

**TUTKIMUKSIA**  
**34:2000**

**HELSINGIN YLIOPISTO**  
**LIKENNETUTKIMUSYKSIKÖ**



**Mikko Räsänen**

**Liikenneympäristö, väistämissäännöt ja käyttäytyminen  
polkupyöräonnettomuuksissa pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa**

Traffic environment, priority regulation and behavior in bicycle crossing accidents

**REPORTS**  
**34:2000**

**UNIVERSITY OF HELSINKI**  
**TRAFFIC RESEARCH UNIT**

DK 656,183

**Liikenneympäristö, väistämissäännöt ja käyttäytyminen  
polkupyöräonnettomuuksissa pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa**

Traffic environment, priority regulation and behavior in bicycle crossing accidents

**Mikko Räsänen**

Psykologian laitos

Maantieteen laitos

Helsingin yliopisto

Väitöskirja esitetään julkisesti tarkastettavaksi Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan suostumuksella Porthanian luentosalissa III maanantaina 26. kesäkuuta 2000 klo 12.

Academic dissertation to be publicly discussed, due to permission of the Faculty of Science at the University of Helsinki in auditorium P III, on the 26<sup>th</sup> of June, 2000, at 12 o'clock.

Helsinki 2000

**Mikko Räsänen, Liikenneympäristö, väistämissäännöt ja käyttäytyminen**  
polkupyöräonnettomuuksissa pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa, Helsingin yliopisto

## **TIIVISTELMÄ**

Pyörätieverkon rakentaminen vähentää pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisiä onnettomuuksia linjaosuuksilla, mutta ongelmat syntyvät pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa eli pyörätien jatkeilla. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia autoilijoiden ja pyöräilijöiden välisiin onnettomuuksiin vaikuttavia tekijöitä liikennekäyttäytymisessä, -ympäristössä ja -säännöissä pyörätien jatkeilla.

Tutkimuksessa kehitettiin menetelmiä, joiden perusteella voitiin arvioida onnettomuuksiin johtavan käyttäytymisen ja normaalissa liikenteessä ilmenevän käyttäytymisen suhteita ja riskitekijöitä erilaisissa liikennetilanteissa ja -ympäristöissä. Poliisin tietoon tulleet onnettomuudet Helsingissä ja liikennevahinkojen tutkijalautakuntien aineisto neljästä kaupungista luokiteltiin tapahtumapaikan ja osallisten kulkusuuntien mukaan onnettomuustyyppieihin. Liikennettä kuvattiin piilotetuilla videokameroilla ja videonauhoilta analysoitiin tienkäyttäjien lähestymisnopeuksia, päänliikkeitä ja väistämistilanteita.

Yleisin pyöräilijöiden ja autoilijoiden välinen onnettomuustyyppi oli tilanne, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä ajoi autoilijan näkökulmasta oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Tämä onnettomuustyyppi kattaa noin 20 % pyörätien jatkeilla liittymissä sattuneista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista. Näkemäesteet lisäävät sivutieltä saapuvan autoilijan ja päätien suuntaisesti ajavan pyöräilijän yhteenajon riskiä pyörätien jatkeella kymmenkertaisesti verrattuna liittymiin, joissa ei ole näkemäesteitä. Yleisimmän onnettomuustyyppin synty oli voimakkaasti yhteydessä kaksisuuntaiseen pyörätiejärjestelmään ja väistämissääntöihin, jolloin etuajo-oikeutettu pyöräilijä voi tulla autoilijan näkökulmasta yllättävästä suunnasta. Oikealle kääntyvän autoilijan ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma on olemassa myös kiertoliittymissä. Suomesta, Ruotsista ja Tanskasta kerättyssä aineistossa 14 % kiertoliittymään ajavista autoilijoista ei katsonut oikealle, kun pyöräilijä lähestyi samanaikaisesti kiertoliittymän pyörätien jatketta oikealta.

Pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisten onnettomuuksien vähentämiseksi on liikenneympäristö rakennettava sellaiseksi, että se ohjaa liikennesääntöjen mukaiseen käyttäytymiseen. Tämä on tärkeää, koska autoilijoiden tarkkaavaisuus suuntautuu risteämistilanteissa ensisijaisesti muihin autoihin, joita on yleensä määrällisesti enemmän ja jotka ovat suurempi uhka törmäyksissä kuin pyöräilijät. Lisäksi pyöräilijöiden käyttäytymiseen vaikuttaa usein voimakkaammin ajoradan leveydet, autoliikennemäärät ja nopeudet kuin liikennesäännöt.

Avainsanat: liikennekäyttäytyminen, liikennesäännöt, liikenneturvallisuus, polkupyöräonnettomuudet, pyörätien jatke, visuaalinen haku

**Mikko Räsänen**, Traffic environment, priority regulation and behavior in bicycle crossing accidents, University of Helsinki, FIN

## **ABSTRACT**

Bicycle paths are safe on road sections but problems arise at intersections. The aim of the present study was to investigate factors in road user behavior, traffic environment and rules, which affect accidents between bicyclists and car drivers.

Accident analysis and unobtrusive video recordings were conducted in five studies in order to develop methods to estimate the relationship between behavior in accidents and in normal traffic. The behavior of road users was measured in terms of approaching speed, head movements and how they yielded in different traffic situations.

The most frequent accident type among collisions between cyclists and cars at bicycle crossings was a driver turning right and a bicycle coming from the driver's right along a cycle track. This accident type comprises about 20 % of all bicycle crossing accidents between bicycles and cars. A comparison of accident types in various conditions indicated that the risk of bicycle-car collisions is 10 times higher at bicycle crossings with restricted visibility than with corresponding crossings without sight obstacles. The most frequent accident type was closely related to the system of two-way cycle paths and to the priority regulations when a cyclist with right-of-way may appear unexpectedly from driver's point of view. The results confirm that the problem of the driver turning right and the cyclists coming from the right is also most acute at roundabouts. The data collected from Finland, Sweden and Denmark showed that 14 % percent of drivers did not look at all cyclists who were approaching the bicycle crossing from the right, on a collision course.

In reducing bicycle-car collisions specific consideration should be given to the principle that the traffic environment should guide road users to follow the traffic rules. This has uttermost importance, because at intersections drivers tend to look first for other cars, which are normally more numerous than cyclists and also pose a more severe threat of collision. Furthermore, the behavior of cyclists seems to be more dependent on roadway widths and motor traffic volumes and speeds, rather than the traffic rules.

**Key words:** bicycle accidents, bicycle crossing, traffic behavior, traffic rules, traffic safety, visual search

## ALKUPERÄISET ARTIKKELIT

Tämä tutkimus perustuu seuraaviin artikkeleihin, joihin viitataan tekstissä roomalaisilla numeroilla.

## LIST OF PUBLICATIONS

This thesis is based on the following articles. They can be found in appendices (I-V).

I Räsänen, M., Summala, H., & Pasanen, E. (1998). The safety effect of sight obstacles and road markings at bicycle crossings. *Traffic Engineering + Control* 39(2), 98-102.

II Räsänen, M. & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis & Prevention* 30(5), 657-666.

III Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M. & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers visual search at bicycle crossings. *Accident Analysis & Prevention* 28(2), 147-153.

IV Räsänen, M. & Summala, H. (2000). Car drivers' adjustments to cyclists at roundabouts. *Transportation Human Factors* 2(1), 1-17.

V Räsänen, M., Koivisto, I. & Summala, H. (1999). Car driver and bicyclist behavior at bicycle crossings under different priority regulations. *Journal of Safety Research* 30(1), 67-77.

## KIITOKSET

Tämä tutkimus tehtiin Helsingin yliopiston psykologian laitoksen liikennetutkimusyksikössä. Haluan kiittää liikennepsykologian professoria Heikki Summalaa innostavasta ja kärsivällisestä työni ohjaamisesta. Hänen syvällisen tietämyksensä avulla monen tekijän laajempi yhteys hahmottui uudella tavalla.

Väitöskirjani lähti liikkeelle yhteisistä tutkimuksistamme tekniikan tohtori Eero Pasasen kanssa, joka toimii tutkijana Helsingin kaupungin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosastossa. Eero Pasasen idearikkaudesta oli monta kertaa apua tutkimusongelmia ratkaistaessa. Ilkka Koivisto ja Jukka Sievänen ansaitsevat kiitokset osuudestaan tutkimuksissa.

Haluan myös kiittää kaikkia liikennetutkimusyksikön työtovereita, jotka joutuivat tavalla tai toisella osallistumaan eri projekteihini. Timo Lajusen, Jyrki Kaistisen ja David Lamblen tuki auttoi usein hankalien vaiheiden yli. Erityiset kiitokset ansaitsevat myös Samu Toiviainen, Matti Laakso ja Jaakko Haapasalo, joiden ansiosta moni tutkimus saatiin nopeammin tehtyä. Työtoverini liikennetutkimusyksikössä takasivat myös sen, että tutkimusten tekeminen oli yleensä hauskaa.

Tämä tutkimus syntyi monen eri projektin tuloksena. Niiden kautta työtäni tukivat erityisesti Liikennevakuutuskeskuksen liikenneturvallisuusjohtaja Lasse Hantula, Liikenneturvan entinen toimitusjohtaja Valde Mikkonen ja tutkimuspäällikkö Sirpa Rajalin.

Suunnittelumaantieteen professori Mauno Kosonen antoi minun jo perustutkintovaiheessa perehtyä maantieteelle hieman vieraaseen polkupyöräliikenteeseen ja hänen tukensa jälleen työni loppumetreillä edesauttoi työni valmistumista.

Suuret kiitokset kuuluvat myös vaimolleni Minnalle ja tyttärelleni Vilmalle, jotka ymmärsivät niin usein joko fyysisesti tai henkisesti poissaolevaa tutkijaa.

Suurin osa tutkimuksista tehtiin liikenneministeriön rahoituksella. Antti ja Jenny Wihurin rahasto ja Liikennevakuutuskeskus ovat tukeneet tätä tutkimusta apurahoilla.

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO</b>	<b>1</b>
1.1 Pyörätien jatkeen ominaisuuksien vaikutus turvallisuuteen .....	2
1.2 Liikenneonnettomuuksien tutkiminen .....	4
1.3 Autoilijoiden tarkkaavaisuus liittymissä.....	8
1.4 Väistämissäännöt pyörätien jatkeella.....	9
1.5 Pyöräilijöiden ominaisuuksia.....	10
1.6 Tutkimuksen tarkoitus .....	11
<b>2. PYÖRÄILIJÖIDEN JA AUTOILIJOIDEN VÄLISET ONNETTOMUUSTYYPIT (I JA II)</b>	<b>13</b>
2.1 Aineistot.....	13
2.2 Onnettomuustyyppijakauma .....	14
2.3 Tien vasenta puolta ajavat pyöräilijät .....	15
<b>3. NÄKEMÄT ONNETTOMUUSPAIKOILLA (I)</b>	<b>16</b>
3.1 Eri näkemien vertailu .....	16
3.2 Näkemät eri onnettomuustyypeissä .....	17
3.3 Näkemäesteiden merkitys .....	17
<b>4. KÄYTTÄYTYMINEN ONNETTOMUUSTILANTEISSA (II)</b>	<b>18</b>
4.1 Tutkijalautakuntamenetelmä.....	18
4.2 Osallisten toiminta eri onnettomuustyypeissä .....	19
4.3 Onnettomuuspaikka ja käyttäytyminen .....	22
<b>5. TIENKÄYTTÄJIEN KÄYTTÄYTYMISEN TUTKIMUKSET VIDEOKUVAUSMENETELMÄLLÄ (I, III, IV, V)</b>	<b>23</b>
5.1 Videokuvaukset pyörätien jatkeilla .....	23
5.2 Päänliikkeet, nopeus ja väistämistilanteet .....	24
<b>6. AUTONKULJETTAJIEN TARKKAVAISUUDEN SUUNTAUTUMINEN LIITTYMÄÄ LÄHESTYTTÄESSÄ (III)</b>	<b>25</b>
6.1 Kuvatun aineiston analyysi.....	25

6.2 Vasemmalle ja oikealle katsoneiden autonkuljettajien osuudet .....	26
6.3 Autoilijoiden tarkkaavaisuuden suuntautuminen muihin autoihin .....	26
<b>7. PYÖRÄTIEN JATKEIDEN TURVALLISUUDEN PARANTAMINEN LIIKENNEYMPÄRISTÖÄ MUUTTAMALLA (I JA III)</b>	<b>27</b>
7.1 Tutkitut toimenpiteet.....	27
7.2 Nopeudet ja päänliikkeet liikenneympäristön muutosten jälkeen .....	28
7.3 Pyörätien jatkeen ominaisuudet ja autoilijoiden käyttäytyminen .....	29
<b>8. KIERTOLIITTYMÄT PYÖRÄILYN TURVALLISUUDEN KANNALTA (IV)</b>	<b>30</b>
8.1 Tutkitut kiertoliittymät.....	30
8.2 Lähestymisnopeudet, päänliikkeet ja väistäminen erilaisissa liikennetilanteissa .....	33
8.3 Kuljettajien käyttäytyminen ja kiertoliittymän mitoitus .....	36
<b>9. VÄISTÄMISSÄÄNTÖJEN MUUTTAMINEN PYÖRÄTIEN JA AJORADAN RISTEÄMISKOHDASSA (V)</b>	<b>38</b>
9.1 Ennen-jälkeen mittaukset pyörätien jatkeilla.....	38
9.2 Lähestymisnopeudet, pyöräilijöiden päänliikkeet ja väistäminen erilaisissa pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa .....	39
9.3 Haastattelut ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen .....	41
9.4 Tienkäyttäjien tietämys liikennesäännöistä .....	41
9.5 Väistämissäännöt pyöräilyn turvallisuudessa .....	42
<b>10. JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>45</b>
10.1 Liikenneonnettomuuksien tutkiminen ja menetelmien kehittäminen .....	45
10.2 Onnettomuudet kaksisuuntaisilla pyöriteillä ja näkemät .....	47
10.3 Osallisten käyttäytyminen ja ominaisuudet onnettomuustilanteen mukaan .....	48
10.4 Liikenneympäristön ja -sääntöjen yhteensovittaminen .....	50
<b>11. YHTEENVETO</b>	<b>54</b>
<b>12. SUMMARY</b>	<b>56</b>
<b>13. LÄHTEET</b>	<b>58</b>





## 1. JOHDANTO

Suomessa on 1990-luvulla kuollut keskimäärin 70 pyöräilijää vuodessa. Pyöräilijöiden osuus poliisin tietoon tulleista liikenteessä loukkaantuneista ja kuolleista on ollut 14 %. Sairaalatilastojen mukaan polkupyöräonnettomuuksissa loukkaantuu puolet kaikista liikenteessä loukkaantuneista Suomessa eli noin 30 000 henkilöä vuodessa (Olkkonen, 1993). Näistä suurin ryhmä on pyöräilijöiden yksittäisonnettomuudet. Pyöräilijän ja auton välisissä törmäyksissä seuraukset ovat kuitenkin yleensä vakavammat kuin yksittäisonnettomuuksissa: 80 % pyöräilijöiden kuolemista aiheutuu moottoriajoneuvojen ja pyöräilijöiden välisistä onnettomuuksista. Kaikista henkilövahinkoon johtaneista polkupyöräonnettomuuksista lähes 70 % sattuu liittymissä (3680/5485, Tilastokeskuksen tietokanta poliisin tietoon tulleista onnettomuuksista 1995 – 1998). Onnettomuudet ilmentävät ongelmia liikenneympäristön suunnittelussa, lainsäädännössä sekä pyöräilijöiden ja moottoriajoneuvonkuljettajien liikennekäyttäytymisessä. Pyöräilyn määrää halutaan lisätä sen monien hyvien ominaisuuksien takia (Liikenneministeriö, 1993). Tällöin tarvitaan yhä enemmän tietoa pyöräilyn turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä, jotta onnettomuuksien määrä ei samalla lisääntyisi ja niitä pystyttäisiin jopa vähentämään.

Pyöräteiden rakentamisen yksi peruste on turvallisten pyöräilyreittien muodostaminen. Ajouradasta erotetut pyörätiet vähentävät autoilijoiden ja pyöräilijöiden konflikteja linjaosuuksilla, mutta ongelmat syntyvät liittymissä pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa eli pyörätien jatkeilla. Vakavimmat polkupyöräonnettomuudet tapahtuvat liittymissä törmäyksissä moottoriajoneuvojen kanssa (Gärder, Leden & Thedeen, 1994). Henkilövahinkoon johtaneista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä liittymäonnettomuuksista yli 60 % tapahtuu pyöräteiden jatkeilla ja yli 90 % taajamissa (Tilastokeskuksen tietokanta 1995 – 1998). Yksittäisen pyöräilijän riski joutua onnettomuuteen suhteessa liittymän läpi ajavien pyöräilijöiden määrään kasvaa moottoriajoneuvoliikenteen määrän lisääntyessä, mutta pienenee pyöräilijöiden määrän kasvaessa (Brüde & Larsson, 1993). Kuitenkin pyöräilyn määrän lisääntyminen lisää onnettomuuksien kokonaismäärää, jos ei tehdä toimenpiteitä niiden estämiseksi. Yhtenäisen pyörätieverkon rakentamista pidetään hyvänä keinona edistää pyöräilyä, joten pyörätien jatkeiden merkitys pyöräilyn turvallisuudelle kasvaa entisestään.

### 1.1 Pyörätien jatkeen ominaisuuksien vaikutus turvallisuuteen

Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu erilaisia tekijöitä liikenneympäristössä, jotka vaikuttavat pyörätien ja ajoradan risteämiskohtien turvallisuuteen. Pyörätien jatkeen etäisyys samansuuntaisesta ajoradasta on olennainen pyöräilyn turvallisuuden liittymissä vaikuttava tekijä. Turvallisuuden parantuminen, joka saavutetaan pyöräteiden rakentamisella linjaosuuksille, menetetään helposti pyörätien jatkeen väärällä sijoittamisella liittymissä. (Leden, 1989). On jopa havaittu, että pyöräteiden lopettaminen ennen valo-ohjattua liittymää ja niiden jatkaminen pyöräkaistana on turvallinen ratkaisu (Linderholm, 1992; Gårder ym., 1994; Agústsson, 1994). Se soveltuu kuitenkin vain yksisuuntaisille pyöräteille.

Ns. pyöräilymaissa Alankomaissa ja Tanskassa suositetaan pääasiassa yksisuuntaisia pyöräkaistoja tai -teitä. Suomessa taas rakennetaan yleensä kaksisuuntaisia pyöräteitä. Suomessa kuolee lähes saman verran pyöräilijöitä vuosittain kuin Tanskassa, jossa pyöräillään kuitenkin noin neljä kertaa enemmän (Räsänen, 1995). Kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa pyöräilijä on tosin useammin ajoradalla kuin pyörätien jatkeella (Räsänen 1997). Loukkaantumiseen johtaneitten onnettomuuksien osalta ei ole saatavilla vertailukelpoisia tietoja eri maista. Ajaessaan kaksisuuntaisella pyörätiellä autoliikennevirtaa vastaan tien vasemmalla puolella pyöräilijällä on suurempi riski joutua onnettomuuteen liittymässä kuin oikealla puolella ajavalla (Schnüll ym., 1992; Wachtel & Lewiston, 1994; Kvambe 1998). Yksityiskohtainen analyysi autojen ja polkupyörien välisistä onnettomuuksista USA:ssa osoitti myös, että suurimmassa osassa onnettomuuksista pyöräilijä ajoi tien vasenta puolta (Hunter, Pein & Stutts, 1995). Voidaankin todeta, että erityisesti kaksisuuntaisen pyörätien jatkeen suunnittelussa korostuvat turvallisuustekijät.

Tutkimalla onnettomuusliittymien ominaisuuksia saadaan tietoa tekijöistä, jotka mahdollisesti lisäävät tietyn tyyppisten onnettomuuksien riskiä. Onnettomuusriskin voisi olettaa suuremmaksi liittymässä, jossa on rajoitetut näkemät koska tienkäyttäjät eivät voi havaita toisiaan niin helposti kuin avoimessa liittymässä. Hyvät näkemät eivät kuitenkaan takaa turvallisuutta. Kulmala (1995) osoitti, että maaseutuliittymissä hyvät näkemät saattavat jopa lisätä autojen välisten onnettomuuksien riskiä. Toisen osapuolen havainnointi- ja arviointivirheet ovat ilmeisesti yleisempiä hyvissä näkemäolosuhteissa, kun taas huonot näkemät saavat tienkäyttäjät hidastamaan vauhtia ja kiinnittämään enemmän huomiota liikenteeseen päätiellä. Hensonin ja Whelanin (1992) tulokset pyöräilijöiden ja autoilijoiden törmäyksistä katuverkolla ovat myös samansuuntaisia. Heidän aineistossaan hyvät näkemät T-

liittymissä liittyivät suuremmalla todennäköisyydellä polkupyöräonnettomuuksiin, kun pyöräilijä ajoi ajoradalla. Liittymän mitoituksella voidaan kuitenkin olettaa olevan suuri merkitys siihen, kuinka näkemät vaikuttavat turvallisuuteen. Ajoradalla ajavaan pyöräilijään verrattuna tilanne on varsin erilainen, kun kaksisuuntainen pyörätie risteää ajoradan kanssa. Pyöräilijä voi ajaa risteämiskohtaan autoilijan näkökulmasta sekä vasemmalta että oikealta.

#### *Kiertoliittymien vaikutus pyöräilyn turvallisuuteen*

Suomessa on tällä hetkellä noin 150 kiertoliittymää ja uusia rakennetaan kymmeniä vuodessa. Useat tutkimukset osoittavat, että uudenaikaiset kiertoliittymät, joissa ympyrään saapuvalla liikenteellä on väistämisvelvollisuus, parantavat merkittävästi autoilijoiden turvallisuutta verrattuna muihin tasoliittymiin. Kiertoliittymien vaikutus pyöräilyn turvallisuuteen on kuitenkin epäselvä tai jopa negatiivinen: kiertoliittymien rakentaminen ei ole aina vähentänyt pyöräilijöiden onnettomuuksia vaan joskus jopa lisännyt niitä. (Alphand, Noelle & Guichet, 1991; Brilon, Stuwe & Drews, 1993; Giaever, 1993; Vejdirektoratet, 1994; Balsiger, 1995). Britanniassa pyöräilijöiden onnettomuusaste kiertoliittymissä oli jopa 15 kertaa suurempi kuin autojen ja 2 - 3 kertaa suurempi kuin pyöräilijöiden onnettomuusaste valo-ohjatuissa liittymissä (Allot & Lomax, 1991). Kiertoliittymän mitoituksella näyttää olevan suuri merkitys pyöräilyn turvallisuuteen. Alankomaalaisten tutkimustulosten perusteella kiertoliittymät, joissa on yksi kaista, taivutetut sisääntuloväylät ja keskisaarekkeen koko noin 30 m, voivat olla turvallisia myös pyöräilijöille (Schoon & van Minnen 1994).

Polkupyöräliikenne voidaan ohjata kiertoliittymässä ajoradalle, pyöräkaistalle tai erilliselle pyörätielle (Schoon & van Minnen, 1994). Lisäksi voidaan käyttää valo-ohjausta. Schoon ja van Minnen (1994) päättelivät, että erillinen pyörätie oli turvallisempi kun moottoriajoneuvoliikenteen määrä oli yli 8000 päivässä. Tavallisen liittymän muuttaminen kiertoliittymäksi, jossa on pyörätiet, vähensi myös uhrien määrää. Useissa tutkimuksissa on suositeltu erillisiä pyöräteitä kiertoliittymiin (Brilon, ym. 1993; Brude & Larsson, 1996, 1999; van Minnen, 1995; Bergh, 1997; TRB, 1998). Tanskalaisessa tutkimuksessa (Vejdirektoratet, 1994) ei sen sijaan havaittu turvallisuuseroja erillisen pyörätien tai pyöräkaistan välillä tai suhteessa tilanteeseen missä kiertoliittymässä ei ole mitään pyöräliikennejärjestelyitä. Muutama vuosi myöhemmin Tanskan Tielaitos totesi yhä (Vejdirektoratet, 1998), ettei nykyinen liikenneturvallisuustietämys ole riittävä turvallisen polkupyöräliikennejärjestelyn valitsemiseksi kiertoliittymässä (katso myös Layfield & Maycock, 1986; Allot & Lomax, 1991; Brilon ym., 1993; Brude & Larsson, 1996.)

Kiertoliittymien turvallisuusongelmat aiheutuvat usein autojen liian suuresta nopeudesta kiertoliittymässä tai sitä lähestyttäessä (Brown, 1995). Englannissa toteutetussa tutkimuksessa Maycock ja Hall (1984) osoittivat, että yleisin polkupyöräonnettomuustyyppi kiertoliittymissä oli lähestyvän auton ja jo kiertoliittymässä kiertävän pyöräilijän välinen törmäys (katso myös Jordan, 1985; Thompson ym., 1990; Alphanth ym., 1991; Jörgensen, 1991; Vejdirektoratet, 1994). Onnettomuuskiertoliittymissä oli usein liian loiva liittymäkaarresäde ja leveä sisääntuloväylä, koska ne mahdollistavat suuret lähestymisnopeudet (Maycock & Hall, 1984). Britannian kiertoliittymissä on usein kaksi tai useampia lähestymiskaistoja kapasiteetin kasvattamiseksi, mikä saattaa osaltaan selittää miksi pyöräilyn onnettomuusriski kiertoliittymissä on suurempi Britanniassa kuin Alankomaissa (katso Davies, Taylor, Ryley & Halliday, 1997).

Edellä kuvattujen pyöräilyn onnettomuusriskiä lisäävien tekijöiden avulla ei kuitenkaan usein voida ymmärtää onnettomuuden syntyyn johtaneita tekijöitä. Niiden selittämiseksi on tarpeellista tutkia liikenneympäristön, osallisen ajotehtävän ja ominaisuuksien yhteyksiä oikeissa onnettomuustilanteissa.

## **1.2 Liikenneonnettomuuksien tutkiminen**

Perinteisesti onnettomuuksia on vähennetty merkitsemällä onnettomuuspaikka kartalle ja kohdistamalla ennalta ehkäisevät toimenpiteet paikkoihin, joihin onnettomuudet kasautuvat. Tällaisen onnettomuuksien "musta piste" -analyysin vaarana kuitenkin on turvallisuutta parantavien toimenpiteiden kohdistuminen satunnaisesti (Hauer, 1986), esimerkiksi Helsingin polkupyöräonnettomuuksista vuosina 1989 - 1993 (n=756) vain 20 % sattui samoissa liittymissä kuin vuosina 1994 - 1998 (n=714, Helsingin kaupungin tietokanta poliisin tietoon tulleista onnettomuuksista). Lisäksi "musta piste" -analyysi ei selvitä onnettomuuksiin johtaneita tekijöitä.

Onnettomuustilanteen analyysin avulla saadaan tarkempaa tietoa onnettomuuden syntyyn vaikuttaneista tekijöistä. Tällainen tarkastelu perustuu tarkkaan onnettomuuksien luokitteluun tapahtumapaikan ja osallisten kulkusuuntien mukaan sekä niiden taustalla olevien riskitekijöiden ja -kasaumien etsimiseen. Onnettomuuksien riskitekijöitä etsitään onnettomuustyyppin mukaan, jolloin niiden merkitys voidaan nähdä selvemmin kun tiedetään

millaisessa tilanteessa ne mahdollisesti vaikuttivat. Tarkasteltavia tekijöitä ovat mm. liikenneympäristön ja osallisten ominaisuudet. Tämän tutkimuksen lähtökohta on maantieteellinen, jolloin tapahtumapaikalla on olennainen merkitys asian tutkimisessa (Schulman, 1998). Tässä tutkimuksessa maantieteellinen lähestymistapa tarkoittaa pyörätien ja ajoradan risteämiskohtien onnettomuuksien syntyyn vaikuttaneiden tekijöiden tutkimista.

#### *Liikenneonnettomuustutkimus maantieteessä*

Whitelegg (1987) tuo esiin artikkelissaan ”A geography of road traffic accidents” kuinka vähän maantieteessä tieliikenneonnettomuuksia on tutkittu, vaikka niiden synty voidaan osaltaan nähdä tilaan ja aikaan sidottuna, maantieteellisistä tekijöistä johdettavana ilmiönä. Whiteleggin mukaan maantieteellinen eri aluetasot huomioiva ajattelu kaupunkisuunnittelussa voisi vähentää erityisesti jalankulun ja myös pyöräilyn onnettomuuksia. Se tarkoittaa asuntoalueiden suunnittelua lasten ja vanhusten ehdoilla, suurien liikennevirtojen ohjaamista kaupunkirakenteen kannalta vähiten haittaaviin kohtiin, toimivan julkisen liikenteen systeemin järjestämistä ja kevyen liikenteen huomioon ottamista toimintojen sijainnin suunnittelussa.

Maantieteessä pyöräily ja sen turvallisuuskysymykset ovat kuitenkin nousseet esille lähinnä kestävä kehityksen teemojen yhteydessä. Polkupyöräliikenteen lisääminen on nähty yhtenä keinona edistää kestävä kehityksen mukaista liikennettä. Perustavaa laatua oleva kysymys pyöräilyn edistämisessä ja kestävä kehityksen mukaisessa kaupunkiliikenteessä on kaupunkirakenteen suunnittelu. Kaupunkirakenteen hajautuessa autoilu lisääntyy. Sen sijaan tiiviimpi kaupunkirakenne edistää pyöräilyä ja jalankulkua. Pyöräilyn onnettomuusalttiuden on todettu olevan ongelma. Turvallisuuskysymyksiä ratkaisemiseksi ja pyöräilyn lisäämiseksi on ehdotettu liikenneympäristön rakentamista kevyen liikenteen ehdoilla. Tästä ehkä parhaana esimerkkinä liikenteen rauhoittamisperiaate (traffic calming). (Katso esim. Holzapfel 1988; Tolley 1990; McClintock 1992). Laajemmin ajatellen kyse on liikennepolitiikasta: miten autottomille ihmisille pystytään takaamaan mahdollisuus liikkua turvallisesti ja suhteellisen nopeasti paikasta toiseen kaupungeissa (Hägerstrand 1974; Hall 1981) ja myös autoilijoille vaihtoehto (Noland & Kunreuther 1995). Kestävä kehitys liikenteessä on ollut esillä maantieteessä 1990-luvun jälkipuoliskollakin, siitä kertovat liikennemaantieteen alan kansainvälisen pääjulkaisun Journal of Transport Geographyn aihetta käsittelevät artikkelit (Black 1996; Greene & Wegener 1997; Lucas 1998; Hanson 1998), joissa todetaan edelleen, että nykyinen liikenne ei ole kestävä, mutta painotus on

julkisen liikenteen ja uuden teknologian hyväksikäytössä kestävä kehityksen luomisessa. Black (1998) esitti teoksessa ”Modern Transport Geography” myös epäilyjä siitä, kuinka suuri rooli pyöräilyllä todellisuudessa voisi olla kestävä kehityksen mukaisessa liikenteessä. Hän viittasi pyöräilyn kausivaihteluun, pyörän käytön muihin rajoituksiin ja onnettomuusalttiuteen. Toisessa liikennemaantieteen oppikirjassa (Taaffe, Gauthier & O’Kelly 1996) pyöräily mainitaan lyhyesti liikenteen historian yhteydessä, ja pääpaino on erilaisten liikennevirtojen mallintamisessa ja niiden vaikutusten tutkimisessa.

Maantieteellinen lähestymistapa liikenneonnettomuustutkimuksessa näkyy 1990 -luvulla ehkä parhaiten alueen tai asuinpaikan ominaisuuksien vaikutusten tutkimisessa onnettomuuksien taustalla, vaikka tekijöinä eivät yleensä ole olleet maantieteilijät (Stern & Zehavi 1990; Preston 1991; Baker, Waller & Langlois 1991; Williams, Lloyd & Dunbar 1991; Edwards 1996; Abdalla, Raeside, Barker & McGuigan 1997; Blatt & Furman 1998; Baum 1999). Pyöräilyyn liittyen Welander, Ekman, Savanström, Schelp & Karlsson (1999) vertailivat Ruotsin läntisen tiehallintoalueen eri läänien pyöräilijöiden vammoja. Maaseutumaisella alueella pyöräilijöiden vammautumisriski oli suurempi kuin muualla, joka johtui luultavasti autojen suuremmista nopeuksista.

Paikkatietojärjestelmien kehitys on synnyttänyt uusia mahdollisuuksia liikenneonnettomuuksien tutkimukseen (Ārtanc, Fajfar, Kastelic & Źura 1993; Jones 1993; Peled & Hakkert 1993; Austin 1995; Kim, Levine & Nitz 1995; Stevenson, Brewer & Lee 1998), mutta siinäkin maantieteilijöiden edustus on ollut vähäistä. Paikkatietojärjestelmiä on käytetty hyväksi ainakin kolmessa pyöräilyä käsittelevässä tutkimuksessa. Möller-Jensen (1998) käsitteli pyöräilyn turvallisuutta tutkimuksessa, jossa pyrittiin optimoimaan koulupiirejä käyttäen hyväksi paikkatietojärjestelmää. Siinä oletettiin kuitenkin kullekin kevyen liikenteen järjestelylle sama riskitaso ottamatta huomioon esimerkiksi liittymien mitoituksen eroja. Aultman-Hall & Hall (1998) ja Aultman-Hall & Kaltenecker (1999) pystyivät haastatteluiden ja paikkatietojärjestelmän avulla arvioimaan pyöräilijöiden altistusta ja onnettomuuksia eri liikennejärjestelyissä, ja tulokset osoittivat että loukkaantumisaste oli alhaisempi ajoradoilla kuin ajoradoista kokonaan erillisillä pyöräteillä ja jalkakäytävillä. Tutkimuksen kohteena olivat tosin työmatkapyöräilijät, joten tulosten yleistämisessä koskemaan kaikkia pyöräilijöitä on suhtauduttava varauksella. Suomessa tielaitos on siirtynyt käyttämään paikkatietojärjestelmää yleisillä teillä sattuneiden onnettomuuksien tallentamisessa, joista puuttuu siis suurin osa taajamien liikenneonnettomuuksista.

Tilastokeskuksen aineisto poliisin tietoon tulleista tieliikenneonnettomuuksista ei ole paikkatietojärjestelmässä.

#### *Onnettomuudesta tilastoon*

Onnettomuuskäsite sisältää itsessään sen, että osalliset ovat menettäneet tilanteen hallinnan. Onnettomuus johtuu usein tarkkaavaisuuden suuntautumisesta väärään kohteeseen tai havaintovirheestä (Shinar 1978; Summala 1988; Rumar 1990). Liikennetilanteen hallinta on kuitenkin vuorovaikutteista. Tieliikennelain suora tulkinta (on pystyttävä aina pysähtymään näkyvässä olevalla tien osalla) tarkoittaa, että törmäyksessä molemmat osapuolet epäonnistuivat tilanteen hallinnassa (esim. the British Highway Code, §57; Suomen Tieliikennelaki §23). Tilanteen hallinnan menetyksen ymmärtämiseksi autoilijoiden ja pyöräilijöiden käyttäytymistä on tutkittava myös normaalissa liikennevirrassa suhteessa tienkäyttäjän tehtävään ko. liikennetilanteessa. Autonkuljettajilla voi esimerkiksi olla liittymää lähestyessään opittuja ajorutiineja, jotka eivät ota tarpeeksi huomioon pyöräilijöitä. Pyöräilijät voivat puolestaan tulkita auton nopeuden hidastumisen väistämisaikomukseksi. Yhdistämällä onnettomuustilanneanalyysi tiellä liikkujien käyttäytymisen seurantaan voidaan ymmärtää tekijöitä, jotka aiheuttavat riskitilanteita ja onnettomuuksia (Summala, 1996). Tällä tavalla liikennetilanteiden, -sääntöjen, -ympäristön ominaisuuksien ja tiellä liikkujien käyttäytymisen väliset suhteet paljastuvat paremmin kuin pelkästään yksittäisiä onnettomuuksia erikseen tutkimalla.

Pyöräilijöiden ja autoilijöiden välisten onnettomuuksien tutkiminen pelkästään virallisten tilastojen perusteella ei anna tarpeeksi tarkkaa kuvaa onnettomuuspaikoista ja -tilanteista (Stutts, Williamson, Whitley & Sheldon, 1990; Thom & Clayton, 1993; Liikenneministeriö, 1995). Viralliset poliisin tietoon tulleisiin onnettomuuksiin perustuvat tilastot ovat varsin puutteellisia monien tärkeiden muuttujien osalta (Thom & Clayton, 1993). Vakavin puute polkupyöräonnettomuuksien tutkimisen kannalta Suomessa on se, että osallisten kulkusuuntia onnettomuuspaikassa ei saada tarkasti selville tilastoista. Onnettomuuteen johtaneiden tekijöiden ymmärtämisen kannalta osallisten todellisen liikennetilanteen analysointi on kuitenkin välttämätöntä. Sairaalatilastoista voitaisiin saada tarkempi kuva polkupyöräonnettomuuksien koko kirjosta, mutta ne sisältävät vielä vähemmän taustatietoja polkupyöräonnettomuuksien estämiskeinojen löytämiseksi (Stutts ym., 1990). Suomessa on kuitenkin mahdollista saada liikennevahinkojen tutkijalautakuntien tutkimien onnettomuuksien perusteella tarkka kuva onnettomuustilanteista ja hyvin yksityiskohtaista



tietoa onnettomuuksiin johtaneista tekijöistä (Hantula, 1987; 1989; 1992). Lisäksi poliisien kuulustelupöytäkirjojen kuvausten ja piirrosten perusteella pystytään rekonstruoimaan osallisten kulkusuunnat ja tapahtumapaikka melko tarkasti.

### **1.3 Autoilijoiden tarkkaavaisuus liittymissä**

Autonkuljettajien käyttäytymisen tutkimuksessa tarkkaavaisuuteen liittyvät tekijät ovat olleet tärkeitä selittäjiä (Ranney, 1994). Perusongelmia autoilijoiden ja pyöräilijöiden onnettomuuksissa ovat ilmeisesti kuljettajien tarkkaavaisuuden suuntautuminen ja odotukset liittymää lähestyttäessä. Kuljettajat keskittävät tarkkaavaisuutensa niihin tien ja liikennenympäristön osiin, joita he pitävät uhkaavimpina (Näätänen & Summala, 1976; Fuller, 1984; Singleton, 1991), tai missä he odottavat merkityksellisten kohteiden sijaitsevan (Shinar, 1978; Summala, 1998; Rumar, 1990; Theeuwes & Hagenzieker, 1993; Theeuwes, 1996). Liittymää lähestyvät autoilijat eivät esimerkiksi huomaa kiertoliittymissä olevia pyöräilijöitä, koska autoilijat katsovat ilmeisesti muita autoja eivätkä pyöräilijöitä (Allot & Lomax, 1991; Vejdirektoratet, 1994). Liikennetilanteella liittymässä on oletettavasti myös suuri vaikutus siihen, havaitsevatko autoilijat pyöräilijän. Lisäksi ajonopeus on luultavasti olennainen tarkkaavaisuutta säätelevä tekijä: mitä suurempi nopeus, sitä vähemmän autonkuljettajalla on aikaa havaita kooltaan pienempiä tienkäyttäjiä kuten pyöräilijöitä. Suurempi ajonopeus ja sen myötä suurempi törmäysnopeus aiheuttaa myös vakavammat vammat (Pasanen, 1991).

Alustavien poliisin kuulustelupöytäkirjojen ja tutkijalautakunta-aineiston tarkastelun (Pasanen 1992; Räsänen, 1994) perusteella näyttää siltä, että yleisin polkupyörien ja autojen välinen onnettomuustyyppi on törmäys liittymää sivutieltä lähestyvän, oikealle kääntymässä olevan autoilijan ja oikealta pyörätieltä saapuvan pyöräilijän välillä. Liittymässä oikealle ja vasemmalle kääntyvän autoilijan tehtävä on erilainen. Autoilijan kääntyessä vasemmalle hänen on oltava tietoinen sekä vasemmalta että oikealta tulevista moottoriajoneuvoista. Oikealle kääntyessään autoilijalla on kuitenkin risteävä ajoura vain vasemmalta tulevien ajoneuvojen kanssa. Voidaan olettaa, että oikealle kääntyvät autoilijat eivät huomaa oikealta tulevia pyöräilijöitä, koska he seuraavat pääasiassa vasemmalta tulevaa liikennettä. Vasemmalle kääntyvien autoilijoiden on puolestaan seurattava sekä vasemmalta että oikealta tulevia ajoneuvoja, jolloin he havaitsevat myös helpommin oikealta tulevat pyöräilijät.

