



Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset

Veli-Pekka Kallberg | Juha Luoma | Kari Mäkelä |
Harri Peltola | Riikka Rajamäki



Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset

Veli-Pekka Kallberg, Juha Luoma, Kari Mäkelä, Harri
Peltola & Riikka Rajamäki

VTT



ISBN 978-951-38-8191-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 197

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

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

VTT Technical Research Centre of Finland

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

FI-02044 VTT, Finland

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

Alkusanat

Tämä ajonopeuksien liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutuksia käsittelevä tutkimus tehtiin VTT:llä Turvallinen liikenne 2025 -tutkimusohjelmassa (<http://www.vtt.fi/proj/tl2025/>). Ohjelman jäseniä vuonna 2014 olivat Liikennevirasto, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Nokian Renkaat Oyj ja VTT.

Tutkimuksen tekivät Veli-Pekka Kallberg, Juha Luoma, Kari Mäkelä, Harri Peltola ja Riikka Rajamäki VTT:stä. Työn ohjausryhmään kuuluivat Päivi Nuutinen ja Tuomas Österman Liikennevirastosta sekä Inkeri Parkkari, Jussi Pohjonen ja Mikko Räsänen Liikenteen turvallisuusvirasto Trafista. Raportin esitarkasti Heikki Kanner VTT:stä.

Tekijät

Sisältö

1. Johdanto	5
1.1 Tausta.....	5
1.2 Tavoitteet	5
2. Menetelmä	6
3. Liikennevirran nopeuden vaikutukset	7
3.1 Liikennevirran keskinopeuden vaikutus turvallisuuteen.....	7
3.1.1 Potenssimallit	7
3.1.2 Eksponenttimallit.....	10
3.1.3 Potenssi- ja eksponenttimallien vertailua.....	10
3.1.4 Nopeusjakauman muutoksen vaikutuksen laskeminen eksponenttimallilla.....	14
3.2 Tiekohtaisten nopeusrajoitusten vaikutus turvallisuuteen.....	16
3.3 Nopeuksien hajonnan vaikutus turvallisuuteen	24
3.4 Liikennevirran nopeuden vaikutus ympäristöön.....	27
3.4.1 Nopeuden vaikutus kulutukseen ja päästöihin	27
3.4.2 Nopeuden vaikutus meluun	30
3.5 Ajonopeuksien optimointi kustannusten suhteen	32
4. Ajonopeuden vaikutukset yksittäisen kuljettajan näkökulmasta	35
4.1 Oman nopeuden vaikutus turvallisuuteen	35
4.2 Törmäyksenäikaisen nopeudenmuutoksen vaikutus onnettomuuden seurauksiin	42
4.3 Törmäysnopeuden vaikutus jalankulkijan kuolemanriskiin	46
4.4 Oman nopeuden vaikutus ympäristöön.....	48
5. Yhteenveto	49
5.1 Ajonopeuksien turvallisuusvaikutukset.....	49
5.2 Ajonopeuksien ympäristövaikutukset	50

1. Johdanto

1.1 Tausta

Ajonopeuksien liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutuksista on paljon tietoa, joka on kuitenkin sirpaleista ja peräisin eri aikakausilta niin, että kokonaiskuvan muodostaminen vaikutuksista nykytilanteessa on haasteellista. Lisäksi tarjolla on paljon virheellisiä käsityksiä. Kokoavaa tietoa kuitenkin tarvitaan ajonopeuksia koskevan päätöksenteon ja tiedottamisen pohjaksi.

Raportin luvussa 3 kuvataan ensin liikenteen keskinopeuden, nopeusrajoitusten ja nopeuksien hajonnan vaikutukset turvallisuuteen liikennevirran tasolla. Sitten kuvataan ympäristövaikutuksia liikennevirran tasolla ja tarkastellaan optiminopeuden käsitettä. Luvussa 4 selvitetään ajonopeuden vaikutuksia yksittäisen kuljettajan näkökulmasta: Tarkastellaan nopeuden vaikutusta selittäviä kuljettajan toimintaan liittyviä tekijöitä, oman tai toisen osapuolen nopeuden vaikutusta onnettomuuksien vakavuuteen sekä oman nopeuden ympäristövaikutuksia. Luvussa 5 esitetään tiivistetysti keskeisimmät ajonopeuden turvallisuus- ja ympäristövaikutuksia koskevat päätelmät.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena on laatia kattava ja tiivis tutkimustietoon perustuva kuvaus ajonopeuksien ja nopeusrajoitusten vaikutuksista liikenneturvallisuuteen ja ympäristöön.

2. Menetelmä

Tutkimus toteutetaan pääosin kirjallisuustutkimuksena, jossa kootaan keskeinen aihepiiriä koskeva tieto ja päivitetään tarpeen mukaan myös tekijöiden aiemmissa kotimaisissa dokumenteissa esitetyt tiedot.

3. Liikennevirran nopeuden vaikutukset

3.1 Liikennevirran keskinopeuden vaikutus turvallisuuteen

Liikennevirran nopeuden vaikutusta onnettomuuksiin on 1980-luvun alkupuolelta lähtien menestyksekkäästi kuvattu Ruotsissa kehitetyillä, suureen eri maista peräisin olevaan aineistoon perustuvilla ns. potenssimalleilla tai ”Nilssonin malleilla”. Niissä samansuuruisesta suhteellisesta nopeudenmuutoksesta seuraa samansuuruisen muutoksen turvallisuudelle: Esimerkiksi keskinopeuden kasvusta 10 %:lla 60 km/h:stä 66 km/h:iin seuraa suhteellisesti yhtä suuri turvallisuustason muutos kuin keskinopeuden kasvusta 30 km/h:stä 33 km/h:iin. Tätä mallin ominaisuutta kohtaan esitettyyn kritiikkiin on pyritty vastaamaan ns. eksponenttimalleilla, joissa tietynsuuruista nopeudenmuutoksesta aiheutuva turvallisuuden muutos riippuu alkutilanteen nopeudesta, toisin kuin potenssimalleissa.

Seuraavassa esitellään molemmat mallit ja havainnollistetaan niiden käyttöä.

3.1.1 Potenssimallit

Liikenteen keskinopeuden muutoksen vaikutusta onnettomuuksien ja niissä loukkaantuvien lukumäärään kuvataan ruotsalaisen Göran Nilssonin (Nilsson 1981, Andersson & Nilsson 1997, Nilsson 2004) alun perin kehittämällä ns. potenssimalleilla, jotka ovat muotoa

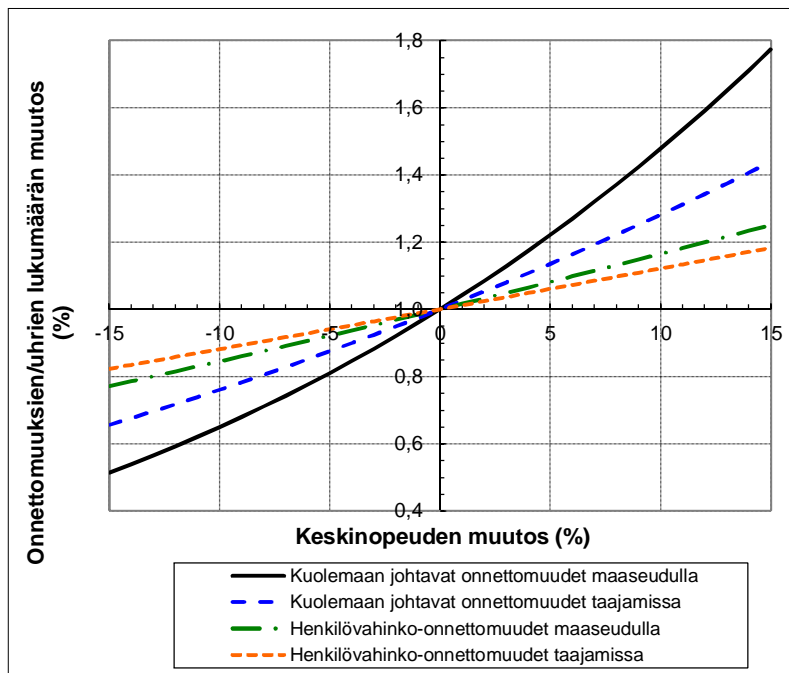
$$\frac{\text{Onnettomuuksien_lkm_jälkeen}}{\text{Onnettomuuksien_lkm_ennen}} = \left(\frac{\text{Keskiopeus_jälkeen}}{\text{Keskiopeus_ennen}} \right)^a \quad (1)$$

Mallissa eksponentti a riippuu Nilssonin (2004) mukaan onnettomuuden vakavuudesta seuraavasti:

- ♦ kaikki henkilövahinko-onnettomuudet: $a = 2$
- ♦ vakavaan loukkaantumiseen tai kuolemaan johtavat onnettomuudet: $a = 3$
- ♦ kuolemaan johtavat onnettomuudet: $a = 4$.

Nopeuden vaikutukset turvallisuuteen ovat tarkentuneet aikaisemmista malleista (Nilsson 2004, Elvik ym. 2004, Elvik 2009), mutta käytännön kannalta erot ovat

pieniä. Elvik (2009) on myös laatinut erilliset mallit maaseutu- ja taajamaolosuhteisiin (kuva 1 ja taulukko 1).



Kuva 1. Keskinopeuden muutoksen vaikutukset maaseudun ja taajamien kuolemaan johtaviin ja kaikkiin henkilövahinko-onnettomuuksiin (Kallberg 2010, Elvikin 2009 mallien mukaisesti).

Taulukko 1. Potenssimallien eksponentit (Elvik 2009).

	Eksponentti ja sen 95 %:n varmuusväli suluissa		
	Maaseutu	Taajama	Kaikki
Kuolemaan johtavat onnettomuudet	4,1 (2,9...5,3)	2,6 (0,3...4,9)	3,5 (2,4...4,6)
Kuolemat	4,6 (4,0...5,2)	3,0 (-0,5...6,5)	4,3 (3,7...4,9)
Vakavat henkilövahinko-onnettomuudet	2,6 (-2,7...7,9)	1,5 (0,9...2,1)	2,0 (1,4...2,6)
Vakavat henkilövahingot	3,5 (0,5...5,5)	2,0 (0,8...3,2)	3,0 (2,0...4,0)
Lievät henkilövahinko-onnettomuudet	1,1 (0,0...2,2)	1,0 (0,6...1,4)	1,0 (0,7...1,3)
Lievät henkilövahingot	1,4 (0,5...2,3)	1,1 (0,9...1,3)	1,3 (1,1...1,5)
Kaikki henkilövahinko-onnettomuudet	1,6 (0,9...2,3)	1,2 (0,7...1,7)	1,5 (1,2...1,8)
Kaikki henkilövahingot	2,2 (1,8...2,6)	1,4 (0,4...2,4)	2,0 (1,6...2,4)
Omaisuuksivahinko-onnettomuudet	1,5 (0,1...2,9)	0,8 (0,1...1,5)	1,0 (0,5...1,5)

Malleissa kiinnittää huomiota kaksi asiaa. Ensinnäkin keskinopeuden muutoksen vaikutus on pienempi taajamissa (missä nopeudet ovat yleensä alle 60 km/h) kuin maaseudulla (missä nopeudet ovat yleensä yli 60 km/h). Toiseksi maaseudun teitä koskevat mallit ovat luotettavampia (95 %:n varmuusväli on pienempi). Jälkimmäiseen asiaan vaikuttaa mm. se, että taajamien teiltä oli vähemmän aineistoa.

Cameronin & Elvikin (2010) mukaan taulukon 1 kaltainen potenssimalli soveltuu hyvin kuvaamaan nopeuden vaikutusta onnettomuuksiin maaseudun teillä. Taajamiin malli soveltuu huonommin, mikä voi johtua siitä, että taajamien teillä on enemmän sekä riskitekijöitä (esim. enemmän liikennettä ja risteyksiä sekä kevyttä liikennettä) että nopeuksia sääteleviä elementtejä (esim. suojatiet, liikennevalot, liikenneympyrät). Lisäksi nopeudet taajamissa ovat pienempiä kuin maaseudulla, jolloin törmäyksissä tuhoavaksi työksi muuttuva liike-energia on pienempi (Elvik 2010).

Potenssimallin puutteena voidaan pitää sitä, että prosentuaalisesti samansuuruudesta nopeudenmuutoksesta seuraa aina samansuuruinen vaikutus riippumatta siitä, mikä oli nopeus alkutilanteessa. Vaikutus on sama esimerkiksi silloin kun keskinopeus laskee (5 %) 100 km/h:stä 95 km/h:iin, 80 km/h:stä 76 km/h:iin ja 40 km/h:stä 38 km/h:iin. Kahden ensin mainitun tapauksen välillä todellisten vaikutusten ero ei välttämättä ole kovin suuri. Ei kuitenkaan ole uskottavaa, että keskinopeuden alentaminen 40 km/h:stä 38 km/h:iin vähentää kuolemaan johtavia onnettomuuksia yhtä paljon kuin keskinopeuden alentaminen 100 km/h:stä 95 km/h:iin. Potenssimallin eksponentin riippuvuus lähtötilanteen keskinopeudesta ilmenee selvästi myös Elvikin tarkastelusta, jossa mallit laadittiin erikseen eri nopeusalueille (Elvik 2013, 2014).

3.1.2 Eksponenttimallit

Elvikin kehittämässä *potenssimallille* vaihtoehtoisessa *eksponenttimallissa* onnettomuuksien lukumäärän riippuvuutta liikenteen keskinopeuteen kuvataan yhtälöllä

$$\text{Onnettomuuksien suhteellinen lukumäärä} = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot x)} \quad (2)$$

Siinä x on liikenteen keskinopeus, e on Neperin luku 2,71828 ja α sekä β ovat estimoitavia kertoimia. Elvikin laskemia eksponenttimallien kertoimia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Eksponenttimallien kertoimet ja niiden keskivirheet suluissa (Elvik 2014).

Selitettävä muuttuja	vakiotermi α	kerroin β
Kuolemaan johtavien onnettomuuksien lukumäärä	0,065 (0,021)	0,069 (0,004)
Henkilövahinko-onnettomuuksien lukumäärä	1,916 (0,165)	0,034 (0,001)
Omaisuuksivahinko-onnettomuuksien lukumäärä	2,982 (0,162)	0,032 (0,001)
Onnettomuuksissa kuolleiden lukumäärä	0,064 (0,027)	0,060 (0,005)
Onnettomuuksissa vakavasti loukkaantuneiden lukumäärä	0,089 (0,048)	0,065 (0,008)
Onnettomuuksissa lievästi loukkaantuneiden lukumäärä	2,617 (0,058)	0,039 (0,000)

3.1.3 Potenssi- ja eksponenttimallien vertailua

Soveltamalla kaavaa (2) kuolemaan johtavien onnettomuuksien lukumäärään taulukosta 2 saatavilla α :n ja β :n arvoilla saadaan onnettomuuksien suhteelliseksi lukumääräksi 80 km/h nopeudella 16,2 ja 76 km/h nopeudella 12,3, eli onnettomuudet vähenisivät 24 % (= (16,2–12,3)/16,2). Potenssimallilla ja α :n arvolla 4 kaavassa (1) saadaan samansuuruisen nopeuden aleneman vaikutukseksi kuolemaan johtavien onnettomuuksien väheneminen 19 %:lla.

Jos nopeus alenisi saman 5 %, mutta alkunopeus olisi 80 km/h:n sijasta 50 km/h (eli nopeus alenisi 50 km/h:stä 47,5 km/h:iin), kuolemaan johtavat onnettomuudet vähenisivät potenssimallin mukaan samat 19 % kuin edellisessä esimerkissä, mutta eksponenttimallin mukaan vain 11 % (suhteellinen onnettomuusmäärä pienenesi 2,05:stä 1,72:een).

Potenssi- ja eksponenttimallien keskinäistä paremmuutta selvitetiin määrittämällä molemmille malleille parametrit samasta aineistosta, jossa oli mukana myös

joukko uudempia tutkimustuloksia verrattuna Elvikin aiempiin, taulukossa 1 esitettyihin malleihin. Taulukosta 3 nähdään, että molempien mallien selitysasteet ovat erinomaisia ja niiden erot pieniä, eikä pelkästään niiden perusteella voi päätellä mallien keskinäistä paremmuutta. Myös verrattaessa potenssimallien kertomia taulukossa 3 aiempien (maaseudun teitä koskevien) mallien vastaaviin kertomiin taulukossa 1 nähdään, että erot ovat melko pieniä.

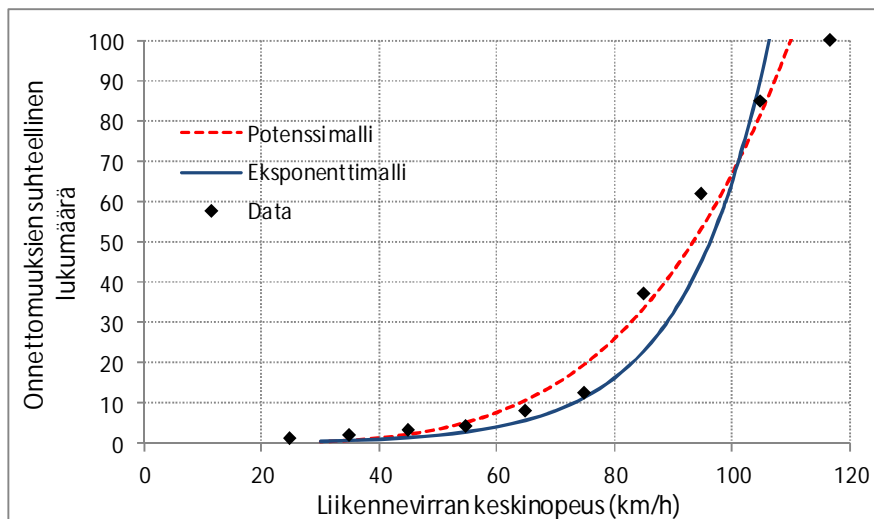
Taulukko 3. Potenssi- ja eksponenttimallien vertailua (Elvik 2014).

Selitettävä muuttuja	Potenssimalli			Eksponenttimalli		
	vakiotermi	eksponentti a	selitysaste (R^2)	vakiotermi α	kerroin β	selitysaste (R^2)
Kuolemaan johtavien onnettomuuksien lukumäärä	2,192 ⁻⁷ (0,000)	4,234 (0,587)	0,987	0,065 (0,021)	0,069 (0,004)	0,985
Henkilövahinko-onnettomuuksien lukumäärä	0,003 (0,001)	2,124 (0,062)	0,986	1,916 (0,165)	0,034 (0,001)	0,996
Omaisuuksivahinko-onnettomuuksien lukumäärä	0,013 (0,005)	1,856 (0,097)	0,989	2,982 (0,162)	0,032 (0,001)	0,992
Onnettomuuksissa kuolleiden lukumäärä	4,439 ⁻⁸ (0,000)	4,446 (0,403)	0,932	0,064 (0,027)	0,060 (0,005)	0,934
Onnettomuuksissa vakavasti loukkaantuneiden lukumäärä	1,224 ⁻⁶ (0,000)	3,795 (0,218)	0,96	0,089 (0,048)	0,065 (0,008)	0,971
Onnettomuuksissa lievästi loukkaantuneiden lukumäärä	0,003 (0,000)	2,320 (0,018)	0,994	2,617 (0,058)	0,039 (0,000)	0,988

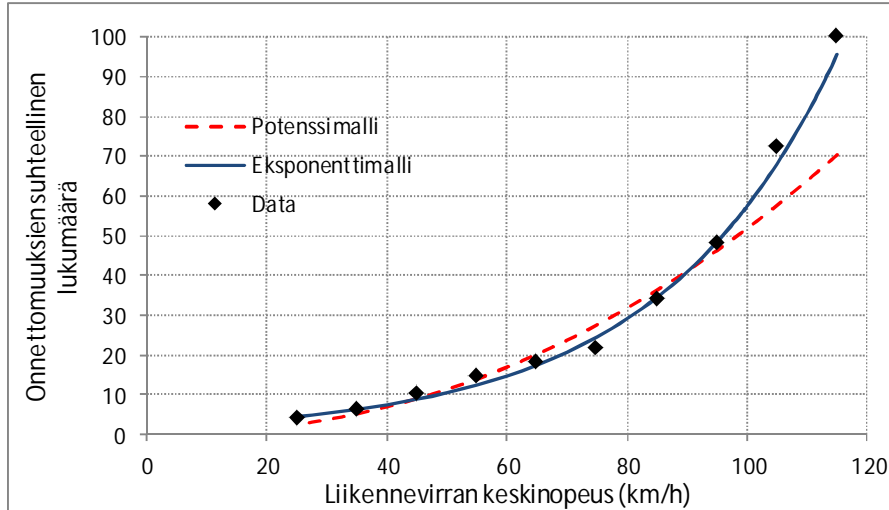
Potenssi- ja eksponenttimallien selvin ero on siinä, että tyypillisillä taajamanopeuksilla eksponenttimallilla lasketut nopeudenmuutoksen vaikutukset ovat pienempiä kuin potenssimallilla lasketut (kuvat 2, 3 ja 4). Potenssimalli näytti sopivan kuolemaan johtavia onnettomuuksia koskeviin datapisteisiin eksponenttimallia paremmin (kuva 2). Henkilö- ja omaisuusvahinko-onnettomuuksia kuvaava eksponenttimalli puolestaan näytti tässä suhteessa potenssimallia paremmalta (kuvat 3 ja 4).

