

Mikko Räsänen

S12 Pääteiden parantamisratkaisut
Reuna- ja keskilinjän tahattomien ylitysten vähentäminen

Tiehallinnon selvityksiä 56/2002



Mikko Räsänen

S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Reuna- ja keskilinjan tahattomien ylitysten vähentäminen

Kirjallisuustutkimus

Tiehallinnon selvityksiä 56/2002

Kansikuva: Mikko Räsänen

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-961-7
TIEH 3200788

ISSN 1459-1553 (www.tiehallinto.fi)
ISBN 951-726-962-5 (www.tiehallinto.fi)
TIEH 3200788-v (www.tiehallinto.fi)

Multiprint Oy
Vaasa 2003

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
E-mail: julkaisumyynti@tiehallinto.fi

TIEHALLINTO
Tekniset palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

Asiasanat: Kaistalla pysyminen, tärinäviiva, liikenneturvallisuus

Aiheluokka: 22, 82

TIIVISTELMÄ

Kuolemaan johtaneitten onnettomuuksien henkilövahingoista 57 prosenttia syntyi kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksien seurauksena, kun tarkasteltiin kolareita kestopäällystetyillä, yleisillä teillä vuosina 1997–2001. Onnettomuuksien taustalla on usein kuljettajan tarkkaavaisuuden herpaantuminen ajotehtävästä ja ajautuminen vastaantulevan kaistalle tai ulos tieltä. Tässä kirjallisuuskatsauksessa etsittiin keinoja vähentää tahattomia reuna- ja keskiviivan ylityksiä kaiteita ”kevyemmillä” ratkaisuilla. Tien keskilinjaan tehtävillä toimenpiteillä kestopäällystetyillä, yleisillä teillä voitaisiin vuosittain vaikuttaa noin 60:een hyvissä keliolosuhteissa tapahtuvaan liikennekuolemaan ja reunalinjan toimenpiteillä vastaavasti noin 10 kuolemaan.

Tärinäviivojen vaikutuksista onnettomuuksien määrän on saatu hyvin vaihtelevia tuloksia. Griffithin (1999) mukaan joidenkin amerikkalaisten tutkimusten suuret onnettomuusvähenemät saattavat johtua metodologisista puutteista (seuranta-aika ollut lyhyt, ei kontrollikohteita). Moottoriteiden tärinäviivojen suistumisonnettomuuksia vähentävä vaikutus lienee noin 20–30 prosenttia. Kanadassa suositellaan käytettäväksi hyöty-kustannuslaskelmissa reunalinjan tärinäviivojen osalta 30 prosentin suistumisia vähentävää vaikutusta. Tärinäviivatutkimukset ovat tähän asti keskittyneet moottoriteihin. Kaksikaistaisten maaseututeiden keskilinjän tärinäviivojen vaikutuksia on tutkittu vähän. Yhdysvalloissa on käynnissä aiheesta pitkäaikainen tutkimus, jonka tuloksia saadaan keväällä 2003. Norjassa on saatu melko yllättävä tutkimustulos (Giaver, ym. 1999), jonka mukaan tärinäviivalla keskilinjassa on suurempi turvallisuusvaikutus kuin reunalinjassa. Tämä voi johtua osittain Norjan teiden kaiteista pientareista ja muusta tiegeometriasta. Joka tapauksessa Norjassa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa on kokemusten ja tutkimusten perusteella annettu suositukset tärinäviivojen laajahkosta käytöstä sekä reunalinjassa että kaksoissulkuviivojen kohdalla myös kaksikaistaisilla teillä. Kanadassa ja Yhdysvalloissa suositetaan tienpintaan upotettuja tärinäviivoja, Norjassa tienpinnasta kohollaan olevia tärinäviivoja (Kamflex ja Longflex).

Keinot estää kaistalta pois ajautumista voidaan luokitella kolmeen eri luokkaan sen mukaan miten niiden yli voidaan ajaa:

1. Helposti yliajettavat (visuaaliset efektit, tärinäviivat, tienpintaheijastimet)
2. Alemmalla nopeudella yliajettavat (laatat, töyssyt, taipuisat paalut, korokkeet)
3. Yliajamattomat (vaijeri-, teräs-, betonikaiteet. Näitä ei käsitelty tässä tutkimuksessa)

Kaistan kaventaminen yhdessä jonkin keskilinjän toimenpiteen kanssa on ilmeisen tehokas keino parantaa turvallisuutta, koska kuljettaja joutuu tällöin suuntaamaan enemmän tarkkaavaisuutta ajotehtävään. Samalla vastakkaisten ajosuuntien välistä etäisyyttä voidaan kasvattaa, joka edelleen pienentää kohtaamisonnettomuuksien riskiä. Kaistan kaventuessa ajoneuvojen nopeudet yleensä alenevat ja sivutaisasemien hajonta pienenee. Hollantilaisen tutkimuksen (Ward ym. 1995) mukaan tämä ei kuitenkaan kuormita liikaa kuljettajaa. Katsauksessa esitellään eri keinoihin liittyviä kokeiluja ja tutkimuksia.

Mikko Räsänen: Reducing unintentional crossing of the center line or edge line.
Literature review. Helsinki 2002. Finnish National Road Administration. Finnra Reports 56/2002. 45 p. + app. 1 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-961-7, TIEH 3200788.

Keywords: Lane keeping, rumble strips, traffic safety

SUMMARY

Head-on collisions and run-off-the-road accidents caused 57% of all personal injuries sustained in fatal accidents on public paved roads during 1997–2001 in Finland. A drowsy or inattentive driver is often behind these accidents. This literature review searched for means to improve drivers' lane keeping with different kinds of road markings. The potential number of deaths which center line measures could affect is about 60 in Finland annually. The corresponding numbers for edge line measures is about 10.

The safety effect of rumble strips has varied in different studies conducted in the USA. According to Griffith (1999) some big percentual reductions of up to 70% in the number of accidents after the introduction of rumble strips may be due to methodological problems in the studies (after-period too short, no control sites). The shoulder rumble strips are more likely to reduce accidents by 20–30% on motorways. The safety effect of center line rumble strips on two-lane roads is not well known. An important result in this respect comes from Norway, where Giaver et al. (1999) found that raised rib markings on the center line had a greater safety effect than on the edge line. However, the road geometry in Norway may contribute this result. In any case, the positive experiences with profiled road markings have led to fairly widespread recommendations on the use of such markings on edge lines or road shoulders in Norway, Canada and the USA.

The measures to prevent unintentional crossing of the center line or edge line can be divided into three groups according to how crossable they are:

1. Easily crossable (visual effects, profiled road markings, road studs);
2. Crossable at low speed (humps, flexible bollards, traffic islands);
3. No crossing possibility (guard rails; these were not included in this study).

Narrowing the lane width by some center line measure seems to be an effective means to improve safety because the driver has to pay more attention to the driving task. At the same time the distance between opposite flows of traffic can be increased, which in turn should reduce the risk of collision. When the lane width is narrowed vehicle speeds usually drop, and variations in the lateral position of the vehicles are reduced. However, according to a Dutch study (Ward et al. 1995) this does not lead to overloading of the driver's task.

ESIPUHE

Tämä selvitys on jatkoa Tiehallinnon aiemmille tutkimuksille, joissa on selvitetty keinoja vähentää kaistalta pois ajautumisesta johtuvia onnettomuuksia.

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa työstä vastasi Mikko Räsänen. Harri Peltola teki tilastoajat onnettomuustyyppien jakautumisesta tieryhmiin. Veli-Pekka Kallberg ja Timo Unhola esittivät selventäviä kommentteja ja oikolukivat tekstin. Tiehallinnon yhdyshenkilö oli tieinsinööri Leif Beilinson.

Helsingissä, syyskuussa 2002

Tiehallinto
Liikennetekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	9
1.1	Katsauksen tausta	9
1.2	Tutkimuksen tarkoitus	14
1.3	Suomalaisia tärinäviivatutkimuksia	15
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	18
3	TULOKSET	19
3.1	Tiementöiden ja erityisesti tärinäviivojen vaikutukset onnettomuuksiin	19
3.2	Tiementöiden preview-aika ja paluuehjästuvuus	22
3.3	Erilaisten toimenpiteiden käyttövaikutuksia	23
3.4	Kaistalta poistumisesta varoittavat systeemit	30
3.5	Ohjeita ja suosituksia tärinäviivojen käytöstä	31
4	TULOSTEN TARKASTELU	37
4.1	Tärinäviivojen turvallisuusvaikutus	37
4.2	Toimenpiteiden luokittelu ja arviointia	38
5	LÄHTEET	42
6	LIITTEET	45

1 JOHDANTO

1.1 Katsauksen tausta

Kohtaamisonnettomuuksien seuraukset ovat usein vakavia. Niiden osuus yleisten teiden kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa syntyneistä henkilövahingoista oli 44 prosenttia vuosien 1997–2001 aikana (taulukko 1). Suistumisonnettomuuksien vastaava luku oli 13 prosenttia. Sen sijaan, kun katsotaan kaikkia yleisten teiden henkilövahinko-onnettomuuksista, niin suistumisonnettomuuksien osuus oli 31 prosenttia ja kohtaamisonnettomuuksien osuus 10 prosenttia (taulukko 2). Kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksien vähentäminen onkin yksi liikenneturvallisuussuunnitelman painopistealue vuosille 2001–2005 (LVM, 2000).

Onnettomuuksien taustalla on usein kuljettajan tarkkaavaisuuden herpaantuminen ajotehtävästä syystä tai toisesta ja ajautuminen vastaantulevan kaistalle tai ulos tieltä. Jos kuljettajan tarkkaavaisuus on muualla kuin ajotehtävässä, niin pelkät ajoratamaalaukset eivät havahduta kuljettajaa pysymään kaistallaan. Keski- ja reunaviivan ylitys voidaan estää tehokkaasti rakentamalla kaide, mutta tähän ei ole aina tilaa tai se ei ole muuten tieympäristön kannalta sopiva tai taloudellisesti kannattava ratkaisu. Olisi siis löydettävä sellaisia ratkaisuja ajoratamaalauksien ja kaiteen väliltä, jotka ”herättäisivät” kuljettajan tai jotenkin muuten estäisivät viivan ylityksen.

Taulukko 1. Kestopäällystettyjen, yleisten teiden kuolonkolareissa tapahtuneet henkilövahingot (kuolleet+loukkaantuneet) onnettomuustyypeittäin vuosina 1997–2001. (Rajamäki 2002)

Onnettomuustyyppi	Osuus henkilövahingoista	Henkilövahinkojen määrä
Kohtaaminen suoralla	30,2 %	651
Kohtaaminen kaarteessa	8,3 %	180
Kohtaaminen ohitettaessa suoralla	4,4 %	96
Kohtaaminen ohitettaessa kaarteessa	1,1 %	23
Tieltä suistuminen suoralla	7,0 %	152
Tieltä suistuminen kaarteessa	6,0 %	130
Yllä olevat yhteensä	57,1 %	1 232
Kuolonkolareissa kestopäällystetyillä tulleet henkilövahingot yhteensä	100,0 %	2 158

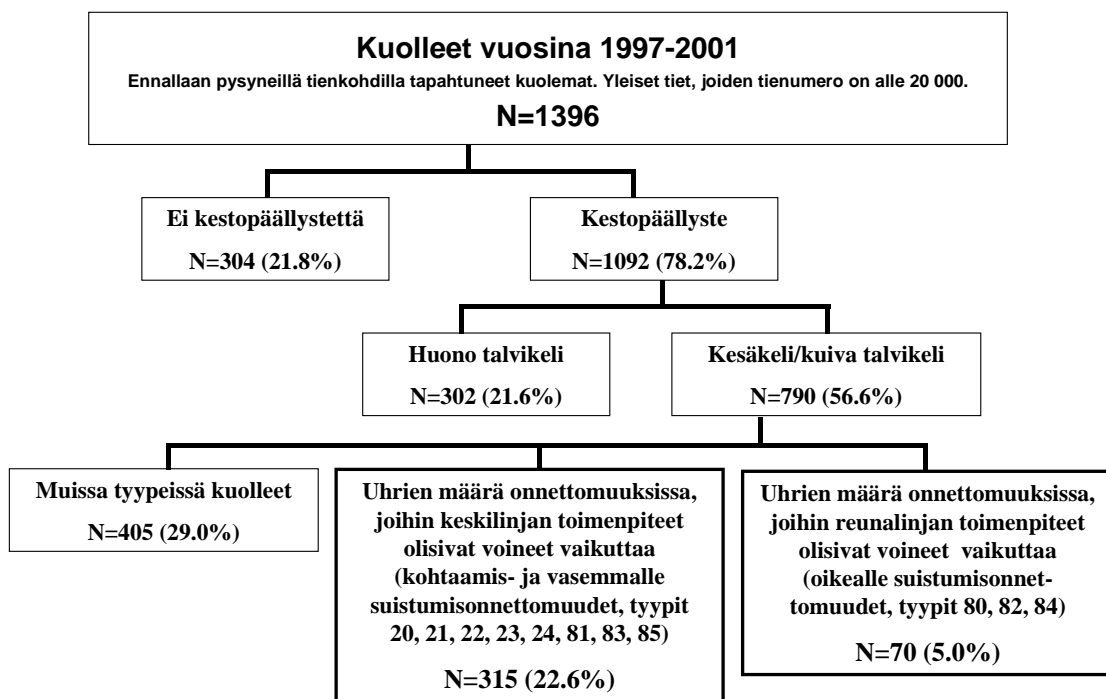
Taulukko 2. Yleisten teiden henkilövahinko-onnettomuuksien jakautuminen onnettomuustyypeihin vuosina 1997–2001. (Rajamäki 2002).

