakokaasupäästöistä. Kuten henkilöliikenteessä, myös tavaraliikenteessä korostuvat kaupunkialueen liikenteen ulkoiset kustannukset.

### **Tieliikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa**

Taulukossa 48 esitetyt ulkoiset kustannukset ovat osin Euroopan keskimääräisiä ulkoisia kustannuksia, osin Saksan liikenteen ulkoisia kustannuksia. Ulkoisvaikutuksesta riippuen Suomessa ulkoisvaikutukset voivat poiketa merkittävästikin Euroopan keskimääräisistä tai Saksan liikenteen ulkoisvaikutuksista.

Taulukossa esitetyt melun ja ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat keskimääräisiä Euroopan alueen ulkoisia kustannuksia. HEATCON tutkimuksen mukaan suomalaiset arvottavat meluhaitat hieman korkeammalle kuin esimerkiksi saksalaiset. Toisaalta melun ulkoisiin kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi väestötiheys, joka laskee Suomen melun ulkoisia kustannuksia keskimääräisiin eurooppalaisiin melukustannuksiin verrattuna. Kaiken kaikkiaan voidaan olettaa, että melun ulkoiset kustannukset ovat Suomessa hieman alhaisemmalla tasolla kuin Euroopassa keskimäärin.

Ruuhkan ulkoisille kustannuksille ei juuri ole suomalaisia tutkimuksia. UNITE-tutkimuksen mukaan Helsingin alueella ruuhkan kustannukset ovat 1–11 senttiä ajoneuvokilometriltä, mikä vastaa taulukossa 48 lähinnä haja-asutusalueen (interurban) ruuhkahuipun ulkoisia kustannuksia. Suurten kaupunkikeskusten ulkopuolella ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat vieläkin matalammat. Koska ruuhkan ulkoiset kustannukset ovat Suomessa hyvin matalat, voidaan Suomen tieliikenteen ulkoisvaikutuksia pitää matalampina kuin Euroopassa keskimäärin. Ruuhkan alhaiset kustannukset aiheuttavat myös sen, että muiden ulkoisvaikutusten merkitys osana ulkoisvaikutuksia korostuu.

Onnettomuuksien, pakokaasupäästöjen ja ilmastonmuutoksen osalta ulkoiset kustannukset on laskettu Saksan liikennetiedoista. Tieliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat joka maassa samat olettaen, että ilmastonmuutosta arvioidaan kaikissa maissa samalla tavalla. Sen sijaan onnettomuuksien ja pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset vaihtelevat maittain. Onnettomuuksien ulkoiset kustannukset ovat Suomessa noin 80 % Saksan onnettomuuskustannusten tasosta.<sup>20</sup> Myös pakokaasupäästöt ovat pienemmän asukastiheyden takia Suomessa alhaisemmat kuin Saksassa.

Myös energian-, ajoneuvojen- ja infrastruktuurin tuotannon epäsuorat ulkoiset kustannukset on taulukossa 48 laskettu Saksan liikennetietojen pohjalta. Koska epäsuorat ulkoiset kustannukset koostuvat pääasiassa pakokaasupäästö- ja ilmastonmuutoskustannuksista, voidaan epäsuorien ulkoisten kustannusten olettaa olevan Suomessa hieman matalammat kuin Saksassa.

Luontoon ja maisemaan liittyvät kustannukset on otettu INFRAS/IWW:n (2004) raportissa olevasta taulukosta, joka on esitetty taulukossa 49.<sup>21</sup> Kustannukset ovat

<sup>20</sup> Ks. CE Delftin raportin taulukko 10 sivulla 44.

<sup>21</sup> INFRAS/IWW:n raportissa on käytetty mittayksikkönä €/1000 ajoneuvokm, kun taas taulukossa 48 kustannukset on ilmoitettu muodossa €/ajoneuvokm. Henkilöautojen osalta kustannukset on otettu kohdista "Passenger car urban" ja "Passenger Car interurban" ja tavaraliikenteen osalta kohdasta "HDV".

keskimääräisiä Euroopan alueen ulkoisia kustannuksia. Paremman tiedon puutteessa voidaan olettaa, että luontoon ja maisemaan liittyvät ulkoiset kustannukset ovat Suomessa keskimääräisellä eurooppalaisella tasolla.

Taulukko 49. Luontoon ja maisemaan liittyvät ulkoiset kustannukset. (INFRAS/IWW 2004, 102)

MARGINAL COSTS FOR NATURE AND LANDSCAPE			
	Short run marginal cost	Long run marginal cost	
		€ per 1'000 vkm	€ per 1'000 pkm/tkm
Passenger Car urban	0	0.0	0.0
Passenger Car interurban	0	4.0	2.1
Urban Bus	0	0.0	0.0
Coaches	0	25.7	1.3
Two-wheelers	0	2.1	1.9
LDV	0	36.2	10.9
HDV	0	11.5	0.8
Train Passenger	0	232	1.2
High Speed Train	0	232	0.7
Train Freight	0	75	0.1
Aviation Passenger	0	79	1.1
Aviation Freight	0	83	6.5
Waterborne Freight	0	922	0.8

Viimeinen taulukossa 48 esitetty ulkoisten kustannusten erä on maaperän ja vesien pilaantuminen. Maaperän ja vesien pilaantumisen ulkoisten kustannusten tiedot on otettu sveitsiläisestä tutkimuksesta, jossa ulkoiset kustannukset on laskettu Sveitsin liikenteelle. Ei ole tiedossa, miten suomalaiset maaperän ja vesien pilaantumisen kustannukset poikkeavat Sveitsin ulkoisten kustannusten tasosta.

Kokonaisuudessaan voidaan olettaa, että Suomessa tieliikenteen ulkoiset kustannukset ovat pienemmät kuin taulukossa 48 esitetyt Saksan ulkoiset kustannukset. Saksan tieliikenteessä merkittävimmät ulkoiset kustannukset ovat ruuhka ja onnettomuudet, joista kummatkin ovat Suomessa alhaisemmalla tasolla kuin Saksassa. Lisäksi pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset ovat Saksassa korkeammalla tasolla kuin Suomessa.

## 4.2 Rautatieliikenne

Taulukossa 50 on esitetty Saksan rautatieliikenteen junakilometrikohtaiset ulkoiset kustannukset.

*Taulukko 50. Saksan rautatieliikenteen ulkoiset kustannukset junakilometriä kohden.  
(CE Delft 2007, 107.)*

Rail transport: exemplary unit values per cost component in €/ct/train-km for Germany (€2000)

Cost component		Rail passenger	Rail freight
		Unit costs (bandwidths)	Unit costs (bandwidths)
Noise costs	Urban, day	23.7 (23.7 - 46.7)	41.9 (41.9 - 101.2)
	Urban, night	78 (78 - 78)	171.1 (171.1 - 171.1)
	Interurban, day	20.6 (10.4 - 20.6)	40.1 (20.7 - 40.1)
	Interurban, night	34.4 (34.4 - 34.4)	67.7 (67.7 - 67.7)
Scarcity costs	Peak	20 (0 - 20)	20 (0 - 20)
Accident costs	Urban/Interurban	8 (8 - 30)	8 (8 - 30)
Air pollution	Urban, electric	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)
	Urban, diesel	144.8 (144.8 - 297.2)	366.8 (366.8 - 752.6)
	Interurban, electric	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)
	Interurban, diesel	90.7 (90.7 - 203.6)	305.8 (305.8 - 686.4)
Climate change	Urban, electric	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)
	Urban, diesel	11.4 (3.2 - 20.6)	28.9 (8.1 - 52.1)
	Interurban, electric	0 (0 - 0)	0 (0 - 0)
	Interurban, diesel	8.6 (2.4 - 15.5)	28.9 (8.1 - 52.1)
Up- and downstream processes	Urban, electric	24.8 (16.4 - 52.1)	44.4 (22.3 - 93)
	Urban, diesel	13.8 (12.2 - 27.7)	34.8 (30.8 - 70.1)
	Interurban, electric	15.9 (8 - 33.4)	44.4 (22.3 - 93)
	Interurban, diesel	10.3 (9.1 - 22.5)	34.8 (30.8 - 75.7)
Nature & landscape	Interurban	23.2 (0 - 23.2)	7.5 (0 - 7.5)
Soil & water pollution	Urban/Interurban	0.3 (0.3 - 0.3)	1 (1 - 1)
<b>Total external costs</b>			
Urban	Day, electric, peak	76.8 (48.3 - 149)	115 (73 - 245)
	Day, electric, off-peak	56.8 (48.3 - 129)	95 (73 - 225)
	Day, diesel, peak	222 (192.1 - 442)	502 (457 - 1027)
	Day, diesel, off-peak	202 (192.1 - 422)	482 (457 - 1007)
	Night, electric, off-peak	111.1 (102.6 - 160)	225 (202 - 295)
	Night, diesel, off-peak	256.3 (246.5 - 454)	611 (586 - 1077)
Interurban	Day, electric, peak	88 (26.7 - 127)	121 (52 - 192)
	Day, electric, off-peak	68 (26.7 - 107)	101 (52 - 172)
	Day, diesel, peak	181.7 (121 - 336)	446.2 (374 - 913)
	Day, diesel, off-peak	161.7 (121 - 316)	426 (374 - 893)
	Night, electric, off-peak	81.8 (50.7 - 121)	129 (99 - 199)
	Night, diesel, off-peak	175.5 (144.9 - 329)	454 (421 - 920)

### Rautatieliikenteen ulkoisvaikutusten jakautuminen

Taulukosta 50 nähdään, että Saksassa suurimmat ulkoiset kustannukset syntyvät dieselvetoisen junaliikenteen päästöistä ilmaan. Pakokaasupäästöjen jälkeen seuraavaksi suurin ulkoisten kustannusten erä on yöaikaisen melun kustannukset. Yömelun ulkoiset kustannukset ovat kuitenkin huomattavasti alhaisemmat kuin pakokaasupäästöjen kustannukset.

Sähköjunaliikenteestä syntyvät ilmastonmuutos- ja päästökustannukset on sisällytetty kohtaan ”up- and downstream processes”. Sähkövetoisen junaliikenteen energiantuotannosta syntyvät ulkoiset kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin päivisin liikennöitävien junien melukustannukset.

### **Rautatieliikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa**

Kuten tieliikenteen kustannustaulukossa myös rautatieliikenteen taulukossa osa ulkoisista kustannuksista on laskettu Saksan liikenteelle ja osa Euroopalle keskimäärin. Suomessa esimerkiksi energiantuotannon päästöt ovat erilaisia kuin Saksassa, joten ulkoiset kustannuksetkin poikkeavat saksalaisista ulkoisista kustannuksista.

Taulukossa 50 esitetyt melun ulkoiset kustannukset ovat keskimääräisiä eurooppalaisia melukustannuksia. Kuten tieliikenteessä, myös rautatieliikenteessä suomalaiset arvottavat melun haitat korkeammalle kuin esimerkiksi saksalaiset. Toisaalta asuintiheys on Suomessa keskimääräistä pienempi, mikä laskee junakilometrikohtaisia ulkoisia kustannuksia.