#### **1.4 Väistämissäännöt pyörätien jatkeella**

Wienin sopimuksen mukaan (1968, vahvistettu 1993) kaiken vasemmalta tulevan liikenteen pitäisi väistää oikealta tulevaa liikennettä, ellei liikennemerkein toisin osoiteta. Suomen tieliikennelaki muuttui kuitenkin 1.6.1997 liikenneturvallisuuden parantamiseksi siten, että pyöräilijöiden on tullessaan pyörätieltä ajoradalle väistettävä kaikkea liikennettä ellei liikennemerkein toisin osoiteta. Tähän sääntöön on yksi poikkeus: jos ajoneuvonkuljettaja kääntyy samasta tai vastakkaisesta suunnasta pyörätieltä tulevaan pyöräilijän nähden, niin ajoneuvonkuljettajan on edelleen väistettävä pyöräilijää. Lisäksi pyöräilijän ajaessa ajoradalla hänellä on edelleen samat oikeudet ja velvollisuudet kuin muilla ajoneuvonkuljettajilla.

Lain muutoksen perustelut käsittelivät tienkäyttäjiä ja liikenneympäristöä suhteessa vanhaan ja uuteen lakiin. Oikean käden sääntö pyörätien jatkeilla oli huonosti tunnettu tienkäyttäjien keskuudessa. Se oli erityisen hankala lapsille, joilla on vaikeuksia erottaa oikeaa ja vasenta. Pyörätien jatkeiden sijainti ja merkintä vaihtelivat niin paljon, että oli usein mahdotonta tulkita milloin pyöräilijä oli tulossa oikealta ja milloin ei. Suomessa yleiset kaksisuuntaiset pyörätiet lisäsivät epäselvyyttä. Uusi sääntö on yksiselitteinen sekä lähempänä Ruotsin ja Norjan sääntöjä. Näissä maissa on myös parempi pyöräilijöiden turvallisuustaso kuin Suomessa (Hallituksen esitys Eduskunnalle tieliikennelain muuttamiseksi 19.12.1996).

Tilanne ei ole kuitenkaan aivan selvä Norjassa ja Ruotsissa. Tieliikennelain arviointityö päättyi Norjassa 1.4.1998 tulokseen, että etuajo-oikeussääntöjä ei muuteta. Norjassa pyöräilijöiden on väistettävä kaikissa tilanteissa pyörätien jatkeilla ja sielläkin autonkuljettajien tietämys poikkeaa huomattavasti tieliikennelaista (Sagberg & Borger Mysen, 1996). Onnettomuuksiin joutuneet ruotsalaiset pyöräilijät totesivat myös, että autonkuljettajan liikennesääntöjen kunnioituksen puute oli onnettomuuden pääsyy (Eilert-Petersson & Schelp, 1997). Ruotsissa pyöräilijän on väistettävä muita tullessaan pyörätieltä ajoradalle. Autonkuljettajan on puolestaan sovitettava nopeutensa siten, että hän ei vaaranna pyörätien jatkeella tai sitä lähestymässä olevan pyöräilijän turvallisuutta. Tilanteen niin vaatiessa autoilijan on pysähdyttävä väistääkseen pyöräilijää. Alankomaalaisten tulosten mukaan (Top & Timmermans, 1988; Janssen ym., 1988) pyöräilijöiden ja autoilijoiden käyttäytyminen liittymissä on useammin muodollisesti oikein liittymissä, joissa väistämisvelvollisuus on osoitettu liikenteen ohjausmerkein kuin joissa sitä ei ole osoitettu. Alankomaissa yleisen väistämissäännön mukaan pyöräilijöiden on väistettävä kaikkia muita ajoneuvoja ellei kulkujärjestystä ole liikenteen ohjausmerkein toisin osoitettu.

### *Väistämissäännöt kiertoliittymissä*

Väistämissäännöt voivat osaltaan selittää myös Alankomaiden kiertoliittymien hyvää turvallisuustasoa. Alankomaiden käytännön mukaan pyöräilijöiden on yleensä väistettävä moottoriajoneuvoliikennettä kiertoliittymissä, joissa on pyörätiet (Schoon & van Minnen, 1994). On havaittu, että kiertoliittymissä, joissa pyöräilijöillä on etuajo-oikeus sattuu enemmän onnettomuuksia kuin niissä, joissa pyöräilijällä on väistämisvelvollisuus (van Minnen 1994; 1995). Jos autoilija on väistämisvelvollinen niin pyöräilijän onnettomuusriski nousee liikennemäärän ja liittymäkaarresäteen kasvaessa (Alphand ym., 1991). Pyöräilijän etuajo-oikeus tulee vielä ongelmallisemmaksi, jos pyörätietä voidaan ajaa kahteen suuntaan. Saksalaisen tutkimuksen suositus olikin rakentaa ne yksisuuntaisiksi kiertoliittymissä (Brilon ym., 1993). Myös Alankomaiden ja Tanskan ohjeet suosittelevat, että kaksisuuntaisilla pyöräteillä kiertoliittymissä pyöräilijöiden tulisi olla väistämisvelvollisia (CROW, 1993; Vejdirektoratet, 1998).

### **1.5 Pyöräilijöiden ominaisuuksia**

Pyöräilijät ovat taidoiltaan ja tiedoiltaan ajoneuvon kuljettajista heterogeenisin ryhmä, jolloin liikennesääntöjen osaaminen vaihtelee vielä enemmän kuin autonkuljettajilla. Nuorten ja vanhojen pyöräilijöiden loukkaantumiseriski on suurin, kun huomioidaan altistus (Maring & Schagen, 1990; Gårder ym., 1994). Maring ja Schagen (1990) korostivat, että ikä sinänsä ei ole syytekijä onnettomuuksille vaan kognitiiviset kyvyt, jotka vaihtelevat ihmisillä eri tavoin iän mukana. He päättelivät edelleen, että tiedon puute tai kyvyttömyys soveltaa tietoa voi johtaa nuoret ja vanhukset vaarallisiin tilanteisiin. Päätelmää tukee Millsin (1988) tulos, jonka mukaan yli 13-vuotiaat aiheuttivat epätodennäköisemmin onnettomuuden kuin nuoremmat pyöräilijät. Schagenin ja Brookhuisin (1994) mukaan lasten käyttäytyminen perustuu useammin muihin tekijöihin kuin muodollisiin sääntöihin etuajo-oikeustilanteissa, ja muodollisten sääntöjen parantunut tuntemus ei näy käyttäytymismuutoksina todellisessa liikenteessä (katso myös Top & Timmermans, 1998). Näitä muita tekijöitä ovat esimerkiksi liikenteen nopeus ja melu, jotka aiheuttavat defensiivisen toiminnan eli käytännössä pyöräilijä väistää. Maring & Schagen (1990) osoittivat myös, että iäkkäät yli 70 –vuotiaat pyöräilijät eivät tunne etuajo-oikeussääntöjä vaikka heillä on elämän mittainen kokemus niistä.

Liikennesääntöjen turvallinen toteutuminen pyöräteiden jatkeilla näyttää riippuvan paljolti liikenneympäristön ja tienkäyttäjien ominaisuuksista. Pyöräilijöiden ja autoilijoiden erilainen

asema ajoneuvonkuljettajina liikenteessä korostuu väistämistilanteissa, joissa pyöräilijälle tulee vakavammat vammat ellei hän väistä.

### **1.6 Tutkimuksen tarkoitus**

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia autoilijoiden ja pyöräilijöiden välisiin onnettomuuksiin vaikuttavia tekijöitä liikennekäyttäytymisessä, -ympäristössä ja -säännöissä pyörätien jatkeella. Tutkimuksessa kehitettiin tutkimusmenetelmiä, jotka perustuivat onnettomuuksien tilanneanalyysiin ja liikenteen kuvaamiseen videokameroilla. Onnettomuuksien syntyyn vaikuttavia tekijöitä pyrittiin tulkitsemaan uudella tavalla yhdistämällä eri menetelmillä saatuja tuloksia. Tulosten perusteella haettiin keinoja onnettomuuksien vähentämiseksi.

Onnettomuuksien tutkimisen lähtökohtana oli onnettomuuksien luokittelu tapahtumapaikan ja osallisten kulkusuuntien mukaan. Virallisen tilaston mukainen onnettomuustyyppiluokittelu ei kuvannut riittävän tarkasti onnettomuustilannetta. Tarkalla luokittelulla pyrittiin löytämään paikat ja tilanteet, joissa onnettomuuksiin johtavia virheitä tapahtui. Yleisimmän polkupyöräonnettomuustilanteen varmistamiseksi tutkittiin aiempaa suurempi otos onnettomuuksia Helsingin kaupungin ylläpitämästä onnettomuustietokannasta sekä liikennevahinkojen tutkijalautakunta-aineistosta (I ja II).

Pyörätien ja ajoradan risteämiskohdan järjestelyt ratkaisevat suurelta osin koko pyörätieverkon turvallisuuden. Näkemäesteiden voidaan olettaa kasvattavan polkupyöräonnettomuuden riskiä, koska ne lyhentävät autonkuljettajan aikaa vähäisempiin uhkiin kuten pyöräilijöiden havaitsemiseen. Tutkimuksen (I) tavoitteena oli analysoida näkemäesteiden merkitystä eri tyyppisissä onnettomuustilanteissa.

Pyöräilijän ja autoilijan törmäyksessä on aina vähintään kaksi osallista, jolloin on tutkittava molempien toimintaa onnettomuuteen johtavan tapahtumaketjun löytämiseksi. Liikennevahinkojen tutkijalautakunta-aineiston perusteella rekonstruoitiin osallisten toimintaa ennen onnettomuutta (II), jotta ymmärrettäisiin onnettomuuden syntyyn vaikuttavia tekijöitä.

Seuraavaksi tutkittiin miksi autonkuljettajat eivät havaitse pyöräilijöitä. Autonkuljettajien katseiden suuntautuminen liittymää lähestyttäessä ratkaisee viime kädessä sen, onko

autoilijalla edes mahdollisuuksia havaita pyöräilijää. Onnettomuustyyppijakauman perusteella oletettiin oikealle kääntyvien autoilijoiden laiminlyövänsä oikealta tulevan liikenteen seuraamisen. Tätä olettamusta testattiin kuvaamalla normaalia liikennekäyttäytymistä piilotetuilla videokameroilla (I, III ja IV).

Liikenneympäristön muuttamalla voidaan ehkä saada autonkuljettajat varomaan enemmän pyöräilijöitä. Pyörätien jatkeet eivät yleensä erotu liikenneympäristössä kovin selvästi, jolloin autoilijat eivät ehkä edes osaa odottaa pyöräilijöiden tuloa oikealta. Tutkimuksessa testattiin erilaisten pyöräteiden jatkeiden vaikutusta autoilijoiden käyttäytymiseen (I ja III).

Aiemmat tutkimukset osoittavat, että tärkeimmät pyöräilijän turvallisuuteen vaikuttavat tekijät kiertoliittymissä ovat niiden mitoitus, lähestyvien autoilijoiden nopeus ja tarkkaavaisuus ja väistämissäännöt. Tutkimus (IV) keskittyi erityisesti näihin tekijöihin ottaen huomioon liikennetilanteen, jota on aiemmin tutkittu vähän.

Pyöräilyn turvallisuuteen voidaan yrittää vaikuttaa paitsi liikenneympäristöä niin myös liikennesääntöjä muuttamalla. Väistämisvelvollisuuden muutos pyörätien jatkeilla pyrki parantamaan tienkäyttäjien turvallisuutta ja yksinkertaistamaan sitä. Lakimuutoksella saattoi kuitenkin olla erilaisia vaikutuksia tiellä liikkujien käyttäytymiseen ja tietämykseen ominaisuuksiltaan erilaisissa liittymissä, jopa sellaisissa missä ei tapahtunut muodollista sääntömuutosta (V).

## **2. PYÖRÄILIJÖIDEN JA AUTOILIJOIDEN VÄLISET ONNETTOMUUSTYYPIT (I ja II)**

Onnettomuuksiin johtavien tapahtumien ymmärtämiseksi on tiedettävä tarkkaan liikennetilanteet, joissa onnettomuuksia syntyy. Onnettomuuspaikan ominaisuudet ja osallisten käyttäytyminen sidotaan toisiinsa onnettomuustyyppiluokittelun avulla.

### **2.1 Aineistot**

Yleisimpien onnettomuustilanteiden löytämiseksi tutkittiin kahta aineistoa. Helsingin kaupunki ylläpitää onnettomuustietokantaa kaikista alueellaan sattuneista poliisille ilmoitetuista liikenneonnettomuuksista. Kaikki törmäykset autojen ja polkupyörien välillä poimittiin tietokannasta vuosilta 1985 – 1994, yhteensä 414 onnettomuutta. Näistä hylättiin 271 onnettomuutta, joissa joko pyöräilijä ei ollut ajanut pyörätiellä, liittymä oli tontille tai muuten epätavallinen, liikennejärjestelyt olivat muuttuneet viimeisen 10 vuoden aikana tai tiedot onnettomuudesta olivat puutteelliset. Onnettomuustietokannan ja poliisin kuulustelupöytäkirjojen perusteella jäljelle jääneet 143 onnettomuutta luokiteltiin osallisten kulkusuuntien ja tapahtumapaikan mukaan.

Liikennevahinkojen tutkijalautakunnat ovat tutkineet kaikki kuolemaan johtaneet liikenneonnettomuudet 1960-luvun lopulta alkaen, joissa ainakin yksi moottoriajoneuvossa ollut on kuollut. Tutkijalautakuntatyötä ylläpitää Vakuutusyhtiöiden liikenneturvallisuustoimikunta. (Hantula 1987, 1989, 1992).

Vuonna 1990 alkoi erikoisprojekti, joka koski polkupyöräonnettomuuksia. Alueelliset tutkijalautakunnat tutkivat polkupyöräonnettomuuksia neljässä kaupungissa Helsingissä (asukasluku 497 500), Mikkelissä (as. 32 200), Hämeenlinnassa (as. 43 800) ja Ylivieskassa (as. 13 300). Aineisto sisälsi kaikki poliisille ilmoitetut polkupyöräonnettomuudet muualla paitsi Helsingissä, jossa se rajattiin koskemaan vain pyöräteitä tai niiden jatkeilla sattuneita onnettomuuksia.

Taulukko 1 esittää aineiston edustavuusvertailun valtakunnallisiin tilastoihin vuosina 1992 ja 1993, jotka olivat jokaisessa kaupungissa kokonaisuudessaan mukana. Aineisto edusti hyvin kaikissa muissa kaupungeissa paitsi Helsingissä sattuneita onnettomuuksia. Valtakunnallisten tilastojen mukainen onnettomuustyyppijakauma vastasi hyvin tutkijalautakuntaotosta. Tien

olosuhteet, tapahtuma-ajat, osallisten ikä, sukupuoli tai juopumus eivät eronneet valtakunnallisista tilastoista (Räsänen, 1995). Tutkittujen onnettomuuksien määrä oli 234, joista 46 oli muita kuin törmäyksiä autojen kanssa. Tutkijalautakuntien laatimien onnettomuuskansioiden perusteella määriteltiin osallisten kulkusuunnat ja tapahtumapaikka tarkkan onnettomuustyyppijakauman muodostamiseksi.

Taulukko 1. Aineiston edustavuus vuosina 1992-1993 ja koko otos 1990-1994.

Kaupunki	1992			1993			1990-1994 Yhteensä <sup>1</sup>
	Tutk.laut. <sup>1</sup>	Poliisi <sup>2</sup>	Liik.vak <sup>3</sup>	Tutk.laut. <sup>1</sup>	Poliisi <sup>2</sup>	Liik.vak <sup>3</sup>	
Helsinki	10	153	118	11	148	133	67
Hämeenlinna	23	18	23	29	17	18	77
Mikkeli	25	21	12	22	11	21	73
Ylivieska	10	7	4	6	6	9	17
Yhteensä	68	199	157	68	182	181	234

Tutkijalautakunnat aloittivat työnsä Helsingissä vuonna 1990, Mikkeliissä vuonna 1991 ja Hämeenlinnassa ja Ylivieskassa 1992. Vuoden 1994 kaikkia onnettomuuksia ei tutkittu.

<sup>1</sup> Tutkijalautakunta-aineisto <sup>2</sup> Poliisin tietoon tulleet onnettomuudet

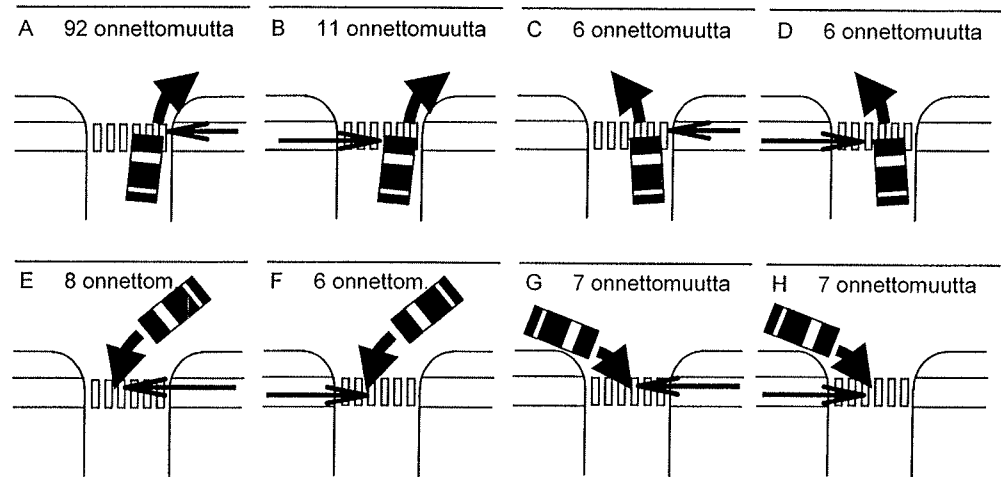
<sup>3</sup> Liikennevakuutuksesta korvatut onnettomuudet

## 2.2 Onnettomuustyyppijakauma

Helsingin kaupungin onnettomuustietokannasta kerätty aineisto osoitti, että onnettomuustyyppi (A), jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä oli tulossa oikealta pyörätietä pitkin, oli 10 kertaa yleisempi kuin muut tapahtumat (B-H). Muiden tyyppien frekvenssit eivät eronneet toisistaan ( $\chi^2=2.667$ ,  $df=6$ ,  $P=N.S.$ ). (Kuva 1).

Tutkijalautakunta-aineiston 234 tapauksesta hylättiin 46 onnettomuutta, joissa ei ollut moottoriajoneuvoa osallisena. Loput 188 onnettomuutta jakaantuivat seuraavasti: 97 tapahtui pyörätien jatkeella liittymässä, joista 82 oli merkitty kuten jalankulkijoiden suojatie; 28 tonttiliittymässä, joista 14:ssä pyöräilijä ajoi pyörätietä pitkin; 33 linjaosuudella, joista 17:ssä pyöräilijä tuli pyörätieltä ajoradalle; ja ajoradalla liittymässä sattui 30 onnettomuutta. Aineistossa oli 13 kuolemaan ja 21 vakaviin vammoihin (AIS 3-5) johtanutta onnettomuutta, joissa pyöräilijän käyttäytymistä oli vaikea arvioida. Nämä tapaukset jakaantuivat kuitenkin tasaisesti kaikkiin onnettomuustyyppeihin verrattaessa niitä tapauksiin, joissa vammat olivat lieviä tai niitä ei syntynyt ( $\chi^2=4.549$ ,  $df=4$ ,  $P=0.337$ ). Yleisin yksittäinen onnettomuustyyppi oli jälleen tilanne ( $n=19$ ), jossa autoilija oli kääntymässä oikealle ja pyöräilijä oli tulossa

oikealta pyörätietä pitkin. Kaikissa kolmessa yleisimmässä onnettomuustyyppissä pyöräilijä ajoi menosuunnassa tien vasemmalta puolelta pyörätien jatkeelle.



Kuva 1. Onnettomuustyyppijakauma päätien suuntaisilla pyörätien jatkeilla Helsingissä.

### 2.3 Tien vasenta puolta ajavat pyöräilijät

Molemmissa aineistoissa yleisin pyöräilijöiden ja autoilijoiden välinen onnettomuustyyppi oli tilanne, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä tuli oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Se on yleisin tyyppi myös Saksassa (Kerwien 1996). Tutkimus osoitti, että suurin osa pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista sattui pyöräilijöille, jotka ajoivat menosuunnassa tien vasenta puolta. Kaikissa kolmessa yleisimmässä onnettomuustyyppissä pyöräilijä lähestyi pyörätien jatketta tien vasenta puolta, siis eri suunnasta kuin autoliikenne. Auto- tai polkupyöräliikenteen määrissä eri suunnista ei todennäköisesti ole niin suuria eroja, että ne selittäisivät onnettomuustyyppijakautuman. Päätien suuntaisilla pyörätien jatkeilla Helsingissä tapahtui neljä kertaa enemmän onnettomuuksia tien vasemmalle puolella kuin oikealle puolella ajaville pyöräilijöille. Tätä tulosta tukevat tutkimukset, joiden mukaan tien vasemmalle puolella ajavien pyöräilijöiden onnettomuusriski on suuri (Schnüll ym. 1992; Wachtel & Lewiston 1994; Kwambe 1998; katso myös Hunter ym., 1995). Tässä tutkimuksessa keskityttiin analysoimaan niitä tekijöitä onnettomuuspaikkojen ominaisuuksissa ja tiellä liikkujien käyttäytymisessä, jotka vaikuttavat kaksisuuntaisten pyöräteiden jatkeiden turvallisuuteen.

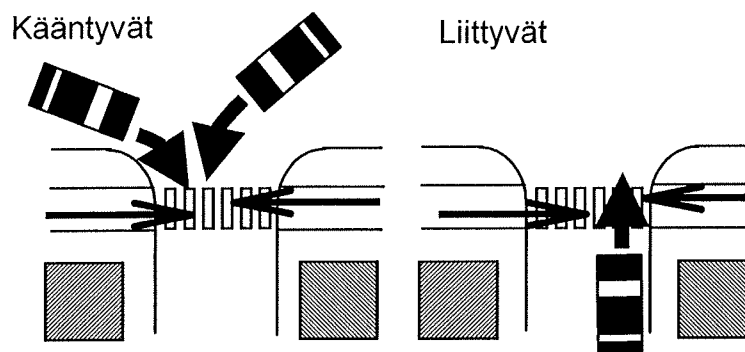


### 3. NÄKEMÄT ONNETTOMUUSPAIKOILLA (I)

Tienkäyttäjän liittymää lähestyessään on tehtävä havaintoja monesta suunnasta voidakseen edetä turvallisesti. Tällöin hän joutuu suuntaamaan tarkkaavaisuuttaan eri kohteisiin eri vaiheissa liittymän läpiajoa. Näkemäesteet voivat estää tienkäyttäjän havainnon toisesta juuri kriittisellä hetkellä.

#### 3.1 Eri näkemien vertailu

Näkemäesteiden vaikutusten tutkimiseksi käytiin mittaamassa Helsingin kaupungin onnettomuustietokannasta poimittujen 143 onnettomuuspaikan olosuhteet. Näkemä luokiteltiin rajoitetuksi, jos näkemäkolmion sivujen pituus oli alle 15 m. Onnettomuudet luokiteltiin edelleen kahteen ryhmään. Auton kääntyessä päätieltä sivutielle näkemien ei pitäisi vaikuttaa onnettomuusriskiin. Auton lähestyessä sivutieltä päätieltä voidaan olettaa, että näkemillä on vaikutusta onnettomuusriskiin (kuva 2).



*Kuva 2. Näkemäesteiden ei pitäisi vaikuttaa kääntyvien autojen onnettomuuksissa, mutta liittyvien autojen onnettomuuksissa niillä pitäisi olla merkitystä.*

### 3.2 Näkemät eri onnettomuustyypeissä

Näkemältään hyvissä liittymissä sattui 26 päätielle liittyvän (L) auton ja 21 päätieltä pois kääntyvän (K) auton onnettomuutta. Suhde L/K oli  $26/21=1,24$ . Näkemältään rajoitetuissa liittymissä sattui 89 päätielle liittyvän ja 7 päätieltä pois kääntyvän auton onnettomuutta, jolloin suhde L/K oli  $89/7=12,7$ . Pyöräilijän ja päätielle liittyvän auton välisen onnettomuuden riski näkemältään rajoitetussa liittymässä on noin 10 kertaa suurempi kuin näkemältään hyvissä ( $12,7/1,24=10$ ).

Päätieltä pois kääntyvien autojen onnettomuuksien määrä saattaa nousta, kun liikennemäärä päätiellä kasvaa. Autoilijat voisivat tällöin kahdestakin syystä useammin laiminlyödä pyöräilijät, jotka ajavat päätien suunnassa. Ensinnäkin vasemmalle kääntyvien autoilijoiden täytyy keskittyä enemmän vastaan tuleviin autoihin ja oikealle kääntyvät autoilijat voivat takaa tulevien autojen takia pyrkiä kääntymään mahdollisimman nopeasti. Vastaavasti näkemät sivutieltä päätielle saattavat olla paremmat, kun liikennemäärä on suurempi. Jos näin olisi, niin aineisto olisi vinoutunut. Kuitenkin näkemien ollessa hyvät, päätieltä pois kääntyvien autojen onnettomuuksien osuus oli suurempi liittymissä, joissa oli kaksi kaistaa päätiellä ja alhainen liikennemäärä kuin liittymissä, joissa oli neljä kaistaa pääteillä ja suuri liikennemäärä.

### 3.3 Näkemäesteiden merkitys

Näkemäesteet olivat yleisiä erityisesti onnettomuustyyppissä, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijän tullessa oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Näkemäesteet lyhentävät autonkuljettajan aikaa havaita lähestyvä pyöräilijä ja polkupyöräonnettomuuden riski pyörätien jatkeilla kasvaakin huomattavasti näkemältään rajoitetuissa, valo-ohjaamattomissa liittymissä. Vertailtaessa eri onnettomuustyyppisiä erilaisissa näkemäolosuhteissa voitiin arvioida, että auton ja polkupyörän välisen onnettomuuden riski pyörätien jatkeella on jopa kymmenkertainen näkemältään rajoitetuissa liittymissä verrattuna liittymiin, joissa ei ole näkemäesteitä.

## 4. KÄYTTÄYTYMINEN ONNETTOMUUSTILANTEISSA (II)

Näkemäesteiden vaikutus viittaa siihen, että onnettomuustilanteissa pyörätien jatkeilla on usein kyse siitä, että joko toinen tai molemmat osalliset eivät havaitse toisiaan. Osallisten käyttäytymisen tutkiminen ennen onnettomuutta voi paljastaa kuinka suuri merkitys on havaintovirheillä ja toisaalta arviointivirheillä onnettomuuden synnyssä.

### 4.1 Tutkijalautakuntamenetelmä

Onnettomuuksiin johtavien tapahtumien tutkiminen perustui tutkijalautakunta-aineiston onnettomuuksiin (n=188), joissa oli ollut mukana polkupyörä ja moottoriajoneuvo. Jokaiseen neljään tutkijalautakuntaan kuului neljä jäsentä: poliisi-, autotekninen-, liikennetekninen- ja lääkärijäsen. Paikallinen poliisi ilmoitti tutkijalautakunnan puheenjohtajalle polkupyöräonnettomuudesta, jonka jälkeen puheenjohtaja kutsui jäsenet onnettomuuspaikalle. Jokainen jäsen teki omat perustietotutkimuksensa, jotka myöhemmin koodattiin tiedostoihin. Poliisijäsen keräsi onnettomuutta koskevat yleiset tiedot ja haastatteli osalliset. Poliisijäsen pyrki selvittämään tapahtumat ennen onnettomuutta, miten ja miksi onnettomuus sattui sekä osallisten taustatiedot. Autotekninen jäsen tutki ajoneuvojen teknisen kunnan ja niiden ulkoiset vauriot. Liikennetekninen jäsen tutki tieolosuhteet ja laati piirroksen onnettomuuden kulusta sekunteina. Lääkärijäsenet selvittivät osallisten fyysisten ja henkisten tekijöiden mahdollisia vaikutuksia onnettomuuden synnyssä. Jokaisen jäsenen keräämiä tietoja verrattiin onnettomuuden loppukokouksessa, jolloin mahdolliset ristiriitaisuudet tiedoissa paljastuivat. Epävarmat asiat ja oletukset mainittiin loppuraportissa. Loppuraportti sisälsi onnettomuustapahtuman kuvauksen, onnettomuuteen myötävaikuttavat tekijät, vammat, turvalaitteiden vaikutuksen ja keinoja, joilla parantaa turvallisuutta. (Hantula, 1987). Loppuraportti antaa siten melko luotettavan kuvauksen siitä, mitä onnettomuudessa todella tapahtui.

Onnettomuustapahtumia ja sen taustatekijöitä analysoitiin ristiintaulukoimalla tutkijalautakuntien koodaamia muuttujia (VALT 1992) suhteessa onnettomuustyyppihin, jotka oli luokiteltu aineistosta tutkimuksen ensivaiheessa. Yleisimmän onnettomuustyyppin tapahtumien kulkua tutkittiin lisäksi puuanalyysin avulla. Siinä jokaisesta onnettomuudesta tutkittiin pyöräilijän ja autoilijan toiminta ja oletukset vaihe vaiheelta ennen onnettomuutta.

Näin saatiin esille myös ne mahdolliset tekijät autoilijan toiminnassa, jotka vaikuttivat pyöräilijän toimintaan tai päinvastoin.

Osallisten käyttäytymisen arviointi perustui suurelta osin poliisin tekemiin strukturoituihin haastatteluihin. Osalliset pyrkivät luonnollisesti antamaan vastauksia, jotka näyttävät heidän toimintansa hyvässä valossa. Osallisille vakuutettiin, että haastattelu tehtiin vain liikenneturvallisuustarkoituksiin ja että sillä ei ole vaikutusta heidän asemaansa lain edessä. Lisäksi poliisi, joka teki onnettomuuden virallisen haastattelun ja raportin, oli eri henkilö kuin tutkijalautakunnan poliisijäsen. Tutkijalautakuntahaastattelut tehtiin suurimmassa osassa vakavampia tapauksia onnettomuuspaikalla ja muissa muutaman päivän sisällä. Tutkijalautakunnan loppukokouksessa tulivat myös esiin mahdolliset virheet ja ristiriitaisuudet osallisten lausunnoissa, kun jäsenet vertasivat keräämiään aineistoja.

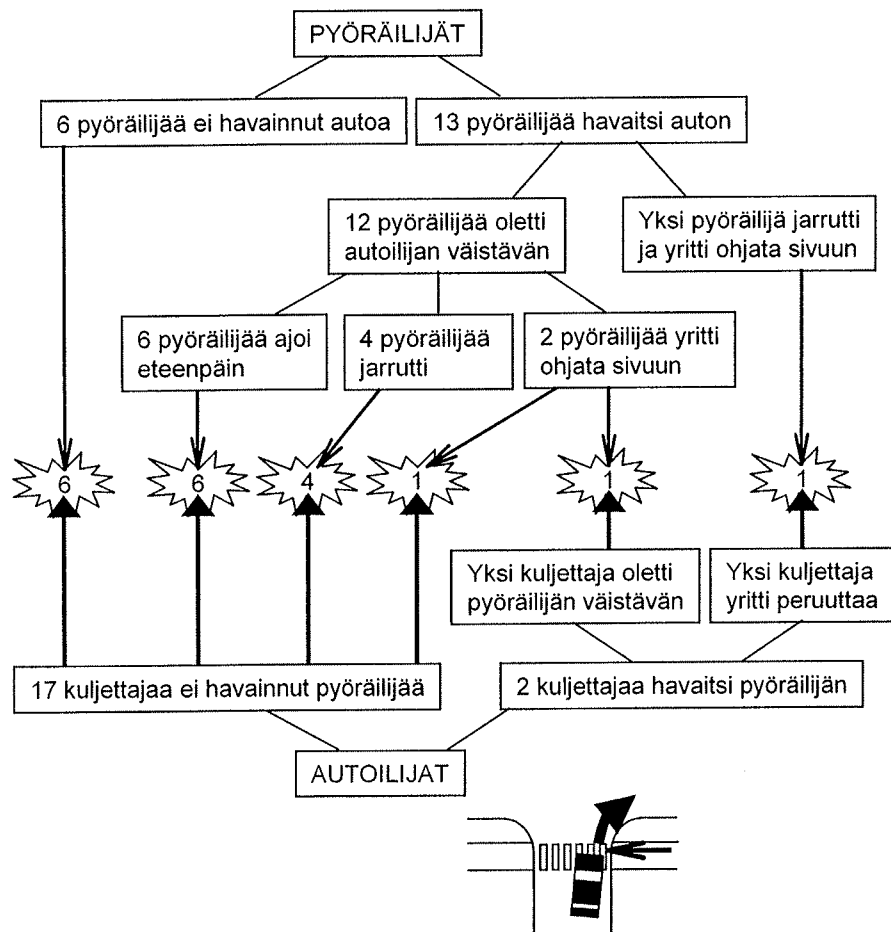
#### **4.2 Osallisten toiminta eri onnettomuustyypeissä**

Tutkijalautakuntien mukaan autonkuljettajat olivat huomanneet pyöräilijän ennen onnettomuutta 51 %:ssa tapauksista ja pyöräilijä oli havainnut vastaavasti autoilijan 66 %:ssa tapauksista. Autoilija ja pyöräilijä eivät tajunneet vaaraa tai ei ollut aikaa väistää 37 %:ssa onnettomuuksista. Lopuissa onnettomuuksissa joko kuljettaja (27 %) tai pyöräilijä (24 %) tai molemmat (12 %) tekivät jotain onnettomuuden välttämiseksi.

Tutkijalautakunta-aineiston perusteella tutkittiin osallisten toimintaa erilaisissa onnettomuustyypeissä. Osallisten toiminnan mukaan liittymäonnettomuustyyppit jakautuivat kolmeen ryhmään: (1) onnettomuustyyppit, joissa autoilija oli kääntymässä sivutieltä tai tontilta päätielle ja pyöräilijä tuli risteävästä ajosuunnasta oikealta tai vasemmalta; (2) onnettomuustyyppit ajoradalla tai pyörätien jatkeilla liittymissä, joissa autoilija ajoi suoraan päätiellä ja pyöräilijä tuli vasemmalta tai oikealta; ja 3. Onnettomuustyyppit, joissa autoilija kääntyi pyörätien jatkeelle pyöräilijään nähden samasta tai vastakkaisesta suunnasta

1. Autoilijat tekivät harvoin mitään onnettomuuden estämiseksi niissä onnettomuustyypeissä pyörätien jatkeella, joissa autoilija oli kääntymässä sivutieltä tai tontilta päätielle. Juuri näissä tilanteissa näkemäesteet olivat yleisiä. Pyöräilijät olivat puolestaan havainneet usein auton ennen onnettomuutta, mutta eivät silti voineet estää onnettomuutta. Tämän takia analysoitiin

osallisten toimintaa tarkemmin ennen onnettomuutta yleisimmässä onnettomuustyyppissä (kuva 3).



Kuva 3. Pyöräilijöiden ja autoilijoiden toiminta ennen onnettomuutta yleisimmässä onnettomuustyyppissä pyörätien jatkeilla (n=19).

Pyöräilijät olettivat useassa tapauksessa, että autoilija väistäisi kuten laki edellyttää. Näillä pyöräilijöillä oli ajokortti ja he ajoivat päivittäin onnettomuuspaikan läpi. Tuttu reitti ja omien oikeuksien tunteminen voi johtaa ajotapaan, jossa pyöräilijät eivät varo tarpeeksi vasemmalta tulevia autoja. Tätä tuki myös se seikka, että onnettomuuksissa tonttiliittymissä, joissa pyöräilijän etuajo-oikeus on samalla tavalla hyvin selvä, pyöräilijöillä oli myös useammin

ajokortti kuin muissa onnettomuustyypeissä. Onnettomuuspaikan liikennemäärillä oli myös suuri merkitys tässä tilanteessa. Nämä onnettomuudet tapahtuivat tyypillisesti asunto- ja kokoojakadun liittymissä. Pyöräilijä oli siis ylittämässä yleensä tuttua, vähäliikenteistä liittymää, joka jo sinänsä aiheuttaa odotuksia että autoja ei luultavasti tule. Tämä onnettomuustyyppi kattaa noin 20 % pyörätien jatkeilla liittymissä sattuneista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista

2. Verrattuna edelliseen onnettomuusryhmään pyöräilijöiden ja autoilijoiden toiminta oli täysin erilaista onnettomuuksissa ajoradalla tai pyörätien jatkeilla liittymissä, joissa autoilija ajoi suoraan päätiellä ja pyöräilijä tuli vasemmalta tai oikealta. Pyöräilijät ehtivät vain hyvin harvoin tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi näissä onnettomuustyypeissä. Pyöräilijälle päätien ylittäminen on vaativampi tehtävä kuin sivutien ylittäminen. Autoliikenteen nopeus on usein suurempi vaikeuttaen tilanteen arviointia ja väistämissäännöt eivät ole niin selvät näissä tilanteissa. Tilanteen vaikeudesta pyöräilijöille kertoo ehkä sekin, että vain 30 %:lla pyöräilijöistä oli ajokortti näissä tilanteissa. Toisin kuin tullessaan sivutieltä, autoilijat ehtivät tehdä usein jotain onnettomuuden estämiseksi ajaessaan päätiellä suoraan pyörätien jatkeelle. Autoilijan ajotehtävä oli yksinkertainen tässä tilanteessa—ajaa vain suoraan—jolloin pyöräilijäkin havaittiin helpommin.

Liikennetilanne oli autoilijan kannalta erilainen silloinkin kun pyöräilijä tuli joko oikealta tai vasemmalta liittymän jälkeen sijaitsevalle pyörätien jatkeelle. Pyöräilijän tullessa vasemmalta autoilijalla oli enemmän aikaa reagoida pyöräilijään, koska tämä oli ollut ajoradalla jo jonkin aikaa ennen autoilijan ajolinjan saavuttamista. Tilanne oli sen sijaan yllättävämpi autoilijalle kun pyöräilijä tuli oikealta, varsinkin jos pyöräilijän tulosuunnassa oli näkemäesteitä. Tulokset tukivat olettamusta: 15 autoilijaa 17:sta teki jotain onnettomuuden estämiseksi kun taas pyöräilijän tullessa oikealta puolet autoilijoista ei joko tajunnut tai ei ehtinyt tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi ( $\chi^2=5.90$ ,  $df=1$ ,  $P<0.05$ ). Onnettomuusaineisto oli kuitenkin liian pieni autoilijoiden taustatekijöiden tarkempaan analysointiin.

3. Kun autoilija kääntyi pyörätien jatkeelle pyöräilijän menosuuntaan nähden vastakkaisesta suunnasta, pyöräilijä oli havaittavissa autoilijan katsoessa suoraan eteenpäin 140 asteen näkökentän alueella. Sen sijaan auton kääntyessä samasta kulkusuunnasta pyöräilijä ei ollut havaittavissa autoilijan 180 asteen näkökentän alueella ilman päänliikettä juuri ennen

onnettomuustilannetta. Tämä näkyi myös onnettomuuksissa. Autoilijat ehtivät tehdä jotakin onnettomuuden estämiseksi yli puolessa tapauksista, joissa he kääntyivät pyörätien jatkeelle vastakkaisesta suunnasta. Pyöräilijät olettivat vastaavasti yli puolessa tapauksista, että autoilija väistäisi. Sen sijaan auton kääntyessä samasta kulkusuunnasta pyöräilijään nähden autonkuljettaja ehti vain harvoin tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi.

### **4.3 Onnettomuuspaikka ja käyttäytyminen**

Osallisten käyttäytyminen ennen onnettomuutta osoitti selvästi, että toiminta eroaa selvästi onnettomuustyyppin mukaan. Autoilijoilla korostuivat havaintovirheet sivutieltä päätietä lähestyessä, kun taas suuremman merkityksen saivat arviointivirheet päätien suuntaisesti ajettaessa. Pyöräilijät ylittäessään sivutien/tonttilliittymää havaitsivat usein auton mutta olettivat sen väistävän; päätien ylityksissä pyöräilijät ehtivät sen sijaan harvoin tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi. Tulosten perusteella voidaan todeta, että melko suuressa osassa pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista osallisten toiminta ennen onnettomuutta on selitettävissä liikennetilanteen mukaan.