Kuvien avulla voidaan laskea molemmilla malleilla keskinopeuden muuttamisen vaikutus onnettomuuksien lukumäärään. Esimerkiksi kuvassa 2 keskinopeutta 90 km/h vastaava potenssimallin mukainen suhteellinen onnettomuusmäärä on noin 43 ja keskinopeutta 80 vastaava suhteellinen onnettomuusmäärä on noin 26. Potenssimallin mukaan keskinopeuden alentaminen 90 km/h:stä 80 km/h:iin vähentäisi kuolemaan johtavia onnettomuuksia noin 40 % (= 100*(43-26)/43). Eksponenttimallin mukaan vastaava vähenemä olisi noin 50 % (=100*(32-16)/32).

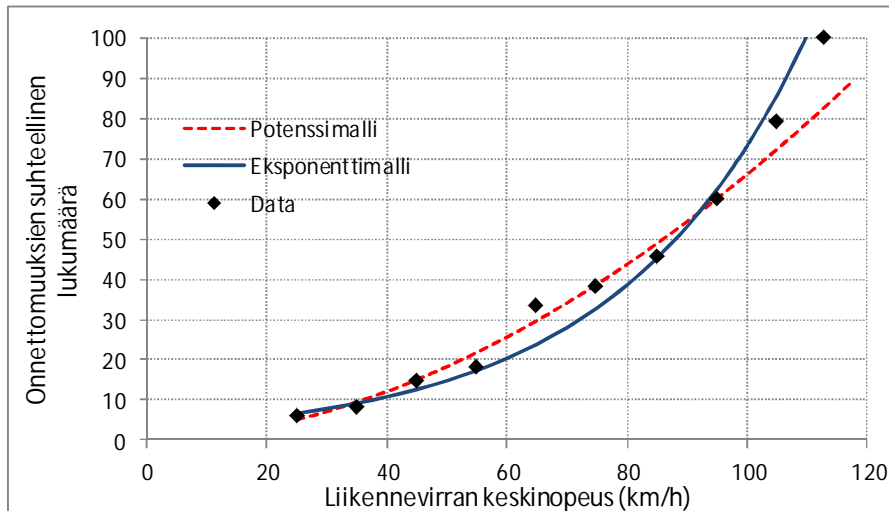
Sekä potenssi- että eksponenttimallit kuvaavat varsin tarkasti nopeuden vaikutusta turvallisuuteen, eikä voi yksiselitteisesti määrittää, kumpi on parempi. Eksponenttimallilla on kuitenkin ominaisuuksia, jotka mahdollistavat sen käytön paitsi liikenteen keskinopeuden muutoksen, myös nopeusjakauman muutoksen turvallisuusvaikutuksen arviointiin. Asiaa havainnollistetaan seuraavalla esimerkillä.



Kuva 2. Keskinopeuden vaikutusta kuolemaan johtaviin onnettomuuksiin kuvaavat potenssi- ja eksponenttimallit (Elvik 2014).



Kuva 3. Keskinopeuden vaikutusta henkilövahinko-onnettomuuksiin kuvaavat potenssi- ja eksponenttimallit (Elvik 2014).



Kuva 4. Keskinopeuden vaikutusta omaisuusvahinko-onnettomuuksiin kuvaavat potenssi- ja eksponenttimallit (Elvik 2014).

3.1.4 Nopeusjakauman muutoksen vaikutuksen laskeminen eksponenttimallilla

Eksponttimallilla voidaan Fjeld Olsenin (2013) kuvaamalla menetelmällä arvioida, miten nopeusjakauman eri osat vaikuttavat kokonaisriskiin. Nopeusjakauman muutoksen turvallisuusvaikutuksen arviointia havainnollistetaan olettamalla, että taulukon 4 nopeusjakauma muuttuu taulukon 5 mukaiseksi niin, että yli 100 km/h ennen muutosta ajaneet alentavat nopeutensa välille 80–100 km/h. Huomattakoon, että taulukoissa 4 ja 5 koko jakauman riskikerroin oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa saadaan jakauman osien riskikertoimien tulona; esimerkiksi taulukossa 4 seuraavasti: $1,514 = 0,963 \cdot 1,064 \cdot 1,176 \cdot 1,256$.

Taulukko 4. Esimerkilaskelma nopeusjakauman eri osien vaikutuksesta henkilövahinko-onnettomuuksien kokonaisriskiin.

Nopeusluokka (km/h)	Keskinopeus (km/h)	Osuus	Suhteellinen riski suhteessa nopeuteen 80 km/h	Nopeusluokan aiheuttama kerroin kokonaisriskiin
Kaikki	92,2	1,00	$\text{EXP}[0,034(92,2-80)] = 1,514$	1,514
<= 80	73,0	0,16	$\text{EXP}[0,034(73,0-80)] = 0,788$	$0,788^{0,16} = 0,963$
80–90	86,5	0,28	$\text{EXP}[0,034(86,5-80)] = 1,247$	$1,247^{0,28} = 1,064$
90–100	94,0	0,34	$\text{EXP}[0,034(94,0-80)] = 1,610$	$1,610^{0,34} = 1,176$
>100	110,5	0,22	$\text{EXP}[0,034(110,5-80)] = 2,821$	$1,281^{0,22} = 1,256$

Taulukko 5. Henkilövahinko-onnettomuuksia koskeva riskiarvio, kun taulukon 4 esimerkissä yli 100 km/h nopeutta ajaneet alentavat nopeutensa välille 80–100 km/h.

Nopeusluokka (km/h)	Keskinopeus (km/h)	Osuus	Suhteellinen riski suhteessa nopeuteen 80 km/h	Nopeusluokan aiheuttama kerroin kokonaisriskiin
kaikki	88,8	1,00	$\text{EXP}[0,034(88,8-80)] = 1,349$	1,349
<= 80	73,0	0,16	$\text{EXP}[0,034(73,0-80)] = 0,788$	$0,788^{0,16} = 0,963$
80–90	87,0	0,39	$\text{EXP}[0,034(87,0-80)] = 1,269$	$1,269^{0,39} = 1,097$
90–100	96,0	0,45	$\text{EXP}[0,034(96,0-80)] = 1,782$	$1,782^{0,45} = 1,277$

Kun verrataan taulukon 5 kokonaisriskiä taulukossa 4 vastaavaan riskiin, nähdään että se on nopeuksien alenemisen seurauksena pienentynyt 1,514:stä 1,349:ään eli 11 %. Taulukosta 5 voidaan myös päätellä, että jos nopeutta 90–100 km/h ajavat alentaisivat vielä nopeuttaan niin, että heidän keskinopeudekseen tulisi 80 km/h, onnettomuudet vähenisivät 22 % ($=1-1/1,277$).

Edellisissä esimerkeissä riskin perustasoksi (jossa riski on 1) on valittu nopeutta 80 km/h vastaava riski, johon muiden nopeuksien riskiä verrataan. Tarkastelun tavoitteista riippuen perusriskitasoksi voidaan valita mitä tahansa muutakin nopeutta vastaava riskitaso. Jos esimerkiksi tarkastellaan nopeusrajoituksen muutoksen vaikutuksia, on tarkoituksenmukaista valita perusriskitasoksi nopeusrajoitusta vastaava riskitaso.

Väitteitä ja vastaväitteitä

Ajonopeuksien turvallisuusvaikutuksista tehtyjen tutkimusten tulokset ovat niin kirjavia ja keskenään ristiriitaisia, ettei ole lainkaan varmaa, että turvallisuus riippuisi merkittävästi nopeuksista.

Ajonopeuksien vaikutuksista on paljon eri tarkoituksessa ja erilaisilla menetelmillä laadittuja julkaisuja ja muita kirjoituksia. Tuloksissa on vaihtelua, joka johtuu mm. eroista tutkimuskohteissa ja -asetelmissa, tulosten tulkinnasta sekä satunnaisvaihtelusta. Kun yhdistetään kaikista tutkimuksista saatu tieto ja eri tutkimusten tuloksia painotetaan niiden luotettavuuden mukaan, ajonopeuden vaikutus turvallisuuteen on kiistaton ja parhaan kuvan liikenteen keskinopeuden vaikutuksesta onnettomuusriskiin saa edellä esitetyillä potenssi- ja eksponenttimalleilla.

Karkean nyrkkisäännön mukaan tyyppillisillä maantienopeuksilla keskinopeuden 5 %:n kasvu (esimerkiksi 80 km/h:stä 84 km/h:iin) aiheuttaa henkilövahinko-onnettomuuksien lukumäärän kasvun 10 %:lla ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien lukumäärän kasvun 20 %:lla.

Pohjois-Suomen suorilla ja vähäliikenteisillä pääteillä ajonopeuksilla on pienempi vaikutus turvallisuuteen kuin Etelä-Suomen vilkasliikenteisillä teillä.

Pohjoisessa toimivat aivan samat kuljettajien käyttäytymistä ja ajoneuvojen liiketilaa säätelevät lainalaisuudet kuin etelässäkin, eikä ole mitään syytä uskoa, että ajonopeuden suhteellinen vaikutus turvallisuuteen merkittävästi riippuisi maantieteellisestä sijainnista tai liikenteen määrästä tai luonteesta.

Pohjoisen pääteillä henkilövahinko-onnettomuuksia tapahtuu tiekilometriä kohden pienemmän liikennemäärän takia vähemmän kuin etelän pääteillä samanlaisilla nopeusrajoituksilla. Onnettomuusasteet (onnettomuuksien lukumäärä suhteessa ajokilometreihin) maan eri osissa samankaltaisilla nopeusrajoituksilla voivat vaihdella teiden ja liikenneympäristön erojen takia. Käytännössä erot pohjoisen ja eteläisen Suomen pääteiden onnettomuusasteissa eivät ole erityisen suuria.

Moottoriteillä ajaminen on kaikkein turvallisinta, joten kovaa ajaminen ei voi olla vaarallista.

On totta, että turvallisuus on moottoriteillä keskimääräistä parempi, mikä johtuu muun muassa siitä, että moottoriteillä vastakkaisiin suuntiin ajavien törmäämisriskiä on merkittävästi vähennetty keskikaiteella tai leveällä ajoratojen välisellä alueella, eikä moottoriteillä ole risteävää tai kevyttä liikennettä. Edellä mainitut nopeuden vaikutukset onnettomuuksiin ja niiden vakavuuteen pätevät kuitenkin moottoriteillä kuten muillakin maanteillä.

Nopeusrajoituksen vaikutusta turvallisuuteen ei voida päätellä eri nopeusrajoitusten keskimääräisten riskien erojen perusteella, koska nopeusrajoituksia määrittäessä on otettu huomioon tie- ja liikenneolosuhteet. Alhaisempiin nopeusrajoituksiin on olemassa syitä, jotka eivät nopeusrajoituksia korottamalla poistu.

3.2 Tiekohtaisten nopeusrajoitusten vaikutus turvallisuuteen

Kuljettajien ajonopeuden valintaan vaikuttavat mm. tie- ja liikenneolosuhteet sekä nopeusrajoitukset ja niiden valvonta. Suomessa nopeusrajoitukset osoitetaan yleensä kiinteillä tai muuttuvilla rajoitusmerkeillä, mutta mikäli rajoitusmerkkiä ei ole, voimassa on yleisrajoitus. Sen suuruus on taajamissa 50 km/h ja taajamien ulkopuolella 80 km/h.

Nopeusrajoitusten vaikutusta turvallisuuteen on tutkittu ympäri maailman lukuisissa tutkimuksissa (Elvik ym. 2009). Rajoituksen turvallisuusvaikutuksiin vaikuttaa etenkin se, miten nopeusrajoitus vaikuttaa ajonopeuksiin. Mikäli nopeusrajoitus on korkea suhteessa tien olosuhteisiin, rajoitus ei alenna nopeuksia eikä turvallisuus parane. Esimerkiksi yleisrajoituksen 80 km/h alueella olosuhteet ovat usein sellaisia, ettei niillä ilman rajoitustakaan ajettaisi yli 80 km/h nopeuksilla.

Tässä luvussa nopeusrajoitusten vaikutuksia turvallisuuteen käsitellään nopeusrajoitusten keskimääräisistä nopeusvaikutuksista lähtien. Nopeuksien yhteyttä turvallisuusvaikutuksiin on tarkemmin käsitelty luvussa 3.1.

Nopeusrajoitukset asettaa tienpitäjä liikenne- ja viestintäministeriön yleisohjeiden perusteella laaditun Liikenneviraston ohjeen mukaisesti. Liikenneviraston ohjeet koskevat maanteitä, mutta niitä voidaan soveltuvin osin noudattaa myös muilla teillä. Tietylle tienkohdalle valittavan nopeusrajoituksen enimmäisarvo *haja-asutusalueella* määritetään ottaen huomioon tietyyppi, tien leveys, liikennemäärä ja näkemäolosuhteet sekä tienvarren asutustiheys ja kevyen liikenteen järjestelyt sekä muut olosuhteet, kuten liittymät, tasoristeykset, tien kunto ja liikenneturvallisuuksutilanne. *Taajaan asutuilla alueilla* nopeusrajoitusten enimmäisarvot perustuvat tien liikenteelliseen tehtävään ja sijaintiin suhteessa maankäyttöön ottaen huomioon mm. liikennejärjestelyt ja turvallisuusutilanne. Lisäksi otetaan huomioon erityiskohteet, kuten liittymät, valo-ohjaus, suojatiet, koulut ja palvelut sekä melulle ja tärinälle alttiit alueet. Lopulliset nopeusrajoitukset määritetään ottaen huomioon eri tienkohdille määritetyt enimmäisrajoitukset, mutta myös nopeusrajoitusten jatkuvuus tarkistetaan pyrittäessä selkeisiin ja johdonmukaisesti vaihteleviin rajoituksiin (Tiehallinto 2009).

Kun suunnitellaan uuden tien geometriaa, yhdeksi lähtökohdaksi määritellään mitoitusnopeus. Se vaikuttaa muun muassa tien poikkileikkaukseen, kaarresäteisiin, kaltevuuksiin ja liittymien tyyppiin. Mitoitusnopeus on hyvän laatutason teillä 5 km/h korkeampi kuin tielle suunniteltu nopeusrajoitus.

Kun tien nopeusrajoitusta muutetaan, liikenteen keskinopeus muuttuu käytännöllisesti katsoen aina vähemmän kuin nopeusrajoitus. Nopeusrajoituksen muuttamisen vaikutus onnettomuuksiin voidaan arvioida siitä aiheutuvan keskinopeuden muutoksen perusteella. Malmivuo & Peltola (2004) määrittelivät keskimääräiset muutosprosentit henkilövahinko-onnettomuuksien määrien muutokselle sen perusteella, miten rajoituksen muuttaminen keskimäärin vaikuttaa liikenteen keskinopeuteen (taulukko 6). Näitä arvoja käytetään nykyäänkin arvioitaessa nopeusrajoitusten muutosten vaikutuksia turvallisuuteen. Onnettomuusmäärä ilman nopeusrajoitusmuutoksia määritetään maanteillä turvallisuuden vaikutusarviointiohjelman (Tarva) avulla (Peltola ym. 2013).

Esimerkki taulukon 6 nopeusrajoituksen muuttamisen turvallisuusvaikutuksen taustalla olevasta nopeusmuutoksesta 100 km/h:stä 80 km/h:iin:

- ♦ Taulukon 6 mukaan henkilövahinko-onnettomuudet vähenevät 14,3 %.
- ♦ Kankaan ja Kärjen (2009) mukaan keskinopeus teillä, joilla on ympäri vuoden rajoitus 100 km/h, on 98,1 km/h.
- ♦ Elvikin uusimman potenssimallin mukaan (taulukko 3) mukaan onnettomuuksien vähenemistä 14,3 %:lla vastaa keskinopeuden aleneminen 6,9 km/h:llä eli 91,2 km/h:iin ($([91,2/98,1]^{2,124} = 0,857)$).

Esimerkki vastaa käytännön kokemuksia nopeusrajoituksen alentamisen vaikutuksista keskinopeuteen ja onnettomuuksiin.

Taulukko 6. Nopeusrajoituksen muuttamisen vaikutus henkilövahinkoon johtajien onnettomuuksien määrään (Peltola ym. 2013).

Nopeusrajoitus (km/h):		Vaikutus onnettomuuksien määrään, % ⁽¹⁾
ennen	jälkeen	
30	40	+9,8
40	30	-8,9
30	50	+20,5
50	30	-17,0
40	50	+9,8
50	40	-8,9
50	60	+9,8
60	50	-8,9
60	70	+9,8
70	60	-8,9
70	80	+9,8
80	70	-8,9
80	100	+16,8
100	80	-14,3
80	60	-17,0
80	50	-24,4
Muutos vain kesäkuukausina: ⁽²⁾		
100	120	+11,2
120	100	-10,1
100	80	-10,1
80	100	+11,2
Muutos vain talvikuukausina: ⁽²⁾		
100	80	-5,3
80	100	+5,6

(1) Kuinka paljon koko vuoden aikana tapahtuneiden henkilövahinkoonnettomuuksien määrä muuttuu, kun nopeusrajoitusta muutetaan.

(2) Suomessa on käytössä talvi- ja pimeän ajan nopeusrajoitus, mihin liittyen nopeusrajoituksia voidaan muuttaa myös vain osaksi vuotta. Talvi- ja pimeän ajan nopeusrajoitusten tarkat ajankohdat päätetään erikseen vuosittain, mutta ne ovat voimassa ainakin marras-helmikuussa.

Suomi on ollut edelläkävijä nopeusrajoitusten muuttamisessa vuodenajan mukaan. Ensimmäiset kokeilut alettiin jo vuonna 1987, kun todettiin, että kuljettajat eivät muutoin alenna nopeutta niin paljon kuin olosuhteiden huonontuminen edellyttäisi. Samaan vuodenaikaan keskittyvät pimeys, runsaat sateet ja liukkaat kelit, joiden vuoksi käytetään usein nastarenkaita (Peltola 2000).