Onnettomuustyyppi	Osuus henkilövahinko- onnettomuuksista	Määrä	Hevoja/ vuosi
Kohtaaminen suoralla	6,0 %	979	196
Kohtaaminen kaarteessa	3,4 %	564	113
Kohtaaminen ohitettaessa suoralla	0,7 %	112	22
Kohtaaminen ohitettaessa kaarteessa	0,2 %	39	8
Suistuminen väistämisen seurauksena	0,7 %	108	22
Tieltä suistuminen suoralla	16,5 %	2 714	543
Tieltä suistuminen kaarteessa	13,9 %	2 280	456
Yllä olevat yhteensä	41,3 %	6 796	1 359
Samat ajosuunnat, ei kääntyviä	10,6 %	1 737	347
Samat ajosuunnat, joku kääntyi	7,7 %	1 267	253
Vastakkaiset ajosuunnat, joku kääntyi	4,3 %	705	141
Risteävät ajosuunnat	17,6 %	2 901	580
Jalankulkijaonnettomuus	5,1 %	833	167
eläinonnettomuus	6,9 %	1 137	227
Muut	6,5 %	1 063	213
Kaikki yhteensä	100,0 %	16 439	3 288

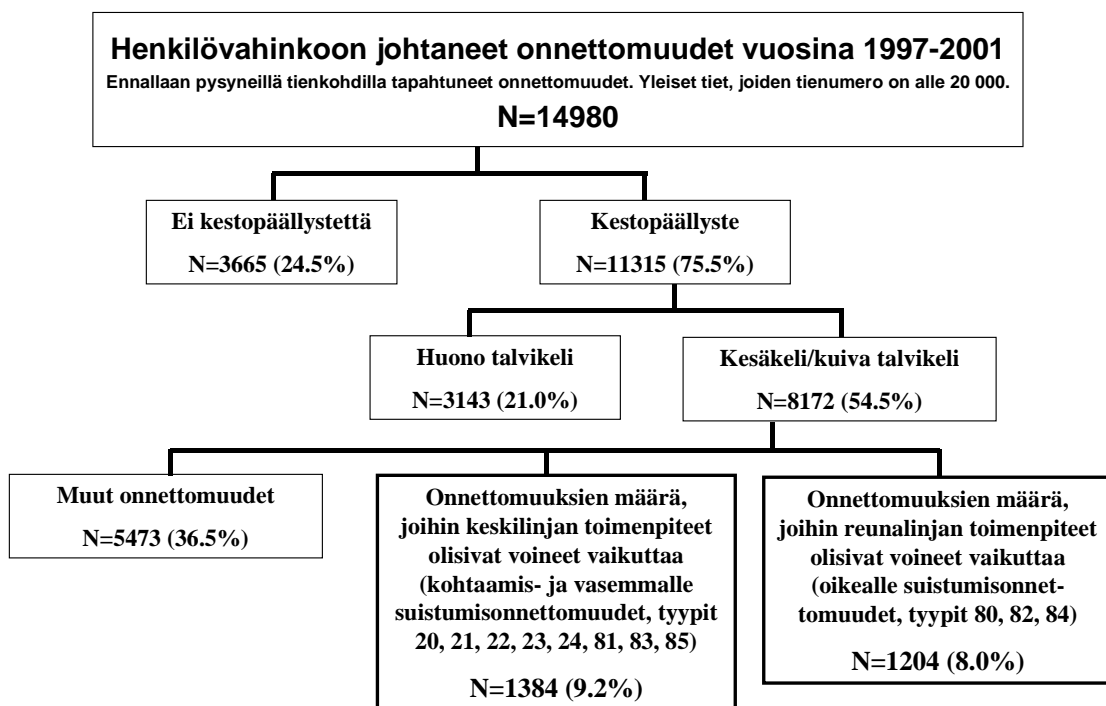
Kuvissa 1 ja 2 on rajattu se joukko kuolleista ja henkilövahinko-onnettomuuksista, joihin keski- ja reunalinjan toimenpiteillä voitaisiin periaatteessa vaikuttaa. Tarkastelu ei ota huomioon sitä, millainen tien keski- tai reunalinja oli onnettomuuden sattuessa. Kuolleiden osalta keskilinjän toimenpiteillä on huomattavasti suurempi onnettomuuksiin vaikuttava potentiaali kuin reunalinjan toimenpiteillä. Tämä johtuu siitä, että kohtaamisonnettomuuksien seuraukset ovat yleensä vakavammat kuin suistumisten. Keskilinjän toimenpiteillä kestopäällystetyillä yleisillä teillä voitaisiin vuosittain vaikuttaa 63 (315/5) hyvissä keliolosuhteissa tapahtuvaan liikennekuolemaan ja vastaavasti reunalinjan toimenpiteillä 14 (70/5) kuolemaan. Henkilövahinkoon johtaneiden onnettomuuksien osalta ero ei ole suuri. Keskilinjän toimenpiteillä voitaisiin vuosittain vaikuttaa 277 (1 384/5) henkilövahinko-onnettomuuteen ja reunalinjan toimenpiteillä 241 (1 204/5) henkilövahinko-onnettomuuteen.

Tieryhmittäin tarkasteluna pääteille ja erityisesti runkoverkolle kohdistuvat keskilinjän toimenpiteet vähentäisivät ilmeisesti eniten kuolemia (kuva 3). Henkilövahinkoon johtaneitten onnettomuuksien osalta pääteiden runkoverkko on edelleen suurin keskilinjän toimenpiteillä vähennettävä ryhmä,

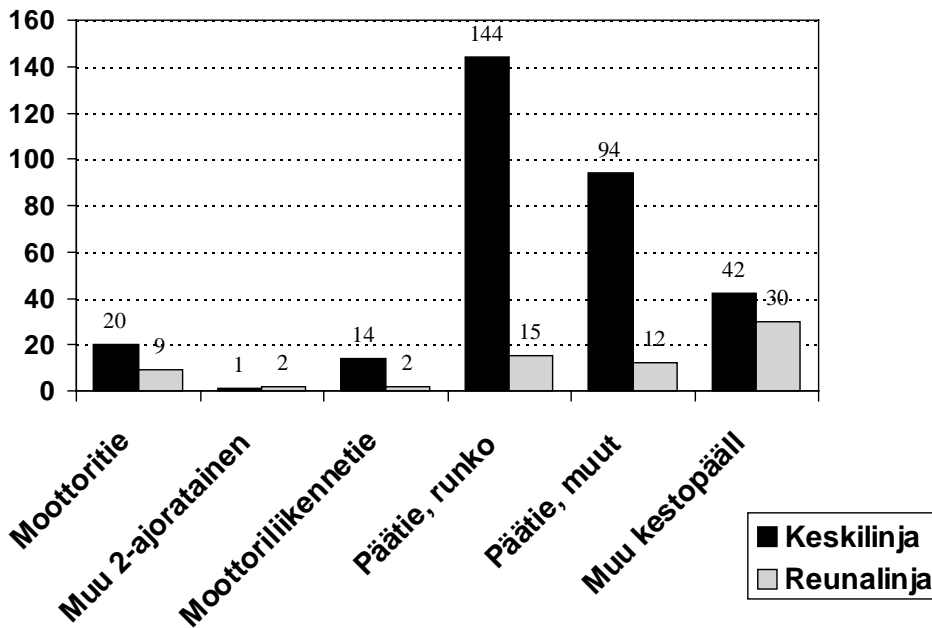
mutta alemman tieverkon yhteen laskettu osuus on suuri sekä keski- että reunalinjan toimenpiteiden osalta (kuva 4).



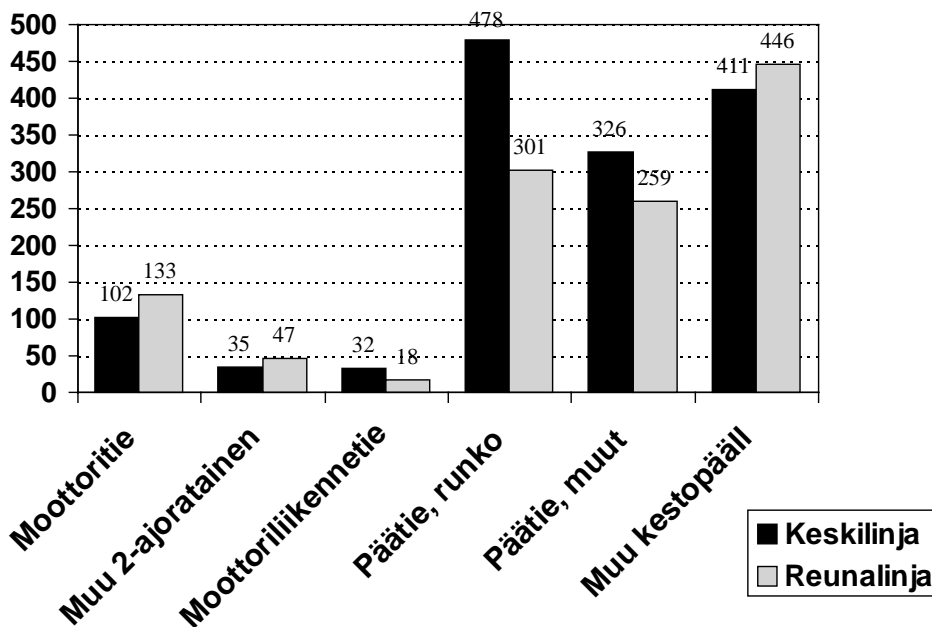
Kuva 1. Kuolleen määrä onnettomuuksissa, joihin keski- ja reunalinjain toimenpiteet olisivat periaatteessa voineet vaikuttaa jollain tavalla.



Kuva 2. Henkilövahinkoon johtaneet onnettomuudet, joihin keski- ja reunalinjain toimenpiteet olisivat periaatteessa voineet vaikuttaa jollain tavalla.

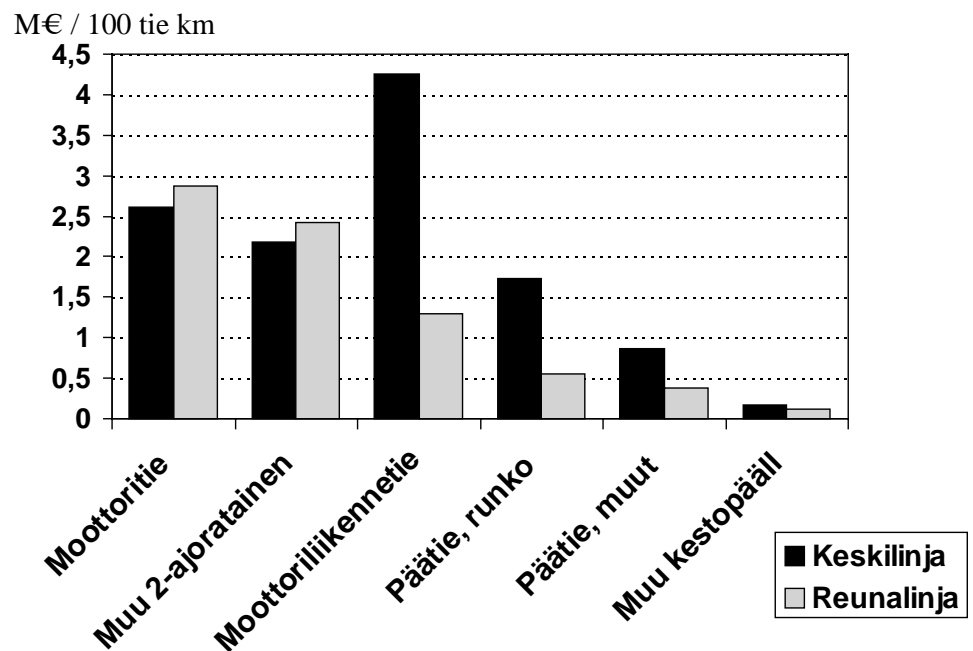


Kuva 3. Kuolleiden määrä tieryhmittäin onnettomuuksissa, joihin keski- tai reunalinjan toimenpiteet olisivat voineet vaikuttaa (vuodet 1997–2001, ennallaan säilyneet yleiset tiet).

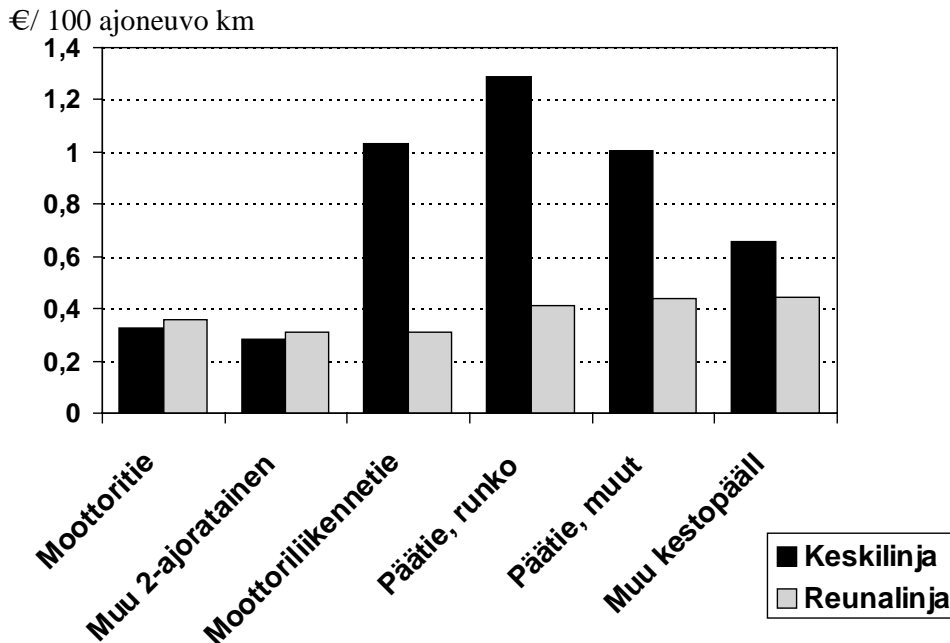


Kuva 4. Tieryhmittäin henkilövahinkoon johtaneet onnettomuudet, joihin joihin keski- tai reunalinjan toimenpiteet olisivat voineet vaikuttaa (vuodet 1997–2001, ennallaan säilyneet yleiset tiet).

