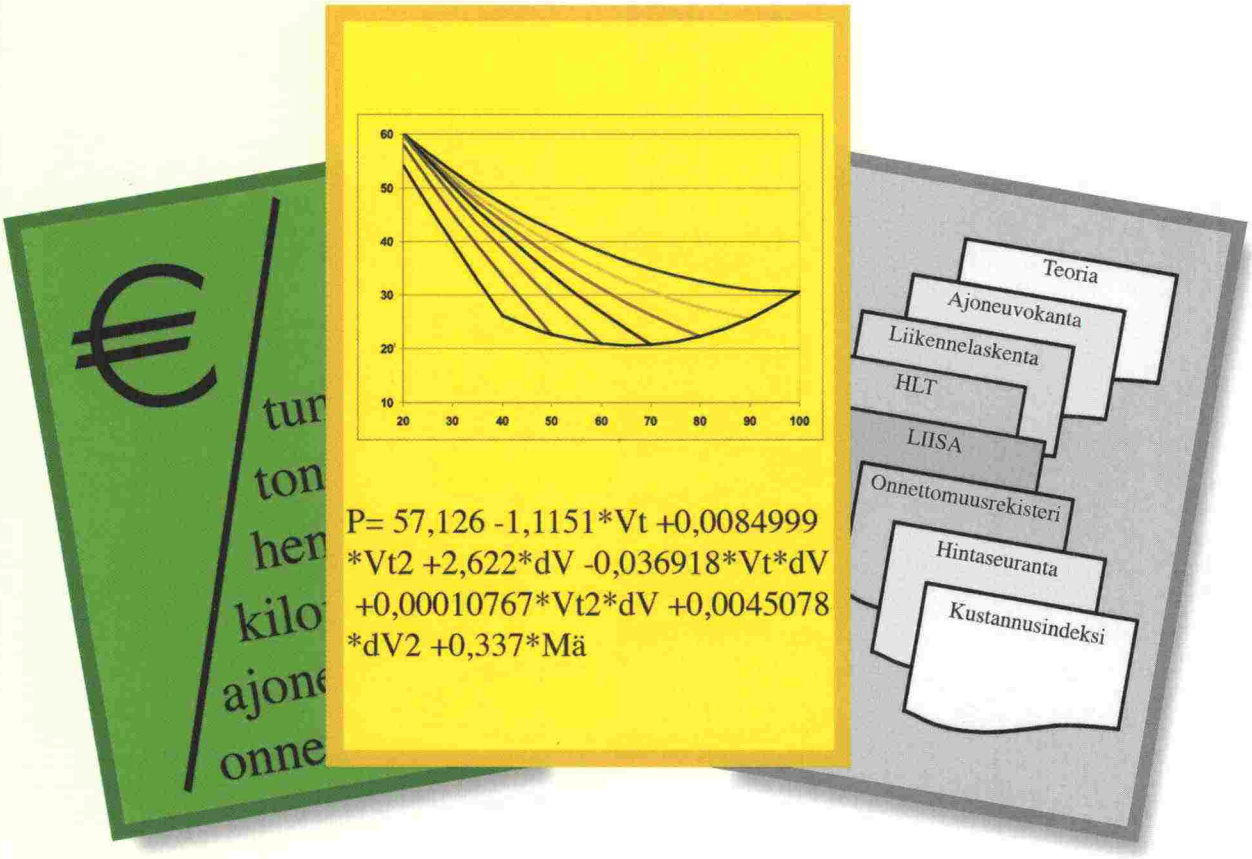
2006 0312

TIEHALLINTO

Tieliikenteen ajokustannusten laskenta



08 TEH / Lii VANHENTUNUT

Tieliikenteen ajokustannusten laskenta

Suunnitteluvaiheen ohjaus

Kirjasto

Tiehallinto
Helsinki 2005

Kannen kuva: JT-Con

ISBN 951-803-604-7
TIEH 2100038-05

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISBN 951-803-605-5
TIEH 2100038-v-05

Edita Prima Oy
Helsinki 2005

Julkaisua myy/saatavana:
asikaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011

Painotuote

TIEHALLINTO
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 Helsinki
puhelinvaihde 0204 22 150

TIEHALLINTO

OHJE

2.1.2006 1651/2006/30/2

VASTAANOTTAJA
Tiepiirit

SÄÄDÖSPERUSTA
MTL 109.3 §

KORVAA/MUUTTAA
TIEH 2123614-01 luku 3

KOHDISTUVUUS
Tiehallinto

VOIMASSA
6.2.2006 - toistaiseksi

ASIASANAT
ajokustannukset, ajoneuvokustannukset, aikakustannukset, onnettomuuskustannukset, ympäristökustannukset, hankearviointi

---

Tieliikenteen ajokustannusten laskenta (TIEH 2100038-05)

Tieliikenteen ajokustannusten laskenta -ohjeessa on esitetty tieliikenteen ajokustannusten laskentaan liittyvät laskentamallit ja esitetty yksinkertaistettu esimerkki kannattavuuslaskelmasta. Ohje on laadittu ensisijaisesti Tiehallinnon sisäiseen käyttöön eri suunnittelutilanteissa sovellettaviksi.

Tieliikenteen ajokustannusten laskenta -ohje korvaa ohjeen Tieliikenteen ajokustannukset 2000 (TIEH 2123614-01) luvussa 3 esitetyn ajokustannusten laskennan ohjeen. Aiemmasta ohjeesta poiketen tässä ohjeessa esitetään vain ajokustannusten laskenta ja ajokustannusten yksikköarvot on esitetty erillisessä julkaisussa (TIEH 2100039-05).

Yksikön päällikkö Mervi Karhula

Ylitarkastaja Anton Goebel

LISÄTIETOJA
Anton Goebel
Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut
Puh. 0204 22 2615

JAKELU/MYYNTI
www.tiehallinto.fi
asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470

TIEDOKSI

tiepiirit, ATS, ATP, ATL, AHP, PK
Tiehallinnon kirjasto
Liikenne- ja viestintäministeriö
Tiekonsultit

Sisältö

1 JOHDANTO 7

2 AJOKUSTANNUSTEN LASKENTAMENETELMÄ 8
- 2.1 Yleistä 8
- 2.2 Laskennan vaiheet ja lähtötiedot 9
- 2.3 Laskentaesimerkki 10

3 AJONEUVOKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN 13
- 3.1 Yleistä 13
- 3.2 Tuntiliikenteet 14
- 3.3 Matkanopeudet 15
- 3.4 Polttoaineenkulutus 19
- 3.5 Ajoneuvokustannukset 21

4 MATKA-AIKASÄÄSTÖJEN ARVON LASKEMINEN 23

5 ONNETTOMUUSKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN 24
- 5.1 Onnettomuusmäärät 24
- 5.2 Onnettomuuskustannukset 28

6 YMPÄRISTÖKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN 30
- 6.1 Meluhaitan kustannukset 30
- 6.2 Pakokaasupäästöjen kustannukset 31

7 TIEHANKKEEN KUSTANNUKSET 33

8 TALOUDELLISUUSTARKASTELUT 35
- 8.1 Yleistä 35
- 8.2 Hankkeen taloudelliset tunnusluvut 36
- 8.3 Kannattavuuslaskelma 36

LÄHTEET 38

LIITTEET 39

1 JOHDANTO

Tässä *Tieliikenteen ajokustannusten laskenta* -ohjeessa kuvataan Tiehallinnon käyttämiä laskentamalleja ja esitetään yksinkertaistettu esimerkki niiden käytöstä tiehankkeen kannattavuustarkasteluissa. Laskentaesimerkki perustuu samanaikaisesti tämän ohjeen kanssa laadittuun ohjeeseen *Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005*, jossa esitetään laskennassa käytettävät yksikköarvot sekä perusteet niiden määrittämiseksi. Ohjejulkaisuja täydentää Tiehallinnon sisäinen julkaisu *Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvojen määrittäminen – Taustaraportti 2005*, jossa kuvataan tarkemmin yksikköarvojen määrittämiseen liittyvät menetelmät.

Vaikka tämä ohje on laadittu tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvojen vuoden 2005 päivitysten yhteydessä, eivät siinä esitetyt menetelmät ole sidottuja kyseisen julkaisun yksikköarvoihin vaan niitä voidaan käyttää myös yhdessä myöhemmin tehtävien yksikköarvoja koskevien päivitysten kanssa.

Julkaisun esittämistapa vastaa suurelta osin aiemman Tieliikenteen ajokustannukset 2000 -julkaisun luvun 3 esitystapaa (Tiehallinto, 2001), mutta siihen on tehty uuden tutkimustiedon perusteella useita täsmennyksiä. Laskentaohjeessa on otettu huomioon myös yksikköarvojen päivitystyön yhteydessä tehdyt menetelmämuutokset.

Seuraavassa on lueteltu tärkeimmät muutokset aiempaan julkaisuun verrattuna:

- Ajoneuvokustannuksissa otetaan huomioon vain ajosuoritteesta (käytännössä polttoaineenkulutuksesta) riippuvat tekijät.
- Ajoneuvokustannusten ja matka-aikasäästöjen arvot on määritetty erikseen kolmelle tyyppiajoneuvolle.
- Nopeusmallit on uudistettu uuden teorian (HCM, 2000) ja niiden avulla tehtyjen suomalaisten mittaustulosten (Finnra, 2001) mukaisiksi.
- Polttoaineenkulutusmallit on uusittu nykyisen ajoneuvokannan ja uusien tyyppiajoneuvojen mukaisiksi.
- Onnettomuus-, pakokaasupäästö- ja melumalleihin ei tässä yhteydessä ole tehty muutoksia ja siksi uuden tutkimustiedon soveltaminen hankkeiden vaikutusten arvioinnissa tässä esitettyjen yksinkertaisten mallien täydentämiseksi on suositeltavaa.

Tässä esitetty laskentamenetelmä pyrkii kuvaamaan Tiehallinnon suositusta riittävän hyvästä ja käyttökelpoisesta laskentamenetelmästä. Sitä voidaan käyttää tehtäessä eri hankkeita koskevia laskentoja niitä koskevien hankearviointiohjeiden mukaisesti (LVM, 2003 ja Tiehallinto, 2004). Käytettävästä laskentajärjestelmästä riippuen tarkastelu voi olla kuitenkin joko karkeampaa tai yksityiskohtaisempaa. Ohjeen perusratkaisuista poikkeaminen edellyttää kuitenkin riittävän yksityiskohtaisia taustatietoja.

Tässä julkaisussa esitettyjä menetelmiä voidaan käyttää sellaisenaan sen jälkeen, kun *Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2005* on hyväksytty käyttöön. Eri laskentajärjestelmien kehittämisessä on syytä ottaa huomioon tässä esitettyjen muutosten vaikutus eri laskentamalleihin. Riittävän luotettavat laskentatulokset voidaan taata vain käyttämällä yhdenmukaisia laskentamalleja eri järjestelmissä.

2 AJOKUSTANNUSTEN LASKENTAMENETELMÄ

2.1 Yleistä

Tieliikenteen ajokustannuksiin vaikuttavat tarkasteltavan alueen tieverkon pituus, geometria ja kunto, liikennemäärät ja sen vaihtelut eri aikoina sekä tarkasteluissa käytettävät laskentamenetelmät ja vahvistetut yksikkökustannukset. Yksinkertainenkin laskentatilanne edellyttää siten usean tekijän samanaikaista huomioon ottamista.

Tässä esitetty laskentamenetelmä pyrkii yhtenäistämään laskentakäytäntöä Tiehallinnon eri tarpeita ajatellen. Mukaan on otettu ne mallit, joiden sisällöllä on suurin merkitys tarkastelujen lopputulosten kannalta. Suurin osa tässä kuvatuista malleista on jatkuvan kehitystyön alaisena, joten menetelmää voidaan täydentää tarpeen mukaan uusilla tiedoilla tai laskentakaavoilla.

Tässä esitettyjä malleja voidaan käyttää sellaisenaan eri laskentajärjestelmissä (IVAR, TARVA, HIPS/HIBRIS, EMME/2), mutta lähtötietojen tarkkuuden tai tulosten käyttötarpeen takia myös yksinkertaisempia tai yksityiskohtaisempia malleja voidaan käyttää. Tarkempaa tietoa eri laskentajärjestelmien sisältämistä malleista löytyy niitä koskevista julkaisuista ja internetsivuilta.