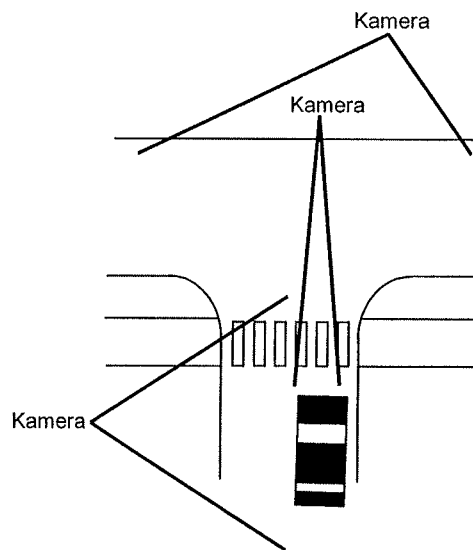
Pyöräilyn turvallisuuden erikoisongelma on suuri pyöräilijöiden välinen vaihtelu käyttäytymisessä (Keskinen 1982). Autoilijoiden on vaikea ennustaa lapsien, vanhusten ja juopuneiden pyöräilijöiden käyttäytymistä. Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat kuitenkin, että on melko yleisiä onnettomuustilanteita, joihin joutuvilla pyöräilijöillä on ajokortti ja he selvästi toimivat liikennesääntöjen synnyttämien odotusten mukaan.

## 5. TIENKÄYTTÄJIEN KÄYTTÄYTYMISEN TUTKIMUKSET VIDEOKUVAUSMENETELMÄLLÄ (I, III, IV, V)

Tutkimalla tienkäyttäjien käyttäytymistä onnettomuustilannetta vastaavassa normaalissa liikennetilanteessa voidaan mahdollisesti löytää onnettomuuteen johtavia tekijöitä. Tutkijalautakunta-aineisto paljasti, että autoilijoilla oli usein havaintovirheitä yleisimmässä onnettomuustyyppissä. Tämän takia tutkittiin erityisesti liittymää lähestyvien autoilijoiden käyttäytymistä.

### 5.1 Videokuvaukset pyörätien jatkeilla

Tienkäyttäjien käyttäytymistä tutkittiin kuvaamalla liikennettä piilotetuilla videokameroilla yhteensä 23:ssa pyörätien ja ajoradan risteyskohdassa. Jokaisessa tutkimuksessa kuvattiin vähintään kaksi kolmen tunnin otosta kullakin pyörätien jatkeella, lisäksi ennen—jälkeen tutkimuksissa ennen muutosta ja muutoksen jälkeen. Menetelmän avulla voitiin analysoida autoilijan päännliikkeet ja lähestymisnopeus etäisyyden funktiona pyörätien jatkeelta. Kuvassa 4 on esitetty perustutkimusasetelma, jota muutettiin kulloisenkin tarpeen mukaan. Yksi kamera kuvasi autoilijan (tai pyöräilijän) päännliikkeitä suoraan edestä, toinen auton sijaintia sivulta ja kolmas yleistä liikennetilannetta liittymässä ja/tai pyöräilijän sijaintia. Menetelmää kehitettiin tutkimusten aikana.



Kuva 4. Tutkimusasetelma



Aluksi eri videokameroista saadut kuvat yhdistettiin samalle nauhalle ja analysoitiin autoilijan päänliikkeet. Lisäksi auton kulkema matka ja aika laskettiin nopeuden määrittämiseksi halutulla etäisyydellä (osatutkimukset I ja III). Kahta viimeistä tutkimusta varten (IV ja V) kehitettiin tietokoneohjelma videokuvan puoliautomaattiseen käsittelyyn. Auton nopeus määriteltiin merkitsemällä videokuvassa kohdistusnuolella auton keula noin 2 metrin välein, jolloin auton lähestymisnopeus voitiin laskea interpoloimalla ohjelman avulla halutulla skaalalla ennen pyörätien jatketta. Autoilijan päänliikkeitä seurattiin kuvaruudulta peliohjainsauvan avulla kääntämällä sitä oikealle ja vasemmalle päänliikkeiden mukaisesti. Tällöin saatiin arvio pään kääntämisen asteesta ajan ja sijainnin funktiona ja siten tarkat ajankohdat ja paikat joissa muutoksia tapahtui.

## **5.2 Päänliikkeet, nopeus ja väistämistilanteet**

Päänliikkeillä mitattiin autoilijan (ja pyöräilijän) tarkkaavaisuuden suuntautumista liittymää lähestyttäessä. Tienkäyttäjää voi havainnoida ympäristöään kauempana liittymästä silmänliikkeillä, mutta lähempänä liittymää päänliikkeet yleistyvät. Päänliikkeet kuvaavat ainakin karkeasti mihin suuntaan katse ja tarkkaavaisuus on suuntautunut (Kito, Haraguchi, Funatsu, Sato & Kondo, 1989; Isler, Parsonson & Hanson, 1997; Sanders, 1970; Summala, 1998). Nopeus säätelee puolestaan aikaa, jona pyörätien jatketta lähestyvä tienkäyttäjää voi havaita toisen. Kaikissa tutkimuksissa mitattiin vain sellaisten pyörätien jatketta lähestyvien autoilijoiden ja pyöräilijöiden päänliikkeitä ja nopeuksia, jotka lähestyivät pyörätien jatketta yksin tai jonon ensimmäisenä. Se, miten tienkäyttäjät huomioivat toisensa ilmenee viime kädessä väistämistilanteissa, joissa pyöräilijä ja autoilija lähestyvät pyörätien jatketta samanaikaisesti. Normaalisissa liikennevirrassa pyöräilijän ja autoilijan välisiä konfliktitilanteita on kuitenkin vähän. Tämän takia osatutkimuksissa IV ja V käytettiin testipyöräilijää konfliktitilanteiden luomiseksi. Osatutkimukset I, III ja V olivat lisäksi ennen—jälkeen tutkimuksia, joissa tutkittiin liikenneympäristön (I ja III) ja liikennesääntöjen (V) muutosten vaikutuksia tienkäyttäjien käyttäytymiseen. Taulukko 2 esittää eri osatutkimuksissa kerättyjen kenttäaineistojen määrät muuttujittain.

Taulukko 2. Tutkittujen paikkojen ja mitattujen tienkäyttäjien lukumäärät eri osatutkimuksissa.

Osatutkimus	Tutkittuja pyörätien jatkeita	Autoilijan		Pyöräilijän		Väistämistilanteet:		Ennen-jälkeen tutkimus
		pään-liikkeet	lähestymis-nopeus	pään-liikkeet	lähestymis-nopeus	normaali liikenne	testi-pyöräilijä	
I	2	360	360	-	180	8	-	Kyllä
III	6	435*	435	-	-	-	-	Kyllä
IV	6	1701*	2152	-	-	-	380	Ei
V	9	-	1677	2112*	2257	326	440	Kyllä
Yhteensä	23	2496	4624	2112	2437	334	820	

\*Lisäksi arvioitiin ikä ja sukupuoli

## 6. AUTONKULJETTAJIEN TARKKA-AVAISUUDEN SUUNTAUTUMINEN LIITTYMÄÄ LÄHESTYTTÄESSÄ (III)

Autonkuljettajien tarkkaavaisuuden suuntautuminen eri vaiheissa liittymää lähestyttäessä voi aiheuttaa tilanteen, jossa oikealta tuleva pyöräilijä jää havaitsematta. Pyöräilijöiden tarkkaavaisuuden suuntautuminen vaikuttaa tietysti myös pyöräilijöiden mahdollisuuksiin havaita auto, mutta autonkuljettajilla tilanne on kriittisempi suurempi lähestymisnopeuksien takia jolloin käytettävissä oleva aika havaita muita tienkäyttäjiä on huomattavasti lyhyempi kuin pyöräilijöillä.

### 6.1 Kuvatun aineiston analyysi

Piilotetuilla videokameroilla kuvattiin autoilijoiden lähestymistä kahdessa liittymässä. Molemmissa liittymissä näkemä oli rajoitettu oikealle autoilijan tulosuunnasta. Videonauhoista analysoitiin autoilijan päänliikkeet sekä auton kulkema matka että aika nopeuden laskemiseksi halutulla etäisyydellä. Kaksi havainnoitsijaa arvioi toisistaan riippumattomasti lähestyvien auton kuljettajien iän (viiden vuoden tarkkuudella) ja sukupuolen. Kahden riippumattoman arvioitsijan vertailutulos oli melko hyvä ( $r_{xy}$  iälle oli 0.78 ja sukupuoli oli arvioitu samaksi 98,5 %:ssa tapauksista). Autoilijan katseen suunta arvioitiin 1 m:n välein 5 asteen tarkkuudella. Kahden riippumattoman havainnoitsijan arvioiden luotettavuus oli hyvin tyydyttävä ( $r_{xy}=0.73$ ).

## **6.2 Vasemmalle ja oikealle katsoneiden autonkuljettajien osuudet**

Tulokset osoittivat, että vasemmalle ja oikealle kääntyvien autoilijoiden katseen suuntautuminen on täysin erilaista kuljettajan lähestyessä liittymää sivutieltä. Suurin osa vasemmalle kääntyvistä autoilijoista katsoi oikealle heti kun kuljettaja ohitti näkemäesteen kulman. Kuudesta yhdeksään metriä ennen pyörätien jatketta 60 – 90 % vasemmalle kääntyvistä kuljettajista katsoi oikealle. Sen sijaan oikealle kääntyvät kuljettajat jatkoivat vasemmalle katsomista ja oikealle katsoneiden osuus samoilla paikoilla oli vain 7 % ja 3 %. Oikealle ja vasemmalle kääntyvien autojen lähestymisnopeudet eivät eronneet toisistaan. Arviodulla kuljettajan iällä ja sukupuolella ei myöskään ollut merkitsevää vaikutusta päänliikkeisiin.

## **6.3 Autoilijoiden tarkkaavaisuuden suuntautuminen muihin autoihin**

Piilotetuilla videokameroilla tehdyt kenttätutkimukset vahvistivat oletuksen, että oikealle kääntyvät autoilijat suuntaavat tarkkaavaisuutensa pääasiassa vasemmalta tuleviin autoihin ja tämän takia eivät ehdi nähdä oikealta tulevaa pyöräilijää ajoissa. Tulokset osoittivat, että tietyssä ympäristössä kuljettajien tarkkaavaisuuden suuntautuminen eroaa tehtävän mukaan ja johtaa "mustiin tapahtumiin", käyttäytymiseen, joka ei ota huomioon tiettyjä uhkia. Tämä tehtävän mukainen tarkkaavaisuuden eroaminen sopii yleiseen huomioon, jonka mukaan kokemuksen karttuessa kuljettajat oppivat mikä on tärkeää liikenneympäristössä ja missä se sijaitsee (Näätänen & Summala, 1976; Fuller, 1984; Summala, 1987, 1994; Theeuwes & Hagenzieker, 1993). Liikenteessä heille myös kehittyy (kuten missä tahansa riittävän vakioisessa ympäristössä) "optimaalisen" visuaalisen haun strategioita (Moray, 1990). Näin autonkuljettajat oppivat katsomaan olennaisiin suuntiin liittymissä välttääkseen törmäyksen toisen moottoriajoneuvon kanssa mutta samalla voi syntyä hakustrategia, mikä estää havaitsemasta harvinaisempia ja vähemmän uhkaavia seikkoja, kuten pyöräilijöitä oikealta. Normaalin näkökentän leveydellä (180°) kuljettajat voivat havaita näkökentän reunoilla liikettä, joka voi aiheuttaa orientoivan reaktion ja päänliikkeen havainnon suuntaan (Sanders, 1963). Kuten tutkimus osoitti, kääntäessään päänsä vasemmalle kuljettajat voivat kuitenkin menettää mahdollisuuden havaita oikealta tuleva pyöräilijä kriittisellä alueella. Näkemäesteen pahentavat tilannetta vielä huomattavasti, koska autoilijat eivät voi havaita pyöräilijöitä edes suoraan eteenpäin katsoessaan. Tällainen toiminta voi olla täysin tarkoituksenmukaista käyttäytymistä kuljettajan kannalta, koska se ottaa huomioon autoilijan kannalta

merkittävimmät uhkatekijät. Kuljettaja ei ole ehkä oppinut, että pyöräilijä voi tulla oikealta ennen liittymää. Autoilija on voinut myös oppia, että pyöräilijä väistää.

Toisaalta on huomattava, että ajonopeus on tärkeä autoilijan tarkkaavaisuuden suuntautumista ohjaava tekijä, joka vaikuttaa myös onnettomuusriskiin. Pitääkseen yllä korkeaa tavoitenopeutta kuljettajien täytyy optimoida tarkkaavaisuuden suuntaamista. Tämä voi johtaa siihen, että kuljettaja kohdistaa tarkkaavaisuutensa niihin tekijöihin, jotka koetaan suurimmiksi uhkatekijöiksi ja samalla saattaa jäädä huomioimatta uhkia tai tekijöitä, jotka ovat pienempiä tai epätodennäköisempiä.

## **7. PYÖRÄTIEN JATKEIDEN TURVALLISUUDEN PARANTAMINEN LIIKENNEYMPÄRISTÖÄ MUUTTAMALLA (I ja III)**

Pyörätien jatkeiden merkintä liikenneympäristössä ei yleensä poikkea paljon jalankulkijoiden suojateistä, vaikka pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden liikkumisessa on kuitenkin huomattava nopeusero. Autoilijan on huomattavasti vaikeampi estää törmäys 20 km/h liittymää lähestyvän pyöräilijän kuin jalankulkijan kanssa, koska reaktioaika on tällöin paljon lyhyempi. Liikenneympäristöä muuttamalla voidaan osoittaa tai muistuttaa autoilijalle, että liittymään voi pyöräillä myös muualta kuin ajoradalta.

### **7.1 Tutkitut toimenpiteet**

Osatutkimuksissa I ja III ennen—jälkeen tutkimus toteutettiin muuttamalla liikenneympäristöä. Videokameravaukuksilla tutkittiin, muuttuiko autoilijoiden käyttäytyminen turvallisemmaksi pyörätien jatkeen ominaisuuksia muuttamalla. Kahdeksalla näkemältään rajoitetulla pyörätien jatkeella tehtiin erilaisia toimenpiteitä: ajorataan maalattu varoituskolmio, punainen pyörätien jatke, tösä, stop-merkki, korotettu suojatie ja jatkeen uudelleen sijoittaminen. Osatutkimus I toteutettiin Malmin kaupunginosassa Helsingissä osana Malmin pyöräilyprojektia (Pasanen & Räsänen, 1996), jossa asukkaille kerrottiin myös toimenpiteiden taustoista paikallisessa lehdessä. Toimenpiteiden vaikutuksia tutkittiin vain oikealle kääntyvien autoilijoiden osalta. Osatutkimuksessa I mittauksia suoritettiin kahdella pyörätien jatkeella kolmessa vaiheessa: 1. Ennen toimenpiteitä; 2. Varoituskolmion ajorataan maalaamisen jälkeen ja 3. Punaiseksi maalatun pyörätien jatkeen jälkeen.

Autoilijoille määriteltiin kriittinen alue, jossa heidän piti katsoa oikealle voidakseen havaita oikealta tulevan pyöräilijän. Kriittisen alueen laskeminen perustui lähestyvän auton todelliseen nopeuteen, pyöräilijän oletettuun 20 km/h nopeuteen, kuljettajan reaktioaikaan (0,5 s) ja pysähtymisetaäisyyteen ottaen huomioon näkemien aiheuttamat rajoitukset. Analyyseissä päänliikkeet kriittisellä alueella luokiteltiin kolmeen ryhmää: katseet vasemmalle, suoraan ja oikealle. Jos kuljettaja katsoi kriittisellä alueella vain vasemmalle, hänet luokiteltiin "vaaralliseksi" ja puolestaan "turvalliseksi" jos hän katsoi oikealle. Suoraan katsoneet saattoivat havaita pyöräilijän ääreisnäöllä. Parhaiten käyttäytymismuutosta kuvasi siis muutos oikealle katsoneiden osuudessa.

## 7.2 Nopeudet ja päänliikkeet liikenneympäristön muutosten jälkeen

Osatutkimuksessa I testattiin ajorataan maalatun varoituskolmion ja punaiseksi maalatun pyörätien jatkeen vaikutusta vapaiden autojen lähestymisnopeuksiin kahdessa liittymässä. Tutkimus osoitti, että autojen nopeus aleni merkitsevästi punaisen pyörätien jatkeen maalaamisen jälkeen (kaksisuuntainen toistomittausten varianssianalyysi: paikka ja toimenpiteet autoilijoiden välisenä tekijöinä, etäisyys pyörätien jatkeelta autoilijoiden sisäisenä tekijänä,  $F(2,354)=12.5$ ,  $P<0.001$ ). Paikassa 1 mitattiin myös vapaiden pyöräilijöiden lähestymisnopeuksia pyörätien jatkeelle. Toistomittausten varianssianalyysi osoitti nopeuksien kasvaneen muutosten jälkeen ( $F(2,181)=7.9$ ,  $P<0.001$ ).

Paikassa 1 vain vasemmalle katsoneiden osuus putosi 22 %:sta 12 %:iin ajorataan maalatun varoituskolmion ja pyörätien jatkeen punaiseksi maalaamisen jälkeen. "Turvallisten" eli myös oikealle katsoneiden kuljettajien osuus kasvoi 18 %:sta 55 %:iin ( $\chi^2=19.175$ ,  $df=4$ ,  $P<0.001$ ). Toisessa paikassa oli vain vähäisiä muutoksia vasemmalle katsoneiden osuudessa. Turvallisten kuljettajien osuus kasvoi kuitenkin 5 %:sta 25 %:iin toimenpiteiden jälkeen ( $\chi^2=10.84$ ,  $df=4$ ,  $P<0.05$ ). Pelkästään ajorataan maalattu varoituskolmio ei aiheuttanut muutoksia vain vasemmalle katsoneiden osuuksissa kummassakaan risteyksessä.

Osatutkimuksen III liittymissä, joihin oli tehty nopeutta alentavat toimenpiteet (töyssy, korotettu pyörätien jatke, stop-merkki), "vaarallisten" kuljettajien osuus näytti pienenevän ja turvallisten kuljettajien osuus kasvoi. Havaintojen lukumäärä oli kuitenkin melko pieni.

### **7.3 Pyörätien jatkeen ominaisuudet ja autoilijoiden käyttäytyminen**

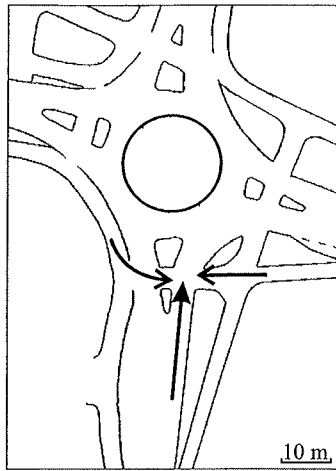
Pyöräilyn turvallisuutta pyörätien jatkeilla voidaan parantaa poistamalla näkemäesteitä. Suuri osa näkemäesteistä sijaitsee kuitenkin yksityisten omistamilla mailla. Tämä merkitsee, että niitä on lähes mahdotonta raivata tai siirtää pois. Turvallisuuden parantamiseksi on löydettävä muita keinoja. Ajourataan maalattu varoituskolmio ja punainen pyörätien jatke lisäsivät oikealle katsoneiden kuljettajien osuutta kriittisellä alueella liittymää lähestyttäessä. Tulokset ovat yhdenmukaisia aikaisempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan odotukset vaikuttavat kuljettajan havaintoihin (Näätänen & Summala, 1976; Hills, 1980). Kuljettajien saadessa tietoa mahdollisista oikealta tulevista pyöräilijöistä (osatutkimuksessa I ajoratamerkinnöin ja sanomalehden välityksellä), he voivat myös oppia katsomaan siihen suuntaan. Tästä oli osoituksena myös se, että autoilijat väistivät aina pyöräilijää toimenpiteiden jälkeen. Toimenpiteet (korotettu suojaatie, töyssy, stop-merkki), jotka pakottavat autoilijat hidastamaan lähestymisnopeutta parantavat ilmeisesti kaikkein tehokkaimmin pyöräilyn turvallisuutta. Oikealle kääntyvien autoilijoiden saadessa enemmän aikaa kuljettajat ehtivät katsoa myös oikealle tai ainakin eteenpäin lähestymisen aikana. Tämä mahdollista pyöräilijöiden havaitsemisen vähintään näkökentän ääreisosalla. Beilinsonin ym. (1992) jatkotutkimukset samassa tutkimuspaikassa tukivat tätä tulosta.

## **8. KIERTOLIITTYMÄT PYÖRÄILYN TURVALLISUUDEN KANNALTA (IV)**

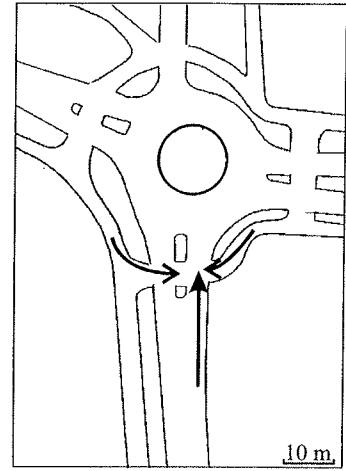
Kiertoliittymien on todettu olevan turvallinen ja sujuva liittymäratkaisu autoliikenteelle. Yhä useammin kiertoliittymä valitaankin liittymäjärjestelyksi, kun korjataan vanhaa liittymää tai rakennetaan uusia. Kiertoliittymien ongelmaksi voi kuitenkin muodostua pyöräilyn turvallisuus. Kiertoliittymää lähestyvien autoilijoiden liikennetilanne on hyvin samankaltainen kuin yleisimmässä onnettomuustyyppissä 'tavallisissa' tasoliittymissä: oikealle kääntyvien autonkuljettajien täytyy seurata vain vasemmalta tulevaa autoliikennettä, jolloin oikealta tuleva pyöräilijä jää helposti havaitsematta.

### **8.1 Tutkitut kiertoliittymät**

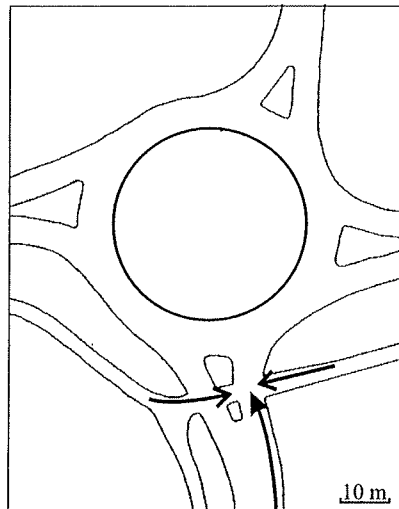
Osatutkimuksessa IV tutkittiin autoilijoiden käyttäytymistä kuudessa kiertoliittymässä Suomessa (paikat 1 ja 2), Ruotsissa (paikat 3 ja 4) ja Tanskassa (paikat 5 ja 6), jotta mukaan saatiin mitoitukseltaan erilaisia liittymiä (kuva 5, taulukko 3). Kaikki kiertoliittymät olivat yksikaistaisia ja niihin saapuva moottoriajoneuvoliikennemäärä oli yli 6000 ajoneuvoa vuorokaudessa paikallisten viranomaisten mukaan (paikasta 6 ei saatu arviota). Sisääntuloväylän leveys oli Suomen ja Ruotsin liittymissä viisi metriä ja neljä metriä Tanskan liittymissä. Keskisaarekkeen koko ja pyörätien jatkeen etäisyys kiertotilasta vaihtelivat enemmän. Ruotsin kiertoliittymien keskisaarake oli selvästi suurin, kun Suomen ja Tanskan kiertoliittymissä se oli lähes samankokoinen. Kiertotila oli leveämpi Suomen ja Ruotsin kiertoliittymissä kuin Tanskan. Kiertoliittymissä 1 - 3 oli kaksisuuntaiset pyörätiet 6 metrin etäisyydellä kiertotilasta. Kiertoliittymässä 4 kaksisuuntainen pyörätien jatke sijaitsi kahden metrin päässä kiertotilasta. Kiertoliittymässä 5 oli yksisuuntainen pyöräkäytävä (cykelsti), joka sijaitsi 1,2 m kiertotilasta. Kiertoliittymässä 6 oli yksisuuntainen pyöräkaista, mutta kiertoliittymän oikealla puolella oli kaksisuuntainen pyörätie. Pyöräily autoliikennevirtaa vastaan oli periaatteessa kielletty kiertoliittymissä 5 ja 6. Tämä ei ole kuitenkaan epätavallista, sillä tanskalaisen tutkimuksen mukaan (Agústsson, 1994) jopa 30 % pyöräilijöistä ei käytä pyöräkaistoja (tai pyöräteitä) oikein joissakin kiertoliittymissä (katso myös Hydén & Várhelyi 2000). Jokaisessa kiertoliittymässä autoilija ollessaan 20 m etäisyydellä pyörätien jatkeesta pystyi näkemään pyöräilijän, joka oli 15 m päässä pyörätien jatkeesta. Kaikissa kiertoliittymissä kerättiin aineistoa autoilijoista, jotka lähestyivät kiertoliittymää erilaisissa liikennetilanteissa sisältäen myös ne tilanteet, joissa testipyöräilijä oli mukana.



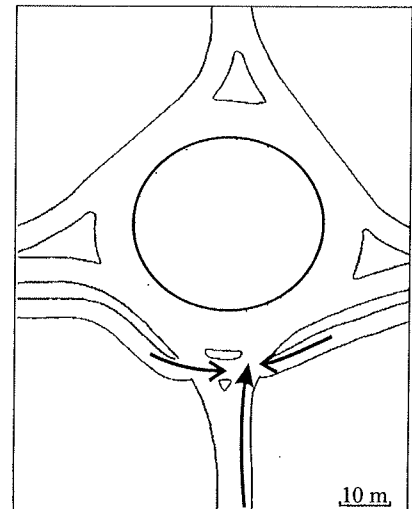
Paikka 1. FIN (Järvenpää)



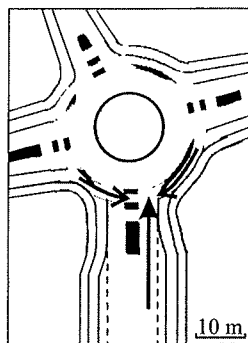
Paikka 2. FIN (Helsinki)



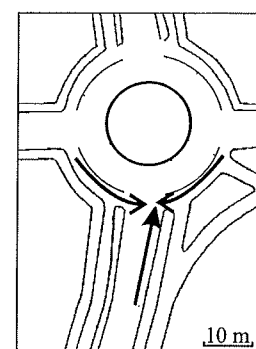
Paikka 3. S (Motala)



Paikka 4. S (Norrköping)



Paikka 5. DK (Søllerød)



Paikka 6. DK (Lyngby-Taarbæk)

Kuva 5. Tutkitut kiertoliittymät Suomessa, Ruotsissa ja Tanskassa.



Taulukko 3. Tutkittujen kiertoliittymien ominaisuudet (m).

Ominaisuudet tutkitun haaran suunnasta	Paikka 1 (FIN)	Paikka 2 (FIN)	Paikka 3 (S)	Paikka 4 (S)	Paikka 5 (DK)	Paikka 6 (DK)
Tulosuuntien porrastus	suora	porrastettu	porrastettu	suora	suora	suora
Liittymäkaarresäde	15	15	16	20	7	7
Tuloleveys	4.7	4.9	5.0	5.0	3.8	3.8
Keskisaarekkeen halkaisija*	16.0	13.5	40.0	38.5	13.0	14.6
Kiertotilan leveys	8.4	7.5	7.5	8.0	5.7	6.8
Pyörätien jatkeen etäisyys**	6.2	5.7	6.0	2.0	1.2	0 (kaista)
Näkemäetäisyys ***						
vasemmalle	>20	>20	>20	>20	>20	15
oikealle	20	15	16.5	>20	>20	>20

\*Sisältää kiertotilan kavennuksen

\*\*Lyhin matka kiertotilan reunaviivalta.

\*\*\*Autoilija 20 m etäisyydellä pyörätien jatkeesta: Kuinka kaukana autoilija voi havaita pyörätiellä olevan pyöräilijän?

Kuvassa 4 (sivu 23) esitettiin perustutkimusasetelma: yksi kamera kuvasi autoilijan päänliikkeitä suoraan edestä, toinen auton sijaintia sivulta ja kolmas yleistä liikennetilannetta liittymässä ja/tai pyöräilijän sijaintia. Kahden riippumattoman arvioijan kahteen kertaan analysoima otos aineistosta osoitti arvioitsijoiden sisäisen reliabiliteetin ( $r_{xy}$ ) päänliikkeiden arvioinnissa olevan 0.85 ja vastaavasti arvioitsijoiden välisen reliabiliteetin olevan 0.81.

#### Testipyöräilijä

Testipyöräilijän avulla voitiin luoda autoilijan näkökulmasta todellisia konfliktitilanteita, joissa autoilija ja testipyöräilijä (vuoroin oikealta ja vasemmalta) lähestyivät samanaikaisesti pyörätien jatketta. Kuvassa 5 on esitetty nuoliviivoilla tutkittujen autojen ja testipyöräilijän tulosuunnat. Onnettomuuksien tai liian voimakkaiden reaktioiden välttämiseksi testipyöräilijä jarrutti juuri ennen pyörätien jatketta ellei autoilija väistänyt. Piilotettujen videokameroiden avulla voitiin kuvata autoilijoiden reaktioita testipyöräilijään eri tilanteissa. Selkeimmässä reaktiossa autoilija väisti pyöräilijää. Lisäksi mitattiin autojen lähestymisnopeus. Vapaat autoilijat, siis kuljettajat, jotka ajoivat pyörätien jatkeelle ilman muuta liikennettä, olivat kontrolliryhmä tilanteille, joissa oli mukana testipyöräilijä. Liikennetilanteet luokiteltiin seuraavasti. Lähestyvä kuljettaja oli 'vapaa' jos 25 m matkalla ennen kiertoliittymää ei ollut liikennettä edessä tai kiertotilassa vasemmalla. Jos testipyöräilijä lähestyi pyörätien jatketta 'vapaan' autoilijan kanssa liikennetilanne luokiteltiin kuuluvaksi ryhmään: "pyöräilijä vasemmalta/oikealta ja ei muuta liikennettä läsnä". Jos kiertotilassa oli muuta moottoriajoneuvoliikennettä, kuljettaja luokiteltiin ryhmään 'muuta liikennettä läsnä'.

Testipyöräilijä saattoi ajaa myös siinä tilanteessa oikealta tai vasemmalta. Kaiken kaikkiaan syntyi siis kuusi erilaista liikennetilannetta, joissa autoilijoiden käyttäytymistä analysoitiin.

## **8.2 Lähestymisnopeudet, päänliikkeet ja väistäminen erilaisissa liikennetilanteissa**

Vapaiden autojen keskimääräiset lähestymisnopeudet olivat odotetusti korkeimmillaan jokaisessa kiertoliittymässä ja alimmillaan kun kiertoliittymässä oli muuta liikennettä testipyöräilijän ajaessa vasemmalta tai oikealta. Testipyöräilijän tullessa vasemmalta autojen lähestymisnopeudet olivat alemmat kuin pyöräilijän tullessa oikealta (toistomittausten varianssianalyysi: paikka, pyöräilijän tulosuunta ja muun liikenteen olemassaolo autoilijoiden välisenä tekijänä ja auton nopeus viiden metrin välein etäisyys autoilijoiden sisäisenä tekijänä  $F(4,1324)=7.06$ ,  $P<0.001$ ). Tämä vaikutus oli riippumaton muun liikenteen läsnäolosta ( $F(4,1324)=0.40$ ,  $P>0.05$ ). Testipyöräilijän tulosuunnalla ja muulla liikenteellä oli samanlainen vaikutus nopeuksiin eri kiertoliittymissä.

Kiertoliittymien välillä oli kuitenkin merkitseviä eroja autojen lähestymisnopeuksissa (toistomittausten varianssianalyysi:  $F(5,1757)=70.32$ ,  $P<0.01$ ). Korkeimmat vapaiden autojen keskimääräiset nopeudet pyörätien jatkeella olivat Suomen kiertoliittymissä (paikka 1, 33.1 km/h; paikka 2, 34.1 km/h), eroten merkitsevästi (Scheffe:  $P<0.001$ ) Ruotsin kiertoliittymistä (paikka 3, 25.9 km/h; paikka 4, 25.7 km/h). Ruotsin kiertoliittymien halkaisijaltaan suuremmat keskisaarekkeet taivuttivat ajouraa voimakkaasti alentaen samalla nopeuksia.

Kuljettajat katsoivat tyypillisesti vasemmalle lähestyessään kiertoliittymää. Tutkitut kuusi paikkaa erosivat merkitsevästi toisistaan kuljettajien päänliikkeiden osalta (toistomittausten varianssianalyysi: paikka, muun liikenteen olemassaolo ja pyöräilijän tulosuunta autoilijoiden välisenä tekijänä ja kuljettajan päänliikkeet metrin välein sisäisenä tekijänä,  $F(120,33528)=4.95$ ,  $P<0.001$ ) mutta tämä yleinen vaikutus johtui pääasiassa paikasta 1, jossa kuljettajat katsoivat enemmän suoraan eteenpäin kuin muissa paikoissa. Tien suuntaus suhteessa keskisaarekkeen kokoon ja sijaintiin mahdollisti ilmeisesti pienemmät päänliikkeet paikassa 1. Myös paikassa 6 viimeiset kaksi metriä ennen kiertotilaa näyttivät kuljettajien päänliikkeiden osalta erilaisilta kuin muissa paikoissa. Tämä johtui siitä, että paikassa 6 oli pyöräkaista kiertotilassa erillisen pyörätien jatkeen sijasta. Kuljettajat olivat siten ennen pyöräkaistaa tarkistamassa jo ajolinjaa oikealle.

Verrattuna vapaisiin autonkuljettajiin muu liikenne ( $P < 0.001$ ) ja vasemmalta saapuva testipyöräilijä ( $P < 0.036$ ) siirsivät kuljettajien päännliikkeitä vielä enemmän vasemmalle. Testipyöräilijä oikealta käänsi puolestaan autonkuljettajan päännliikkeitä voimakkaasti oikealle ( $p < 0.001$ ) riippumatta muun liikenteen olemassaolosta. Testipyöräilijän olemassaololla ja suunnalla oli samanlainen vaikutus kuljettajien päännliikkeisiin kaikissa paikoissa (varianssianalyysi: ei merkitsevää vuorovaikutusta paikkojen ja testipyöräilijän tilanteen välillä).

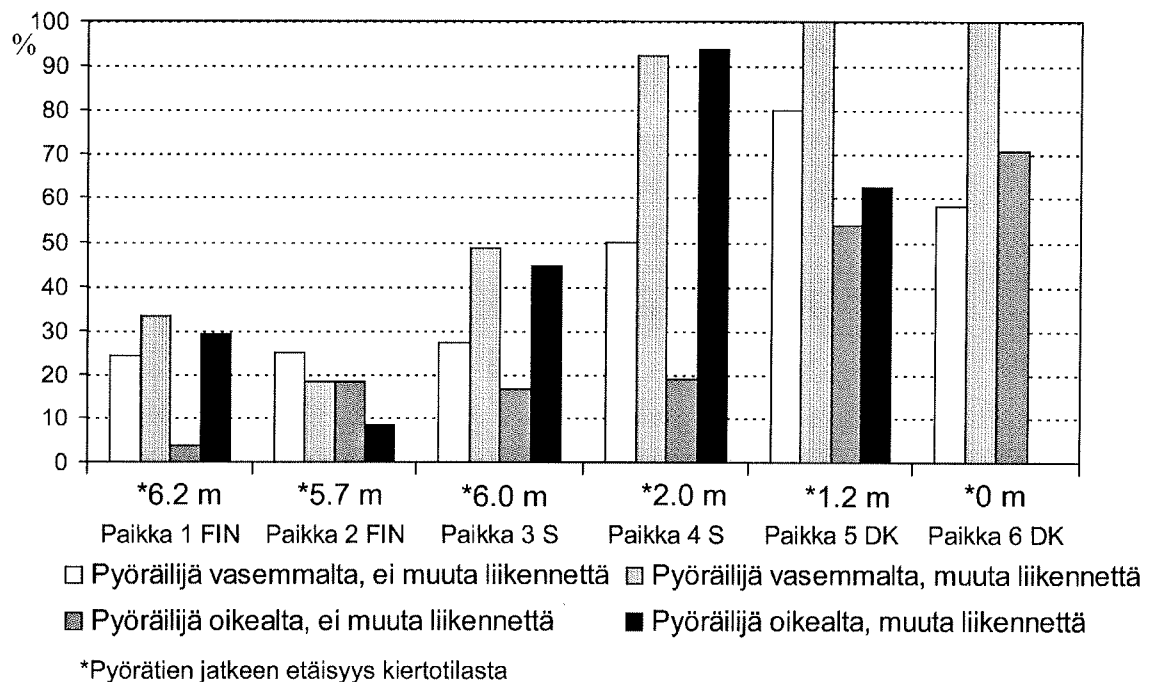
Kuljettajilla, jotka eivät katso oikealle koko lähestymisen aikana on suurin riski törmätä oikealta tulevaan pyöräilijään. Tällaisia kuljettajia oli selvästi vähiten tilanteissa, joissa testipyöräilijä saapui oikealta. Paikasta riippuen, kuitenkin 6 - 22 % kuljettajista (kaikki paikat yhteenlaskettuna 13,8 %) ei katsonut oikealle pyöräilijän tullessa oikealta. Paikoissa 2, 3, 5 ja 6 liikenteen tullessa vasemmalta (muu liikenne ja/tai testipyöräilijä) suurempi osuus kuljettajista ei katsonut oikealle verrattuna tilanteeseen, jossa kiertoliittymä oli tyhjä.

Vapaissa tilanteissa ja tilanteissa, joissa oli muuta liikennettä kiertotilassa, kuljettajien päännliikkeet erosivat lähestymisnopeuden mukaan. Niiden kuljettajien, jotka eivät katsoneet oikealle, lähestymisnopeudet olivat korkeammat kuin niiden, jotka katsoivat oikealle (toistomittausten varianssianalyysi: paikka, muun liikenteen olemassaolo ja vasemmalle katsominen autoilijoiden välisenä tekijänä ja auton nopeus viiden metrin välein autoilijoiden sisäisenä tekijänä,  $F(4,7076) = 2.779$ ,  $P < 0.05$ ).

Autonkuljettajien väistämiskäyttäytyminen suhteessa pyöräilijöihin voidaan nähdä kolmen eri tekijän ilmentymänä. Ensimmäinen tekijä on autoilijan mahdollinen pyöräilijän havaitseminen (mitä useammin autoilijat väistivät sitä varmemmin he olivat havainneet pyöräilijän). Toinen mahdollinen vaikuttava tekijä on se, että kuinka hyvin autoilija tiesi muodolliset väistämissäännöt (mitä useammin autoilijat väistivät sitä parempi tietämys liikennesäännöistä). Kolmas tekijä liittyy kuljettajan ajotyyliin ja jopa asenteisiin pyöräilyä kohtaan (mitä useammin autoilijat väistivät sitä suosiollisemmat asenteet pyöräilyä kohtaan). Kaikki nämä tekijät voivat olla olemassa samanaikaisesti ja vaikuttaa toisiinsa.

Kiertoliittymissä, joissa pyörätien jatke sijaitsi kuuden metrin etäisyydellä kiertotilasta pyöräilijää väistäneiden kuljettajien osuus oli jokaisessa liikennetilanteessa alle 50 %. Sen sijaan kiertoliittymissä, joissa pyörätien jatke sijaitsi alle kahden metrin etäisyydellä

väistäneiden kuljettajien osuus oli yli 50 % yhdeksässä tilanteessa 12:sta (kuva 6). Lisäksi kaikki paikat sisältävä logistinen regressioanalyysi vahvisti että vasemmalta lähestyvää testipyöräilijää väistettiin enemmän kuin oikealta lähestyvää ( $P<0.001$ ). Samoin muun liikenteen olemassaolo ( $P<0.002$ ) sekä alempi lähestymisnopeus lisäsivät pyöräilijää väistäneiden autoilijoiden osuutta (25 m ennen pyörätien jatketta,  $P<0.001$ ). Kun muut tekijät on vakioitu yleisessä lineaarisessa mallissa, 64 % kuljettajista, joiden lähestymisnopeus ei ollut suurempi kuin 30 km/h, väisti testipyöräilijää, kun vastaava luku kuljettajilla joiden nopeus oli yli 50 km/h oli 33 %.