Toisena ulkoisvaikutuksena taulukossa on esitetty niukkuus, joka on rautatieliikenteen (ja muun aikataulutetun liikenteen) vastine ruuhkalle. Niukkuuskustannuksiksi CE Delftin raportti suosittelee 0,2 euroa henkilö- tai tonnikipometriä kohden. Samalla raportti kuitenkin muistuttaa, että niukkuuskustannusten voidaan ajatella olevan nolla, mikäli liikennöitsijöitä on vain yksi. Suomessa niukkuuskustannukset voivat kasvaa kilpailun laajenemisen ja liikenteen lisääntymisen myötä, mutta toistaiseksi niiden ei voida katsoa muodostavan suurtakaan osaa rautatieliikenteen ulkoisvaikutuksista.

Taulukon 50 onnettomuuksien ulkoiset kustannukset perustuvat EU:n alueen keskiarvoisille onnettomuuksien ulkoisille kustannuksille. Onnettomuuksien yksikkökustannukset on otettu UNITE-tutkimuksesta.

Taulukossa olevat päästökustannukset ja ilmastonmuutoskustannukset kattavat vain dieselvetoisen junaliikenteen; sähkövetoisen junaliikenteen päästökustannukset on laskettu epäsuoriin ulkoisiin kustannuksiin. Suomessa dieseljunien pakokaasupäästökustannukset ovat luvun 3.3 laskelmien mukaan 8–28 % Saksan dieseljunien pakokaasupäästökustannuksista. Dieseljunaliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat Suomessa ja Saksassa samaa suuruusluokkaa.

Epäsuorat ulkoiset kustannukset (up- and downstream processes) kattavat energian- ja polttoaineentuotannon ilmastonmuutos- ja päästökustannukset. Dieseljunaliikenteessä Saksan ja Suomen epäsuorat ulkoiset kustannukset voidaan olettaa suunnilleen samansuuruisiksi. Sähkövetoisessa junaliikenteessä Suomen epäsuorat kustannukset ovat kautta linjan alhaisempia kuin Saksassa. Luvussa 3.1 esitettyjen laskelmien mukaan sähkövetoisen henkilöjunaliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat Suomessa 15–70 % Saksan vastaavista ilmastonmuutoskustannuksista. Tavaraliikenteessä Saksan sähkövetoisen junaliikenteen ilmastonmuutoskustannukset ovat noin kaksi kertaa suuremmat kuin Suomessa.

Myös sähkövetoisen junaliikenteen energiantuotannon päästökustannukset ovat Suomessa pienemmät kuin Saksassa. Luvussa 3.3 esitettyjen laskelmien mukaan



sähkövetoisen henkilöliikenteen päästökustannukset ovat Suomessa 5–33 % Saksan vastaavista ulkoisista kustannuksista. Suomen sähkövetoisen tavaraliikenteen päästökustannukset ovat 19 % Saksan vastaavista ulkoisista kustannuksista.

Taulukossa 50 esitetyt luonto- ja maisemahaittoihin liittyvät kustannukset ovat taulukossa 49. Kustannukset edustavat eurooppalaisia keskimääräiskustannuksia, ja niitä voidaan paremman puutteessa käyttää Suomenkin rautatieliikenteen laskelmille. Viimeisenä taulukossa 50 on esitetty rautatieliikenteen maaperään ja vesiin liittyvät ulkoiset kustannukset, jotka on otettu sveitsiläisen tutkimuksen tutkimustuloksista Sveitsin liikenteelle. CE Delftin raportista ei voida päätellä, miten maaperään ja vesiin kohdistuvat ulkoiset kustannukset vaihtelevat maittain.

Kokonaisuudessaan Suomessa rautatieliikenteen ulkoisvaikutusten voidaan katsoa olevan alhaisemmalla tasolla kuin Saksassa. Etenkin dieseljunaliikenteen pakokaasupäästökustannukset ja sähköjunaliikenteen epäsuorat kustannukset ovat matalampia kuin Saksassa. Myös niukuuskustannukset ovat alhaiset vähäisen operaattorimäärän takia.

### 4.3 Lentoliikenne

Saksan lentoliikenteen ulkoiskustannukset on esitetty taulukossa 51. Lentoliikenteen ulkoiset kustannukset on esitetty vain henkilölennoille, eikä tavaraliikenteelle ole vastaavia laskelmia. Ulkoiset kustannukset on ilmoitettu lentoa kohden, missä yhden lennon on oletettu olevan keskimäärin 1000–1500 kilometriä. Koska ulkoisia kustannuksia ei ole ilmoitettu lentokilometreissä, ne eivät ole suoraan verrattavissa edellä esitettyihin tie- ja junaliikenteen kustannuksiin.

*Taulukko 51. Lentoliikenteen ulkoiset kustannukset Saksassa. (CE Delft 2007, 111.)*

Air transport: Unit values per cost component in €/flight in €2000

Cost component		Air passenger	
		weighted EU-19 average values	
Noise costs		228	
Scarcity costs	Peak	n.a.	
	Off-Peak	n.a.	
Accident costs		118	
Air Pollution		117	
Climate change		530	
Up- and downstream processes		612	
Additional external costs (nature & landscape)		n.a.	
Total external costs		993	

#### Lentoliikenteen ulkoisvaikutusten jakautuminen

Taulukosta 51 nähdään, että ilmastonmuutoksen kustannusten osuus lentoliikenteen ulkoisvaikutuksista on merkittävä. Suurimmaksi kustannuseräksi on kuitenkin arvioitu energian-, lentokoneiden ja infrastruktuurin tuotantoon ja lentokoneiden ja infrastruktuurin kunnossapitoon liittyvät ulkoiset kustannukset. Onnettomuuskustannukset ja pakokaasupäästökustannukset ovat kumpikin noin puolet melun ulkoisten kustannusten määrästä.

Lentoliikenteen ulkoisten kustannusten arvioimista hankaloittaa puutteellinen tutkimustieto. Kaikille osa-alueille ei ole saatavilla kustannusarvioita, joten lentoliikenteen ulkoiset kustannukset ovat jossain määrin aliarvioituja.

#### Lentoliikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa

Kuten aiemmissa ulkoisvaikutuslaskelmissa myös lentoliikenteessä taulukon 51 kustannukset ovat joko Saksan tai Euroopan alueen keskiarvoisia liikenteen ulkoisvaikutuksia.

Taulukossa 51 esitetyt melun ulkoiset kustannukset, onnettomuuskustannukset ja ilmastonmuutuskustannukset ovat keskiarvoisia EU-19-alueen melukustannuksia. Kustannusten soveltuvuudesta Suomen lentoliikenteeseen on vain vähän tietoa. Ilmastonmuutuskustannukset riippuvat lentokonetyypistä; esimerkiksi potkuriturbiinikoneilla kasvihuonekaasupäästöt ovat alhaisemmat kuin suihkuturbiinikoneilla.

Taulukossa 51 esitetyt pakokaasupäästökustannukset ja epäsuorat ulkoisvaikutukset koskevat Saksan lentoliikennettä. Kumpikin ulkoinen kustannus on pienemmän asuintiheyden takia Suomessa hieman alhaisempi kuin Saksassa.

#### 4.4 Laivaliikenne

Saksan sisävesiliikenteen ulkoiset kustannukset on esitetty taulukossa 52. Kustannukset ovat laivakilometrikohdaisia ulkoisia kustannuksia tavaraliikenteelle, eikä henkilöliikenteelle ole esitetty vastaavia laskelmia.

*Taulukko 52. Sisävesiliikenteen ulkoiset kustannukset Saksassa. (CE Delft 2007, 111)*

Inland waterways: unit values per cost component in €/ship-km (only comprehensive data for air pollution and climate change costs available) in €2000

Cost component	Waterborne freight transport	
	weighted EU-19 average values	
Noise	(-)	
Scarcity	(-)	
Accidents	(-)	
Air pollution		89-1260
Climate change		8-114
Up- and downstream processes		8-108
Nature & landscape	(-)	
Soil & water pollution	(-)	
Total external costs		105-1482

#### Sisävesiliikenteen ulkoisvaikutusten jakautuminen

Useimmille sisävesiliikenteen ulkoisvaikutuksille ei ole saatavissa minkäänlaisia kustannusarvioita. Kustannusarviot ovat siten sisävesiliikenteen osalta hyvin puutteellisia, eikä niitä voida suoraan verrata muihin liikennemuotoihin.

Taulukon 52 mukaan suurimmat laivaliikenteen ulkoiset kustannukset syntyvät pakokaasupäästöistä. Kustannukset vaihtelevat suuresti laivatyyppistä riippuen.

## **Laivaliikenteen ulkoisvaikutukset Suomessa**

Taulukossa 52 esitetyt pakokaasupäästö- ja epäsuorat kustannukset ovat keskiarvoja EU-19-alueelle. Taulukon ilmastonmuutuskustannukset on laskettu Saksalle, mutta niiden voidaan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa kuin vastaavien suomalaislaivojen ilmastonmuutuskustannukset.

On vaikea arvioida taulukossa esitettyjen kustannusarvioiden soveltuvuutta Suomen oloihin, sillä Suomen kannalta sisävesiliikennettä tärkeämpää on Itämeren laivaliikenteen ulkoiset kustannukset.

### **4.5 Tie- ja rautatieliikenteen vertailua**

CE Delftin (2007) raportissa on vertailtu tie- ja rautatieliikenteen keskimääräisiä ulkoisia kustannuksia. Lento- ja laivaliikenteelle ei ole vertailuja. Tutkimustieto sekä lento- että laivaliikenteessä on huomattavasti vähäisempää kuin tie- ja rautatieliikenteessä, eikä joillekin ulkoisvaikutuksille löydy minkäänlaista kustannusarviota. Lentoliikenteessä vertailua hankaloittaa myös mittayksikkö; lentoliikenteen mittayksikkönä on käytetty yhtä (1000–1500 km) lentoa, kun tie- ja rautatieliikenteen ulkoiset kustannukset on esitetty ajoneuvo- ja junakilometreissä.

Henkilöliikenteen ulkoisia kustannuksia on vertailtu taulukossa 53 ja kuvassa 12. Päästötiedot on otettu TREMOVE-mallista. Kustannukset edustavat keskimääräisiä EU-19-maiden ulkoisia kustannuksia. Ulkoiset kustannukset on taulukossa 53 esitetty ajoneuvo- ja junakilometriä kohden per henkilö. Kulkuneuvo-kohtaiset henkilömäärät ovat keskiarvoisia EU-19-maiden henkilömääriä.

CE Delftin laskelmissa kaupunkialueella autossa on laskettu olevan keskimäärin 1,65 henkilöä ja haja-asutusalueella 1,62 henkilöä. LIPASTOn mukaan Suomessa on taajamaliikenteessä autossa keskimäärin 1,2 henkilöä ja maantieliikenteessä 2,1 henkilöä. CE Delftin laskelmissa junassa on kaupunkialueella laskettu olevan keskimäärin 96 henkilöä ja haja-asutusalueella 149 henkilöä. Luvut ovat lähellä suomalaisia junamatkustajamääriä.