IVAR on tieverkon investointihankkeiden vaikutusten arviointiohjelmisto, joka on tarkoitettu tiehankkeiden suunnittelun apuvälineeksi eri suunnitteluvaiheissa. Lisäksi ohjelmistoa käytetään liikenneolosuhteiden kuvaajana ja tiehankkeita koskevan päätöksenteon tukena. Ohjelmiston laskentaprosessit kattavat muun muassa toimivuuden, turvallisuuden, ympäristövaikutusten sekä yhteiskuntataloudellisen kannattavuuden laskennan. Useimmat laskentaprosessit on laadittu erikseen linjaosuuksille ja liittymille. Lisätietoa ohjelmistosta löytyy käyttöoppaasta (Tiehallinto, 2003) ja sen laskentamalleista erillisissä julkaisemattomissa raporteissa (Ristikartano, 2003; Ristikartano ym., 2005b).

TARVA-ohjelma on tarkoitettu tien parannustoimenpiteiden turvallisuusvaikutusten arviointiin. Sen avulla voidaan arvioida erilaisten parannustoimenpiteiden turvallisuusvaikutuksia. Toimenpidetarpeiden arvioinnissa voidaan käyttää hyväksi turvallisuuden nykytilan arviointia. (Tarva, 2005)

HIPS on strategisen tason tienpidon suunnittelu- ja ohjausjärjestelmä, joka käsittelee tiestöä jaettuna liikennemääräluokkien ja päällystetyyppien mukaan homogeenisiin osiin. Kunkin osan päällysterakenteen kehitystä (kuntoa) seurataan osalle ominaisen kulumisen ja luokan tiestölle kohdistettavien toimenpiteiden (rahoitus) funktiona. (Tiehallinto, 2005b). HIPS tullaan korvaamaan HIBRIS-järjestelmällä.

HIBRIS (Highway and Bridge Management System) on Tiehallinnon tietojärjestelmä, joka on tarkoitettu päätöksenteon apuvälineeksi tarkasteltaessa tiestön kuntoa sekä rahoitus- ja korjaustarvetta. Sen avulla ohjataan ylläpito- ja korjaustoimintaa, määrärahojen optimaalista käyttöä sekä siltojen kunnon kehitystä. HIBRIS-järjestelmän avulla voidaan pitää tiestön ja siltojen kunto halutulla tasolla optimaalisin kustannuksin. HIBRIS antaa suositukset lyhyen

aikavälin korjaustoimenpide-ehdotuksiksi, joiden avulla päästään tavoitteisiin pitkällä aikavälillä. (Tiehallinto, 2005b)

EMME/2-ohjelmisto on liikenteen sijoitteluohjelmisto. Liikenteen sijoittelulla osa-alueiden väliset liikennevirrat sijoitellaan liikenneverkolle. Liikenteen sijoittumiseen verkolla vaikuttavat keskeisesti kysyntämatriisi, liikenneverkko ja sijoittelufunktiot. Funktiot sisältävät yleensä ainakin matka-ajan laskennan.

2.2 Laskennan vaiheet ja lähtötiedot

Tässä luvussa kuvataan menetelmä ajokustannusten laskentaa varten. Laskennan vaiheita havainnollistetaan seuraavissa luvuissa esimerkkilaskelmalla. Tässä esitetty menetelmä on tarkkuudeltaan melko yksinkertainen ja tarkempia tuloksia saadaan vastaavanlaiseen menetelmään perustuvalla IVAR-ohjelmistolla.

Esimerkkilaskelma on painettu harmaalle pohjalle ja se etenee kuvan 2.1 mukaisesti.

Kuva 2.1. Ajokustannuslaskelman eteneminen.

Ajokustannuslaskelman lähtötiedoiksi tarvitaan tiedot tarkasteltavien väylien geometriasta nykytilanteessa sekä suunniteltujen toimenpiteiden toteuttamisen jälkeen. Tarvittavia geometriatietoja ovat linkkien (tieosien) pituudet, mäkisyys, kaarteisuus ja liittymätiheys. Tien poikkileikkauksen osalta tarvitaan tiedot ajokaistojen lukumäärästä sekä päällysteen leveydestä. Muita vaadittavia tietoja ovat linkkien nopeusrajoitukset sekä nykytilanteessa että parannustoimenpiteiden jälkeen. Nämä lähtötiedot voidaan hankkia esimerkiksi Tiehallinnon ylläpitämästä tierekisteristä ja tiesuunnitelmista.

Ajokustannuslaskelmissa tarvittavia liikenteellisiä lähtötietoja ovat kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen sekä ajoneuvoyhdistelmien keskivuorokausiliikennemäärät nykytilanteessa, tiedot liikenteen sijoittumisesta uudelle tieverkolle, tarkasteltavan verkon liikenne-ennustetiedot sekä tarvittaessa arvio 1000. vilkkaimman tunnin liikennemääristä eri tarkasteluvuosina. Eri ajoneuvoryhmien KVL-tiedot ovat yleisten teiden osalta saatavissa tierekisteristä. Näitä tietoja käytettäessä on kuitenkin huomioitava, että tierekisterin liikennemäärätiedoissa oleva KVLraskas sisältää myös yhdistelmäajoneuvot. Ajokustannuslaskelmissa käytettävän raskaan tyyppiajoneuvon keskivuorokausiliikennemäärä määritetään vähentämällä KVLyhdistelmien osuus KVLraskaasta.

2.3 Laskentaesimerkki

Tässä esitettävän laskentaesimerkin kaavoissa käytetään seuraavia merkintöjä ja yksiköitä:

A	c/km	matka-aikasäästön yksikköarvo
As	kpl	melualueen asukkaiden määrä
B	c/km	ajoneuvokustannusten yksikköarvo
C	€/heva-onnettomuus	heva-onnettomuuden keskimääräinen yksikköarvo
D	€/as/vuosi	meluhaitan yksikköarvo
dP	l/100 km	suhteellinen polttoaineenkulutus
E	€/tonni	päästökomponentin yksikköarvo
I	M€	investointikustannus
J	M€	jäännösarvo
Ka	gon/km	kaarteisuus
KVL	autoa/vrk	keskivuorokausiliikenne
L	km	linkin (tieosan) pituus
Lt	kpl/km	liittymätiheys
Mä	m/km	mäkisyys
Oa	onn./milj.km	onnettomuusasteen odotusarvo
Om	onn./vuosi	onnettomuusmäärä
Om_{kuol}	henk./vuosi	kuolleiden määrä
O_{vak}	kuolleet/100 heva onn.	onnettomuuksien vakavuuskerroin
P	l/100 km	polttoaineenkulutus
Pk	l/100 km	keskimääräinen polttoaineenkulutus
Pl	m	päällysteen leveys
Pm	t/v	päästömäärä
p_{rask}	%	raskaiden ajoneuvojen osuus (sis. raskaat ja yhdistelmät)
P_{VT}	l/100 km	polttoaineenkulutus tavoitenopeudella
Q	autoa/h	tuntiliikenne

V_k	km/h	matkanopeus vallitsevissa oloissa
V_{raj}	km/h	nopeusrajoitus
V_T	km/h	matkanopeus vapaissa oloissa
ΔP	l/100 km	lisäkulutus
ΔV	km/h	nopeusalenema

Laskentaesimerkin lähtötiedot on esitetty taulukossa E1 ja kuvassa E1

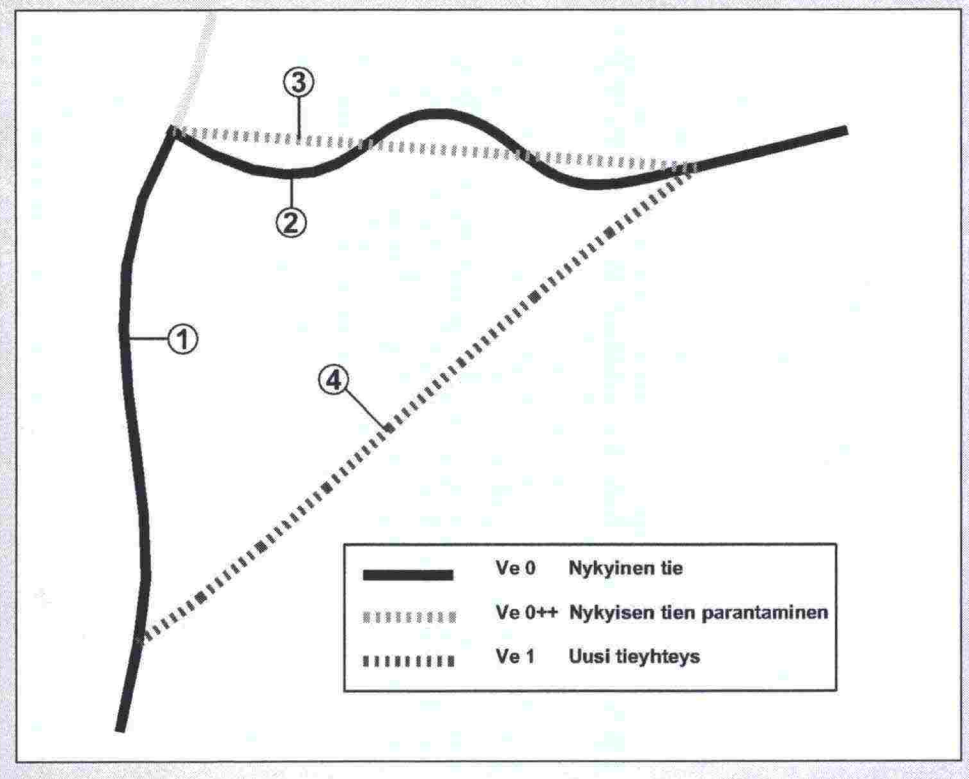
Laskentaesimerkissä käsitellään vanhan valtatieyhteyden parantamisen vaikutusta ajokustannuksiin. Nollavaihtoehdon (VE 0) rinnalla tarkastellaan vanhan tieyhteyden parantamista pääosin nykyisellä paikallaan (VE 0++) tai korvaamista uudella lyhyemmällä valtatieyhteydellä (VE 1).

Taulukossa E1 esitetään laskentaesimerkin geometriaa, poikkileikkausta ja liikennettä koskevat lähtötiedot linkeittäin eri vaihtoehdoissa.

Taulukko E1. Esimerkkihankkeen lähtötiedot.

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
Pituus (km)	15	16,5	15	16	15	16,5	21
Kaistojen lkm (kpl)	2	2	2	2	2	2	2
Päällysteleveys (m)	12	7	12	10	12	7	10
Mäkisyys (m/km)	10	17	10	15	10	17	7
Kaarteisuus (gon/km)	15	40	15	30	15	40	15
Liittymätiheys (kpl/km)	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,5	0,05
Nopeusrajoitus (km/h)	100	80	100	100	100	80	100
KVL 2005	10000	6800	10000	6800	5240	2040	4760
KVL_{kev} 2005	9000	6000	9000	6000	4800	1800	4200
KVL_{rask} 2005	500	400	500	400	220	120	280
KVL_{yhd} 2005	500	400	500	400	220	120	280

Oheisessa kuvassa E1 on kaavio laskentaesimerkin erilaisista tieverkkovaihtoehdoista.



Kuva E1. Esimerkkihankkeen tieverkkovaihtoehdot.