Kuva 6. Pyöräilijää väistäneiden autoilijoiden osuudet tutkimuspaikoittain.

Tulokset osoittivat, että 94 %:ssa (45/48) tilanteista, joissa kuljettaja väisti hän myös katsoi oikealle. Kolme (12,5%) kuljettajaa 24:stä, jotka eivät katsoneet oikealle väistivät testipyöräilijää oikealta. Vastaava luku kuljettajilla, jotka katsoivat oikealle oli 45 autoilijaa 150:stä (30 %). Oikealle katsominen lisäsi merkittävästi väistämistä (logistisen regressioanalyysi:  $P=0.005$ ). Kuljettajat, jotka eivät katsoneet oikealle väistivät myös

vasemmalta tulevaa pyöräilijää harvemmin (42 %:ssa) kuin kuljettajat, jotka katsoivat oikealle. Ero oli merkitsevä logistisessa regressiossa, joka huomioi myös muun liikenteen läsnäolon. Lähestymisnopeus vaikutti kuitenkin pääliikkeisiin: logistinen regressioanalyysi, jossa kontrolloitiin mittauspaikka, osoitti, että suurempi lähestymisnopeus lisäsi todennäköisyyttä, että kuljettaja ei katso oikealle ( $P < 0.001$ ).

### **8.3 Kuljettajien käyttäytyminen ja kiertoliittymän mitoitus**

Autonkuljettajalle kiertoliittymään tulo on tilanne, jossa moottoriajoneuvoja voi tulla vain vasemmalta. Tällainen liikenneympäristö ja kuljettajien tietämys siitä suuntaavat kuljettajan tarkkaavaisuutta vasemmalle. Tutkimuksessa osoitettiin piilotettujen videokameroiden menetelmällä, että kuljettajat katsovat pääasiassa vasemmalle tilanteissa, joissa kuljettaja sai ajaa vapaasti kiertoliittymään tai tilanteissa, joissa oli muuta autoliikennettä ja/tai pyöräilijä tulossa vasemmalta. Kuljettajien tieto moottoriajoneuvoliikenteen suunnasta kiertoliittymässä vaikutti heidän käyttäytymiseensä (ns. ylhäältä alas suuntautuvat odotukset; ks. Theeuwes, 1991; Theeuwes & Hagenzieker, 1993; Theeuwes, 1996; Summala 1998). Pyöräilijä oikealta, (ns. "bottom-up" ärsyke), vangitsi kuitenkin suurimman osan kuljettajien tarkkaavaisuudesta mitattuna pääliikkeinä oikealle. Kuitenkaan noin 14 % kuljettajista ei katsonut lainkaan oikealle lähestyessään kiertoliittymää. Tämä ei estä sitä mahdollisuutta, että he olisivat havainneet pyöräilijän näkökentän ääreisosalla. He väistivät kuitenkin harvemmin pyöräilijää kuin oikealle katsoneet. Kaiken kaikkiaan vasemmalta tullutta pyöräilijää väistettiin enemmän kuin oikealta tullutta, mikä kertoo tarkkaavaisuuden suuntautumisesta enemmän vasemmalle.

Oikealle katsomattomuus kiertoliittymissä on samanlainen "musta tapahtuma" kuin tavallisissa liittymissä, joissa oikealle kääntyvillä on risteävä ajosuunta vain vasemmalta tulevien autojen kanssa. Tutkimuksen tulokset vahvistivat, että oikealle kääntyvän autoilijan ongelma on merkityksellinen myös kiertoliittymissä. Osa autonkuljettajista ei huomioi oikealta tulevaa pyöräilijää tai väistä sitä. Pyörätien jatkeen sijainti vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti tähän käyttäytymiseen, mikä vastaa myös van Minnenin (1994) tuloksia.

Tulokset tukivat aiempaa tulosta, että nopeus säätelee voimakkaasti visuaalisen haun strategiaa. Pitääkseen yllä korkeaa lähestymisnopeutta ja päästäkseen liittymän läpi autonkuljettajat katsovat pääasiassa muiden autojen suuntaan eivätkä huomioi vähemmän

tärkeitä uhkia. Nopeammat kuljettajat katsoivat vähemmän oikealle ja väistivät harvemmin oikealta tai vasemmalta saapuvaa pyöräilijää.

Kiertoliittymän koko on oleellinen nopeutta mitoittava tekijä. Suomessa ja Ruotsissa tutkittujen kiertoliittymien välillä suurin ero oli keskisaarakkeen koko. Vapaiden autojen lähestymisnopeus oli alempi Ruotsin kiertoliittymissä joissa oli suurempi keskisaarake ( $d=40$  m) kuin Suomen kiertoliittymissä, joissa oli pienempi keskisaarake ( $d=13 - 16$ m). Suuri keskisaarake taivutti ajouraa kiertoliittymän läpi alentaen voimakkaasti nopeutta. Nopeus on myös olennainen tekijä pyörätien jatkeen sijoittamisessa kiertoliittymään. Pyörätien jatkeen lyhyt etäisyys kiertotilasta voi olla parempi ratkaisu ajatellen törmäysnopeuksia, jotka ovat todennäköisesti alempia lähempänä kiertotilaa, jolloin törmäyksen sattuessa vammat ovat lievempiä.

Kauemmaksi siirretyn pyörätien jatkeen tarkoitus on saada autonkuljettajien lähestyminen kaksivaiheiseksi. Autonkuljettajan pitäisi jonkin matkan päässä kiertoliittymästä keskittyä ensin pyöräliikenteeseen (ja jalankulkijoihin) ja sen jälkeen kiertoliittymän moottoriajoneuvoliikenteeseen. Tämä suunnitteluperiaate ei näytä toimivan kun tarkastellaan autonkuljettajien väistämiskäyttäytymistä. Kaikissa niissä paikoissa, joissa pyöräilijän väylä sijaitsi lähellä kiertotilaa (kaksi tanskalaista ja yksi ruotsalainen liittymä) pyöräilijää väistäneiden kuljettajien osuus oli korkeampi kuin niissä paikoissa, joissa pyörätien jatke sijaitsi kuuden metrin päässä kiertotilasta (kaksi suomalaista ja yksi ruotsalainen liittymä). Hydénin ja Vårhelyin (2000) mukaan Växjön pienikokoisissa kiertoliittymissä yli 90 % kuljettajista väisti pyöräilijää, joka ajoi kiertotilassa. Lähellä kiertoliittymää oleva kuljettaja väistää helpommin pyöräilijää tilanteissa, joissa kiertotilassa on muuta liikennettä yksinkertaisesti siitä syystä, että pyörätien jatkeen jälkeen ei ole tilaa pysähtyä. Ero oli kuitenkin selvä myös tilanteissa, joissa muuta liikennettä ei ollut. Ero väistämiskäyttäytymisessä voi osittain olla suhteessa pyöräliikenteen määrään, koska voidaan odottaa että autonkuljettajat oppivat kiinnittämään enemmän huomiota runsaslukuisempiin pyöräilijämääriin (Brüde & Larsson, 1993). Siten Tanskassa, jossa pyöräilijämäärät ovat suuremmat kuin Suomessa ja Ruotsissa, autoilijat olisivat oppineet huomioimaan pyöräilijät paremmin. Kuitenkin Ruotsin toisessa kiertoliittymässä, jossa pyörätien jatke sijaitsi kahden metrin päässä kiertotilasta, tulokset olivat samanlaisia kuin Tanskan kiertoliittymässä. Joka tapauksessa autonkuljettajien päänliikkeet eri kiertoliittymissä vapaissa liikennetilanteissa olivat hyvin lähellä toisiaan.

## **9. VÄISTÄMISSÄÄNTÖJEN MUUTTAMINEN PYÖRÄTIEN JA AJORADAN RISTEÄMISKOHDASSA (V)**

Liikennesääntöjen tehtävä on säädellä kulkujärjestystä liittymissä. Kuten edellä (osatutkimus II) osoitettiin, väistämissäännöt luovat odotuksia toisten tienkäyttäjien toiminnasta liikennetilanteen ja paikan mukaan. Pyöräilijöitä koskevat liikennesäännöt ovat tavallaan erikoistapaus, koska pyöräilijöiden liikennesääntöjen tuntemusta ei valvota vaikka heidät luokitellaan ajoneuvon kuljettajiksi samoin kuin moottoriajoneuvojenkuljettajat.

Suomen tieliikennelaki muuttui 1.6.1997 liikenneturvallisuuden parantamiseksi siten, että pyöräilijöiden on tullessaan pyörätieltä ajoradalle väistettävä kaikkea liikennettä ellei liikennemerkein toisin osoiteta. Tähän sääntöön on yksi poikkeus: jos ajoneuvonkuljettaja kääntyy samasta tai vastakkaisesta suunnasta pyörätieltä tulevaan pyöräilijän nähden, on ajoneuvonkuljettajan edelleen väistettävä pyöräilijää. Lisäksi pyöräilijän ajaessa ajoradalla hänellä on edelleen samat oikeudet ja velvollisuudet kuin muilla ajoneuvonkuljettajilla. Uusi väistämissääntö on siis entistä oikean käden sääntöä enemmän sidottu liittymäjärjestelyihin. Osatutkimus (V) liittyi laajempaan kevyen liikenteen sääntömuutosta koskevaan tutkimusprojektiin (Koivisto, Räsänen, Summala, Kouri & Leinonen 1998)

### **9.1 Ennen-jälkeen mittaukset pyörätien jatkeilla**

Pyöräilijöiden sääntömuutostutkimuksen videokuvaukset toteutettiin ennen—jälkeen tutkimuksena yhdeksällä pyörätien jatkeella Helsingissä ja Hämeenlinnassa. Tutkimus keskittyi erityisesti pyöräilijöiden normaaliin liikennekäyttäytymiseen, joista tutkittiin päännliikkeet, lähestymisnopeus ja väistämistilanteet. Pyöräilijöiden ikä arvioitiin kymmenen vuoden tarkkuudella. Sääntömuutoksen vaikutusta autoilijoiden käyttäytymiseen tutkittiin pääasiassa väistämistilanteiden ja lähestymisnopeuksien avulla. Tutkittujen pyöräteiden jatkeiden sijainti ja näkemät vaihtelivat. Normaalialia liikennettä tutkittiin seitsemällä pyörätien jatkeella, joissa neljässä väistämissääntö muuttui ja kolmessa sääntömuutos ei vaikuttanut kulkujärjestykseen. Satunnaiset tilanteet, joissa autoilija ja pyöräilijä lähestyivät pyörätien jatketta samanaikaisesti, analysoitiin erikseen. Testipyöräilijää käytettiin kahdella linjaosuudella sijaitsevalla pyörätien jatkeella koska muun liikenteen vaikutus väistämistilanteeseen oli vähäisin ja sääntömuutos oli selvin linjaosuudella sijaitsevilla

pyörätien jatkeilla. Kerätty aineisto sisälsi tapauksia, joissa pyöräilijät ja autoilijat valmistuivat mahdolliseen vaaratilanteeseen sovittamalla nopeuttaan ja/tai katsomalla mahdollisten autojen tai pyöräilijöiden suuntaan.

Pyöräilijöiden päänliikkeet jaettiin kolmeen ryhmään analyysissä: 1. Pyöräilijät, jotka katsoivat suoraan koko lähestymisen ajan; 2. Pyöräilijät, jotka katsoivat sekä oikealle että vasemmalle (ja suoraan); 3. Pyöräilijät, jotka katsoivat vasemmalle (ja suoraan) ja 4. Pyöräilijät, jotka katsoivat oikealle (ja suoraan). Pyöräilijöiden nopeus laskettiin samalla tavalla kuin autojen nopeus osatutkimuksessa IV. Pyöräilijän sijainti määriteltiin asettamalla kohdistusnuoli pyöräilijän pään kohdalle.

## **9.2 Lähestymisnopeudet, pyöräilijöiden päänliikkeet ja väistäminen erilaisissa pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa**

### *Lähestymisnopeudet*

Autojen lähestymisnopeuksissa pyörätien jatkeelle ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen tapahtui vain pieniä muutoksia. Sivutieltä päätieltä lähestyvien autojen nopeudet näyttivät alenevan sääntömuutoksen jälkeen (toistomittausten varianssianalyysi: sääntömuutos autoilijoiden välisenä tekijänä, etäisyys pyörätien jatkeelta autoilijoiden sisäisenä tekijänä: paikka 1,  $P=0.003$ ; paikka 2,  $P=0.054$ ; paikka 3,  $P<0.001$ ). Keskimääräinen nopeusero 5 m ennen pyörätien jatketta oli vastaavasti 3.5, 2.4 ja 2.0 km/h. Väistämissääntö ei muuttunut paikoissa 1 ja 2 autoilijan tulosuunnassa ennen pyörätien jatketta sijaitsevan karkikolmion vuoksi. Muilla tutkituilla pyörätien jatkeilla ei tapahtunut muutoksia autoilijoiden tai pyöräilijöiden nopeuksissa.

Autojen lähestymisnopeudet alenivat testipyöräilijän tullessa joko oikealta tai vasemmalta verrattuna vapaisiin autoihin. Toistomittausten varianssianalyysi (etäisyys pyörätien jatkeelta autoilijoiden sisäisenä tekijänä) osoitti, että sekä vasemmalta (paikka 8,  $P=0.002$ , paikka 9,  $P=0.011$ ) että oikealta (paikka 8,  $P<0.001$ ; paikka 9,  $P=0.003$ ) tulevat autot ajoivat alemmalla nopeudella verrattuna vapaisiin autoihin (kontrollitilanne). Kun autoilijat, jotka väistivät jätettiin pois laskuista ero testipyöräilijän tilanteen ja vapaiden autojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä 8 % merkitsevyystasolla paikassa 8 ja edelleen merkitsevä paikassa 9 ( $P=0.019$ ). Nopeudet eivät kuitenkaan muuttuneet merkitsevästi sääntömuutoksen jälkeen.



### *Pyöräilijöiden päänliikkeet*

Päänliikkeitä seurattiin matkalta, jossa pyöräilijällä oli mahdollisuus havaita lähestyvä auto. Pyöräilijöiden päänliikkeissä tapahtui pieni mutta samansuuntainen muutos turvallisempaan suuntaan. Molempiin suuntiin katsoneiden pyöräilijöiden osuus oli suurempi jokaisessa paikassa sääntömuutoksen jälkeen ( $P=(1/2)^7=0.008$ , keskimääräinen kasvu oli 6.3 %-yksikköä). Paikassa kuusi näkemät huononivat huomattavasti sääntömuutoksen jälkeen aiheuttaen suuren muutoksen päänliikkeissä. Molempiin suuntiin katsoneiden osuus kasvoi huomattavasti, joka osoitti että uusi näkemäeste oikealle huomioitiin. Molempiin suuntiin katsoneiden pyöräilijöiden osuuden keskimääräinen kasvu oli 4,2 %-yksikköä sääntömuutoksen jälkeen mikäli paikka kuusi jätetään huomioimatta.

Tutkimuspaikoissa, joissa pyörätien jatke oli sivutien kanssa risteävä, keski-ikäiset ja erityisesti vanhemmat pyöräilijät katsoivat useammin molempiin suuntiin sääntömuutoksen jälkeen. Myös nuorten pyöräilijöiden päänliikkeissä tapahtui muutosta parempaan suuntaan, koska he katsoivat enemmän vasemmalle jossa näkemäeste sijaitsee. Valitettavasti lasten lukumäärä oli liian pieni johtopäätösten tekemiseen. Muissa tutkimuspaikoissa ei ikäryhmien välillä ollut eroa.

### *Väistäminen*

Pyöräilijöiden ja autoilijoiden samanaikaisia lähestymisiä kuvattiin eri liikennetilanteissa ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen. Tilanteissa, joissa auto kääntyi samasta tai vastakkaisesta suunnasta pyöräilijään nähden väistäneiden autonkuljettajien osuus pieneni kolmessa tutkitussa liittymässä 85,4 %:sta 67,2 %:iin. Samojen liittymien tilanteissa, joissa autonkuljettajilla oli risteävä ajosuunta oikealta tulevan pyöräilijän kanssa väistäneiden autonkuljettajien osuus kasvoi erityisesti paikoissa 1 ja 3. Tässä tilanteessa väistämisvelvollisuus muuttui vain paikassa 3. Pyöräilijän tullessa vasemmalta autonkuljettajat antoivat tietä sääntöjen mukaisesti suurelta osin ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen. Liikennemäärissä ei tapahtunut muutoksia ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen. Erillisillä, linjaosuuksilla sijaitsevilla pyörätien jatkeilla uusi sääntö vahvisti vallitsevan väistämiskäytännön: pyöräilijä väisti lähes aina tuli hän sitten oikealta tai vasemmalta.

### 9.3 Haastattelut ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen

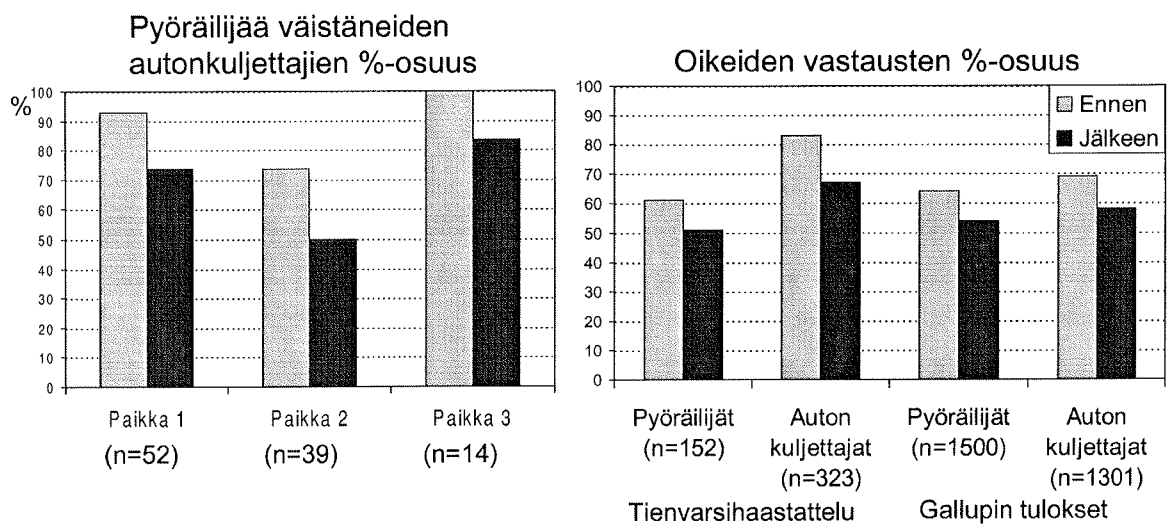
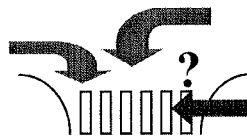
Sääntömuutokseen liittyvät haastattelut tehtiin Helsingissä ja Jyväskylässä ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen. Haastateltavilta kysyttiin heidän tietämystään etuajo-oikeussäännöistä. Pyöräilijät pysäytettiin sääntöjen kannalta tärkeässä liikennetilanteessa ja kysyttiin kenen pitäisi väistää liikennesääntöjen mukaan. Autoilijoille näytettiin piirroksia vastaavista liikennetilanteista ja kysyttiin kenen pitäisi väistää liikennesääntöjen mukaan. Haastattelut tiellä tehtiin ennen lakimuutosta huhtikuussa 1995 ja elo-lokakuussa 1996. Lakimuutoksen jälkeen haastattelut tehtiin elokuun lopulla 1997. Yksityinen tutkimusyritys teki lisäksi haastatteluja kodeissa ennen sääntömuutosta tammi-helmikuussa 1997 ja syyskuussa 1997 sääntömuutoksen jälkeen. Tämä otos edusti Suomen yli 15 -vuotiasta väestöä. Ennen lakimuutosta haastateltiin 895 aikuista pyöräilijää, 101 lapsipyöräilijää (7-14 vuotta) ja 833 autonkuljettajaa; lakimuutoksen jälkeen haastateltiin 959 aikuista pyöräilijää, 88 lapsipyöräilijää ja 856 autonkuljettajaa.

### 9.4 Tienkäyttäjien tietämys liikennesäännöistä

Erillisellä linjaosuudella sijaitsevalla pyörätien jatkeella vanha oikean käden väistämissääntö tunnettiin huonosti. Sääntömuutoksen jälkeen oikeiden vastausten osuus kasvoi huomattavasti jäaden kuitenkin vielä alle 82 %. Muutos oikean vastauksen suuntaan oli merkitsevä kaikissa ikäryhmissä yli 65 -vuotiaita pyöräilijöitä lukuunottamatta ( $P>0.05$ ). Autonkuljettajien käyttäytyminen ja tulokset haastatteluista olivat ristiriidassa ennen sääntömuutosta; vain 4 % autonkuljettajista väisti oikealta tulevaa pyöräilijää mutta 69 % tiellä haastatelluista ja 56 % kotona haastatelluista autoilijoista vastasi, että autonkuljettajien pitäisi väistää tai että ajoneuvolla oikealta on etuajo-oikeus.

Väistämissääntö ei muuttunut tilanteessa, jossa autoilija kääntyi pyörätien jatkeelle samasta tai vastakkaisesta pyöräilijän suunnasta. Autoilijoiden ja pyöräilijöiden tietämys oikeasta käyttäytymisestä tässä tilanteessa huonontui kuitenkin merkitsevästi sääntömuutoksen jälkeen. Varsinkin yli 65 -vuotiaat pyöräilijät vastasivat harvemmin oikein, mutta toisaalta yli 65 -vuotiaat autoilijat olivat ainoa ryhmä, jonka tietotaso pysyi samalla tasolla (noin 60% oikeita vastauksia ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen). Tietämyksen heikkeneminen näkyi myös käyttäytymisessä, kun autoilijat väistivät harvemmin pyöräilijöitä tässä tilanteessa. (Kuva 7).

Sääntömuutos ei vaikuttanut myöskään tilanteessa, jossa autoilija lähestyy liittymän pyörätien jatketta kärkikolmion takaa. Melkein kaikki autoilijat (94 % ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen) tiesivät, että autoilija on siinä tilanteessa väistämisvelvollinen. Heti sääntömuutoksen jälkeen kesällä 1997 ihmisiltä kysyttiin tiellä olivatko he kuulleet uudistuksesta ja uudelleen kotona tehdyissä haastatteluissa saman vuoden syyskuussa. Vain 49 % (n=88) lapsista oli kuullut muutoksesta ja 35 % pystyi mainitsemaan yhden muuttuneen tilanteen. Vastaavat luvut aikuisilla olivat (n=104) 86 % ja 71 %. Kotihaastatteluissa 81% (n=1066) ja 68 % yli 65-vuotiaista vastasi, että oli kuullut sääntömuutoksesta.



Kuva 7. Tienkäyttäjien väistäminen ja tietämys kääntyvän auton tilanteessa ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen.

### 9.5 Väistämissäännöt pyöräilyn turvallisuudessa

Väistämissääntöjen muutos lähti ilmeisestä tarpeesta saada selkeyttä pyörätien ja ajoradan risteämiskohtia koskeviin väistämissääntöihin. Tutkimus osoitti, että tienkäyttäjien käyttäytyminen ja tietämys liikennesäännöistä muuttui joissakin tärkeissä liikennetilanteissa

sääntömuutoksen jälkeen. Suurimmat muutokset tapahtuivat kuitenkin tilanteissa, joissa ei tapahtunut muodollista liikennesääntöjen muutosta. Itse asiassa uusi sääntö muutti jokseenkin vähän väistämissääntöjä liittymissä, joissa on pyörätien jatke, koska kulkujärjestys näissä liittymissä on yleensä määrätty liikennemerkein tai valo-ohjauksen avulla.

Ennen sääntömuutosta ajoneuvoilla oikealta oli etuajo-oikeus vasemmalta saapuviin ajoneuvoihin nähden ellei sitä ollut muuten osoitettu. Sääntömuutoksen seurauksena oikealta pyörätien jatkeelle tuleva pyöräilijä oli väistämismuuttunut, ellei sitä oltu liikennemerkein toisin osoitettu. Siten selvin muutos kulkujärjestyksessä tapahtui pyörätien jatkeilla linjaosuuksilla, joissa ei ole yleensä väistämismuuttu osoittavia liikennemerkkejä. Tutkimus osoitti, että niissä tilanteissa autoilijat käyttäytyivät uuden säännön mukaisesti jo ennen sääntömuutosta. He eivät väistäneet oikealta tulevaa pyöräilijää, vaikka haastatteluissa yli 50 % ilmoitti toisin. Pyöräilijöiden pääliikkeet moneen suuntaan näissä tilanteissa osoittivatkin, että varovaisuuteen oli aihetta.

Testipyöräilijän vaikutus lähestyvien autojen nopeuteen oli ilmeinen, mutta vaikutus oli samaa luokkaa ennen sääntömuutosta ja sen jälkeen. Tienkäyttäjien käyttäytyminen linjaosuuksien pyörätien jatkeilla osoitti selvästi niin sanotun psykologisen etuajo-oikeuden merkityksen: kun kapea vähäliikenteinen pyörätie risteää paljon leveämmän ajoradan kanssa niin pitää tilanteen olla melko vaarallinen ennen kuin autoilija väistää pyöräilijää. Lisäksi pyörätien jatke on yleensä merkitty kuten jalankulkijoiden suojatie, mikä ei mitenkään korosta pyöräilijöiden reitin olemassaoloa. Liikenneturvallisuuden kannalta uutta sääntöä voidaan pitää parempana sen yksinkertaisesti vahvistaessa vallitsevan väistämiskäytännön linjaosuuksien pyörätien jatkeilla. Jos esimerkiksi pääpyörätie halutaan merkitä etuajo-oikeutetuksi linjaosuudella, se vaatii tuekseen liikennemerkkien lisäksi jonkin rakenteellisen toimenpiteen, esimerkiksi korotetun pyörätien jatkeen.

Liikennetilanne on täysin erilainen, jos pyöräilijä ajaa päätien suuntaista pyörätietä, joka risteää sivutien kanssa, josta on tulossa auto. Kulkujärjestys muuttui vain jos tässä tilanteessa autoilijan tulosuunnassa ei ole väistämismuuttu osoittavaa liikennemerkkiä, mikä on kuitenkin harvinaista näissä paikoissa. Autoilijat tiesivät väistämismuuttuutensa hyvin tässä tilanteessa sekä ennen että jälkeen sääntömuutoksen. Tämä näkyi myös heidän käyttäytymisessään. Itse asiassa he näyttivät käyttäytyvän varovaisemmin tässä tilanteessa sääntömuutoksen jälkeen. Autojen lähestymisnopeudet putosivat kahdessa tutkitussa

liittymässä ja autoilijat näyttivät väistävän enemmän pyöräilijöitä sääntömuutoksen jälkeen. Huomioitava on kuitenkin, että väistämistilanteiden määrä oli kuitenkin melko pieni ja vain kolmessa liittymässä.

Kääntyvän auton velvollisuus väistää samasta tai vastakkaisesta suunnasta tulevaa pyöräilijää ei myöskään muuttunut. Autoilijoiden käyttäytyminen muuttui kuitenkin huomponaan suuntaan. Väistäneiden autoilijoiden osuus pieneni 85,4 %:sta 67,2 %:iin ja myös haastattelut osoittivat oikeiden vastausten määrän vähentyneen merkitsevästi. Ilmeisesti osa kuljettajista yleisti sääntömuutokskampanjan yhteydessä käytetyn sloganin: "pyörätieltä tuleva väistää" koskemaan kaikkia liikennetilanteita, joissa ei ole kärkikolmiota autoilijan tulosuunnassa.

Tulokset osoittivat, että muutokset väistämissäännöissä voivat vaikuttaa käyttäytymiseen myös tilanteissa joissa ei tapahdu muodollista muutosta. Usein on todettu, että pyöräilijät ovat ajoneuvon kuljettajista kaikkein heterogeenisin ryhmä, mikä korostaa yksinkertaisten sääntöjen merkitystä. Erityistä huomiota pitäisi kiinnittää siihen seikkaan, että liikenneympäristö myös ohjaa noudattamaan näitä yksinkertaisia sääntöjä.

## 10. JOHTOPÄÄTÖKSET

Pyörätieverkon rakentamisella pyritään lisäämään pyöräilyn määrää ja parantamaan pyöräilyn turvallisuutta. Pyörätiet parantavat pyöräilyn turvallisuutta linjaosuuksilla, mutta onnettomuudet "siirtyvät" pyörätien ja ajoradan risteämiskohtiin. Turvallisuuden parantumisesta linjaosuuksilla saatu hyöty menetetään, jos pyörätien jatketta ei ole mitoitettu oikein (Leden 1989). Pyörätien ja ajoradan risteäminen on ongelma erityisesti taajamissa, joissa liittymätiheys on usein suuri. Poliisin tietoon tulleiden tapausten perusteella kaikista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä henkilövahinkoon johtaneista liittymäonnettomuuksista yli 60 % sattuu pyöräteiden jatkeilla ja yli 90 % taajamissa. Tässä tutkimuksessa tutkittiin pyöräilyn turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa taajamissa sekä keinoja vähentää niissä tapahtuvia pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisiä onnettomuuksia.

### 10.1 Liikenneonnettomuuksien tutkiminen ja menetelmien kehittäminen

Liikenneonnettomuuksien taustalla on yleensä lukuisia eri tekijöitä, joiden voidaan katsoa myötävaikuttaneen onnettomuuteen tai aiheuttaneen onnettomuuden. Eri tekijöiden merkityksen tulkitseminen edellyttää niiden suhteuttamista toisiinsa. Silti monet onnettomuuden syntyyn vaikuttavat tekijät eivät ole yksin tai edes yhdessä onnettomuuden synnyn välttämätön ehto. Lisäksi on oltava tietoa siitä, kuinka usein tienkäyttäjät altistuvat näille riskeille. (Katso esim. Häkkinen, Kaukinen & Tallqvist 1969; Chapman, 1973; Englund 1985; Salusjärvi 1989; Elvik, 1996; Summala 1996). Liikenneonnettomuuksien tutkimisen ongelmaksi nouseekin usein altistustietojen puuttuminen. Tämä voidaan osittain ratkaista luokittelemalla onnettomuudet yksityiskohtaisesti tapahtumapaikan ja osallisten kulkusuuntien mukaisiin tyypeihin ja vertaamalla onnettomuuteen johtaneita tekijöitä eri onnettomuustyyppien välillä. Oletettujen tekijöiden merkitystä ja vaikutusmekanismeja voidaan edelleen arvioida otoksilla tienkäyttäjien käyttäytymisestä vastaavissa liikennetilanteissa.

Ajoneuvojen tekniset viat aiheuttavat harvoin pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisiä onnettomuuksia (Räsänen, 1995). Onnettomuuden synnyssä on siis viime kädessä kyse onnettomuuspaikan ominaisuuksista ja osallisten käyttäytymisestä. Tässä tutkimuksessa

yhdistettiin maantieteellinen ja liikennepsykologinen lähestymistapa onnettomuuksien tutkimisessa ja sitä sovellettiin käytännön suunnittelukysymyksiin pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa. Myös liikennesäännöt kuuluvat paikan ominaisuuksiin, koska tietyssä liikenneympäristössä vallitsee yleensä samat väistämissäännöt.

Tutkimuksessa kehitettiin menetelmiä, joiden perusteella voitiin arvioida onnettomuuksiin johtavan käyttäytymisen ja normaalissa liikenteessä ilmenevän käyttäytymisen suhteita ja riskitekijöitä erilaisissa liikennetilanteissa ja -ympäristöissä. Poliisin tietoon tulleet onnettomuudet Helsingissä ja liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunta-aineisto neljästä kaupungista luokiteltiin tarkasti onnettomuustyyppisiin. Osallisten toimintaa ennen onnettomuutta ja tiellä liikkujien normaalia liikennekäyttäytymistä tutkittiin suhteessa näihin onnettomuustyyppisiin. Liikennettä kuvattiin piilotetuilla videokameroilla ja videonauhoilta analysoitiin tienkäyttäjien lähestymisnopeuksia, päänliikkeitä ja väistämistilanteita. Testipyöräilijän käyttö osoittautui hyväksi menetelmäksi saada tietoa autonkuljettajien käyttäytymisestä erilaisissa risteystilanteissa, koska siten voitiin lyhyessä ajassa luoda todellisen kaltaisia konfliktitilanteita autoilijan ja pyöräilijän välille.

Tutkimus osoitti, että polkupyöräonnettomuuksien kehityksen seurannan tehostamiseksi virallista onnettomuustyyppiluokittelua pitäisi selventää. Näin jatkossa pystyttäisiin analysoimaan tarkemmin suuremmilla aineistoilla paikkojen ja osallisten ominaisuuksia onnettomuustyypeittäin, mikä on edellytys keinojen löytämiseksi onnettomuuksien vähentämiseksi laajemmin. Onnettomuuksien luokittelu nykyisen liikenneonnettomuustyyppikuvaston mukaisesti ei kuvaa tarpeeksi tarkasti tapahtumapaikkaa ja osallisten kulkusuuntia. Luokittelun puutteet näkyvät väärin tyyppisiin merkittyinä onnettomuuksina, kun vastaavaa tyyppiä ei löydy (Räsänen, 1997). Polkupyöräonnettomuudet olisi syytä erottaa omiksi tyypeikseen samoin kuin on jalankulkijaonnettomuudet liikennevahinkoluokittelussa. Pyöräilijän törmätessä jalankulkijaan onnettomuus luokiteltaisiin edelleen jalankulkijaonnettomuudeksi. Kiertoliittymien määrän lisääntyessä niille pitäisi myös olla oma tunnisteensa onnettomuuksien rekisteröinnissä.

Onnettomuustyyppiluokitteluun liittyvät puutteet voidaan osaltaan ratkaista käyttämällä paikkatietojärjestelmää, jossa osallisten kulkusuunnat ja tapahtumapaikka on sidottu kartalle. Osallisiin ja tapahtumapaikkaan liitettyjen tietojen avulla voidaan hakea riskitekijät kasautumia eri onnettomuustilanteissa. Aultman-Hall & Hall (1998) ja Aultman-Hall &

Kaltenecker (1999) pystyivät haastatteluiden ja paikkatietojärjestelmän avulla arvioimaan myös pyöräilijöiden altistusta, johon Suomessakin on suuri tarve. Suomen kaupungeista ainakin Helsinki ja Turku käyttävät onnettomuuksien tallentamisessa paikkatietojärjestelmiä, ja ne molemmat perustuvat poliisin tietoon tulleisiin onnettomuuksiin (Möykky 2000). Kevyen liikenteen onnettomuuksia jää kuitenkin paljon poliisin tietojen ulkopuolelle. Liikenneministeriö (2000) onkin käynnistämässä projektia, jossa poliisin ilmoittamien tietojen lisäksi paikkatietojärjestelmään talletettaisiin sairaalan onnettomuustiedot. Näin saataisiin tarkempi kokonaiskuva onnettomuuksien vakavuusasteesta ja erityisesti kevyen liikenteen onnettomuuksista. Sen avulla päästäisiin myös yksittäisestä onnettomuuspaikasta pidemmälle tutkimaan onnettomuuksia suhteessa liikennejärjestelmään ja kaupungin eri osiin, jotta saataisiin tarkemmin selville kuinka esimerkiksi liikennevirrat, katutyypit ja alueen ominaisuudet vaikuttavat onnettomuuksiin.

## **10.2 Onnettomuudet kaksisuuntaisilla pyöräteillä ja näkemät**

Suurin osa pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista sattui pyöräilijöille, jotka ajoivat menosuunnassaan tien vasenta puolta (ks. myös Hunter ym., 1995). Päätien suuntaisilla pyörätien jatkeilla Helsingissä tapahtui neljä kertaa enemmän onnettomuuksia tien vasemmalle puolella ajaville pyöräilijöille kuin oikealle puolella ajaville. Tätä tulosta tukevat tutkimukset, joiden mukaan tien vasemmalle puolella ajavien pyöräilijöiden onnettomuusriski on suuri (Schnüll ym., 1992; Wachtel & Lewiston, 1994; Kvambe 1998). Yleisin pyöräilijöiden ja autoilijoiden välinen onnettomuustyyppi oli tilanne, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä tuli autoilijan näkökulmasta oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Tämä onnettomuustyyppi kattaa noin 20 % pyörätien jatkeilla liittymissä sattuneista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista.

Taajamissa liittymätiheyden ollessa usein suuri kaksisuuntaisten pyöräteiden turvallisuusongelmat korostuvat. Niin sanotuissa pyöräilymaissa Tanskassa ja Alankomaissa polkupyöräliikenne sijoitetaan taajamissa pääsääntöisesti ajoradasta visuaalisesti tai fyysisesti erotetuille yksisuuntaisille pyöräkaistoille tai -teille (Räsänen, 1995). Myös esim. Norjassa suositellaan yksisuuntaisten pyöräkaistojen rakentamista taajamissa (Statens vegvesen 1994; Kraugerud, 1998). Yksisuuntaisilla väylillä ajetaan periaatteessa aina menosuuntaan nähden tien oikealla puolella. Kaksisuuntaisten väylien etu verrattuna yksisuuntaisiin on siinä, että pyöräilijöiden ei tarvitse tehdä kahta pääsuunnan ajoradan ylitystä, jos lähtö- ja määräpaikka



sijaitsevat tien samalla puolella. Tällä tavalla tapahtuva altistuksen vähentyminen ei kuitenkaan tee kaksisuuntaisista väylistä turvallisempia kuin yksisuuntaiset. Pyöräilijät käyttäytyvät varovaisemmin ylittäessään päätieta kuin sivutietä, mikä vähentää pääsuunnan ajoradan ylitysten onnettomuusriskiä. Jos yksisuuntaiset pyöräilijöiden väylät lisääisivät pääteiden ylitysonnettomuuksia, sen pitäisi näkyä suurempina määrinä risteävien ajosuuntien onnettomuuksia. Tanskassa yksisuuntaiset väylät eivät kuitenkaan tuota suhteellisesti enempää onnettomuuksia kuin Suomessa tilanteissa, joissa osallisilla on risteävät ajosuunnat (Räsänen, 1995) vaan pyöräkaistojen turvallisuusongelmat keskittyvät Tanskassakin sivuliittymiin (Vejdirektoratet, 1996). Kuitenkin Tanskassa pyöräilijän kuoleman riski on huomattavasti pienempi kuin Suomessa (Räsänen, 1995). Tosin kuolleiden vertailu ei kerro suoraan pyörätiejärjestelyiden turvallisuudesta, koska useimmat kuolemat liittymissä sattuvat Suomessa ajoradalla kuin pyörätien jatkeella (Räsänen 1997). Loukkaantuneiden osalta ei ole käytettävissä vertailukelpoista aineistoa.

Näkemäesteet olivat yleisiä erityisesti yleisimmässä onnettomuustyyppissä, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä oli tulossa oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Näkemäesteet lyhentävät autonkuljettajan aikaa havaita lähestyvä pyöräilijä ja polkupyöräonnettomuuden riski pyörätien jatkeilla kasvaa huomattavasti näkemältään rajoitetuissa, valo-ohjaamattomissa liittymissä. Vertailtaessa eri onnettomuustyyppisiä erilaisissa näkemäolosuhteissa voitiin arvioida, että auton ja polkupyörän välisen onnettomuuden riski pyörätien jatkeella on jopa kymmenkertainen näkemältään rajoitetuissa liittymissä verrattuna liittymiin, joissa ei ole näkemäesteitä.

Pyöräilyn turvallisuutta pyörätien jatkeilla voidaan parantaa poistamalla näkemäesteitä. Suuri osa näkemäesteistä sijaitsee kuitenkin yksityisten omistamilla mailla, jolloin niitä on lähes mahdotonta raivata tai siirtää pois. Näin ollen turvallisuuden parantamiseksi on löydettävä muita keinoja.