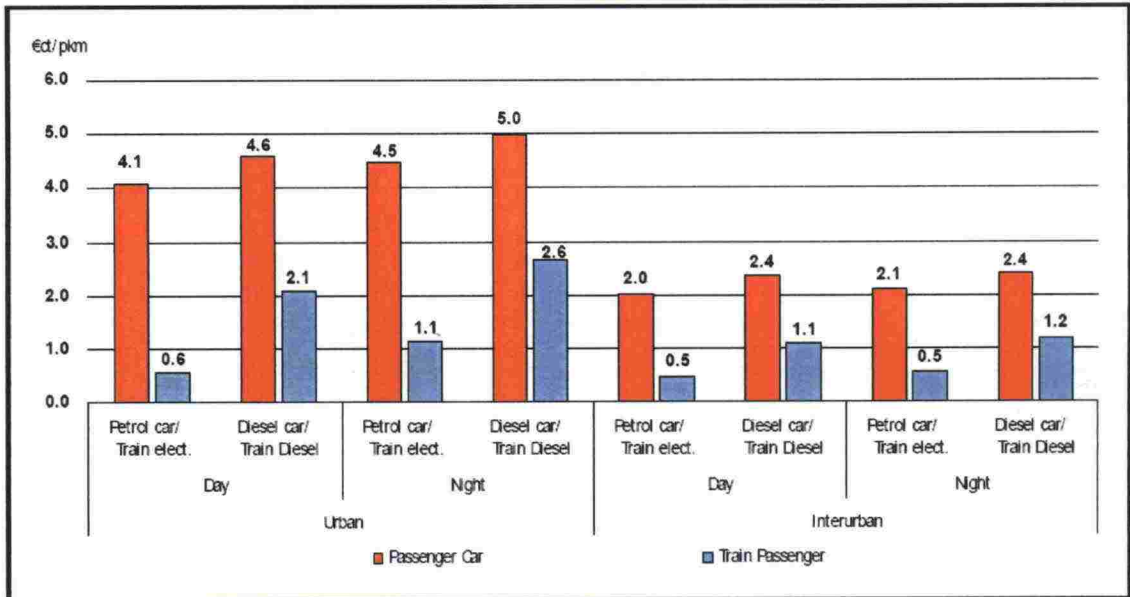
Taulukko 53. Tie- ja rautatieliikenteen ulkoisten kustannusten vertailua henkilöliikenteessä EU-19-maissa. (CE Delft 2007, 112.)

Comparison Road-Rail passenger transport: using average load factors

		Passenger transport (€/pkm)	
		Passenger Car Unit cost value	Train Passenger Unit cost value
Noise	Urban, day	0.46	0.25
	Urban, night	0.84	0.82
	Interurban, day	0.07	0.14
	Interurban, night	0.14	0.23
Accidents	Urban	2.50	0.05
	Interurban	0.97	0.05
Air pollution	Urban Petrol/Train Electric	0.10	0.00
	Urban Diesel/Train Diesel	0.93	1.51
	Interurban Petrol/Train Electric	0.05	0.00
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.55	0.61
Climate change	Urban Petrol/Train Electric	0.40	0.00
	Urban Diesel/Train Diesel	0.31	0.12
	Interurban Petrol/Train Electric	0.27	0.00
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.23	0.06
Up- and down-stream processes	Urban Petrol/Train Electric	0.60	0.26
	Urban Diesel/Train Diesel	0.37	0.14
	Interurban Petrol/Train Electric	0.40	0.11
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.28	0.07
Nature and Landscape	Urban	0.00	0.00
	Interurban	0.25	0.16
Urban	Day (Petrol/Electric)	4.1	0.6
	Day (Diesel/Diesel)	4.6	2.1
	Night (Petrol/Electric)	4.5	1.1
	Night (Diesel/Diesel)	5.0	2.6
Interurban	Day (Petrol/Electric)	2.0	0.5
	Day (Diesel/Diesel)	2.4	1.1
	Night (Petrol/Electric)	2.1	0.5
	Night (Diesel/Diesel)	2.4	1.2

Taulukossa 53 esitettyä tie- ja rautatieliikenteen ulkoisten kustannusten eroa havainnollistaa kuva 12. Oranssi väri kuvastaa henkilöautoa ja sininen kuvastaa junaa. Kuvasta nähdään, että henkilöauton ulkoiset kustannukset henkeä kohden ovat kaikissa tilanteissa korkeammat kuin junamatkustajan ulkoiset kustannukset. Henkilöautossa matkaavan henkilön ulkoiset kustannukset ovat polttoaineesta, vuorokaudenajasta ja alueesta riippuen 2,0–5,0 senttiä kilometriltä (€/hkm). Junamatkustajan ulkoiset kustannukset ovat junasta, vuorokaudenajasta ja alueesta riippuen 0,5–2,6 senttiä kilometriltä (€/hkm).

Henkilöliikenteen vertailu ei sisällä ruuhkan ulkoisia kustannuksia. Aiempien lukujen perusteella ruuhkan voidaan kuitenkin sanoa olevan merkittävä ulkoisvaikutus tie-liikenteessä. Jos ruuhkan ulkoiset kustannukset lisättäisiin vertailuun, nousivat tie-liikenteen ulkoiset kustannukset huomattavasti.



Kuva 12. Tie- ja rautatieliikenteen vertailua henkilöliikenteessä. (CE Delft 2007, 113.)

Taulukossa 54 on esitetty keskimääräiset EU-19-maiden tavaraliikenteen ulkoiset kustannukset tie- ja rautatieliikenteessä. Laskelmissa käytetty rahtimäärä on keskiarvo EU-19-maiden rahtimääristä. Tieliikenteessä rahtia on kaupunkialueella keskimäärin 11,4 t/ajoneuvo ja haja-asutusalueella 11,7 t/ajoneuvo. Junaliikenteessä rahtia on laskettu olevan keskimäärin 348 t junaa kohden.

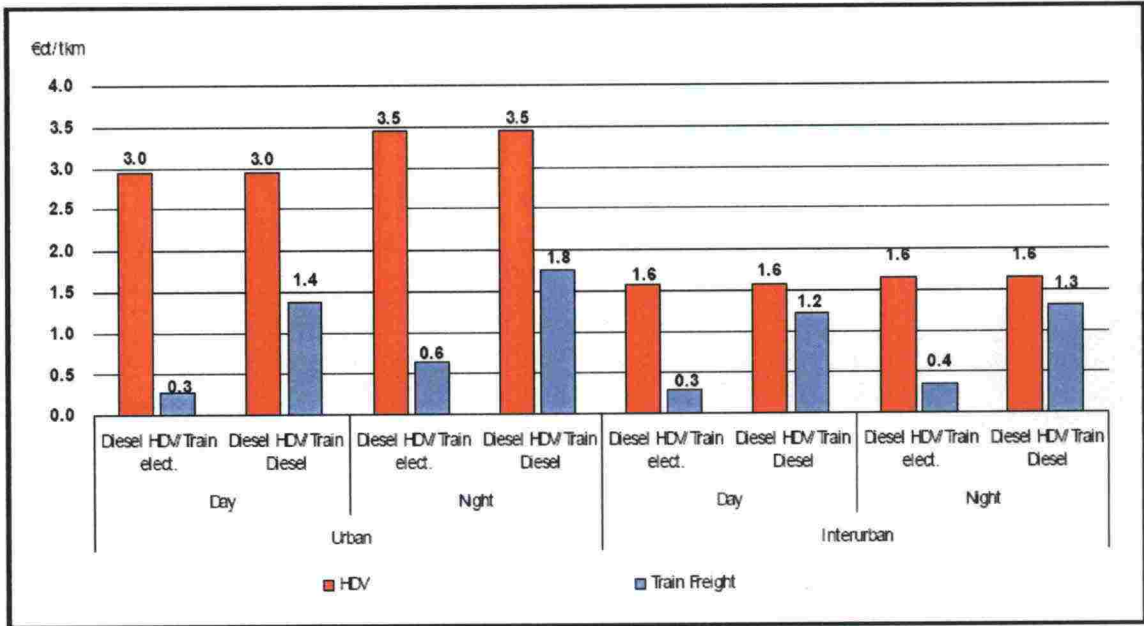
Suomessa tavarajunien rahdin keskiarvo on vajaa 600 t/juna. Myös tieliikenteen autojen keskikuormat ovat Suomessa selvästi EU-19-maiden keskiarvoa suuremmat. Suuremmista rahtimääristä johtuen Suomessa ulkoiset kustannukset ovat tonnikipometriä kohden alhaisemmat kuin taulukossa 54 on esitetty.

Taulukko 54. Tie- ja rautatieliikenteen ulkoisten kustannusten vertailua tavaraliikenteessä EU-19-maissa. (CE Delft 2007, 114.)

Comparison Road-Rail freight transport: using average load factors

		Freight transport (€/tkm)	
		HDV Unit cost value	Freight Train Unit cost value
Noise	Urban, day	0.61	0.12
	Urban, night	1.12	0.49
	Interurban, day	0.09	0.11
	Interurban, night	0.17	0.19
Accidents	Urban	0.92	0.02
	Interurban	0.23	0.02
Air pollution	Urban Diesel/Train Electric	0.93	0.00
	Urban Diesel/Train Diesel	0.93	1.05
	Interurban Diesel/Train Electric	0.73	0.00
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.73	0.88
Climate change	Urban Diesel/Train Electric	0.23	0.00
	Urban Diesel/Train Diesel	0.23	0.08
	Interurban Diesel/Train Electric	0.19	0.00
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.19	0.08
Up- and down-stream processes	Urban Diesel/Train Electric	0.27	0.13
	Urban Diesel/Train Diesel	0.27	0.10
	Interurban Diesel/Train Electric	0.23	0.13
	Interurban Diesel/Train Diesel	0.23	0.10
Nature and Landscape	Urban	0.00	0.00
	Interurban	0.10	0.02
Urban	Day (Diesel/Electric)	3.0	0.3
	Day (Diesel/Diesel)	3.0	1.4
	Night (Diesel/Electric)	3.5	0.6
	Night (Diesel/Diesel)	3.5	1.8
Interurban	Day (Diesel/Electric)	1.6	0.3
	Day (Diesel/Diesel)	1.6	1.2
	Night (Diesel/Electric)	1.6	0.4
	Night (Diesel/Diesel)	1.6	1.3

Tavaraliikenteen ulkoisten kustannusten eroa on havainnollistettu kuvassa 13. Oranssi väri kuvastaa raskasta tieliikennettä ja sininen kuvastaa tavarajunaa. Kuvasta 13 nähdään, että tieliikenteen ulkoiset kustannukset tonnikipometriä kohden ovat kaikissa tilanteissa korkeammat kuin junaliikenteen ulkoiset kustannukset. Tieliikenteen ulkoiset kustannukset ovat polttoaineesta, vuorokaudenajasta ja alueesta riippuen 1,6–3,5 senttiä tonnikipometriä kohden (€/tkm). Rautatieliikenteessä ulkoiset kustannukset ovat junasta, vuorokaudenajasta ja alueesta riippuen 0,3–1,8 senttiä tonnikipometrilta (€/tkm). Kuten edellä todettiin, Suomessa sekä rautatieliikenteen että tieliikenteen tonnikipometrikohdaiset kustannukset ovat alhaisemmat kuin EU-19-maissa keskimäärin.



Kuva 13. Tavaraliikenteen ulkoisten kustannusten vertailua EU-19-maissa. (CE Delft 2007, 115.)