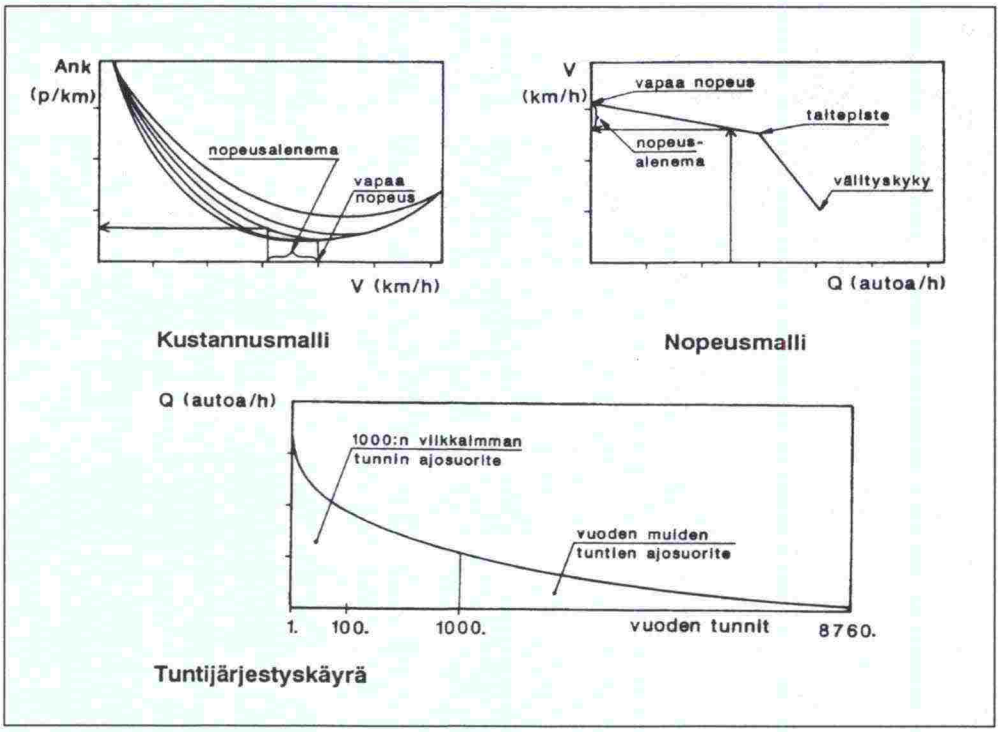
Esimerkkihankkeessa nykyinen tieverkko koostuu kahdesta normaalista kaksikaistaisesta valtatielinkistä (linkit 1 ja 2). Vaihtoehdossa 0++ osaa nykyisestä tiestä parannetaan muuttamalla tien vaaka- ja pystygeometriaa (linkki 3). Parantamistoimenpiteet käsittävät myös tien poikkileikkauksen leventämisen ja liittymien vähentämisen. Nämä toimenpiteet mahdollistavat korkeamman nopeusrajoituksen valtatien parannetulla osalla.

Vaihtoehdossa 1 tarkastellaan uuden oikaisevan valtatieyhteyden (linkki 4) rakentamista. Vanha tie (linkki 2) jää seudulliseksi tieksi ja lyhytmatkainen liikenne käyttää edelleen vanhaa yhteyttä. Vanhan valtatien (linkin 2) liikenteestä 70 %:n arvioidaan siirtyvän käyttämään uutta tietä.

3 AJONEUVOKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN

3.1 Yleistä

Ajokustannukset ovat riippuvaisia matkanopeudesta. Matkanopeuteen vaikuttavat mm. nopeusrajoitus, tien ominaisuudet ja liikennetilanne. Kustannusmalleissa **ajoneuvokustannusten perustaso** määräytyy sen nopeustason mukaan, jota kuljettajat keskimäärin noudattavat vapaissa liikenneoloissa (ns. **vapaa nopeus**). Tätä kustannustasoa korjataan tie- ja liikenneolosuhteiden aiheuttamalla matkanopeuden alenemalla. Kustannusten määräytymisperiaate on esitetty kuvassa 3.1.



Kuva 3.1. Ajoneuvokustannusten riippuvuus liikennetilanteesta.

Liikenteen ns. vapaan nopeuden ja eri liikennetilanteiden nopeuksien laskemiseen kehitetyissä nopeusmalleissa on huomioitu tien geometrian ja liikennemäärän vaikutus autojen keskimääräiseen matkanopeuteen. Matkanopeuksiin perustuvien kustannusmallien avulla voidaan määrittää ajoneuvokustannukset kullekin tieosalle ja liikennetilanteelle. Keskimääräisiä matkanopeuksia tarvitaan myös liikenteen aikakustannusten laskemisessa.

Keskivuorokausiliikenteet hankkeen avausvuodelle sekä muille tarkasteluvuosille määritetään liikenne-ennusteen perusteella. Ellei tarkempaa hankkeeseen liittyvää liikenne-ennustetietoa ole saatavilla, voidaan käyttää esimerkiksi Tiehallinnon julkaisemia yleisiä liikenne-ennusteita, joissa esitetään liikenteen kasvukertoimet muun muassa tieluokittain ja tiepiireittäin.

3.2 Tuntiliikenteet

Ajoneuvokustannusten laskennassa vuoden tunnit voidaan jakaa eri ryhmiin liikennemäärien mukaan. Kullekin tuntiliikenneryhmälle lasketaan mallien avulla ajoneuvokustannukset ja liikenteen vuotuiset ajoneuvokustannukset saadaan yhdistämällä eri ryhmien tulokset. Alustavissa laskennoissa tarvittava laskentatarkkuus voidaan kuitenkin saavuttaa laskemalla liikenteen keskimatkanopeudet ja **kustannukset vapaissa liikenneoloissa sekä vuoden tuhanneksi vilkkaimpana tuntina**. Vuoden tuhannenneksi vilkkaimman tunnin liikenteen Q_{1000} ja keskivuorokausiliikennemäärän suhde voidaan määrittää tuntijärjestyskäyrän avulla, joka saadaan esimerkiksi lähellä tarkastelukohdetta sijaitsevan LAM-pisteen (liikenteen automaattinen mittauspiste) tiedoista. Liitteessä 1 on esitetty joitakin tuntijärjestyskäyriä.

Ruuhkautuvissa oloissa menetelmä arvioi kustannukset liian pieniksi, sillä se sisältää vain nopeusmallin taitepistettä edeltävän osan. Näissä tilanteissa suositellaan tarkemman laskentamenetelmän (esimerkiksi IVAR) käyttöä.

Tarkasteluvuosien tuntiliikenteiden määrittämiseksi arvioidaan ensin liikennemäärien kasvu tarkastelujakson aikana. Esimerkkitapauksessa liikenteen kasvukertoimet määritetään Tiehallinnon yleisen liikenne-ennusteen pohjalta (Tiehallinto 2005a), jolloin saadaan taulukon E2 mukaiset liikennemäärät tarkasteluvuosille.

Taulukko E2. Liikenne-ennuste (ajoneuvoa/vrk).

	Vuosi	Kasvu-kerroin	VE0		VE0++		VE1		
			Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
KVL_{kev}		1,15	10350	6900	10350	6900	5520	2070	4830
KVL_{rask}	2010	1,15	575	460	575	460	253	138	322
KVL_{yhd}		1,15	575	460	575	460	253	138	322
KVL_{kev}		1,31	11790	7860	11790	7860	6288	2358	5502
KVL_{rask}	2020	1,31	655	524	655	524	288	157	367
KVL_{yhd}		1,31	655	524	655	524	288	157	367
KVL_{kev}		1,41	12690	8460	12690	8460	6768	2538	5922
KVL_{rask}	2030	1,41	705	564	705	564	310	169	395
KVL_{yhd}		1,41	705	564	705	564	310	169	395
KVL_{kev}		1,45	13050	8700	13050	8700	6960	2610	6090
KVL_{rask}	2040	1,45	725	580	725	580	319	174	406
KVL_{yhd}		1,45	725	580	725	580	319	174	406

Tuntijärjestyskäyrän avulla lasketaan 1000. tunnin tuntiliikenteet. Tuntijärjestyskäyrän mukaan liikennemäärä Q_{1000} on 8 % keskivuorokausiliikennemäärästä. Esimerkkihankkeen tuntiliikenteet ovat taulukossa E3.

Taulukko E3. Tuhannennen tunnin liikennemäärä Q_{1000} (ajoneuvoa/h).

Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
2010	920	626	920	626	482	188	438
2020	1048	713	1048	713	549	214	499
2030	1128	767	1128	767	591	230	537
2040	1160	789	1160	789	608	237	552

3.3 Matkanopeudet

Sekä ajoneuvokustannusten että matka-aikasäästöjen laskennassa tarvitaan liikenteen keskimatkanopeus vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa.

Keskimääräinen matkanopeus voidaan määrittää vaiheittain seuraavan kaavan avulla:

$$V_k = V_T - \Delta V_1 - \Delta V_2 - \Delta V_3 \quad (1)$$

missä V_T on tavoitenopeus, jonka määrittämisessä huomioidaan tien poikkileikkaus ja nopeusrajoitus Tekijä ΔV_1 kuvaa pitkäkestoisten ominaisuuksien, kuten tien geometrian sekä liittymien määrän ja tyypin sekä tarvittaessa päällysteen tyypin ja ympäristön luonteen aiheuttamaa matkanopeuden alenemaa. Tekijä ΔV_2 kuvaa ajan mukana muuttuvien ominaisuuksien kuten tien kunnon sekä sään ja kelin aiheuttamaa nopeusalenemaa ja tekijä ΔV_3 liikenteestä johtuvien ominaisuuksien kuten liikennemäärän, suuntajakauman ja ajoneuvokoostumuksen aikaansaamaa nopeuden alenemaa.

Tavoitenopeus vapaissa oloissa eri ajoneuvoryhmille voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$V_T = a + b * V_{raj} + c * V_{raj} / 80 * PI \quad (2)$$

missä V_{raj} = nopeusrajoituksesta riippuva tekijä taulukosta 3.1
PI = päällysteen leveys (huom. mahdolliset korjaukset)
a, b ja c = päällysteen leveydestä ja ajoneuvotyypistä riippuvia vakioita.

Taulukko 3.1. Tavoitenopeuden laskemisessa tarvittavan V_{raj} tekijän määrääminen.

Ajoneuvotyyppi	Nopeusrajoitus		
	≤ 80 km/h	100 km/h	120 km/h
kevyet autot	= nopeusrajoitus	98 km/h	108 km/h
raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	= nopeusrajoitus	81 km/h	82 km/h

Kaksikaistaisilla teillä päällysteen leveydellä tarkoitetaan kesto- tai kevytpäällysteen leveyttä, sorateillä ajoradan koko leveyttä. Ohituskaistan kohdalla päällysteen leveysarvosta vähennetään 2 metriä (4 metriä, jos ohituskaistat molempiin suuntiin). Jos ajosuunnat on erotettu keskikaiteella, vähennetään leveydestä myös turvallisuuteen liittyvä ajovarmuusvara, joka riippuu käytetystä ratkaisusta ja nopeustasosta.

Monikaistaisilla teillä päällysteen leveydellä tarkoitetaan yhden ajoradan tai oikeammin yhden ajosuunnan päällysteen leveyttä. Jos keskikaista on vain kaiteella erotettu tai ajorata on yhtenäinen, on leveydestä vähennettävä turvallisuuden edellyttämä ajovarmuusvara, joka riippuu käytetystä ratkaisusta ja nopeudesta.

Kaavassa 2 tarvittavat kertoimet a, b ja c voidaan määrittää taulukosta 3.2.

Taulukko 3.2. Tavoitenopeuden (V_T) kaavassa käytetyt kertoimet a, b ja c.

Ajoratojen luku	Päällysteen leveys	Ajoneuvotyyppi	a	b	c
1	>10 m	Kevyet autot	22	0,73	0,6
		Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	18	0,78	0,3
	7-10 m	Kevyet autot	22	0,58	1,8
		Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	18	0,58	1,9
	≤ 7 m	Kevyet autot	22	0,50	2,8
		Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	18	0,50	2,9
2	>10 m	Kevyet autot	22	0,87	0,0
		Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	18	0,87	0,0
	≤ 10 m	Kevyet autot	22	0,77	0,8
		Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät	18	0,82	0,4

Nopeusalenema ΔV_1 voidaan määrittää eri ajoneuvotyypeille seuraavilla kaavoilla:

Kevyet autot

$$\Delta V_{1\,(kev)} = V_{T\,(kev)} * (Ka / (Ka + 800) + Pt) + Lt \qquad (3)$$

Raskaat autot ja ajoneuvoyhdistelmät

$$\Delta V_{1\,(r+y)} = V_{T\,(r+y)} * (Mä / (Mä + 200) + Pt) + Lt \qquad (4)$$

Kaarteisuus (Ka) ja mäkisyys (Mä) ovat kaavoissa tieosakohtaisia keskiarvoja. Päällystetyypin (Pt) kerroin on kestopäällysteille 0, kevytpäällysteille 0,04 ja sorapäällysteille 0,1.

Kaavoissa oleva liittymätiheys (Lt) voidaan laskea joko pelkästään yleisten teiden liittymistä tai yleisten ja yksityisten teiden liittymistä seuraavilla painokertoimilla: Yleiset tiet, nelihaaraliittymä 1, kolmihaaraliittymä 0,7 ja yksityistiet, nelihaaraliittymä 0,1 kolmihaaraliittymä 0,07. Liikennevalot on tarkasteltava aina erikseen.