### **10.3 Osallisten käyttäytyminen ja ominaisuudet onnettomuustilanteen mukaan**

Kaikista pyöräilijöiden ja autoilijoiden törmäyksistä 37 %:ssa kumpikaan osapuoli ei tajunnut vaaraa tai ei ollut aikaa väistää. Lopuissa onnettomuuksissa joko kuljettaja (27 %) tai pyöräilijä (24 %) tai molemmat (12 %) tekivät jotain onnettomuuden välttämiseksi. Osallisten käyttäytyminen ennen onnettomuutta osoitti, että toiminta eroaa selvästi onnettomuuspaikan

mukaan. Autoilijoilla korostuivat havaintovirheet, kun he lähestyivät sivutieltä päätieta kun taas arviointivirheet saivat suuremman merkityksen heidän ajaessaan päätien suuntaisesti. Pyöräilijät ylittäessään sivutien tai tontin liittymää havaitsivat usein auton, mutta olettivat sen väistävän; päätien ylityksissä pyöräilijät ehtivät sen sijaan harvoin tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi. Tulosten perusteella voidaan todeta, että melko suuressa osassa pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista osallisten toiminta ennen onnettomuutta on selitettävissä liikennetilanteen mukaan.

Yleisimpään onnettomuustyyppiin kuuluvien onnettomuuksien takana näyttää olevan kaksi päämekanismia, jotka näkyivät osittain myös muissa onnettomuustyypeissä. Ensimmäinen on autonkuljettajien tarkkaavaisuuden jakaminen ja suuntautuminen. Autoilijat pyrkivät ensisijaisesti huomaamaan liittymissä muut autot. Tämän seurauksena pyöräilijät jäävät havaitsematta, varsinkin jos nämä tulevat odottamattomasta suunnasta. Jos kuljettaja katsoo liian myöhään pyöräilijän tulosuuntaan, hänellä ei yksinkertaisesti ole aikaa pysähtyä tai väistää ennen törmäystä. Osaltaan tärkeä, autoilijan tarkkaavaisuuden suuntautumisesta ohjaava tekijä on ajonopeus, joka vaikuttaa myös onnettomuusriskiin. Pitääkseen yllä korkeaa tavoitenopecta kuljettajien täytyy optimoida tarkkaavaisuuden suuntaamista. Tämä voi johtaa siihen, että kuljettajan tarkkaavaisuus valikoi niitä tekijöitä, jotka koetaan suurimmiksi uhkatekijöiksi ja samalla saattaa jäädä huomioimatta uhkia tai tekijöitä, jotka ovat pienempiä tai epätodennäköisempiä. Toiseksi pyöräilijällä voi olla väärät odotukset autoilijan toiminnasta. Monissa tapauksissa pyöräilijät olettivat, että autonkuljettaja väistäisi kuten laki edellyttää.

Edellä kuvattujen tekijöiden vaikutusta edistävät kaksisuuntaiset pyörätiet ja väistämissäännöt. Suomessa käytetään yleisesti kaksisuuntaisia pyöräiteitä. Tämä aiheuttaa usein yllättävän tilanteen autoilijalle pyöräilijän saapuessa eri suunnasta kuin muu autoliikenne. Onnettomuuspaikoilla yleiset näkemäesteet pahentavat tilannetta vielä huomattavasti, koska autoilijat eivät voi havaita pyöräilijöitä edes ääreisnäöllä. Kolmessa yleisimmässä onnettomuustyyppissä pyöräilijä lähestyi pyörätien jatketta tien vasenta puolta, eri suunnasta kuin muu autoliikenne.

Väistämissäännöt edesauttavat väärin odotusten syntymistä pyöräilijälle, koska lain mukaan autoilijan on väistettävä pyöräilijää tullessaan karkikolmion takaa. Pyöräilijän näkökulmasta autoilija käyttäytyy väistämissäännön aiheuttamien odotusten mukaisesti auton yleensä

hidastaessa nopeuttaa liittymää lähestyessään, mikä ei välttämättä tarkoita sitä että autoilija hidastaisi pyöräilijän takia. Kaksisuuntaiset pyörätiet ja väistämissääntö aiheuttavat autoilijalle tilanteen, jossa etuajo-oikeutettu pyöräilijä tulee yllättävästä suunnasta. Sääntömuutos ei vaikuttanut tähän tilanteeseen, koska yleensä liittymissä, joissa on pyörätiet, kulkujärjestys on säännelty karkikolmioilla.

Pyöräilijöiden tietämys liikennesäännöistä ja liikennetaidot vaihtelevat enemmän kuin millään muulla ajoneuvonkuljettajaryhmällä. Aiemmat tutkimukset osoittavat, että lasten ja iäkkäiden pyöräilijöiden onnettomuusriski on suurempi kuin muiden ikäryhmien (Maring & Schagen, 1990; Gårder ym., 1994). Keskisen (1982) mukaan pyöräilyn erikoisongelma syntyy juuri tästä suuresta yksilöllisestä vaihtelusta pyöräilijöiden käyttäytymisessä: lapset, vanhukset ja juopuneet pyöräilijät toimivat usein niin yllättävästi, jolloin autoilijan on vaikea ennustaa heidän käyttäytymistään. Kuitenkin yleisimmässä onnettomuustyyppissä juuri ajokortilliset pyöräilijät toimivat väistämissääntöjen mukaisesti, mikä poikkeaa autoilijan odotuksista tulevasta liikennetilanteesta. Toisaalta onnettomuuksiin, joissa liikennetilanne oli vaativampi esim. pyöräilijän ylittäessä päätietä, näyttää joutuvan pyöräilijöitä, joiden liikennetaidoissa tai tiedoissa liikennesäännöistä voi olla puutteita. Pyörätiet tuudittavat helposti "väärään" turvallisuuden tunteeseen linjaosuuksilla, mikä sitten kostautuu liittymissä. Franklinin (1999) mukaan pyöräilijät (erityisesti nuoret) eivät opi olennaisia liikennetaitoja, jos he pyöräilevät pyöräteillä. Pyöräteiden rakentaminen ei hänen mielestään myöskään lisää pyöräilyä vaan pikemminkin vähentää sitä, koska pyöräilijät eivät uskalla enää ajaa muualla kuin pyöräteillä.

#### **10.4 Liikenneympäristön ja -sääntöjen yhteensovittaminen**

Pyörätien jatkeiden onnettomuudet keskittyvät taajamissa hieman yllättäen valo-ohjaamattomiin sivuteiden ylityksiin (Samalla tavoin on Tanskan pyöräkaistojen kohdalla, Vejdirektoratet 1996). Nämä liittymät ovat tietenkin usein sivukadun ja pää- tai kokoojakadun liittymiä (Räsänen, 1995). Tutkimuksen mukaan pyöräilyn turvallisuuden parantamisen kohdalla on erityistä huomiota kiinnitettävä siihen periaatteeseen, että liikenneympäristö ohjaa tienkäyttäjiä sääntöjen mukaiseen käyttäytymiseen. Autoilijat pyrkivät liittymissä ensisijaisesti huomaamaan muut autot, jotka ovat yleensä runsaslukuisempia ja suurempi uhka törmäyksissä kuin pyöräilijät. Pyöräilijöiden käyttäytymiseen liittymissä vaikuttaa puolestaan usein voimakkaammin ajoradan leveydet, autoliikenteen nopeudet ja määrät kuin

liikennesäännöt. Wramborgin (1998) mukaan kadut olisi suunniteltava hierarkkisesti siten, että tienkäyttäjät ymmärtäisivät heti minkä tyyppisellä kadulla he ovat, millaista käyttäytymistä heiltä odotetaan, millaista käyttäytymistä voi odottaa muilta (katso myös Theeuwesin & Godthelpin (1995) ’self-explaining roads’).

Kaksisuuntaisten pyöräteiden rakentaminen taajamiin, joissa on paljon valo-ohjaamattomia liittymiä, ei välttämättä paranna liikenneturvallisuutta. Niitä rakennettaessa näkemäolosuhteiden tulee olla riittävät. Lisäksi liittymä on mitoitettava siten, että se estää liian suuret lähestymisnopeudet varsinkin sivukaduilta. Pyörätien jatkeen ominaisuuksia muuttamalla saatiin aikaan muutoksia autoilijoiden käyttäytymisessä. Toimenpiteet (korotettu suojatie, töyssy, stop-merkki), jotka pakottavat autoilijat hidastamaan lähestymisnopeutta, parantavat ilmeisesti kaikkein tehokkaimmin pyöräilyn turvallisuutta (Samanlaisia tuloksia saivat Leden, Gårder & Pulkkinen 1998). Oikealle kääntyvien autoilijoiden saadessa enemmän aikaa he ehtivät katsoa myös oikealle tai ainakin suoraan lähestymisen aikana, jolloin pyöräilijä on mahdollista havaita vähintään näkökentän ääreisosalla. Pyörätien sijainti ennen liittymää ja liittymässä ajoradan reunassa parantaa pyöräilijöiden ja autoilijoiden tietoisuutta toisistaan ja mahdollisuuksia havaita toisensa. Pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden väylien on myös selvästi erotettava toisistaan liittymissä, koska pyöräilijöiden ja jalankulkijoiden liikkumisessa voi olla nelinkertainen nopeusero.

Etujajo-oikeus oikealta -sääntö jäi voimaan liittymissä, kun sekä pyöräilijä että autoilija ovat ajoradalla. Tämä käytäntö on päinvastainen verrattuna esimerkiksi Alankomaihin. Sääntömuutoksen jälkeen väistämissäännöt ovat erilaiset pyörätien jatkeilla ja ajoradalla liittymissä, joissa kulkujärjestyksestä ei ole osoitettu liikennemerkein. Kyseinen ristiriita sekä tämän ja muiden tutkimusten tulokset (Janssen ym., 1988; Schnüll ym., 1992) viittaavat siihen, että kulkujärjestyksen selvä ja yhtenäinen merkitseminen on suositeltavaa. Selvän merkitsemisen pitäisi auttaa erityisesti alle kymmenvuotiaita lapsia, jotka ovat yliedustettuina onnettomuuksissa liittymissä, joista liikenteen ohjausmerkit puuttuvat (Hunter ym., 1995). Punaiseksi maalattu pyörätien jatke selvittää pyöräilijöiden ja autoilijoiden kulkujärjestyksestä, mutta sen laajamittainen käyttö edellyttää tiedottamista. Erillisenä toimenpiteenä suoritettuna, vain muutamassa paikassa punaisella pyörätien jatkeella ei aina saada haluttua muutosta autoilijoiden käyttäytymisessä (ks. Puntanen, 1996), koska autoilijat eivät välttämättä tiedä sen tarkoitusta. Viranomaisten tiedottamisessa on kuitenkin hyvin tarkkaan mietittävä viestin

merkitys ettei väriä mielikuvia pääse syntymään, josta oli nähtävissä merkkejä esimerkiksi sääntömuutoksesta tiedottamisen yhteydessä.

Kiertoliittymiä rakennetaan autoliikenteen turvallisuuden ja sujuvuuden takia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että oikealle kääntyvän autoilijan ongelma on merkityksellinen myös kiertoliittymissä. Osa autonkuljettajista ei huomioi tai väistä oikealta tulevaa pyöräilijää. Noin 14 % kuljettajista ei katsonut oikealle ollenkaan lähestyessään kiertoliittymää vaikka oikealta lähestyi samanaikaisesti pyöräilijä. Pyörätien jatkeen sijainti vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti tähän käyttäytymiseen, mikä vastaa myös van Minnenin (1994) tuloksia.

Tulokset antavat joitakin viitteitä kiertoliittymien suunnitteluun, vaikka tutkittujen kiertoliittymien mitoitus ei vaihdellut systemaattisesti. Pyöräilijöille turvallisessa kiertoliittymässä tulee olla riittävä tulosuunnan taivutus ei ainoastaan maaseutualueilla vaan myös taajamissa. Keskiisaarekkeen koko taajamissa on usein liian pieni ajouran taivuttamiseksi riittävästi nopeuksien alentamiseksi. Liian terävä liittymäkulma ei ole kuitenkaan hyvä ratkaisu, koska se aiheuttaa nopeaa liittymistä tai voimakkaita jarrutuksia (Brown, 1995).

Suurin osa tutkimuksista viittaa siihen, että erillisen yksisuuntaisen pyörätien rakentaminen kiertoliittymään on turvallisempi ratkaisu kuin pyöräkaista liikennemäärien ollessa suuria (tässä tutkimuksessa kiertoliittymiin saapuvan liikenteen määrä oli yli 6000 moottoriajoneuvoja vuorokaudessa). Tosin Hydenin & Varhelyin (2000) tulokset Växjön pienistä kiertoliittymistä Ruotsissa osoittavat, että pyöräilijät voivat ajaa turvallisesti myös kiertotilassa mitoittamalla koko kiertoliittymän koon niin pieneksi kuin mahdollista, jolloin autojen nopeudet pysyvät alhaisina. Tärkeä kysymys on joka tapauksessa, mikä on paras pyörätien jatkeen sijainti eli etäisyys kiertotilasta. Nykyinen käytäntö suosittelee joko alle kahden metrin tai yli viiden metrin etäisyyttä. Näiden välisillä etäisyyksillä autot pyrkivät estämään pyöräilijöiden kulun odottaessaan muuta liikennettä. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan pyörätien jatkeen läheinen sijainti (0-2 m) on parempi pyöräilijöiden turvallisuuden kannalta. Alle puolet autoilijoista väisti pyöräilijää, kun pyörätien jatke sijaitsi kuuden metrin päässä kiertotilasta. Brilonin ym. (1993) ennen—jälkeen tutkimuksessa uudet kiertoliittymät, joissa pyörätien jatke sijaitsi lähellä kiertotilaa vähensivät pyöräonnettomuuksien määrää verrattuna tavalliseen pyörätien jatkeeseen. Onnettomuuksien määrässä ei sen sijaan tapahtunut muutosta pyörätien jatkeen sijaitessa kauempana kiertotilasta. Pyörätien jatkeen

sijoittamista lähelle kiertotilaa tukevat tulokset myös tavallisista liittymistä (Leden, 1989; Schnüll ym., 1992). Pyörätien jatkeen läheinen sijainti parantaa näkemäolosuhteita, koska näkemäkolmio suurenee. Autoilijat voivat havaita myös vastakkaisesta suunnasta tulevan pyöräilijän keskeisen näön alueella verrattuna tilanteeseen, jossa pyörätien jatke on noin kuuden metrin päässä ajoradan reunasta. (Räsänen, 1997). Lisäksi pyörätien jatkeen läheinen sijainti merkitsee yleensä vähemmän kiertotietä pyöräilijöille, jolloin pyöräilijät myös ajavat todennäköisemmin suunnitellun väylän kautta. Tutkimuksessa analysoitiin vain kiertoliittymää lähestyvien kuljettajien käyttäytymistä, ei siitä poistuvien. Kiertoliittymästä poistuvien autojen kohdallakin pyörätien jatkeen läheinen sijainti on luultavasti parempi ratkaisu, koska silloin tienkäyttäjät huomaavat toisensa paremmin jo ennen risteämistilannetta (katso Agústsson, 1994).

Tulokset viittaavat siihen, että väistämissäantöjen pitäisi olla erilaiset riippuen pyörätien jatkeen sijainnista vastatakseen autonkuljettajien käyttäytymistä. Pyöräilijöillä tulisi olla etuajo-oikeus lähellä kiertotilaa sijaitsevilla pyörätien jatkeilla. Pyörätien jatkeen sijaitessa kauempana kiertotilasta, moottoriajoneuvoilla pitäisi olla etuajo-oikeus (ks. myös van Minnen, 1994; Vejdirektoratet, 1998). Jälkimmäisessä tapauksessa pyöräilijöiden väistämisvelvollisuus voi aiheuttaa sekaannusta mikäli jalankulkijoiden suojatie on liitetty pyörätien jatkeeseen. Kiertoliittymissä pyörätien jatkeelta tulevalla tulisikin aina olla etuajo-oikeus, jotta kulkujärjestys olisi selkeä ja yhtenäinen. Pyörätien jatkeen sijaitessa kauempana kulkujärjestyksen tukeminen tiemerkinnoilla ja/tai rakenteellisilla ratkaisuilla on erityisen tärkeää.

Pyöräilijöiden ja autoilijoiden käyttäytymiseen pyörätien ja ajoradan risteämiskohdassa vaikuttaa voimakkaasti liikennetilanne ja koko liittymän tyyppi ja ominaisuudet. Liikennetilanne määrää suurelta osin sen, mihin tienkäyttäjien tarkkaavaisuus suuntautuu eri vaiheissa liittymää lähestyttäessä. Nykyisten pyörätien jatkeiden perusongelmana on se, että ne eivät kiinnitä autoilijoiden huomiota tarpeeksi mahdollisiin pyöräilijöihin samalla kun pyöräilijät voivat kuitenkin olettaa autoilijan havainneen pyöräilijän. Liikenneturvallisuus pyörätien jatkeella riippuu paljolti siitä, kuinka hyvin pyörätien jatkeen mitoituksessa osataan ottaa huomioon erilaisten liikennetilanteiden aiheuttamat vaihtelut tiellä liikkujien käyttäytymisessä.

## 11. YHTEENVETO

Pyörätieverkon rakentaminen vähentää pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisiä onnettomuuksia linjaosuuksilla, mutta ongelmat syntyvät pyörätien ja ajoradan risteämiskohdissa eli pyörätien jatkeilla. Taajamissa liittymätiheyden ollessa usein suuri kaksisuuntaisten pyöriteiden turvallisuusongelmat korostuvat. Poliisin tietoon tulleiden tapausten perusteella kaikista pyöräilijöiden ja autoilijoiden henkilövahinkoon johtaneista liittymäonnettomuuksista yli 60 % sattuu pyöriteiden jatkeilla ja yli 90 % taajamissa. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia autoilijoiden ja pyöräilijöiden välisiin onnettomuuksiin vaikuttavia tekijöitä liikennekäyttäytymisessä, -ympäristössä ja -säännöissä pyörätien jatkeilla.

Tutkimuksessa kehitettiin menetelmiä, joiden perusteella voitiin arvioida onnettomuuksiin johtavan käyttäytymisen ja normaalissa liikenteessä ilmenevän käyttäytymisen suhteita ja riskitekijöitä erilaisissa liikennetilanteissa ja -ympäristöissä. Poliisin tietoon tulleet onnettomuudet Helsingissä ja liikennevahinkojen tutkijalautakuntien aineisto neljästä kaupungista luokiteltiin tarkasti tapahtumapaikan ja osallisten kulkusuuntien mukaan onnettomuustyyppeihin. Osallisten toimintaa ennen onnettomuutta ja tiellä liikkujien normaalia liikennekäyttäytymistä tutkittiin suhteessa näihin onnettomuustyyppeihin. Liikennettä kuvattiin piilotetuilla videokameroilla ja videonauhoilta analysoitiin tienkäyttäjien lähestymisnopeuksia, päänliikkeitä ja väistämistilanteita.

Yleisin pyöräilijöiden ja autoilijoiden välinen onnettomuustyyppi oli tilanne, jossa autoilija oli kääntymässä sivutieltä oikealle ja pyöräilijä ajoi autoilijan näkökulmasta oikealta suoraan pyörätien jatkeelle. Tämä onnettomuustyyppi kattaa noin 20 % pyörätien jatkeilla liittymissä sattuneista pyöräilijöiden ja autoilijoiden välisistä onnettomuuksista. Näkemäesteet lisäävät sivutieltä saapuvan autoilijan ja päätien suuntaisesti ajavan pyöräilijän yhteenajon riskiä pyörätien jatkeella kymmenkertaisesti verrattuna liittymiin, joissa ei ole näkemäesteitä.

Kaikista pyöräilijöiden ja autoilijoiden törmäyksistä 37 %:ssa kumpikaan osapuoli ei tajunnut vaaraa tai ei ollut aikaa väistää. Lopuissa onnettomuuksissa joko kuljettaja (27 %) tai pyöräilijä (24 %) tai molemmat (12 %) tekivät jotain onnettomuuden välttämiseksi. Osallisten käyttäytyminen ennen onnettomuutta osoitti, että toiminta eroaa selvästi onnettomuustyyppien mukaan. Autoilijoilla korostuivat havaintovirheet, kun he lähestyivät sivutieltä päätietä kun taas arviointivirheet saivat suuremman merkityksen heidän ajaessaan

päätien suuntaisesti. Pyöräilijät ylittäessään sivutien tai tontin liittymää havaitsivat usein auton, mutta olettivat sen väistävän; päätien ylityksissä pyöräilijät ehtivät sen sijaan harvoin tehdä mitään onnettomuuden estämiseksi. Yleisimmän onnettomuustyyppin syntyyn arvioitiin vaikuttavan kaksi mekanismia. Ensinnäkin autoilijan tarkkaavaisuuden suuntautuminen liittymää lähestyttäessä sillä tavalla, että pyöräilijä jää havaitsematta ja toiseksi pyöräilijän väärät odotukset autoilijan toiminnasta voivat johtaa törmäykseen. Nämä mekanismit olivat voimakkaasti yhteydessä kaksisuuntaiseen pyörätiejärjestelmään ja väistämissääntöihin, jolloin etuajo-oikeutettu pyöräilijä voi tulla autoilijan näkökulmasta yllättävästä suunnasta.

Tutkimus osoitti, että oikealle kääntyvän autoilijan ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma on olemassa myös kiertoliittymissä. Suomesta, Ruotsista ja Tanskasta kerätyssä aineistossa 14 % kiertoliittymään ajavista autoilijoista ei katsonut oikealle, kun pyöräilijä lähestyi samanaikaisesti kiertoliittymän pyörätien jatketta oikealta. Pyörätien jatkeen sijainti vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti autoilijoiden käyttäytymiseen. Alle puolet autoilijoista väisti pyöräilijää, kun pyörätien jatke sijaitsi kuuden metrin päässä kiertotilasta. Tulosten perusteella suositellaan pyörätien jatkeen sijoittamista alle kahden metrin etäisyydelle kiertotilasta.

Kaksisuuntaisten pyöräteiden jatkeiden turvallisuutta voidaan parantaa poistamalla näkemäesteet ja rajoittamalla liittymän mitoituksen avulla liittymää lähestyvien autojen nopeuksia, koska lähestymisnopeuden kasvaessa autoilijan tarkkaavaisuus kohdistuu entistä enemmän muihin autoihin. Pyörätien ja sen jatkeen läheinen sijainti ajoradan reunassa parantaa näkemäolosuhteita sivutieltä ja lisää pyöräilijöiden ja autoilijoiden mahdollisuuksia havaita toisensa päätiellä ennen risteämistilannetta. Kulkujärjestyksen selkeä ja yhtenäinen merkitseminen pyörätien jatkeilla on suotavaa.

Pyöräilijöiden ja autoilijoiden käyttäytymiseen pyörätien ja ajoradan risteämiskohdassa vaikuttaa voimakkaasti liikennetilanne ja koko liittymän mitoitus. Liikennetilanne määrää suurelta osin sen, mihin tienkäyttäjien tarkkaavaisuus suuntautuu eri vaiheissa liittymää lähestyttäessä. Nykyisten pyörätien jatkeiden peruongelma on se, että ne eivät kiinnitä autoilijoiden huomioita tarpeeksi mahdollisiin pyöräilijöihin samalla kun pyöräilijät voivat kuitenkin olettaa autoilijan havainneen pyöräilijän. Liikenneturvallisuus pyörätien jatkeilla riippuu paljolti siitä, kuinka hyvin pyörätien jatkeen mitoituksessa osataan ottaa huomioon erilaisten liikennetilanteiden aiheuttamat vaihtelut tiellä liikkujien käyttäytymisessä.



## 12. SUMMARY

Bicycle paths are safe on road sections but problems arise at intersections. This concerns specially built up areas, where junction density is often high. Over 60 % of police reported injurious intersection accidents between cyclists and cars take place at bicycle crossings and over 90 % in built up areas. The aim of the present study was to investigate factors in road user behavior, traffic environment and rules, which affect accidents between bicyclists and car drivers.

Accident analysis and unobtrusive video recordings were conducted in five studies in order to develop methods to estimate the relationship between behavior in accidents and in normal traffic. These were further related to traffic situation and environment. Police reported accidents from the city of Helsinki and accidents studied by accident investigation teams in four cities were analyzed in detail to reconstruct the actual movements of those involved. The behavior of road users was measured in terms of approaching speed, head movements and how they yielded in different traffic situations.

The most frequent accident type among collisions between cyclists and cars at bicycle crossings was a driver turning right and a bicycle coming from the driver's right along a cycle track. This accident type comprises about 20 % of all bicycle crossing accidents between bicycles and cars. A comparison of accident types in various conditions indicated that the risk of bicycle-car collisions is 10 times higher at bicycle crossings with restricted visibility than with corresponding crossings without sight obstacles.

In 37 % of collisions neither the driver nor the cyclist realized the danger, or had time to yield. In the remaining collisions, the driver (27 %), the cyclist (24 %) or both (12 %) did something to avert the accident. The behavior of the road users involved varied according to accident type. Perception errors were common among car drivers when they approached the intersection from a minor road. Judgement errors had greater importance for car drivers approaching the intersection along a major road. On the other hand, cyclists frequently noticed the car approaching from the minor road, but believed the driver would give way as required by law. However, cyclists hardly ever did anything to avert the accident when they were crossing a major road. The most frequent accident type was closely related to the system

of two-way cycle paths and to the priority regulations when a cyclist with right-of-way may appear unexpectedly from driver's point of view.

The results confirm that the problem of the driver turning right and the cyclists coming from the right is also most acute at roundabouts. The data collected from Finland, Sweden and Denmark showed that 14 % percent of drivers did not look at all cyclists who were approaching the bicycle crossing from the right, on a collision course. When the bicycle crossing was adjacent to the roundabout, a greater proportion of drivers yielded than when the crossing was set back (6 m) from the roundabout. The results suggest that an adjacent location is more favorable for cyclists' safety.

The safety of two-way bicycle paths can be improved by removing sight obstacles and limiting the approach speeds by intersection design. High speed makes drivers pay attention to other traffic more selectively, increasing their tendency to ignore cyclists. An adjacent location of bicycle path and crossing improves sight conditions from the minor road and probably increases visibility between cyclists and car drivers on a major road before a crossing situation occurs. Consistent and clear signing of priority is recommended at every bicycle crossing.

The behavior of cyclists and car drivers at bicycle crossings is strongly dependent on traffic situation and the whole design of the intersection. The current problem with bicycle crossings is that they do not catch drivers' attention early enough. At the same time the cyclist may assume that the driver has noticed the cyclist, when this may not be the case. The safety of bicycle crossings depends on how the design of the intersection takes into account the variations in road user behavior caused by different traffic situations.

### 13. LÄHTEET

- Abdalla, I. M.; Raeside, R.; Barker, D. & McGuigan, D. R. D. (1997). An investigation into relationships between area social characteristics and road accident casualties. *Accident Analysis & Prevention* 29, 583-593.
- Agústsson, L. (1994). Safety of cyclists in urban areas. In *Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program* (preprint of papers). Lille. France.
- Allot & Lomax, Consulting Engineers (1991). *Cyclists and Roundabouts A Review of Literature*, (A Cyclists' Touring Club Technical Report). Godalming: Cyclists' Touring Club.
- Alphand, F., Noelle, U. & Guichet, B. (1991). Roundabouts and road safety: state of the art in France. In *Proceedings of an International Workshop. Intersection without Traffic Signals II* (pp. 107-125). Berlin: Springer Verlag.
- Aultman-Hall, L. & Hall, F. L. (1998). Ottawa-Carleton commuter cyclist on- and off-road incident rates. *Accident Analysis & Prevention* 30, 29-43.
- Aultman-Hall, L. & Kaltenecker, G. M. (1999). Toronto bicycle commuter safety rates. *Accident Analysis & Prevention* 31, 675-686.
- Austin, K. (1995). The identification of mistakes in road accident records: part 1, locational variables. *Accident Analysis & Prevention* 27, 261-276.
- Baker, S. P.; Waller, A. & Langlois, J. (1991). Motor vehicle deaths in children: geographic variations. *Accident Analysis & Prevention* 23, 19-28
- Balsiger, O. (1995). Cycling at roundabouts: safety aspects. In *Velo-City Conference '95'* (pp. 215-217). Basel: IG Velo Basel.
- Baum, S. (1999). An aggregate level analysis of the socioeconomic correlates of drink driving offenders. *Accident Analysis & Prevention* 31, 213-220.
- Beilinson, L.; Kulmala, R. & Leden, L. (1992). *Test av nya utformningar av cykelöverfarten* (VTT publications 125). Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- Bergh, T. (1997). Roundabouts-current Swedish practice and research. In *Third International Symposium on Intersections without traffic signals* (pp. 36-44). Idaho: University of Idaho.
- Black, W. R. (1996). Sustainable transportation: a US perspective. *Journal of Transport Geography* 4, 151-159.

- Black, W. R. (1998). Sustainability of transport. In Hoyle, B. & Knowles, R. (Eds.), *Modern Transport Geography*, (pp.337-351). Chichester: John Wiley & Sons
- Blatt, J. & Furman, S. M. (1998). Residence location of drivers involved in fatal crashes. *Accident Analysis & Prevention* 30, 705-711.
- Brilon, W., Stuwe, B. & Drews, O. (1993). *Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Kreisverkehrsplätzen*, (Schlussbericht FE Nr.: 77359/91). Bochum: Ruhr-Universität.
- Brown, M. (1995). *The Design of Roundabouts*. London: HMSO.
- Brüde, U. & Larsson, J. (1993). Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit? *Accident Analysis & Prevention*, 25, 499-509.
- Brüde, U. & Larsson, J. (1996). *The safety of cyclists at roundabouts*, (VTI meddelande No. 810A). Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institut.
- Brüde, U. & Larsson, J. (1999). *Trafiksäkerhet I cirkulationsplatser för cyklister och fotgängare*, (VTI meddelande No. 864). Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institut.
- Čertanc, N.; Fajfar, D.; Kastelic, T & Žura, M. (1993). Arc tras, the use of geographic information system in traffic safety analyses. *In The east-west European road conference proceedings* (pp. 147-150). Warsaw: Polish road and bridge research institute.
- Chapman, R. (1973). The concept of exposure. *Accident Analysis & Prevention*, 5, 95-110.
- CROW=Centre for Research and Contract Standardisation in Civil and Traffic Engineering (1993). *Sign up for the bike, Design manual for a cycle-friendly infrastructure*. Ede: CROW.
- Davies, D. G., Taylor, M. C., Ryley, T. J. & Halliday, M. E. (1997). *Cyclists at roundabouts —the effects of 'Continental' design on predicted safety and capacity* (TRL Report 285). Crowthorne: Transport Research Laboratory.
- Edwards, J. B. (1996). Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis. *Journal of Transport Geography* 4, 201-212.
- Englund, A. (1985). *Studier av trafikantbeteende i olyckor*. Stockholm: Stockholms universitet, Psykologiska institutionen.
- Eilert-Peterson, E & Schelp, L. (1997). An epidemiological study of bicycle-related injuries. *Accident Analysis & Prevention* 29, 363-372.

- Elvik, R. (1996). Accident theory. Historical development and present status. *Proceedings from XXI National Meeting of Traffic Safety*, (pp.11-46). Hämeenlinna: The Central Organisation for Traffic Safety in Finland Finland.
- Franklin, J. (1999). Two decades of the redway cycle paths in Milton Keynes. *Traffic Engineering + Control*, 40, 393-396.
- Fuller, R. (1990). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 33, 1139-1155.
- Giaever, T. (1993). Application, design and safety of roundabouts in Norway. In "*Giratoires 92*" *Actes du séminaire international* (pp. 83-92). Bagnaux: Centre d'Etudes des Transports Urbains, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.
- Greene, D. L. & Wegener, M. (1997). Sustainable transport. *Journal of Transport Geography* 5, 177-190.
- Gårder, P.; Leden L. & Thedeen, T. (1994). Safety implications of bicycle paths at signalized intersections. *Accident Analysis Prevention* 26, 429-439.
- Hall, P (1981). The geographer's and planners's perspective. In Banister, D. & Hall, P. (Eds.), *Transport and Public Policy Planning*. London: Mansell.
- Hanson, S. (1998). Off the road? Reflections on transportation geography in the information age. *Journal of Transport Geography* 6, 241-249
- Hantula, L. (1987). *Road accident investigation teams. Report on case investigations in Finland*. Helsinki: Traffic Safety Committee of Insurance Companies.
- Hantula, L. (1989). Case studies of road accidents in Finland. *Journal of Traffic Medicine* 17, 23-29.
- Hantula, L. (1992). Development of case study method of road accidents in Finland. *Journal of Traffic Medicine* 20, 27-35.
- Hauer, E. (1986). On the estimation of the expected number of accidents. *Accident Analysis and Prevention* 18, 1-12.
- Henson, R. & Whelan, N. (1992). Layout and design factors affecting cycle safety at T-junctions. *Traffic Engineering+Control* 33, 548-551.
- Hills, B.L. (1980). Vision, visibility and perception in driving. *Perception* 9, 183-216.
- Holzappel, H. (1988). The bicycle as an element of integrated transport planning. In de Wit, T (Ed.), *Proceedings Velo City 87 International Congress "Planning for urban cyclist"*, (pp. 59-64). BA Ede: Netherlands Centre for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering.

- Hunter, W.W.; Pein, W.E. & Stutts, J.C. (1995). Bicycle-motor vehicle crash types: the early 1990s. *Transportation Research Record* No. 1502: 65-74.
- Hydén, C. & Várhelyi, A. (2000). The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis & Prevention* 32, 11-23.
- Hägerstrand, T. (1974). *The impact of transport on the quality of life*. (Lunds universitets kulturgeografiska institution, rapporter och notiser 13). Lund: Lunds universitets kulturgeografiska institution.
- Häkkinen, S.; Kaukinen, R. & Tallqvist, A. (1969). *Tieliikenneonnettomuuksien syytutkimus*. (Työterveyslaitoksen tutkimuksia 44). Helsinki: Työterveyslaitos.
- Isler, R. B., Parsonson, B. & Hansson, G. J. (1997). Age related effects of head movements on the useful field of view of drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 29, 793-801.
- Janssen, W., van der Horst, R., Bakker, P. & Broeke, W. (1988). Auto-auto and auto-bicycle interactions in priority situations. In J.A. Rothengatter & de Bruin, R. A. (Eds.), *Road user behavior, theory and research* (pp. 639-644). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- Jones, A (1993). Using GIS to link road accident outcomes with health service accessibility. *Mapping Awareness* 7, 33-37.
- Jordan, P.W. (1985). Pedestrians and cyclists at roundabouts. In *Third National Local Government Engineering Conference 1985. "Managing Our Environment and Caring for People"* (pp. 290-295). Melbourne.
- Jørgensen, N.O. (1991). *Rundkørslers kapacitet og sikkerhed*, (Rapport nr. 61). København: Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Højskole, Trafiksikkerhedsafdelingen-SSV, Vejdirektoratet.
- Kerwien, H & Schulz, U. (1996). Risk taking behavior of bicycle riders. Presentation kept in *International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Valencia, Spain, May, 22-25.
- Keskinen, E. (1982). *Inhimillinen tekijä liikenteessä*. Turun yliopiston filosofian, psykologian ja menetelmätieteiden laitos: Psykologian tutkimuksia 59.
- Kim, K.; Levine, N. & Nitz, L. (1995). *Development of a Prototype Traffic Safety Geographic Information System* (Transportation Research Record 1477). Washington: Transportation Research Board.
- Kito, T., Haraguchi, M., Funatsu, T., Sato, M. & Kondo, M. (1989). Measurements of gaze movements while driving. *Perceptual and Motor Skills*, 68, 19-25.

- Koivisto, I., Räsänen, M., Summala, H. Kouri, P. & Leinonen, H. (1998). Onnistuiko sääntömuutos? Kevyen liikenteen uusien sääntöjen tunteminen ja niiden vaikutukset liikennekäyttäytymiseen. (Liikenneturvan tutkimuksia 117). Helsinki: Liikenneturva.
- Kraugerud, N. H. (1998). Sykkel i by – hvilke løsninger anbefales? Presentation kept in seminar *Trafiksikkerhed og de blode trafikanter*, Århus, 11-12.6.1998.
- Kulmala, R. (1995). *Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and applications of accident prediction models* (VTT publications 233). Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- Kvambe, E. (1998). Erfaringer fra Oslo. Analyse av sykkelulykker. *Proceedings Velo Borealis '98*, (pp. 67-69). Trondheim: Statens vegvesen.
- Layfield, R. E. & Maycock G. (1986). Pedal-cyclists at roundabouts. *Traffic Engineering + Control* 27, 343-349.
- Leden, L. (1989). *The safety of cycling children. Effect of the street environment* (VTT publications 55). Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- Leden, L., Gårder, P. & Pulkkinen (1998). *Measuring the safety effect of raised bicycle crossings using a new research methodology*. (Transportation Research Record 1636). Washington: Transportation Research Board.
- Liikenneministeriö (1993). *Pyöräilypoliittinen ohjelma*. (Liikenneministeriön julkaisuja 20/93). Helsinki: Liikenneministeriö.
- Liikenneministeriö (1995). *Pyöräilyn onnettomuus- ja suoritietojärjestelmän kehittäminen*. (Liikenneministeriön julkaisuja B 11/95). Helsinki: Liikenneministeriö.
- Liikenneministeriö (2000). *Liikenneonnettomuustilastoinnin kehittäminen Göteborgin toimintamallin mukaan* (Liikenneministeriön mietintöjä ja muistioita B 12/2000). Helsinki: Liikenneministeriö.
- Linderholm, L. (1992). *Traffic safety evaluation of engineering measures, development of a method and its application to how physical lay-outs influence bicyclists at signalized intersections* (Bulletin 105). Lund: Lund Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering.
- Lucas, K. (1998). Upwardly mobile: Regeneration and the quest for sustainable mobility in the Thames Gateway. *Journal of Transport Geography* 6, 211-225.
- Maycock, G. & Hall, R.D. (1984). *Accidents at 4-arm roundabouts*, (TRRL Laboratory Report 1120). Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Maring, W. & Schagen, I.N.L.G. van. (1990). Age dependence of attitudes and knowledge in cyclists. *Accident Analysis Prevention* 22, 127-136.

- McClintock, H (1992). *The Bicycle and City Traffic*. London: Belhaven Press.
- Mills, P. (1988). Pedal cycle accidents- a hospital based study. In J.A. Rothengatter & de Bruin, R. A. (Eds.), *Road user behavior, theory and research* (pp. 212-217). Assen/Maastricht: Van Gorcum.
- van Minnen, J. (1994). *Der voorrangsregelingen voor fietsers op rotondes met fiestspaden* [Rules governing priority for cyclists on roundabouts with separate cycle paths], (R-94-73). Leidschendam: SWOV.
- van Minnen, J. (1995). *Rotondes en voorrangsregelingen* [Roundabouts and the priority rule], (R-95-58). Leidschendam: SWOV.
- Moray, N. (1990). Designing for transportation safety in the light of perception, attention, and mental models. *Ergonomics* 33, 1201-1213.
- Möller-Jensen, L. (1998). Assessing Spatial Aspects of School Location-Allocation in Copenhagen. *Geografisk Tidsskrift* 98, 71-80.
- Möyky, M. (2000). Turussa 1996-1997 tapahtuneiden henkilövahinkoon johtaneiden liikenneonnettomuuksien tarkastelu paikkatietojärjestelmän avulla. Turku: Turun yliopisto, maantieteen laitos
- Noland, R. B & Kunreuther, H. (1995). Short-run and long-run policies for increasing bicycle transportation for daily commuter trips. *Transport Policy* 2, 67-79.
- Näätänen, R. & Summala, H. (1976). *Road-user behavior and traffic accidents*. Amsterdam: North-Holland/American Elsevier.
- Olkkonen, S. (1993). *Bicycle injuries - incidence, risk factors and consequences* (Report 39). Helsinki: The Central Organisation for Traffic Safety in Finland.
- Pasanen, E. (1991). *Ajonopeudet ja jalankulkijan turvallisuus* (Julkaisu 72). Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka.
- Pasanen, E. (1992). *Oikealle kääntyvän ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma* (Report L4). Helsinki: City Planning Department, Traffic Planning Division.
- Pasanen, E., & Räsänen, M. (1996). *Malmin pyöräilyprojekti* (Report L 1). Helsinki: City Planning Department, Traffic Planning Division.
- Peled, A. & Hakkert, A. S. (1993). A PC-oriented GIS application for road safety analysis and management. *Traffic Engineering + Control* 34, 355-361.
- Preston, B. (1991), Variations in the number of road casualties in different counties in England. *Traffic Engineering + Control* 32, 302-307.