## 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Liikenteen ulkoisvaikutuksia on tutkittu paljon, mutta tutkimus on keskittynyt vain muutamiin ulkoisvaikutuksiin. Esimerkiksi pakokaasupäästöjen ja onnettomuuksien ulkoiset kustannukset tunnetaan varsin hyvin. Myös ilmastonmuutoksen ulkoisia kustannuksia on tutkittu paljon, mutta aiheutuvien kustannusten määrästä ei olla vielä yksimielisiä.

Vähemmän tutkittuja ulkoisvaikutuksia on esimerkiksi junaliikenteestä aiheutuva tärinä. Tärinän ulkoisten kustannusten arviointi on haasteellista tapauskohtaisuuden takia, mikä tekee tärinän ulkoisten kustannusten yleistämisestä vaikeaa. Toisaalta tärinä on junaliikenteessä meluun verrattavissa oleva haitta, eikä sitä tulisi sivuuttaa ulkoisista kustannuksista keskusteltaessa.

Liikenteen merkittävimmät ulkoisvaikutukset vaihtelevat niin liikennemuodosta, paikasta kuin ajasta riippuen. Tieliikenteen merkittävimmät ulkoiset kustannukset ovat ruuhka, onnettomuudet, pakokaasupäästöt ja melu. Rautatieliikenteessä kansainvälisesti merkittävin ulkoisvaikutus on dieselvetoisen junaliikenteen pakokaasupäästöt. Suomen alhaisen asuintiheyden takia pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset eivät ole niin merkittävä osa ulkoisvaikutuksia kuin Euroopassa keskimäärin. Dieselvetoisen junaliikenteen jälkeen suurimpia rautatieliikenteen ulkoisvaikutuksia ovat melu, tärinä ja kasvihuonekaasupäästöt. Lentoliikenteen suurimpia ulkoisia kustannuksia ovat ilmastonmuutokskustannukset ja ns. epäsuorat ulkoiset kustannukset. Laivaliikenteen ulkoisia kustannuksia on tutkittu niin vähän, että merkittävimmän ulkoisvaikutuksen nimeäminen on haastavaa.

Liikennemuotojen ulkoisia kustannuksia vertailemalla nähdään, että junaliikenteen ulkoiset kustannukset ovat useimmissa tapauksissa selvästi alhaisemmat kuin muilla liikennemuodoilla. Henkilöliikenteessä juna on ylivoimainen suhteessa muihin liikennemuotoihin. Tavaraliikenteessäkin junan ulkoiset kustannukset ovat alhaisemmat kuin tie- tai lentoliikenteessä. Tavaraliikenteessä laiva on kuitenkin ulkoisvaikutuksiltaan vähäisin liikennemuoto. Vertailua vaikeuttaa lento- ja laivaliikenteen vähäinen ulkoisten kustannusten tutkimus.

Yksittäiset ulkoisvaikutukset eivät aina ole merkittäviä kustannuseriä sellaisenaan, mutta ulkoisvaikutusten yhteenlaskettu summa voi olla korkeakin. Ulkoisten kustannusten merkittävyyden arvioimiseksi kustannuksia kannattaa tarkastella kokonaisuutena. Sadan kilometrin pituisen matkan ulkoiset kustannukset voivat olla 0,5–5 euroa henkeä kohden valitusta kulkuvälineestä, ajasta ja paikasta riippuen (vertailussa tie- ja rautatieliikenne).

Ulkoisten kustannusten merkitys tulee korostumaan liikenteen kasvun myötä. Se, millä liikennesektorilla kasvu tapahtuu, vaikuttaa kokonaisulkoisvaikutusten määrään. Ohjaamalla tieliikenteen kasvua rautatieliikenteeseen voidaan ulkoisvaikutusten määrää laskea verrattuna siihen, että kasvu tapahtuisi vain tieliikenteessä.

Eurovinjetti-direktiivin uudistuksen myötä CE Delftin raportti ottaa keskeisen osan EU:n ulkoisvaikutuksia käsittelevässä työssä. Vaikka CE Delftin raportti on vain



tutkimuksia kokoava selvitys, hyödynnetään sen tuloksia eurovinjettidirektiiviä uusittaessa.

Ratahallintokeskus käyttää tällä hetkellä hankearvioinneissaan LVM:n (2007) Joukkoliikenteen vaikutusten arvioinnin yleisohjeessa antamia ulkoisten kustannusten yksikköarvoja. CE Delftin raportin ja tässä työssä tehtyjen laskelmien perusteella näyttää siltä, että esimerkiksi melun ulkoisten kustannusten yksikköarvoja olisi tarpeellista päivittää. Nykyiset vuositason ulkoiset kustannukset eivät vastaa CE Delftin suosituksia, jossa melun kustannukset riippuvat muun muassa melutasosta ja melun ajankohdasta. Myös tärinälle olisi tarpeellista tutkia mahdollisia yksikköarvoja. Ulkoisten kustannusten huomioiminen niin hankearvioinneissa kuin muussa päätöksen teossa on tärkeää, jotta liikenteen aiheuttamat ulkoisvaikutukset olisivat kohtuullisia ja liikkumista ohjattaisiin kestävimpiin liikennemuotoihin.

## LÄHDELUETTELO

- ARE, 2006. Externe Kosten des Strassen- und Schienenverkehrs 2000 – Klima und bisher nicht erfasste Umweltbereiche, städtische Räume sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Bundesamt für raumentwicklung ARE. Saatavilla osoitteesta <http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/6815.pdf>
- CE Delft, 2007. Handbook on estimation of external cost in the transport sector. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT). Version 1.0. December 19th, 2007. Saatavilla osoitteesta: [http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/index_en.htm)
- Euroopan unionin virallinen lehti, 2006. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/38/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, verojen ja maksujen kantamisesta raskailta tavaraliikenteen ajoneuvoilta tiettyjen infrastruktuurien käytöstä annetun direktiivin 1999/62/EY muuttamisesta. L157/8. Saatavilla osoitteesta <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:157:0008:0023:FI:PDF>
- Euroopan komissio, 1995. Vihreä kirja – Poliittiset vaihtoehdot liikenteen ulkoisten kustannusten sisällyttämiseksi hintoihin Euroopan unionissa - Kohti oikeudenmukaista ja tehokasta liikenteen hinnoittelua. Saatavilla englanniksi osoitteesta [http://europa.eu/documents/comm/green\\_papers/pdf/com95\\_691\\_en.pdf](http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com95_691_en.pdf)
- Euroopan komissio, 2001. Valkoinen kirja – Eurooppalainen liikennepolitiikka vuoteen 2010 – Valintojen aika. Saatavilla osoitteesta [http://ec.europa.eu/transport/white\\_paper/documents/doc/lb\\_texte\\_complet\\_fi.pdf](http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/doc/lb_texte_complet_fi.pdf)
- Euroopan komissio, 2006. Kestävää liikkuvuutta Eurooppaan. Euroopan komission vuoden 2001 liikennepolitiikan valkoisen kirjan väliarviointi. Saatavilla osoitteesta [http://ec.europa.eu/transport/transport\\_policy\\_review/doc/2006\\_3167\\_brochure\\_fi.pdf](http://ec.europa.eu/transport/transport_policy_review/doc/2006_3167_brochure_fi.pdf)
- Euroopan komissio, 2007a. Preparation of an Impact Assessment on the Internalisation of External Costs. Consultation Document. Brussels, 2007. Saatavilla osoitteesta [http://ec.europa.eu/transport/white\\_paper/consultations/doc/2007\\_consultation\\_paper\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/white_paper/consultations/doc/2007_consultation_paper_en.pdf)
- Euroopan komissio, 2008. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 1999/62/EC on the charging of heavy goods vehicles for the use of certain infrastructures.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/14/EY, annettu 26 päivänä helmikuuta 2001, rautateiden infrastruktuurikapasiteetin käyttöoikeuden myöntämisestä ja rautateiden infrastruktuurin käyttömaksujen perimisestä sekä turvallisuustodistusten antamisesta. (Kapasiteetti- ja ratamaksudirektiivi.) Saatavilla osoitteesta <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0014:FI:NOT>

- Grid-Arendal, 2001. Aviation and the Global Atmosphere. Chapter 6: Potential Climate Change from Aviation. Saatavilla osoitteesta [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_sr/?src=/climate/ipcc/aviation/064.htm](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/aviation/064.htm)
- HEATCO, 2006. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines. Second revision. Saatavilla osoitteesta <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>
- INFRAS-Zurich/ IWW-Karlsruhe, 2004. External Costs of Transport – Update Study. Final report, Zurich/Karlsruhe, October, 2004. Saatavilla osoitteesta [http://www.uic.asso.fr/html/environnement/cd\\_external/pages/introduction.html](http://www.uic.asso.fr/html/environnement/cd_external/pages/introduction.html)
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2002. Ratamaksujen määrätymisperuste. Saatavilla osoitteesta <http://www.mintc.fi/www/sivut/dokumentit/julkaisu/mietinnot/2002/jub0902.htm>
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2003. Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 34/2003. Saatavilla osoitteesta <http://www.mintc.fi/www/sivut/dokumentit/julkaisu/julkaisusarja/2003/a342003.pdf>
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2007. JOTU. Joukkoliikenteen vaikutusten arviointi. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 20/2007. Saatavilla osoitteesta <http://www.lvm.fi/web/fi/julkaisu/view/820741>
- Liikenne- ja viestintäministeriö, 2008. Liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen. Liikenne- ja viestintäministeriö 6.2.2008.
- LIPASTO, <http://www.lipasto.vtt.fi>
- Rautatielaki 29.6.2006/555. Saatavilla osoitteesta <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060555?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=ratamaks%2A>
- RHK, 1999. Rautatieliikenteen polttoaineperäisten päästöjen aiheuttamat ympäristökustannukset. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/1999.
- RHK, 2004. Ratainvestointien hankearviointiohje. Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 12. Saatavilla osoitteesta <http://rhk-fi-bin.directo.fi/@Bin/5885674d0a2a23077367c5e16ec20796/1231505467/application/pdf/32583/Rhk-b12.pdf>
- RHK, 2007. Ratamaksun kehittäminen. 11.10.2007
- Tervonen & Jylänki, 2006. Meluntorjunnan valtakunnallisten linjausten hyödyt ja kustannukset. Suomen ympäristö 821. Saatavilla osoitteesta <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=48907&lan=FI>

Tiehallinto, 2006. Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005. Saatavilla osoitteesta: [http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100039-v-05tieliikent\\_ajokustann.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100039-v-05tieliikent_ajokustann.pdf)

UNITE, 2003. UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency. Deliverable 11 -Environmental Marginal Cost Case Studies. Saatavilla osoitteesta <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/downloads/D11.pdf>