Nykyisin käytössä olevalla talvi- ja pimeän ajan nopeusrajoituksella tarkoitetaan syys- ja talvikauden ajaksi asetettua määräaikaista nopeusrajoitusta, jolla alennetaan lähinnä tiekohtaisia 120 km/h ja 100 km/h nopeusrajoituksia. Myös 80 km/h -rajoituksia alennetaan tarvittaessa (Tiehallinto 2009).

On arvioitu, että talvirajoitusten ansiosta säästyy vuosittain 15 ihmishenkeä ja 50 jää loukkaantumatta. Tällaiseen vaikutukseen päästään sillä, että runsaan kolmasosan vuodesta toimenpiteen kohteena olevalla tieverkolla autojen keskinopeus alenee keskimäärin 3,8 km/h (Peltola 2000). Talvi- ja pimeän ajan rajoituksen vaikutus keskinopeuksiin on selvästi pienempi kuin vastaavalla, mutta koko vuoden voimassa olevalla rajoituksella. Tämä johtuu siitä, että talviaikana kuljettajat alentavat ajonopeuksia muutoinkin, olosuhteiden vuoksi.

Väitteitä ja vastaväitteitä

Ajonopeuden vaikutus riippuu paikallisista tie- ja liikenneolosuhteista. Onnettomuustilastojen perusteella on olemassa teitä, joilla nopeusrajoituksen nostaminen ei ole huonontanut turvallisuutta.

Samat kuljettajien käyttäytymistä ja ajoneuvojen liiketilaa säätelevät lainalaisuudet pätevät tie- ja liikenneolosuhteista riippumatta. Ei ole mitään syytä uskoa, että ajonopeuden suhteellinen (prosentteina ilmaistava) vaikutus turvallisuuteen merkittävästi riippuisi esimerkiksi tien maantieteellisestä sijainnista tai liikenteen määrästä tai luonteesta.

Väärinkäsityksiä voi syntyä, kun päätelmät perustuvat pieniin onnettomuusmääriin. Tilastoitujen onnettomuuksien määriin liittyy aina satunnaisvaihtelua, jonka suhteellinen osuus on sitä suurempi, mitä pienemmästä onnettomuusmäärästä on kyse. Kun satunnaisvaihtelu on suurta, se voi helposti peittää todellisen, nopeusrajoituksen ja ajonopeuden muutoksista aiheutuvan muutoksen. Asiaa havainnollistaa seuraava esimerkki.

Jos aineistossa on esimerkiksi 25 onnettomuutta, normaalina satunnaisvaihteluna usein pidetty 95 %:n varmuusväli on likimain 15–35 ($25 \pm 2 \cdot \sqrt{25}$). Jotta tällaisen aineiston perusteella voitaisiin luotettavasti arvioida turvallisuuden muuttuneen, onnettomuusmäärässä olisi tapahduttava vähintään 40 %:n muutos. Sittenkään ei voitaisi kovin tarkasti arvioida muutoksen todellista suuruutta. Jos sen sijaan aineistossa on 400 onnettomuutta, lukumäärän 95 %:n varmuusväli on likimain 360–440 ja on paremmat edellytykset saada selville kaikki yli 10 %:n turvallisuustason muutokset.

Paikallisten tai alueellisten nopeusmuutosten vaikutukset turvallisuuteen saa yleensä luotettavimmin selville mittaamalla ajonopeuksissa tapahtuneen muutoksen ja soveltamalla esimerkiksi kohdassa 3.1 esitettyjä, keskinopeuden ja onnettomuusriskin välistä yhteyttä kuvaavia malleja.

Talviajan alennetut nopeusrajoitukset parantavat turvallisuutta eniten siellä, missä liukkaista kelejä on eniten.

Talvirajoitustenkin vaikutus riippuu siitä, miten paljon ne vaikuttavat ajonopeuksiin. Vaikka talviajan nopeusrajoituksia käytetään pimeyden ja liukkauden aiheuttaman riskin kohoamisen vuoksi, talviajan nopeusrajoituskokeilussa todettiin, että rajoituksen alentaminen 100 km/h:stä 80 km/h:iin alensi nopeuksia enemmän pitävillä kuin liukkailla keleillä. Myös henkilövahinko-onnettomuudet vähenivät eniten hyvillä teillä ja hyvissä olosuhteissa (Peltola 2000). Tämä on sikäli loogista, että huonoilla keleillä nopeudet alenevat jonkin verran ilman alennettua rajoitustakin ja nopeusrajoituksen alentamisen vaikutus jää pienemmäksi kuin hyvillä keleillä. Tosin tutkimukset osoittavat, että kelien huononemista seuraava ajonopeuksien aleneminen ei ole riittävän suurta kompensoimaan huonon kelin aiheuttamaa riskin kasvua (Rämä 2001).

Vaihtuvien nopeusrajoitusten käyttöönotolla ajonopeuksia voidaan nostaa ilman, että turvallisuus huononee.

Vaihtuvilla nopeusrajoituksilla tarkoitetaan olosuhteiden, kuten kelin, liikennemäärän ja valoisuuden, mukaisesti vaihtuvia rajoituksia. Vaihtuvilla rajoituksilla voidaan tasata olosuhteiden vaihtelusta johtuvia riskieroja. Kun kiinteä nopeusrajoitus korvataan vaihtuvalla, ei ole mahdollista korottaa nopeusrajoitusta tietyissä olosuhteissa ilman, että onnettomuusriski kokonaisuutena kasvaa, ellei rajoitusta toisissa olosuhteissa alenneta. Vaihtuvat nopeusrajoitukset voidaan toteuttaa kiintuoptisilla tai LED-merkeillä, joiden huomioarvo ja noudattaminen ovat perinteisiä liikennemerkkejä parempia (Luoma 1996, Penttinen ym. 2000).

Nopeusrajoitus parantaa aina turvallisuutta.

Nopeusrajoituksen vaikutus riippuu siitä, miten se vaikuttaa nopeuksiin. Jos liikenteen keskinopeus pienenee, turvallisuus paranee. Jos sen sijaan nopeusrajoitus asetetaan niin, että se nostaa nopeuksia, turvallisuus huononee. Esimerkiksi 80 km/h yleisrajoitus on joissakin tapauksissa alemmalla tieverkolla nostanut nopeuksia, mikä on huonontanut turvallisuutta. Kun nopeusrajoitusta aletaan pitää ohjenopeutena, nopeudet saattavat nopeusrajoituksen vaikutuksesta nousta huonoissa keliolosuhteissa, mikä lisää onnettomuuksia. Myös kelin mukaan vaihtuvien rajoitusten yhteydessä on todettu, että kuljettajat pitävät nopeusrajoitusta usein ohjenopeutena (Rämä 2001). Tällöin nopeusrajoitusjärjestelmän turvallisuusvaikutukset voivat olla kielteisiä, jos rajoituksia ei lasketa riittävästi kelin heiketessä.

Onnettomuusriskin vertailu eri nopeusrajoitusalueilla kertoo nopeusrajoituksen turvallisuusvaikutuksen.

Eri nopeusrajoitusalueiden tiet eroavat toisistaan muutenkin kuin nopeusrajoituksen suhteen, mikä vaikuttaa riskien eroon. Jos onnettomuusriski 80 km/h rajoitusalueen teillä on suurempi kuin 100 km/h rajoitusalueen teillä, se ei tarkoita, että nopeusrajoituksen nostaminen vähentäisi onnettomuuksia. Alennettu nopeusrajoitus on yleensä merkki siitä, että ko. tiellä on onnettomuusriskiä lisääviä tekijöitä, kuten risteyksiä, mutkia tai paljon kevyttä liikennettä. Jos onnettomuusriski siitä huolimatta on korkea, se osoittaa, ettei edes alennettu nopeusrajoitus ole ollut riittävä kompensoimaan muista syistä korkeaa riskiä.

Vakavien onnettomuuksien syväanalyysit osoittavat, ettei suuri nopeus vaaranna turvallisuutta.

Väite ei pidä paikkaansa, vaikka tutkijalautakuntien aineistoa virheellisesti tulkittamalla on esitetty ajonopeuden merkitystä vähätteleviäkin tulkintoja. Tutkijalautakuntien vuosiraporttien mukaan kolmasosa aiheuttajakuljettajista ylitti onnettomuushetkellä nopeusrajoituksen vähintään 10 km/h:llä. Taustalla vaikuttaneena riskitekijänä ajonopeus, mukaan lukien ”tilannenopeus”, esiintyy jopa suuremmassa osassa onnettomuuksia. Ajonopeuden vaikutusta on yritetty vähätellä tutkijalautakunta-aineistojen perusteella mm. niin, että ensin on ”siivottu pois” onnettomuudet, joissa on todettu ajonopeuden ohella muitakin onnettomuuden syntyyn vaikuttaneiksi tulkittuja tekijöitä. Sitten ajonopeuden on katsottu vaikuttaneen vain niihin onnettomuuksiin, joille ei ole tulkittu olleen muita syitä. Näin menetellen esimerkiksi suurellakaan nopeudella ajetuissa onnettomuuksissa nopeutta ei ole tulkittu onnettomuuden syyksi, kun kuljettaja on ollut väsynyt tai päihtynyt, keli on ollut liukas, toinen osapuoli on rikkonut väistämissääntöjä tai hänen terveydentilassaan on ollut puutteita.

Yksittäisten onnettomuuksien tutkimuksiin perustuvia päätelmiä arvioitaessa on lisäksi otettava huomioon, että niitä koskevien tietojen hankintaan liittyy melkein aina epätarkkuuksia. Onnettomuustutkinnassa lautakunnat joutuvat esimerkiksi arvioimaan ajonopeudet jälkeenpäin, mikä vaikeuttaa nopeusarvioiteja. Laskennallinenkin arviointi tehdään mm. onnettomuusjälkien, ajoneuvojen vaurioiden, osallisten loppusijaintien, silminnäkijöiden havaintojen ja erityisesti raskaiden ajoneuvojen osalta ajopiirtureiden perusteella. Laskettuihin nopeuksiin sisältyy epätarkkuutta, joka on sitä suurempi, mitä puutteellisemmat lähtötiedot ovat. Joissakin onnettomuuksissa ei välttämättä ole esim. jarrutusjälkiä havaittavissa. Nopeusrajoitusalueella 80 km/h tapahtuneessa onnettomuudessa vajavaisin lähtötiedoin tehdyssä arviossa saatetaan ”normaaliksi” nopeudeksi koodata suuntaa antavasti 80 km/h.

Tutkijalautakunta-aineistot tarjoavat yksityiskohtaista tietoa vakavista liikenneonnettomuuksista. Ne kuten kaikki muutkin onnettomuusaineistot vaativat kuitenkin täydentäviä tietoja, kun halutaan tietää, kuinka paljon erilaiset tekijät vaikuttavat liikenneturvallisuuteen. Määrällisten vaikutusten arvioimiseksi tarvitaan luotettavaa tietoa lisäksi mm. altistuksesta ja ajonopeuksien osalta tietoa siitä, kuinka yleistä erilaisilla nopeuksilla ajaminen on.

Pienet nopeusrajoitusten ylitykset eivät heikennä turvallisuutta, eikä niihin pitäisi puuttua valvonnassa.

Jos olosuhteet pysyvät muuttumattomina, ajonopeuden kasvu huonontaa ja sen aleneminen parantaa turvallisuutta. Tähän ei ole poikkeuksia.

Onnettomuusriski on yksittäisen kuljettajan näkökulmasta arvioituna pieni. Suomessa auto joutuu henkilövahinko-onnettomuuteen noin kerran seitsemää miljoonaa ajokilometriä kohden, mikä vastaa suunnilleen kymmentä edestakaista matkaa kuuheen. Sen vuoksi ei yleensä koeta konkreettisesti, että yksittäisen kuljettajan ja yksittäisen matkan kohdalla nopeuden kasvu muutamalla kilometrillä tunnissa kasvattaa riskiä 10 tai 20 %. Suurta kuljettajajoukkoa pitimmällä ajanjaksoilla koskevassa tarkastelussa riskin kasvu kuitenkin tulee esille selvästi onnettomuuksien määrän kasvuna.

Nopeusrajoitusta vähemmän kuin 15 km/h:llä ylittävien osuus on moninkertainen verrattuna joukkoon, joka ylittää rajoitusta enemmän kuin 15 km/h. Vaikka riskin kasvu on ensin mainitulla joukolla pienempi, se kohdistuu niin suureen osaan ajokilometreistä, että vaikutus onnettomuuksien kokonaismäärään voi olla suurempi kuin rajoituksia enemmän ylittävän, mutta pienemmän joukon vaikutus. Automaattisen nopeusvalvonnan yleistymisen myötä on entistä enemmän pystytty puuttumaan huomautuksin ja rikemaksuin myös pieniin ylinopeuksiin.

Erityisesti moottoreilla nopeusrajoituksen nostaminen parantaisi turvallisuutta.

Julaisuudessa on ollut kirjoituksia, että osalla Tanskan moottoreista v. 2004 tehty nopeusrajoituksen nostaminen 110 km/h:stä 130 km/h:iin on parantanut turvallisuutta. Vähemmälle huomiolle on jäänyt se, että samaan aikaan nopeusrajoitusten merkintää tehostettiin, nopeusvalvontaa lisättiin ja asiasta kampanjoitiin mediassa. Lopputuloksena oli, että yhden vuoden aikana, joka alkoi neljä kuukautta rajoituksen korottamisen jälkeen, keskinopeus kasvoi 1 km/h (121 km/h:iin) moottoreilla, joiden uusi nopeusrajoitus oli 130 km/h. Osalla moottoreista (Kööpenhaminan liepeillä), joiden nopeusrajoitus pysyi 110 km/h:ssä, keskinopeus aleni 3 km/h (116 km/h:iin) ja osalla (muualla kuin Kööpenhaminan liepeillä) se nousi 3 km/h (119 km/h:iin). Kaiken kaikkiaan nopeusrajoituksen korottaminen 130 km/h:iin lisäsi henkilövahinkojen määrää 9 %. Moottoreilla, joiden nopeusrajoitus pysyi 110 km/h:ssä, henkilövahingot vähenivät samanaikaisesti 40 %. Verrattuna kehitykseen muilla maaseudun teillä henkilövahingot lisääntyivät rajoituksen 130 km/h moottoreilla 33 % ja rajoituksen 110 km/h moottoreilla 27 % (Reiff ym. 2008). Nopeusrajoituksen nostaminen ei siis parantanut turvallisuutta vaan huononsi sitä.

Ajonopeuksien turvallisuusvaikutuksia on myös vähätelty sillä perusteella, että niillä Saksan moottoreilla, joilla ei ole nopeusrajoituksia, onnettomuusriski ajokilometriä kohden on pienempi kuin Suomen moottoreilla. Suomen ja Saksan moottoreiden turvallisuusero ei kuitenkaan johdu erilaisista nopeusrajoituksista vaan eroista liikennemäärissä, jotka Saksassa ovat selvästi Suomea suurempia. On osoitettu, että moottoreilla onnettomuusriski ajokilometriä kohden laskee jyrkästi, kun liikennemäärä kasvaa. Jos Saksan vapaan nopeuden moottoreilla olisi yhtä vähän liikennettä kuin Suomen moottoreilla, niiden onnettomuusriski olisi yli kaksinkertainen Suomeen verrattuna. Kuolemanriski Saksan vapaan nopeuden moottoreilla oli 1,5–2 kertaa niin suuri kuin Alankomaiden, Sveitsin tai Yhdysvaltojen moottoreilla, joilla oli nopeusrajoitukset (Brühning & Berns 1995).

Tiet ovat nykyisin niin hyviä, että nopeusrajoituksia voisi korottaa ilman, että turvallisuus huononisi.

Tiet ovat jatkuvan kehityksen kohteena mm. liikenneturvallisuuden parantamiseksi. Kehitys ei ole muuttanut sitä tosiasiaa, että samanlaisissa olosuhteissa nopeuden kasvaessa turvallisuus heikkenee. Vaikka turvallisuus absoluuttisesti mitaten ja suhteessa esimerkiksi ajokilometreihin on parantunut, luvun 3.1 mallit pätevät uusillakin teillä.

Erityisesti moottoreilla nopeusrajoituksen nostaminen sujuvoittaisi liikennettä ja parantaisi turvallisuutta.

Ajonopeuden kasvu pienentää liikennetiheyttä liikennevirran perusyhtälön (Lutinen ym. 2005) mukaisesti, kun oletetaan, että kysyntä pysyy samana eikä sujuvampi (= nopeampi) liikenne houkuttele tielle suurempaa liikennemäärää:

liikennetiheys (ajon./km) = liikennemäärä (ajon./h) / keskinopeus (km/h).

*Jos moottoritien nopeusrajoitusta nostetaan esimerkiksi 10 km/h, se ei vielä tarkoita, että kaikki voisivat ajaa 10 km/h kovempaa. Jos liikennemäärä on selvästi pienempi kuin tien kapasiteetti ja liikenne on suhteellisen vapaata, kuljettajat voivat hyödyntää korkeampaa nopeusrajoitusta. Käytännössä tämä näkyy liikennevirrassa siten, että autot ajavat kovempaa, mutta myös kauempana toisistaan (liikennemäärä = liikennetiheys * keskinopeus). Koska tien kapasiteetti ei ole loputon, ruuhkassa, jossa nykyisinkään ei kyetä ajamaan nopeusrajoitusta vastaavaa nopeutta, ei sitä kyettäisi ajamaan uudella nopeusrajoituksellakaan, vaan madeltaisiin ihan samalla tavalla kuin nykyäänkin. Autot eivät mahtuisi tielle ajamaan nopeamman liikenteen vaatimalla harvemalla liikennetiheydellä.*

Kaksikaistaisella moottoritillä liikennemäärä on suurimmillaan, kun liikenteen nopeus on 55–80 km/h (Transportation Research Board 1985).

3.3 Nopeuksien hajonnan vaikutus turvallisuuteen

Ajonopeuksien hajonnan ja onnettomuusriskin yhteyttä koskevissa tutkimuksissa hajonnan mittana on tavallisimmin käytetty nopeuksien keskihajontaa. Useissa tutkimuksissa on havaittu onnettomuusriskin kasvavan, kun nopeuksien keskihajonta kasvaa (mm. Aarts & Van Schagen 2005, Elvik 2014). Ei kuitenkaan ole selvää, että onnettomuusriskin kasvu johtuu nimenomaan nopeuksien hajonnan kasvusta, koska liikenteen keskinopeuden ja nopeuksien keskihajonnan välillä on tyypillisesti voimakas positiivinen korrelaatio. Silloin keskinopeuden kasvun ja nopeuksien keskihajonnan kasvun vaikutuksia ei voi luotettavasti erottaa toisistaan. On myös osoitettu, että positiivinen korrelaatio nopeuksien hajonnan ja onnettomuusriskin välillä ei välttämättä tarkoita, että niiden välillä olisi syy-yhteys (Davis 2002).

Nopeuksien keskihajontaa parempi nopeuksien hajonnan mitta on nopeuksien vaihtelukerroin (coefficient of variation), jolla tarkoitetaan nopeuksien keskihajonnan ja keskinopeuden suhdetta. Nopeuksien vaihtelukertoimen ja keskinopeuden välinen korrelaatio on usein pienempi kuin nopeuksien keskihajonnan ja keskinopeuden välinen korrelaatio, mikä parantaa mahdollisuuksia erottaa keskinopeuden ja nopeuksien vaihtelukertoimen vaikutukset toisistaan. Elvik (2014) esittelee nopeuksien vaihtelukertoimen vaikutuksesta onnettomuusriskiin useita tutkimuksia, joiden tuloksissa on paljon vaihtelua (esimerkiksi nopeuksien vaihtelukertoimen kasvusta 0,08:sta 0,10:een aiheutuva onnettomuusriskin kasvu vaihtelee 5 prosentista useisiin satoihin prosentteihin), vaikka yhtä poikkeusta lukuun ottamatta

kaikissa on todettu nopeudenvaihtelukertoimen kasvun lisäävän onnettomuusris-
kiä. Toistaiseksi on vielä epäselvää, miksi tulosten välillä on niin paljon hajontaa.