- Puntanen, S. (1996). *Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttäytymiseen. Pyöräteiden ylityskohdat.* (Tielaitoksen selvityksiä 4/1996). Helsinki: Tielaitos, Kehittämiskeskus.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 733-750.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics* 33, 1281-1290.
- Räsänen, M. (1994). *Polkupyöräonnettomuudet Helsingissä, Hämeenlinnassa, Mikkelissä ja Ylivieskassa.* Helsinki: Liikennevakuutuskeskus.
- Räsänen, M. (1995). *Polkupyöräonnettomuuksien vähentäminen* [How to decrease the number of bicycle accidents?] (Report L25). Helsinki: Ministry of Transportation.
- Räsänen, M. (1997). *Pyöräilijöiden liittymäonnettomuustyyppit ja liittymien ominaisuudet* [Cyclist accident types at intersections and characteristics of intersections] (Report 46). Helsinki: Finnish Road Administration.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics* 33, 1281-1290.
- Sagberg, F. & Borger Mysen A. (1996). *Vikepliktsregler for syklende.* (TOI notat 1051). Oslo: Transportøkonomisk institut.
- Salusjärvi, M (1989). *Road accident investigation teams. Developing the on-the-spot, in-depth, case study methodology.* (VTT Research Reports 617). Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- Sanders, A. F. (1963). *The selective process in the functional visual field.* Assen: Van Gorcum.
- Sanders, A. F. (1970). Some aspects of the selective process in the functional field of view. *Ergonomics* 13, 101-117.
- Schagen, I.N.L.G. & Brookhuis, K.A. (1994). Training young cyclists to cope with dynamic traffic situations. *Accident Analysis. Prevention* 26, 223-230.
- Schnüll, R., Lange, J., Fabian, I., Kölle, M., Schütte, F., Alrutz, D., Fechtel, H. W., Stellmacher-Hein, J., Brückner, T. & Meyhöfer, H. (1992). *Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten,* (Forschungsberichte 262). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.
- Schoon, C. and Minnen, J. (1994). The safety of roundabouts in the Netherlands. *Traffic Engineering + Control* 35, 142-148.
- Schulman, H. (1998). Kaupunkitutkimuksesta maantieteessä. *Yhteiskuntasuunnittelu* 36, 8-15.
- Shinar, D. (1978). *Psychology on the road, the human factor in traffic safety.* New York: John Wiley & Sons.

- Singleton, D. (1991). Adjusting drivers' focus of attention to reduce vulnerable road user casualties. In *Proceedings of the International Conference on Traffic Safety and the Vulnerable Road Users* (pp. 225-228). New Delhi, India.
- Statens Vegvesen, (1994). *Sykkelplanlegging i by og tettsted*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Stern, E. & Zehavi, Y. (1990). Road safety and hot weather: a study in applied transport geography. *Transactions Institute of British Geographers* 15, 102-111.
- Stevenson, M.; Brewer, R. D. & Lee, V. (1998). The Spatial Relationship between Licensed Alcohol Outlets and Alcohol-Related Motor Vehicle Crashes in Gwinnett County, Georgia. *Journal of Safety Research* 29, 197-203.
- Stutts, J.C.; Williamson, J.E.; Whitley, T. & Sheldon, F.C. (1990). Bicycle accidents and injuries: a pilot study comparing hospital - and police-reported records data. *Accident Analysis and Prevention* 22, 67-78.
- Summala, H. (1987). Young driver accidents: Risk taking or failure of skills? *Alcohol, Drugs and Driving* 3, 79-91.
- Summala, H. (1988). Risk control is not risk adjustment: The zero-risk theory of driver behaviour and its implications. *Ergonomics* 31: 491-506.
- Summala, H. (1994). Automatization, automation, and control of attention among car drivers. *First Automation Technology and Human Performance Conference*. Washington, D. C., April 7-9, 1994.
- Summala, H. (1996). Accident risk and driver behaviour. *Safety Science* 22, 103-117.
- Summala, H. (1998). American drivers in Europe: different signing policy may cause safety problems at uncontrolled intersections. *Accident Analysis & Prevention* 30, 285-289.
- Taaffe, E. J.; Gauthier, H. L. & O'Kelly, M. E. (1996). *Geography of transportation*. New Jersey: Prentice Hall.
- Theeuwes, J. (1991). Visual selection: exogenous and endogenous control. In A.G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, I Moorhead & S. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles-III* (pp. 53-61). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Theeuwes, J. (1996). Visual search at intersections: An eye-movement analysis. In A.G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles-V* (pp. 125-134). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Theeuwes, J. & Godthelp, H. (1995). Self-explaining roads. *Safety Science* 19, 217-225.
- Theeuwes, J. & Hagenzieker M. (1993). Visual search of traffic scenes: on the effect of location expectations. In A.G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, H. W. Kruysse &

- S. P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles-IV* (pp. 149-158). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Tolley, R (1990). *The greening of urban transport: planning for walking and cycling in Western cities*. London: Belhaven Press.
- Thom, R.G.& Clayton, A.M. Accident data requirements for improving cycling safety. *Transportation Research Record* No. 1405: 1-6.
- Thompson, S. J., Lloyd, B. & Gallear, D. (1990). Pelican crossings at roundabouts. *Traffic Engineering + Control*, 2, 76-77.
- Top, T. & Timmermans, D. (1988). Behaviour of cyclists at intersections. In *Road user behavior, theory and research*, eds J. A. Rothengatter and R. A. de Bruin, pp. 632-638. Assen/Maastricht, The Netherlands: Van Gorcum.
- TRB=Transportation Research Board (1998). *Modern Roundabout Practice in the United States*, (NCHRP Synthesis 264). Washington, D.C.: National Academy Press.
- VALT=Vakuutusyhtiöiden liikenneturvallisuustoimikunta (1992). Avaintapahtuman, riskitekijöiden ja turvallisuusehdotusten luokittelu. Helsinki
- Wachtel, A.& Lewiston, D. (1994). Risk factors for bicycle-motor vehicle collisions at intersection. *ITE Journal* 9, 30-35.
- Vejdirektoratet (1994). *Trafiksikkerhed i 82 danske rundkorsler - anlagt after 1985*, (Rapport 4). København: Illeman Tryk.
- Vejdirektoratet (1996). *Trafiksikkerhedseffekten af cykelbaner i byområder*, (Rapport no. 50). København: Vejdirektoratet.
- Vejdirektoratet (1998). *DUMAS, Safety of pedestrians and two-wheelers*, (Note no. 51). København: Vejdirektoratet.
- Welander, G., Ekman, R., Svanström, L., Schelp, L. & Karlsson, A. (1999). Bicycle injuries in Western Sweden: a comparison between counties. *Accident Analysis & Prevention* 31, 13-19.
- Whitelegg, J. (1987). A geography of road traffic accidents. *Transactions Institute of British Geographers* 12, 161-176.
- Williams, F. L. R.; Lloyd, O. L. & Dunbar, J. A. (1991). Deaths from road traffic accidents in Scotland. Does it matter where you live? *Public Health* 105, 391-326.
- Wramborg, P. (1998). On a new approach to traffic planning and street design in Sweden. *An International Conference on "Safety on Road"*. Bahrain 28<sup>th</sup> of October 1998.





# The safety effect of sight obstacles and road-markings at bicycle crossings

by Mikko Räsänen and Heikki Summala, *Traffic Research Unit, Department of Psychology, University of Helsinki*  
and by Eero Pasanen, *Traffic Planning Division, City of Helsinki*

## INTRODUCTION

At first sight it seems that visual obstructions at intersections often prevent road-users from seeing each other early enough and result in an increased accident rate. Long sight distances do not guarantee safety, however. Kulmala<sup>1</sup> showed that at rural junctions it may even increase the accident rate because of perception and judgment errors, while sight obstacles make road-users slow down and allocate more attention to vehicles on the priority road. Henson and Whelan<sup>2</sup> suggested that this might also be the case with bicycle/car collisions in the street network. In their data, good visibility at T-junctions was associated with a greater probability of bicycle accidents when a cyclist was riding among cars. We argue here that while this is not a general phenomenon, the effect of a sight obstacle and sight distance is dependent on the road layout and design factors. The effect is expected to be very different when a two-way cycle track crosses a road behind a sight obstacle<sup>3,4</sup>.

When two-way cycle tracks are used, the most frequent accident type includes a driver turning right and a cyclist coming from the right along a two-way cycle track<sup>3,5,6</sup>. The driver does not see the cyclist because his/her scanning strategy is attuned to cars, not cyclists. This problem is more pronounced at intersections with restricted visibility<sup>3</sup>. The first part of this study tested the hypothesis that sight obstacles increase bicycle accident risk because they shorten the time available for drivers to attend to minor threats like cyclists when entering an intersection.

When using two-way cycle tracks, drivers approaching an intersection may simply not expect a cyclist coming from the right. The layout of the intersection does not generally make drivers do so. Our earlier results suggest that speed-reducing countermeasures along with road-markings change driver's visual search more towards detecting cyclists approaching behind a sight obstacle<sup>3</sup>. When forced to slow down drivers may have sufficient time to allocate attention to both left and right, and thus detect approaching cyclists as well as cars. An elevated bicycle crossing or a bump is, however, too expensive a solution for this problem to be used widely. To help drivers, the layout should convey expectations of cyclists more appropriately. The second part of this study investigated the effect of a coloured bicycle crossing and an additional bicycle sign painted on the pavement just before the bicycle crossing.

This study was a part of an integrated research project which dealt with several problems concerning cycling<sup>7</sup>. The behavioural patterns of drivers, cyclists and pedestrians were measured before and after various countermeasures introduced in Spring 1995

in the suburban district of Malmi in the city of Helsinki. By concentrating activities in this specific area, it was possible to get a popular local newspaper to inform people of the current problems and of the goals of the countermeasures tested.

## BICYCLE/CAR COLLISIONS AT INTERSECTIONS WITH RESTRICTED OR UNRESTRICTED VISIBILITY

### Method

The city of Helsinki maintains a database consisting of all accidents reported by the police. All the collisions at non-signalised intersections were identified, which involved a cyclist riding straight on and a car turning or entering for the years 1985-1994, totalling 414 accidents. Of these, 271 accidents were discarded because the information about them was defective, the layout of the intersection was a site access or out of the ordinary, the cyclist did not use a cycle track in the direction of the major road, or traffic arrangements had changed during the last 10 years. For the remaining 143 accidents, the

sight conditions of the sites were investigated thoroughly on the spot.

The sight distance was classified as restricted if the side (a) of a sight triangle was less than 15 metres (Fig 1).

We divided bicycle/car accidents into two groups (Fig 2). When a car leaves a major street and hits a cyclist riding straight ahead (A), the sight conditions of the merging street should not influence accident risk. Sight condition influence can be predicted instead when a car enters a major street (B). The effect of sight conditions was estimated by comparing the ratio between entering and turning accidents for various sight conditions.

Fig 1. The sight distance requirement.

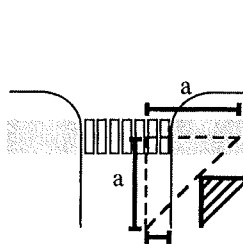


Fig 2. Sight obstacles should not influence type A, turning, manoeuvres (and corresponding accidents), but do influence type B, entering, manoeuvres.

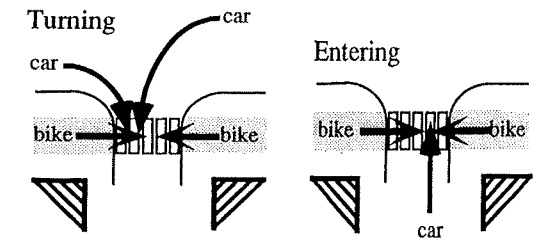


Fig 3. Bicycle-car accident types at non-signalised intersections of cycle tracks and minor roads in the city of Helsinki.

92 ACCIDENTS A	11 ACCIDENTS B	6 ACCIDENTS C	6 ACCIDENTS D
8 ACCIDENTS E	6 ACCIDENTS F	7 ACCIDENTS G	7 ACCIDENTS H

**Results**

Figure 3 shows that accident type (A), where the driver is turning right and the cyclist is coming from the right along a two-way cycle track, is 10 times more frequent than the other events (B-H). The frequencies of other types do not differ from each other ( $\chi^2=2.667$ ,  $df=6$ ,  $P=N.S.$ ). These data confirm our earlier findings<sup>3</sup> with more extensive data.

Fig 4. The distribution of accidents by visibility conditions and directions of motions.

Figure 4 shows the distribution of accidents according to visibility conditions and the directions of the parties. There were 26 entering (E) and 21 turning (T) accidents at intersections with unrestricted visibility in both directions. The ratio E/T was  $26/21 = 1.25$ . The ratio (E/T) at intersections which had restricted visibility was  $47/2 = 23.5$ . Accidents between cyclists and drivers entering at intersections with restricted visibility occurred 19 times ( $23.5/1.25$ ) more than at intersections with unrestricted visibility. Taking the number of turning accidents as an induced exposure-type<sup>8-10</sup> measure not sensitive to sight conditions, we can assume that the accident rate is about 10 times higher at intersections with restricted or partly-restricted visibility than at intersections with unrestricted visibility. (The number of turning accidents at restricted visibility intersections was small (2).) If we add those intersections which had a sight obstacle only on the other side of the junction the examination the ratio (E/F) will be  $88/7 = 12.6$  and  $12.6/1.25=10$ .

The proportion of turning accidents could increase when the traffic volume on the major road increases. Cyclists who rode in the direction of the major road could then be ignored by drivers more often for two reasons. The cars turning left from the major road are forced to concentrate more on cars from opposite direction and the cars turning right may feel more pressure from cars behind. Correspondingly, the visibility from the minor road to the major road could be better when the traffic volume on the major road is greater. This would mean that the data in Fig 4 are skewed.

Table I shows that this is not the case. When the visibility is good, the proportion of turning accidents is greater at intersections of two-lane carriageways and those with low traffic volumes than at intersections of four-lane carriageways and with high traffic volumes.

	VISIBILITY UNRESTRICTED OR RESTRICTED IN BOTH DIRECTIONS.	
	21	2
	26	47
	VISIBILITY RESTRICTED IN ONE DIRECTION, CYCLISTS FROM THE RIGHT.	
	3	0
	35	6
	VISIBILITY RESTRICTED IN ONE DIRECTION, CYCLISTS FROM THE LEFT.	
	1	1
	1	0

Table I. Accident ratio (E/T) at sites with good visibility by number of lanes and traffic volume

	Two-lane street	Four-lane street	<10 000 motor vehicles/day	>10 000 motor vehicles/day
Entering cars (E)	8	18	11	15
Turning cars (T)	14	7	10	11
E/T	0.6	2.6	1.1	1.4

## ROAD-MARKINGS AND RED BICYCLE CROSSING

### Method

To draw drivers' attention to cyclists, triangular warning signs were painted at 50 intersections and the main cycle tracks were painted red in the Malmi area. Furthermore, a local newspaper informed people about the problem that a cyclist coming from the right on a cycle track before an intersection may surprise a driver turning right.

In the second part of this study two types of measure (triangular warning signs and red bicycle crossings) were used to improve safety at sight-obstructed bicycle crossings. The design was a before-and-after study in which the first phase was no arrangements at all; the second, a triangular warning sign painted on the pavement; and the third, a red painted bicycle crossing added. The aim of these arrangements was to improve the scanning behaviour of drivers who turn right and cross a cycle track before an intersection. Three intersections were used, one of which served as a control with no modifications.

Drivers' head movements were recorded as they entered the intersection. Two video cameras were used for recording, one positioned at the opposite side of the intersection and showing the windscreen and the head of the driver, the other positioned at the side of the entering leg to show the location of the car at any given moment. The two tapes were synchronised and mixed into one screen for the analyses. At one intersection the approaching cyclists were also filmed by a third camera to show the location of cyclists at any given moment.

Two samples of 3 hours on different days were collected at each intersection and phase. Every intersection had a sight-obstruction on the right. Figure 5 shows the final study arrangement with its three video cameras.

The drivers' gaze direction was fixed by looking at drivers' head movements from the videotape at intervals of 0.5 metres from the bicycle crossing. The direction of the driver's head was measured to an accuracy of 15°. In the main analyses, the data were reduced to a three-point scale: looks left, straight ahead or right. Only those drivers who could freely approach and turn into the major street, with no other road-users present, were included in the data. Driving speed was calculated from the lateral videotape for a distance of 5-10 m before the bicycle crossing and above it.

At each study crossing a critical area was determined within which the driver should look right to be able to detect the oncoming cyclist and give way. The critical area was calculated as in our earlier study<sup>3</sup>.

### Results

Figure 6 shows the average speeds of the cars and cyclists in before-and-after situations (site 1, drivers  $n=180$ , cyclists  $n=180$ ; site 2, drivers  $n=180$ ). Only those cars and cyclists who could enter the intersection freely were included. The two-way repeated measures ANOVA (site and arrangements as between factors, distance from cycle crossing as a within factor) showed that the decrease in car speeds was significant ( $F_{2,3,4}=12.5$ ,  $P<0.001$ ).

At site 1 where the speed of cyclists was

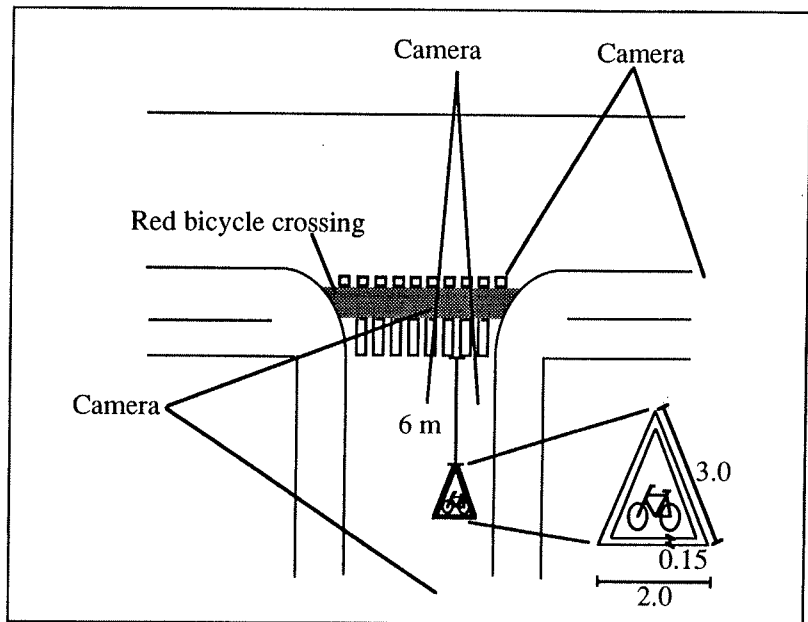


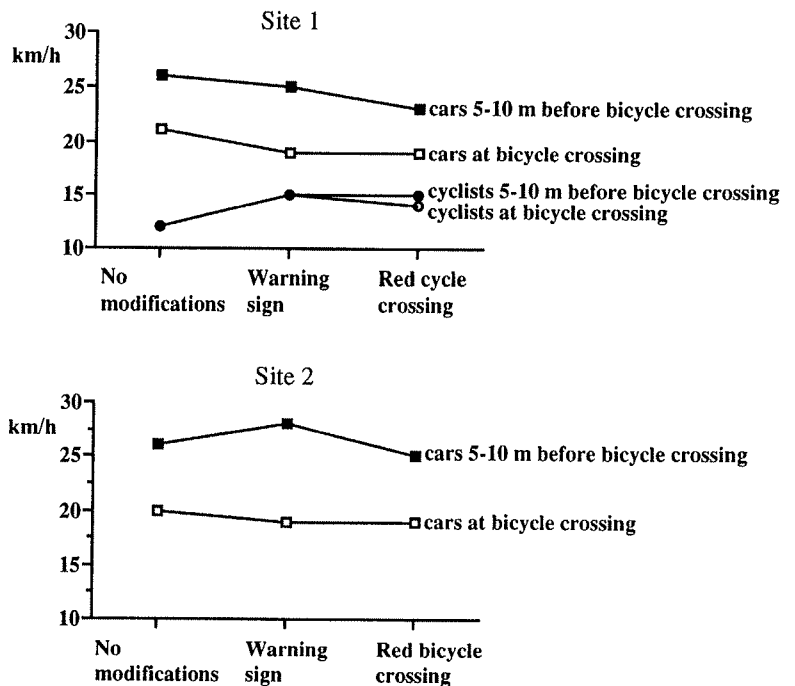
Fig 5. The study arrangement with three video cameras.

also measured, a repeated ANOVA indicated that the speed of cyclists increased ( $F_{2,181}=7.9$ ,  $P<0.001$ ). Our control site 3 failed, because it differed too much from other sites.

The drivers were classified into three groups according to whether they kept their head turned left throughout the critical area

(‘hazardous’); whether they looked right within the critical area (‘safe’); and others (‘intermediate’). The ‘intermediate’ cases could also have had peripheral observations from the right as well. The best indicator of the changes in driver behaviour was thus the change in the proportion of drivers looking right or left.

Fig 6. The average speeds of cars and cyclists.





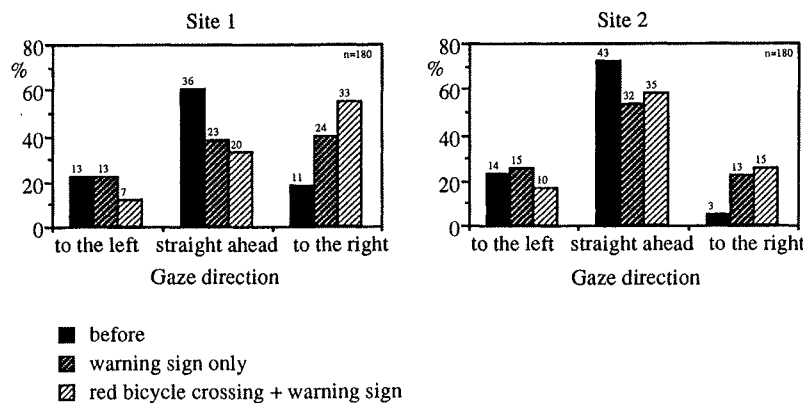


Fig 7. The scanning behaviour of the drivers turning right in the critical area before and after control measures.

Figure 7 shows the changes in the head movements of drivers before and after control measures. The proportion of 'hazardous' drivers fell by almost half from 22 per cent to 12 per cent after installing the warning sign and red cycle crossing at site 1 while the proportion of 'safe' drivers increased from 18 per cent to 55 per cent ( $\chi^2=17.37$ ,  $df=2$ ,  $P<0.001$ ). At site 2 there were only minor changes in the proportion of drivers looking left. However, there was an increase from 5 per cent to 25 per cent in the proportion of drivers looking right after installing the warning sign and red cycle crossing at site 2 ( $\chi^2=9.49$ ,  $df=2$ ,  $P<0.01$ ). The triangular warning sign alone did not diminish the proportion of drivers looking left at both intersections. Combining the results from both intersections, the proportion of 'safe' drivers increased from 9 per cent to 40 per cent ( $\chi^2=25.22$ ,  $df=2$ ,  $P<0.001$ ).

By law drivers have to yield to cyclists at the bicycle crossings studied. At site 1 interactions between the cyclists coming from the right and drivers turning right were analysed. The interaction was to have happened if the driver or the cyclist clearly decreased speed or stopped because of another. The red cycle crossing seem to clarify the right-of-way situation between cyclists and drivers because drivers always yielded to cyclists in such situations ( $n=8$ ).

#### DISCUSSION

This study confirms earlier findings<sup>6,11</sup> that a great proportion of bicycle accidents involve cyclists who come from the 'wrong' (unexpected) side of the road. The result is in line with the notion that cyclists riding on the left side of the street (against the normal motor vehicle traffic) are exposed to great risk<sup>12-14</sup>. The study also showed that sight obstacles increase the accident risk at non-signalised two-way bicycle crossings in contrast to the findings of Henson and Whelan<sup>2</sup> on cyclists riding on the roadway. A comparison of accident types in various conditions indicated that the risk of bicycle/car collisions is 10 times higher at bicycle crossings with restricted visibility than with corresponding crossings without sight obstacles. This was closely related to the most frequent accident type which involved drivers turning right

from the minor road and cyclists riding straight ahead on the left side of the major road. The results supported the hypothesis that sight obstacles and the scanning behaviour of drivers turning right results in accidents with cyclists coming from the right at intersections because drivers have less time to detect cyclists.

A great majority of the existing sight obstacles are located on private land. This means that it is difficult, if not impossible, to solve the problem by clearing them away. Other solutions have to be found.

The findings also suggest that a triangular warning sign painted on the pavement increased the proportion of drivers looking right during the critical area when entering an intersection. The situation got even better when the bicycle crossing was painted red (the proportion of 'safe' drivers increased at the two study intersections from 9 per cent to 40 per cent). However, the triangular warning sign painted on the pavement alone did not reduce the proportion of 'hazardous' drivers looking only to the left. After installing the red cycle crossing at site 1, the proportion of 'hazardous' drivers fell to about half what it was before, while at the other site the reduction was from 14 per cent to 10 per cent. The results of this study are consistent with the general notion that expectations influence driver perception<sup>13,16</sup>. When drivers are informed about the possibility of cyclists coming from the right they may learn to look in that direction. An indication of this was that drivers always yielded to cyclists after the installation of a red cycle crossing and triangular warning sign.

Differences in traffic volumes probably explain the results at different study intersections. At site 1 the bicycle volume was clearly highest. Brüde and Larsson<sup>17</sup> noted that an increase in bicycle volume makes drivers notice cyclists and behave more carefully. At site 2 drivers were probably used to the fact that there were normally no cyclists coming from the right, because the proportion of 'safe' drivers was very small in the before situation. The motor vehicle volume was also higher at site 1 than at site 2 where the drivers were more likely to drive the route daily and with more routine. Our control site 3 failed, unfortunately, because it differed too much from other sites.

The safety effect of sight obstacles seems to depend on site properties as shown by the results of this study and those of Henson and Whelan<sup>2</sup>. An obviously important factor is the location of the cycle track and riding direction of cyclists on the crossing road. When visibility is good in the direction of a cyclist who rides among cars, drivers do not obviously notice him/her because of the phenomenon 'looking but not seeing'<sup>18</sup>. When a cyclist is riding on a two-way cycle track on the left side of the street the situation is different because drivers turning right fail to look in the direction of cyclists, focusing mainly on the left for other cars. The sight obstacle makes that situation even more hazardous because drivers cannot even detect cyclists with peripheral vision. In both cases, however, the underlying factor in the accident is that drivers have learnt to look for other motor vehicles rather than cyclists, major threats to them, both in frequency and severity. Further research is needed considering the driver scanning behaviour at various types of intersection (e.g. roundabouts) where similar problems may appear when implementing bicycle facilities.

#### CONCLUSIONS

It is concluded that, from the safety point of view, building two-way cycle tracks should be avoided at least in urban areas with considerable non-signalised junction density. If two-way cycle tracks are used then the visibility should be made sufficient at the intersections. Speed reduction devices are recommended plus multiple warning signs along with driver education about their meaning.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Finnish National Road Administration, the Ministry of Transport and Communication and by the Jenny and Antti Wihuri Foundation.

#### REFERENCES

- <sup>1</sup>KULMALA, R. Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and applications of accident prediction models. Technical Research Centre of Finland Publications, 233, 1995.
- <sup>2</sup>HENSON, R., and N. WHELAN. Layout and design factors affecting cycle safety at T-junctions. *Traff. Engng Control*, 33, 1992, 548-551.
- <sup>3</sup>SUMMALA, H., E. PASANEN, M. RÄSÄNEN and J. SIEVÄNEN. Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accid. Anal. and Prev.*, 28, 1996, 147-153.
- <sup>4</sup>ALRUTZ, D. Sicherung des Radverkehrs bedeutet mehr als nur Radwege. *Strassenverkehrs Technik*, 2, 1990, 54-60.
- <sup>5</sup>PASANEN, E. Oikealle kääntyvän autoilijan ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma (The problem of drivers turning right and cyclists coming from the right). Helsinki City Planning Department, Traffic Planning Division L 3, 1992.
- <sup>6</sup>RÄSÄNEN, M., and H. SUMMALA. Attention and expectation problems in bicycle/car collisions: In-depth study of bicycle accidents. *Accid. Anal. Prev.* (in press).
- <sup>7</sup>PASANEN, E., and M. RÄSÄNEN. Malmin pyöräilyprojekti MAPPI (The bicycle project MAPPI). Helsinki City Planning Department, Traffic Planning Division L 1, 1996.
- <sup>8</sup>HAIGHT, F. Induced exposure. *Accid. Anal. and Prev.*, 5, 1973, 111-126.

- <sup>9</sup>LYLES, R. W., P. STAMATIADIS, and D. R. LIGHTHIZER. Quasi-induced exposure revisited. *Accid. Anal. and Prev.*, **23** 1991 275-285.
- <sup>10</sup>THORPE, J. D. Calculating relative involvement rates of accident without determining exposure. *Australian Road Research*, **2**(1), 1964, 25-36.
- <sup>11</sup>HUNTER, W. W., W. E. PEIN and J. C. STUTTS. Bicycle-motor vehicle crash types: the early 1990s. *Transpn Res. Rec. 1502*, Transportation Research Board, Washington, DC, 1995, 65-74.
- <sup>12</sup>SCHNÜLL, R., J. LANGE, I. FABIAN, M. KÖLLE, F. SCHÜTTE, D. ALRUTZ, H.W. FECHTEL, J. STELLMACHER-HEIN, T. BRÜCKNER and H. MEYHÖFER, Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, 262, 1992.
- <sup>13</sup>WACHTEL, A., and D. LEWISTON. Risk factors for bicycle-motor vehicle collisions at intersections. *ITE Journal*, **64** (9), September 1994, 30-35.
- <sup>14</sup>STATENS VEGVESEN, VEGDIREKTORATET. Sykkelplanlegging i by og tettsted. Oslo, 1994.
- <sup>15</sup>NAÄTÄNEN, R., and H. SUMMALA. *Road-user Behavior and Traffic Accidents*. North Holland/American Elsevier, Amsterdam and New York, 1976.
- <sup>16</sup>HILLS, B.L. Vision, visibility and perception in driving. *Perception*, **9**, 1980, 183-216.
- <sup>17</sup>BRÜDE, U., and J. LARSSON. Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit? *Accid. Anal. Prev.*, **25**, 1993, 499-509.
- <sup>18</sup>RUMAR, K. The basic driver error: late detection. *Ergonomics*, **33**, 1990, 1281-1290.

The address of Messrs Räsänen and Summala: Traffic Research Unit, Department of Psychology, P.O. Box 13, FIN-00014 University of Helsinki, Finland; and of Mr Pasanen: City of Helsinki, Traffic Planning Division, Aleksanterinkatu 26, FIN-00170 Helsinki, Finland.









## ATTENTION AND EXPECTATION PROBLEMS IN BICYCLE–CAR COLLISIONS: AN IN-DEPTH STUDY

MIKKO RÄSÄNEN\* and HEIKKI SUMMALA

Traffic Research Unit, Department of Psychology, P.O. Box 13, 00014 University of Helsinki, Helsinki, Finland

(Received 19 February 1997; in revised form 21 November 1997)

**Abstract**—One hundred and eighty-eight bicycle–car accidents in four cities were studied by multidisciplinary in-depth analysis. The sample was representative of the national accident statistics. All the accidents were analyzed in detail to reconstruct the actual movements of those involved and to assess detection of the other party. In 37% of collisions, neither driver nor cyclist realized the danger or had time to yield. In the remaining collisions, the driver (27%), the cyclist (24%) or both (12%) did something to avert the accident. Two common mechanisms underlying the accidents were identified. First, allocation of attention such that others were not detected, and second, unjustified expectations about the behavior of others. These mechanisms were found to be closely related to the system of two-way cycle tracks and to the fact that the general priority rule is applied to the crossings of a cycle track and a roadway. The most frequent accident type among collisions between cyclists and cars at bicycle crossings was a driver turning right and a bicycle coming from the driver's right along a cycle track. The result confirmed an earlier finding (*Accident Analysis and Prevention* 28, 147–153, 1996) that drivers turning right hit cyclists because they looked left for cars during the critical phase. Only 11% of drivers noticed the cyclist before impact. Cyclists' behavior was in marked contrast to that of drivers. In these cases, 68% of cyclists noticed the driver before the accident, and 92% of those who noticed believed the driver would give way as required by law. Cyclists with a driving license and those who cycled daily through the accident site were involved in different accident types to other cyclists. © 1998 Elsevier Science Ltd. All rights reserved

**Keywords**—Automobile driver, Bicycle crossing, Cycle track, Cyclists, Traffic rules, Traffic safety

### INTRODUCTION

Cyclists' safety risks stem from keeping balance and track and controlling conflicts with other road users. Hospital statistics show that the former category overwhelms the latter in frequency, with 58% of cyclists being taken to the hospital (inpatients) because of non-motor vehicle bicycle injuries (Olkkonen et al., 1990), and a substantial number of accidents with minor consequences remain unreported. However, collisions with other vehicles dominate where more serious consequences are concerned, 90% of cyclists' deaths being caused by collisions with motor vehicles in Finland in 1980 (Olkkonen et al., 1990) and in the U.S.A. (Rodgers, 1995).

Earlier research has revealed certain general factors in bicycle–car accidents. The injury risk is highest for young and older cyclists in relation to exposure (Maring and van Schagen, 1990; Gårder et al., 1994). As Maring and van Schagen (1990)

pointed out, age itself is not a causal factor but is related to the cognitive resources available. They further suggested that the lack of knowledge or inability to apply knowledge among high-risk groups may cause dangerous situations. This is in line with the notion in the hospital-based study by Mills (1988) that cyclists over the age 13 were less likely to have caused the accident than younger cyclists. The behavior of children seemed to be more based on the current traffic situation than the formal rules (van Schagen and Brookhuis, 1994). The knowledge of traffic rules probably also affects the type of accident that cyclists get involved in, but this connection has not been assessed. Fatality risks are substantially higher, not only for older cyclists, but also for males and for cyclists who ride in the dark (Rodgers, 1995). This can partly be explained by the fact that male and older cyclists (over 44 years) ride more often in the dark, more often on major roads and/or are more often inebriated in the U.S.A. (Rodgers, 1995). The Finnish and Swedish bicycle fatality data suggests that males continue cycling in old age, resulting in very high fatality rates per head of population in the

\*Corresponding author. Tel.: 00358 9191 23468; Fax: 00358 9191 23489; e-mail: mikko.rasanen@helsinki.fi

75+ age group (200 per 1 million in Finland and 60 per 1 million in Sweden), while elderly females rather tend to avoid cycling (Summala, 1996a). Li and Baker (1996) found that the injury risk for males is in fact slightly lower than for women when the number of trips is taken into account. The study by Carlin et al. (1995) showed that the difference in injury risk between boys and girls (4–15 years) was also only a little more favorable for girls, but that children from families in the lowest income category had greater injury risk.

Olkkonen and Honkanen (1990) showed that inebriation ( $BACs > 1.0 \text{ g l}^{-1}$ ) of cyclists increases the injury risk at least tenfold compared to sober cyclists. Olkkonen and Honkanen (1990) also showed that the fatal injury risk from falling was greater for an inebriated cyclist than the risk of collision. Furthermore, the health disorders which might be harmful in traffic may cause up to seven times greater fatality risk than the corresponding risk for a healthy cyclist (Olkkonen, 1993).

A widely known problem is that cycle tracks are safe on road sections but dangerous at intersections. Most serious bicycle accidents occur at intersections and involve collisions with motor vehicles (Gärder et al., 1994). Many attempts have been made to improve cyclists' safety with different intersection layout (see, for example, Alrutz et al., 1989; Gärder et al., 1994; Räsänen, 1995). Brüde and Larsson (1993) showed that the risk of being involved in an accident (as related to the number of cyclists who pass the intersection) at a junction increases with increasing numbers of motor vehicles but decreases with increasing numbers of pedestrians and cyclists. Much effort has been directed to calculating the various risks for cyclists but not much has been done to investigate the connection between accident type and the participant's task and characteristics in real accident situations.

Vehicle collisions involve, almost by definition, the loss of control by those involved, and this is quite often due to the loss of attention control or a failure to detect the other party (Rumar, 1990; Shinar, 1978; Summala, 1988, 1996b). The lack of detection is, expectedly, the most common feature characterizing situations in night time bicycle-car accidents, when the driver overtakes the cyclist, who is difficult to see (Hogue, 1990). Drivers' learned routines may fail to take account of a cyclist properly and cyclists' expectations may fail if they interpret driver behavior wrongly, for example, slowing down at an intersection before turning. Such a situation was recently shown, which produces bicycle-car accidents. That is, when drivers turning right watch cars from the left and fail to detect a cyclist coming from their right towards

the cycle crossing which is located before a road crossing (Summala et al., 1996). Conflict management in traffic is interactive, however, and a strict interpretation of the traffic law ("one should always be able to stop in a road section ahead visible to him/her") suggests that in a collision both parties failed to manage the situation (e.g. the British Highway Code, Para. 57; the Finnish Road Traffic Code Para. 23). It is therefore important to study both cyclists' and drivers' behavior, and to consider both parties' actual tasks in the situation. It is especially important in order to explain why one or both failed in their task.

There are specific problems in research on bicycle-car accidents, however. National accident statistics and hospital records are quite limited in relevant variables (Thom and Clayton, 1993). They typically involve persons killed or injured; accident time (month, day, week, hour); site (province, municipality, type of road and junction); speed limit; circumstances of accident (weather); participants (sex, road user and age group), influence of alcohol, type of driving license and very diagrammatic classification of accident types. It is not even possible to infer the behavior of each party (their paths, directions, turns) from these data bases. However the very basic standpoint of research on causal factors should be a careful task analysis of each party (Summala, 1996b). Since data from hospital records presents a more accurate picture of the variety of bicycle accidents than police records, but do not contain enough information for bicycle accident prevention measures (Stutts et al., 1990), more detailed in-depth accident analysis is needed. This study, based on multidisciplinary in-depth analysis of 188 bicycle-car accidents in four cities, focused on the attention problems of both parties in different collision types. Special emphasis was put on accidents at bicycle crossings.

#### ACCIDENT INVESTIGATION METHOD

Accident investigation teams have studied all the fatal collisions with at least one motor vehicle occupant deceased across Finland since the late 1960s. This activity is organized by the Traffic Safety Committee of Insurance Companies (Hantula, 1987, 1989, 1992). In 1990, a special project on bicycle accidents was begun. The regional teams studied bicycle accidents in four cities, in Helsinki (population 497,500), Mikkeli (population 32,200), Hämeenlinna (population 43,800) and Ylivieska (population 13,300). The data included all bicycle accidents reported to the police. The Helsinki sample was restricted to those cases which occurred on cycle

tracks or at cycle crossings. The total number was 234 of which 46 were non-motor vehicle cases.

Each of the four accident investigation teams consisted of four members: a police officer; a vehicle engineer; a traffic engineer; and a physician. The chairman of the investigation team was informed about an accident by the local police officer. The chairman then called the team to the scene of the accident as soon as possible. Each member had a checklist for his particular investigation sector. These forms were later coded on to files. The police member's duty included collection of the general information regarding the accident and interviewing the parties involved. The variables to be considered included events before the accident, how and why the accident occurred and the background of each party. The vehicle engineer examined the vehicle's technical condition and external damage to the vehicle. The road engineer examined the condition of the road, sight distances and geometric features of the road and reconstructed the pre-crash phase, including a time schedule in seconds. Physicians determined the physical and mental capacities of drivers and cyclists and what affects these factors may have had on the accident. The data obtained by each member was compared at the final meeting. The final report covered the accident itself, the factors contributing to it, injuries sustained and their causes, the effect of safety devices, ways of improving safety and measures carried out or proposed for improving local conditions. If something was based on assumptions or is understood as being probable, this was also mentioned in the final report (Hantula, 1987). The level of recon-

struction in these data provides a fairly reliable description of what actually happened.

## RESULTS

### *Representativeness of the sample*

The distribution and coverage of the sample is shown in Table 1.

Based on the national statistics provided by Police Statistics and Traffic Insurance Statistics, the sample was representative of collisions between bicycle and motor vehicle by accident type (see Table 2). Road conditions, time of accident, inebriation, age and gender of participants did not differ from national statistics (Räsänen, 1995). The cyclist was inebriated in 10.4% of all accidents and the driver in 4.6%. Over half of cyclists who were inebriated were involved in falling.