## SANASTO

Alhaalta-ylös-arvottaminen	Bottom-Up Valuation	Arvottamistapa, joka perustuu tarkkoihin liikennekuvauksiin ja tapauskohtaisiin tutkimuksiin. Tuloksena saadaan ulkoisvaikutuksen rajakustannus. Vrt. ylhäältä-alas-arvottaminen
Arvottaminen	Valuation	Ulkoisvaikutuksen arvon määrittäminen rahassa
Arvottamis-menetelmä	Valuation Method	Menetelmä, jota käytetään ulkoisvaikutuksen tai hyödykkeen arvottamiseen, kun markkinahintaa ei ole tai se ei kerro todellista arvoa
Ehdollisen arvottamisen menetelmä	Contingent Valuation Method (CV)	Arvottamismenetelmä, jolla selvitetään kuluttajien maksuhalukkuutta tai hyväksymishalukkuutta kyselyn perusteella. Menetelmä kuuluu lausuttujen preferenssien menetelmiin.
Ehkäisykustannus-menetelmä	Avoidance Cost Approach	Menetelmä, jossa arvioidaan minimikustannukset, joilla ulkoisvaikutus voidaan estää tai pitää halutulla tasolla. Vrt. haittakustannusmenetelmä.
Haittakustannus-menetelmä	Damage Cost Approach	Menetelmä, jossa arvioidaan ulkoisvaikutukset ja niiden kustannukset. Vaikutuspolkumenetelmä on yksi haittakustannusmenetelmä. Vrt. ehkäisykustannusmenetelmä
Hedonisten hintojen menetelmä	Hedonic Pricing Method	Arvottamismenetelmä, jossa ulkoisia kustannuksia pyritään selvittämään asunto-markkinoiden hinnanmuodostuksen kautta. Menetelmä kuuluu paljastettujen preferenssien menetelmiin.
Hyväksymishalukkuus	Willingness To Accept (WTA)	Kuluttajan halukkuus hyväksyä nykyinen ympäristön tilan taso, jos ei tule parannuksia. Selvitetään, paljonko kuluttaja haluaa kompensatiota tilanteen hyväksymiseksi. Vrt. maksuhalukkuus
Ilmaistut preferenssit	Stated Preferences (SP)	Ks. lausutut preferenssit
Keskimääräiskustannus	Average Cost (AC)	Kokonaiskustannukset jaettuna tuotetulla/kulutetulla määrällä kunakin ajanjaksona. Pitkän aikavälin keskimääräiskustannukset sisältävät myös kiinteät kustannukset. Vrt. rajakustannus
Kustannustehokkuus	Cost-Effectiveness	Valitun ympäristönsuojelun tason saavuttaminen pienimmillä mahdollisilla kustannuksilla

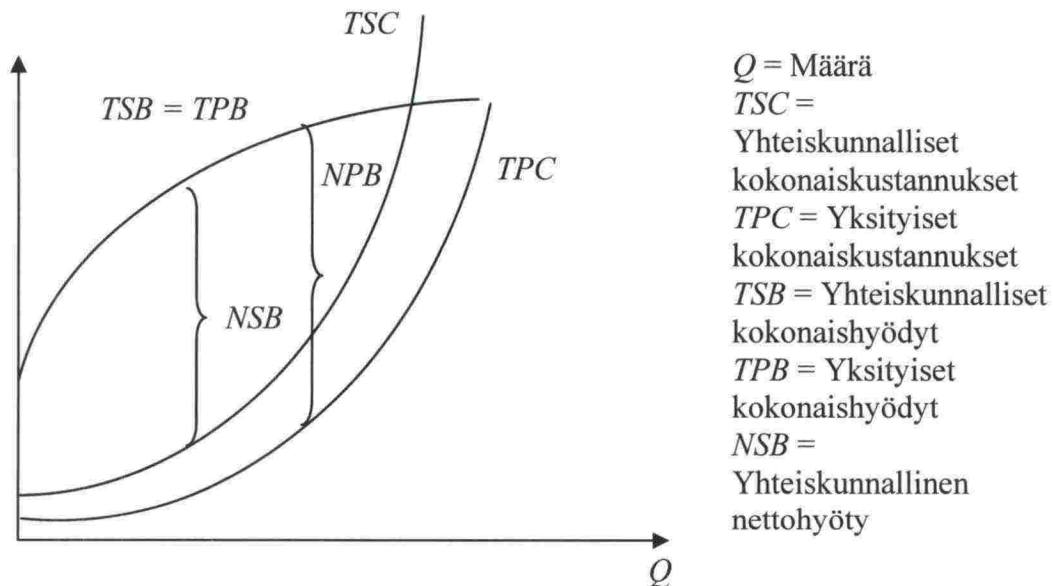
Lausutut preferenssit	Stated Preferences (SP)	Lausuttujen preferenssien menetelmissä kuluttajien preferenssejä kartoitetaan suoraan esimerkiksi kyselyjen avulla. Tutkimuksessa pyritään saamaan selville ympäristöhyödykkeen kokonaisarvo. Ilmaistujen preferenssien menetelmiin kuuluvat ehdollisen arvottamisen menetelmä ja valintakoemenetelmä.
Maksuhalukkuus	Willingness To Pay (WTP)	Kuluttajan halukkuus maksaa ympäristöhyödykkeestä. Vrt. hyväksymishalukkuus
Matkakustannusmenetelmä	Travel Cost Method	Arvottamismenetelmä, jota käytetään esimerkiksi ympäristön virkistyskäytön arvottamiseen. Menetelmässä selvitetään, paljonko ihmiset ovat valmiita maksamaan matkakustannuksia ja -aikaa hyödykkeen käyttämiseksi. Menetelmä kuuluu paljastettujen preferenssien menetelmiin.
Mohring-vaikutus	Mohring Effect	Liikenteeseen tulevien liikenteenkäyttäjien aiheuttama positiivinen ulkoisvaikutus lisääntyneiden liikennepalvelujen muodossa
Negatiivinen ulkoisvaikutus	Negative Externality	Liikenteenkäyttäjän muille aiheuttama haitta. Negatiivisia ulkoisvaikutuksia ovat esimerkiksi melu, ilmastonmuutos ja ilmansaasteet.
Paljastetut preferenssit	Revealed Preferences	Ulkoisvaikutuksen arvo pyritään mittaamaan epäsuorasti kuluttajien käyttäytymisen perusteella. Tuloksena saadaan vain käyttöarvoja, ei esimerkiksi olemassaoloarvoja. Paljastettujen preferenssien menetelmiin kuuluvat hedonisten hintojen menetelmä ja matkakustannusmenetelmä.
Positiivinen ulkoisvaikutus	Positive Externality	Liikenteenkäyttäjän muille aiheuttama hyöty. Ks. Mohring-vaikutus
Rajakustannushinnoittelu	Marginal Cost Pricing	Rajakustannushinnoittelussa liikenteen käyttäjät maksavat kulutuksestaan yhteiskunnallisia rajakustannuksia vastaavan hinnan.
Sisäistää, sisällyttää	Internalise	Veron, tukiaisen tai muun ohjauskeinon avulla tapahtuva julkisen vallan ohjaus ulkoisvaikutuksen vähentämiseksi halutulle tasolle
Ulkoishaitta	Negative Externality	Ks. negatiivinen ulkoisvaikutus
Ulkoisen kustannus, ulkoiskustannus	External Costs	Ulkoisvaikutuksen rahamääräinen kustannus. Ulkoiset kustannukset voidaan ilmoittaa kokonaissummana tai esimerkiksi junakilometriä kohden.
Ulkoisvaikutus	Externality	Liikenteenkäyttäjän muille aiheuttama hyöty tai haitta. Ks. negatiivinen ja positiivinen ulkoisvaikutus

Vaikutuspolku- menetelmä	Impact Pathway Method	ExternE:ssä kehitetty ulkoisten kustannusten arviointimenetelmä, joka perustuu alhaalta-ylös-menetelmään. Katso myös haittakustannusmenetelmä.
Valintakoe- menetelmä	Choice Experiment Method (CE)	Arvottamismenetelmässä selvitetään kyselyn avulla kuluttajan maksuhalukkuus ympäristöhyödykkeen eri ominaisuuksille eli attribuuteille. Kuluttajalle annetaan vaihtoehtoja, joista hänen tulee valita preferenssiensä mukaan. Menetelmä kuuluu lausuttujen preferenssien menetelmiin.
Yhteiskunnallinen optimi	Social Optimum	Yhteiskunnallisissa optimissa yhteiskunnalliset rajahyödyt ovat yhtä suuret kuin yhteiskunnalliset rajahaitat, ja siitä syystä yhteiskunnan hyöty on maksimissaan. Mikäli esiintyy ulkoisvaikutuksia, yhteiskunnallinen optimi ei toteudu ilman julkisen vallan ohjausta.
Yhteiskunnallinen rajahyöty	Marginal Social Benefit (MSB)	Yhden lisämatkustajan aiheuttama kokonaishyötyjen muutos. Yhteiskunnallinen rajahyöty sisältää yksityiset rajahyödyt sekä negatiiviset rajaulkoisvaikutukset. Rajahyöty on kokonaishyötyjen derivaatta.
Yhteiskunnallinen rajakustannus	Marginal Social Cost (MSC)	Yhden lisämatkustajan aiheuttama kokonaiskustannusten muutos. Yhteiskunnallinen rajahyöty sisältää yksityiset rajahyödyt ja positiiviset rajaulkoisvaikutukset. Rajakustannus on kokonaiskustannusten derivaatta. Vrt. keskimääräiskustannus
Yhteiskunnalliset kustannukset	Social Costs (SC)	Yhteiskunnalliset kustannukset koostuvat yksityisistä kustannuksista ja ulkoisista kustannuksista.
Yksityiset kustannukset	Privat Costs (PC)	Ilman julkisen vallan ohjausta kuluttaja huomioi valinnassaan vain yksityiset kustannukset, joita ovat muun muassa polttoaine- ja ajoneuvokustannukset.
Ylhäältä-alas- arvottaminen	Top-Down Valuation	Arvottamistapa, joka perustuu koko valtiota koskeviin tilastoihin. Tuloksena saadaan ulkoisvaikutuksen keskimääräis- kustannukset

## ULKOISVAIKUTUSTEN TEORIAA

Tässä liitteessä havainnollistetaan graafisesti ulkoisten kustannusten määrä ja optimaalinen ohjaus. Havainnollistus on karkea yksinkertaistus, ja se olettaa muun muassa täydellisen informaation (julkinen valta tietää esimerkiksi ulkoisvaikutuksen aiheuttajan hyödyt ja kustannukset sekä yhteiskunnan kokemien ulkoisvaikutusten arvon) ja täydelliset markkinat (markkinoilla ei ole vääristäviä tekijöitä).

Oletetaan, että liikenteenkäyttäjä kokee liikenteen kulutuksesta hyötyä  $TPB$  (kuva L2.1.). Yhteiskunnallinen hyöty  $TSB$  liikenteen kulutuksesta on samansuuruinen, eli positiivisia ulkoisvaikutuksia ei ole. Hyötyfunktioiden oletetaan olevan konkaaveja, eli hyödyt kasvavat liikenteen kulutuksen kasvaessa hidastuvasti. Yksityiset kustannukset  $TPC$  liikenteen kulutuksesta kasvavat konveksisti. Negatiivisen ulkoisvaikutuksen vuoksi yhteiskunnalliset kokonaiskustannukset  $TSC$  ovat korkeammat kuin yksityiset kokonaiskustannukset. Yksityiset nettohyödyt  $NPB$  ovat tällöin kussakin kulutuksen pisteessä suuremmat kuin yhteiskunnalliset nettohyödyt  $NSB$ .