Ajoneuvojen nopeuserot tietyssä tien poikkileikkauksessa tyypillisesti kasvavat
ja liikenteen keskinopeus alenee, kun liikenne alkaa ruuhkautua. Ruuhkassa no-
peuksien vaihtelu on omiaan lisäämään erityisesti peräänajo-onnettomuuksia,
jotka kuitenkin suhteellisen harvoin johtavat vakaviin henkilövahinkoihin.

Taajamissa pelkkä keskinopeus ei Cameronin ja Elvikin (2010) mukaan riitä
kunnolla kuvaamaan ajonopeuden turvallisuusvaikutuksia, vaan keskinopeuden
ohella nopeuksien hajonta voi olla tärkeä selittäjä.

Ajonopeuksien hajonnan ja sen muutosten vaikutusta liikenneonnettomuuksiin
ei ole onnistuttu mallintamaan yhtä hyvin kuin keskinopeuden ja sen muutosten
vaikutuksia. On perusteltua olettaa, että nopeuksien hajonnan kasvu lisää jonkin
verran myös vakavia onnettomuuksia, koska se lisää ohitustilanteita ja potentiaali-
sesti tuhoisia kohtaamisonnettomuuksia. Suurimmat vaikutukset liittynevät kuiten-
kin liikenteen ruuhkautumisesta johtuvaan hajonnan kasvuun tilanteissa, joissa
onnettomuuden seuraukset ovat tyypillisesti suhteellisen lieviä (Elvik 2014).

Useissa 1960- ja 1970-luvulla tehdyissä tutkimuksissa on todettu U:n muotoi-
nen riippuvuus nopeuksien hajonnan ja onnettomuusriskin välillä niin, että poik-
keaminen muun liikenteen nopeudesta suuntaan tai toiseen lisää riskiä. Myöhem-
min näissä tutkimuksissa on kuitenkin todettu menetelmällisiä puutteita, eikä poik-
keaminen muun liikenteen nopeudesta alaspäin nykytietämyksen valossa lisää
riskiä. Ajaminen muuta liikennettä nopeammin sen sijaan lisää riskiä (Vadeby &
Forsman 2012, Elvik 2014).

Liikenneturvallisuuden kannalta ratkaisevaa on absoluuttinen nopeustaso, no-
peuksien hajonnan vaikutus on siihen verrattuna vähäinen. Asiaa voi perustella
myös tarkastelemalla teoreettisesti, millaisiin onnettomuuksiin ajonopeus ja nope-
uksien hajonta vaikuttavat:

- ♦ Ajonopeus sinänsä vaikuttaa lähes kaikkiin onnettomuuksiin, koska kuljettajan
käytävissä oleva aika vaaratilanteiden välttämiseksi ja niistä selviämiseksi
ilman onnettomuutta vähenee ajonopeuden kasvaessa (ks. luku 4). Nopeuden
kasvaessa myös onnettomuuksien seuraukset pahenevat (ks. luku 4).
- ♦ Nopeuden hajonnan kasvu sen sijaan vaikuttaa lähinnä vain peräänajo- ja ohi-
tusunnettomuuksiin. Moniin muihin onnettomuustyyppisiin verrattuna pe-
räänajot ovat suhteellisen lieviä (joskin loukkaantumisia tapahtuu melko paljon)
ja vakavat ohitusonnettomuudet ovat melko harvinaisia (mm. Peltola ym.
2014). Hajonnan kasvu ei sen sijaan vaikuta lainkaan esimerkiksi suistumisiin,
kohtaamis- ja risteämis- sekä jalankulkijaonnettomuuksiin, joista kuitenkin ai-
heutuu valtaosa maanteiden liikennekuolemista (mm. Peltola ym. 2014).

Väitteitä ja vastaväitteitä

Rajoituksen 80 km/h korottaminen 90 km/h:iin tasaisi liikennevirtaa ja parantaisi turvallisuutta.

Pääteiden nopeusrajoituksen korottamista 80 km/h:stä 90 km/h:iin on ehdotettu, jotta nopeusrajoitus vastaisi nykyistä paremmin kuorma-autojen yleisesti käyttämää nopeutta. Kuorma-autossa pakolliset nopeudenrajoittimet on säädettävä niin, että suurin mahdollinen nopeus on enintään 90 km/h, johon rajoittimet myös käytännössä pyritään säätämään, vaikka kuorma-autoilla on ajoneuvokohtainen 80 km/h nopeusrajoitus. Jos ajoneuvokohtaista rajoitusta ei korotettaisi 90 km/h:iin samalla kun tien nopeusrajoitus nostettaisiin 90 km/h:iin, liikennevirran tasaantuminen (nopeuksien hajonnan pieneneminen) edellyttäisi hiljaista hyväksyntää kuorma-autojen ylinopeudella ajamiselle. Lisäksi liikennevirran keskinopeuden kasvu lisäisi onnettomuuksia ja pahentaisi niiden seurauksia, vaikka nopeuksien hajonta hieman pienenisikin.

Kun tutkittiin, mitä tapahtuisi liikennevirran tasolla, jos tiekohtaisen 100 km/h ja pistekohtaisen 80 km/h -nopeusrajoituksen teillä otettaisiin käyttöön yhtenäinen nopeusrajoitus 90 km/h, päädyttiin arvioon, että vaikutukset päätien liikennevirtaan olisivat positiivisia niin turvallisuuden kuin ohitustarpeenkin kannalta. Tutkimuksessa myös oletettiin, että kuorma-autojen nopeusrajoitus nostettaisiin 90 km/h:iin, joka myös säädettäisiin nopeudenrajoittimen sallimaksi enimmäisnopeudeksi. Ainoa kielteinen vaikutus olisi matka-ajan kasvu noin kahdella prosentilla. Viikkaimpien sivutiellä käyttäjille vaikutukset sen sijaan olisivat kielteisiä, koska sekä turvallisuus että liittymisen helppoudella mitattu palvelutaso heikkenisivät. (Innamaa 2010.)

”Alinopeutta” ajavat ovat suurempi turvallisuusriski kuin pientä ylinopeutta ajavat.

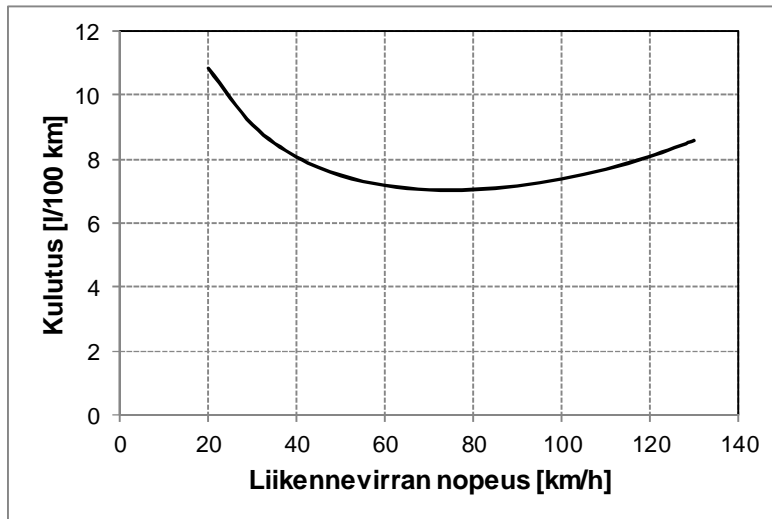
Tutkimusten mukaan muuta liikennettä (ja nopeusrajoitusta) hitaammin ajaminen ei lisää onnettomuusriskiä. Sen sijaan muuta liikennettä nopeammin ajaminen kasvattaa onnettomuusriskiä, ja kasvu on sitä jyrkempää, mitä suurempi on oman nopeuden ja liikenteen keskinopeuden erotus.

Pienet ylinopeudet (esim. vähemmän kuin 10 km/h yli nopeusrajoituksen) ovat yleisiä niin, että monilla 80 km/h rajoituksen teillä liikenteen keskinopeus on rajoitusta korkeampi. Yksittäinen kuljettaja ei välttämättä koe pienen ylinopeuden lisäävän onnettomuusriskiä, etenkin jos muutkin ajavat suunnilleen samaa vauhtia. Nopeuden kasvu lisää kuitenkin aina onnettomuusriskiä ja pahentaa onnettomuuksien seurauksia. Vaikka vaikutus yksittäisen kuljettajan näkökulmasta tuntuu mitättömän pieneltä, seuraukset näkyvät onnettomuustilastoissa, kun suuri joukko kuljettajia pitää tapanaan ajaa pienellä ylinopeudella.

3.4 Liikennevirran nopeuden vaikutus ympäristöön

3.4.1 Nopeuden vaikutus kulutukseen ja päästöihin

Nopeudella on selkeä vaikutus polttoaineen kulutukseen ja päästöihin. Kuvassa 5 on esitetty bensiinikäyttöisen henkilöauton kulutuksen riippuvuus liikennevirran nopeudesta (Ntziachristos ym. 2013). Auton kulutus ei tässä tarkoita tasaisen ajon kulutusta, vaan se sisältää liikennevirassa esiintyviä kiihdytyksiä ja hidastuksia. Alhainen nopeuslukema sisältää taajama-ajolle tyyppillisiä nopeusmuutoksia, jopa pysähdyksiä. Siksi kulutus nousee jyrkästi liikennevirran nopeuden aletessa. Tyyppillisiä taajamanopeuksia vastaava kulutus ilmaistaan autojen myynti-ilmoituksessa termillä EU-kaupunkikulutus.



Kuva 5. Bensiinikäyttöisen henkilöauton kulutus liikennevirran nopeuden suhteen (Ntziachristos ym. 2013).

Alimmillaan kulutus on liikennevirran nopeudella 60–80 km/h. Tällä nopeusalueella voidaan yleensä ajaa suurimmalla vaihteella ilman, että nopeuden kulutusta lisäävä vaikutus on vielä tuntuva. Yleisesti tasaisessa ajossa kulutus on alimmillaan kullakin vaihteella silloin, kun ajetaan alinta tuolle vaihteelle mahdollista nopeutta.

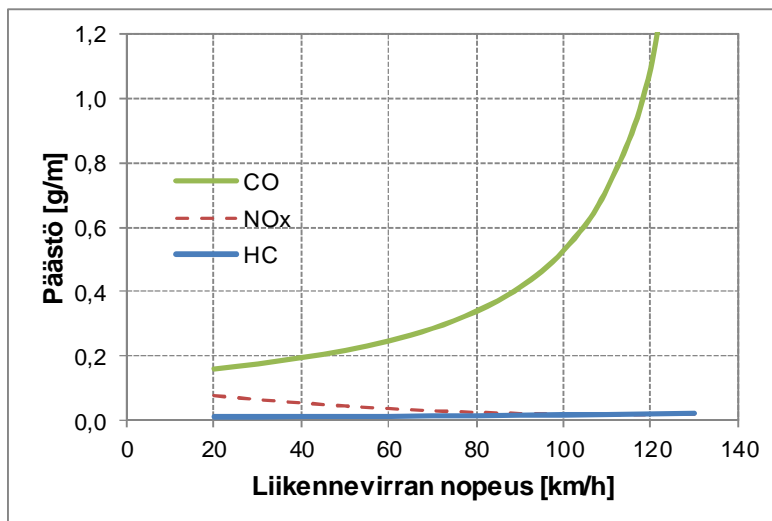
Autojen viimeaikainen kehitys yhä alhaisempaan kulutukseen alentaa kuvassa olevan käyrän tasoa, mutta käyrän muoto pysyy pääpiirteissään entisellään. Kulutuksessa ei ole tapahtunut samanlaista nopeaa muutosta kuin päästöissä, aivan viime vuosien kehitystä lukuun ottamatta.

Päästöjen riippuvuus nopeudesta on monimutkaisempi kuin kulutuksen. Autojen päästö tarkoittaa erilaisia yhdisteitä, jotka käyttäytyvät eri tavoin nopeuden suhteen. Hiilidioksidipäästö (CO_2), jota nykyisin kuvataan yleensä pelkällä päästö-

sanalla, riippuu suoraan kulutuksesta. Sen sijaan ilmanlaatuun vaikuttavat yhdisteet, kuten hiilimonoksidi eli häkä (CO), hiilivedyt (HC) ja typen oksidit (NO_x), käyttäytyvät nopeuden suhteen kuvan 6 mukaisesti. Vaikka katalysaattoritekniikka on vähentänyt päästötasoja olennaisesti, pätevät edelleen seuraavat perussäännöt:

- ♦ Hiilimonoksidipäästöt (CO) kasvavat aluksi suhteellisen hitaasti nopeuden noustessa, mutta kasvu kiihtyy suurilla (yli 80 km/h) nopeuksilla.
- ♦ Hiilivetyypäästöt (HC) kaksinkertaistuvat nopeuden noustessa 50 → 120 km/h.
- ♦ Typen oksidit (NO_x) vähenevät nopeuden noustessa.
- ♦ Hiukkaspäästöt eivät juuri muutu nopeuden suhteen bensiini- eivätkä dieselautoilla.

Hiilimonoksidi- ja hiilivetyypäästöissä on kyse palamisen muuttumisesta epätäydellisemmäksi nopeassa ajossa.



Kuva 6. Bensiinikäyttöisen henkilöauton päästöt liikennevirran nopeuden suhteen (Ntziachristos ym. 2013).

Maantienopeuksissa nopeuden ja päästöjen riippuvuus on selkeämpi kuin taajamanopeuksissa. Taajamissa liikennevirrassa tapahtuu paljon enemmän jyrkkiä nopeusmuutoksia kuin maantieajossa. Koska kulutus ja päästöt kasvavat erityisesti kiihdytyksissä, merkitsee tasainen ajo sekä maantie- että taajama-ajossa alemmaa kulutusta ja päästöjä. Siten toimenpiteet, jotka tasaavat liikennevirtaa, alentavat sekä kulutusta että päästöjä (Robertson ym. 1998).

Nastarenkaiden päällystettyä kuluttava vaikutus kasvaa voimakkaasti nopeuden kasvaessa yli 80 km/h:iin (Unhola 2004). Päällysteestä irtoava aines lisää katupölyn määrää, mikä erityisesti keväisin on taajamien ongelma. Taajamanopeuksissa

päällysteen kulumiseen vaikuttavat monet muutkin tekijät, mutta tehdyissä selvityksissä on todettu, että kulumisen kasvaa liikennevirran nopeuden kasvaessa myös taajamanopeuksissa (Heikkinen 2012).

Väitteitä ja vastaväitteitä

Nopeuden vaikutukset päästöihin ovat minimaalisia

Nopeudella on selvä vaikutus päästöihin ja kulutukseen. Maantienopeuksissa kulutuksen ja päästöjen lisääntyminen on melko suoraviivaista nopeuden noustessa. Tämä aiheutuu ennen muuta ilmanvastuksen lisääntymisestä (suhteessa nopeuden neliöön).

*Taajamanopeuksissa nopeustasoa suurempi merkitys on ajotavalla, eli rajulla ajotyylillä kiihdytyksissä saavutettu liike-energia joudutaan ”hukkaamaan” jatkuvis-
sa jarrutuksissa lämpöenergiaksi. Matkanopeus kasvaa rajulla ajotyylillä hyvin vähän verrattuna lisääntyneeseen kulutukseen ja päästöihin.*

Ajettaessa lujaa polttoainetta ei ehdi kulua niin paljon kun matka kestää vähemmän aikaa.

Kulutus ei ole niinkään riippuvainen ajasta kuin nopeudesta eli matkasta, joka voidaan tehdä aikayksikössä (kilometriä tunnissa). Jotta erikestoisten ajomatkojen kulutuksia voitaisiin verrata keskenään, on kehitetty yksikkö ”kulutus litroina ajettua matkaa kohden” eli yleensä litraa/100 km. Kun tehdään testejä erilaisilla nopeuksilla, saadaan tuolle yksikölle selvä riippuvuus nopeuden suhteen. Yleensä tasaisessa ajossa kulutus on alimmillaan kullakin vaihteella silloin, kun ajetaan alinta tuolle vaihteelle mahdollista nopeutta. Alimmillaan kulutus on autosta riippuen ajettaessa 60–80 km/h, ja siitä kulutus kasvaa nopeuden kasvaessa aina suurimpaan mahdolliseen nopeuteen saakka.

Vanhoilla vihreillä ajaminen on ympäristöystävällistä, koska pysähtymisessä eli jarruttamisessa ja kiihdyttämisessä kuluu enemmän polttoainetta.

Väite on teknisesti oikein, sillä kulutus ja päästöt lisääntyvät kiihdyttämisistä. Liikennevalot eivät kuitenkaan ole olemassa ympäristösyistä, vaan turvallisuuden ja tasapuolisuuden vuoksi.

Moottori kannattaa enemmän lämmittää tyhjäkäynnillä kuin ajaen.

Auton tyhjä- eli joutokäynti on lämmöntuoton kannalta epätehokasta. Auto siis lämpiää hitaasti ja kuluttaa polttoainetta ja aiheuttaa päästöjä enemmän kuin ajettaessa auto nopeasti kuumaksi. Yleinen sääntö on, että ajoon tulisi lähteä heti, kun se on turvallisuuden kannalta mahdollista eli auton ikkunat ovat jäädä ja huurusta puhtaat.

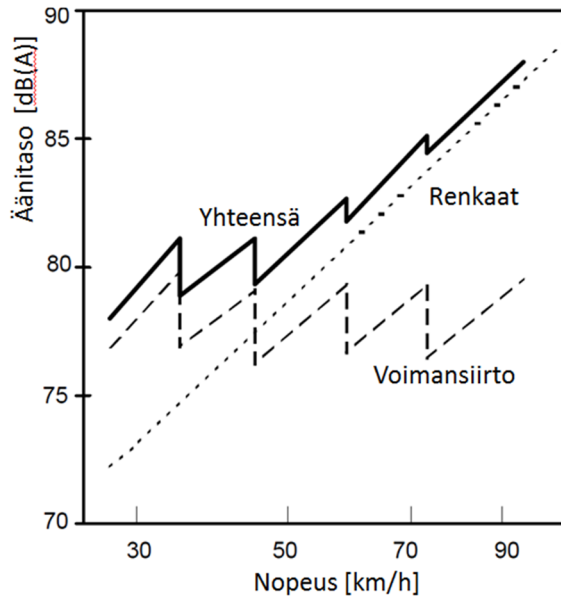
Pääkatujen matalat nopeusrajoitukset aiheuttavat vain turhia ruuhkia (ja päästöjä).

Päästöt aiheutuvat yksittäisten autojen liikkeistä, erityisesti kiihdytyksistä. Mitä tasaisempaa ajo on, sitä vähemmän syntyy päästöjä. Yleensä alhaisempi nopeusrajoitus tasaa liikennevirtaa ja alentaa siten päästöjä. Kovin alhainen rajoitus lisää päästöjä, koska joudutaan ajamaan alhaisemmalla vaihteella. Pääkaduille pyritään asettamaan korkeampi nopeusrajoitus, jotta kuljettajat suosisivat mieluummin pääkatuja kuin alempiluokkaisia asuntokatuja.

3.4.2 Nopeuden vaikutus meluun

Melu on yksi liikenteen päästöistä. Liikennemeluun vaikuttavat monet tekijät, mutta yksi tärkeimmistä on ajonopeus. Lainsäädäntö on tehokkaasti alentanut moottorimelua. Moottorin ja voimansiirron melua kuulee erityisesti kiihdytyksissä ja ylämäissä. Sen sijaan rengasmelua ja ajoviimasta aiheutuvaa melua ei ole saatu samassa mitassa vähennettyä. Tiestä etäämmälle kuuluva melu onkin tavallisesti muuta kuin moottorin aiheuttamaa melua.