### *Accident type*

Routine accident statistics do not give sufficient information on how the accident happened, or even where it happened (e.g. at what kind of crossing). All the study cases were therefore analyzed in detail to reconstruct the accident type with actual movements of those involved, by site. Out of 234 cases, 97 were collisions with a motor vehicle either at marked bicycle crossings (15) or at combined cyclist and pedestrian crossings (82); 30 cases occurred at unmarked crossings; 28 at site accesses; 17 at single combined bicycle and pedestrian crossings and 16 at route sections. There were 13 fatal cases and 21 serious cases (AIS 3-5) where cyclists' behavior was

Table 1. The coverage of the sample for 1992-1993 and the total size of sample in the four cities during years 1990-1994

City	1992			1993			1990-1994
	In-depth study	Police statistics	Traffic insurance	In-depth study	Police statistics	Traffic insurance	Total sample
Helsinki	10	153	118	11	148	133	67
Hämeenlinna	23	18	23	29	17	18	77
Mikkeli	25	21	12	22	11	21	73
Ylivieska	10	7	4	6	6	9	17
Total	68	199	157	68	182	181	234

In-depth studies were first started in the city of Helsinki in 1990, then in the city of Mikkeli in 1991 and finally in the cities of Hämeenlinna and Ylivieska in 1992.

Table 2. The representativeness of the sample by accident type: proportion of the four most frequent accident types

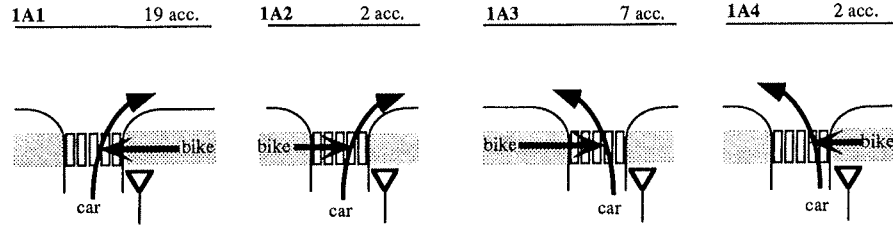
Accident types	In-depth study ( <i>n</i> = 234, %)	Police statistics 1987-1993 ( <i>n</i> = 11,759, %)	Traffic insurance statistics 1987-1993 ( <i>n</i> = 11,701, %)
Intersecting directions of travel	43	42	49
Opposite directions of travel, turn	15	10	13
Same directions of travel, turn	10	12	10
Intersecting directions of travel, turn	10	9	5



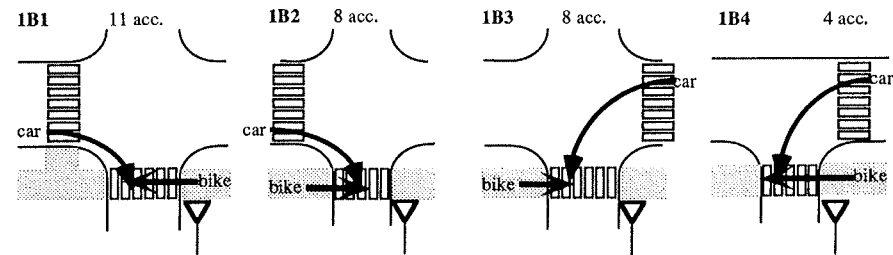
difficult to assess. These cases were distributed equally to all accident types compared to slightly injured or not at all injured cases ( $\chi^2=4549$ ,  $df=4$   $p=0.337$ ). Forty-six non-motor vehicle cases included 23 single,

16 cyclist-cyclist and seven cyclist-pedestrian accidents. These non-motor vehicle cases were not included in this study. Figure 1 shows bicycle-car collisions at cycle crossings by accident site and

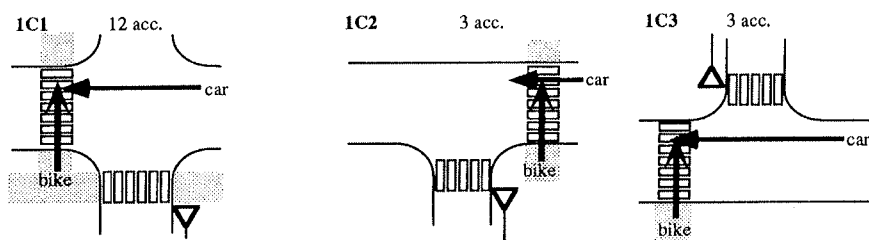
**1A The car turns, cycle track crosses before road crossing**



**1B The car turns, cycle track crosses after road crossing**



**1C The car drives straight ahead, cyclist comes from the left**



**1D The car drives straight ahead, cyclist comes from the right**

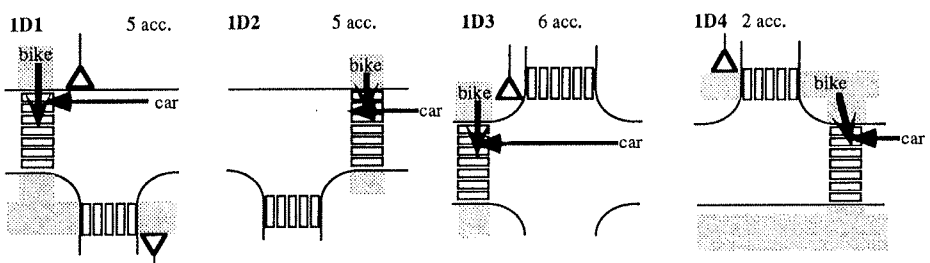


Fig. 1. Bicycle-car collisions at bicycle crossings by type ( $n=97$ ). Four intersections in 1B1 and 1B2 were signaled; two in 1B3; three in 1C1 and one in 1C2.

movements of those involved. In the three most frequent accident types ( $n=42$ ; 1A1; 1B1 and 1C1), the cyclists approaches to the cycle crossing from the left side of the street.

The distribution of cases within group 1A confirmed the earlier finding that drivers turning right, but not those turning left, hit cyclists coming from the right. As many as 19 cases involved a car turning right (type 1A1), while only two cases involved a car which was turning left (type 1A1 versus type 1A4:  $p<0.001$ , sign test, considering the change in the driver's task only). The data suggests that a related attention problem may occur when the cyclist is coming from the left. In seven cases the driver was turning left and was presumably watching the right for cars to which he/she should yield (type 1A3). Correspondingly, there were two cases only where the driver was turning right (type 1A2) and the only direction to check for cars was the left (type 1A3 versus type 1A2:  $p=0.090$ , sign test). There is no reason to expect biases in exposure such as directional differences in vehicle/cycle traffic and sampling biases and, therefore these findings strongly suggest that visual search (and its timing) is largely responsible for car-bicycle accidents at crossings, in line with earlier observational data (Summala et al., 1996). This explanation was next tested against the in-depth analyses.

*Attention: avoidance reactions and noticing the other party*

The driver's visual search pattern may lead to a situation where a driver does not notice a cyclist. In this study, estimates about parties' behavior were based on structured interviews made by a police officer after the accident. This is not as reliable a method as the earlier observational method since parties are likely to give answers favorable to themselves. However, the parties involved were assured that the interview was only made for traffic safety purposes and it would not effect the legal standing of the parties. Furthermore, it was another police officer, who made the official interview and report. The interview was made at the scene of the accident

in most of the serious cases and within few days in other cases. The final meeting of the team also brought up the possible bias and conflicts with the parties' statements when the members of the team compared their data. The taxonomy of accident 'causes' in the tables is the same which the teams used.

The teams' conclusions were that in all bicycle-car collisions, drivers had noticed the cyclist in 51% of cases before the crash and cyclists had noticed motor vehicle in 66% of the cases. Table 3 presents the different combinations of drivers' and cyclists' avoidance reactions. Neither driver nor cyclist realized the danger or had time to yield in 37% of all bicycle-car collisions. In the rest, one (drivers in 27% and cyclists in 24%) or both (in 12%) of those involved did something to avert the accident.

Tables 4 and 5 present cyclists' and drivers' avoidance reactions by group. Table 4 shows that cyclists did something to avert the accident in half the cases at bicycle crossings, when the car turned and the cycle track crossed before the road crossing (group 1A), at site accesses (group 3) and at single, separate bicycle crossings (group 4). Cyclists at bicycle crossings rarely did anything to avert the accident when the car drove straight on and the cyclist came from left or right (group 1C+D) and at unmarked crossings (group 2). Table 5 shows that the driver often did something to avert the accident in collisions at single, separate bicycle crossings (group 4) and at bicycle crossings when the car drove straight on and cyclist came from the left or right (group 1C+D). The drivers rarely did anything to avert the collision in the accidents at bicycle crossings where the car turned and the cycle track crossed before the intersection (group 1A) and at site accesses (group 3) because drivers usually did not realize the danger at all. In the following, the results from Tables 3-5 and site properties are combined by group.

*The car turns, cycle track before the road crossing: group 1A*

The behavior of those involved in accident groups 1A and 3 (site accesses) was quite similar (see Tables 4 and 5). Only in these groups did the cyclist

Table 3. The cyclist's and driver's avoidance reactions

Cyclist	Driver			Total
	Did not realize danger	Did not have time	Did something to avert accident	
Did not realize danger	23	5	19	47
Did not have time	17	6	19	42
Did something to avert accident	28	5	17	50
Total	68	16	55	139

Missing data in 49 cases.

Table 4. The cyclists' avoidance reactions by accident group

	Accident group							Total
	1. Bicycle crossing			2. Unmarked crossing	3. Site access	4. Single bicycle crossing	5. Route section	
	A	B	C+D					
Did not realize	8	6	14	10	5	5	8	56
Did not have time	6	9	12	11	9	2	0	49
Did something to avert accident	14	9	3	4	12	8	6	56
Total	28	24	29	25	26	15	14	161

$\chi^2 = 18.62$ ,  $df=6$ ,  $p=0.005$ , did not realize + did not have time versus did something to avert accident (missing data in 27 cases).

Table 5. The drivers' avoidance reactions by accident group

	Accident group							Total
	1. Bicycle crossing			2. Unmarked crossing	3. Site access	4. Single bicycle crossing	5. Route section	
	A	B	C+D					
Did not realize	17	15	5	9	15	4	8	73
Did not have time	4	2	6	7	4	0	1	24
Did something to avert accident	3	11	24	13	6	11	5	73
Total	24	28	35	29	25	15	14	170

$\chi^2 = 28.27$ ,  $df=6$ ,  $p < 0.001$ , did not realize + did not have time versus did something to avert accident (missing data in 18 cases).

more often something to avert the accident and drivers realized the danger less frequently than in other groups, perhaps because the accident site was similar in both accident groups. The collision between a driver turning right and a cyclist coming from the right typically occurred at the intersection of a collector road and a residential road with rather low traffic volumes, which is the normal situation at site accesses. In fact, in 10 of the 24 accidents at the site accesses, the direction of motion of the participants was the same as in the largest accident type (1A1).

Many cyclists had noticed the driver before accident in accident group 1A but could not prevent the accident. To clarify this matter the authors analyzed the most frequent accident type (1A1) in more detail. Figure 2 shows that cyclists noticed the motor vehicle in 13 of 19 cases in accident type 1A1. Twelve of these cyclists supposed the driver would give way. Only two drivers out of 19 noticed the cyclist, however.

These results clearly support an earlier finding that the reason why drivers did not notice the cyclist coming from the right proved to be inappropriate scanning behavior. Cyclists on the other hand seem to trust too much that drivers would give way.

*The car turns, cycle track crosses after road crossing: group 1B*

It can be seen from Fig. 1 that the angular view which drivers needed to notice a cyclist in accident types 1B1 and 1B3 were within 140° of forward visual

field and in types 1B2 and 1B4 outside 180° of the visual field before the accident. In the former case, the driver could see the cyclist without head movements but in the latter could not. This naturally applies to cyclists too. The data supported this because in types 1B1 and 1B3 accidents 10 out of 19 drivers did something to avoid the accident, but only in three cases out of 12 among types 1B2 and 1B4 did the driver have time to take evasive action. Cyclists assumed in 52% of accidents that when the driver turned from the opposite direction (types 1B1 and 1B3) that the driver had noticed him or her and would give way.

*The car drives straight ahead, cyclist comes from the left (group 1C) or right (group 1D)*

Cyclists' and drivers' behavior at bicycle crossings in accident groups 1C+D was completely different to their behavior in group 1A. This is because the drivers' task was quite different. In most of the cases in the groups 1C+D drivers did not have to scan other cars any more because they were leaving the intersection and in this situation the driver usually had more time to take evasive action than in the situation where the driver approached the intersection.

In fact there was also a difference in the traffic situation between groups 1C and 1D. In the accidents of group 1C the driver had more time to react because the cyclist had been on the roadway for some time before reaching the car's path while in group 1D the

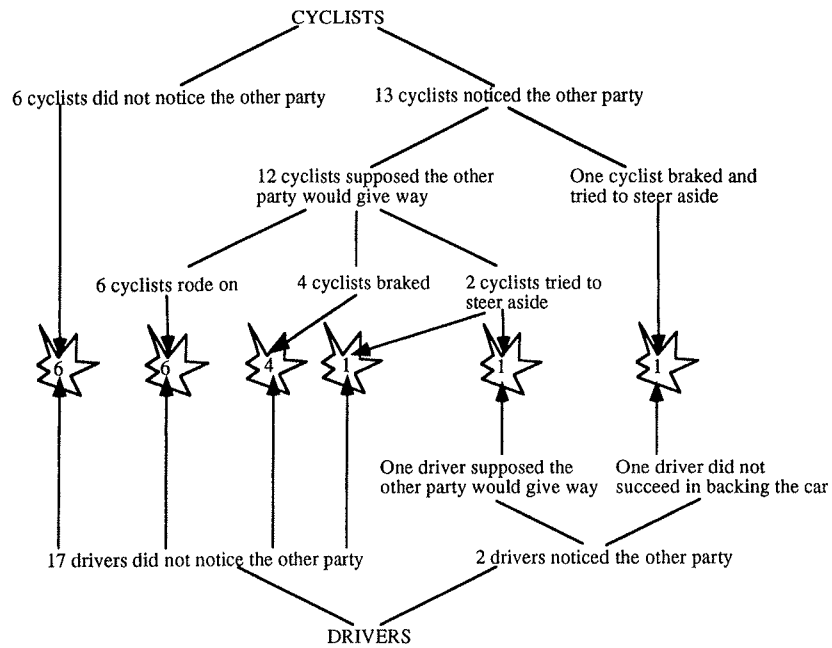


Fig. 2. Cyclists' and drivers' assumptions and behavior before accident in type 1A1 (n=19).

situation was more surprising for a driver, particularly if there was a sight obstacle. The results confirmed this hypothesis: 15 out of 17 drivers had time to take evasive action in cases of group 1C while half the drivers (9/18) either did not realize or have time to do anything in cases of group 1D ( $\chi^2=5.90$ ,  $df=1$ ,  $p<0.05$ ). Unfortunately the accident data was too small to make a more detailed analysis of the background factors of drivers involved in accident groups 1C and 1D.

*Cyclists' driving licence and familiarity with the accident site*

Table 6 shows that cyclists with a driving licence were more often involved in accidents where they had a clear right of way (groups 1A and 3) than in

other accidents. This was even more pronounced in the accident type 1A1 where 15 of 19 cyclists had a driving licence.

The accident site was usually very familiar to cyclists in accident groups 1A and 5 (Table 7). Furthermore only one cyclist with a driving licence did not cycle daily at the accident site in the group 1A (Table 8). This implies that cyclists in many cases know perfectly well that they have right of way.

*The reports of road investigation teams*

According to the accident investigation teams, sight obstacles were the most frequent risk factor in the traffic environment in collisions between motor vehicles and cyclists especially at bicycle crossings. Based on the injuries sustained, it was the opinion of

Table 6. Cyclists with a driving license by accident group; cyclists aged 18 or more only included

Driving license	Accident group							
	1. Bicycle crossing			2. Unmarked crossing	3. Site access	4. Single bicycle crossing	5. Route section	Total
	A	B	C+D					
Yes	16	9	9	7	12	7	8	68
No	8 (6) <sup>a</sup>	9 (8)	12 (9)	15 (5)	3 (9)	2 (7)	6 (2)	55 (46)
Total	24	18	21	22	15	9	14	123

$\chi^2=13.24$ ,  $df=6$ ,  $p=0.039$  (missing data in 17 cases).  
<sup>a</sup>Number of cyclists under 18.

Table 7. Familiarity of the site among cyclists by group

Movement frequency	Accident group					Total		
	1. Bicycle crossing			2. Unmarked crossing	3. Site access		4. Single bicycle crossing	5. Route section
	A	B	C+D					
Daily	23	11	16	17	9	9	13	98
Seldom	4	11	13	9	11	7	3	58
Total	27	22	29	26	20	16	16	156

$\chi^2 = 13.47$ ,  $df = 6$ ,  $p = 0.036$  (missing data in 32 cases).

Table 8. Familiarity of the site among cyclists by group; holders of driving license only

Movement frequency	Accident group					Total		
	1. Bicycle crossing			2. Unmarked crossing	3. Site access		4. Single bicycle crossing	5. Route section
	A	B	C+D					
Daily	13	2	4	6	6	3	5	39
Seldom	1	7	5	1	5	5	3	27
Total	14	9	9	7	11	8	8	66

$\chi^2 = 8.381$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.004$ , 1 A versus other groups.

the team that the use of a bicycle helmet would have prevented, for sure or in all probability, the death of eight cyclists out of 13 and injuries would have been prevented or became less severe in 42% of the cyclists ( $n = 250$ ).

## DISCUSSION

In the present study the investigation teams concluded that only in 17% of bicycle-car collisions did both participants not notice the other at all before the accident. At least one participant had noticed the other in all the other accidents. Why did the accident happen then? The results suggest two main mechanisms producing bicycle-car collisions which can both be present and linked to each other. The first is the improper allocation of attention which is primarily related to visual search strategies, in which drivers may ignore a cyclist who comes from an unexpected direction (Summala et al., 1996). If a driver is late looking in the relevant direction, he/she simply has no time to stop or yield before hitting the other party. The other mechanism involves misplaced expectations of the behavior of the other party. Cyclists supposed in many cases that the driver would give way as required by the law. Two contributing factors can be seen behind these mechanisms.

In Finland, a widely-used solution for cycle traffic is two-way cycle tracks. This often causes unexpected situations for a driver, because a cyclist can appear from a direction inconsistent with normal car traffic flow. In all of the three most frequent accident types, the cyclists approached the cycle cross-

ing from the left side of the street, which can be seen as the most unexpected direction for a driver to encounter a cyclist. Therefore, the accident type where the driver is turning to the right and cyclist is coming from the right (the left side of the street) is the most frequent at non-signalized intersections in Finland. This is also the case in Germany (Kerwien, 1996). Keskinen (1982) already observed the selective attention problem in drivers who enter an intersection where a cycle track crosses in front of it and Schnüll et al. (1992) and Wachtel and Lewiston (1994) demonstrated a greater risk for cyclists riding on the left side of the street. The detailed analysis by Hunter et al. (1995) of bicycle-car crashes of in the U.S.A. indicated that a great proportion of bicycle accidents includes cyclists who come from the 'wrong' (unexpected) side of the road.

The second factor which promotes wrong expectations is the law which gives right of way to a cyclist who comes from the right also at the crossings of a cycle track and roadway. (The law actually changed in June 1997, after completing this study.) Two-way cycle tracks and this law made the cyclists, who come from an unexpected direction from a driver's point of view, have a right of way. From a cyclist's point of view car drivers should yield, according to the law and his/her expectations are seemingly confirmed as drivers usually decelerate when entering an intersection.

This accident type with attention misallocation among drivers and misplaced expectation among cyclists was frequently related to the cyclist's ownership of a driving licence and daily usage of the

accident site. Those cyclists who knew the rules were more probable to use their right. The combination of a familiar route and knowledge of having right of way may cause a riding routine in which cyclists do not watch motor vehicles coming from the left carefully enough, especially when drivers have to yield according to law. The accident site also plays a significant role. These accidents typically occur at intersections between a collector road and a residential road. The cyclist has to cross a residential road with low traffic volumes and little expectations of a car coming from it. This was supported by the fact that cyclists in accidents at site accesses, where the cyclists' right of way was similarly very clear, also had a driving license more often than in other collision types.

More complicated traffic situations for cyclists arose, instead, at unmarked crossings (group 2) and at bicycle crossings where the car drove straight ahead and a cyclist came from the left or the right to a major road (group 1C+D). To cross a major road is more demanding than a minor road for a cyclist, especially when the right of way law is indistinct in these traffic situations. Accordingly, cyclists involved in an accident hardly ever did anything to avert it.

Earlier research shows that injury risk is higher for children and elderly cyclists (Maring and van Schagen, 1990; Gårder et al., 1994) and Keskinen (1982) accordingly points out that a special problem of bicycle (and pedestrian) safety stems from the great individual variance in cyclist and pedestrian behavior: children, elderly, and inebriated cyclists behave sufficiently unpredictably to make the driver's task difficult. However, there are specific, rather frequent accident types in which the cyclists involved have a driving licence and are clearly riding according to the traffic rules, but in taking their rights, they may also behave deviantly from the driver's point of view and violate drivers' expectations. It seems now that there is a quite large proportion of bicycle-car accidents in which cyclist's and driver's behavior is both very predictable and results in hazards. Further progress in cyclist safety requires that accident prevention measures be focused on specific kinds of sites and problems.

*Acknowledgements*—This research was funded by the Central Organization for Traffic Safety in Finland, the Finnish National Road Administration, the Ministry of the Interior, The Ministry of Transportation, the Traffic Safety Committee of Insurance Companies and by the Jenny and Antti Wihuri Foundation. The authors would like to thank Mr David Lamble for his comments.

## REFERENCES

- Alrutz, D., Fechtel, H. W. and Krause, J. (1989) *Dokumentation zur Sicherung des Fahrradverkehrs. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr, Heft 74*. Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach, Germany.
- Brüde, U. and Larsson, J. (1993) Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit?. *Accident Analysis and Prevention* **25**, 499–509.
- Carlin, J. B., Taylor, P. and Nolan, T. (1995) A case-control study of child bicycle injuries: relationship of risk to exposure. *Accident Analysis and Prevention* **27**, 839–844.
- Gårder, P., Leden, L. and Thedéen, T. (1994) Safety implications of bicycle paths at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention* **26**, 429–439.
- Hantula, L. (1987) *Road Accident Investigation Teams. Report on Case Investigations in Finland*. Traffic Safety Committee of Insurance Companies, Helsinki, Finland.
- Hantula, L. (1989) Case studies of road accidents in Finland. *Journal of Traffic Medicine* **17**, 23–29.
- Hantula, L. (1992) Development of a case study method of road accidents in Finland. *Journal of Traffic Medicine* **20**, 27–35.
- Hogue, M. (1990) An analysis of fatal bicycle accidents in Victoria (Australia) with a special reference to nighttime accidents. *Accident Analysis and Prevention* **22**, 1–11.
- Hunter, W. W., Pein, W. E. and Stutts, J. C. (1995) Bicycle-motor vehicle crash types: the early 1990s. *Transportation Research Record* **1502**, 65–74.
- Kerwien, H. (1996) Risk taking behavior of bicycle riders. Paper presented at the *International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Valencia, Spain. 22–25 May, 1996.
- Keskinen, E. (1982) Inhimillinen tekijä liikenteessä (The Human Factor in Traffic). (Psychology Reports 59): University of Turku, Turku, Finland.
- Li, G. and Baker, S. P. (1996) Exploring the male-female discrepancy in deaths from bicycling injury in death rates from bicycling injury: the decomposition of method. *Accident Analysis and Prevention* **28**, 537–540.
- Maring, W. and van Schagen, I. N. L. G. (1990) Age dependence of attitudes and knowledge in cyclists. *Accident Analysis and Prevention* **22**, 127–136.
- Mills, P. (1988) Pedal cycle accidents—a hospital based study. In *Road User Behavior, Theory and Research*, eds J. A. Rothengatter and R. A. de Bruin, pp. 212–217. Van Gorcum, Assen/Maastricht, The Netherlands.
- Olkkonen, S. (1993) Health disorders, alcohol and ageing in fatal bicycle injuries. *Journal of Traffic Medicine* **21**, 29–37.
- Olkkonen, S. and Honkanen, R. (1990) The role of alcohol in nonfatal bicycle injuries. *Accident Analysis and Prevention* **22**, 89–96.
- Olkkonen, S., Lähderanta, U., Tolonen, J., Slätis, P. and Honkanen, R. (1990) Incidence and characteristics of bicycle injuries by source of information. *Acta Chir. Scand.* **156**, 131–136.
- Räsänen, M. (1995) Polkupyörräonnettomuuksien vähentäminen (How to decrease the number of bicycle accidents). (Report L25): Ministry of Transport and Communications, Helsinki, Finland.
- Rodgers, G. B. (1995) Bicyclist deaths and fatality risk patterns. *Accident Analysis and Prevention* **27**, 215–223.
- Rumar, K. (1990) The basic driver error: late detection. *Ergonomics* **33**, 1281–1290.
- van Schagen, I. N. L. G. and Brookhuis, K. A. (1994) Training young cyclists to cope with dynamic traffic situations. *Accident Analysis and Prevention* **26**, 223–230.
- Schnüll, R., Lange, J., Fabian, I., Kölle, M., Schütte, F.,

- Alrutz, D., Fechtel, H. W., Stellmacher-Hein, J., Brückner, T. and Meyhöfer, H. (1992) Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. Forschungsberichte 262. Bundesanstalt für Strassenwesen, Bergisch Gladbach, Germany.
- Shinar, D. (1978) *Psychology on the Road, the Human Factor in Traffic Safety*. Wiley, New York.
- Summala, H. (1988) Risk control is not risk adjustment: the zero-risk theory of driver behaviour and its implications. *Ergonomics* **31**, 491–506.
- Summala, H. (1996a) Elämän hallinta liikenteessä: kohti liikennekuolemien nollatavoitetta (Life management in traffic: towards a zero goal for road fatalities). (Traffic Research Unit Reports 29): University of Helsinki, Helsinki, Finland.
- Summala, H. (1996b) Accident risk and driver behaviour. *Safety Science* **22**, 103–117.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M. and Sievänen, J. (1996) Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis and Prevention* **28**, 147–153.
- Stutts, J. C., Williamson, J. E., Whitley, T. and Sheldon, F. C. (1990) Bicycle accidents and injuries: a pilot study comparing hospital- and police-reported records data. *Accident Analysis and Prevention* **22**, 67–78.
- Thom, R. G. and Clayton, A. M. (1993) Accident data requirements for improving cycling safety. *Transportation Research Record* **1405**, 1–6.
- Wachtel, A. and Lewiston, D. (1994) Risk factors for bicycle-motor vehicle collisions at intersections. *Institute of Transportation Engineers Journal* **64**, 9, 30–35.









## BICYCLE ACCIDENTS AND DRIVERS' VISUAL SEARCH AT LEFT AND RIGHT TURNS

HEIKKI SUMMALA,<sup>1</sup> EERO PASANEN,<sup>2</sup> MIKKO RÄSÄNEN,<sup>1</sup> AND JUKKA SIEVÄNEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Psychology, Traffic Research Unit, P.O. Box 11, FIN-00014 University of Helsinki, Helsinki, Finland and <sup>2</sup>City of Helsinki, Traffic Planning Division, Aleksanterinkatu 26, FIN-00170 Helsinki, Finland

(Received 6 February 1995; accepted 8 July 1995)

**Abstract**—The accident data base of the City of Helsinki shows that when drivers cross a cycle path as they enter a non-signalized intersection, the clearly dominant type of car-cycle crashes is that in which a cyclist comes from the right and the driver is turning right, in marked contrast to the cases with drivers turning left (Pasanen 1992; City of Helsinki, Traffic Planning Department, Report L4). This study first tested an explanation that drivers turning right simply focus their attention on the cars coming from the left—those coming from the right posing no threat to them—and fail to see the cyclist from the right early enough. Drivers' scanning behavior was studied at two T-intersections. Two well-hidden video cameras were used, one to measure the head movements of the approaching drivers and the other one to measure speed and distance from the cycle crossroad. The results supported the hypothesis: the drivers turning right scanned the right leg of the T-intersection less frequently and later than those turning left. Thus, it appears that drivers develop a visual scanning strategy which concentrates on detection of more frequent and major dangers but ignores and may even mask visual information on less frequent dangers. The second part of the study evaluated different countermeasures, including speed humps, in terms of drivers' visual search behavior. The results suggested that speed-reducing countermeasures changed drivers' visual search patterns in favor of the cyclists coming from the right, presumably at least in part due to the fact that drivers were simply provided with more time to focus on each direction.

**Keywords**—Black event, Driver behavior, Intersection, Visual search, Selective attention

### INTRODUCTION

An early accident prevention strategy among road and traffic engineers was to put pins for each accident on a map and react with appropriate modifications of black spots where pins accumulated. Quite often even one serious accident triggered this corrective process, and still does so. This method has often been efficient in promoting safer (and more fluid) traffic, but often without proper understanding of accident causes and at the risk of directing resources randomly (e.g. Hauer 1986). Along with this "geographical" black spot method, however, it is essential to continue searching for black spots in the accident mass by splitting it into smaller components by type and participants' behavior, by road and traffic conditions, even by time of week, weather conditions, and participants' characteristics. Well-defined black spots, or peaks in the accident mass are of practical and theoretical significance to accident prevention even without corresponding exposure measures. Thus, by

splitting the accidents further by site and each participant's behavior we can ultimately find the elementary road user tasks which also, along with corresponding behavioral studies, make reaching causal explanations possible (Summala 1995). This in turn leads to improvement of general design standards and understanding of road user behavior and accidents, which are not necessarily accessible for a traffic engineer or accident investigator from one single crash or a few at one specific site.

This study applied the generalized black spot, or *black event* schedule to analyze car-cyclist collisions at non-signalized intersections in the Helsinki City area. Based on an earlier work of Pasanen (1992), this paper first reports a marked peak in a certain accident type—a black event—in these collisions. Next it presents field tests for the explanation that drivers develop a visual scanning strategy which favors detecting conflicting motor vehicles but ignores cyclists. Last, preliminary results are presented on the effects of various countermeasures on driver scanning strategies.

### BICYCLE-CAR COLLISIONS AT NON-SIGNALIZED STREET CROSSINGS

The City of Helsinki maintains a database consisting of all accidents reported by the police. All the collisions between bicycles and cars, for the years 1987-89, which occurred at non-signalized intersections were identified. These included 39 accidents at 25 intersections altogether. The 19 three-way and 6 four-way (with minor fourth leg) intersections typically consist of a collector road and a residential road with rather low traffic flows (about 200-1000/day). There were both priority and non-priority intersections. However, in the latter case, too, drivers have to yield to cyclists coming from the right according to the general rule in the Finnish traffic code. It should be noted here that the Finnish traffic code allows two-way cycle paths which cyclists use extensively in both directions.

The collisions were split according to the actual direction of motion of the participants into 8 types (Fig. 1). It appeared that a large majority of cases were of one specific type in which a driver was turning right and the cyclist was coming from the right (27 out of 39). This type of collision appears to be a specific safety problem—a black event in the accident mass.

The distribution of 39 collisions into 25 intersections implies that the bias towards one type is not the fault of a few specific intersections, although it is to be noted that the dominant type was more pronounced at 12 sight-obstructed intersections (18 out

of 21) than at the other 13 with more adequate sight distances (9 out of 18). It is obvious that exposure to risk expressed as the total number of passes through the intersection cannot explain this extremely skewed type of distribution; although exposure data are not available, there is no reason to suppose such a skewed distribution in the respective flows. We should rather search for the explanation in the behavior of drivers and cyclists. To control for cyclists' behavior, it is further advisable to consider the cases where the driver is about to cross the cycle path before the intersection, and the cyclist is coming from the right. From the total of 30 such collisions, cars turning right hit the cyclist in 27 cases (type A) against 3 of those who were turning left (type C).

The driver's task is different in the two situations considered. While turning left he has to be aware of cars (and other motor vehicles) coming both from left and right but while turning right he has a conflicting path with cars coming from the left only. (It is of special interest to note that drivers turning left manage better with cyclists although their task—considering the need for detecting cars from two directions—is more demanding.) We hypothesized therefore that the explanation lies in the major difference in visual scanning behavior shaped by major threats from motor vehicles, in that while drivers turning right look left for cars and miss cyclists on the right, drivers turning left also have to scan right and incidentally detect cyclists in doing so. This hypothesis was tested using unobtrusive observation techniques in real-life settings.

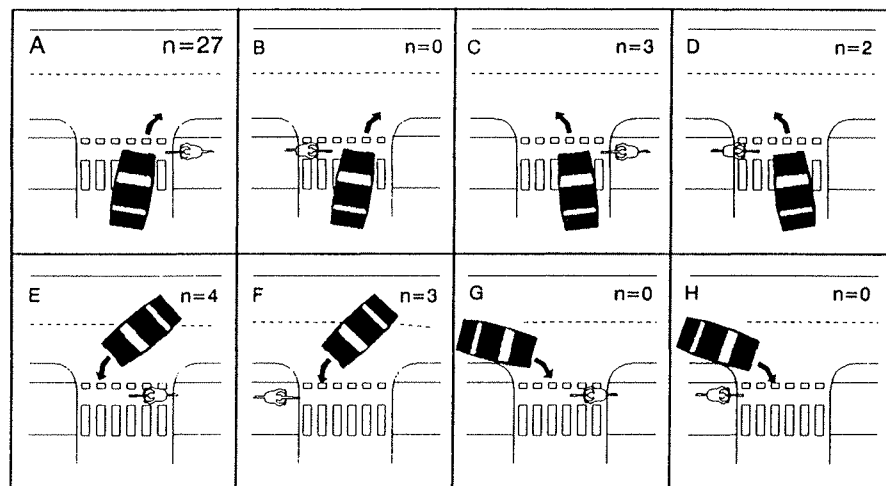


Fig. 1. The bicycle-car collisions by type.

## DRIVERS' SCANNING BEHAVIOR WHEN APPROACHING AN INTERSECTION

### Method

At two sight-obstructed T-intersections, drivers' head movements were recorded as they approached the intersection. Two videocameras were used for recording (see Fig. 2). One camera (Sony 8 TR55) was positioned at the opposite side of the intersection and showed the windshield and head of the driver. The other one (Panasonic A2) was positioned at the side of the joining leg to show the location of the car at each moment. Both cameras were positioned so that drivers did not notice them. The two tapes were synchronized and later mixed into one screen for the analyses.

Three samples of 3 hours, at both intersections, were collected during non-peak hours in the fall of 1990. Two observers also watched approaching drivers from a car in the line of parked cars at some distance from the intersection. They independently estimated the age (nominal accuracy of 5 years) and gender of the subject drivers. The interrater agreement was rather good for both variables ( $r_{xy}$  for age equalled 0.78, and gender matched in 98.5% of cases). Only those car and van drivers who could freely approach and turn into the major street, with no other road users present, were included in the data. The number of acceptable subjects amounted to 51 at Site 1 (33

left and 18 right) and to 60 at Site 2 (44 left and 16 right).

The driver's line of sight was estimated looking at drivers' head movements from the videotapes at intervals of 1 m distance from the cycle track. (The resolution of videotapes did not make estimation of eye-movements possible.) A distinction was first made whether the direction of head of the driver differed from straight ahead or not. If it did, estimates were made using a high nominal accuracy of 5 degrees (as many as 36 steps between straight left and straight right) using order information during successive head-movements. The reliability of the ratings of the two independent observers was very satisfactory ( $r_{xy} = 0.73$ ). In the main analyses, the data were reduced into a three-point scale: looks left, straight ahead, or right. Driving (travel) speed was calculated from the lateral videotape at three distances—at the cycle intersection as well as at two places before it.

### Results

Figure 3 shows the proportion of drivers looking left and right averaged over each 3 m stretch as they approached the cycle path, for left and right turns separately.

The results confirmed our hypothesis at both intersections. Most of drivers turning left looked to the right at the location where the view to the right starts to open up a little before the driver passes the corner of sight-obstructing building. The maximum proportions of 60 and 100% were reached 6 and 9 m before the cycle path at each site. In marked contrast, however, drivers turning right rather continued to look left, the respective proportions of right-looking drivers only being 7 and 3% at the same locations. The multivariate analysis of variance with repeated measures for the distance (7 levels) showed a highly significant direction  $\times$  distance interaction both for Site 1 (Rao's  $f$ -appr. with 6 and 44  $df = 4.07$ ,  $p = 0.003$ ) and for Site 2 (Rao's  $f$ -appr. with 6 and 53  $df = 4.06$ ,  $p = 0.002$ ).

At Site 1, with more variance in approach speeds, scanning behavior was analyzed by speed (computed 8-13 m in front of the cycle path). The average gaze direction is presented in Fig. 4 for three speed groups of equal size. Among drivers turning left, the higher speed expectedly results in more marked—more uniformly timed—looks to the right just at the sight obstacle when the view starts to open up (Rao's  $f$ -appr. with 12 and 136  $df = 2.3$ ,  $p = 0.008$ ). Among drivers turning right, those with lower speed show a somewhat different strategy with two peaks of looking left (16-12 m and 5-3 m before the cycle path) and with some more looks right in between, in contrast

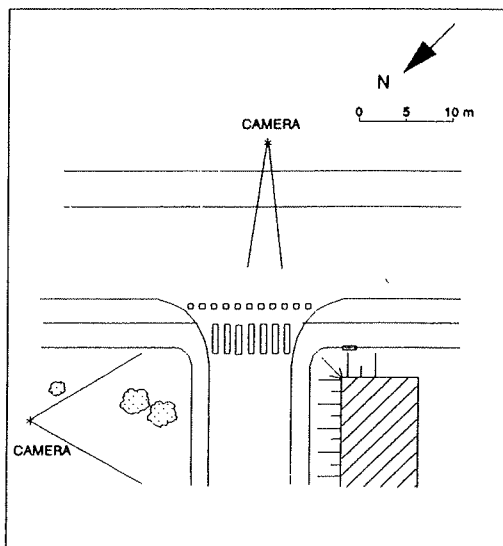


Fig. 2. Measurement Site 1 with its two videocameras. The subject drivers approached the intersection from below and either turned left or right.

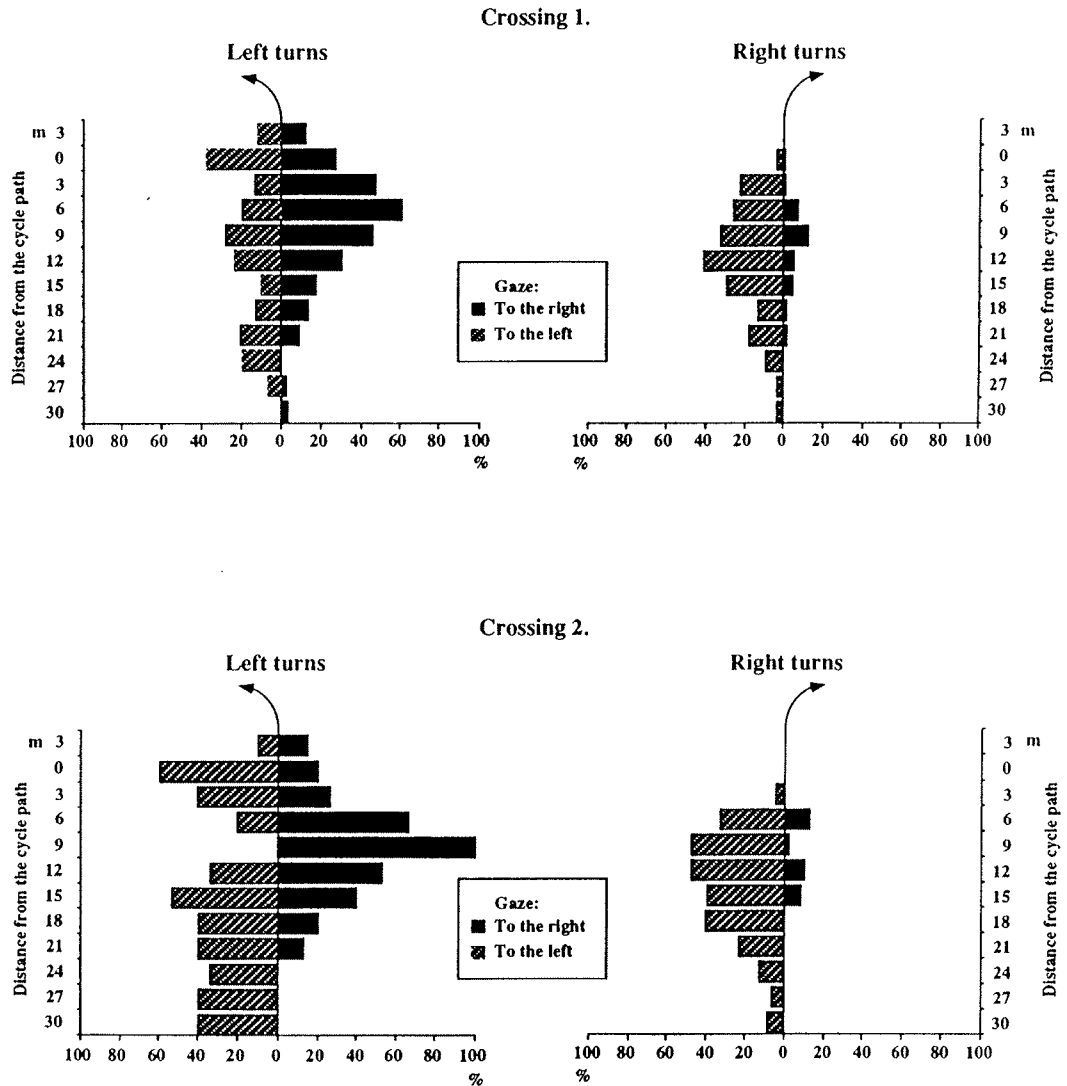


Fig. 3. The proportion of drivers looking left and right when approaching a T-junction, as a function of the distance from the cycle path, separately for left and right turns and for both study intersections. Each point on the y-axis refers to the center of each 3 m stretch of distance.

to more even left-looking strategy in faster drivers, but the effect was not statistically significant. It should be noted here that there was no difference in approach speed between the drivers turning left and right and, therefore, speed could not explain our main results of different scanning behavior. Neither estimated driver age nor gender appeared to have significant effects on scanning behavior. (Note however that we could not observe a sufficient number of beginners who are of importance in understanding how drivers learn certain search strategies.)