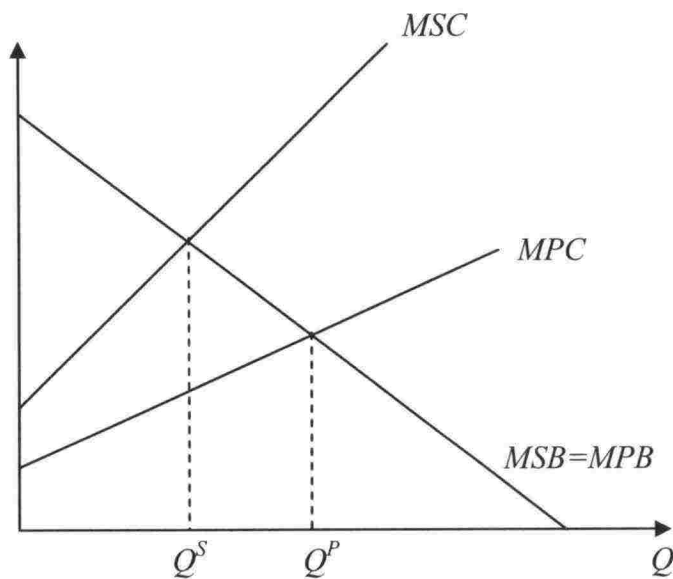


Kuva L2.1. Kokonaishyödyt ja -kustannukset

Liikenteenkäyttäjä valitsee kulutuksen tason  $Q^P$ , jossa hänen nettohyötynsä maksimoituvat (kuva L2.2.). Yksityiset nettohyödyt maksimoituvat pisteessä, jossa yksityiset rajahyödyt  $MPB$  ovat yhtä suuret kuin yksityiset rajakustannukset (eli rajahaitat)  $MPC$ . Kun rajahyödyt ja rajakustannukset ovat yhtä suuret, yhden lisäyksikön kuluttamisen tuoma hyödyn lisäys on yhtä suuri kuin sen tuoma kustannusten lisäys. Matemaattisesti rajahyöty- ja rajakustannuskäyrät saadaan derivoimalla kokonaishyöty- ja kokonaiskustannusfunktiot.

Yhteiskunnallisesti optimaalinen liikenteen määrä  $Q^S$  on pisteessä, jossa yhteiskunnalliset rajahyödyt ovat yhtä suuret kuin yhteiskunnalliset rajakustannukset. Koska liikenteestä aiheutuu negatiivisia ulkoisvaikutuksia, yhteiskunnallisesti optimaalinen liikenteen määrä on alhaisempi kuin yksityisesti optimaalinen määrä. Kuvassa L2.2 yhteiskunnallinen optimi  $Q^S$  on pienempi kuin yksityinen optimi  $Q^P$ .

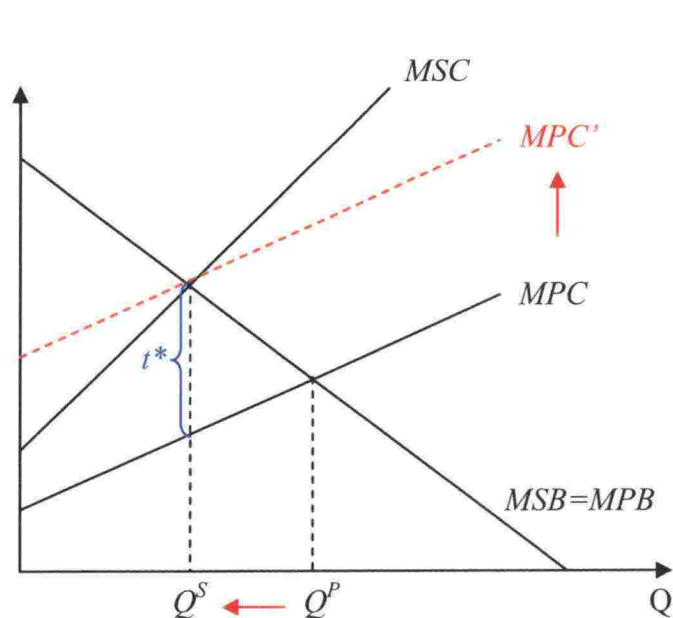




$Q$  = Määrä  
 $Q^S$  = Yhteiskunnallinen optimi  
 $Q^P$  = Yksityinen optimi  
 $MSC$  = Yhteiskunnalliset rajakustannukset  
 $MPC$  = Yksityiset rajakustannukset  
 $MSB$  = Yhteiskunnalliset rajahyödyt  
 $MPB$  = Yksityiset rajahyödyt

Kuva L2.2 Rajahyödyt ja rajakustannukset

Julkinen valta haluaa sisällyttää ulkoiset kustannukset toimijan päätöksentekoon, jotta ulkoisvaikutusten taso laskisi yhteiskunnallisesti optimaaliselle tasolle. Julkinen valta asettaa veron  $t^*$ , jolloin yksityiset rajakustannukset  $MPC$  nousevat veron verran  $MPC'$  (kuva L2.3.). Uudessa tilanteessa liikenteenkäyttäjä asettaa yksityiset rajakustannukset  $MPC'$  ja yksityiset rajahyödyt  $MPB$  yhtä suuriksi ja valitsee kulutuksen määrän  $Q^S$ . Toisin sanoen veron avulla liikenteenkäyttäjä siirtyy valitsemaan yhteiskunnallisesti optimaalisen kulutuksen, ja sitä myötä myös ulkoisvaikutuksen, tason.



$Q$  = Määrä  
 $Q^S$  = Yhteiskunnallinen optimi  
 $Q^P$  = Yksityinen optimi  
 $MSC$  = Yhteiskunnalliset rajakustannukset  
 $MPC$  = Yksityiset rajakustannukset  
 $MPC'$  = Yksityiset rajakustannukset veron jälkeen  
 $MSB$  = Yhteiskunnalliset rajahyödyt  
 $MPB$  = Yksityiset rajahyödyt  
 $t^*$  = optimaalinen vero

Kuva L2.3. Optimaalinen ohjaus

## LIIKENTEEN ILMASTONMUUTOS- JA PAKOKAASUPÄÄSTÖKUSTANNUKSET

### Ilmastonmuutos

#### Ilmastonmuutoskustannusten laskeminen

- Päästötiedot LIPASTOsta
- Hiilidioksidin hinta CE Delftin (2007) suosittama 25 €/t
- Keltainen väri: ilmastonmuutoskustannukset ajoneuvoa/ junaa kohden
- Oranssi väri: ilmastonmuutoskustannukset henkilö-/tonnikilometriä kohden
- Vihreä väri: CE Delftin laskemat Saksan liikenteen ilmastonmuutoskustannukset
- Suomen laskelmissa on oletettu maantieajossa 2,1 henkilöä/auto, kaupunkiajossa 1,2 henkilöä/auto ja keskimäärin 1,8 henkilöä/auto
- Junaliikenteen määrissä on hyödynnetty RHK:n ja VR:n tietoja
- LIPASTOn ja CE Delftin päästölaskelmien oletuksissa on eroja  
→ eroja myös ilmastonmuutoskustannuksissa

### Henkilöliikenne

Taulukko 1. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset maantieajossa.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft	
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Maantieajo 95km/h		Maantieajo 106–125 km/h	Haja-asutusalue 75 km/h
	€/km	€/hkm	€/km	€/km
ei kat (→ 1989)	0,4	0,2	0,7	0,5
EURO 1 (1990–1995)	0,4	0,2	0,5	0,5
EURO 2 (1996–1999)	0,4	0,2	0,4	0,5
EURO 3 (2000 →)	0,4	0,2	0,4	0,4
Keskimäärin v. 2001	0,4	0,2		

Taulukko 2. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset katuajossa.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Katuajo 30km/h		Katuajo 37 km/h
	€/km	€/hkm	€/km
ei kat (→ 1989)	0,5	0,4	0,7
EURO 1 (1990–1995)	0,5	0,4	0,8
EURO 2 (1996–1999)	0,5	0,4	0,7
EURO 3 (2000 →)	0,4	0,4	0,7
Keskimäärin v. 2001	0,5	0,4	

Taulukko 3. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset keskimäärin.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Keskimäärin (maantie + katu)		Keskimäärin
	€/km	€/hkm	€/km
ei kat (→ 1989)	0,4	0,2	0,6
EURO 1 (1990–1995)	0,4	0,2	0,6
EURO 2 (1996–1999)	0,4	0,2	0,5
EURO 3 (2000 →)	0,4	0,2	0,5
Keskimäärin v. 2001	0,4	0,2	

Taulukko 4. Dieselmääräisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset maantieajossa.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft	
Dieselmääräiset henkilöautot, 1,4–2 l	Maantieajo		Maantieajo 106–125 km/h	Haja-asutusalue 75 km/h
	€/km	€/hkm	€/km	€/km
(→ 1991)	0,3	0,2	0,4	0,3
EURO 1 (1992–1995)	0,3	0,2	0,5	0,4
EURO 2 (1996–1999)	0,3	0,1	0,4	0,4
EURO 3 (2000 →)	0,3	0,1	0,4	0,4
Keskimäärin v. 2001	0,3	0,2		

Taulukko 5. Dieselmääräisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset katuajossa.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft
Dieselmääräiset henkilöautot, 1,4–2 l	Katuajo 30km/h		Katuajo 37 km/h
	€/km	€/hkm	€/km
(→ 1991)	0,4	0,4	0,5
EURO 1 (1992–1995)	0,4	0,4	0,6
EURO 2 (1996–1999)	0,4	0,4	0,6
EURO 3 (2000 →)	0,4	0,4	0,5
Keskimäärin v. 2001	0,4	0,4	

Taulukko 6. Dieselukäyttöisten henkilöautojen ilmastonmuutoskustannukset keskimäärin.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)			CE Delft
Dieselukäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Keskimäärin (maantie + katu)		Keskimäärin
	€/km	€/hkm	€/km
(→ 1991)	0,4	0,2	0,4
EURO 1 (1992–1995)	0,4	0,2	0,5
EURO 2 (1996–1999)	0,4	0,2	0,5
EURO 3 (2000 →)	0,3	0,2	0,4
Keskimäärin v. 2001	0,4	0,2	

Taulukko 7. Mopedien ja moottoripyörien ilmastonmuutoskustannukset keskimäärin.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)	€/km
Mopedit	0,1
Moottoripyörät	0,2

Taulukko 8. Pitkän matkan linja-autojen ilmastonmuutoskustannukset.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)						
PITKÄN MATKAN LINJA-AUTO	€/km			€/hkm		
	tyhjä	12 matkustajaa	täysi (60 matk.)	tyhjä	12 matkustajaa	täysi (60 matk.)
→ 1991	1,4	1,5	1,6	1,4	0,1	0,03
EURO 1 (1992–1995)	1,5	1,5	1,6	1,5	0,1	0,03
EURO 2 (1996–1998)	1,5	1,5	1,6	1,5	0,1	0,03
EURO 3 (1999 →)	1,5	1,6	1,7	1,5	0,1	0,03
Keskimäärin v. 2001	1,5	1,5	1,6	1,5	0,1	0,03

Taulukko 9. Kaupunkilinja-autojen ilmastonmuutoskustannukset.