Kuvassa 7 on esitetty nopeuden ja melun yleinen riippuvuus. Moottorin ja voimansiirron aiheuttaman melun kuvaajassa näkyvät hyppäykset aiheutuvat vaihtamisesta. Kuvasta näkyy, että noin 50 km/h nopeuteen asti moottorin ja voimansiirron melu on vallitseva ja sen jälkeen rengasmelu.

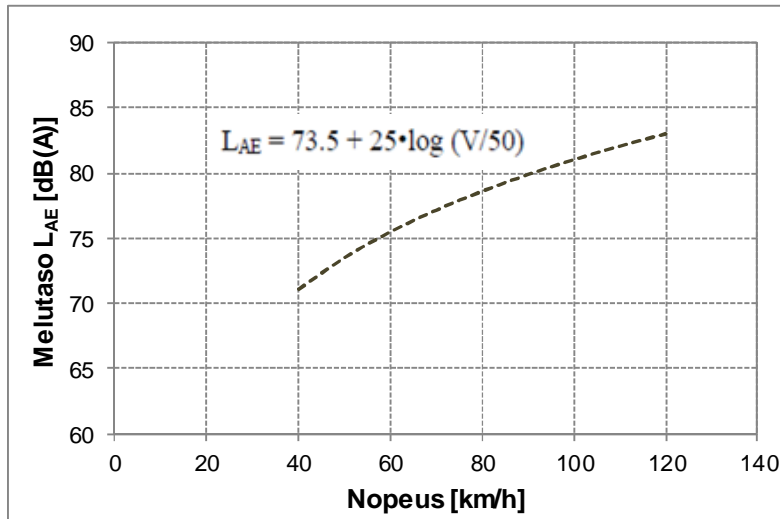


Kuva 7. Yleiskuva nopeuden ja melun suhteesta. Sahalaitainen katkoviiva esittää moottorin ja voimansiirron aiheuttamaa melutasoa, suora katkoviiva rengasmelua ja yhtenäinen sahalaitainen viiva näiden yhteisvaikutusta. (Robertson ym. 1998.)

Kuvan 7 lähde on vanhahko, mutta edelleen pääpiirteissään pätevä.

Kuvassa 7 äänitason mittarina on A-desibeli dB(A) eli ns. taajuuspainotettu äänenpainetaso, jossa otetaan huomioon se, ettei ihmisen korva ole herkkä matalataajuisille äänille. Desibeliasteikko on logaritminen ja jokainen 3 dB:n lisäys tarkoittaa meluenergian kaksinkertaistumista. Ihminen kokee äänitason kymmenkertaisumisen (10 dB:n lisäys) melun kaksinkertaistumisena.

Pohjoismaissa käytetään yleisesti pohjoismaista melumallia. Siinä kevyiden ajoneuvojen (ml. henkilö- ja pakettiautot) nopeuden vaikutus meluun on kuvan 8 mukainen. Nopeuden alentaminen arvosta 60 km/h arvoon 46 km/h alentaa melutasoa 3 dB(A) eli melutaso puolittuu. Melu puolittuu myös, kun nopeus alenee 100 km/h:stä 76 km/h:iin. Raskaalla liikenteellä sekä lähtötaso että melutason nousu ovat suuremmat kuin kevyellä liikenteellä. Nopeusrajoituksia käytetäänkin paikoin melun vähentämiseksi.



Kuva 8. Pohjoismaisen mallin mukainen henkilö- ja pakettiautojen nopeuden vaikutus meluun (Nordic Council of Ministers 1996).

Melutasoon vaikuttavat sekä rengastyypin että nastoituksen. Esimerkiksi renkaan leveyden lisääntyminen 10 mm lisää melutasoa 0,2–0,4 dB(A). Nastarenkailla melutaso on 8–9 dB(A) suurempi kuin kesärenkailla eli melun lisäys on huomattava (Tervahattu 2008). Kitkarenkaat ovat hiljaisempia kuin nastarenkaat, mutta viimeaikainen kehitys on alentanut nastarenkaiden melutasoa niin, että erot nastarenkaat- ja kesärenkaiden välillä alkavat olla pieniä. Märkä tie lisää huomattavasti melua, nopeuden kasvaessa märän tien melua lisäävä vaikutus alenee (Kokkonen 2008).

Rengasmelua pyritään vähentämään sekä EU:n rengasmääräyksillä että ns. hiljaisella asfaltilla. Suomen talviolosuhteet vähentävät hiljaisesta asfaltista saatavaa hyötyä. Vaikka hiljainen asfaltti alentaa melutasoa, ei se vähennä nopeuden melua lisäävää vaikutusta.

3.5 Ajonopeuksien optimointi kustannusten suhteen

Optimaalisella ajonopeudella tarkoitetaan nopeutta, joka minimoi liikenteen kustannukset. Jos tällaisessa laskelmassa ovat mukana vain aika-, ajoneuvo-, onnettomuus- ja päästökustannukset, kyseessä on liikennetaloudellinen optiminopeus (Tielaitos 1995, Blomqvist & Särkkä 2005). Näiden lisäksi laskelmaan voidaan sisällyttää muita kustannustekijöitä, esimerkiksi liikenteen melu, teiden kunnossapitokustannukset ja nopeusvalvonnan kustannukset. Tällöin puhutaan yhteiskuntataloudellisesta optimista. (Elvik 2002, Tielaitos 1995.)

Liikenteen kustannustekijöiden suhde nopeuteen vaihtelee (Elvik 2002). Aikakustannus pienenee ajonopeuden kasvaessa. Ajoneuvokustannukset (polttoai-

neenkulutus, korjaukset ja huollot) ja päästökustannukset kilometriä kohti ovat korkeimmillaan alimmilla ja korkeimmilla ajonopeuksilla. Onnettomuus- ja melukustannukset kasvavat ajonopeuden kasvaessa.

Optimaalisen ajonopeuden määrittelyä on kokeiltu Suomessa (Tielaitos 1995, Blomqvist & Särkkä 2005), Ruotsissa ja Norjassa (Elvik 2002). Kaikissa kolmessa maassa laskelmat tehtiin erikseen eri tieluokille. Suomessa laskettiin liikenneta- loudellinen optiminopeus ja tehtiin herkkyytarkasteluja ajan ja onnettomuuskus- tannusten arvon suhteen. Ruotsin ja Norjan laskelmat tehtiin neljästä eri näkökul- masta:

- ♦ Yhteiskunnallinen näkökulma, johon sisältyivät ajoneuvo-, aika-, onnettomuus-, päästö- ja melukustannukset.
- ♦ Tienkäyttäjän näkökulma, johon sisältyivät ajoneuvo- ja aikakustannukset sekä se osa onnettomuuskustannuksista, joka kohdistuu onnettomuuteen joutuneeseen tienkäyttäjään (60 % Norjassa ja 70 % Ruotsissa).
- ♦ Veronmaksajan näkökulma, johon sisältyivät aika- ja ajoneuvokustannukset, sekä Ruotsissa 20 % onnettomuus- ja ympäristökustannuksista. Tämä perus- tuu siihen, että Ruotsissa on arvioitu liikenteen verojen kattavan noin 80 % on- nettomuus- ja ympäristökustannuksista, Norjassa 100 %.
- ♦ Tienvarren asukkaan näkökulma, johon sisältyivät aika- ja ajoneuvokustan- nukset sekä onnettomuuskustannukset kaksinkertaisina, koska tienvarren asukkaat yleensä toivovat alempia nopeusrajoituksia turvallisuuden vuoksi.

Moottoritien optimaalinen nopeusrajoitus olisi näiden tutkimusten mukaan Suo- messa 100–110 km/h, Norjassa 100–120 km/h ja Ruotsissa 110–120 km/h. Pää- teiden optiminopeus olisi Norjassa näkökulmasta riippuen 60–120 km/h ja Ruot- sissa 80–120 km/h. Optiminopeus oli korkein veronmaksajan näkökulmaa mallin- tavassa laskelmassa ja matalin laskettaessa tienvarren asukkaan näkökulmasta. Suomen valtateiden osalta päädyttiin optiminopeuden arvoon 85–95 km/h ja seu- tuteiden osalta 80–95 km/h.

Suomen teitä koskevat optiminopeuskäyrät (Tielaitos 1995) olivat hyvin loivia ja siten herkkiä pienille lähtöarvojen muutoksille. Esimerkiksi jos ajan arvoa lasketta- essa otettiin huomioon vain työajan matkat, optiminopeus valtatiellä laski noin 10 km/h. Jos taas onnettomuuskustannukset muutettiin vastaamaan eurooppalais- ta keskiarvoa, valtatie optiminopeus nousi noin 5 km/h. Samansuuntaisia havain- toja optiminopeuslaskelmien herkkyydestä lähtöarvojen muutoksille tehtiin myös Norjan ja Ruotsin optiminopeuslaskelmien (Elvik 2002) yhteydessä.

Tielaitoksen (1995) tutkimuksessa havaittiin myös, että ajankohta ja keli vaikut- tavat optiminopeuteen. Ajankohta vaikuttaa aikakustannuksiin, koska aikakustan- nus on korkeampi työajalle ja työmatkoille kuin vapaa-ajalle. Keli taas vaikuttaa onnettomuuskustannuksiin sekä liikenteen meluun.

Kun nopeusrajoituksia alennetaan ja valvontaa lisätään, pitäisi miettiä onnettomuuksien lisäksi myös sitä, miten paljon köröttelyssä haaskaantuu ihmisten aikaa.

Nopeusrajoituksilla pyritään säätelemään ajoneuvojen liikkumista siten, että turvallista, taloudellista ja joustavaa liikennettä sekä miellyttävää elinympäristöä koskevat yhteiskunnan odotukset täyttyvät mahdollisimman hyvin (Tiehallinto 2009). Näin ollen nopeusrajoituksia laadittaessa on otettu huomioon myös liikenteessä kuluva aika. Liikenteen optiminopeudesta tehtyjen tutkimusten perusteella pääteiden nopeusrajoitukset ovat kohtalaisen lähellä optiminopeuksia ja joskus hieman niitä korkeampia. Nopeusrajoitusten korottaminen siitä saataviin aikasäästöihin vetoamalla maksettaisiin onnettomuuskustannuksina, jotka jopa ylittäisivät saavutettavat aikakustannusten säästöt.

Nopeuden kasvattamisella saavutettavat aikasäästöt voidaan helposti yliarvioida. Jos esimerkiksi 50 kilometrin matka ajetaan nopeudella 100 km/h nopeuden 80 km/h sijasta, matkaan kuluva aika lyhenee 7,5 minuuttia. Käytännössä keskimääräinen nopeus kasvaa vähemmän kuin nopeusrajoitus tai tavoitenoisuus, koska myös muu liikenteen ja liikenneympäristön ominaisuudet rajoittavat nopeuden valintaa ainakin ajoittain. Yksiajorataisilla pääteillä autoliikenteen keskinopeus kesällä oli vuonna 2012 pysyvän 100 km/h rajoituksen alueella noin 15 km/h korkeampi kuin pysyvän 80 km/h rajoituksen alueella. Talvikaudella vastaava ero oli noin 12 km/h (Liikennevirasto 2013). Tavoitteellisen ajonopeuden nostamisella 80km/h:stä 100 km/h:iin saavutettava aikasäästö 50 kilometrin matkalla onkin käytännössä lähempänä viittä kuin 7,5:tä minuuttia.

4. Ajonopeuden vaikutukset yksittäisen kuljettajan näkökulmasta

4.1 Oman nopeuden vaikutus turvallisuuteen

Ajonopeuden kasvaminen lisää yleisesti ajamistehtävän vaativuutta (Elvik 2005). Vaikka olemme tottuneet moottoriajoneuvoliikenteessä nykyään käytettyihin nopeuksiin, ne ovat erittäin suuria ihmisen ominaisuuksien kehityksen näkökulmasta. Suuret ajonopeudet mahdollistava tekniikka on kehittynyt paljon nopeammin kuin ihminen, jonka ominaisuudet soveltuvat edelleen paremmin kävelynopeuksiin kuin nykyliikenteeseen (Rumar 1990). Käveltäessä ihmisen tekemät virheet ovat usein korjattavissa ja onnettomuudet vältettävissä. Lisäksi kävelynopeuksilla tapahtuvissa tapaturmissa ihmisen keho ei joudu alttiiksi sellaisille voimille kuin nykyajan liikenneonnettomuuksissa.

Tässä luvussa tarkastellaan kuljettajaan liittyviä mekanismeja, jotka johtavat siihen, että ajonopeus vaikuttaa em. tavoilla. Kallberg & Luoma (1996) erittelivät tätä ajotehtävän vaativuuden kasvua seuraavasti:

1. **Vaaratilanteiden havaitsemiseen ja tunnistamiseen käytettävissä oleva aika lyhenee.** Yksi keskeinen ja sinänsä yksinkertainen lähtökohta on se, että toiset tien tienkäyttäjät, mahdolliset esteet ja tieolosuhteiden muutokset on havaittava ajoissa, jotta mahdolliset törmäämiset ja suistumiset voitaisiin välttää. Vaikka näköaisti on yleisesti erinomainen työkalu havaintojen välittämiseen, eri kohteiden ja olosuhteiden tunnistaminen vaatii aikaa, ja aikaa on sitä vähemmän, mitä suurempi ajonopeus on.

Kuljettajan katse suuntautuu enimmäkseen tielle, ja kokeneet kuljettajat ovat oppineet kohdistamaan katseensa yleensä kauemmas kuin kokemattomat. Lisäksi ääreisnäöllä on merkitystä, koska ääreisnäkökenttään ilmestyvät kohteet ohjaavat katseen ja tarkkaavaisuuden suuntaamista. Ajonopeuden kasvaessa näkökentän laidoilla olevien kohteiden kulmanopeus suhteessa kuljettajaan kasvaa. Joskus puhutaan näkökentän kapenemisesta, mutta itse asiassa sen reunoilla olevat kohteet vain tulevat kulmanopeuden kasvun takia vaikeiksi tai mahdottomiksi havaita (Häkkinen & Luoma 1983).

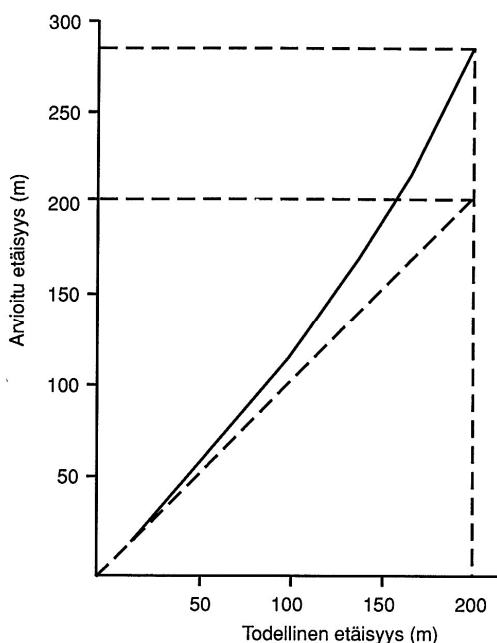
Silmänliikkeet ovat suhteellisen nopeita, joten ajonopeuden vaikutuksia arvioitaessa merkityksellisempiä lienevät kohteen tunnistamisen jälkeinen identifi-

ointi ja arvioinnit. Esimerkiksi risteävää tietä lähestyvän auton tapauksessa on arvioitava mahdollinen törmäysvaara etäisyyksien ja nopeuksien perusteella. Ajonopeuden kasvaessa lyhenee aika vaaratilanteiden tunnistamiseen – ennen kuin se on liian myöhäistä.

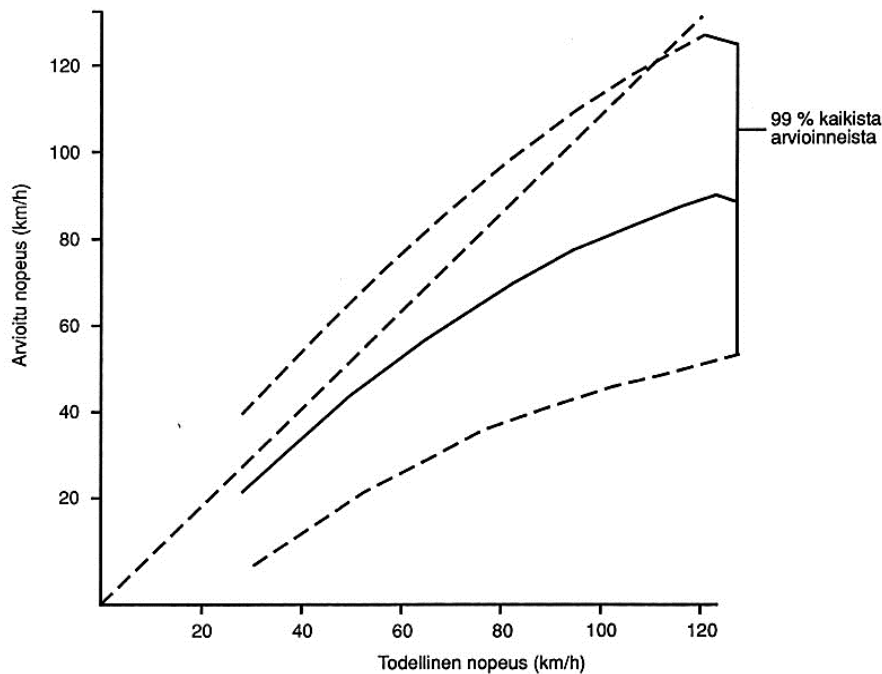
2. **Välimatkojen ja nopeuksien arviointivirheet kasvavat.** Vaaran tunnistamiseen liittyy vastaan tulevan auton etäisyyden ja nopeuden arviointi, erityisesti ohitustilanteissa. Valitettavasti vastaan tulevan auton nopeutta ja etäisyyttä koskevat arviointivirheet huonontavat turvallisuutta, eikä ajokokemuksaan näyttä parantavan arviointien luotettavuutta (Häkkinen 1963):

- Lähestyvä auton etäisyys arvioidaan järjestelmällisesti todellista suuremmaksi ja virhe kasvaa etäisyyden kasvaessa niin, että esimerkiksi 200 metrin välimatka arvioitiin keskimäärin 288 metriksi (kuva 9).
- Toisaalta lähestyvän auton nopeus arvioidaan systemaattisesti todellista pienemmäksi ja virhe kasvaa nopeuden kasvaessa niin, että todellisen nopeuden ollessa 100 km/h se arvioitiin keskimäärin 72 km/h:ksi ja 130 km/h vastaavasti 89 km/h:ksi (kuva 10).

Em. tulokset ovat jo 50 vuoden takaa, koska vastaavanlaisia tutkimuksia ei ole toistettu. Ei ole kuitenkaan mitään syytä olettaa, että kuljettajien arviointikyky olisi viime vuosikymmeninä kehittynyt olennaisesti, pikemminkin ei lainkaan.



Kuva 9. Vastaan tulevan auton etäisyyden arviointi (Häkkinen 1963).