Nopeusaleneman ΔV_2 avulla voidaan tarkastella tien kunnon ja muiden muuttuvien olosuhteiden vaikutusta ajoneuvojen nopeuteen (Ristikartano et al. 2005a). Nämä vaikutukset otetaan huomioon tarvittaessa. Investointihankkeiden arvioinneissa niillä ei yleensä ole suurta merkitystä.

Nopeusalenema ΔV_3 voidaan määrittää ajosuunnittain eri tuntiliikenteille seuraavilla kaavoilla:

$$\Delta V_{3\,(kev)} = V_{T\,(kev)} * ((0{,}06 * Q_p + 0{,}03 * Q_v) / (Kk * 1000) + p_{rask}/10 * (V_{kev}-V_{r+y}) * 0{,}3 * Q_p / (Kk * 1000)) \quad (5)$$

$$\Delta V_{3\,(r+y)} = V_{T\,(r+y)} * ((0{,}06 * Q_p + 0{,}03 * Q_v) / (Kk * 1000)) \quad (6)$$

Kaavoissa Q_p on tarkasteltavan suunnan liikenne (ajon/h) ja Q_v vastakkaisen suunnan liikenne. Kerroin Kk on tavallisilla kaksikaistaisella tiellä 1 ja ohituskaistan kohdalla 2. Leveäkaistaisella tiellä kerroin on 2,5 ja monikaistaisilla teillä yhtä suuri kuin kaistojen lukumäärä.

Kerroin p_{rask} on raskaiden ajoneuvojen (raskaat ja yhdistelmät) prosenttiosuus liikenteestä ja V_{kev}-V_{ras} kevyiden autojen ja muiden autojen välinen nopeusero korjaustekijän ΔV_1 määrittämisen jälkeen.

Karkeissa laskelmissa Q_p ja Q_v voidaan olettaa yhtä suuriksi (puolet tuntiliikenteestä). Nopeusalenemalle ΔV_3 määritettyjä kaavoja voidaan käyttää vain kun liikenteen kysyntä on kaikkina tunteina alempi kuin tien välityskyky. Kysynnän lähestyessä välityskykyä liikenteen nopeus alenee voimakkaasti.

Nopeuksien laskennan lopuksi on vielä tarkistettava, että raskaiden autojen nopeus ei ole suurempi kuin kevyiden autojen nopeus.

Matkanopeuksien V_k määrittämiseksi lasketaan ensin tavoitenopeudet vapaissa olosuhteissa ja tien geometriasta sekä liikenteellisistä olosuhteista aiheutuvat nopeuden alenemat. Tavoitenopeudet määritetään kaavalla 2 erikseen kevyille ajoneuvoille ($V_{T\,(kev)}$) ja raskaille sekä yhdistelmäajoneuvoille ($V_{T\,(r+y)}$) . Nopeusrajoituksesta riippuva tekijä saadaan taulukosta 3.1 ja kertoimet a, b sekä c taulukosta 3.2. Näin lasketut tavoitenopeudet esimerkkihankkeen linkeillä vapaissa olosuhteissa esitetään taulukossa E4.

Taulukko E4. Tavoitenopeus vapaissa oloissa (km/h).

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$V_{T\,(kev)}$	102,4	81,6	102,4	100,9	102,4	81,6	100,9
$V_{T\,(r+y)}$	84,8	78,3	84,8	84,2	84,8	78,3	84,2

Tiegeometrian, päällystetyypin ja liittymätiheyden aiheuttamat pitkäkestoiset nopeusalenemat kevyille ajoneuvoille ($\Delta V_{1\,(kev)}$) määritetään kaavalla 3 ja raskaille sekä yhdistelmäajoneuvoille ($\Delta V_{1\,(r+y)}$) kaavalla 4. Pitkäkestoinen nopeusalenema ΔV_1 pysyy yhtä suurena koko tarkasteluajanjakson ajan.

Taulukko E5. Nopeusalenema ΔV_1 (km/h).

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$\Delta V_{1\,(kev)}$	1,98	4,39	1,98	3,95	1,98	4,39	1,91
$\Delta V_{1\,(r+y)}$	4,14	6,63	4,14	6,18	4,14	6,63	2,90

Nopeusaleneman ΔV_2 vaikusta ei tässä esimerkissä oteta huomioon. Liikenteellisten tekijöiden aiheuttama nopeusalenema ΔV_3 määritetään kevyille ajoneuvoille kaavalla 5 ja raskaille sekä yhdistelmäajoneuvoille kaavalla 6. ΔV_3 kasvaa tarkasteluajanjakson aikana liikenteen kasvun myötä, joten se lasketaan erikseen jokaiselle tarkasteluvuodelle.

Taulukko E6. Nopeusalenema ΔV_3 (km/h).

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$\Delta V_{3\,(kev)}$	2010	7,02	2,80	7,02	4,95	3,44	0,84	3,37
$\Delta V_{3\,(r+y)}$		3,51	2,20	3,51	2,37	1,84	0,66	1,66
$\Delta V_{3\,(kev)}$	2020	8,00	3,19	8,00	5,63	3,92	0,96	3,83
$\Delta V_{3\,(r+y)}$		4,00	2,51	4,00	2,70	2,10	0,75	1,89
$\Delta V_{3\,(kev)}$	2030	8,61	3,43	8,61	6,06	4,22	1,03	4,13
$\Delta V_{3\,(r+y)}$		4,31	2,70	4,31	2,91	2,26	0,81	2,03
$\Delta V_{3\,(kev)}$	2040	8,85	3,53	8,85	6,24	4,34	1,06	4,24
$\Delta V_{3\,(r+y)}$		4,43	2,78	4,43	2,99	2,32	0,83	2,09

Näiden tekijöiden perusteella voidaan määrittää matkanopeudet kaavalla 1 kevyille ja raskaille ajoneuvoille eri tarkasteluvuosina (taulukko E7).

Taulukko E7. Tuhannennen tunnin matkanopeus V_k (km/h).

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$V_{k\,(kev)}$	2010	93,36	74,42	93,36	92,00	96,93	76,38	95,62
$V_{k\,(r+y)}$		77,17	69,46	77,17	75,67	78,85	71,00	79,66
$V_{k\,(kev)}$	2020	92,38	74,03	92,38	91,31	96,45	76,26	95,15
$V_{k\,(r+y)}$		76,69	69,15	76,69	75,34	78,59	70,91	79,43
$V_{k\,(kev)}$	2030	91,77	73,78	91,77	90,88	96,15	76,19	94,86
$V_{k\,(r+y)}$		76,38	68,96	76,38	75,13	78,43	70,86	79,28
$V_{k\,(kev)}$	2040	91,53	73,69	91,53	90,71	96,03	76,16	94,74
$V_{k\,(r+y)}$		76,26	68,89	76,26	75,05	78,37	70,83	79,23

3.4 Polttoaineenkulutus

Polttoaineenkulutus määritetään nopeuden ja sen aleneman perusteella. Nopeusarvojen lisäksi voidaan ottaa huomioon ainakin pystygeometrian (esimerkiksi mäkisyys) ja tien kunnon (päällysteen laatu ja kunto) vaikutus polttoaineenkulutukseen. Viimeksi mainittujen tekijöiden vaikutuksesta on poistettava se osuus, mikä syntyy nopeuden alentumisen takia. Polttoaineenkulutus (P) useimmissa tiehankkeita koskevissa tarkasteluissa voidaan määrittää seuraavilla Vemosim -simulointiohjelmiston avulla määritellyillä kaavoilla.

$$P = P_{VT} + \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (7)$$

Kaavassa P_{VT} on polttoaineenkulutus määritellyllä tavoitenopeudella. Tekijän ΔP_1 avulla voidaan ottaa huomioon kaikki nopeusaleneman aiheuttamat vaikutukset riippumatta siitä, mikä tekijä aiheuttaa nopeuden alentumisen. Tekijän ΔP_2 avulla tarkastelua voidaan täydentää muilla vaikutuksilla, jotka eivät riittävästi tule esiin nopeusvaikutusten kautta. Näitä tekijöitä ovat ainakin tien pystygeometria (useimmiten mäkisyys) ja jatkossa myös tien päällysteen laatu ja kunto (Ristikartano ym., 2005a). Kaavan eri osatekijät voidaan määrittää seuraavilla kaavoilla:

$$P_{VT} = p0 + p1 * V_T + p2 * V_T^2 \quad (8)$$

$$\Delta P_1 = p3 * \Delta V + p4 * V_T * \Delta V + p5 * V_T^2 * \Delta V + p6 * \Delta V^2 \quad (9)$$

$$\Delta P_2 = p_m * Mä \quad (10)$$

Kaavoissa V_T on tavoitenopeus, ΔV eri tekijöistä yhdistetty nopeusalenema ja Mä mäkisyys. Kaavaa ΔP_2 voidaan täydentää eri tekijöillä tarpeen mukaan. Taulukossa 3.3 on esitetty edellä olevien kaavojen kertoimet eri tyyppiajoneuvoille. Liitteessä 2 on esitetty vastaavat kertoimet myös yksittäisille ajoneuvolajeille, joita voidaan käyttää erityistilanteissa.

Taulukko 3.3 Polttoaineenkulutusmallin kertoimet.

Kerroin	Tyyppiajoneuvo		
	Kevyt	Raskas	Yhdistelmä
p0	10,5435	57,126	54,932
p1	-0,14424	-1,1151	-0,72174
p2	0,0011337	0,0084999	0,0064066
p3	0,2911	2,622	4,710
p4	-0,0029646	-0,036918	-0,073366
p5	0	0,00010767	0,00028042
p6	0,00086133	0,0045078	0,0047268
pm	0,052	0,337	0,739

Suhteellinen polttoaineenkulutus dP on kaavalla 7 lasketun polttoaineenkulutuksen P ja tyyppiajoneuvon keskimääräisen polttoaineenkulutuksen suhde eli se voidaan määrittää kaavalla:

$$dP = P / Pk \quad (11)$$

Keskimääräinen polttoaineenkulutus Pk eri tyyppiajoneuvoille Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaan on taulukon 3.4 mukainen.

Taulukko 3.4. Keskimääräinen polttoaineenkulutus (Pk).

Tyyppiajoneuvo	Pk (l/100 km)
Kevyt	8,2
Raskas	29,3
Yhdistelmä	45,8

Polttoaineenkulutukset esimerkkihankkeen linkeille määritetään tyyppiajoneuvoittain. Kaavojen 7-10 ja taulukon 3.3 kerrointen avulla ja saadaan taulukon E8 mukaiset arvot.

Taulukko E8. Polttoaineenkulutus esimerkin liikenneolosuhteissa (l/100 km).

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$P_{(kev)}$	2010	8,14	7,60	8,14	8,31	8,14	7,49	7,88
$P_{(rask)}$		29,36	31,47	29,36	31,25	28,81	30,75	27,21
$P_{(yhd)}$		51,33	56,68	51,33	55,46	50,38	55,51	47,23
$P_{(kev)}$	2020	8,14	7,63	8,14	8,31	8,13	7,49	7,88
$P_{(rask)}$		29,52	31,61	29,52	31,37	28,90	30,79	27,29
$P_{(yhd)}$		51,62	56,92	51,62	55,66	50,53	55,58	47,36
$P_{(kev)}$	2030	8,14	7,64	8,14	8,32	8,13	7,50	7,88
$P_{(rask)}$		29,63	31,70	29,63	31,44	28,95	30,82	27,33
$P_{(yhd)}$		51,79	57,07	51,79	55,79	50,62	55,62	47,44
$P_{(kev)}$	2040	8,14	7,65	8,14	8,32	8,13	7,50	7,88
$P_{(rask)}$		29,67	31,74	29,67	31,47	28,97	30,83	27,35
$P_{(yhd)}$		51,87	57,12	51,87	55,84	50,65	55,64	47,48

Ajoneuvokustannuksia laskettaessa tarvitaan suhteellinen polttoaineenkulutus dP, joka voidaan määrittää kaavan 11 ja taulukon 3.4 keskimääräisten polttoaineenkulutusten avulla. Esimerkkihankkeen suhteelliset polttoaineenkulutukset esitetään taulukossa E9.

Taulukko E9. Suhteellinen polttoaineenkulutus.