SUOMI (Tiedot: LIPASTO ja CE Delft)						
KAUPUNKI-LINJA-AUTO	€/km			€/hkm		
	tyhjä	12 matkustajaa	täysi (60 matk.)	tyhjä	12 matkustajaa	täysi (60 matk.)
→ 1991	3,1	3,2	3,5	3,1	0,3	0,06
EURO 1 (1992–1995)	3,0	3,1	3,3	3,0	0,3	0,06
EURO 2 (1996–1998)	3,0	3,1	3,3	3,0	0,3	0,06
EURO 3 (1999 →)	3,0	3,1	3,3	3,0	0,3	0,06
Keskimäärin v. 2001	3,0	3,1	3,4	3,0	0,3	0,06

Taulukko 10. Rautatieliikenteen ilmastonmuutuskustannukset henkilöliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						CE Delft
RAUTATIE- LIIKENNE	CO <sub>2</sub> t kg/vuosi	t junakm/ vuosi	CO <sub>2</sub> kg/km	€ct/km	€ct/hkm	€ct/km
Sähköjuna, pitkä matka	50200	16300	3,1	7,7	0,04	11
Dieseljuna	13500	3500	3,9	9,7	0,17	10,3
Lähijunaliikenne (sähkö)	12800	12800	1,0	2,5	0,08	17,2

Taulukko 11. Vesiliikenteen ilmastonmuutuskustannukset henkilöliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
VESILIIKENNE	g/hkm	kg/hkm	€ct/hkm
Matkustaja-alus	596	0,596	1,5
Matkustaja-autolautta	318	0,318	0,8

Taulukko 12. Lentoliikenteen ilmastonmuutuskustannukset henkilöliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
LENTOLIIKENNE	g/hkm	kg/hkm	€ct/hkm
Kotimaa AT7	161	0,161	0,4
Kotimaa M82	223	0,223	0,6
Eurooppa keskimäärin	163	0,163	0,4
Kaukokohde keskimäärin	108	0,108	0,3

Taulukko 13. CE Delftin mukaiset lentoliikenteen ilmastonmuutuskustannukset henkilöliikenteessä.

CE Delft			
LENTOLIIKENNE	Suomi	Suomi	Saksa
Lentomatka	kg/hkm	€ct/hkm	€ct/hkm
< 500 km	0,246	0,6	0,6
500–1000 km	0,184	0,5	0,5
1000–1500 km	0,139	0,4	0,4
1500–2000 km	0,134	0,3	0,3
> 2000 km	0,139	0,4	0,4

Taulukko 14. Ilmastonmuutuskustannukset yhdensuuntaisella matkalla välillä Helsinki–Oulu.

Päästölaskuri	CO <sub>2</sub> kg/hlö	€/hlö	€/hkm
Atmosfair	190	475	0,9
Blue Ventures Carbon Offset	62	154	0,3
Climat Mundi	150	375	0,7
ClimateCare	140	350	0,7
Finnair, Airbus A320	55	138	0,3
GreenSeat	190	475	0,9
Lufthansa	119	298	0,6
SAS, KF Avro RJ100	102	255	0,5
SAS, KF Avro RJ85	113	283	0,6
SAS, KF MD90	72	180	0,4
SAS, KF SAAB 2000	91	228	0,4

## Tavaraliikenne

Taulukko 15. Maansiirtoautojen ilmastonmuutuskustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						CE Delft: Kuorma-autot 16-32t	
Maansiirto- auto, kokonaismassa 32t, kantavuus 19t, maantieajo	€/km			€/tkm		Maantieajo 106-125 km/h	Haja- asutusalue 75 km/h
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (19t)	70 %:n kuorma	täysi (19t)	€/km	€/km
→ 1991	1,7	2,1	2,3	0,2	0,1	1,7	1,8
EURO 1 (1992–1995)	1,7	2,1	2,3	0,2	0,1	1,5	1,6
EURO 2 (1996–1998)	1,8	2,2	2,3	0,2	0,1	1,4	1,5
EURO 3 (1999 →)	1,8	2,2	2,4	0,2	0,1	1,5	1,6
keskimäärin v. 2001	1,8	2,2	2,3	0,2	0,1		

Taulukko 16. Puoliperävaunulla varustettujen ajoneuvoyhdistelmien ilmastomuutuskustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						CE Delft: Kuorma-autot >32t	
Puoliperävaunulla varustetut ajoneuvoyhdistelmät, kokonaismassa 40t, kantavuus 25t, maantieajo	€/km			€/tkm		Maantieajo 106–125 km/h	Haja- asutusalue 75km/h
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (25t)	70 %:n kuorma	täysi (25t)	€/km	€/km
→ 1991	1,9	2,5	2,6	0,1	0,1	2,3	2,5
EURO 1 (1992–1995)	2,0	2,5	2,7	0,1	0,1	2	2,2
EURO 2 (1996–1998)	2,0	2,5	2,7	0,1	0,1	2	2,2
EURO 3 (1999 →)	2,1	2,6	2,8	0,1	0,1	2	2,2
keskimäärin v. 2001	2,0	2,5	2,7	0,1	0,1		

Taulukko 17. Varsinaisella perävaunulla varustettujen ajoneuvoyhdistelmien ilmastomuutuskustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)					
Varsinaisella perävaunulla varustetut ajoneuvoyhdistelmät, kokonaismassa 60t, kantavuus 40t, maantieajo	€/km			€/tkm	
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (40t)	70 %:n kuorma	täysi (40t)
→ 1991	2,1	2,9	3,2	0,1	0,1
EURO 1 (1992–1995)	2,1	3,0	3,2	0,1	0,1
EURO 2 (1996–1998)	2,2	3,0	3,3	0,1	0,1
EURO 3 (1999 →)	2,2	3,1	3,4	0,1	0,1
keskimäärin v. 2001	2,2	3,0	3,3	0,1	0,1

Taulukko 18. Rautatieliikenteen ilmastomuutuskustannukset tavaraliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						CE Delft
RAUTATIE- LIIKENNE	CO <sub>2</sub> t kg/ vuosi	t junakm/ vuosi	CO <sub>2</sub> kg/km	€/km	€/tkm	€/km
Sähköjuna	67000	11600	5,8	14,4	0,02	30,7
Dieseljuna	95300	6800	14,1	35,3	0,1	34,6

Taulukko 19. Vesiliikenteen ilmastomuutoskustannukset tavaraliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
VESILIIKENNE	CO <sub>2</sub> g/tkm	CO <sub>2</sub> kg/tkm	€/tkm
lastilautta (ro-ro, lo-lo, storo)	33	0,033	0,1
konttialus	20	0,02	0,1
irtolastialus	17	0,017	0,04
muu kuivalastialus	26	0,026	0,1
säiliöalus	17	0,017	0,04
autolautta	33	0,033	0,1

Taulukko 20. Lentoliikenteen ilmastomuutoskustannukset tavaraliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
LENTOLIIKENNE	CO <sub>2</sub> g/tkm	CO <sub>2</sub> kg/tkm	€/tkm
Kotimaa AT7	2 104	2,104	5,3
Kotimaa M82	2 459	2,459	6,2
Eurooppa keskimäärin	1 699	1,699	4,3
Kaukokohde keskimäärin	719	0,719	1,8

### Pakokaasupäästökustannukset

#### **Pakokaasupäästöjen ulkoisten kustannusten laskeminen**

- Päästötiedot LIPASTOsta
- Päästökustannukset CE Delftin (2007) raportista
- Keltainen: päästökustannukset ajoneuvoa/junaa kohden
- Oranssi: päästökustannukset henkilö-/tonnikilometriä kohden
- Vihreä: CE Delftin laskemat Saksan liikenteen päästökustannukset
- Suomen laskelmissa on oletettu maantieajossa 2,1 henkilöä/auto, kaupunkiajossa 1,2 henkilöä/auto ja keskimäärin 1,8 henkilöä/auto
- Junaliikenteessä on hyödynnetty RHK:n ja VR:n materiaalia
- LIPASTO:n ja CE Delftin päästölaskelmien oletuksissa on eroja  
→ eroja myös päästökustannuksissa
- Suomen väestötiheys alhaisempi kuin Saksan  
→ Saksassa päästöjen ulkoiset kustannukset ovat korkeammat kuin Suomessa



## Henkilöliikenne

Taulukko 21. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)	
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Maantieajo 95km/h		Maantieajo 106–125 km/h	Haja-asutusalue 75 km/h
	€/km	€/hkm	€/km	€/km
ei kat (→ 1989)	0,4	0,2	1,6	1,4
EURO 1 (1990–1995)	0,1	0,03	0,8	0,6
EURO 2 (1996–1999)	0,04	0,02	0,4	0,3
EURO 3 (2000 →)	0,04	0,02	0,1	0,1
Keskimäärin v. 2001	0,2	0,1		

Taulukko 22. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset katuajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)	
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Katuajo 30km/h		Katuajo 37 km/h	
	€/km	€/hkm	€/km	
ei kat (→ 1989)	0,6	0,5	1,8	
EURO 1 (1990–1995)	0,1	0,1	1,5	
EURO 2 (1996–1999)	0,1	0,1	0,6	
EURO 3 (2000 →)	0,1	0,1	0,2	
Keskimäärin v. 2001	0,3	0,3		

Taulukko 23. Bensiinikäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset keskimäärin.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)	
Bensiinikäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Keskimäärin		Keskimäärin	
	€/km	€/hkm	€/km	
ei kat (→ 1989)	0,5	0,3	1,6	
EURO 1 (1990–1995)	0,1	0,05	0,9	
EURO 2 (1996–1999)	0,1	0,04	0,4	
EURO 3 (2000 →)	0,1	0,03	0,1	
Keskimäärin v. 2001	0,2	0,1		

Taulukko 24. Dieselukäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)	
Dieselukäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Maantieajo 95km/h		Maantieajo 106–125 km/h	Haja-asutusalue 75 km/h
	€/km	€/hkm	€/km	€/km
(→ 1991)	0,5	0,3	1,5	1,4
EURO 1 (1992–1995)	0,4	0,2	1,3	1
EURO 2 (1996–1999)	0,3	0,1	0,9	0,8
EURO 3 (2000 →)	0,2	0,1	1	0,9
Keskimäärin v. 2001	0,4	0,2		

Taulukko 25. Dieselukäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset katuajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)
Dieselukäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Katuajo 30km/h		Katuajo 37 km/h
	€/km	€/hkm	€/km
(→ 1991)	4,4	3,7	4,8
EURO 1 (1992–1995)	2,8	2,3	2
EURO 2 (1996–1999)	2,2	1,9	1,8
EURO 3 (2000 →)	1,5	1,2	1,5
Keskimäärin v. 2001	2,9	2,4	

Taulukko 26. Dieselukäyttöisten henkilöautojen päästöjen ulkoiset kustannukset keskimäärin.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			SAKSA (CE Delft)
Dieselukäyttöiset henkilöautot, 1,4–2 l	Keskimäärin		Keskimäärin
	€/km	€/hkm	€/km
(→ 1991)	1,7	0,9	2,4
EURO 1 (1992–1995)	1,1	0,6	1,4
EURO 2 (1996–1999)	0,8	0,5	1,1
EURO 3 (2000 →)	0,6	0,3	1,1
Keskimäärin v. 2001	1,1	0,6	

Taulukko 27. Mopedien ja moottoripyörien päästöjen ulkoiset kustannukset keskimäärin.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)	€/km
Mopedit	0,2
Moottoripyörät	0,1