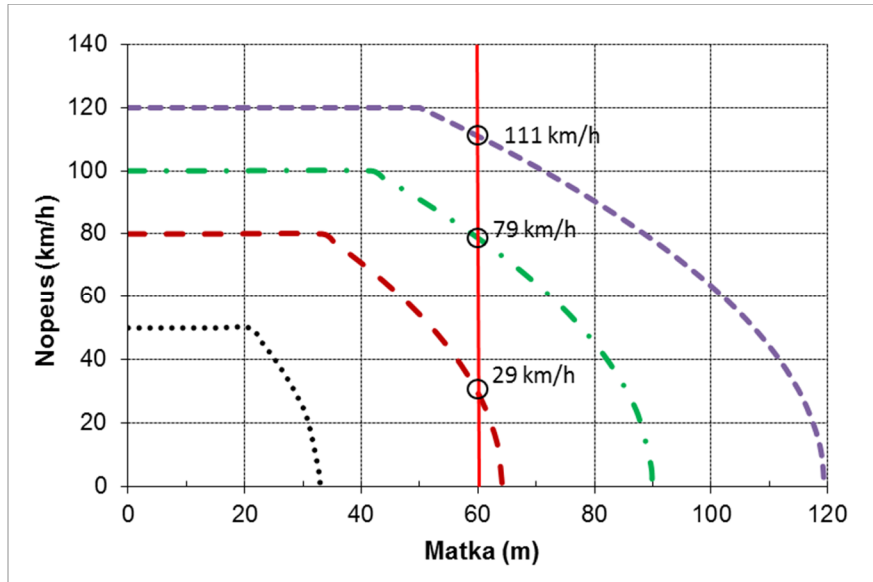


Kuva 10. Vastään tulevan auton nopeuden arviointi (Häkkinen 1963).

3. **Päätöksentekoon ja väistötoimenpiteiden toteuttamiseen käytettävissä oleva aika ja matka lyhenevät.** Kun kuljettaja tunnistaa uhkaavan vaaratilanteen, hänen on päätettävä toimenpiteistä törmäyksen välttämiseksi ja toteutettava ne. Edessä tietyn matkan päässä uhkaavan vaaran välttämiseen – yleensä jarruttamalla tai ohjaamalla – käytettävissä oleva aika lyhenee nopeuden kasvaessa.

Reaktioajan aikana kuljettu matka on tietysti suoraan verrannollinen ajonopeuteen. Tilanteeseen valmistautuvan kuljettajan reaktioajat ovat tyypillisesti 1–1,5 sekunnin luokkaa, ja parilla prosentilla kuljettajista ne voivat olla yli 2 sekuntia (Sivak 1987). Toisaalta kuljettajat eivät useinkaan ole varautuneita yllättäviin tilanteisiin eikä oikean reaktion valinta ole selvää, jolloin reaktioaika voi olla huomattavasti edellisiä lukemia pidempi. Törnrosin (1995) mukaan reaktioaika ei myöskään lyhene ajonopeuden kasvaessa.

Kuvassa 11 on havainnollistettu sitä, miten reaktioaikana eri nopeuksilla kuljettu matka ja sen jälkeen jarruttamiseen käytettävissä olevan matkan lyheneminen yhdessä vaikuttavat törmäysnopeuteen. Esimerkiksi nopeudella 100 km/h auto kulkee 1,5 sekunnin reaktioaikana 41,7 m ja sen jälkeen jarrutuksessa 18,3 m matkalla ja 8 m/s^2 :n hidastuvuudella sen vauhti hidastuu 79 km/h:iin.

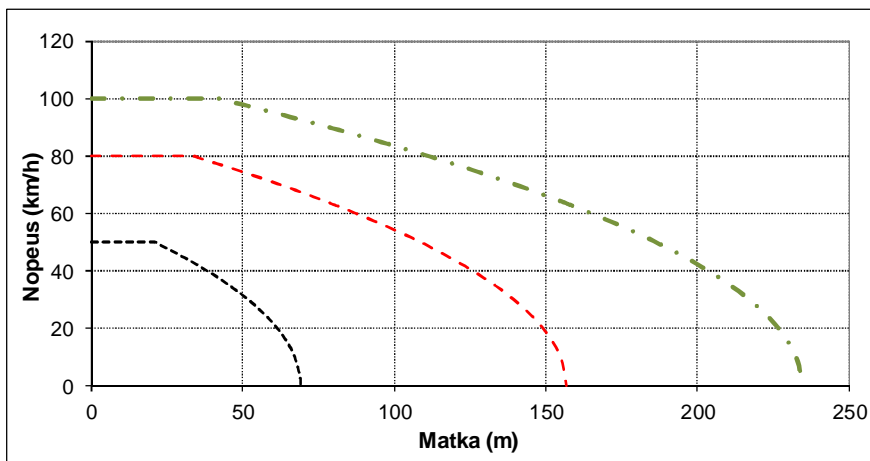
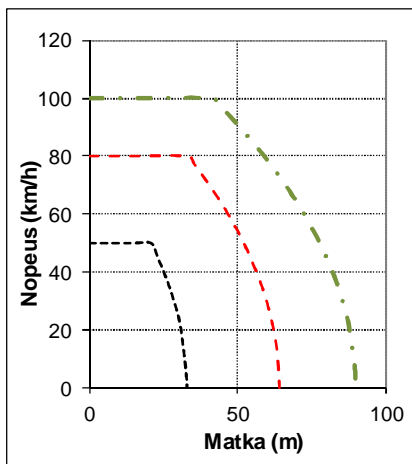


Kuva 11. Auton nopeus matkan funktiona eri nopeuksilla aloitetuissa pysähtymisissä, kun reaktioaika on 1,5 sekuntia ja hidastuvuus jarrutuksessa on 8 m/s^2 . Kuvassa näkyvät myös nopeudet 60 metrin etäisyydellä paikasta, jossa reaktion aiheuttanut ärsyke tuli näkyviin ja kuljettaja päätti aloittaa hätäjarrutuksen.

4. **Mahdollisuudet törmäyksen välttämiseen jarruttamalla tai ohjaamalla pienenevät.** Jarrutusmatkat pitenevät suhteessa nopeuden toiseen potenssiin. Jarrutusmatka esimerkiksi 100 km/h nopeudesta on noin kaksi kertaa niin pitkä kuin nopeudesta 70 km/h.

Törmäysten seurauksen kannalta on merkittävää, että jarrutuksen alkuvaiheessa nopeus tietyllä matkalla hidastuu sitä enemmän, mitä pienempi on alkunopeus (kuva 11). Jarrutettaessa esimerkiksi 100 km/h nopeudesta hidastuvuudella 8 m/s^2 nopeus pienenee ensimmäisen 25 m matkalla 31 km/h:lla (nopeuteen 69 km/h), kun se nopeudesta 80 km/h samalla hidastuvuudella pienenee 45 km/h:lla (nopeuteen 35 km/h). Ajonopeuden vaikutus korostuu, jos otetaan lisäksi huomioon reaktioaikana kuljettava matka.

Kuvassa 12 on havainnollistettu, miten auton nopeus jarrutuksessa eri alkunopeuksista muuttuu matkan funktiona pitävällä ja liukkaalla kelillä. Siitä nähdään esimerkiksi, että 100 km/h nopeudesta jarruttamaan alkavan nopeus on pitävällä kelillä 73 km/h ja liukkaalla kelillä 63 km/h kohdassa, josta jarrutuksen nopeudesta 80 km/h alkanut on jo ehtinyt pysähtymään.



Kuva 12. Nopeus matkan funktiona jarrutettaessa eri nopeuksista, kun reaktioaika on 1,5 s ja hidastuvuus 8 m/s^2 (pitävä keli, ylempi kuva) tai 2 m/s^2 (liukas keli, alempi kuva).

Ohjaamalla suoritettavassa väistössä pienin mahdollinen kaarresäde (ilman että auto lähtee luistoon) kasvaa suhteessa nopeuden neliöön. Esimerkiksi kitkakertoimen arvolla 0,8 se on 100 km/h nopeudella 98 m, nopeudella 80 km/h 63 m ja nopeudella 50 km/h 25 m.

Kokonaisuutena ajonopeuden vaikutukset kuljettajan tehtävän vaativuuteen ovat suhteellisen selviä ja jopa yllättävänkin suuria. Toisaalta ilmiöt ovat abstrakteja ja kuljettajan on vaikeaa hahmottaa niitä käytännön ajotilanteessa. Voisi jopa väittää, ettei kukaan meistä kykene siihen. Jokapäiväisessä ajamisessa emme kohtaa kriittisiä tilanteita usein ja itse asiassa saamme toistuvasti palautetta ajotehtävän helppoudesta. Kuljettaja voi useimmiten suorittaa ajotehtävän

rinnalla muita tehtäviä kuten kuunnella radiota, keskustella matkustajien kanssa jne. Joskus kuljettaja saattaa kuitenkin kohdata tilanteen, joka on tavallista vaativampi ja jopa kriittinen. Tällaisia tilanteita voi osittain ennakoida, mutta riskien tunnistaminen ei ole yleisesti kuljettajien vahvuus. Kriittisessä tilanteessa edellä käsitellyt ajonopeuden vaikutukset realisoituvat ja vaikuttavat väistämättä onnettomuuden tapahtumisen todennäköisyyteen.

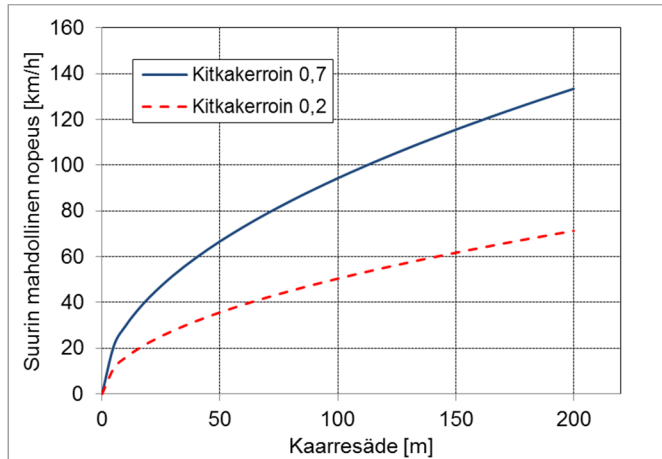
5. **Ajoneuvon hallinnan menettämisen riski kasvaa.** Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien vuonna 2012 tutkimista moottoriajoneuvojen onnettomuuksista kolmannes oli tieltä suistumisia ja niissä 40 % kuljettajista ajoi vähintään 10 km/h tiekohtaista nopeusrajoitusta kovemmalla nopeudella (Liikennevakutuskeskus 2013). Valtaosassa suistumisista ja osassa muitakin onnettomuuksia kuljettaja menettää ajoneuvon hallinnan, mikä tarkoittaa sitä, ettei ajoneuvo käyttäydy kuljettajan tarkoittamalla tavalla: nopeus ei hiljene jarrutuksessa tai ajoneuvo ei käänny niin nopeasti kuin olisi tarve. Edellä on jo kuvattu ajonopeuden vaikutusta ajoneuvon nopeuden hidastamiseen tarvittavaan matkaan. Kaarreaajossa ja esimerkiksi törmäyksen välttämiseksi tarpeellisissa väistöliikkeissä pienin mahdollinen kaarresäde kasvaa suhteessa ajonopeuden neliöön ja on kääntäen verrannollinen kitkakertoimen ja poikittaiskaltevuuden summaan (Fricke 1990):

$$R = \frac{v^2}{(f+e) \cdot g} \quad (3)$$

missä R on kaarresäde, v on ajonopeus, f on kitkakerroin, e on sivukaltevuus ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Jos ajoneuvo ajaa kaarteeseen, jonka säde on pienempi kuin ajonopeudesta, tien ja renkaan välisestä kitkasta sekä tien poikittaiskaltevuudesta riippuva pienin mahdollinen kaarresäde, renkaat menettävät pitonsa ja ajoneuvo suistuu tieltä ulkokaarteeseen puolelle.

Kuvassa 13 on esitetty kaavan (3) avulla laskettu suurin mahdollinen nopeus, jolla kaarteessa voi ajaa pitävällä kesäkelillä (kitkakerroin 0,7) ja melko liukkaalla talvikelillä (kitkakerroin 0,2) ilman, että ajoneuvo joutuu luistoon. Käytännössä turvallinen nopeus on kuvassa esitettyä pienempi, koska tienpinnassa voi olla epätasaisuuksia, jotka huonontavat renkaiden otetta tiestä. Lisäksi on otettava huomioon, että yksittäiset tienkohdat voivat olla tavallista liukkaampia.



Kuva 13. Suurin mahdollinen teoreettinen nopeus, jolla erisäteisissä kaarteissa on mahdollista ajaa ilman hallinnan menetystä, kun tie ei ole sivusuunnassa kalteva.

Väitteitä ja vastaväitteitä

Kuljettajan vireystaso paranee ja reaktioajat pienenevät kovaa ajettaessa, mikä pienentää onnettomuusriskiä.

Törnros (1995) mittasi moottoriliikenteessä kuljettajien reaktioaikoja ajonopeuksilla 70, 90 ja 110 km/h. Yleisesti ajonopeus ei vaikuttanut reaktioaikoihin. Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero reaktioajoissa todettiin ajonopeuksien 110 km/h ja 70 km/h välillä (0,347 s ja 0,362 s). Silläkään ei ole juuri käytännön merkitystä, koska vaikutus on vain 46 cm (10,60 m – 11,06 m). Kuljettajien itsensä mukaan he olivat virkeämpiä ajaessaan ajonopeudella 110 km/h kuin 70 km/h, mikä voi liittyä kuljettajien pyrkimykseen pitää ajotehtävän vaikeus tiettyjen rajojen puitteissa (Fuller 2005). Ajonopeuden lisääminen oman vireystilan parantamiseksi on joka tapauksessa kyseenalaista, koska yllättävien vaaratilanteiden ennakointi on puutteellista.

Kiireessä kannattaa lisätä ajonopeutta, koska niin voi säästää aikaa.

Periaatteessa ajonopeuden lisäys tietysti vähentää ajoaikaa, mutta väitteen voi silti kyseenalaistaa. Ensinnäkin nopeuden kasvattamisella saatavat aikasäästöt arvioidaan lähes poikkeuksetta väärin, mikä on osoitettu useissa tutkimuksissa (esim. Peer 2011, Elvik 2010). Pienten nopeuksien lisäyksistä koituvat aikasäästöt tyypillisesti aliarvioidaan ja suurten nopeuksien lisäyksistä koituvat hyödyt yliarvioidaan. Lisäksi suurten nopeuksien tapauksessa yliarvioinnit voivat olla huomattavan suuria (67 %), joten toivottuja aikasäästöjä ei saavuteta läheskään. Toiseksi liikenne- ja muut olosuhdetekijät vaikuttavat siihen, ettei toivottua nopeutta voida kuitenkaan ajaa, mikä laskee keskinopeutta ja sen myötä vähentää aikasäästöjä.

Hyvä ajoneuvon käsittelytaito mahdollistaa muita korkeamman nopeuden turvallisuutta vaarantamatta.

Hyvä ajoneuvon käsittelytaito voi auttaa selviytymään vaaratilanteista. On kuitenkin esimerkkejä siitä, että ajoneuvon käsittelytaitojen parantuminen lisää riskinottoa. Ajetaan entistä kovempaa, jolloin vaaratilanteisiin ja onnettomuuksiin joudutaan aiempaa useammin. Nopeuden kasvaessa havaintojen tekoon, niiden tulkintaan, ratkaisuihin ja ajosuoritukseen käytettävissä oleva aika pienenee. Aina ei väistöliikkeitä ehditä edes yrittää, eikä ajoneuvon hallintataidosta silloin ole mitään hyötyä. Muita selvästi korkeamman nopeuden käyttö lisäksi vaikeuttaa muiden liikkujien tilannearvioita ja lisää heidän onnettomuusriskiään esimerkiksi kohtaamis- ja risteystilanteissa. Vaikka ajoneuvon hyvän käsittelytaidon ansiosta saattaa joskus välttyä onnettomuudelta, se ei aina auta: kaikki onnettomuuksiin joutuneet eivät ole taidoiltaan keskimääräistä huonompia.

Kuljettajan tukijärjestelmien yleistyminen uusissa autoissa mahdollistaa ajonopeuksien nostamisen ilman, että turvallisuus huononisi.

On arvioitu, että monet kuljettajien tukijärjestelmät parantavat turvallisuutta (Rämä ym. 2008). Esimerkkejä tällaisista järjestelmistä ovat varsinkin ajovakauden hallintajärjestelmä ja kaistalla pysymisen tukijärjestelmä. Myös ns. eCall-järjestelmällä, dynaamisilla nopeusrajoituksilla ja törmäyksenestojärjestelmällä arviointiin olevan myönteisiä turvallisuusvaikutuksia. On kuitenkin huomattava, että nämä järjestelmät on suunniteltu nimenomaan turvallisuuden parantamiseksi eikä kompensoimaan suurempien nopeuksien aiheuttamaa turvallisuuden heikkenemistä.

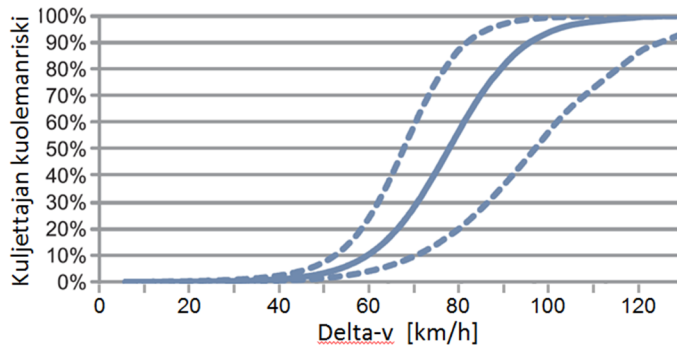
Autojen parantuminen mahdollistaa aiempaa suurempien nopeuksien käytön turvallisuuden huonontumatta.

Autojen rakenne ja turvalaitteet ovat kehittyneet siten, että ne törmäyksen tapahtuessa suojaavat matkustajia entistä paremmin. Myös autojen hallittavuus kriittisissä tilanteissa on parantunut, mm. ohjauksen käyttäytymisen, renkaiden ja jarrujen osalta. Siksi onnettomuuksia tapahtuu tietyllä nopeudella ajettaessa aiempaa vähemmän ja ne ovat seurauksiltaan entistä lievempiä. Tietyn suuruudesta nopeuden kasvusta seuraava turvallisuuden huononeminen on siis pienentynyt absoluuttisesti. Suhteellisesti turvallisuuden huononeminen ei kuitenkaan ole olennaisesti muuttunut. Jos aiemmin nopeuden kasvu vaikkapa 10 km/h lisäsi henkilövahinkoonnettomuuksien riskiä miljoonaa ajokilometriä kohden 0,15:stä 0,18:aan, vastaava muutos voisi nykyisin olla esimerkiksi 0,10:stä 0,12:een. Ei ole perusteltua olettaa, että ajoneuvojen ja teiden paraneminen olisi merkittävästi vaikuttanut ajonopeuden ja turvallisuuden väliseen suhteelliseen riippuvuuteen.

4.2 Törmäksenaikaisen nopeudenmuutoksen vaikutus onnettomuuden seurauksiin

Törmäyksestä aiheutuvat henkilövahingot ovat autossa matkustaville sitä suuremmat, mitä suurempi on autolle törmäyksessä (sekunnin murto-osassa) aiheutuva nopeudenmuutos Δv (mm. Jokschi 1993, Richards 2010). Kuvasta 14 näh-

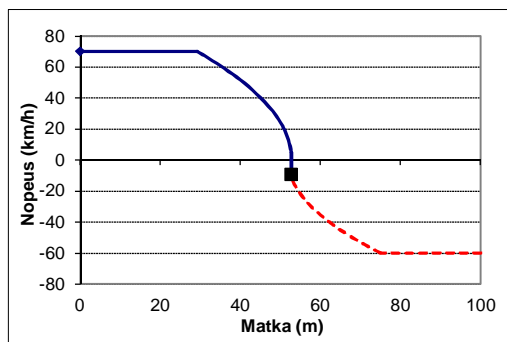
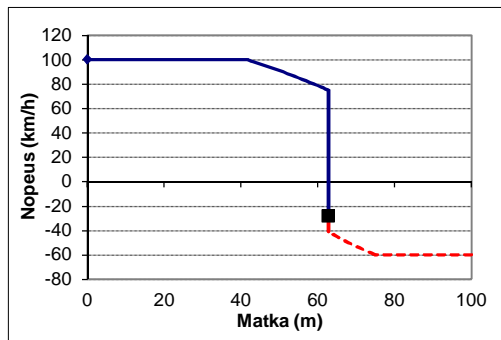
dään, että turvavyötä käyttävän kuljettajan kuolemanriski suoraan edestä tulevas-
sa törmäyksessä on alle 5 %, kun Δv on pienempi kuin 50 km/h. Kun Δv kasvaa
tätä suuremmaksi, kuolemanriski kasvaa jyrkästi niin, että Δv :n arvolla 80 km/h se on
noin 60 %. Kun Δv on 100 km/h, hengissä selviämisen mahdollisuus on alle 10 %.