Onnettomuuskustannukset, joihin keski- ja reunalinjan toimenpiteillä voidaan vaikuttaa on esitetty kuvissa 5 ja 6. (Laskelmissa käytettiin maaseudun pääteiden onnettomuuskustannuksia: henkilövahinkoon johtavan suistumisonnettomuuden kustannus 462 180 € ja kohtaamisonnettomuuden kustannus 1 313 716 €). Tiekilometriä kohden suurimmat säästöt saataisiin moottoriliikenneteiden keskilinjaan kohdistuvilla toimenpiteillä. Ajoneuvokilometriä kohden tehokkainta olisi kohdentaa toimenpiteet pääteiden runkon keskilinjaan.



Kuva 5. Onnettomuuskustannus (M€) 100 tiekilometriä kohden vuosittain, mihin keski- ja reunalinjan toimenpiteillä voidaan vaikuttaa.



Kuva 6. Onnettomuuskustannus (€) 100 ajoneuvokilometriä kohden vuosittain, mihin keski- ja reunalinjan toimenpiteillä voidaan vaikuttaa.

1.2 Tutkimuksen tarkoitus

Tämä katsaus on jatkoa Tielaitoksen aiemmille tutkimuksille, joissa on selvitetty keinoja vähentää kaistalta pois ajautumisesta johtuvia onnettomuuksia. Ranta, Mäkinen & Malmivuo (1998) keräsivät tietoja tärinäviivojen käytöstä erityisesti käyttäytymis- ja turvallisuusvaikutusten näkökulmasta. Esimerkkilaskelmien perusteella arvioitiin, että tärinäviivojen (reuna- ja keskiviivat) vaikutuspotentialiaali olisi vähintään 5–10 % kuolemaan johtaneitten suistumis- ja kohtaamisonnettomuuksien henkilövahingoista Suomessa. Nämä prosenttiluvut saatiin, kun onnettomuuksien joukko rajattiin tapauksiin, joissa syynä oli nukahtaminen tai mielenkiinto muussa toiminnassa kuin ajamisessa. Tutkimustuloksia ei tuolloin kuitenkaan ollut vielä kovin paljon saatavilla. Tässä tutkimuksessa päivitetään tiedot keinoista vähentää kuljettajien kaistalta pois ajautumista ja asiaan liittyvistä tutkimuksista. Seuraavassa esitellään aiheesta Suomessa aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksia.

1.3 Suomalaisia tärinäviivatutkimuksia

Reunalinjan tärinäviivan vaikutus ajokäyttäytymiseen (Mäkinen, Kallio & Kärki, 2000)

Reunalinjan tärinäviivojen (Longflex ja röpelö) vaikutusta kuljettajien ajokäyttäytymiseen tutkittiin Porvoon ympäristössä v. 1998 elo-syyskuussa. Lisäksi tiedusteltiin kuljettajien kokemuksia ja mielipiteitä ko. merkinnöistä. Nopeusmittaukset instrumentoidun auton ajokokeesta ja liikennevirrasta osoittivat, että tärinäviivojen alueella keskinopeudet pääsääntöisesti kasvoivat 1–3 km/h sekä päiväsaikaan että pimeään aikaan. Nopeuksien kasvamisen arveltiin johtuneen uusien merkintöjen korkeista paluuheijastuvuusarvoista ja siten paremmasta tielinjan näkyvyydestä. Nopeuksien hajonnat kuitenkin pienenivät. Ecodyn-autolla tehtyjen mittausten mukaan sekä kiuvan että märän kelin paluuheijastuvuusarvot nousivat tärinäviivojen merkitsemisen jälkeen.

Instrumentoidun auton kokeessa määriteltiin myös auton sivuasema suhteessa tien reunaviivaan. Ainoastaan vasemmalle suuntautuvissa kaarteissa havaittiin autojen siirtyvän hyvin lievästi keskemälle tietä. Auton sivuasemamuutoksista voitiin päätellä ainakin se, että tärinäviivoilla ei ollut kokeessa havaittavissa mitään negatiivisia vaikutuksia auton sivuttaishallintaan.

Instrumentoidun auton ajokokeen kuljettajien haastattelun ja yli 1 000 kuljettajan tienvarsihaastattelun mukaan tärinäviivoja pidettiin erittäin hyödyllisinä. Lähes 30 % tienvarsihaastattelun vastaajista kertoi, että tärinäviivat olivat joskus havahduttaneet heidät pitämään autonsa paremmin ajokaistalla. Tienvarsihaastattelun vastaajista 16 % kertoi myös muuttaneensa ajopaansaa tärinäviivojen takia. Vastaajista 87 % piti tärinän voimakkuutta sopivana. Yli 90 % tienvarsihaastattelun vastaajista uskoi, että tärinäviivoilla voidaan parantaa liikenneturvallisuutta. Tienvarsikyselyn vastaajista kaksi kolmasosaa halusi, että tärinäviivoja käytettäisiin ainoastaan reunaviivoina ja vajaa kolmannes sekä reuna- että keskiviivoina vaikka kokemusta keskilinjan tärinäviivoista ei ilmeisesti ollut. Vastaajista 90 % piti reuna- ja keskiviivoja erittäin tärkeinä heikoissa näkyvyysolosuhteissa. Myös kuljettajakyselyn vastaajat ilmoittivat ajamisen olevan helpompaa heikoissa näkyvyysolosuhteissa, jos tiellä on tärinäviivat. Iäkkäiden henkilöiden näkemyksen mukaan hyvät tiemerkinnot ovat tärkeitä sekä hyvissä että huonoissa näkyvyysolosuhteissa. Ne, jotka kommentoivat tarkemmin tärinäviivojen käyttöä arvelivat niiden soveltuvan parhaiten teille, joilla on leveä piennar.

Tutkimuksen perusteella pääteltiin, että tärinäviivojen käytölle on selkeitä perusteita:

- ♦ Erityisen tärkeänä havaintona pidettiin kuljettajien myönteistä suhtautumista merkintöihin ja sitä, että

- ♦ lähes 30 % haastatelluista oli myös havahtunut pitämään autonsa tiellä merkintöjen avulla.
- ♦ Lievää ajonopeuksien suurenemista ei pidetty ongelmallisena, koska vastaava muutos esiintyy aina, kun tielinjan näkyvyys paranee uusien tiemerkintöjen avulla.

Onnettomuusvaikutusten laskemisesta, tiepiirien näkemyksiä ja tärinäviivojen toiminnallisia ominaisuuksia (Kärki & Unhola, 2002)

Tutkimuksen alussa tarkasteltiin henkilövahinkoon johtaneita suistumis-, kohtaamis- ja ohitusonnettomuuksia tärinäviivalla varustetuilla tiejaksoilla vuosina 1997–2000. Tärinäviivoja tehtiin kuitenkin suunniteltua vähemmän ja onnettomuuksien lukumäärä tärinäviivatiejaksoilla jäi liian pieneksi tilastollisesti luotettavien analyysien tekemiseen. Tärinäviivoja olisi oltava huomattavasti enemmän, jotta niiden vaikutus henkilövahinkoon onnettomuuksiin voitaisiin luotettavasti osoittaa. Jos tärinäviivoja olisi yhteensä 1 000 kilometriä, niin mahdollinen 20 prosentin suistumisonnettomuuksien vähenemä olisi selvitettävissä 3–5 vuodessa.

Tiepiirien suhtautuminen tärinäviivoihin oli vaihtelevaa, kuitenkin pääosin myönteistä. Ensikokemukset sulkuviivana käytettävän tärinäviivan vaikutuksista ajokäyttäytymiseen ja kaistalla pysymiseen ovat tiepiireistä saadun palautteen perusteella erittäin lupaavia.

Röpelö-tyyppisen tärinäviivan paluuheijastuvuus on aluksi korkea, mutta merkintä kuluu yleensä yhden tai kahden talven kuluessa. Tienpintaan valssatun merkinnän paluuheijastuvuus ei ilmeisesti ole korkeampi kuin tavallisen tiemerkinnän paluuheijastuvuus. Valssattujen merkintöjen käyttöä rajoittaa lisäksi se, että niitä voidaan tehdä vain päällystystyön yhteydessä. Jyrsimällä tehdyistä merkinnöistä ei ole vielä tarpeeksi kokemuksia Suomessa.

Kuljettajien mielipiteet tienpintaheijastimista (Kärki & Mäkinen, 2001)

Haastatteluiden avulla selvitettiin 210 kuljettajan mielipiteitä ja ensikokemuksia tienpintaheijastamista valtatiellä 1. Haastatelluista 85 % halusi lisätä tienpintaheijastimien käyttöä sekä reuna-, keski-, että sulkuviivana. Positiivinen suhtautuminen johtui ilmeisesti siitä, että heijastimet helpottivat huomattavasti tielinjauksen hahmottamista pimeällä ja hämärässä.

Päätelmiä

Aiemmista tutkimuksista nousi esille seuraavia ajatuksia ja kysymyksiä jatkoa ajatellen:

- ♦ Tärinäviivojen käyttäytymis- ja turvallisuusvaikutuksia osoittavia empiirisiä tutkimustuloksia on vähän (tilanne 1997). Kokeilut ovat keskittyneet pääasiassa reunaviivaan. Keskiviivaan liittyen ei ole ilmeisesti tehty

montaakaan tutkimusta. Kokemukset sulkuviivana käytettävän tärinäviivan käytöstä ovat lupaavia. Miten asia todennetaan tutkimuksilla? Muut keinot parantaa keskiviivan havaittavuutta?

- ♦ Miten kuljettajat reagoivat silloin, kun he ajavat tärinäviivan tai vastaavan päälle?
- ♦ Kuljettajat tuntuvat hyväksyvän ainakin tärinäviivat melko hyvin. Tärinäviivoja ja vastaavia ratkaisuja on kuitenkin monenlaisia. Joskus tärinäviivat aiheuttavat sen, että kuljettaja luulee autonsa olevan rikki. Mikä on kuljettajien mielestä sopiva tärinä jne.? Kuinka estetään väärinkäsitysten synty?
- ♦ Millaisia tärinäviivoja ja mihin niitä kannattaa tehdä (ja mihin ei) ottaen huomioon onnettomuusvaikutusten lisäksi tietyypit, liikennemäärät, nopeusrajoitukset jne. Eri tietyypeillä voidaan tarvita erilaisia ratkaisuja (self-explaining roads).
- ♦ Millainen on turvallinen ajolinja kaarteissa ja miten ajolinjoja voidaan muuttaa turvallisemmiksi?
- ♦ Vaativatko suorat tiejaksot ja kaarteet erilaisia ratkaisuja?
- ♦ Pitääkö tielinjauksen näkyä mahdollisimman pitkälle vai tulisiko pyrkiä optimaaliseen näkymiseen, jolloin tiemerkitöjen paluuheijastuvuus-tasoa määriteltäessä otettaisiin huomioon myös nopeusvaikutukset. Tämä liittyy yleisemminkin tarpeeseen luoda mitoitusohjeet tärinäviivoille
- ♦ Viime vuosina liikenteen telematiikan kehitys on ollut voimakasta. Miten telematiikka voisi vähentää kaistalta pois ajautumista?

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Onnettomuustutkijat, liikenneinsinöörit ja liikennepsykologit ovat kiinnostuneita keinoista, joilla voidaan vähentää kuljettajien tahatonta kaistalta poistumista. Aihetta koskevia tutkimuksia ja kokeiluja tehdään hyvin monella tavalla ja eri tavalla. Tämän takia tutkimuksia ja kokeiluja haettiin perinteisen tietokantahaun lisäksi sähköpostikyselyllä alan ammattilaisille. Kirjallisuushaut tehtiin TRANSPORT ja PsycINFO tietokannoista käyttäen hakusanoina mm. centreline, edge line, lane keeping, lane mark, road marking ja rumble strips. Ensisijaisesti kiinnostuksen kohteena olivat vuoden 1997 jälkeen julkaistut tutkimukset. Hauilla saatiin lähes 800 viitettä, joiden tiivistelmien perusteella valittiin ja tilattiin aiheeseen parhaiten liittyvät artikkelit (30). Lisäksi Yhdysvaltojen tiehallinnon internetsivuilta kerättiin aiheeseen liittyvä aineisto (<http://www.fhwa.dot.gov/>).

Tiemerkintäalan ammattilaisille (liite 1) ja liikennekäyttäytymistutkijoiden kansainväliselle sähköpostituslistalle (130 tutkijaa) tehtiin seuraava kysely:

"Technical Reseach Centre of Finland (VTT) is reviewing studies and means how to prevent drivers drifting away from the road (how to prevent unintentional crossing of center line or edge line). We are mainly interested in interventions suitable for rural single-carriageway roads. We are looking for solutions which are "not so heavy" as guard rails. The review will be done for the Finnish National Road Administration and in the later phase we might test some promising solutions on a road.

I would appreciate a little time from you to tell me if you happen to know studies or interventions being used or tested in this topic. Unpublished material, on-going research, experiments and contact persons in this area would also be of much interest. And of course, practical experience of different solutions is always valuable".

Lähes kaikista maista saatiin vastauksia tai annettiin toisen kontaktihenkilön nimi. Eniten aihe näyttää olleen esillä Yhdysvalloissa, Kanadassa, Norjassa, Hollannissa ja Saksassa.

3 TULOKSET

3.1 Tiemeraintöjen ja erityisesti tärinäviivojen vaikutukset onnettomuuksiin

Norjalaisessa liikenneturvallisuuden käsikirjassa (Elvik, Mysen, & Vaa, 1997) esitetään yhteenveto tiemeraintöjä koskevien tutkimusten tuloksista (taulukko 3). Jokainen tutkimus on painotettu sen metodologisen laadun mukaan. Mitä kapeampi luottamusväli on, sitä luotettavampi on paras arvio. Luottamusvälin ylä- ja alaraja kuvaavat vaikutusta 95 %:n todennäköisyydellä. Lukuja tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että niiden taustalla on yleensä kolmesta neljään tutkimusta, joista vanhimmat ovat 1960-luvulta ja että erilaisilla tietyypeillä jonkin toimenpiteen turvallisuusvaikutukset voivat vaihdella paljonkin.