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$dP_{(kev)}$	2010	0,992	0,927	0,992	1,013	0,992	0,913	0,961
$dP_{(rask)}$		1,001	1,073	1,001	1,065	0,982	1,048	0,928
$dP_{(yhd)}$		1,121	1,238	1,121	1,211	1,100	1,212	1,032
$dP_{(kev)}$	2020	0,993	0,930	0,993	1,014	0,992	0,914	0,961
$dP_{(rask)}$		1,007	1,078	1,007	1,069	0,985	1,050	0,930
$dP_{(yhd)}$		1,127	1,243	1,127	1,216	1,104	1,214	1,034
$dP_{(kev)}$	2030	0,993	0,932	0,993	1,014	0,992	0,914	0,961
$dP_{(rask)}$		1,010	1,081	1,010	1,072	0,987	1,051	0,932
$dP_{(yhd)}$		1,131	1,246	1,131	1,218	1,106	1,215	1,036
$dP_{(kev)}$	2040	0,993	0,933	0,993	1,014	0,992	0,915	0,961
$dP_{(rask)}$		1,012	1,082	1,012	1,073	0,988	1,051	0,933
$dP_{(yhd)}$		1,133	1,248	1,133	1,220	1,106	1,215	1,037

3.5 Ajoneuvokustannukset

Ajoneuvokustannukset (Ank, c/km) kevyille ja raskaille autoille lasketaan suhteellisen polttoaineenkulutuksen dP ja tyyppiajoneuvojen verottomien käyttökustannusten (B) avulla. Koska edellisissä julkaisuissa esiintyneet kiinteät käyttökustannukset ja pääomakustannukset on jätetty pois, ovat kaikki mukaan otettavat kustannukset riippuvaisia polttoaineenkulutuksesta. Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaiset tyyppiajoneuvojen verottomat käyttökustannukset esitetään taulukossa 3.5.

Taulukko 3.5. Tyyppiajoneuvojen verottomat käyttökustannukset (B).

Tyyppiajoneuvo	Polttoaine-kustannus	Muut käyttö-kustannukset	Yhteensä (B)
Kevyt ajoneuvo, c/km	2,91	2,90	**5,81**
Raskas ajoneuvo, c/km	11,06	15,46	**26,52**
Ajoneuvoyhdistelmä, c/km	17,26	18,86	**36,12**

Ajoneuvokustannukset voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$Ank\ (c/km) = dP * B \qquad (12)$$

Vuotuiset ajoneuvokustannukset linkeittäin voidaan määrittää kaavalla:

$$Ank\ (M€/a) = Ank\ (c/km) * KVL * 365 * L / 10^8 \qquad (13)$$

Esimerkkihankkeen tieverkkovaihtoehdoille määritetään ajoneuvokustannukset kaavoilla 12 ja 13. Vuotuiset ajoneuvokustannukset esitetään taulukossa E10.

Taulukko E10. Ajoneuvokustannukset (M€/a).

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$Ank_{(kev)}$	2010	3,27	2,24	3,27	2,37	1,74	0,66	2,07
$Ank_{(rask)}$		0,84	0,79	0,84	0,76	0,36	0,23	0,61
$Ank_{(yhd)}$		1,27	1,24	1,27	1,18	0,55	0,36	0,92
$Ank_{(kev)}$	2020	3,72	2,56	3,72	2,70	1,98	0,75	2,35
$Ank_{(rask)}$		0,96	0,90	0,96	0,87	0,41	0,26	0,69
$Ank_{(yhd)}$		1,46	1,42	1,46	1,34	0,63	0,42	1,05
$Ank_{(kev)}$	2030	4,01	2,76	4,01	2,91	2,14	0,81	2,53
$Ank_{(rask)}$		1,03	0,97	1,03	0,94	0,44	0,28	0,75
$Ank_{(yhd)}$		1,58	1,53	1,58	1,45	0,68	0,45	1,13
$Ank_{(kev)}$	2040	4,12	2,84	4,12	2,99	2,20	0,84	2,61
$Ank_{(rask)}$		1,06	1,00	1,06	0,96	0,46	0,29	0,77
$Ank_{(yhd)}$		1,62	1,57	1,62	1,49	0,70	0,46	1,17

4 MATKA-AIKASÄÄSTÖJEN ARVON LASKEMINEN

Aikakustannukset (Aik, c/km) voidaan laskea tyyppiajoneuvoille määritettyjen matka-aikasäästön arvojen (A) ja keskimääräisten matkanopeuksien avulla. Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaiset matka-aikasäästön arvot tyyppiajoneuvoittain esitetään taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1. Matka-aikasäästöjen yksikköarvot (A) tyyppiajoneuvoittain vuonna 2005.

Tyyppiajoneuvo	euroa/ tunti/auto (A)
Kevyt ajoneuvo	**16,09**
Raskas ajoneuvo	**56,02**
Yhdistelmä-ajoneuvo	**19,57**

Kilometrikohtaiset matka-aikasäästön arvot määritetään kaavalla 14.

$$Aik\ (c/km) = A / V_K * 100 \qquad (14)$$

Vuotuiset matka-aikasäästön arvot linkeittäin voidaan määrittää ajoneuvokustannusten tapaan:

$$Aik\ (M€/a) = Aik\ (c/km) * KVL * 365 * L / 10^8 \qquad (15)$$

Esimerkkihankkeen matka-aikasäästöjen arvot ajoneuvotyypeittäin määritetään kaavoilla 14 ja 15. Matka-aikasäästöjen arvot saatiin taulukosta 3.6 ja keskimääräiset matkanopeudet kohdan 3.3 taulukosta E7. Esimerkkihankkeen vuotuisiksi matka-aikasäästöjen arvoiksi saadaan taulukon E11 mukaiset arvot.

Taulukko E11. Matka-aikasäästöjen arvo Aik (M€/a).

	Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
		Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
$Aik_{(kev)}$	2010	9,77	8,98	9,77	7,05	5,02	2,63	6,23
$Aik_{(rask)}$		2,29	2,23	2,29	1,99	0,98	0,66	1,74
$Aik_{(yhd)}$		0,80	0,78	0,80	0,69	0,34	0,23	0,61
$Aik_{(kev)}$	2020	11,24	10,29	11,24	8,09	5,74	3,00	7,13
$Aik_{(rask)}$		2,62	2,56	2,62	2,28	1,12	0,75	1,98
$Aik_{(yhd)}$		0,92	0,89	0,92	0,79	0,39	0,26	0,69
$Aik_{(kev)}$	2030	12,18	11,11	12,18	8,75	6,20	3,23	7,70
$Aik_{(rask)}$		2,83	2,76	2,83	2,46	1,21	0,81	2,14
$Aik_{(yhd)}$		0,99	0,96	0,99	0,86	0,42	0,28	0,75
$Aik_{(kev)}$	2040	12,56	11,44	12,56	9,01	6,38	3,32	7,93
$Aik_{(rask)}$		2,92	2,84	2,92	2,53	1,25	0,83	2,20
$Aik_{(yhd)}$		1,02	0,99	1,02	0,88	0,44	0,29	0,77

5 ONNETTOMUUSKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN

5.1 Onnettomuusmäärät

Liikennetaloudellisia laskelmia varten on selvitettävä mahdollisimman luotettavasti suunniteltujen toimenpiteiden aiheuttamat muutokset henkilövahinko-onnettomuuksien määrissä tai riskeissä. Pelkästään omaisuusvahinkoihin johtavien onnettomuuksien merkitys laskelmissa on marginaalinen.

Liikenneonnettomuuksien määriä tulevaisuudessa voidaan arvioida eri menetelmillä. Käytettävissä on onnettomuusmalleja, tietoja onnettomuusasteista erilaisissa tie- ja liikenneoloissa sekä arvioita tienparannustoimien vaikutuksesta erilaisiin onnettomuuksiin. Liikenneonnettomuuksien analysointi tehdään aina siltä osalta tieverkkoa, jolla tapahtuvat muutokset ovat kustannustarkastelun kannalta merkittäviä.

Onnettomuushistoria ei välttämättä kuvaa riittävän luotettavasti tietyn tienosan turvallisuuden tasoa. Tilastointiin sisältyvien epävarmuustekijöiden lisäksi pieniin onnettomuuslukuihin liittyy suurta satunnaisvaihtelua. Luotettavimmat arviot kohteen turvallisuustilanteesta saadaankin yhdistämällä tiedot kohteessa tapahtuneista onnettomuuksista sekä laajempien tie- ja liikennetietojen pohjalta lasketuista, samankaltaisten tieolosuhteiden keskimääräisistä onnettomuusluvuista. Onnettomuudet voidaan jakaa luotettavuuden parantamiseksi pienempiin ryhmiin, kuten autoliikenteen ja kevyen liikenteen onnettomuuksiin sekä eläinonnettomuuksiin.

Onnettomuuksien lukumäärän arviointi voidaan suorittaa esimerkiksi Tiehallinnon TARVA-ohjelmalla (turvallisuusvaikutusten arviointi vaikutuskertoimilla). Vuosittain päivitettävä ohjelma perustuu tarkasteluvuoden tie- ja liikennetietojen sekä viiden viimeisen vuoden onnettomuustietojen hyväksikäyttöön. Ohjelma käyttöohjeineen on saatavissa Tiehallinnolle tehtäviä laskelmia varten internetistä (Tarva, 2005).

Nykyisen tien onnettomuudet

Nykyisten onnettomuusmäärien laskemiseksi riittää tieosoitteen syöttäminen TARVA-ohjelmaan. Ohjelma laskee nykytilan yhdistämällä onnettomuushistorian ja kyseisen tieryhmän keskimääräisen onnettomuustiedon. Tiellä, jolle ei ole vielä kertynyt riittävää onnettomuushistoriaa, käytetään suoraan kyseisen tieryhmän keskimääräistä onnettomuusastetta. Taulukoissa 5.1 ja 5.2 on esitetty TARVA 4.6:n mukaiset keskimääräiset onnettomuusasteet ja niihin liittyvät vakavuusasteet (Tarva, 2005).

Taulukko 5.1. Keskimääräiset onnettomuus- ja vakavuusasteet tielinjoilla.

Tieryhmä		Nopeus-rajoitus	KESKIMÄÄRÄINEN ONNETTOMUUSASTE Hvj-onn. / milj. autokm				VAKAVUUS kuolleet / 100 h-onn.
			Kaikki h-onn.	Luokittain			Kaikki h-onn.
				Auto	Kevyt	Eläin	
1 Moottoritie	1)	<= 80 km/h	**0,04**	0,036	0,0010	0,0005	2
		100 km/h	**0,04**	0,035	0,0020	0,0026	8
		120 km/h	**0,03**	0,027	0,0006	0,0044	7
2 Moottoriliikennetie	1)	Kaikki	**0,05**	0,049	0,0013	0,0020	27
3 Muu 2-ajoratainen tie	1)	<= 70 km/h	**0,11**	0,093	0,0184	0,0006	3
		>= 80 km/h	**0,06**	0,055	0,0039	0,0012	3
4 Leveä päätie maaseudulla	2)	<= 70 km/h	**0,05**	0,040	0,0022	0,0045	5
		80 km/h	**0,07**	0,058	0,0048	0,0073	12
		100 km/h	**0,07**	0,048	0,0042	0,0148	16
5 Kapea päätie maaseudulla	2)	<= 70 km/h	**0,10**	0,082	0,0160	0,0018	15
		80 km/h	**0,08**	0,068	0,0055	0,0093	13
		100 km/h	**0,07**	0,054	0,0047	0,0152	13
6 Leveä muu tie maaseudulla	2)	<= 70 km/h	**0,09**	0,078	0,0117	0,0039	9
		80 km/h	**0,08**	0,061	0,0076	0,0076	7
		100 km/h	**0,11**	0,083	0,0091	0,0215	17
7 Kapea muu tie maaseudulla	2)	<= 70 km/h	**0,17**	0,138	0,0238	0,0059	5
		80 km/h	**0,12**	0,099	0,0127	0,0100	8
		100 km/h	**0,08**	0,056	0,0075	0,0181	15
8 Taajamamerkki	3)	<= 40 km/h	**0,25**	0,105	0,1426	0,0003	4
		50 km/h	**0,17**	0,096	0,0747	0,0009	5
		60 km/h	**0,13**	0,093	0,0325	0,0004	4
9 Tilastollinen taajama, päätie	3)	<= 70 km/h	**0,09**	0,072	0,0201	0,0019	5
		80 km/h	**0,08**	0,064	0,0121	0,0039	11
		100 km/h	**0,07**	0,054	0,0078	0,0085	10
10 Tilastollinen taajama, muu tie	3)	<= 50 km/h	**0,17**	0,118	0,0488	0,0029	4
		60-70 km/h	**0,12**	0,089	0,0329	0,0015	5
		>= 80 km/h	**0,11**	0,080	0,0206	0,0051	7

1) Sisältää myös tierekisterin maankäyttötiedon mukaiset taajamien tiet.
2) Ilman taajamateitä. Päätie on kapea, kun sen päällysteleveys on alle 9,5 m ja muu tie on kapea, kun sen päällysteleveys on alle 8 metriä.
3) Luokittelu taajamateihin taajamamerkin ja tilastollisen taajaman mukaan. Ei sisällä moottori-, moottoriliikenne- ja 2-ajorataisten teiden taajamateitä

HUOM: Taulukossa nopeusrajoitus on valittu kuvaamaan erilaisia tie- ja liikenne-olosuhteita. Nopeusrajoituksen muutoksen vaikutusta ei voida arvioida tämän taulukon perusteella, sillä eri nopeusrajoituksen alaiset tiet poikkeavat toisistaan yleensä myös monella muulla tavalla.