Kuva 14. Turvavyötä käyttävän kuljettajan kuolemanriskin riippuvuus törmäyksen-
aikaisesta nopeudenmuutoksesta Δv suoraan edestä tulevassa törmäyksessä.
Katkoviivat kuvaavat 95 %:n varmuusväliä. (Richards 2010.)

Δv voi olla joko pienempi tai suurempi kuin törmäystä edeltänyt ajonopeus, mutta
yleensä se kasvaa ajonopeuden kasvaessa. Kahden ajoneuvon törmätessä nok-
kakkain ajoneuvojen nopeudenmuutokset ovat kääntäen verrannolliset niiden
massaan. Jos esimerkiksi 80 km/h ajavat 1,5 tonnin painoinen henkilöauto ja 40
tonnin painoinen rekka törmäävät nokakkain, rekan nopeus hidastuu vain noin
6 km/h, mutta henkilöauto alkaa kulkea tulosuuntaansa rekan nopeudella, eli sen
nopeudenmuutos on noin 154 km/h.

Ajonopeuden vaikutus korostuu onnettomuuksissa, joissa ehditään jarruttaa
ennen törmäystä. Suhteellisen pieni ajonopeuden muutos voi johtaa suureen Δv :n
ja seurausten vakavuuden muutokseen. Kuvassa 15 on havainnollistettu, miten
nökkolarissa raskaamman ajoneuvon kanssa henkilöauton ajonopeuden kasvu
70 km/h:stä 100 km/h:iin kasvattaa Δv :n 15 km/h:stä 103 km/h:iin (88 km/h:llä).
Seurausten kannalta tämä merkitsee eroa vammoitta selviämisen ja lähes varman
kuoleman välillä.



TAPAUS 1

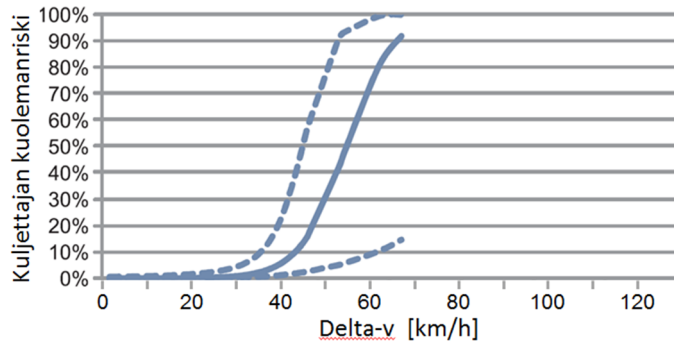
- ♦ Auton 1 nopeus alkutilanteessa on 100 km/h, nopeus törmäyksen alkamishetkellä on 75 km/h ja törmäyksen aikainen nopeudenmuutos on 103 km/h.
- ♦ Auton 2 nopeus alkutilanteessa on 60 km/h, nopeus törmäyksen alkamishetkellä on 41 km/h ja törmäyksen aikainen nopeudenmuutos on 13 km/h.

TAPAUS 2

- ♦ Auton 1 nopeus alkutilanteessa on 70 km/h, nopeus törmäyksen alkamishetkellä on 5 km/h ja törmäyksen aikainen nopeudenmuutos on 15 km/h.
- ♦ Auton 2 nopeus alkutilanteessa on 60 km/h, nopeus törmäyksen alkamishetkellä on 11 km/h ja törmäyksen aikainen nopeudenmuutos on 2 km/h.

Kuva 15. Esimerkki ajonopeuden vaikutuksista törmäyksen aikaiseen nopeudenmuutokseen nokkakolarissa. Kaksi autoa, joiden massat ovat 1500 kg (auto 1) ja 12000 kg (auto 2), tulevat toistensa näkyviin 100 m:n etäisyydellä ja kuljettajat aloittavat jarrutuksen 1,5 s reaktioajan kuluttua. Auton 1 hidastuvuus jarrutuksessa on 8 m/s^2 ja auton 2 vastaavasti 6 m/s^2 . Autojen nopeuksia törmäyksen alkamishetkellä kuvaavat kohdat, joissa käyrä muuttuu pystysuoraksi viivaksi. Mustat neliot ilmaisevat autojen yhteisen nopeuden välittömästi törmäyksen jälkeen. Mustan neliön ylä- ja alapuolella olevat pystysuorat viivan osat ilmaisevat autojen törmäyksen aikaiset nopeudenmuutokset.

Toisen henkilöauton törmätessä henkilöauton kuljettajan puoleiseen kylkeen kuljettajan kuolemanriski kasvaa Δv :n kasvaessa nopeammin kuin nokkakolarissa. Jo Δv :n arvolla 50 km/h kuolemanriski on noin 25 % ja Δv :n ylittäessä 70 km/h hengissä selviämisen mahdollisuudet ovat vähäiset (kuva 16).



Kuva 16. Turvavyötä käyttävän kuljettajan kuolemanriskin riippuvuus törmäyksen-aikaisesta nopeudenmuutoksesta sivulta tulevassa toisen henkilöauton törmäyk-
sessä. Katkoviivat kuvaavat 95 %:n varmuusväliä. (Richards 2010.)

Väitteitä ja vastaväitteitä

**Autojen passiivisen turvallisuuden paraneminen mahdollistaa aiempaa suu-
rempien nopeuksien käytön ilman, että turvallisuus huononee.**

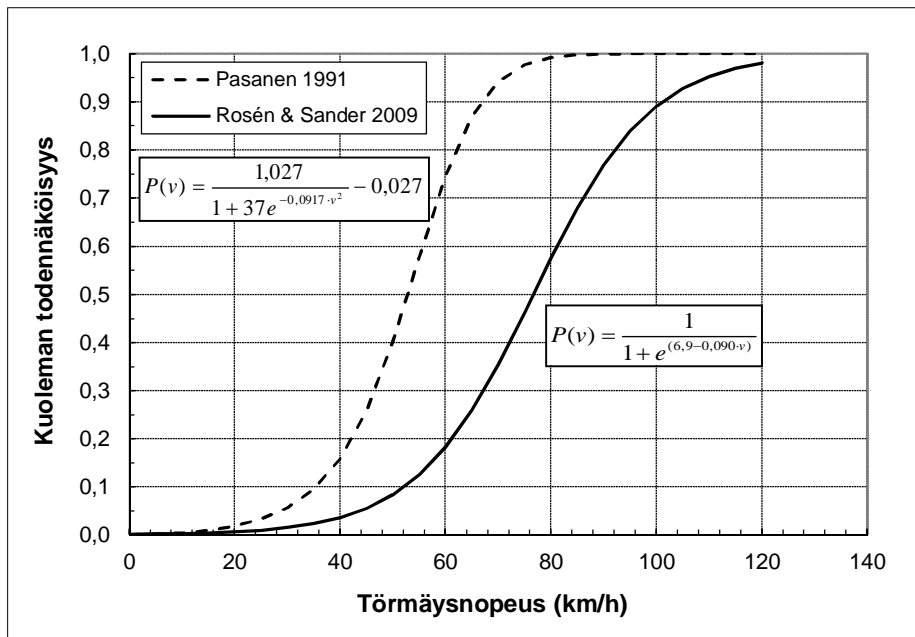
*Passiivisella turvallisuudella tarkoitetaan autojen rakenteen kehittymistä niin, et-
tä se entistä paremmin suojaa matkustajia törmäystilanteessa. Törmäyksen seu-
raukset ovat henkilövahinkojen osalta lievemmat nykyaikaisella autolla kuin vaik-
kapa 10–20 vuotta vanhalla autolla, jos törmäykset ovat muuten samanlaiset. No-
peuksia voidaan toki jonkin verran nostaa autojen passiivisen turvallisuuden para-
nemisen takia, ilman että liikenteessä kuolevien ja loukkaantuvien määrä kasvaa.
Silloin kuitenkin jätetään käyttämättä se turvallisuushyöty, johon autojen passiivi-
sen turvallisuuden kehittämisellä on pyritty, ja tyydytään 10–20 vuoden takaiseen
turvallisuustasoon. Passiivisen turvallisuuden kehittämisestä saatavaa hyötyä voi-
daan siis käyttää sekä turvallisuuden parantamiseksi että ajonopeuksien kasvatta-
miseksi, mutta ei molempiin yhtä aikaa täysimääräisesti.*

**Keskikaiteellisilla teillä nopeuksia voidaan nostaa turvallisuutta vaaranta-
matta, koska tuhoisimmat nokkakolarit on estetty**

*Nokkakolarit ovat seurauksiltaan vakavimpia onnettomuuksia, ja niiden estämi-
nen keskikaiteella vähentää nopeuden kasvattamisesta turvallisuudelle aiheutuvaa
haittaa. Toisin sanoen keskikaiteellisilla teillä nopeuden kasvattaminen aiheuttaa
absoluuttisesti vähemmän vakavia onnettomuuksia kuin vastaava nopeuden lisäys
muuten samanlaisilla mutta keskikaiteettomilla teillä. Viime kädessä on kysymys
siitä, halutaanko keskikaiteen rakentamisella parantaa liikenneturvallisuutta vai
antaa mahdollisuus ajaa aiempaa nopeammin. Molempia hyötyjä ei voi samanai-
kaisesti saavuttaa täysimääräisesti.*

4.3 Törmäysnopeuden vaikutus jalankulkijan kuolemanriskiin

Auton törmätessä jalankulkijaan jalankulkijan kuolemanriski kasvaa jyrkästi auton törmäysnopeuden kasvaessa. Riippuvuutta on kuvattu mm. Pasasen ja muiden kehittämällä funktiolla (kuva 17).

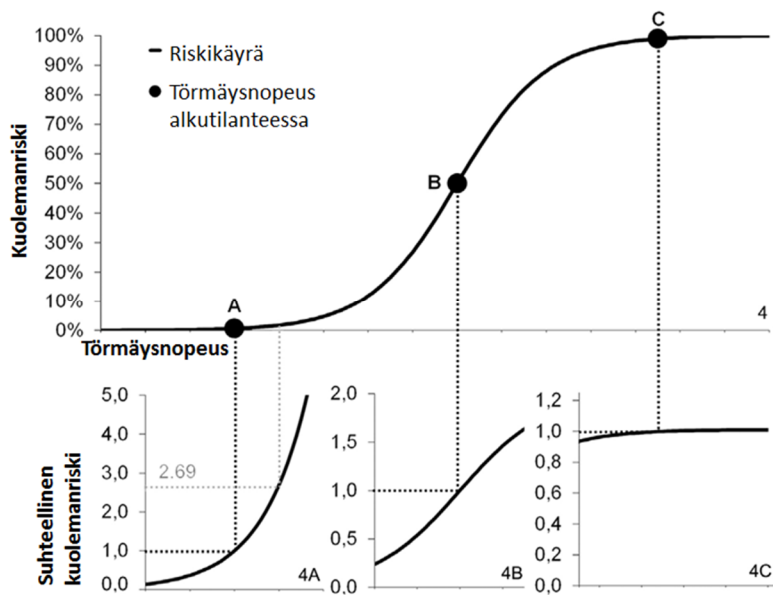


Kuva 17. Jalankulkijan kuolemanriskin riippuvuus auton törmäysnopeudesta (Pasanen 1991, Rosén & Sander 2009).

Uudemmissa tutkimuksissa (mm. Richards 2010, Rosén & Sander 2009, Rosén et al. 2011, Tefft 2011) Pasasen esittämää käyrää on kritisoitu siitä, ettei siinä oteta huomioon onnettomuuksien tilastoinnin puutteita, erityisesti sitä, että onnettomuudet päätyvät tilastoihin sitä huonommin, mitä lievempiä ovat seuraukset. Sen vuoksi kuolemanriski tulee yliarvioituksi. Uudemmissa tutkimuksissa, joissa lähtötietoina käytettyjä onnettomuusmääriä on korjattu ottamaan huomioon tilastojen puutteita, törmäysnopeuden ja jalankulkijan kuolemanriskin välisen käyrän muoto on samankaltainen kuin Pasasen tutkimuksessa, mutta käyrä on siirtynyt kuvassa oikealle (kuva 17). Tästä voi syntyä vaikutelma, että törmäysnopeuden kasvu vaikuttaisi kuolemanriskiin merkittävästi vasta silloin, kun kuvan 17 käyrät alkavat kohota jyrkästi, eikä esimerkiksi kuvan 17 oikeanpuoleisen käyrän nopeuksilla, jotka ovat pienempiä kuin 50 km/h.

Kröyer ym. (2014) kuitenkin osoittavat, että vaikka jalankulkijan absoluuttinen kuolemanriski eri nopeuksilla tapahtuvissa törmäyksissä on nykytietämyksen pe-

rusteella pienempi kuin esimerkiksi Pasasen tuloksissa, törmäysnopeuden kasvu lisää merkittävästi kuolemanriskiä pienilläkin törmäysnopeuden arvoilla. Asiaa havainnollistaa kuva 18. Siinä käyrän alkupään pisteessä A riski näyttää kuvan mittakaavasta johtuen kasvavan suhteellisen hitaasti. Muuttamalla kuvan mittakaavaa (kuva 4A) kasvun jyrkkyys kuitenkin tulee esille. Tämä pätee yhtä lailla esimerkiksi kuvan 17 molempiin käyriin.



Kuva 18. Suhteellinen kuolemanriski eri kohdissa absoluuttista kuolemanriskiä kuvaavaa käyrää. Kuolemanriskin kasvua törmäysnopeuden kasvun funktiona kuvataan kolmessa pisteessä A, B ja C, joissa kussakin suhteellisen riskin arvo on 1. Riskikäyrien muoto suurennettuna näkyy kuvissa 4A, 4B ja 4C.

Vaikka absoluuttinen kuolemanriski eri törmäysnopeuksilla uusimpien tutkimusten mukaan on pienempi kuin Pasasen käyrä osoittaa, törmäysnopeuden kasvu lisää kuolemanriskiä merkittävästi myös kuvan 17 käyrien vasemmanpuoleisimmalla osalla, jossa käyrät näyttävät suhteellisen loivilta. Törmäysnopeuden kasvu esimerkiksi 30 km/h:stä 40 km/h:iin lisää jalankulkijan kuolemanriskin Pasasen käyrän tapauksessa 2,8-kertaiseksi ja Rosénin ja Sanderin käyrän tapauksessa 2,4-kertaiseksi. Vastaavasti törmäysnopeuden kasvu 30 km/h:stä 50 km/h:iin lisää jalankulkijan kuolemanriskin Pasasen laskutavalla 7,2-kertaiseksi ja Rósenin ja Sanderin laskutavalla 5,6-kertaiseksi. Törmäysnopeuden kasvun 40 km/h:stä 60 km/h:iin vastaavat vaikutukset olisivat kuolemanriskin kasvu 4,7-kertaiseksi ja 5,1-kertaiseksi. Erot eivät siis ole erityisen suuria.

Kröyer ym. (2014) toteavatkin, että kuvan 17 kaltaiset käyrät pintapuolisesti tarkasteltuina voivat antaa harhaanjohtavan kuvan ajonopeuksien merkityksestä ja

lankulkijoiden turvallisuudelle. Paremman kuvan nopeudenmuutosten turvallisuusvaikutuksista saa laskemalla suoraan kaavasta, kuinka paljon suhteellinen riski muuttuu, kun nopeus muuttuu arvosta a arvoon b.

4.4 Oman nopeuden vaikutus ympäristöön

Auton kuljettaja ei nykyisin useinkaan saa suoraa palautetta aiheuttamastaan ympäristövaikutuksesta. Aikaisemmin runsaat ja näkyvät pakokaasupäästöt ja öljyvuodot olivat selvästi havaittavia vaikutuksia. Aikoinaan pakokaasut, hajut ja melu samoin kuin runsaat savut tehtaan piipuista olivat edistyksen ja hyvinvoinnin merkki.

Nykyiset määräykset ja tekniikka ovat lähes poistaneet näkyvän pakokaasun ja moottorimelun. Säädetyt päästöt, häkä (CO), hiilivedyt (HC), typen oksidit (NO_x) ja hiukkaset onkin saatu katalysaattori- ja muulla tekniikalla alennettua tehokkaasti. Kohtalonkysymykseksi nousseeseen kasvihuonekaasupäästöön, hiilidioksiidiin (CO₂), ei katalysaattoritekniikka kuitenkaan pure, koska se riippuu pääasiassa kulutuksesta. Kulutukseen taas vaikuttaa eniten autoilijan käyttäytyminen eli se, millaista tekniikkaa ostetaan ja miten ajetaan. Ajamisessa ajonopeudella on edelleenkin merkittävä vaikutus kulutukseen, kuten luvussa 3.4 on esitetty. Ajonopeutta hillitsemällä voi myös vaikuttaa suoraan omiin polttoainekustannuksiin.

Maantienopeuksissa nopeudella on selkeä vaikutus kulutukseen ja päästöihin (kuvat 5 ja 6). Liikennevirran tasaantuminen merkitsee yksittäisten autojen nopeuserojen pienentymistä. Jokainen voi omaa nopeuttaan ja ajokäyttäytymistään säätelemällä vaikuttaa sekä omaan että muiden aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Rajut ohitukset, jonoon takaisin ”tunkeminen” jne. aiheuttavat liikennevirrassa häiriöitä, jotka voivat ulottua pitkälle taaksepäin. Tavallisesti näin käyttäytyvä autoilija ei näe oman toimintansa seurauksia. Jokainen turha kiihdytys lisää kulutusta ja päästöjä. Nopeustason lisäksi nopeusero muihin autoilijoihin nähden vaikuttaa siis kulutukseen ja päästöihin. Ennakoiva ajotapa on osoittautunut tehokkaaksi keinoksi vähentää kulutusta, koska näin välttyy turhilta kiihdytyksiltä.

Rajussa ajotavassa kiihdytyksissä saavutettu liike-energia joudutaan ”hukkaamaan” jatkuvissa jarrutuksissa lämpöenergiaksi. Lisääntyneen kulutuksen ja päästöjen lisäksi saavutettu aikahyöty on yleensä minimaalinen. Kiihdytyksessä on kuitenkin optiminsa, eli liian rauhallinen kiihdytys ei ole kulutuksen kannalta paras mahdollinen, koska moottori toimii tällöin vähemmän tehokkaalla toiminta-alueella.

5. Yhteenveto

Raportissa esitetään tutkimuksiin perustuva yhteenveto ajonopeuksien ja nopeusrajoitusten vaikutuksista liikenneturvallisuuteen ja ympäristöön. Tällainen katsaus nähtiin tarpeelliseksi, koska mainituista vaikutuksista on paljon tietoa, joka on kuitenkin sirpaleista ja peräisin eri aikakausilta niin, että kokonaiskuvan muodostaminen vaikutuksista nykytilanteesta on haasteellista. Kokoavaa tietoa kuitenkin tarvitaan ajonopeuksia koskevan päätöksenteon ja tiedottamisen pohjaksi.

5.1 Ajonopeuksien turvallisuusvaikutukset

Ajonopeuksien turvallisuusvaikutuksia liikennevirran tasolla on jo yli 30 vuoden ajan kuvattu alun perin Ruotsissa kehitetyillä ns. potenssimalleilla. Niiden parametreja on kehitetty vastaamaan kulloinkin käytettävissä olevia aineistoja. Potenssimallit kuvaavat vieläkin hyvin liikennevirran keskinopeuden ja liikenneturvallisuuden välistä yhteyttä.