Useamman tiemeraintätoimenpiteen yhdistelmällä näyttää olevan suurempi vaikutus kuin yksittäisten tiemeraintätoimenpiteiden toteuttamisella. Reuna- ja keskiviivat vähentävät henkilövahinko-onnettomuuksia lähes 25 prosenttia; reuna-, keskiviivat ja reunatolpat yhdessä jopa 45 prosenttia. Tähän ei tiedetä tarkkaa syytä, mutta jotkut tutkimukset osoittavat kuitenkin, että joidenkin toimenpiteiden tekeminen pelkästään johtaa ajonopeuksien kasvuun.

Pelkän reuna- tai keskiviivan toteuttaminen näyttää vaikuttavan turvallisuuden vain vähän, plus/miinus 5 %. Tärinäviivoilla on noin 30 prosentin *suistumisonnettomuuksia* vähentävä vaikutus. Tulos perustuu kolmeen amerikkalaiseen tutkimukseen (Ligon, Carter, Joost, & Wolman, 1985; Emerson & West, 1986; Hickey, 1997). Uudemman amerikkalaisen tutkimuksen (Griffith, 1999) mukaan kaikkien suistumisonnettomuuksien vähenemä tärinäviivojen takia moottoriteillä oli 18 prosenttia, loukkaantumiseen johtaneiden osalta 13 prosenttia. Griffith epäileekin, että monien amerikkalaisten tutkimusten suuret onnettomuusvähenemät johtuvat metodologisista puutteista (seuranta-aika on ollut lyhyt esimerkiksi yksi vuosi tai tutkimuksessa ei ole ollut kontrollikohteita). Suuret onnettomuusvähenemät on pääasiassa saatu moottoriteiden suistumisonnettomuuksien osalta. Yhdysvaltojen tiehallinnon ohjeessa tärinäviivojen käytöstä todetaankin, että tarvitaan lisää tutkimuksia maaseudun kaksikaistaisten teiden tärinäviivojen vaikutuksista (FHWA, 2001).

Taulukko 3. Erilaisten tiemerkitöiden vaikutus onnettomuuksien määrään (Elvik ym., 1997).

Onnettomuuden vakavuus	Prosentuaalinen muutos onnettomuuksien määrässä		
	Onnettomuustyyppi	Paras arvio	Luottamusväli
Tavallinen reunaviiva (10 cm)			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-3	-7 +1
Omaisusvahinko-onn.	kaikki tyytit	-3	-14 +10
Leveä reunaviiva (20 cm verrattuna 10 cm)			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	+5	-4 +14
Omaisusvahinko-onn.	kaikki tyytit	-1	-16 +17
Reunalinjan tärinäviiva			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	+2	-17 +26
Vakavuus määrittelemätön	suistumiset	-31	-45 -15
Keskiviiva			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-1	-8 +6
Omaisusvahinko-onn.	kaikki tyytit	+1	-5 +6
Valkoisen keskiviivan muuttaminen keltaiseksi			
Vakavuus määrittelemätön	kaikki tyytit	-6	-31 +29
Ajokaistaviivat (samaa suuntaan)			
Vakavuus määrittelemätön	kaikki tyytit	-18	-51 +36
Tienpintaheijastimet (kjorebanereflektor)			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki pimeän ajan	-8	-21 +1
Omaisusvahinko-onn.	kaikki pimeän ajan	+3	-1 +7
Reunatolpat heijastimilla			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	+4	-7 +16
Omaisusvahinko-onn.	kaikki tyytit	+5	-2 +13
Reunaviivat ja keskiviivat (kombinasjon av kantlinjer og midtlinjer)			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-24	-35 -11
Reunaviivat, keskiviivat ja reunatolpat			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-45	-56 -32
Reunaviivat ja nuolimerkit kaarteissa			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-19	-46 +23
Nuolimerkit ja tienpintaheijastimet kaarteissa			
Henkilövahinkoon joht.	kaikki tyytit	-6	-46 +63

Griffith (1999) tarkasteli myös tärinäviivojen mahdollisia, haitallisia vaikutuksia. Kuljettajat voivat ylireagoida pelästyessään tärinäviivoista aiheutuvaa ääntä ja tärinää, esimerkiksi äkillisellä ohjausliikkeellä. Tämä voi lisätä sellaisia onnettomuuksia, joissa on osallisena useampi ajoneuvo. Onnettomuustyyppivertailun perusteella tutkimustieosuuksilla ja kontrollikohteissa ei kuitenkaan löytynyt mitään todisteita sille, että tärinäviivat lisääisivät kuljettajien ylireagoinnista johtuvia onnettomuuksia. Griffithin mukaan olisi tosin tarpeellista tehdä kenttätutkimuksia videokuvaamalla tärinäviivan päälle ajavia autoilijoita, jotta ymmärtäisimme paremmin miten kuljettajat käyttäytyvät.

Ruotsissa kokeiltiin myös amerikkalaistyyppisiä (kts kuva 8) tärinäviivoja moottoritiellä E 4, 70 km matkalla Jönköpingistä etelään (Larsson, Anund, & Brude, 2001). Tutkimuksessa saatiin yli 50 prosentin vähenemä loukkaantumiseen johtaneissa *oikealle* suuntautuneissa suistumisonnettomuuksissa. Kontrollina käytettiin muiden yksittäisonnettomuuksien kehitystä. Kaikkia henkilövahinkoon johtaneita yksittäisonnettomuuksia tärinäviivojen arvioitiin vähentävän noin 25 prosenttia. Tutkimuksen tekijät toteavat kuitenkin, että onnettomuusaineisto oli pieni ja seurantajakso lyhyt (1 vuosi) ja että tuloksia ei ole voitu tilastollisesti vahvistaa.

Anund (Anund, 1998) arvioi moottoriteiden tärinäviivojen potentiaalista onnettomuusvaikutusta Ruotsissa. Ensin valittiin tarkasteluun moottoritiejaksot (nopeusrajoitus 90 tai 110 km/h), joihin oli "järkevää" laittaa tärinäviivoja. Näitä olivat vähintään 30 km pitkät, yhtenäiset moottoritiejaksot ja joissa voitiin arvioida suurimman osan suoritteesta olevan pitkämatkaista liikennettä. Näistä koostui yhteensä 567 km moottoritietä, kun muun moottoritien osuudeksi jäi 817 km. Sitten katsottiin miten onnettomuudet ja niiden tyypit jakautuivat näille tiejaksoille vuonna 1996. Mahdollisilla tärinäviivaosuuksilla sattui noin 300 onnettomuutta. Näistä arvioitiin, että 40 prosenttiin (120) tärinäviivat olisivat voineet vaikuttaa onnettomuuden estävästi tai sen seurauksia lieventävästi. Näissä (120) onnettomuuksissa kuoli 2, vammautui vakavasti 10 ja lievästi 70.

Norjassa (Giaver, Sakshaug, Jenssen, & Berge, 1999) tutkivat keski- ja reunalinjassa olevien tärinäviivojen vaikutuksia sekä suistumis- että kohtaamisonnettomuuksien määrään kaksikaistaisilla teillä. Niiden määrä väheni keskilinjan tärinäviivojen tekemistä seuraavana vuonna 34 prosenttia verrattuna odotettuun onnettomuuksien määrään (tilastollisesti merkitsevästi). Kolmen vuoden jälkeen ajanjaksolla tärinäviiva keskilinjassa vähensi 13 prosenttia kohtaamisonnettomuuksia (ei tilastollisesti merkitsevää). Tärinäviiva reunalinjassa vähensi suistumisonnettomuuksia ensimmäisenä vuonna 17 prosenttia verrattuna odotettuun onnettomuuksien määrään (ei tilastollisesti merkitsevää). Elvikin mukaan tutkimuksen tulokset eivät kerro mikä vaikutus tärinäviivoilla on onnettomuuksiin. Tulosten tulkintaa vaikeuttaa tärinäviivojen tekeminen uudelleen päällystämisen yhteydessä. Uusi päällyste nostaa yleensä keskinopeutta (kuten kävi tässäkin) ja samalla onnettomuuksien

määrä kasvaa. Toisaalta, jos päällysteen uusiminen nosti nopeuksia, mutta onnettomuuksien määrä kuitenkin pieneni, niin tällöin tärinäviivan onnettomuuksia vähentävä vaikutus on todennäköisesti suurempi kuin tutkimuksessa raportoitiin. Norjan tiehallinto suosittelee tärinäviivojen käyttöä (Vegdirektoratet, 2000).

Hieman erilaisia tutkimustuloksia voivat selittää erot eri maiden tiestössä ja siinä kuinka paljon tutkimuksissa on ollut mukana moottoriteitä ja kaksikais-
taisia teitä. Giaverin ym. (1999) tutkimuksen tulos on joka tapauksessa mielenkiintoinen, koska sen mukaan keskilinjien tärinäviiva vähentää onnettomuuksia enemmän kuin reunalinjien tärinäviiva. Lisäksi tärinäviivojen onnettomuusvaikutus ei eroa pimeällä tai valoisaan aikana. Norjalaisten tulokset viittasivat myös siihen suuntaan, että keskilinjien tärinäviivalla on suurin vaikutus standardiltaan hyvillä teillä (mitoitusnopeus ≥ 80 km/h, pienin kaarresäde >250 m). Reunalinjien onnettomuuksien pieni vähenemä voi johtua Norjan teiden kapeista pientareista (2/3 osassa reunalinjatieosuuksia päällystetty piennar oli alle 75 cm; 40 prosentissa alle 50 cm).

Keskilinjien tärinäviivoja on tehty laajemmin vasta viimeisen parin vuoden aikana, siksi niiden vaikutuksista ei ole paljon muita tutkimustuloksia (Bahar, Wales, & Longtin-Nobel, 2001).

3.2 Tiemerkintöjen preview-aika ja paluuheijastuvuus

Kuljettajien havaintokyvyn tulisi olla tiemerkintöjen suunnittelun perusta. Preview-aika kertoo aikavälin, mikä kuljettajalla kuluu käytetyllä nopeudella siitä, kun hän ensi kerran voi nähdä tiemerkinnän siihen, kun hän on tiemerkinnän kohdalla. Kaistamerkinnoille on kaksi perusvaatimusta: kuljettajat tarvitsevat pitkän aikavälin ohjausta (preview-aika vähintään 5 sekuntia) ja lyhyen aikavälin ohjausta (preview-aika 3 sekuntiin asti) (Rumar & Marsh, 1998). Tehokas kaistamerkintä mahdollistaa ainakin 5 sekunnin preview-ajan, joka tarkoittaa 100 km/h nopeudella 140 metriä. Pitkän aikavälin ohjaus suoritetaan yleensä ajoittain keskeisen näön alueella ja kun taas lyhyen aikavälin ohjaus perustuu pääasiassa perifeerisen näön alueeseen ja on tiedostamatonta ja jatkuvaa. (Huonoissa näkyvyysoloissa tilanne voi kuitenkin olla toinen, jolloin kaistalla pysyminen vaatii joskus myös keskeisen näön käyttämistä, Rumar & Marsh 1998). Godthelpin (1988) mukaan kuljettaja ei jatkuvasti suuntaa tarkkaavaisuutta ohjaustehtävään pysyäkseen suoralla tiellä "ideaalilla" ajouralla vaan sallii poikkeamat siitä. Korjaavia ohjausliikkeitä aletaan tehdä, vasta kun kuljettajan arvioima aika kaistaviivan ylitykseen (TLC=Time-to-line-crossing) lyhenee liian pieneksi. Tiemerkinnöillä on täten myös tärkeä tehtävä varoittaa kaistalta poistumisesta, jos kuljettajan arvio pettää.

Eurooppalaisen (COST, 1999) projektin mukaan 1,8 sekunnin preview-aika edessä olevien tiemerkintöjen näkyvyydelle on absoluuttinen minimiraja. Kenttätutkimuksissa tuli tosin esiin, että 2,2 sekuntiakin on liian lyhyt ajomukavuuden kannalta. Suositus onkin 3–5 sekuntia.

Zwahlen & Schnell (1997) osoittivat, että huonoissa valaistusolosuhteissa kuljettajat eivät alenna nopeuttaan tiemerkintöjen näkyvyyden edellyttämälle tasolle ja toimivat lyhyillä preview-ajoilla. Paluuheijastavuuden suurentamisella voidaan melko tehokkaasti pidentää havaitsemisetaisyyskyksiä (Zwahlen & Schnell, 1996). Kuitenkin valkoisella korkean paluuheijastavuuden (200–550 mcd/m²/lx) omaavalla katkokeskiviivalla (leveys 10 cm, pituus 3 m ja väli 9,1 m) saatiin vain 2,4–2,5 sekunnin preview-aikoja yöllä, kun suositeltava preview-aika on 3 sekuntia (90 km/h nopeudella +0,6 sekuntia silmän fiksaatioon). Keltainen ja valkoinen väri eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Lisäksi Zwahlen & Schnell (1998) osoittivat, että vanhat kuljettajat havaitsevat tiemerkintöjä paljon huonommin kuin nuoret. Kuljettajan iän vaikutus merkintöjen näkyvyyteen onkin keskeisempi tekijä kuin erot paluuheijastuvuuksissa.

3.3 Erilaisten toimenpiteiden käyttäytymisvaikutuksia

Hollanti

Hollannissa on testattu kahdenlaisia ratkaisuja, joiden tarkoitus oli erityisesti vähentää vaarallisia ohituksia 80 km/h nopeusrajoitusalueella (Van de Pol & Janssen, 1998). Keskilinjaan asennettiin kahden yhtenäisen viivan väliin 70 cm pitkiä, 17 cm leveitä ja 4,5 cm korkeita laattoja. Yhtenäisten valkoisten viivojen välinen etäisyys oli 90 cm. Laattojen pinta oli heijastavaa materiaalia ja ne sijaitsivat noin 30 asteen kulmassa tien poikkileikkaukseen nähden (kuva 7). Tutkimusaikana (neljä arkipäivää) ei havaittu yhtään ohitusta ja lisäksi autojen keskinopeus putosi 84,2 km/h 80,1 km/h.