Taulukko 5.2. Keskimääräiset onnettomuusasteet liittymissä.

Liittymän tyyppi	Sivutien osuus, %, 1)	LIITTYMIEN ONNETTOMUUSASTE henkilövahinko-onnettomuutta/ 100 milj. saapunutta autoa 2)			
		Kaikki	Luokittain		
		h-onn.	Auto	Kevyt	Eläin
3-haarainen tasoliittymä, T	0 – 5 %	**2,5**	1,9	0,5	0
	6 – 15 %	**4,1**	3,5	0,6	0
	16 - %	**5,2**	4,3	0,9	0
4-haarainen tasoliittymä, X	0 – 5 %	**4,9**	4,6	0,3	0
	6 – 15 %	**8,5**	7,6	0,9	0
	16 - %	**11,9**	10,4	1,5	0
Eritasoliittymä	kaikki	**1,1**	1,0	0,1	0

1) Muiden kuin kahden suuriliikenteisimmän päätiehaaran osuus kaikista liittymään saapuvista ajoneuvoista.
2) Saapuvien autojen määrä = liittymään saapuvien ajoneuvojen määrä vuodessa liittymähaarojen KVL-arvojen perusteella laskettuna.

Laskennassa käsitellään erikseen liittymien ja tielinjan onnettomuudet. Henkilövahinko-onnettomuuksien lisäksi ohjelma laskee myös onnettomuuksissa kuolleiden nykytilan ennusteen. Onnettomuuskehitystä ennustettaessa kerrotaan nykyinen onnettomuusmäärä edelleen liikenteen kasvukertoimella.

Parannetun tien onnettomuudet

Toteutettujen parannustoimenpiteiden jälkeinen onnettomuusmäärä voidaan laskea eri toimille määriteltyjen vaikutuskertoimien avulla. Kun samalle tieosuudelle tehdään erilaisia toimia, yhdistetty vaikutus syntyy eri vaikutuskertoimien tulona. Toimet vaikuttavat sekä onnettomuuksien määrään että niiden vakavuuteen. Tuloksena saadaan arvio henkilövahinko-onnettomuuksien määrästä ja onnettomuuksissa kuolevista vuotta kohti. TARVA-ohjelman käyttämät vaikutuskertoimet sekä onnettomuuksien vakavuuden muutokset on esitetty ohjelman käyttöohjeessa.

Uuden tieyhteyden onnettomuudet

Uusia tieyhteyksiä rakennettaessa jakautuvat liikennemäärät ja sitä myötä myös onnettomuudet uudelleen tieverkolle. TARVA-ohjelma ei ole sopivin työkalu tämän tyyppisten toimien turvallisuusvaikutusten arviointiin. Arviointiin on käytettävissä muita ohjelmia, kuten Tiehallinnon IVAR-ohjelmisto.

Muut arviointimahdollisuudet

Karkeita arvioita yksittäisille tieosuuksille voidaan tarvittaessa tehdä myös ilman ohjelmia, laskemalla onnettomuusmuutos onnettomuusmäärän ja vaikutuskertoimien avulla. Niin sanotuissa pistemäisissä kohteissa, esimerkiksi liittymissä, vaikutusalueeksi oletetaan tavallisesti 200 metriä kumpaankin suuntaan. Liittymän liikennemääränä käytetään liittymään tulevien ajoneuvojen kokonaismäärää.

Nykyisen tien onnettomuuksia laskettaessa tulisi tieryhmän keskimääräisellä onnettomuusasteella olla vähintään sama painoarvo kuin itse tarkasteltavan tieosuuden onnettomuushistorialla. Tarvittavat onnettomuusasteet ja vaikutuskertoimet voidaan ottaa vastaavista TARVA-ohjelman taulukoista. Niitä käytettäessä on kuitenkin muistettava, että liittymillä ja liittymäväleillä on omat arvonsa.

Jos tunnetaan vain henkilövahinko-onnettomuuksien kokonaislukumäärä ilman taulukon ryhmittelyä auto-, kevyt- ja eläinonnettomuuksiin, vaikutuskerroin tulee valita tieympäristön perusteella tai käyttää esimerkiksi eri onnettomuusryhmille annettujen kertoimien keskiarvoa tai onnettomuusryhmien suuruudella painotettua keskiarvoa. Arvio toimenpiteen jälkeisestä onnettomuusmäärästä lasketaan kertomalla nykyisen tien onnettomuusmäärä näin saadulla kertoimella.

Onnettomuusmäärien laskenta

Heva-onnettomuusasteen odotusarvon (Oa) ja vuotuisen ajosuoritteen tulona voidaan laskea halutun tarkasteluvuoden henkilövahinko-onnettomuuksien määrä taloudellisuuslaskelmia varten riittävän luotettavasti. Henkilövahinko-onnettomuuksien määrä voidaan laskea kaavalla:

$$Om\ (heva\text{-}onn./a) = Oa * KVL * 365 * L / 10^6 \qquad (16)$$

Liikennemäärän kasvun ei laskelmissa oleteta vaikuttavan tieosuuden onnettomuusasteeseen tieolosuhteiden pysyessä muuttumattomina, jolloin onnettomuusmäärät kasvavat ajosuoritteen suhteessa.

Onnettomuuksissa kuolleiden määrät voidaan arvioida vakavuuskertoimien avulla:

$$Om_{kuol}\ (henk./a) = Oa * O_{vak} / 100 \qquad (17)$$

Esimerkkitapauksessa nykyisen tieverkon sekä vaihtoehdossa 0++ parannettavan tieosan onnettomuusasteet määritetään TARVA-ohjelman avulla. Vaihtoehdossa 1 uuden linkin onnettomuusaste määritetään taulukon 3.7 keskimääräisten arvojen perusteella. Onnettomuusasteet linkeittäin esitetään taulukossa E12.

Taulukko E12. Tieosien keskimääräiset onnettomuusasteet (Oa).

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
Heva-onnettomuusaste (onn./milj.km)	0,09	0,12	0,09	0,11	0,09	0,12	0,07

Tarkasteluvuoden henkilövahinko-onnettomuuksien määrät lasketaan kaavalla 16.

Taulukko E13. Henkilövahinko-onnettomuuksien määrät (Om).

Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
2010	5,67	5,65	5,67	5,02	2,97	1,70	2,94
2020	6,46	6,44	6,46	5,72	3,38	1,93	3,35
2030	6,95	6,93	6,95	6,16	3,64	2,08	3,60
2040	7,14	7,13	7,14	6,33	3,74	2,14	3,70

5.2 Onnettomuuskustannukset

Onnettomuuskustannusten arviointiin suunnittelutilanteessa riittää tavallisesti henkilövahinko-onnettomuuksien määrän ja vastaavien yksikkökustannusten käyttäminen. Arvio voidaan tehdä kuitenkin myös onnettomuuksien vakavuusasteesta ja vastaavista yksikkökustannuksista lähtien, esimerkiksi TARVA-raportin perusteella. Vakavuusasteella on merkitystä, kun onnettomuuksissa kuolleiden osuus poikkeaa paljon keskimääräisestä. Omaisuusvahinko-onnettomuuksien kustannukset otetaan huomioon omaisuusvahinkokertoimen avulla (esimerkiksi vakiokerroin 1,1, jolloin omaisuusvahinkojen osuus onnettomuuskustannuksista on noin 10 prosenttia).

Onnettomuuskustannukset eri tarkasteluvaihtoehdoille voidaan määrittää henkilövahinko-onnettomuuden keskimääräisen yksikköarvon (C), henkilövahinko-onnettomuuksien määrän (Om) ja omaisuusvahinkokertoimen (Ovk) avulla. Onnettomuustyyppikohtaiset yksikköarvot Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaan esitetään taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3. Onnettomuustyyppikohtaiset yksikköarvot vuonna 2005.

Kuolemaan johtanut onnettomuus	2 205 000
Vammautumiseen johtanut onnettomuus	330 000
Henkilövahinko-onnettomuus keskimäärin	**471 000**
Pelkkä omaisuusvahinko-onnettomuus	2 700
Tieliikenneonnettomuus keskimäärin	118 000

Onnettomuuskustannukset voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$Onk = Om * C * Ovk / 10^6 \quad (20)$$

Henkilövahinko-onnettomuuksien määrän (Om) laskenta on suoritettu edellä (taulukko E13) ja heva-onnettomuuden yksikköarvo (C) on taulukon 3.9 mukaisesti 471 000 €. Omaisuusvahinkokertoimen (Ovk) arvona käytetään 1,1. Tällöin linkkien onnettomuuskustannukset kaavalla 20 laskettuna ovat taulukon E14 mukaiset.

Taulukko E14. Onnettomuuskustannukset Onk (M€/v).

Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
2010	2,94	2,93	2,94	2,60	1,54	0,88	1,52
2020	3,34	3,34	3,34	2,96	1,75	1,00	1,73
2030	3,60	3,59	3,60	3,19	1,89	1,08	1,87
2040	3,70	3,69	3,70	3,28	1,94	1,11	1,92

6 YMPÄRISTÖKUSTANNUSTEN MÄÄRITTÄMINEN

6.1 Meluhaitan kustannukset

Meluhaitan arvoon sisältyvät lähinnä viihtyisyyden vähenemisestä aiheutuvat kustannukset. Haittojen arvon muutos lasketaan melualueiden asukkaiden määrän ja melun yksikköhintojen avulla.

Melun vaikutustarkasteluissa selvitetään päiväliikenteen (klo 7-22) ulkomelun ekvivalenttitasot. Väylän läheisyydessä määritetään erikseen 55, 65 ja 70 dB:n melutasojen etäisyys tiestä, eli melurajat (melukäyrät), ja arvioidaan näiden rajaamilla melualueilla asuvien määrät yhtenä tarkasteluvuotena, joka on mieluiten laskentajakson keskivaiheilta. Melualueiden rajoja ei yleensä ole tarpeen määrittää erikseen tarkastelujakson muina vuosina, sillä liikennemäärien normaalit muutokset vaikuttavat melutasoihin vain vähän. Asukkaiden määrien arviointiin voidaan käyttää väestörekisterin tietoja tai rakennusten määrän avulla tehtyjä arvioita.

Meluhaitan arvo Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaan esitetään taulukossa 6.1.

Taulukko 6.1. Tieliikenteen meluhaitan yksikköarvot (D).

Melutaso (dB(A))	Häiriötä kokevien osuus asukkaista, %	Yksikköarvo (D); €/melun häiriönä kokeva asukas/vuosi
55 – 65	33	1 010
65 – 70	50	1 010
70 –	100	1 010

Meluhaitan arvo voidaan määrittää meluhaitan yksikköarvon, häiriötä kokevien asukkaiden osuuden ja kaikkien melualueen asukkaiden määrän perusteella seuraavasti.

$$Mlk\ (M€/v) = (D*(As_{55\text{-}65dB}*0{,}33 + As_{65\text{-}70dB}*0{,}5 + As_{70\text{-}dB}*1)) / 10^6 \quad (21)$$

Kaavassa D on meluhaitan yksikköarvo ja As eri melutasoilla asuvien määrä.