Taulukko 28. Pitkän matkan linja-autojen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						
PITKÄN MATKAN LINJA-AUTO	€/km			€/hkm		
	tyhjä	12 matkus- tajaa	täysi (60 matk.)	tyhjä	12 matkus- tajaa	täysi (60 matk.)
→ 1991	1,8	1,8	2,0	1,8	0,2	0,03
EURO 1 (1992–1995)	1,2	1,3	1,3	1,2	0,1	0,02
EURO 2 (1996–1998)	0,8	0,8	0,9	0,8	0,1	0,01
EURO 3 (1999 →)	0,5	0,5	0,6	0,5	0,04	0,01
keskimäärin v. 2001	1,2	1,2	1,3	1,2	0,1	0,02

Taulukko 29. Kaupunkilinja-autojen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						
KAUPUNKI- LINJA-AUTO	€/km			€/hkm		
	tyhjä	12 matkus- tajaa	täysi (60 matk.)	tyhjä	12 matkus- tajaa	täysi (60 matk.)
→ 1991	13,5	13,5	13,7	13,5	1,1	0,2
EURO 1 (1992–1995)	8,8	8,8	9,1	8,8	0,7	0,2
EURO 2 (1996–1998)	4,4	4,4	4,6	4,4	0,4	0,1
EURO 3 (1999 →)	2,9	2,9	3,1	2,9	0,2	0,1
keskimäärin v. 2001	8,3	8,3	8,5	8,3	0,7	0,1

Taulukko 30. Henkilöjuna-liikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)					SAKSA (CE Delft)
RAUTATIE- LIIKENNE	Asutusalueen ulkopuolella	Kaupunki- alue (<0,5 milj. asukasta)	Asutusalueen ulko-puolella	Kaupunki- alue (<0,5 milj. asukasta)	
	€/km	€/km	€/hkm	€/hkm	€/km
Sähköjuna, pitkä matka	1,6	1,6	0,01	0,01	4,9
Dieseljuna	10,1	22,5	0,2	0,5	117,5
Lähiliikenne (sähkö)	0,4	0,4	0,02	0,02	7,6

Taulukko 31. Matkustajalaivaliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)	
VESILIIKENNE	€/hkm
Matkustaja-alus	2,1
Matkustaja-autolautta	1,1

Taulukko 32. Henkilölentoliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
LENTOLIIKENNE	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
	g/hkm	kg/hkm	€/hkm
Kotimaa AT7	0,68	0,0007	0,05
Kotimaa M82	1,10	0,0011	0,09
Eurooppa keskimäärin	0,64	0,0006	0,05
Kaukokohde keskimäärin	0,51	0,0005	0,04

Taulukko 33. TREMOVEN päästötietojen perusteella lasketut henkilölentoliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset.

LENTOLIIKENNE	NO <sub>x</sub> , Suomi	Suomi	Saksa
Lentomatka	kg/hkm	€/hkm	€/hkm
< 500 km	0,00022	0,02	0,21
500–1000 km	0,00012	0,01	0,12
1000–1500 km	0,00008	0,01	0,08
1500–2000 km	0,00006	0,005	0,06
> 2000 km	0,00003	0,002	0,03

## Tavaraliikenne

Taulukko 34. Maansiirtoautojen pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						SAKSA (CE Delft: Kuorma-autot 16–32t)	
Maansiirto- auto, kokonais- massa 32t, kantavuus 19t, maantieajo	€/km			€/tkm		Maantieajo 106–125 km/h	Haja- asutusalue 75 km/h
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (19t)	70 %:n kuorma	täysi (19t)		
→ 1991	1,8	2,1	2,3	0,2	0,1	11,8	12,7
EURO 1 (1992–1995)	1,2	1,4	1,5	0,1	0,1	7,3	7,8
EURO 2 (1996–1998)	0,8	1,0	1,1	0,1	0,1	7,1	7,5
EURO 3 (1999 →)	0,5	0,7	0,7	0,05	0,04	5,3	5,8
keskimäärin v. 2001	1,0	1,2	1,3	0,1	0,1		

Taulukko 35. Puoliperävaunulla varustettujen ajoneuvoyhdistelmien pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)						SAKSA (CE Delft: Kuorma-autot >32t)	
Puoliperä- vaunulla varustetut ajoneuvo- yhdistelmät, kokonaismassa 40t, kantavuus 25t, maantieajo	€/km			€/tkm		Maantieajo 106–125 km/h	Haja- asutusalue 75 km/h
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (25t)	70 %:n kuorma	täysi (25t)		
→ 1991	1,9	2,3	2,5	0,2	0,1	14,9	16,8
EURO 1 (1992–1995)	1,3	1,6	1,7	0,1	0,1	10,6	12
EURO 2 (1996–1998)	0,9	1,1	1,2	0,1	0,1	9,6	10,7
EURO 3 (1999 →)	0,6	0,7	0,8	0,1	0,04	7,6	8,5
keskimäärin v. 2001	1,1	1,3	1,4	0,1	0,1		

Taulukko 36. Varsinaisella perävaunulla varustettujen ajoneuvoyhdistelmien pakokaasupäästöjen ulkoiset kustannukset maantieajossa.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)					
Varsinaisella perävaunulla varustetut ajoneuvoyhdistelmät, kokonaismassa 60t, kantavuus 40t, maantieajo	€/km			€/tkm	
	tyhjä	70 %:n kuorma	täysi (40t)	70 %:n kuorma	täysi (40t)
→ 1991	2,0	2,7	3,0	0,2	0,2
EURO 1 (1992–1995)	1,4	1,9	2,0	0,1	0,1
EURO 2 (1996–1998)	1,0	1,4	1,5	0,1	0,1
EURO 3 (1999 →)	0,6	0,9	1,0	0,1	0,1
keskimäärin v. 2001	1,1	1,5	1,7	0,1	0,1

Taulukko 37. Tavarajunaliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)					SAKSA (CE Delft)
RAUTATIE- LIIKENNE	Asutusalueen ulkopuolella	Kaupunki (<0,5 milj. asukasta)	Asutusalueen ulkopuolella	Kaupunki (<0,5 milj. asukasta)	
		€/km	€/km	€/tkm	€/tkm
Sähköjuna	2,6	2,6	0,01	0,01	13,7
Dieseljuna	49,2	108,1	0,1	0,3	396

Taulukko 38. Vesiliikenteen päästöjen ulkoiset kustannukset tavaraliikenteessä.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)	
VESILIIKENNE	€/tkm
lastilautta (ro-ro, lo-lo, storo)	0,2
konttialus	0,1
irtolastialus	0,1
muu kuivalastialus	0,1
säiliöalus	0,1
autolautta	0,2

Taulukko 39. Lentoliikenteen päästökustannukset tavaraliikenteen osalta.

SUOMI (LIPASTO ja CE Delft)			
LENTOLIIKENNE	NOx	NOx	NOx
	g/tkm	kg/tkm	€/tkm
Kotimaa AT7	9	0,01	0,7
Kotimaa M82	12	0,01	1,0
Eurooppa keskimäärin	7	0,01	0,5
Kaukokohde keskimäärin	3,4	0,00	0,3

## RATAHALLINTOKESKUKSEN JULKAISUJA A-SARJASSA

- 1/2007 Akselipainon noston tekniset edellytykset ja niiden soveltuminen Luumäki–Imatra-rataosuudelle
- 2/2007 Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005
- 3/2007 Marginal Rail Infrastructure Costs in Finland 1997–2005
- 4/2007 Ratarakenteen kuormituksen määrittäminen stabiliteettitarkasteluihin
- 5/2007 Pohjois-Suomen rataverkon tavaraliikenteen kehittäminen
- 6/2007 Suomen rataverkon tärinäselvitys.  
Kirjallisuuskatsaus ja tärinäkohteet vuosina 2000–2006
- 7/2007 Luvattomien radanylytysten välttäminen
- 8/2007 Maatutkatekniikan hyödyntäminen radan tukikerroksen kunnan arvioinnissa
- 9/2007 Markkinoilletulo ja rautatiemarkkinoiden muutos kotimaisen tavaraliikenteen avautuessa kilpailulle Suomessa
- 10/2007 Rautatieliikenne 2030 -suunnitelman liikenne-ennusteet
- 11/2007 Logistiikkakeskusten tie- ja ratayhteydet
- 1/2008 Aikataulusuunnittelu ja rautatieliikenteen täsmällisyys
- 2/2008 Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa
- 3/2008 Rautateiden liikkuvan kaluston kunnan valvonta runkoverkolla
- 4/2008 Raakapuukuljetusten tulevaisuuden haasteet
- 5/2008 Perussolmuratapihojen merkitys ja näkymät osana kuljetusjärjestelmää
- 6/2008 Tasoristeysten kansirakenteet
- 7/2008 Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkkyyys
- 8/2008 Kolarin seudun kaivoshankkeet
- 9/2008 Rataverkon pohjavesialueiden riskienhallinnan kehittäminen
- 10/2008 Rautatieliikenteen pitkän aikavälin suunnitteluprosessin kehittäminen
- 11/2008 Rautatieliikenteen häiriöiden analysoinnin kehittäminen
- 12/2008 Junan pyörävikojen havainnointi raiteeseen asennetulla mittalaitteella
- 13/2008 A Collaborative Process of Product Lifecycle Management for Railway Signalling Infrastructure
- 14/2008 Rataverkon jatkosähköistyksen hankearvioinnin päivitys
- 15/2008 Rautatieliikenteen täsmällisyyden mittaaminen
- 16/2008 Ilmastonmuutokseen sopeutuminen radanpidossa. Esiselvitys
- 17/2008 Kehäradan kiintoraideselvitys
- 18/2008 Rautatiekuljetusten riskienhallinta. Esiselvitys
- 1/2009 Rataverkon kunnan ja sen liikenteellisten vaikutusten visualisoinnin lähtökohdat
- 2/2009 Sähkömagneettisten kenttien kartoitus Ratahallintokeskuksen hallinnoimalla rataverkolla
- 3/2009 Ratahallintokeskuksen tutkimus- ja kehittämisstrategia
- 4/2009 Raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen
- 5/2009 Nopean junaliikenteen kehittämisen vaikutukset. Kirjallisuustutkimus
- 6/2009 Junaliikenteen informaatiokeskuksen toimintatapa. INTO-hanke
- 7/2009 Esiselvitys akseli- ja metrikuormien korotuksen yleisestä teknis-taloudellisuudesta ja case-tarkastelu Kemi–Kolari-rataosalla
- 8/2009 Etelä-Suomen kauko-ohjausjärjestelmän (ESKO) käyttöönotto ja muutokset liikenteenohjaustyössä
- 9/2009 Olemassa olevien ratapenkereiden stabiliteetin laskenta elementtimenetelmällä
- 10/2009 Matalat melusteet raidemelun torjunnassa
- 11/2009 Market Entry Strategies and Confronted Barriers on Liberalized Railway Freight Markets in Sweden and Poland
- 12/2009 Kerava–Lahti-oikoradan vaikutukset Mäntsälän Vähäjärvenkallioiden metsä-alueen pesimälinnustoon. Yhteenveto vuosien 2002–2008 seurannan tuloksista



**RATAHALLINTOKESKUS  
BANFÖRVALTNINGSCENTRALEN**

Julkaisija:  
Ratahallintokeskus  
Kaivokatu 8, PL 185, 00101 Helsinki  
puh. 020 751 5111, fax 020 751 5100  
[www.rhk.fi](http://www.rhk.fi)

ISSN 1455-2604  
ISBN 978-952-445-305-9