Kuva 7. "Broodjes" töyssyt (Remeijn 2002).

Toinen ratkaisu oli taipuisat paalut, joiden leveys oli tienpinnassa 14 cm ja yläosassa 8 cm sekä korkeus 28 cm (kuva 8). Paalujen välinen etäisyys oli 10 metriä tutkimuskohteessa. Tutkimuksen tulokset paalujen vaikutuksista olivat samanlaiset kuin laattojen kohdalla. "Flappen" ei luultavasti kestä kovinkaan monta yliajtoa.



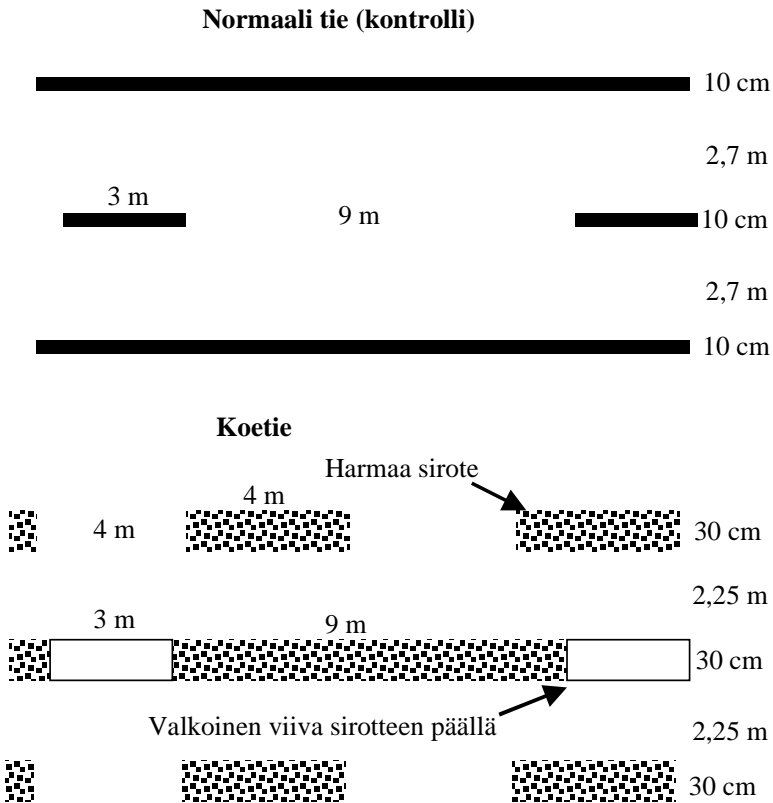
Kuva 8. "Flappen" paalut. (Remeijn 2002).

Hollannissa on käytetty myös kuvan 9 mukaista ratkaisua, jossa keskilinjaa liimataan ilmeisesti sorasirotetta noin yhden senttimetrin paksuudelta. Kaikki kuvien 7–9 toimenpiteet kuuluvat hollantilaisten kestävä turvallisuuksien käsitteen (Duurzaam Veilig Verkeer) alla oleviin ratkaisuihin. Viivojen suositellaan olevan tärinää aiheuttavia kaikissa ratkaisuissa. (Remeijn, 2002).



Kuva 9. Sirote keskilinjassa (Remeijn 2002).

Autolla ajaminen perustuu paljolti visuaalisen informaation tulkitsemiseen. Siksi voisi olettaa, että tien optisen havaittavuuden lisääminen parantaisi myös liikenneturvallisuuksia. Näin ei kuitenkaan aina välttämättä ole. Steyvers (1999) ja Waard, ym. (1995) kokeilivat normaalin reunaviivan näkyvyyden vähentämistä ja keskiviivan leventämistä yksiajorataisella maaseudun tiellä (hollantilainen "A"-luokan tie, nopeusrajoitus 80 km/h). Tien reunaan liimattiin harmaata sorasirotetta ("gravel chipping", paksuus 1 cm) neljä metrin välein ja keskilinjaan yhtenäisesti 30 cm leveydeltä (kuva 10). Sirote aiheutti tärinää ja ääntä henkilöauton nopeuden kasvaessa yli 80 km/h. Sirotteen mitoitus oli kuitenkin sellainen, että se ei häirinnyt raskaiden ajoneuvojen kuljettajia, joiden oli pakko ajaa sirotteen päältä ajoneuvon leveyden takia. Koeteitä oli kaksi, tiejaksojen pituus oli 5–8 km. Lisäksi koeteille maalattiin tienpintaan jokaisen liittymän jälkeen valkoinen '80' ja 500 metrin välein liikennemerkki osoittaen 80 km/h nopeusrajoitusta.



Kuva 10. Hollantilainen ”Drenthe” toimenpide.

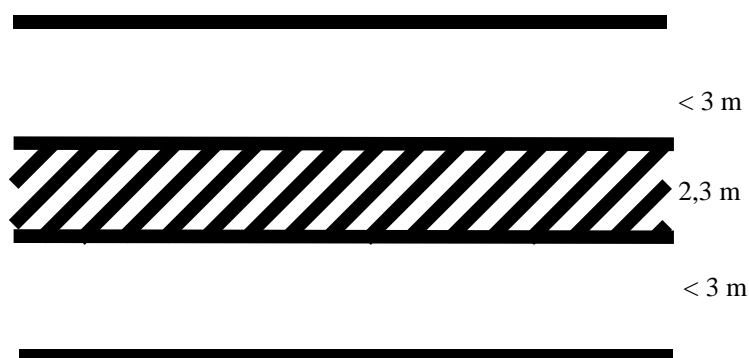
Autojen sivuttaissijainnin hajonta pieneni koeteillä. Kuljettajien täytyi tehdä enemmän pieniä ohjausliikkeitä välttääkseen sirotteen päälle ajamisen. Siitä ei kuitenkaan ollut merkkejä, että ajotehtävä olisi kuormittanut kuljettajia liikaa. Tutkimustiejaksoilla ajoneuvojen keskinopeus oli 3 km/h alempi vielä kaksi vuotta toimenpiteen jälkeen. Myös onnettomuuksien määrä väheni huomattavasti kahden vuoden jälkeen jaksolla verrattuna kontrolliteihin. Kuljettajien mielipiteet toimenpiteestä vaihtelivat paljon. Sirotteen kuluminen voi aiheuttaa ongelmia.

Tutkimuksen johtopäätöksissä todettiin, että ”Drenthe” toimenpide (kuva 10), joka sisältää visuaalisen ohjauksen vähentämisen voi parantaa liikenneturvallisuutta. Tätä ei voi kuitenkaan yleistää kaikille tietyyypeille, reunaviivat ovat hyödyllisiä ainakin kapeilla maaseudun teillä (Steyvers & Waard, 2000). Mutta jos tarkoitus on alentaa ajonopeuksia niin visuaalisen ohjauksen vähentäminen on yksi keino siihen.

Australia

Godley, ym. (1999) tutkivat edellä kuvattua hollantilaisten ratkaisua (ilman nopeusrajoitusmuistutusta) simulaattorissa. Keskinopeus aleni 2 km/h ja sivuttaisasema siirtyi 16 cm keskilinjaa kohti verrattuna ajoon 2,7 m leveällä kontrollikaistalla. Sivuttaisaseman siirtyminen oli tietysti luonnollista kun kuljettajat yrittivät välttää reunalinjan tärinää.

Godley ym. (1999) tutkivat edelleen simulaattorissa pelkästään keskilinjassa olevan valkoisen sulkuviivoitusalueen (leveydet 2,3 m ja 1,3 m) ja keskilinjassa olevan valkoisen sirtteen (leveydet 2,3 m ja 1,3 m) vaikutuksia kaksikaistaisella maaseututeillä (nopeusrajoitus 100 km/h, kaistan leveydet 2,5 m ja 3,0 m). Kontrolliteillä kaistan leveydet olivat 2,5 m, 3,0 m ja 3,6 m. Tulosten mukaan 2,5 m leveä kaista ja 2,3 m leveä sulkuviivoitusalue on paras ratkaisu (kuva 11). Kapea kaista ja sulkuviivoituksen visuaalinen vaikutus (nopeus tuntuu suuremmalta ääreisnäön alueelle tulevan ärsykkeen takia) pakotti kuljettajia keskittymään enemmän ohjaamiseen, joka näkyi sivuttaisasemien hajonnan pienentymisenä ja nopeuksien alentumisena (−3 km/h suoralla). Kaiken kaikkiaan visuaalisilla kuviolla reunalinjassa on paljon vähemmän vaikutusta kuljettajiin kuin keskilinjassa.

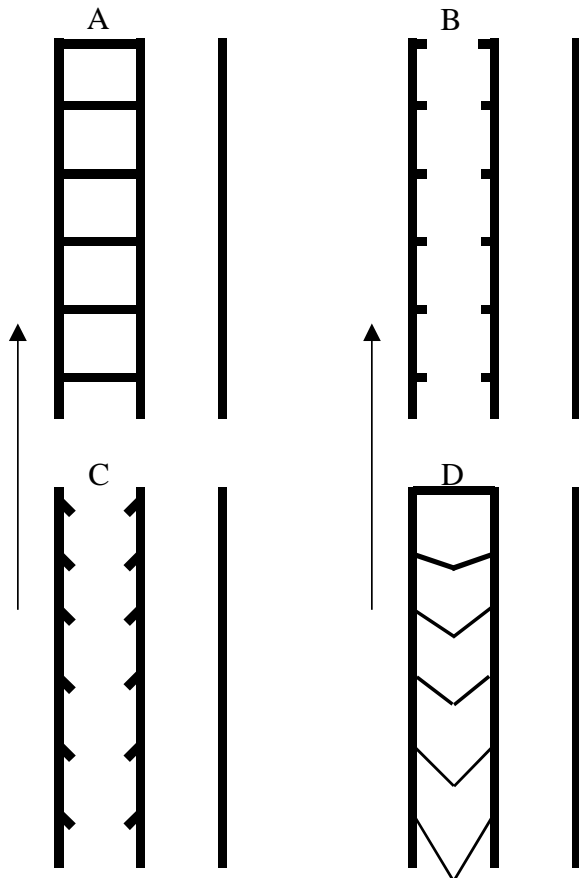


Kuva 11. Australialaisen simulaattoritutkimuksen suosittama tiemerkinäkeino alentaa ajonopeuksia ja parantaa liikenneturvallisuutta suoralla (the narrow perceptual lane width road with a median containing painted hatching, (Godley ym., 1999))

Kaarteissa keskilinjän viivoitus ei tosin näyttänyt aiheuttavan merkitseviä muutoksia nopeuksissa tai sivuttaissijainnissa. Reunalinjän merkintöjen parantaminen kaarteissa johtivat sen sijaan suurempiin nopeuksiin ja siirsivät ajolinjoja lähemmäksi keskilinjaa, sama tendessi on todettu muissakin tutkimuksissa.

Godleyn ym. (1999) mukaan koko kaistan levyiset poikittaiset raidat alentavat tehokkaasti nopeuksia (−11 km/h) esimerkiksi liittymää lähestyessä (kuva 12). Kokeessa 60 cm leveitä poikittaisraitoja oli noin 400 metrin matkalla ennen liittymää (A Transverse lines). Viivojen välisellä etäisyydellä ei sinänsä ollut merkitystä (olivatpa ne sitten tihentyvin välein tai vakioetäisyydellä). Poikittaisilla raidoilla on tekijöiden mukaan myös pitkäaikainen nopeutta alentava vaikutus. Tien reunoista noin 60 cm:n etäisyydelle ulottuvat poikittaiset raidat alensivat nopeuksia 6 km/h. Efekti oli sama olivatpa raidan ”pätkät” sitten suorassa kulmassa tien reunaan nähden (B Transverse peripheral lines) tai vinossa (C Herrinbone treatment). Kunnossapidon kannalta tien reunan merkinnät ovat tietenkin edullisemmat kuin koko kaistan poikki ulottuvat raidat. Tekijät kokeilivat myös Wundtin illuusiota (D), mutta sen vaikutus ei ollut sen suurempi kuin suorassa kulmassa tien reunaan nähden

olleiden merkintöjen. Vinot poikittaiset raidat eivät ilmeisesti aiheuttaneet tien kaventumisen illuusiota. (Godley ym. 1999). Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että tutkimusten ensisijaisena tarkoituksena ja näkökulmana oli etsiä nopeuden alentamiskeinoja, ei keinoja vähentää kaistalta pois ajautumista.



Kuva 12. Australialaisessa laboratoriotutkimuksessa testattuja, liittymän lähestymisnopeuksia alentavia tiemerkinntäkeinoja. (A Transverse lines, B Peripheral transverse lines, C peripheral herringbone pattern, D Wundt illusion)

Saksa

Saksassa on aloitettu projekti, jolla pyrittiin löytämään kaksikaistaisten maaseututeiden turvallisuutta parantavia ratkaisuja (Brühning, 2000). Projektissa on tarkoitus kokeilla toimenpiteitä neljällä eri teemalla:

- ♦ Turvallisten ohitusmahdollisuuksien luominen lisäkaistojen avulla (2+1 kaistaa). Selvitetään lisäävätkö yksittäiset ohituskaistat turvallisuutta, mikä on niiden paras sijainti ja pituus (ehdotus on 850–1 300 m).

- ♦ Ohituskieltoalueiden vahvistaminen kohtaamisonnettomuuksien välttämiseksi. Tutkimusten lähtökohtana on yhdeksän erilaista toimenpidettä vahvistaa ohituskieltoa tarpeen mukaan (taulukko 4):

Taulukko 4. Saksalaisten ohituskieltoa vahvistavia toimenpiteitä

Helposti yliajettavat	Alemmalla nopeudella yliajettavat	Yliajamattomat
1. yhtenäinen viiva	5. tuplasulkuviivan välissä taipuisat paalut	8. teräskaide
2. tuplaviiva	6. tuplasulkuviivan välissä töyssyt	9. betonikaide
3. tärinäviiva (pintakuviolla)	7. pitkittäissuuntainen koroke varoitusmerkkipaaluilla	
4. tuplatärinäviiva (pintakuviolla)		

Toisaalta selvitetään pysyvätkö kuljettajat kaistallaan, jos käytetään ratkaisuja, joiden yli voi ajaa. Toisaalta, jos käytetään kaiteita, niin mitkä ovat niiden toiminnalliset vaatimukset esimerkiksi kunnossapidon ja hätätilanteiden varalta.