Ympäristökustannusten laskemiseksi määritetään hankkeen vaikutusalueella asuvien, melusta kärsivien asukkaiden määrät meluselvityksen perusteella.

Taulukko E15. Melualueen asukkaat vuonna 2025.

Melutaso	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
55-65 dB	100	80	100	70	75	60	20
65-70 dB	20	15	20	10	15	5	0
yli 70 dB	0	0	0	0	0	0	0

Melukustannukset määritetään kaavalla 21 ja saadaan taulukon E16 mukaiset tarkasteluvuodesta riippumattomat arvot

Taulukko E16: Melukustannukset (M€/v).

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
Melun kustannukset (M€/v)	0,043	0,034	0,043	0,028	0,033	0,023	0,007

6.2 Pakokaasupäästöjen kustannukset

Polttoaineperäisten päästöjen kustannuksiin sisältyvät haittojen aiheuttamat taloudelliset menetykset. Haittojen yksikköhintoja määritettäessä on tarkasteltu terveysvaikutuksia (mm. sydän- ja hengityselinsairauksia sekä syöpiä), luontovaikutuksia (metsien ja viljelysten tuoton väheneminen), taloudellisia vaikutuksia (korroosio ja likaantuminen) sekä ilmastonmuutosta.

Tieliikenteen pakokaasujen aiheuttamat haitat aiheutuvat pääosin typen oksidien, hiukkasten hiilimonoksidin, hiilivetyjen, ja kasvihuonekaasujen (hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli) päästöistä.

Pakokaasupäästöjä laskettaessa tulee tiehankkeissa yleensä ottaa huomioon ajo-olosuhteet, nopeustaso ja autokannan tekninen kehittyminen. Verkon katuosuuksille ja maantieosuuksille tulee käyttää eri yksikköhintoja ja tarvittaessa myös eri laskentamalleja tai päästökertoimia. Tiehallinto käyttää yleensä YTV:n tutkimustuloksiin perustuvia päästömalleja.

Pakokaasupäästöt lasketaan vähintään tien avaamisvuodelle, yhdelle tai kahdelle välivuodelle ja viimeiselle tarkasteluvuodelle. Päästöjen kehittymiseen vaikuttaa muun muassa katalysaattoriautojen yleistyminen. Arvioita autokannan kehittymisestä on esimerkiksi VTT:n kehittämässä LIISA-laskentajärjestelmässä (VTT 2003). Vuoden 2020 jälkeen autokannan oletetaan pääosin täyttävän sekä raskaille autoille että henkilöautoille asetetut tiukemmat päästömääräykset. Pakokaasujen päästöt eivät tarkastelujaksolla välttämättä kehity lineaarisesti. Hiilidioksidipäästöjen laskennassa voidaan ottaa huomioon autokannan kehittymisestä johtuvat muutokset autojen polttoaineenkulutuksessa.

Taulukossa 6.2 esitetään tärkeimpien päästökomponenttien yksikköarvot (E) Tieliikenteen ajokustannukset 2005 -taustaraportin mukaan.

Taulukko 6.2. Päästökustannukset yhdisteittäin (E).

Yhdiste	Yksikkö	Taajama	Haja-asutusalue	Keskimäärin
Typen oksidit (NO_x)	euroa/tonni	1170	458	773
Hiukkaset ($PM_{2,5}$)	euroa/tonni	213 000	6 640	109 000
Hiilimonoksidi (CO)	euroa/tonni	25,5	0,73	16,4
Hiilivedyt	euroa/tonni	70,2	70,2	70,2
Hiilidioksidi (CO_2)	euroa/tonni	33,8	33,8	33,8

Taulukossa 6.2 esitettyjen yksikköarvojen sekä linkille arvioitujen päästömäärien perusteella voidaan määrittää päästökustannukset seuraavasti:

$$PsK\ (M€/v) = (\Sigma\ Pm_i * E_i) / 10^6 \qquad (22)$$

missä Pm on komponentin päästömäärä vuodessa (t/a) ja E komponentin yksikköarvo (€/t).

Esimerkkilaskelmassa määritetään päästömäärät linkeittäin tärkeimmille päästökomponenteille vuoden 2005 tasossa. Liikenne-ennusteen ja yleisten päästömääräennusteiden avulla lasketaan päästömäärät eri tarkasteluvuosille. Koska kaikilla esimerkin linkeillä on sekä taajama- että haja-asutusosuuksia, käytetään päästöjen hinnoittelussa keskimääräisiä hintoja. Taulukossa E17 esitetään päästömäärät komponenteittain hankkeen avaamisvuonna

Taulukko E17. Päästömäärät hankkeen avausvuonna (t/v).

	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
Typen oksidit	75,0	58,1	75,0	57,5	40,5	17,5	57,1
Hiukkaset	3,75	2,48	3,75	2,79	2,10	0,75	2,77
Hiilimonoksidi	176,6	109,0	176,6	127,7	101,6	32,8	125,7
Hiilivedyt	16,6	15,3	16,6	12,3	9,4	4,6	12,1
Hiilidioksidi	14663	11236	14663	11224	7908	3360	11008

Päästökustannukset lasketaan komponenteittain hankkeen kaikille tarkasteluvuosille kaavalla 22. Päästökustannukset esitetään taulukossa E18.

Taulukko E18. Päästökustannukset (M€/v).

Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
2010	0,99	0,72	0,99	0,75	0,54	0,22	0,74
2020	0,89	0,65	0,89	0,68	0,49	0,19	0,67
2030	0,91	0,66	0,91	0,69	0,50	0,20	0,68
2040	0,90	0,65	0,90	0,68	0,49	0,20	0,67

7 TIEHANKKEEN KUSTANNUKSET

Tiehankkeen kustannuksiin kuuluvat tien rakentamisen kustannukset rakennusaikaiset korot mukaan luettuna ja tien kunnossapidon kustannukset (Kpk, kunnossapito ja uudelleen päällystäminen).

Käytettäessä tämän julkaisun mukaisia yksikkökustannuksia on tiehankkeen kustannukset (arviot) esitettävä maarakennuskustannusindeksin (2000=100; lyhenne MAKU-ind.) vuoden 2005 keskimääräisessä kustannustasossa. Arvio pisteluvusta on 116,7, joka vastaisi aiemmin käytetyn indeksin (MAKU 1995=100) pistelukua 133,5.

Laskettaessa rakentamisen aikaisia korkoja kunkin vuoden rakentamiskustannukselle lasketaan korkoa perusvuoteen. Investointikustannuksen I nykyarvo I_p saadaan laskemalla yhteen eri rakentamisvuosina (t) syntyneet kustannukset I_t korkoineen seuraavasti:

$$I_p = \Sigma 1{,}05^{(t-0{,}5)} * I_t \qquad (23)$$

Jäännösarvo J määrätään kiinteänä osuutena investoinnin kustannuksista ja se diskontataan kannattavuusarvioinnissa perusvuoteen seuraavasti:

$$J_p = J / 1{,}05^{30} \qquad (24)$$

Vuotuiset kunnossapitokustannukset arvioidaan esimerkiksi tien kunnossapitoluokan ja kunnossapitotilastojen avulla. Uudelleen päällystämisen kustannukset sisällytetään yleensä kunnossapitokustannuksiin (keskimääräinen vuosikustannus), mutta niitä voidaan periaatteessa käsitellä myös määräaikaisina lisäinvestointeina.

Vaihtoehtojen 0++ ja 1 rakennuskustannukset on arvioitu alun perin MAKU-indeksin pisteluvun (2000=100) 112 mukaan. Tämän julkaisun yksikköarvoja käytettäessä on kustannukset esitettävä MAKU-indeksin (2000=100) pisteluvun 116,7 mukaisessa tasossa. Kun huomioidaan indeksimuunnos ja rakennusaikaiset korot, saadaan kuoletettavat rakennuskustannukset (K). Kiinteän jäännösarvoprosentin (25 %) avulla saadaan jäännösarvo (J) tarkastelujakson lopussa, joka diskontataan avaamisvuoteen. Rakennuskustannukset, korot ja jäännösarvot esitetään taulukossa E19.

Taulukko E19. Hankkeiden rakennuskustannukset, korot ja jäännösarvot.

	VE 0 ++		VE 1	
Indeksimuutos		112,0 → 116,7		112,0 → 116,7
Kustannusarvio		23,00 M€ → 23,97 M€		80,00 M€ → 83,36 M€
Rakennusaika (v)	2		3	
Korot yht.	5,0 %	1,21 M€	7,7 %	6,40 M€
Kuoletettava kustannus (K)		25,17 M€		89,76 M€
Laskentajakso (v)	30		30	
Laskentakorko	5 %		5 %	
Jäännösarvoprosentti	25 %		25 %	
Jäännösarvo (J)		1,39 M€		4,82 M€

Vuotuiset kunnossapitokustannukset arvioidaan kunnossapitoluokkien ja kunnossapitotilastojen avulla. Vuotuiset kunnossapitokustannukset linkeittäin esitetään taulukossa E20.

Taulukko E20. Vuotuiset kunnossapitokustannukset (M€/v).

Vuosi	VE0		VE0++		VE1		
	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 1	Linkki 3	Linkki 1	Linkki 2	Linkki 4
2010	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,16
2020	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,16
2030	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,16
2040	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,10	0,16

8 TALOUDELLISUUSTARKASTELUT

8.1 Yleistä

Tiehankkeen taloudellisuustarkastelut sisältävät aina kannattavuuslaskelman, joka muodostaa osan tienhankkeen vaikutusten arvioinnista. Kannattavuuslaskelmassa tarkasteluun otetaan kaikki rahaksi muutettavissa olevat hyöty- ja haittaerät. Yleensä tiehankkeen kannattavuuslaskelma sisältää ainakin liikenteen ajokustannukset (AK), joihin lasketaan ajoneuvokustannukset (Ank), matka-aikasäästön arvot (Aik) ja onnettomuuskustannukset (Onk) sekä liikenteen ympäristökustannukset (Ymk), joihin sisältyvät melun ja pakokaasupäästöjen haittojen kustannukset.

Nykyisin liikenteen melun ja pakokaasupäästöjen kustannuseriä käsitellään taloudellisuuslaskelmissa samoin periaattein kuin ajokustannuksia. Kuitenkin on suositeltavaa esittää sekä ajokustannusten että ympäristökustannusten osakustannukset ja niiden muutokset myös erillisinä lukuina.

Tiehankkeen taloudellisuuteen vaikuttavat liikenteen kustannusten ja rakennuskustannusten lisäksi tienpidon muut kustannukset (Kpk, lähinnä tien kunnossapito ja uudelleen päällystäminen).

Hankkeen tarkastelujakson (tie- ja siltahankkeilla 30 vuotta) eri vuosina erääntyvät kustannukset (esimerkiksi rakennuskustannukset, niiden korot, liikenteen kustannukset) tai vaikutuksina kertyvät rahalliset hyödyt (säästöt) on tarpeen saada keskenään verrattaviksi. Tästä syystä kustannukset ja hyödyt diskontataan sovitulla laskentakorolla (5 %) perusvuoteen (yleensä hankkeen käyttöönottovuosi). Samoin menetellään kunnossapito- ja päällystyskustannusten kanssa.

Diskonttaus voidaan tehdä jokaiselta tarkastelujakson vuodelta. Riittävä tarkkuus saadaan määrittämällä kustannukset jakson alku- ja loppuvuodelta sekä välivuosilta 5 (tai 10) vuoden välein, jos liikenteen säästö- tai kustannuserien voidaan olettaa muuttuvan väliaikoina suoraviivaisesti.

Kaavalla (25) voidaan diskontata vuosittain määritetyt hyöty- tai kustannuserät H_t ja kaavalla (26) viiden vuoden välein määritetyt erät perusvuoteen H_p.

$$H_p = \Sigma H_t / 1{,}05^t \qquad (25)$$

$$H_p = 5 * (H_0 / 2 + H_5 / 1{,}05^5 + H_{10} / 1{,}05^{10} + H_{15} / 1{,}05^{15} + H_{20} / 1{,}05^{20} + H_{25} / 1{,}05^{25} + H_{30} / (2 * 1{,}05^{30})) \qquad (26)$$

8.2 Hankkeen taloudelliset tunnusluvut

Hankkeen kannattavuuden arviointia ja eri vaihtoehtojen edullisuuden vertailua varten on kehitetty tunnuslukuja, joista yleisimmin käytettyjä liikennetaloudellisissa vertailuissa ovat:

- **Hyötykustannussuhde (H/K):**
  Koko laskenta-ajanjaksolta (yleensä 30 vuotta) perusvuoteen diskontattujen hyötyjen suhde vastaavasti diskontattuihin investointikustannuksiin.
- **Ensimmäisen vuoden tuotto (e):**
  Tien ensimmäisen käyttövuoden hyödyt jaettuna kokonaisinvestoinnilla (kuoletettava kustannus).