Potenssimallien rinnalle on viime aikoina kehitetty ns. eksponenttimalleja, joilla myös kuvataan liikennevirran nopeuden vaikutusta turvallisuuteen. Selitystehtaan ne ovat likimain yhtä hyviä potenssimallien kanssa. Potenssi- ja eksponenttimallien selvin ero on siinä, että tyypillisillä taajamanopeuksilla eksponenttimallilla lasketut nopeudenmuutoksen vaikutukset ovat pienempiä kuin potenssimallilla lasketut. Eksponenttimallilla voidaan myös arvioida nopeusjakauman eri osien ja niiden muutosten vaikutusta turvallisuuteen. Malleista voidaan myös johtaa karkea nyrkkisääntö, jonka mukaan tyypillisillä maantienopeuksilla keskinopeuden 5 %:n kasvu (esimerkiksi 80 km/h:stä 84 km/h:iin) aiheuttaa henkilövahinko- ja onnettomuuksien lukumäärän kasvun 10 %:lla ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien lukumäärän kasvun 20 %:lla.

Nopeusrajoitusten turvallisuusvaikutus riippuu niiden vaikutuksesta liikenteen nopeuteen. Kun nopeusrajoitusta muutetaan, liikenteen keskinopeus muuttuu käytännöllisesti katsoen aina vähemmän kuin nopeusrajoitus. Kun vaikutus keskinopeuteen tiedetään tai arvioidaan aikaisempien nopeusrajoitusmuutosten vaikutusten perusteella, vaikutus vakavuudeltaan erilaisten onnettomuuksien lukumäärään voidaan laskea potenssi- tai eksponenttimallilla.

Pienetkin ajonopeuksien muutokset vaikuttavat turvallisuuteen, jos olosuhteet muilta osin pysyvät ennallaan. Yksittäisen kuljettajan näkökulmasta onnettomuus-

riskin muutosta on kuitenkin vaikea havaita, koska onnettomuusriski on yleensä pieni: henkilövahinkoon johtavia onnettomuuksia tapahtuu likimain yksi seitsemää miljoonaa ajokilometriä kohden. Kun suuri joukko kuljettajia muuttaa nopeuttaan vaikka vain pari km/h, vaikutukset kuitenkin näkyvät onnettomuustilastoissa. Suuri määrä pienenä pidettyjä nopeusrajoituksen ylityksiä (esimerkiksi vähemmän kuin 5–10 km/h) voi huonontaa turvallisuutta enemmän kuin pieni määrä suuria ylityksiä.

Nopeuksien hajonnan kasvun voi perustellusti odottaa huonontavan turvallisuutta erityisesti sitä kautta, että se lisää ohitustilanteita. Niihin liittyy riski törmätä vastaan tulevaan ajoneuvoon, jolloin seuraukset ovat usein vakavia. Toisaalta nopeuksien hajonnan kasvu ei suoraan vaikuta valtaosaan kaikkein vakavimmista onnettomuuksista: yksittäis- ja risteysonnettomuuksiin eikä sellaisiin kohtaamisonnettomuuksiin, joihin ei liity ohittamista. Nopeuksien hajonnan vaikutusta turvallisuuteen ei ole vielä kyetty mallintamaan yhtä hyvin kuin absoluuttisen nopeuden vaikutusta, joten hajonnan vaikutuksista ei ole kunnollisia määrällisiä arvioita. Teoreettisesti tarkastellen nopeuksien hajonnan vaikutus onnettomuuksiin on kuitenkin selvästi pienempi kuin ajonopeuksien suuruuden vaikutus.

Yksittäisen kuljettajan näkökulmasta ajonopeuden kasvun turvallisuutta huonontavalle vaikutukselle on järkeenkäyvät perusteet. Tiivistetysti voi sanoa, että ajamistehtävä vaikeutuu nopeuden kasvaessa ja tehtävän vaikeutuessa riskit erilaisiin onnettomuuteen johtaviin virheisiin kasvavat. Nopeuksien kasvun myötä vaaratilanteiden havaitsemiseen ja tunnistamiseen käytettävissä oleva aika lyhenee, välimatkojen ja nopeuksien arviointivirheet kasvavat, päätöksentekoon ja väistötoimenpiteisiin käytettävissä oleva aika ja matka lyhenevät, ja mahdollisuudet törmäyksen välttämiseen jarruttamalla tai ohjaamalla pienenevät.

Onnettomuuksien seuraukset ajoneuvoissa matkustaville riippuvat ajoneuvon törmäyksenäikaisesta nopeudenmuutoksesta, jonka suuruus riippuu paitsi osapuolten nopeuksista myös törmäyksen suunnasta ja osapuolten massaeroista. Nokkakolareissa kuolemaan johtavat vammat ovat todennäköisiä, kun nopeudenmuutos on suurempi kuin 80–100 km/h. Tuhoisimpia ovat nokkakolarit, joissa vastapuolena on raskas ajoneuvo. Sivulta tulevissa törmäyksissä vakavia vammoja aiheutuu yleisesti jo nopeudenmuutoksen arvoilla 50–70 km/h. Törmäyksissä auton kanssa jalankulkijan kuolemanriski kasvaa voimakkaasti, kun törmäysnopeus ylittää 30 km/h.

5.2 Ajonopeuksien ympäristövaikutukset

Henkilöauton polttoaineenkulutus on alhaisimmillaan nopeudella 60–80 km/h. Hiilidioksidia (CO₂) vapautuu ilmaan suorassa suhteessa polttoaineen kulutukseen. Muiden pakokaasupäästöjen riippuvuus liikennevirran nopeudesta kuitenkin vaihtelee päästölajin mukaan. Hiilimonoksidipäästöt (CO) kasvavat nopeuden myötä, ja kasvu on suurilla nopeuksilla jyrkempää kuin pienillä. Myös hiilivetypäästöt (HC) kasvavat nopeuden kasvaessa. Sen sijaan typen oksideja (NO_x) vapautuu pienillä liikennevirran nopeuksilla enemmän kuin suurilla. Tasaisella nopeudella ajaminen

tuottaa vähemmän pakokaasupäästöjä kuin ajo, jossa on paljon jarrutuksia ja kiihdytyksiä.

Ajoneuvon liikkumisesta aiheutuva melu voidaan jakaa moottorista ja voimansiirrosta aiheutuvaan meluun ja rengasmeluun. Edellinen on vallitseva noin 50 km/h nopeuteen asti. Sitä suuremmilla nopeuksilla suurin osa melusta tulee renkaiden ja tienpinnan välisestä kosketuksesta. Pohjoismaisen melumallin mukaan korvin kuultavan melun määrä kaksinkertaistuu, kun kevyiden autojen nopeus kasvaa noin 45 km/h:stä 60 km/h:iin. Melun määrä kaksinkertaistuu silloinkin, kun nopeus kasvaa noin 75 km/h:stä 100 km/h:iin.

Liikennevirran optimaalista nopeutta, jolla ajettaessa liikenteen kokonaiskustannukset ovat pienimmät, voidaan tarkastella yhteiskunnan, tienkäyttäjän, veronmaksajan ja yhteiskunnan näkökulmista. Pohjoismaissa optimaaliseksi nopeudeksi on arvioitu moottoriteillä 100–120 km/h ja muilla pääteillä 60–120 km/h, maasta ja tarkastelunäkökulmasta riippuen. Suurimpiin nopeuksiin päädyttiin veronmaksajan näkökulmaa mallintavissa laskelmissa. Tienvarren asukkaiden näkökulmasta optiminopeudet olivat pienimpiä. Suomessa vuonna 1995 tehdyn selvityksen mukaan liikennetaloudellinen optimaalinen nopeus oli moottoriteillä 100–110 km/h ja muilla pääteillä 80–95 km/h.

References

- Aarts, L. & Van Schagen, I. (2005). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis and Prevention* 38, 215–222.
- Andersson, G. & Nilsson, G. (1997). Speed management in Sweden – Speed, speed limits and safety. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute.
- Blomqvist, P. & Särkkä, T. (2005). Nopeusrajoitusten vaikutus ajokustannuksiin. Helsinki: Tiehallinto. Sisäisiä julkaisuja 51/2005.
- Brühning, E. & Berns, S. (1995). Traffic safety on motorways. *IATSS Research*, 19(1).
- Cameron, D. & Elvik, R. (2010). Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. *Accident Analysis and Prevention* 51, 301–309.
- Davis, G. A. (2002). Is the claim that “variance kills” an ecological fallacy? *Accident Analysis and Prevention* 34, 343–346.
- Elvik, R. (2002). Optimal speed limits. Limits of optimality models. *Transportation Research Record* 1818, 32–38.
- Elvik, R. (2005). Speed and road safety. Synthesis of evidence from evaluation studies. *Transportation Research Record* 1908, 59–69.
- Elvik, R. (2009). The power model of the relationship between speed and road safety. Oslo: Transportøkonomisk institut. TØI report 1034/2009.
- Elvik, R. (2010). A restatement of the case for speed limits. *Transport Policy* 17, 196–204.
- Elvik, R. (2013). A re-parametrisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and victims. *Accident Analysis and Prevention* 50, 854–860.
- Elvik, R. (2014). Fart og trafikksikkerhet, nya modeller. Oslo: Transportøkonomisk institut. TØI rapport 1296/2014.
- Elvik, R., Christensen, P. & Amundsen, A.H. (2004). Speed and road accidents. An evaluation of the power model. Oslo: Institute of Transport Economics.

- Elvik, R., Høy, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*. Second edition. Bingley: Emerald Group Publishing Limited.
- Fjeld Olsen, S. (2013). Ny metode for beregning av effekten av fartsreducerende tiltak – eksempel SATK. Artikkel til Trafikdage 2013, Aalborg universitet. <http://www.trafikdage.dk/papers/soeg/Paper.asp/?PaperID=1701> (8.10.2014).
- Fricke, L. B. (1990). *Traffic Accident Reconstruction*. Volume 2 of the *Traffic Accident Investigation Manual*. Northwestern University, Traffic Institute.
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention* 37, 461–472.
- Heikkinen, H. (2012). *Nastarenkaiden vaikutus päällysteiden kulumiseen taajama-nopeuksissa*. Espoo: Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Lisensiaattityö.
- Häkkinen, S. (1963). *Estimation of distance and velocity in traffic situation*. Helsinki: The Institute of Occupational Health. Report No. 3.
- Häkkinen, S. & Luoma, J. (1983). Näkemisestä, havaitsemisesta ja liikenneturvallisuudesta. *Liikenneviikko*, 30(6), 23–24.
- Innamaa, S. (2010). *Yksiajorataisten pääteiden 90 km/h -nopeusrajoitus. Vaikutukset turvallisuuteen ja sujuvuuteen*. Helsinki: Liikenteen turvallisuusvirasto. Liikenteen turvallisuusviraston tutkimuksia 15.
- Joks, H. C. (1993). Velocity change and fatality risk in a crash – a rule of thumb. *Accident Analysis and Prevention* 25, 103–104.
- Kallberg, V.-P. (2010). *Ajonopeuden vaikutus liikenneturvallisuuteen*. Liikennevahinkojen tutkijalautakuntien turvallisuuskokous Hotelli Presidentti, Helsinki, 15.10.2010.
- Kallberg, V.-P. & Luoma, J. (1996). Speed kills – or does it and why? In: *Proceedings of the International Conference Road Safety in Europe*, Birmingham, United Kingdom, September 9–11, 1996. Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI konferens No. 7A, Part 2 (pp. 129–149).
- Kangas, J. & Kärki, J.-L. (2009). *Autojen nopeudet pääteillä sekä yhdysteillä vuonna 2008*. Helsinki: Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 15/2009.
- Kokkonen, J. (2008). *Rengasmelun emissio ja leviäminen*. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, diplomityö.

- Kröyer, H. R. G., Jonsson, T. & Várhelyi, A. (2014). Relative fatality risk curve to describe the effect of change in the impact speed on fatality risk of pedestrians struck by a motor vehicle. *Accident Analysis and Prevention* 62, 143–152.
- Liikennevakuutuskeskus (2013). VALT-vuosiraportti 2012. Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimat kuolemaan johtaneet tieliikenneonnettomuudet.
- Liikennevirasto (2013). Autojen nopeudet pääteillä vuonna 2012. Helsinki: Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 26/2013.
- Luoma, J. (1996). Muuttuvan nopeusrajoitusmerkin tekniikan vaikutukset ajonopeuksiin ja merkin muistamiseen. Helsinki: Tielaitos. Tielaitoksen selvityksiä 76/1996.
- Luttinen, R. T., Pursula, M. & Innamaa, S. (2005). Liikennevirran ominaisuudet. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Liikennetekniikan opetusmonisteet 15.
- Malmivuo, M. & Peltola, H. (2004). Turvallisuusvaikutusten arviointi vaikutuskertoimin. Tarva-ohjelman vaikutuskertoimien määrittely. Helsinki: Tiehallinto. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 1/2004.
- Nordic Council of Ministers (1996). Road traffic noise. Nordic prediction method. Kööpenhamina. TemaNord 1996:525.
- Nilsson, G. (1981). The effects of speed limits on traffic accidents in Sweden. In: *Proceedings, International symposium on the effects of speed limits on traffic crashes and fuel consumption*. Paris: OECD.
- Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety. Lund: Lund Institute of Technology. Department of Technology and Society, Traffic Engineering, Bulletin 221.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z., Kouridis, C., Hassel, D., McCrae, I., Hickman, J., Zierock, K., Keller, M., Andre, M., Winther, M., Gorissen, N., Boulter, P., Katsis, P., Joumard, R., Rijkeboer, R., Geivanidis, S. & Hausberger, S. (2013). Exhaust emissions from road transport. 156 p. In: *EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013*. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (8.10.2013).
- Pasanen, E. (1991). Ajonopeudet ja jalankulkijan turvallisuus. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka. Julkaisu 72.

- Peer, E. (2011). The time-saving bias, speed choices and driving behavior. *Transportation Research Part F* 14, 543–554.
- Peltola, H. (2000). Seasonally changing speed limits: Effects on speeds and accidents. *Transportation Research Record* 1734, 46–51.
- Peltola, H., Rajamäki, R. & Luoma, J. (2013). A tool for safety evaluations of road improvements. *Accident Analysis and Prevention* 60, 277–288.
- Peltola, H., Luoma, J. & Rajamäki, R. (2014). Autoilijoiden pelot onnettomuuslukujen valossa. Muistio. http://www.vtt.fi/files/projects/tl2025/muistio_autoilijoiden_pelot_14_03_2014.pdf (14.5.2014).
- Penttinen, M., Harjula, V. & Luoma, J. (2000). Muuttuvan nopeusrajoitusmerkin tekniikan vaikutukset ajonopeuksiin ja merkin muistamiseen – osa 2. Helsinki: Tielaitos. Tielaitoksen selvityksiä 45/1999.
- Reiff, L. K., Foldager, I., Hels, T., Hemdorff, S. & Lund, H. (2008). 130 km/h på motorveje. Virkning på faktisk hastighed, uheld og miljøbelastning. København: Vejdirektoratet. Rapport 337.
- Richards, D. C. (2010). Relationship between speed and risk of fatal injury: Pedestrians and car occupants. Department for Transport. Road Safety Web Publication 9. <https://www.gov.uk/government/publications/road-safety-research-and-statistical-reports> (8.10.2014).
- Robertson, S., Ward, H., Marsden, G., Sandberg, U. & Hammarström, U. (1998). The effect of speed on noise, vibration and emissions from vehicles. EU project MASTER, Working Paper R 1.2.1.
- Rosén, E. & Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis and Prevention* 41, 536–542.
- Rosén, E., Stigson, H. & Sander, U. (2011). Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accident Analysis and Prevention* 43, 25–33.
- Rumar, K. (1990). Driver requirements and road traffic informatics. *Transportation* 17, 215–229.
- Rämä, P. (2001). Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. Espoo: VTT. VTT Publications 447.
- Rämä, P., Sihvola, N., Luoma, J., Koskinen, S., Aittoniemi, E. & Kulmala, R. (2008). Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien turvallisuusvaikutukset Suomessa. Helsinki: Ajoneuvohallintokeskus. Tutkimuksia ja selvityksiä 11/2008.

- Sivak, M. (1987). Driver reaction times in car-following situations. *Public Health Reviews* 15, 265–274.
- Tervahattu, H. (toim.) (2008). Vierintämelun vähentäminen. VIEME-tutkimus- ja kehittämishankkeen loppuraportti. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 4/2008.
- Tefft (2011). Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death. Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety.
- Tiehallinto (2009). Nopeusrajoitukset. Suunnitteluvaiheen ohjaus. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100063-v-09-nopeusrajoitukset.pdf> (8.10.2014).
- Tielaitos (1995). Liikenteen optimaalinen nopeus – onko sellaista? Helsinki: Tielaitos. Tielaitoksen selvityksiä 77/1995.
- Transportation Research Board (1985). Highway Capacity Manual. Washington D.C. Special Report 209.
- Törnros, J. (1995). Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. *Accident Analysis and Prevention* 27, 435–442.
- Unhola, T. (2004) Nastarenkaiden kuluttavuus. Ajoneuvotekijöiden vaikutus. Yli-ajokoe. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 72/2004,
- Vadeby, A. & Forsman, Å. (2012). Hastighetsspridning och trafiksäkerhet. Linköping: VTI. VTI rapport 746.

Nimeke	Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset
Tekijä(t)	Veli-Pekka Kallberg, Juha Luoma, Kari Mäkelä, Harri Peltola & Riikka Rajamäki
Tiivistelmä	<p>Raportissa esitetään yhteenveto tieliikenteen ajonopeuden turvallisuus- ja ympäristövaikutuksista. Tarkoituksena oli koota yhteen, tiivistää ja saattaa ajan tasalle aiheesta eri lähteissä oleva, laadukkaisiin tutkimuksiin perustuva tieto. Liikennevirtatasolla tarkastelu kattaa liikenteen keskinopeuden, nopeusrajoitusten ja nopeuksien hajonnan vaikutukset turvallisuuteen ja ympäristöön. Lisäksi esitetään tuloksia ajonopeuksien optimoinnista kustannusten suhteen. Yksittäisen kuljettajan näkökulmasta tarkastellaan sitä, miten ja miksi ajonopeus vaikuttaa turvallisuuteen, nopeuden vaikutuksia onnettomuuksien seurauksiin sekä mahdollisuuksia vaikuttaa ympäristöön oman ajotavan valinnalla. Ajonopeuden vaikutuksia koskevia tuloksia konkretisoidaan ja havainnollistetaan vastaamalla erilaisiin aiheeseen liittyviin väitteisiin.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8191-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)
Julkaisu aika	Joulukuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	56 s.
Projektin nimi	
Rahoittajat	
Avainsanat	environment, safety, speed
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111



Title	Effects of driving speed on road safety and the environment
Author(s)	Veli-Pekka Kallberg, Juha Luoma, Kari Mäkelä, Harri Peltola & Riikka Rajamäki
Abstract	<p>The study summarises the available information on the effects of driving speed on road safety and the environment. The aim was to collect, condense and update the information from several high-quality studies. At traffic-flow level we examine the effects of mean speed, speed limits and deviation of speed on road safety and the environment. We also look at the optimisation of driving speed in relation to cost. At individual driver level we assess how and why speed affects safety, the consequences of accidents, and the potential of driving style to influence the environment. The main results are illustrated in terms of responses to frequently encountered statements on the effects of speed.</p>
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8191-7 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online)
Date	December 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	56 p.
Name of the project	
Commissioned by	
Keywords	environment, safety, speed
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset

ISBN 978-951-38-8191-7 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)