- ♦ nopeusrajoitusten valvonnan tehostaminen
- ♦ tienvarsiympäristön turvallinen muotoilu
 - Mikä vaikutus on tien optisella kaventamisella/reunalinjamerkinnoilla
 - Nostavatko tärinäviivat ajonopeuksia yöllä parantuneen näkyvyyden takia?
 - Tienvarsien törmäysesteiden poistamisen vaikutukset
 - Puihin törmäämisten estäminen kaiteilla.

Erilaisia toimenpiteitä kokeillaan 24 tutkimuskohteessa yhteensä noin 360 km matkalla. (42 ohituskaistaa, yhteensä 52 km, sijoitetaan ohituskieltoalueiden väliin). Tutkimustuloksia ei ole vielä saatavilla

Portugali

Safestar (1998) -projektin yksi kokeilu tehtiin Portugalissa. Kapealle nelikaistaiselle tielle asennettiin keskilinjaan muovisia paaluja pitkittäissuuntaisen korokkeen päälle (kuva 13). Tien kaistojen leveys oli 3 m. VTT:n instrumentoidulla autolla ajatettiin koehenkilöitä 13,5 km pitkän koereitin läpi. Vasemmalla kaistalla ajoneuvojen keskimääräinen etäisyys oli 73 cm keskilinjasta, kun tavallisen kaksoissulkuviivan kohdalla se oli 59 cm ja betonisen keskikaiteen kohdalla 83 cm. Etäisyys siis kasvoi keskilinjan toimenpiteen ”koventuessa”. Keskinopeudet järjestyivät kuitenkin eri tavalla. Muovisten paalujen osuuksilla keskinopeus oli 78 km/h, tuplasulkuviivan kohdalla 80 km/h ja betonikaideosuuksilla 92 km/h. Nopeuserot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä, mutta voidaan tietenkin ajatella, että kuljettajat ko-

kevat betonikaiteen voimakkaana suojana vastaantulevaan liikenteeseen nähden ja näin ollen nopeudetkin pyrkivät kasvamaan.



Kuva 13. Muoviset paalut korokkeen päällä (Safestar 1998).

3.4 Kaistalta poistumisesta varoittavat systeemit

ADVISORS-EU-projektissa (Action for advanced Driver assistance and Vehicle control systems Implementation, Standardisation, Optimum use of the Road network and Safety) on tehty yhteenveto kaistalta poistumisesta varoittavista järjestelmistä (ADVISORS, 2001). Useimmat järjestelmät perustuvat ajoneuvoon asennettaviin opto-elektronisiin laitteisiin. Kamera seuraa kaistan viivaa ja järjestelmä varoittaa, jos kaistalta ollaan poistumassa ilman suuntamerkin antamista. Varoitus voidaan antaa äänimerkkinä tai esimerkiksi ohjauspyörän tai penkin tärinä. Monilla autonvalmistajilla on jo prototyyppisiä tällaisista systeemeistä. Hollannissa on käynnissä aiheesta pilotti (Bastiansen & De Hoog, 2001).

Täysin automaattiset ajoneuvon ohjaussysteemit ovat usein osoittautuneet liian kalliiksi ja raskaiksi toteuttaa. Yhdysvalloissa on kokeiltu kevyempiä ratkaisuja. Tiehen, esteisiin ja ajoneuvoihin asennetaan merkinantajia ja ajoneuvoihin lisäksi halpoja antureita ja kuljettajia varoittavia systeemejä (Sensor-Friendly Vehicle and Roadway Systems). Honeywell ja 3M ovat kehittäneet "elektronisen tärinäviivan", joka varoittaa jo etukäteen mahdollisesta kaistanylityksen vaarasta ja toimii kaikissa kelioloissa (Stauffer & Lenz,

menauraajia pysymään kaistalla (Steinfeld & Tan, 2000). Systeemi sisältää magneetoresistiivisen anturin autossa ja magneettisen tiemerkintänauhan (3M) ja eikä se tekijöiden mukaan ole erityisen kallis. Anturi "seuraa" ajoneuvon etäisyyttä kaistan reunasta (teipistä) ja lähestymisnopeutta siihen. Jos systeemi havaitsee, että kaistalta poistumiseen on esim. alle 3 sekuntia niin se varoittaa äänimerkillä.

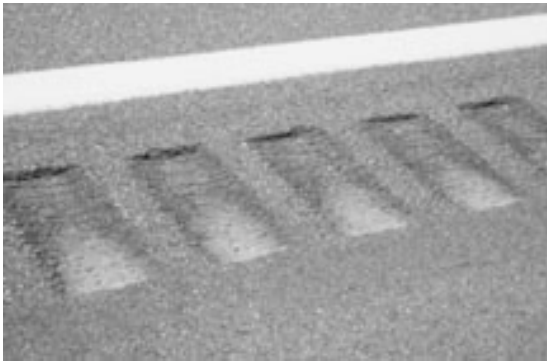
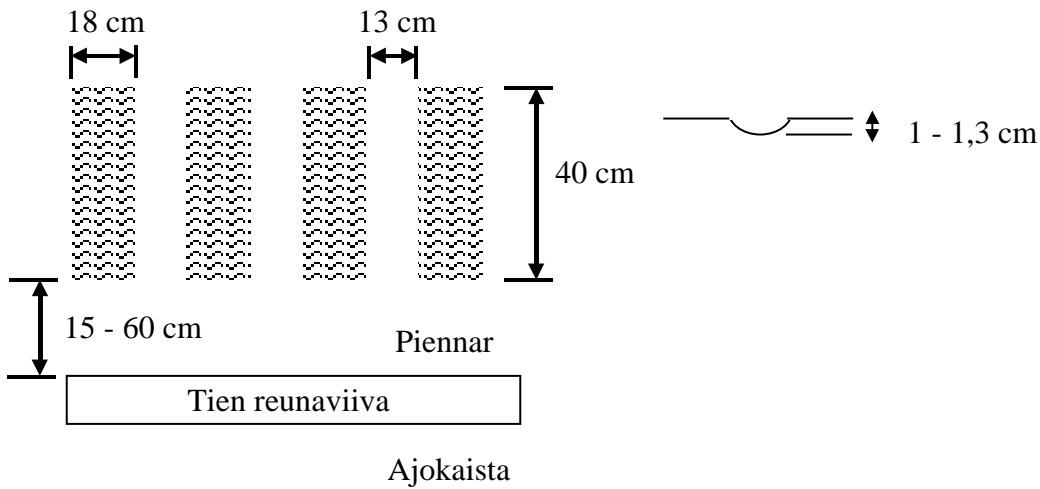
Siegel (2001) tutki fluoresoivan tiemerkinnän käyttöä tiemaalin tilalla. Systeemin ajatuksena on, että autoon asennettaisiin valon lähettäjä ja vastaanottaja, jonka taajuus oli sopiva tiemerkintään. Autossa oleva ilmainen varoitaisi sitten kaistalta poistumisesta. Laboratoriokokeen perusteella Siegel piti menetelmää toteuttamiskelpoisena. Tiemerkintöjen havaittavuus voisi näin myös parantua. Sitä Siegel ei käsittele, että voitaisiinko systeemi avulla säädellä preview-aikaa, jos tiemerkintä tulisi tavallaan näkyviin vasta kun se aktivoitetaan.

3.5 Ohjeita ja suosituksia tärinäviivojen käytöstä

Yhdysvallat

FHWA (2001a) on laatinut suosituksen tärinäviivojen käytöstä. Ohjeen tärinäviivoilla (roadway shoulder rumble strips) tarkoitetaan tien pintaan upotettuja tai koholla olevia elementtejä, joiden tarkoitus on tärinän ja äänen avulla herättää tarkkaamaton kuljettaja. Kaksi- tai useampiajorataisilla valtateilla ne tyypillisesti asennetaan keskilinjaan tai pientareelle. Ensimmäinen tavoite on yksittäisonnettomuuksien vähentäminen. Tärinäviivat ovat osoittautuneet yhdeksi kustannustehokkaimmista turvallisuustoimenpiteistä.

Pitkät, suhteellisen suorat, leveäpientareiset tieosat ovat parhaita paikkoja tärinäviivoille. FHWA suosittelee, että jatkuvia, jyrkittyjä (milled) tärinäviivoja tehdään moottoriteille (freeways & expressways), maaseudulle NHS-verkolle vähentämään suistumisonnettomuuksia (Kuva 14). Maaseudun kaksikaistaisille teille tärinäviivoja suositellaan myös, jos se onnettomuusanalyysin tai teknisen tutkimuksen perusteella todennäköisesti vähentää suistumisonnettomuuksia ko. tiejaksolla. Tällöin tulee kuitenkin huomioida polkupyöräliikenteen vaatimukset, että pientareelle jää tarpeeksi leveä, tasainen tienosa. Yhdysvalloissa tärinäviivoja on testattu myös moottoripyöräilijöillä ja heillä ei ollut vaikeuksia ajohallinnassa. Jos piennar on alle 61 cm leveä niin se on liian kapea tärinäviivalle (FHWA 2001b). Yhden sentin urasyvyys synnyttää kohtuullisen varoituksen moottoriajoneuvojen kuljettajille, mutta ei liiallisesti heiluta uraa ylittävää polkupyöräilijää, jos ylitys on tarpeellinen. Pyöräilijöiden tienylitysten turvaamiseksi tärinäviivassa voi olla välejä tietyin etäisyyksin, esimerkiksi 3,6 m tasainen väli ja 14,6 m tärinäviivaa. Tärinäviivoja ei suositella taajamiin tai teille, joissa nopeudet ovat alle 80 km/h. Tienkäyttäjille on kerrottava uusista tärinäviivoista ja tähän kehitetään merkintätapaa.



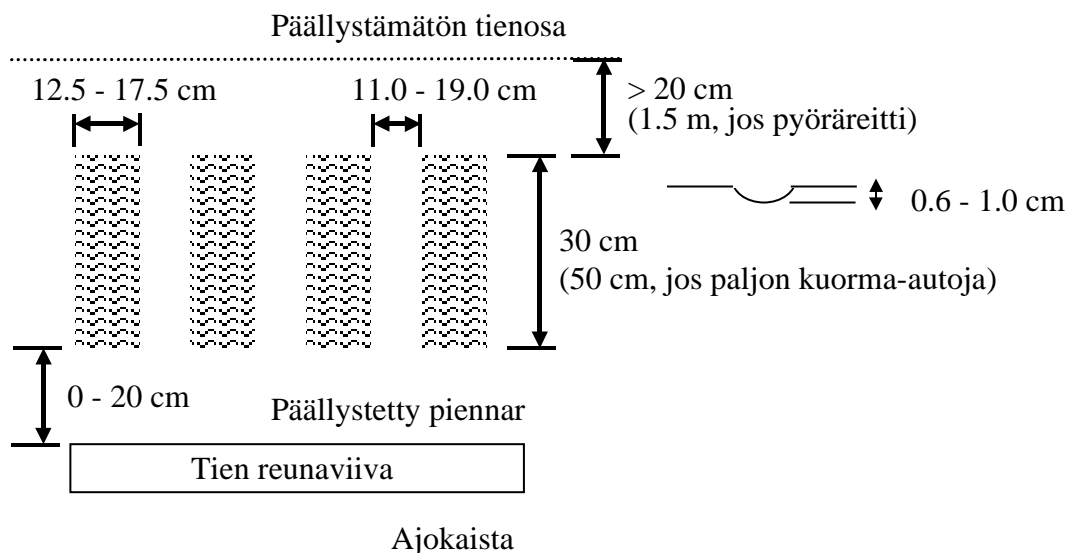
Kuva 14. Amerikkalainen perusmalli reunalinjan tärinäviivasta (http://safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/exec_summary.htm).

FHWA:n ohjeessa todetaan, että tärinäviivoja on kokeiltu joissain osavaltioissa kaksoissulkuviivojen kohdalla keskilinjassa ja että kohtaamisonnettomuudet ovat vähentyneet. IIHS (The Insurance Institute for Highway Safety) on käynnistänyt keskilinjan tärinäviivoista kaksikaistaisilla maaseudun teillä pitkäaikaisen tutkimuksen. Tuloksia on odotettavissa keväällä 2003 (Retting, 2002).

Kanada

Kanadassa on koottu yhteen kokemukset reuna- ja keskilinjan tärinäviivojen käytöstä (Bahar ym. 2001). Päälystetyille pientareelle jyrkittyjä tärinäviivoja suositellaan käytettäväksi yleisesti kaikilla kaksi- ja useampikaistaisilla teillä, koska ne ovat kustannustehokas toimenpide suistumisonnettomuuksien vähentämiseksi jopa alhaisilla liikennemäärillä. Tärinäviivan ulkoreunan ja päälystetyn pientareen ulkoreunan etäisyyden on oltava vähintään 20 cm. Tärinäviivan uran on oltava vähintään 8 mm syvä, jotta se tuntuisi myös kuorma-autojen hytissä. Kuvassa 15 on esitetty kanadalainen tärinäviivamalli. Jaksottaisia tärinäviivoja käytetään siellä, missä pyöräilijöiden on päästävä liikkumaan pientareella. Tällöin jaksotus on seuraava: noin 4 m tärinäviivaa; 4 m tasaista. Pyöräreiteillä tärinäviivan oikean reunan ja pienta-

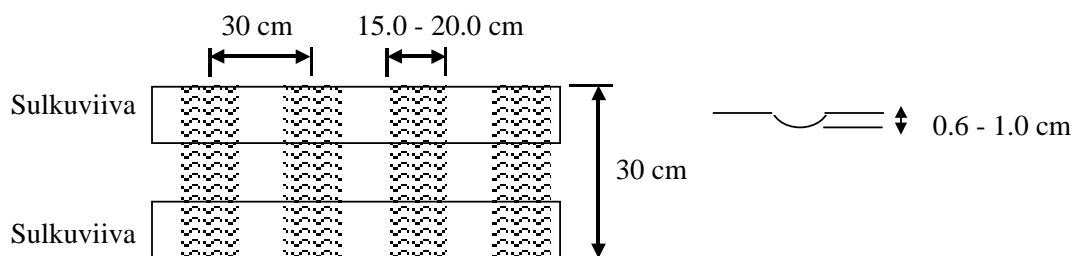
reen reunan välin on oltava 1,5 m. Tärinäviivoja ei suositella silloille. Tienpinnasta koholla olevat tärinäviivat ovat sopivia väliaikaisiin ratkaisuihin kuten tietyöalueille lumettomana aikana.