Näiden lisäksi voidaan laskea muitakin tunnuslukuja, joista mainittakoon seuraavat:

- **Hankkeen sisäinen korko:**
  Korkokanta, jolla diskontattuna hyöty-kustannussuhde on yksi.
- **Nykyarvo (Pääoma-arvo):**
  Kaikkien tarkastelujakson aikana syntyvien hyötyjen ja kustannusten nykyarvojen erotus.

Laskentakaavoja

$$H/K = (B - C + J) / K \quad \text{(nettoperiaatteella laskettuna)} \qquad (27)$$

K = perusinvestointi rakennusaikaiset korot mukaan lukien nykyarvoisena
B = liikenteen (+Ymk) hyötyjen nykyarvo
C = käyttökustannusten (Kpk) nykyarvo
J = jäännösarvon nykyarvo
(B ja C summattuina koko laskentajaksolta)

$$e = (b_1 - c_1) / K \qquad (28)$$

b_1 = 1. vuoden hyödyt (AK- ja Ymk- säästöt 0-vaihtoeht. verraten)
c_1 = 1. vuoden käyttökust. (Kpk-lisäys/säästö)

8.3 Kannattavuuslaskelma

Hankkeen kannattavuuslaskelma tehdään liikenne- ja viestintäministeriön (LVM 2003) ja Tiehallinnon (Tiehallinto 2004) ohjeiden mukaisesti. Hankkeen arvioinnissa laskelmaa täydennetään muilla tarvittavilla vaikutustarkasteluilla.

Suunniteltujen hankkeiden kannattavuuslaskelma suoritetaan LVM:n ja Tiehallinnon ohjeiden mukaisesti. Hyödyt sekä kustannukset tarkastelujakson ajalta diskontataan nykyhetkeen ja määritetään hyötykustannussuhde (H/K). Hankkeiden kannattavuuslaskelmat esitetään taulukossa E20.

Taulukko E20. Hankkeiden kannattavuuslaskelmat.

Taloudellisuustarkastelu

	VE 0	VE 0++	VE1	Säästö VE0++	Säästö VE1
Väylänpitäjän hyödyt					
- Kunnossapitokustannukset	3,67	3,70	6,07	-0,03	-2,36
	3,67	3,70	6,07	-0,03	-2,36
Väylän käyttäjän hyödyt					
- Ajoneuvokustannukset					
kevyet autot	99,65	101,96	80,79	-2,31	18,86
raskaat autot	29,49	28,95	21,73	0,54	7,77
yhdistelmät	45,64	44,48	33,23	1,16	12,41
- Aikakustannukset					
kevyet autot	341,49	306,58	251,75	34,91	89,74
raskaat autot	82,10	77,65	61,16	4,46	20,94
yhdistelmät	28,68	27,12	21,37	1,56	7,31
- Onnettomuuskustannukset					
	105,98	100,10	71,18	5,88	34,80
	733,04	686,85	541,21	46,19	191,84
Ulkopuolisten hyödyt					
Melukustannukset	1,25	1,15	0,99	0,09	0,26
Päästökustannukset	25,74	26,21	22,55	-0,47	3,19
	26,99	27,37	23,54	-0,38	3,45
				VE 0++	**VE 1**
Jäännösarvo				1,39	4,82
HYÖDYT YHTEENSÄ				47,17	197,74
Kustannukset					
Rakentamiskustannukset				23,97	83,36
Rakentamisen aikaiset korot				1,21	6,40
KUSTANNUKSET YHTEENSÄ				25,17	89,76
HYÖTY-KUSTANNUSSUHDE **H/K =**				**1,87**	**2,20**

Hanke on yhteiskuntataloudellisesti kannattava, mikäli hyötykustannussuhde on suurempi tai yhtä suuri kuin yksi. Molemmat tässä esimerkissä tarkastellut hankkeet ovat siis kannattavia. Uuden valtatieyhteyden rakentaminen on valtatien loppuosan parantamista kannattavampi vaihtoehto yhteiskuntataloudellisesti.

LÄHTEET

Finnra (2001). Capacity and level of Service on Finnish Two-Lane Highways. Finnra reports 18/2001. Finnish Road Administration. Helsinki 2001.

HCM (2000). Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. Washington, D.C.: National Research Council. HCM2000, metric units.

LVM (2003). Liikenneväylähankkeiden arvioinnin yleisohje. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 34/ 2003. Helsinki 2003.

Ristikartano, Jukka (2003). IVAR-ohjelmiston laskentamallien päivitys. Versioon 2.1 tehdyt muutokset. Tiehallinnon julkaisematon raportti, 11.3.2003.

Ristikartano, Jukka, Spoof, Harri, Räsänen, Mikko ja Malmivuo, Mikko (2005a). Ajokustannusten kuntoriippuvuus päällystetyillä teillä ja sorateillä. Tiehallinnon selvityksiä 2005. Raporttiluonnos 8.9.2005.

Ristikartano, Jukka ja Vihermäki Mikko (2005b). IVAR-ohjelmiston kunnossapitokustannusmallien päivitys. Tiehallinnon julkaisematon raportti, 6.6.2005.

Tarva (2005). Kuvaus TARVA-ohjelmasta. Tarva-ohjelmiston Internet-sivut. (http://www.tarva.net/tarvaesittely.asp)

Tiehallinto (2001). Tieliikenteen ajokustannukset 2000, Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Helsinki 2001.

Tiehallinto (2003). IVAR-ohjelmiston käyttöopas, Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Helsinki 2003.

Tiehallinto (2004). Tiehankkeiden arviointiohje. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, Helsinki 2004.

Tiehallinto (2005a) Tieliikenne-ennuste 2004-2040. Vuoden 2003 ennusteen tarkistaminen. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 19/2005.

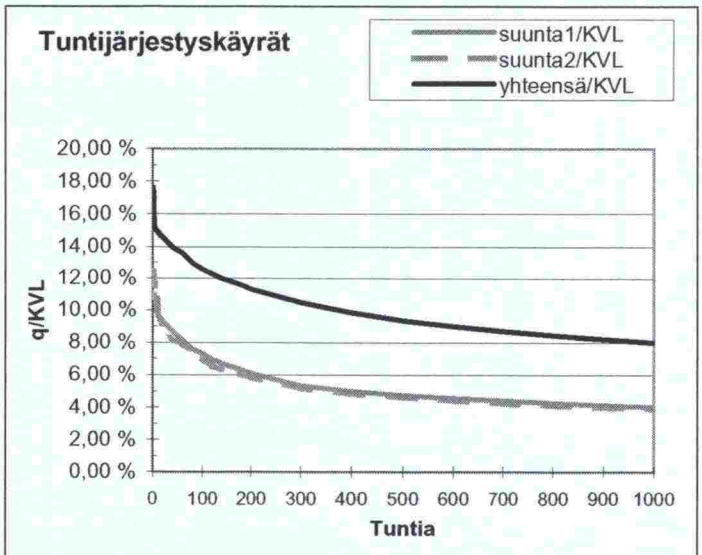
Tiehallinto (2005b). Väyläomaisuuden hallinnan käsitteistö. Tiehallinnon Internet-sivut. (http://alk.tiehallinto.fi/voh/voh_kasitteisto.htm#Ajokustannukset)

VTT (2003). Tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. Liisa 2003. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Liisa laskentajärjestelmän Internet-sivut (http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/index.htm).

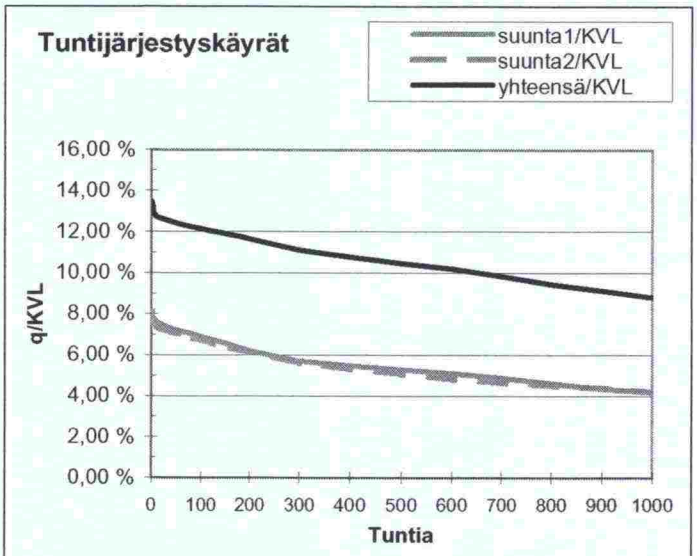
LIITTEET

1. Tuntijärjestyskäyriä
2. Polttoaineenkulutusmallin kertoimia yksittäisille ajoneuvolajeille

TUNTIJÄRJESTYSKÄYRIÄ



h	q	q/KVL	qras	qras/KVLras
1	1736	17,6 %	103	10,3 %
30	1400	14,2 %	93	9,3 %
100	1236	12,6 %	87	8,7 %
150	1169	11,9 %	84	8,4 %
300	1031	10,5 %	80	8,0 %
1000	787	8,0 %	71	7,1 %
5000	338	3,4 %	33	3,3 %



h	q	q/KVL	qras	qras/KVLras
1	2476	13,4 %	251	15,3 %
30	2308	12,5 %	231	14,1 %
100	2234	12,1 %	217	13,3 %
150	2194	11,9 %	212	13,0 %
300	2044	11,1 %	204	12,5 %
1000	1620	8,8 %	180	11,0 %
5000	588	3,2 %	24	1,5 %

POLTTOAINEENKULUTUSMALLIN KERTOIMIA YKSITTÄISILLE AJONEUVOLAJEILLE

Kaavan tekijä	Ajoneuvotyyppi		
	Henkilöauto	Pakettiauto	Kevyt tyyppiajoneuvo
Vakio	10,2820	13,5490	10,5435
Vt	-0,13697	-0,22785	-0,14424
Vt^2	0,0010840	0,0017052	0,0011337
dV	0,2790	0,4300	0,2911
Vt*dV	-0,0028360	-0,0044429	-0,0029646
Vt^2*dV	0	0	0
dV^2	0,00081540	0,00138900	0,00086133
mäkisyys	0,052	0,052	0,052

Kaavan tekijä	Ajoneuvotyyppi				
	La kaupunki	La maaseutu	La keskimäärin	Kaip	Raskas tyyppiajoneuvo
Vakio	40,1470	44,6430	41,9010	65,325	57,1260
Vt	-0,84283	-0,77611	-0,81681	-1,2757	-1,1151
Vt^2	0,0078872	0,0057415	0,0070504	0,0092805	0,0084999
dV	2,7121	2,0411	2,4504	2,7144	2,6220
Vt*dV	-0,0421930	-0,0235390	-0,0349180	-0,037995	-0,0369180
Vt^2*dV	0,00013445	0,000046963	0,00010033	0,00011162	0,00010767
dV^2	0,00484870	0,00270490	0,00401260	0,0047745	0,00450780
mäkisyys	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337

Kaavan tekijä	Ajoneuvotyyppi			
	Kapp	Katp	Yhdistemä-ajoneuvo	Vanha raskas tyyppiajoneuvo
Vakio	47,2600	56,2870	54,9320	55,9850
Vt	-0,67373	-0,73021	-0,72174	-0,91056
Vt^2	0,0060615	0,0064676	0,0064066	0,0074114
dV	4,5254	4,7426	4,7100	3,7078
Vt*dV	-0,0737600	-0,0732970	-0,0733660	-0,0558710
Vt^2*dV	0,00029173	0,00027843	0,00028042	0,0001975
dV^2	0,00632610	0,00444450	0,00472680	0,00462170
mäkisyys	0,739	0,739	0,739	0,546

ISBN 951-803-604-7
TIEH 2100038-05