Kuva 15. Kanadalainen tien reunan tärinäviivamalli

Jos tärinäviivat lopetetaan 200 metrin etäisyydellä asutuksesta, niin melu on vielä siedettävää asukkaille, 500 metrin päässä melu on mitätön. Tärinäviivojen ei ole todettu keräävän suuremmissa määrin roskaa, jäätä, vettä tms. Tärinäviivan päältä ajavat ajoneuvot puhdistavat urat. Tärinäviivojen ei ole todettu vaikuttavan tien rappeutumisasteeseen. Hyöty-kustannuslaskelmissa suositellaan käytettäväksi 30 prosentin suistumisvähennyksen vähenemää reunalinjojen tärinäviivojen osalta.

Myös keskilinjan tärinäviivoissa jyrkistä urista on hyviä kokemuksia, vaikakaan tietoa niiden tehokkuudesta kohtaamisvähennyksien vähentämisessä ei ole kovin paljon. Keskilinjan tärinäviivoja on käytetty lähinnä ohituskieltoalueilla kaksi- tai nelikaistaisilla maaseudun teillä (kuva 16). Niitä suositellaan myös kaarteisiin, joissa tapahtuu paljon onnettomuuksia tai joissa on pieni kaarresäde. Samoin ne sopivat ohituskaistaosuuksille erottamaan vastakkaisia ajosuuntia toisistaan.



Kuva 16. Kanadalainen keskilinjan tärinäviivamalli.

Norja

Norjassa on annettu ohjeet tärinäviivojen käytöstä tien reuna- tai keskilinjassa (Vegdirektoratet, 2000). Tärinäviivoja käytetään erityisesti teillä:

- ♦ joilla on suuri kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksien tiheys ja
- ♦ muutenkin useimmilla teillä, joiden KVL on yli 5 000.

Lähtökohtana on, että kaikki sulkuviivat (sperrelinjer), varoitusviivat (varselinjer) ja reunaviivat (kantlinjer) laitetaan tärinäviivoiksi samanaikaisesti. Ohjeessa todetaan, että tärinäviivalla keskilinjassa on suurempi liikenneturvallisuusvaikutus kuin reunaviivassa. Tärinäviivoja voidaan laittaa myös ajo-kaistaviivoiksi (kjorefeltlinje) Vegdirektoratin suostumuksella yksittäisille tiejaksoille, jotka ovat esimerkiksi yksitoikkoisia ajaa.

Tärinäviivojen aiheuttama melu rajoittaa niiden käyttöä taajamissa. Taulukossa 5 on esitetty vähimmäisetäisyydet asutuksesta tärinäviivoihin.

Taulukko 5. Suositeltu vähimmäisetäisyys tärinäviivasta asuinrakennukseen.






Asunto	Kamflex		Longflex	
	50-60 /km/h	80-90 km/h	50-60 /km/h	80-90 km/h
ei meluaitaa	30 m	50 m	100 m	150 m
meluaita	10 m	20 m	30 m	50 m

Norjassa on käynnissä projekti, jossa tutkitaan tienpintaheijastimien käyttöä keskilinjassa kahdessa tunnelissa Telemarkissa.



Iso-Britannia

TRL on arvioinut kuljettajien käyttäytymistä parantavia ratkaisuja seuraavasti (taulukko 6).

Taulukko 6. Kuljettajien käyttäytymistä parantavat toimenpiteet (TRL 2002).

Toimenpide	Sijainti ja tarkoitus	Edut ja haitat
<p>Reunalinjan tärinäviiva (Raised rib edge lines)</p> 	<p>Pääteillä, etenkin pitkillä suorilla. Herättää kuljettaja</p>	<p><u>E</u> Vähentää suistumisia <u>E</u> Vähentää jalankulkija-onnettomuuksia <u>H</u> Kunnossapito. "MEDIUM COST"</p>
<p>Tärinäviiva (Raised Rib Lines)</p> 	<p>Vilkaasti liikennöidyt tiet, joissa ei noudateta ohituskieltoa. Tekee ohittamisesta epämiellyttävää. Herättää keskilinjän ylittävä väsynyt tai tarkkaamaton kuljettaja.</p>	<p><u>E</u> Ehkäisee ohittamista vaarallisissa paikoissa <u>H</u> Kunnossapito. "MEDIUM COST"</p>
<p>Tienpintaheijastin (Reflective Studs)</p> 	<p>Ajoradan keskilinjassa Käytetään sekä valaistuilla että valaisemattomilla teillä. Muodostaa esteen vastakaisten liikennevirtojen väliin. Herättää tiensuunnasta poikkeava kuljettaja, esim. kaarteissa, liittymissä.</p>	<p><u>E</u> Parantaa kaistalla pysymistä korostamalla kaistoja <u>E</u> Hyödyllinen huonoissa valaistusolosuhteissa. <u>E</u> Näkyvät myös märässä <u>E</u> Antavat äänivaroituksen <u>E</u> Helppo kunnossapito. "MEDIUM COST"</p>
<p>"Haamuviiva" – viivoitus keskilinjassa (Ghost Median – Hatched Divider)</p> 	<p>Sopii ohituskieltoalueille kaarteisiin ja mäen nypylyille. Vastakaisten liikennevirtojen tehokkaampi kanavointi.</p>	<p><u>E</u> Parantaa kaistalla pysymistä, hillitsee ohittamista <u>H</u> Ei aina noudateta. <u>H</u> Kunnossapito. "LOW COST"</p>
<p>Korotettu sulkuviivoitusalue (Raised Hatched Divider)</p> 	<p>Ajoradan keskilinjassa vilkaasti liikennöidyillä teillä, vähentää ohituksia. Herättää keskilinjän ylittävä kuljettaja.</p>	<p><u>E</u> Ääni- ja tärinävaroitusta <u>E</u> Estää tehokkaasti ohittamista. <u>H</u> Reunat voivat lopulta kuluu. "MEDIUM COST"</p>

TRL (2002) jatkuu

Toimenpide	Sijainti ja tarkoitus	Edut ja haitat
Suunnikas koroke (Trapezoidal kerb) 	Pienisäteisissä kaarteissa, joissa tapahtuu kohtaamisonnettomuuksia Herättää keskilinjaa liian lähellä ajava kuljettaja ja luoda fyysinen este.	E Vähentää törmäyksiä ja suistumisia. E Varoittaa myös visuaalisesti kaarteesta. E Voidaan ajaa yli hätätilanteessa kuitenkin menettämättä auton hallintaa. E Vähäinen kunnossapito. H <i>Voi aiheuttaa kuivatusongelmia ja reuna voi kulua.</i> "LOW COST"
Keskikoroke (Central median kerb) 	Leveille teille erottamaan vastakkaiset ajosuunnat toisistaan Pitäisi maalata havaittavuuden parantamiseksi	E Vähentää törmäyksiä ja suistumisia. E Muodostaa jatkuvan korokkeen, joka helpottaa jalankulkijoiden tien ylitystä. E Voi alentaa ajonopeuksia. E Estää U-käännökset H <i>Kuivatus voi vaatia lisätoimenpiteitä.</i> "HIGH COST"
Koroke paaluilla (Central raised kerb divider) 	Ajoin keskilinjassa erottamaan vastakkaiset liikennevirrat. Tehokas kohtaamisonnettomuuksien estäjä	E Vähentää törmäyksiä ja suistumisia. E Estää U-käännökset H <i>Jalankulkijoiden tien ylitykset?</i> H <i>Visuaalisesti häiritsevä.</i> "MEDIUM COST"
Reunapaalut (Edge Marker Posts) 	Huonosti valaistuilla alueilla. Varoittavat tien suunnanmuuttumisesta.	E Positiivinen vaikutus nopeuksiin? ja ajoneuvon sivuttaisasemaan kaarteissa E Vähäinen kunnossapito. E Vähän vaurioita ajoneuvolle törmäyksissä. H <i>Voi nostaa keskinopeuksia yöaikaan</i> "LOW COST"

4 TULOSTEN TARKASTELU

Yli puolet (57 %) kestopäällystettyjen, yleisten teiden kuolonkolareiden henkilövahingoista syntyy kohtaamis- ja suistumisonnettomuuksien seurauksena, joissa kuljettaja on siis joutunut syystä tai toisesta pois omalta kaistaltaan. Tien keskilinjaan tehtävillä toimenpiteillä kestopäällystetyillä, yleisillä teillä voitaisiin vuosittain vaikuttaa noin 60:een hyvissä keliolosuhteissa tapahtuvaan liikennekuolemaan ja reunalinjan toimenpiteillä vastaavasti noin 10 kuolemaan. Yksi keino vähentää reuna- ja keskilinjän ylityksiä on tehdä tärinäviivoja, joihin suomalaiset kuljettajat suhtautuvat haastatteluiden mukaan myönteisesti.

4.1 Tärinäviivojen turvallisuusvaikutus

Moottoriteillä reunalinjan tärinäviivat vähentävät usean tutkimuksen mukaan *suistumisonnettomuuksia* noin 20–70 prosenttiin saakka. Griffith (1999) epäilee kuitenkin, että ainakin monien amerikkalaisten tutkimusten suuret onnettomuusvähenemät johtuvat metodologisista puutteista (seuranta-aika on ollut lyhyt esimerkiksi yksi vuosi tai tutkimuksessa ei ole ollut kontrollikohteita). Lisäksi tärinäviivoja on tehty luultavasti ensin teille, joilla on sattunut paljon suistumisonnettomuuksia, jolloin osa vähenemästä johtuu onnettomuuksien määrän luonnollisesta palautumisesta keskiarvoa kohden (regression-to-the-mean effect). Moottoriteiden reunalinjan tärinäviivojen pidemmän aikavälin suistumisonnettomuuksia vähentävä vaikutus lieneekin 20–30 prosenttia edellyttäen melko leveää päällystettyä piennarta. Kanadassa suositellaan käytettäväksi reunalinjan tärinäviivojen osalta 30 prosentin suistumisia vähentävää vaikutusta hyöty-kustannus laskelmissa. Keskilinjän tärinäviivojen turvallisuusvaikutuksia kaksikaistaisilla teillä ei ole kuitenkaan tutkittu tarpeeksi.

Norjalaisen tutkimuksen (Gjaver ym. 1999) tulos kaksikaistaisilta teiltä on mielenkiintoinen, koska sen mukaan tärinäviivalla keskilinjassa on suurempi turvallisuusvaikutus kuin reunalinjassa. Tätä tukee myös australialaisen simulaattoritutkimus (Godley, ym. 1999), jossa todettiin, että visuaalisilla kuviolla reunalinjassa on vähemmän vaikutusta kuljettajiin kuin keskilinjassa. Tulokset ovat siksikin merkittäviä, koska kohtamisonnettomuuksia kuolee eniten ihmisiä. Gjaverin ym. (1999) tulokset viittasivat myös siihen suuntaan, että keskilinjän tärinäviivalla on suurin vaikutus standardiltaan hyvillä teillä (mitoitusnopeus ≥ 80 km/h, pienin kaarresäde >250 m). Tosin reunalinjan onnettomuuksien pieni vähenemä voi johtua Norjan teiden kapeista pientareista ja tiestön muista ominaisuuksista. Lisäksi on huomattava, että Norjassa käytetään profiloituja, massamerkintä tehtyjä tärinäviivoja, joista ei synny niin voimakasta tärinää kuin esimerkiksi jyrksityistä 1 cm syvyisistä urista. Joka tapauksessa keskilinjaan tehtäviä toimenpiteitä kannattaa jatkossa selvittää enemmän. Yhdysvalloissa on käynnissä pitkäaikainen tutkimus keski-

linjan tärinäviivoista kaksikaistaisilla maaseudun teillä. Tuloksia on odotettavissa keväällä 2003.


Norjan, Kanadan ja Yhdysvaltojen kokemusten perusteella tärinäviivoja suositellaan käytettäväksi sekä reunalinjassa että sulkuviivoina myös kaksikaistaisilla teillä. Tärinäviivat ovat osoittautuneet yhdeksi kustannustehokkaimmista turvallisuustoimenpiteistä. Kanadassa ja Yhdysvalloissa suositetaan tienpintaan upotettuja tärinäviivoja, Norjassa tienpinnasta koholla olevia tärinäviivoja (Kamflex ja Longflex). Tienpintaan upotettujen tärinäviivojen urasyvyys on oltava 1 cm, jotta tärinä olisi havaittavissa myös rekka-autoissa. Upotettujen tärinäviivojen aiheuttaman melun takia niiden etäisyys asutukseen ei saisi olla alle 200 m.

Zwahlenin & Schnellin (1998) tutkimusten perusteella näyttää siltä, että kuljettajan ikä ja siihen liittyvät havaintokyvyn muutokset ovat keskeisempi tekijä tiemerkitöjen näkyvyydelle kuin erot paluuheijastuvuuksissa. Norjalaisen tutkimuksessa (Giaver ym. 1999) ei havaittu eroja profiloitujen tärinäviivojen onnettomuusvaikutuksessa pimeällä tai valoisana aikana.

4.2 Toimenpiteiden luokittelu ja arviointia

Keinot estää tahatonta kaistalta pois ajautumista voidaan karkeasti luokitella kolmeen eri luokkaan sen mukaan miten niiden yli voidaan ajaa (taulukko 7).

Taulukko 7. Tien pitkittäissuuntaisia, kaistalla pois ajautumista vähentäviä toimenpiteitä

Helposti yliajettavat	Alemmalla nopeudella yliajettavat	Yliajamattomat
Visuaaliset efektit Tärinäviivat Tienpintaheijastimet (nastat)	Laatat, töyssyt Taipuisat paalut, varoitusmerkkipaalut Korokkeet, reunakivet	Vaijerikaiteet Teräskaiteet Betonikaiteet
Esimerkkejä  http://www.deldot.net/static/projects/rumblestrip/index.html	 http://www.gampet.nl	 Safestar (1998)
 TRL (2002)	 http://www.gampet.nl	

Reunalinjassa käytettyjä toimenpiteitä ovat lähinnä tärinäviivat, paalut, reunakivet ja kaiteet. Nämä toimivat yleensä hyvin suorilla tiejaksoilla, mutta reunalinjan merkintöjen näkyvyyden parantaminen kaarteissa näyttää johtavan suurempiin nopeuksiin. Toisaalta, jos autojen sivuttaisasemien hajonta pienenee, niin turvallisuus todennäköisesti paranee. Jonkin toimenpiteen käyttäytymisvaikutuksista on vaikea tehdä yleistyksiä, koska siihen vaikuttavat tietyyppi, tien geometria, liikennemäärä jne. Hollantilaisessa kokeilussa kaksikaistaisella tiellä (80 km/h nopeusrajoitus) perinteinen reunaviiva korvattiin harmaalla siroteella (eli tien visuaalista ohjausta huononnettiin) ja samalla keskilinjaan laitettiin yhtenäinen sirote tavallista leveämmän keski-

viivan alle. Tulokset olivat myönteisiä: autojen sivuttaisasemien hajonta pieneni ja nopeudet alenivat.

Tärinäviivat (ja kaiteet) reunalinjassa on jo melko yleisesti hyväksytty kustannustehokkaana toimenpiteenä vähentää suistumisonnettomuuksia, niinpä nyt kokeiluissa ja tutkimuksissa haetaan uusia sellaisia ratkaisuja keskilinjaan, joilla voitaisiin vähentää kohtaamisonnettomuuksia. Useimmat ratkaisut on tarkoitettu ohituskieltoalueille (sulkuviivat). Keskiviivaosuuksille (ilman ohituskieltoa) löytyi edellä kuvattu hollantilaisten kokeilu ja tienpintaheijastimet.

Suomalaisista kuljettajista 85 % halusi lisätä tienpintaheijastimien käyttöä sekä reuna-, keski-, että sulkuviivana. Positiivinen suhtautuminen johtuu ilmeisesti siitä, että heijastimet helpottivat huomattavasti tielinjauksen hahmottamista pimeällä ja hämärässä (Kärki & Mäkinen, 2001). Tienpintaheijastimet voidaan myös upottaa uraan, jolloin ne kestävät paremmin aurausta. Norjassa tärinäviivoja voidaan laittaa myös ajokaistaviivoiksi yksitoikkoisille tiejaksoille tiehallinnon suostumuksella. Yksi malli ratkaista keskiviivan tiejaksojen kohtaamisonnettomuusongelmia on tietysti muuttaa ne ohituskieltoalueiksi ja rakentaa ohituskaistaosuuksia tietyin välimatkoin. Saksassa tehtävässä kokeilussa tutkitaan mikä olisi ohituskaistaosuuksien sopiva pituus ja välimatkat ja millä toimenpiteillä ohituskieltoa vahvistetaan.

Vastakkaisiin suuntiin kulkevien liikennevirtojen välisen etäisyyden kasvataminen on keino lisätä kuljettajien aikaa reagoida keskilinjan ylitykseen. Saksan ja Hollannin kokeiluissa keskilinjaan sulkuviivojen väliin asennettiin laattoja (töyssyjä) tai taipuisia paaluja. Ne estävät ilmeisen tehokkaasti ohituksia ja myös kaistalta pois ajautumista, kun vielä viivat niiden ympärillä ovat tärinäviivoja. Laattojen ja töyssyjen sopivuudesta talvioloihin ei ole tietoa, mutta kestävyyttä lienee syytä epäillä. Luultavasti ne myös haittaavat talvihoitoa.

Astetta järeämpi keinoja ovat erilaiset pitkittäissuuntaiset korokkeet tai saarekkeet keskilinjassa. Safestar-projektin tulosten pohjalta näyttää siltä, että mitä ”järeämpi” keskilinjan toimenpide on, sitä kauemmaksi autojen ajolinjat siirtyvät keskilinjasta. Tällöin kohtaamisonnettomuuksien todennäköisyys pienenee.

Leveä tärinäviiva sulkuviivoitusalue voi myös olla tehokas toimenpide estää kaistalta pois ajautumista. Australialaisen simulaattoritutkimuksen (Godley, ym. 1999) mukaan vinoviivoitus saa aikaan voimakkaan visuaalisen efektin ja alentaa ajonopeuksia.

Monet edellä kuvatut toimenpiteet vaativat enemmän tilaa kuin 30 cm, joka usein merkitsee ajokaistojen kaventamista. Kaistan kaventaminen yhdessä jonkin keskilinjan toimenpiteen kanssa on ilmeisen tehokas keino parantaa turvallisuutta, koska kuljettaja joutuu tällöin suuntaamaan enemmän tark-

kaavaisuutta kaistalla pysymiseen. Ajoneuvojen nopeudet yleensä alenevat ja sivuttaisasemien hajonta pienenee. Hollantilaisen tutkimuksen (Ward ym. 1995) mukaan tämä ei kuitenkaan kuormita liikaa kuljettajaa. Aina ei ole mahdollisuutta kaventaa kaistoja ja silloin tärinäkaksoissulkuviivat tai tienpintaheijastimet voivat olla hyvä ratkaisu.

5 LÄHTEET

ADVISORS. (2001). Problem identification, User Needs and Inventory of ADAS (D1/2.1 V4).

Anund, A. (1998). Ofrivilligt överskridande av kantlinje. VTI notat 49-1998. Linköping: VTI.

Bahar, G., Wales, J., & Longtin-Nobel, L. (2001). Synthesis of Best Practices for the implementation of Shoulder and Centerline Rumble Strips . Ottawa: Transportation Association of Canada.

Bastiansen, E. G. H. J., & De Hoog, A. (Eds.). (2001). Automated Vehicle Guidance with ada Technology. Perspectives for safety and infrastructure utilisation . Rotterdam: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.

Brühning, E. (2000). *Safety Improvements on Two-Lane Rural Roads*. Paper presented at the 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz.

COST. (1999). *COST 331. Requirements for Horizontal Road Markings. Final Report of Action*: European Commission. Directorate General Transport.

de Waard, D., Jessurun, M., Steyvers, F. J. J. M., Raggatt, P. T. F., & Brookhuis, K. A. (1995). Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation. *Ergonomics*, 38 (7), 1395-1407.

Elvik, R. (1999). *Bedre trafikksikkerhet i Norge*. (Rapport 446): TOI.

Elvik, R., Mysen, B. A., & Vaa, T. (1997). *Trafikksikkerhetshåndbok* . Oslo: TOI.

Emerson, J. W., & West, L. B. (1986). Shoulder rumble strips at narrow bridges. In J. F. Carney (Ed.), *Effectiveness of highway safety improvements* (pp. 207-217). New York: American Society of Civil Engineers.

FHWA (2001a). Roadway Shoulder Rumble Strips, *Technical Advisory* : Federal Highway Administration, Department of Transportation. <http://www.fhwa.dot.gov/legisregs/directives/techadvs/t504035.htm>.

FHWA (2001b). Synthesis of Shoulder Rumble Strips Practices and Policies: Federal Highway Administration, Department of Transportation. http://safety.fhwa.dot.gov/fourthlevel/exec_summary.htm.

Giaver, T., Sakshaug, K., Jenssen, G. D., & Berge, T. (1999). *Tiltak for reduksjon av strekningsulykker. Delrapport 2. Effekter av profilert vegmerkning* (STF22 A99553). Trondheim: SINTEF, Bygg, miljøteknik, sam ferdsel.

- Godley, S., Fildes, B., Triggs, T., & Brown, L. (1999). *Perceptual Countermeasures: Experimental Research* (CR 182): Australian Transport Safety Bureau.
- Godthelp, H. (1988). The limits of path error-neglecting in straight lane driving. *Ergonomics [Special Issue: Risky decision-making in transport operations]*, 31 (4), 609-619.
- Griffith, M. S. (1999). *Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways* (990162): Transportation Research Board.
- Hickey, J. J. (1997). *Shoulder rumble strip effectiveness: Drift-off-road accident reductions on the Pennsylvania Turnpike*. Transportation Research Record 1573. Washington D. C.: Transportation Research Board.
- Kärki, O., & Mäkinen, T. (2001). *Ensikokemukset ja mielipiteet tienastoista. Kokeilu valtatiellä 1*. Tiehallinnon selvityksiä 74/2001.
- Kärki, O., & Unhola, T. (2002). *Palautetta tuottavien tiemerkinntöjen turvallisuusvaikutukset*. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja, painossa.
- Larsson, J., Anund, A., & Brude, U. (2001). *Försök med fräst räfflor för att öka trafiksäkerheten*. VTI notat 72-2001. Linköping: VTI.
- Ligon, C. M., Carter, E. C., Joost, D. B., & Wolman, W. W. (1985). *Effects of shoulder textured treatment on safety* (FHWA/RD-85/027). Washington D. C.: Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- LVM. (2000). *Liikenneturvallisuussuunnitelma vuosille 2001 – 2005*. Ohjelmia ja strategioita 2/2000: Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Mäkinen, T., Kallio, M., & Kärki, O. (2000). *Profiloitujen reunaviivojen vaikutukset ajokäyttäytymiseen*. Tielaitoksen selvityksiä 7/2000.
- Rajamäki, Riikka (2002). Tilastoajat.
- Ranta, S., Mäkinen, T., & Malmivuo, M. (1998). *Palautetta antavat tiemerkinntät suistumis- ja kohtaamisonnettomuuksien torjunnassa*. Tielaitoksen selvityksiä 1/1998.
- Remeijn, H. (2002). Unintentional crossing of lines etc. Sähköpostiviesti M. Räsäselle 3.6.2002.
- Retting, R. A. (2002). A retrospective evaluation of centerline rumble strips on rural 2-lane roads in the US and Canada. Sähköpostiviesti M. Räsäselle 2.8.2002.
- Rumar, K., & Marsh, D. K. (1998). *Lane Markings in Night Driving*. UMTRI-98-50. Michigan: The University of Michigan, Transport Research Institute.

Safestar. (1998). *Cross section of rural roads*. Safestar WP 4. Final Report: VTT.

Siegel, M. (2001, May 21-23). *Fluorescent Paint for Roadway Lane-Markers*. Paper presented at the IEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest.

Stauffer, d., & Lenz, J. (1997). An electronic rumble strip, *Transportation sensors and controls: collision avoidance, traffic management, and ITS* (Vol. SPIE 2902, pp. 106-112): Honeywell Technology Center.

Steinfeld, A., & Tan, H. S. (2000). Development of a driver assistant interface for snowplots using iterative desing. *Transportation Human Factors*, 2 (3), 247-264.

Steyvers, F. J. J. M. (1999). Increasing safety by removing visual cues – a contradiction? In A. E. Gale & I. D. Brown & C. M. Haslegrave & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles - VII* (pp. 301-310). Amsterdam: Elsevier.

Steyvers, F. J. J. M., & Waard, D. D. (2000). Road-edge delineation in rural areas: Effects on driving behaviour. *Ergonomics*, 43 (2), 223-238.

TRL=Transport Research Laboratory (2002). "Urban Safety management: Guidelines for Developing Countries (TRL PR/INT/254/2002).

Van de Pol, W. H. M., & Janssen, S. T. M. C. (1998). *Scheiding rijrichtingen op rondweg Oostburg* (R-98-21). Leidschendam: SWOV.

Vegdirektoratet. (2000). Retningslinjer for bruk av profilert vegoppmerkning, *Vedleg til NA-rundskriv nr 00/18*.

Zwahlen, H. T., & Schnell, T. (1996). *Visibility of New Dashed Yellow and White Center Stripes as Function of Material Retroreflectivity*. Transportation Research Record 1553.

Zwahlen, H. T., & Schnell, T. (1997). *Driver Eye-Scanning Behavior as Function of Pavement Marking Configuration*. Transportation Research Record 1605.

Zwahlen, H. T., & Schnell, T. (1998). *Visibility of Road markings as a Function of Age, Retroreflectivity under Low-Beam and High-Beam Illumination at Night* Transportation Research Record 1692.

6 LIITTEET

SÄHKÖPOSTIKYSELYLISTA.

Ruotsi	Peter Aalto Anna Anund	VÄGVERKET VTI
Norja	Morten Hafting Kristian Sakshaug Terje Assum Bjorn Steinset Terje Giaver	VEGVESEN SINTEF TOI VEGVESEN SINTEF
Tanska	Kenneth Kjemtrup Lene Herrstedt	VEJDIREKTORATET ATKINS Danmark
Islanti	Björn Ólafsson	VEGAGERDIN
Itävalta	Hubert Culik	REMBRANDTIN
Belgia	Guy Descornet	B.R.R.C.
Tsekki	Irena Sasinkova	SILNIENI VIJVOJ
Ranska	Vincent Ledoux	LAB CENTRAL PONTS ET CHAUSÉES
Saksa	Hans Dieter Schornborn Christhard Gelau	LANDESBETRIEB STRASSEN UND VERKEHR BAST
Italia	Giuseppe Folcheri	3M ITALIA SPA
Hollanti	Henk Vooijs Frank Steyvers	RIJKSWATERSTAAT University of Groningen
Espanja	David Calavia	Safecontrol, S.A.
Britannia	Chris Baughan	TRL Limited
USA	Richard A. Retting	Insurance Institute for Highway Safety

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-961-7
TIEH 3200788