TRAFFIC TREATMENTS TO MODIFY DRIVERS' SCANNING BEHAVIOR

In the next phase, specific arrangements were introduced by the City of Helsinki to improve the scanning (and speed) behavior of drivers turning right at six intersections with a cycle path and restricted sight.

Treatments

There were three types of measures intended to change drivers' behavior, applied either alone or

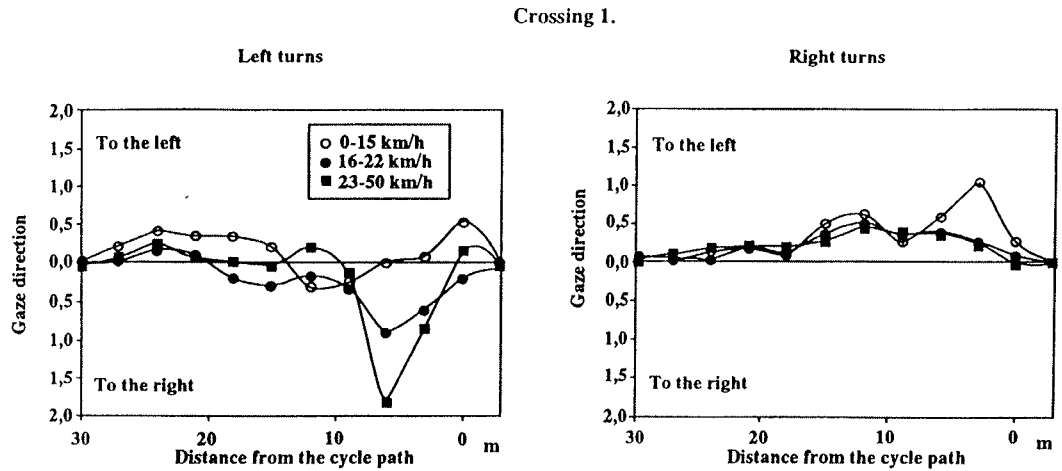


Fig. 4. The average gaze direction (the unit approximately equals  $5^\circ$ ) by approach speed, separately for left and right turns.

together with others. (It is to be noted that these treatments were rather preliminary and exploratory in nature.) The first group consisted of warnings painted or installed at the site, aimed at drawing drivers' attention to the cycle path. These warnings included a triangular warning sign painted on the pavement before the intersection and a bicycle sign at the cycle intersection, however not indicating bi-directional cycle traffic. The second group consisted of a hump, an elevated bicycle crossing, and a stop sign prior to the cycle path. This was to provide more time for drivers in conflict situations and to allow or indeed compel drivers to allot time to both directions. Lastly, at one site, a one-page information sheet on the risks at the cycle path was distributed to all of the 70 householders in the residential area near the intersection.

#### Data collection

At each of the six sites, drivers' head movements were studied before and after these treatments. The method was the same as in earlier measurements. However, only drivers turning right were included, and for each site a critical area was determined within which the driver should look right to be able to detect the oncoming cyclist and give way.

The following method was used to calculate the critical area. The latter boundary ( $T$ ) of the area simply equalled the (reaction and) stopping distance from the cycle path:

$$T = vt + v^2/(2a),$$

where

$v$  = the speed of the car (m/s)

$t$  = the reaction time of the driver (0.5 s; assuming fairly alert drivers when turning at an intersection, a small value was used in comparison with those measured for unalerted drivers on a plain road; cf. Olson and Sivak 1986; Summala and Koivisto 1990)

$a$  = the deceleration of the car ( $8 \text{ ms}^{-2}$ ).

If the driver does not look right until after this boundary and notices a cyclist approaching, he or she can no longer stop before the cycle path. On the other hand, it is of no use to scan to the right too early because of the sight obstruction which prevents the driver from seeing the bicyclist. The front boundary ( $F$ ) of the critical area was derived from the formula:

$$F = c + v_a/v_b d$$

where

$c$  = distance of the cyclist's path from the corner of the sight-obstructing building

$d$  = distance of the driver's (head) path from the corner of the sight-obstructing building

$v_a$  = the approaching car's speed (actually measured)

$v_b$  = the approaching cyclist's speed (expected top speed, 5.6 m/s was used)

The drivers were then classified into three groups according to whether they kept their head turned left throughout the critical area ("hazardous"); whether they looked right within the critical area ("safe"); and others ("intermediate").

Results

Computed across the sites, a marked increase occurred of those looking right ("safe", from 8% to 31%) and a decrease of those looking left only ("hazardous", from 43% to 25%).

Figure 5 shows the results by site. Due to the small number of observations they only suggest that the proportion of dangerous drivers decreased and safe drivers increased at the four intersections with speed-reducing measures (bump, elevated cycle crossing, stop sign). As expected, the average driving speeds also decreased correspondingly.

DISCUSSION

This study first revealed a peak in a certain accident type in car-cycle collisions at street crossings. In these data, the clearly dominant type was that in which a cyclist comes from the right and the driver is turning right, in marked contrast to the cases with drivers turning left. Unobtrusive field studies confirmed the hypothesis that drivers turning right simply focus their attention on the cars coming from the left—those coming from the right posing no threat to them—and fail to see the cyclist from the right early enough. The preliminary results also suggested

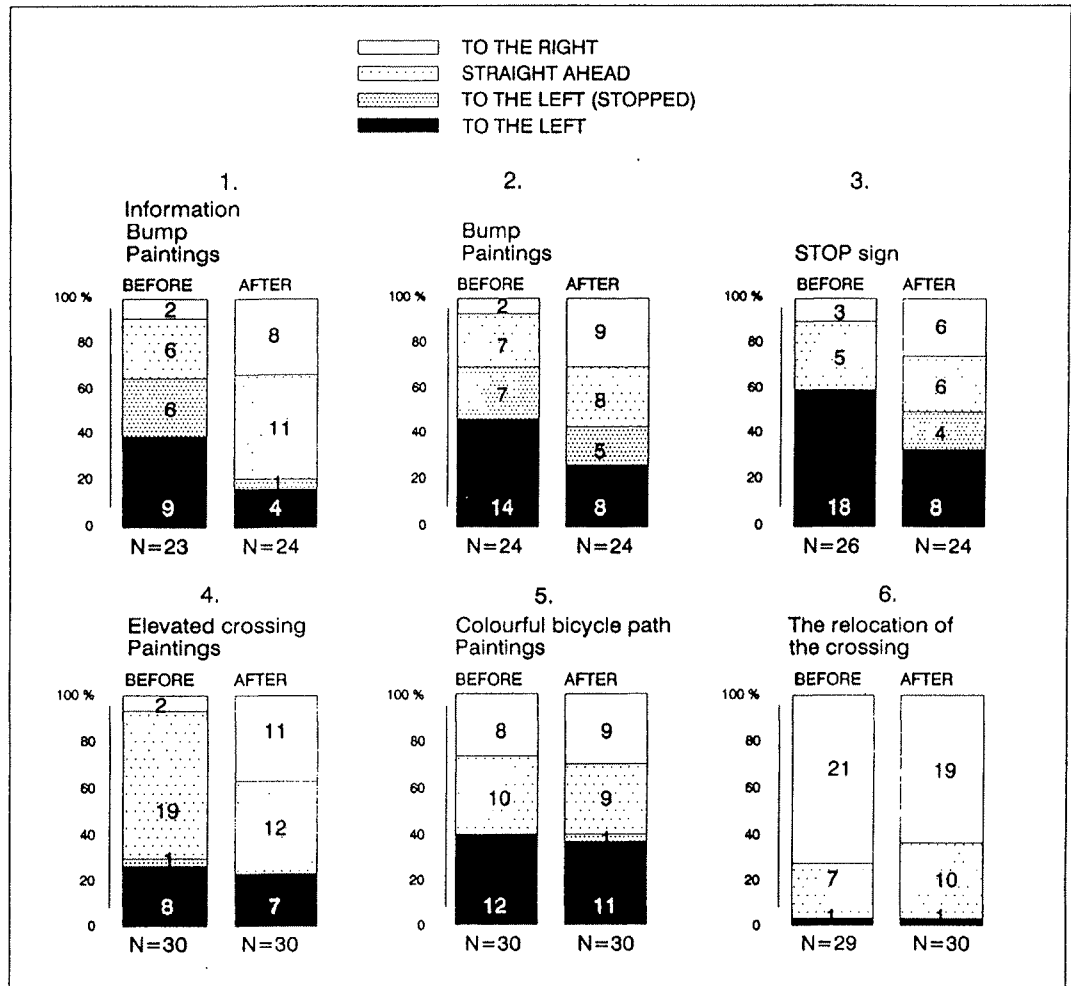


Fig. 5. Six sites with different control measures, and scanning behavior (head movements) of drivers in the critical area before and after the control measures respectively. The drivers who only look to the left and do not stop can be classified as hazardous (black), and those who also look to the right as safe (white).

that speed-reducing countermeasures along with road markings changed drivers' visual search patterns more favorably for the cyclists coming from the right, presumably due to the fact that drivers were simply provided with more time to focus on each direction. The positive effect of these measures was partly confirmed by Beilinson et al. (1992) who performed additional behavior measurements at one of our study sites (Site 1) for a Nordic project (Herslund et al. 1994). Based on on-site estimates of head turns by one observer only, their sample indicated that the number of drivers turning right who looked both left and right before the intersection increased from 21 to 34%. The corresponding figures for drivers turning left showed a decreasing trend (from 72 to 57%), however, presumably implying that a larger share of drivers stop because of the new modifications.

The results of this study show that in a given environment—infrastructure—drivers' visual scanning differentiates according to their specific task and results in "black events", i.e. behavior which does not take into account certain hazards. This differentiation is in line with the general notion that, with experience, drivers learn what is important in the traffic environment and where it is located (Fuller 1984; Näätänen and Summala 1976; Summala 1987, 1994; Theeuwes and Hagenzieker 1993) and, just as in any sufficiently constant environment, develop efficient visual scanning strategies (Moray 1990). Thus drivers learn to scan the relevant directions at intersections to avoid collisions with motor vehicles but, at the same time, they may even develop a scanning strategy which masks visual information about less frequent and less imminent dangers such as a cyclist coming from the right. With a normal visual field of 180°, drivers can detect movement at the far periphery, resulting in orienting reaction and head movement (Sanders 1963) but, as shown by these data, when scanning for cars with the head turned left they may "actively but unintentionally" lose any visual information from the right at the critical phase.

This can be seen as fully rational behavior on the driver's part because it takes the major threats into account, but he or she may not have learnt that there may be cyclists coming from the right in front of the intersection and if there are, our driver has probably learnt that cyclists normally give way. On the other hand, we should note that drivers trade between speed and safety, and they may optimize scanning behavior given a certain speed: to keep "sufficient" speed, they simply have to be selective in attention allocation to the degree that they have to ignore some minor threats. And, when provided with or being forced to take more time by speed reducing

countermeasures, our right-turning drivers have no need to allocate too much attention to the cars from the left and they may either scan right or at least straight ahead which makes it possible to detect cyclists with peripheral vision. Another strategy for removing these black events would be to remove cyclists coming from right unexpectedly—to avoid two-way cycle paths.

*Acknowledgements*—The field studies and analyses were done by Jukka Sievänen for his M.A. thesis, in the fall of 1990, with the assistance of Mikko Räsänen. The countermeasures were designed by a planning group at the Helsinki City, with Hannu Laine, Antero Naskila, Matti Paavolainen, and Eero Pasanen. Mikko Räsänen carried out the effect studies and analyses. Timo Lajunen deserves thanks for help in completing figures.

## REFERENCES

- Beilinson, L.; Kulmala, R.; Leden, L. Test av nya utformningar av cykelöverfarten (Test of new arrangements at cycle crossroads). Technical Research Centre of Finland; Report 125; 1992.
- Fuller, R. A. conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics* 27: 1139-1155; 1984.
- Hauer, E. On the estimation of the expected number of accidents. *Accid. Anal. Prev.* 18: 1-12; 1986.
- Herslund, M.-B.; Kulmala, R.; Vaa, T.; Pettersson, H. E.; Jørgensen, N. O. Cyklisten i kryds—afprøvning af nye reguleringsformen (Cyclists at crossings—test of new regulations). Nordisk Ministerråd; TemaNord 513; 1994.
- Moray, N. Designing for transportation safety in the light of perception, attention, and mental models. *Ergonomics* 33: 1201-1213; 1990.
- Näätänen, R.; Summala, H. Road-user behavior and traffic accidents. Amsterdam: North-Holland/American Elsevier; 1976.
- Olson, P. L.; Sivak, M. Perception-response time to unexpected roadway hazards. *Human Factors* 28: 91-96; 1986.
- Pasanen, E. Oikealle kääntyvän autoilijan ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma. (The problem of right-turning drivers with cyclists coming from right). City of Helsinki, Traffic Planning Department; Report L4; 1992.
- Sanders, A. F. The selective process in the functional visual field. Assen: Van Gorcum; 1963.
- Summala, H. Young driver accidents: Risk taking or failure of skills? *Alcohol, Drugs and Driving* 3: 79-91; 1987.
- Summala, H. Automatization, automation, and control of attention among car drivers. First Automation Technology and Human Performance Conference, Washington, DC; 7-9 April 1994.
- Summala, H. Accident risk and driver behaviour. *Safety Science*. In press; 1995.
- Summala, H.; Koivisto, I. Unalerted drivers' brake reaction times: older drivers compensate their slower reactions by driving more slowly. In Benjamin, T., ed. *Driving behaviour in a social context*. Caen: Paradigme; 1990: 680-683.
- Theeuwes, J.; Hagenzieker, M. P. Visual search of traffic scenes: on the effect of location expectations. In Gale, A.G. et al., ed. *Vision in vehicles*. Amsterdam: Elsevier; 1993: 149-158.









## Car Drivers' Adjustments to Cyclists at Roundabouts

Mikko Räsänen and Heikki Summala  
*Traffic Research Unit, Department of Psychology  
University of Helsinki*

The most frequent bicycle accident type at roundabouts has been shown to be between the entering driver and the circulating cyclist. On the basis of unobtrusive video recordings, in this study we show how the behavior of drivers entering the roundabout depends on the traffic situation on it. A test (stunt) cyclist was provided to create well-controlled conflict situations during the recordings. Drivers' adjustments to the test cyclist were measured in terms of approaching speed, head movements, and the manner in which they yielded to the test cyclist approaching the joint-conflict point at the bicycle crossing on a collision course, from either the left or the right. Six roundabouts in Finland, Sweden, and Denmark were included in the study, representing different roundabout layouts. The main differences were in the size of the central island and the location of the bicycle crossing. The approaching speed of the cars was lower at the roundabouts with large central islands (40-m diameter) than at those with smaller central islands (13-m-16-m diameter) that allow drivers to use a more direct driving path. The majority of drivers adjusted their visual search pattern adequately, even when the cyclist came unexpectedly from the right (the opposite direction from the motorized traffic). However, 7% to 15% of the drivers did not look at all at the cyclist when he was approaching from the right. A higher approach speed was a contributory factor in terms of not looking to the right, supporting the notion that high speed makes drivers pay attention to the traffic environment more selectively. A high approach speed was also a contributory factor to drivers not yielding to the cyclist. When the bicycle crossing was adjacent to the roundabout, a greater proportion of drivers yielded than when the crossing was set back (6 m) from the roundabout. The results suggest that priority regulation at bicycle crossings should vary depending on the location of the crossing at the roundabout.

Several studies indicate that modern yield-at-entry roundabouts significantly increase car drivers' safety compared to other at-level intersection types but that the effect on cyclists' safety is unclear or even negative (Alphand, Noelle, & Guichet, 1991; Balsiger, 1995; Brilon, Stuwe, & Drews, 1993; Giaever, 1993; Vejdirektoratet, 1994). British accident rates involving cyclists at roundabouts are up to 15 times greater than those involving cars and 2 to 3 times greater than bicycle accident rates at signalized intersections (Allot & Lomax, 1991). According to Dutch study results, however, roundabouts with one-lane, radial approaches and an inscribed circle diameter of about 30 m may produce safety benefits for cyclists, too (Schoon & van Minnen, 1994).

There are three basic solutions for bicycle traffic on roundabouts, apart from grade separation: no bicycle facility at all, a cycle lane on a roundabout, or a roundabout with a separate cycle path (Schoon & van Minnen, 1994). (Signalization can, of course, also be used.) Schoon

and van Minnen (1994) concluded that a separate cycle path was the safest solution for cyclists when motor vehicle intensity is over 8,000 per day and that conversion from an intersection with or without a cycle path to a roundabout with a cycle path reduced casualties. Several studies have concluded that separate cycle paths—or, when there are lower traffic volumes, mixed traffic arrangements—are preferable to bicycle lanes within a roundabout (Bergh, 1997; Brilon et al., 1993; Brüde & Larsson, 1996; van Minnen, 1995; Transportation Research Board, 1998). Vejdirektoratet (1994) found no safety difference between a separate cycle path and a cycle lane; neither were there any indications of higher risk in mixed traffic. A few years later, Vejdirektoratet (1998, p. 54) noted that available road safety knowledge concerning the influence of the cycle facility (track, lane, or no facility) at roundabouts on cyclist accidents is too limited to offer any recommendation of a particular solution based on road safety concerns. (See also Allot & Lomax, 1991; Brilon et al., 1993; Brüde & Larsson, 1996; Layfield & Maycock, 1986.)

The major safety problem regarding roundabouts is reported to be too high a speed at entry to, or on, the roundabout (Brown, 1995). Maycock and Hall (1984) showed that the most frequent cycle accident type at roundabouts, between the entering car and the circulating cyclist (see also Alphand et al., 1991; Jordan, 1985; Jørgensen, 1991; Thompson, Lloyd, & Galliar, 1990; Vejdirektoratet, 1994), is particularly sensitive to entry path curvature (inadequate entry deflection) and entry width (flared entries), allowing high entry speeds. One reason for the safety difference in bicycle accident rates at Dutch and British roundabouts, favoring the former, may be the fact that British roundabouts more often have two or more lanes at entry to increase capacity (see Davies, Taylor, Ryley, & Halliday, 1997).

Another reason for the good safety record at Dutch roundabouts with cycle paths is probably the priority regulation. In the Netherlands, cyclists at roundabouts with cycle paths must usually yield to motorized traffic (Schoon & van Minnen, 1994). van Minnen (1994, 1995) found that there are more accidents at roundabouts with cyclist priority than at those with no cyclist priority. Motor vehicles do not give the priority to bicycles that they should in entering/circulating accidents, and this risk increases with increasing traffic flow and entry radius (Alphand et al., 1991). The cyclists' priority is even more complicated if the cycle path can be used in both directions at the roundabout. A study conducted in Germany showed a high risk for cyclists riding in the "wrong" direction on two-way cycle paths (Schnüll et al., 1992), and Brilon et al. (1993) recommended that cycle paths at roundabouts be made one way. Dutch and Danish results have prompted recommendations that motor vehicles have priority over cyclists at roundabouts with two-way cycle paths (Centre for Research and Contract Standardisation in Civil and Traffic Engineering, 1993; Vejdirektoratet, 1998).

The problem behind bicycle accidents at roundabouts (and other give-way intersections) seems to be drivers' attention and expectations during approach. Drivers concentrate their attention on the parts of the road and the traffic environments they find most threatening (Fuller, 1984; Näätänen & Summala, 1976; Singleton, 1991), or where they expect relevant objects to be found (Rumar, 1990; Shinar, 1978; Summala, 1998; Summala, Pasanen, Räsänen, & Sievänen, 1996; Theeuwes, 1996; Theeuwes & Hagenzieker, 1993). Therefore, entering drivers probably fail to see circulating cyclists because they look for cars rather than cyclists (Allot & Lomax, 1991; Vejdirektoratet, 1994). The road design should give drivers more clues about potential conflict points with cyclists (Räsänen, Koivisto, & Summala, 1999; Singleton, 1991; Theeuwes & Hagenzieker, 1993). It can be assumed that the traffic situation at a roundabout is of major relevance to how drivers detect cyclists. Second, as Summala et al. (1996) suggested, driving speed

is an important factor in shaping visual search patterns that further influence accident risk. While trading between speed and safety, drivers may optimize scanning behavior, and if they tend to keep a high target level of speed they simply have to be selective in attention allocation to the degree that they have to ignore some threats that are less probable or of minor importance.

Earlier reports have shown that the most important factors influencing cyclists' safety at roundabouts are the design features, priority arrangements, and the speed and attention of approaching drivers. In this study we focused on these aspects of the behavior of drivers entering a roundabout in different traffic situations with or without a cyclist present. Thus, the study meets the need to examine situational factors in driving behavior (Ranney, 1994) and to split road-user behavior and accidents into detailed subgroups to reach causal explanations for the latter (Summala, 1996).

We drew data from Finland, Sweden, and Denmark to allow comparisons among different roundabout layouts and to observe the different traffic cultures the three countries represent. Denmark in particular differs from the others in its higher volume of cycle traffic. The present number of roundabouts in Finland (about 150 in a country with a population of 5.2 million and an area of 337,000 km<sup>2</sup>) is lower than in Sweden (roundabouts: about 750, population: 8.8 million, area: 450,000 km<sup>2</sup>), and Denmark (roundabouts: about 500, population: 5.3 million, area: 43,000 km<sup>2</sup>). There is a specific feature of Finnish roundabouts that may cause increasing problems if more are built. Two-way cycle paths with priority are being used extensively. This design principle results in a frequent accident type at traditional road junctions where drivers entering from the minor road and turning right do not detect the cyclist coming from the right—because drivers look only left for possible oncoming cars (Pasanen, 1992; Räsänen, Summala, & Pasanen, 1998; Summala et al., 1996). Cyclists, in turn, seem to place too much trust in their right of way (Räsänen & Summala, 1998). This problem is also to be expected at roundabouts in which drivers have to look only for cars coming from the left (Brilon, Stuwe, & Drews, 1993; Schnüll et al., 1992).

## METHOD

Six unsignalized one-lane roundabouts in Finland, Sweden, and Denmark were selected for this study (see Table 1 and Figure 1). The entry control at each one was a yield sign. The entry width varied between 4.7 m and 5.0 m at the Finnish and Swedish sites and was 3.8 m at the Danish sites. The central island diameter and the location of the bicycle crossing varied. The Swedish roundabouts were the biggest, and the central islands of the Finnish and Danish roundabouts were about the same size. The circulating carriageway was wider at the Finnish and Swedish roundabouts than at the Danish ones. Roundabouts 1 through 4 had two-way cycle paths that crossed the carriageway at the distance of 2.0 m to 6.2 m from the roundabout. Roundabout 5 had a one-way cycle path (the Danish type *cykelsti*) that was located 1.2 m from the roundabout. Roundabout 6 had a one-way cycle lane, but there was a two-way cycle path on the right side of the roundabout. Although cycling against the traffic was not allowed at Roundabouts 5 and 6, it is not unusual. According to a Danish study (Agústsson, 1994), up to 30% of cyclists do not use cycle lanes (or tracks) correctly at roundabouts. The sight conditions at each roundabout allowed a car driver who was at a distance of 20 m from the cycle path to see a cyclist on the path at a distance of 15 m from the potential conflict point. However, the sight conditions were partly limited to the right at Roundabouts 2 and 3 and to the left at Roundabout 6.

TABLE 1  
Characteristics of the Roundabouts

Characteristic	Finland		Sweden		Denmark	
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6
Approach type	Radial	Staggered	Staggered	Radial	Radial	Radial
Entry radius	15	15	16	20	7	7
Entry width	4.7	4.9	5.0	5.0	3.8	3.8
Central island diameter <sup>a</sup>	16.0	13.5	40.0	38.5	13.0	14.6
Circulating carriageway width (after entry)	8.4	7.5	7.5	8.0	5.7	6.8
The distance of bicycle crossing <sup>b</sup>	6.2	5.7	6.0	2.0	1.2	0 (lane)
The sight distance						
Left <sup>c</sup>	>20	>20	>20	>20	>20	15
Right <sup>c</sup>	20	15	16.5	>20	>20	>20

<sup>a</sup>Including apron.

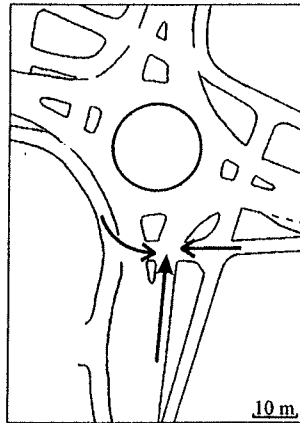
<sup>b</sup>The shortest distance of the bicycle crossing from the road edge line of the roundabout.

<sup>c</sup>The distance from the conflict point, along the bicycle path, at which the driver can see the cyclist (at left or right) when approaching at a distance of 20 m from the bicycle crossing.

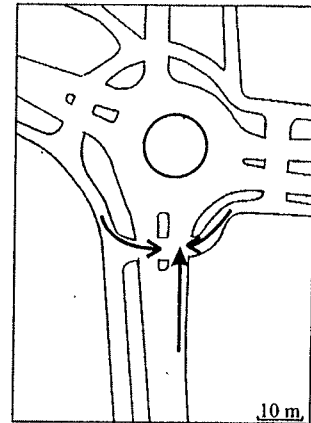
The attentive behavior of the entering drivers was measured in terms of head movements, unobtrusively recorded from outside of the car. At greater distances from roundabouts, for example, eye movements are sufficient to scan the surroundings, but closer to the roundabout drivers typically make head movements that can be observed from outside the cars. Although head position does not exhaustively show gaze position or locus of attention, head movements indicate visual-search patterns and give an approximation of where the driver's attention is directed (cf. Isler, Parsonson, & Hansson, 1997; Kito, Haraguchi, Funatsu, Sato, & Kondo, 1989; Sanders, 1970; Summala, 1998; Summala et al., 1996).

We used three hidden video cameras to record drivers' behavior as they entered roundabouts. One camera was positioned to show the head movements of the drivers, the second was focused on the speed of the cars, and the third camera was used to show the general traffic situation at the roundabout (see Figure 2). Two independent sample recordings of 3 hr were taken at every roundabout during nonrush hours in the summer of 1997. The head movements of the drivers, shown on a TV screen, were estimated by an observer using a joystick, which he turned to the left or right accordingly. Of course, this was only an approximate estimate of the direction of the head in degrees, but it showed the exact timing of the head movements. On the basis of samples of the head movement data by two independent observers, the intrarater reliability ( $r_{xy}$ ) of the degree of head movement equaled .85, and the interrater reliability was .81. The speed of the car was measured by means of a mouse-driven computer program, by clicking on the front of the car at about 2-m intervals in a way that used full resolution of the graphics and frame frequency. In the final analyses these two data files were combined on the basis of the time codes, thus enabling analysis of the drivers' head movements and the speed of the car as function of the distance from the potential conflict point.

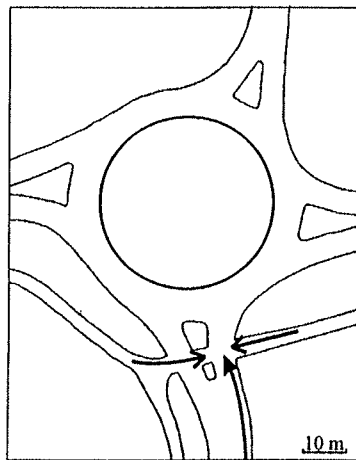
A further aim of this study was to investigate the effect of different traffic situations on drivers' behavior. However, normal traffic flow involves relatively few conflict situations between cyclists and car drivers that would demonstrate the degree to which drivers take cyclists into account. Therefore, we used a test (stunt) cyclist to create well-controlled conflict situations during the unobtrusive video recordings (see also Räsänen, Koivisto, & Summala, 1999; Summala,



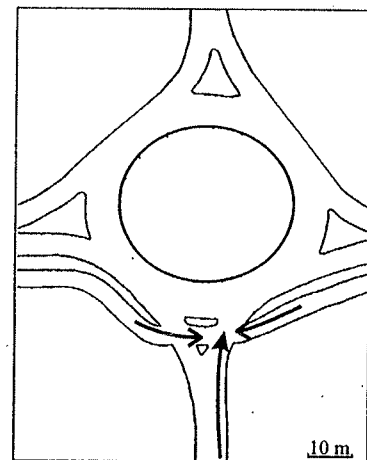
Site 1. FIN (Järvenpää)



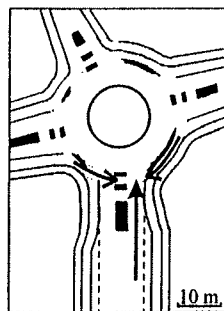
Site 2. FIN (Helsinki)



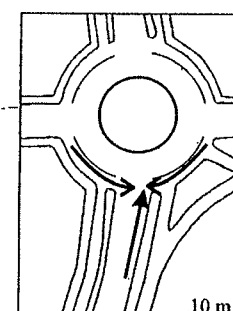
Site 3. S (Motala)



Site 4. S (Norrköping)



Site 5. DK (Søllerød)



Site 6. DK (Lyngby-Taarbæk)

FIGURE 1 The layouts of the study roundabouts in Finland (FIN), Sweden (S), and Denmark (DK), with the observed cars and the test cyclist's direction marked.



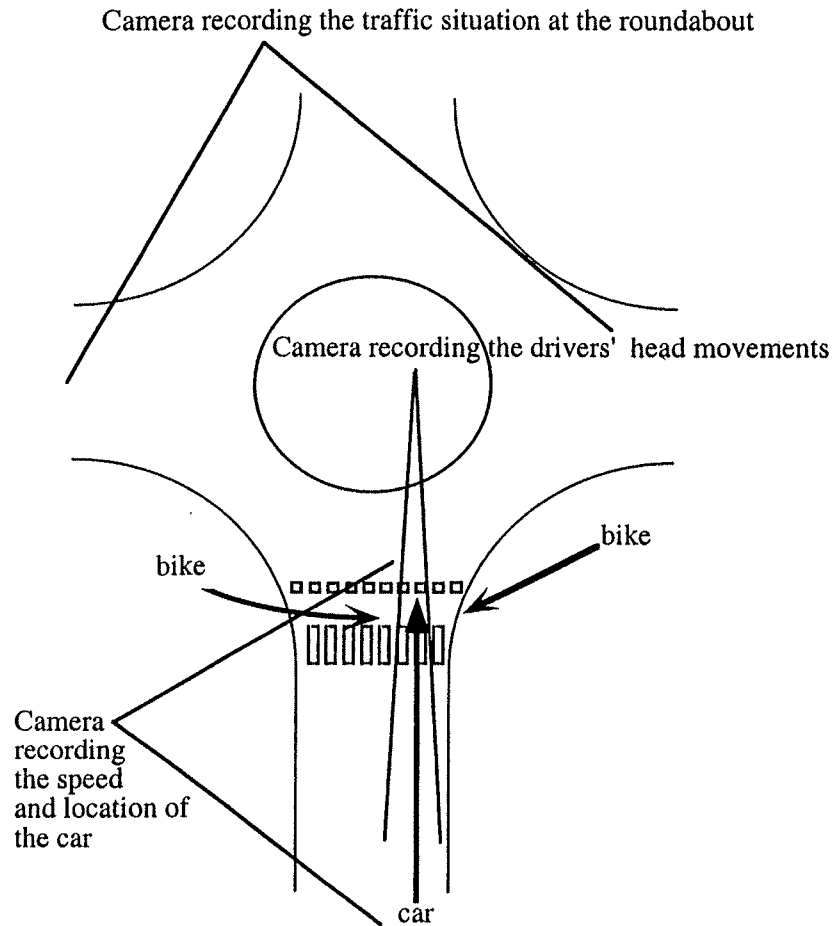


FIGURE 2 The study arrangement and placement of the three video cameras.

Vierimaa, Hietamäki, & Keinänen, 1981). The test cyclist, Mikko Räsänen, approached the roundabout bicycle crossing on a collision course with the entering cars from the left and from the right. He stopped before the crossing so as to not cause too-strong braking or loss of control of the car. If the driver yielded, then the cyclist went first. The timing of the process was based only on the stunt cyclist, who adjusted his speed to keep on the collision course with the approaching car. In spite of certain unavoidable variance in this performance, timing was always accurate enough to create a true conflict situation.

Data were collected both on cars that were on a collision course with the test cyclist and on cars that were entering the bicycle crossing freely or with other traffic present (see Table 2). The entering car driver was "free" if there was no traffic ahead 25 m before the roundabout and no traffic on the circulating carriageway on the left. If the test cyclist approached the bicycle crossing at the same time as a "free" driver, then the traffic situation was "cyclist from the left/right, no other traffic present." If there was other motor traffic on the circulating carriageway, the car drivers were classified as being in the "other traffic present" situation. The test cyclist may also have been present during the "other traffic present" situation.

TABLE 2  
Number of Car Drivers Measured by Site and by Traffic Situation

Traffic Situation	Finland		Sweden		Denmark		Total
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	
Free	209	240	188	148	175	103	1,063
Other traffic	103	83	189	129	187	25	716
Cyclist approaching from left							
No other traffic	29	16	22	12	15	12	106
Other traffic	13	11	32	13	11	5	85
Cyclist approaching from right							
No other traffic	26	22	18	11	13	14	104
Other traffic	17	12	27	11	8	3	78
Total	397	384	476	324	409	162	2,152

## RESULTS

### Speeds

The effect of the traffic situation on the speeds of the cars is shown in Figure 3. As expected, at every bicycle crossing the average entering speeds were the highest for free cars and the lowest when there was other traffic at the roundabout and the test cyclist approached from the left or the right. The test cyclist approaching from the left reduced the cars' approach speed more so than when he approached from the right (repeated measures analysis of variance [ANOVA] with site, direction of test cyclist, and presence of other traffic as between-subjects variables, and speed at 5-m intervals as a within-subject variable),  $F(4, 1,324) = 7.06, p < .001$ . This effect was independent of the presence of other traffic at the roundabout,  $F(4, 1,324) = 0.40, p > .05$ . The direction of the test cyclist or other traffic (and their interaction) had a similar effect on speeds at the different sites.

There were significant differences in approach speed between the different sites, repeated measures ANOVA,  $F(5, 1,757) = 70.32, p < .01$ . The highest average speeds of free cars at bicycle crossings occurred at the Finnish roundabouts (Site 1: 33.1 km/hr; Site 2: 34.1 km/hr), which differed significantly (Scheffé's  $p < .001$ ) from the Swedish figures (Site 3: 25.9 km/hr; Site 4: 25.7 km/hr). The Swedish roundabouts had a larger central island (in diameter) that bends the vehicle path more strongly and decreases speeds accordingly.

### Head Movements

Drivers' speeds were fairly high just before the conflict point when the test cyclist approached from the right, suggesting a safety problem. However, Figure 4 shows that the head movements of the drivers in this situation were clearly more marked than in other situations at every site, thus demonstrating a shift of attention to the right when the test cyclist approached.

The drivers typically looked to the left when approaching the roundabout (Figures 4 and 5). The sites differed significantly from each other (repeated measures ANOVA with site, presence of other traffic, and presence and direction of the test cyclist as between-subject variables and head movement at 1-m intervals as a within-subject variable),  $F(120, 33,528) = 4.95, p < .001$ ,

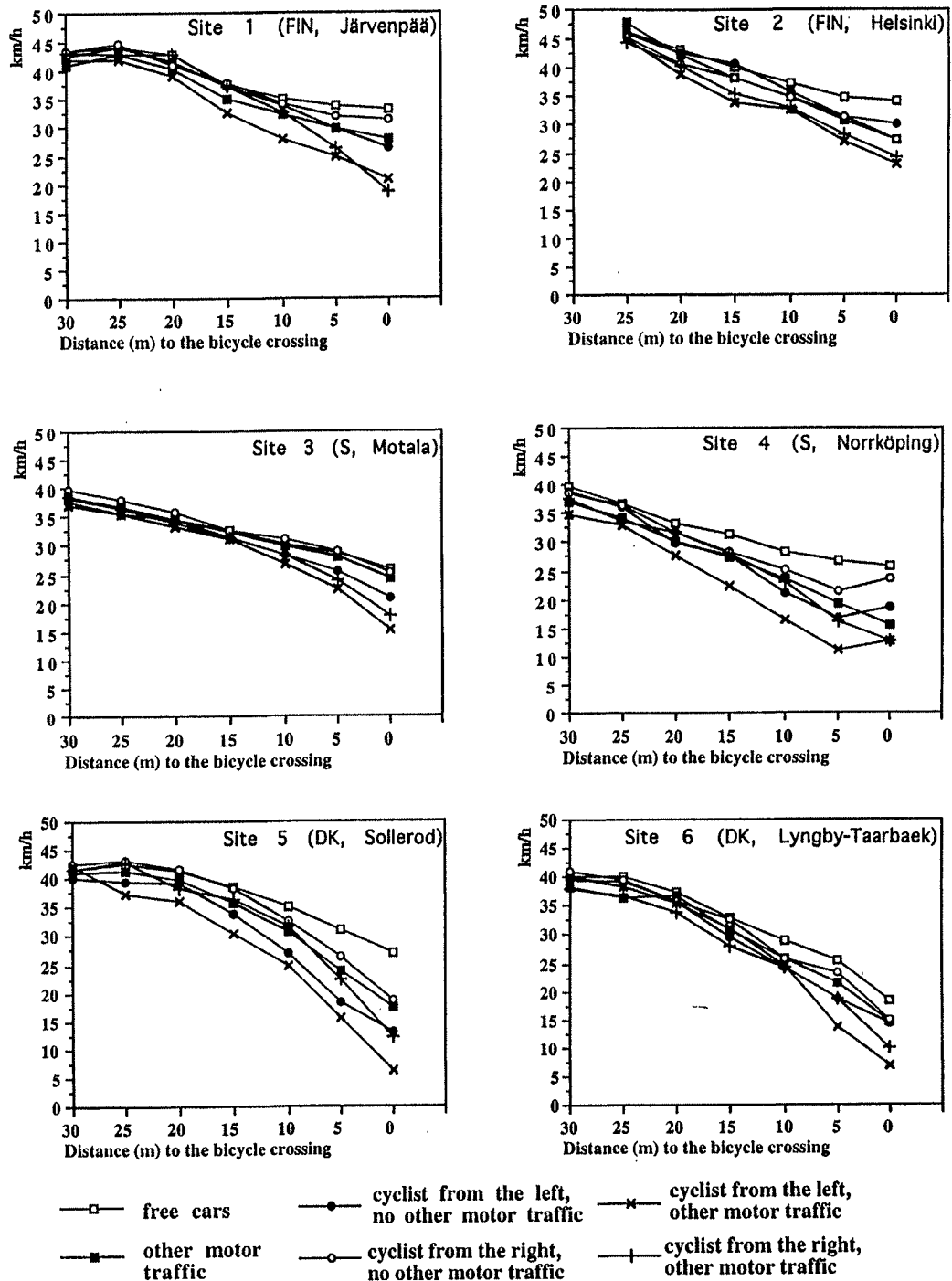


FIGURE 3 The average approach speeds of the cars by site and traffic situation. FIN = Finland; S = Sweden; DK = Denmark.

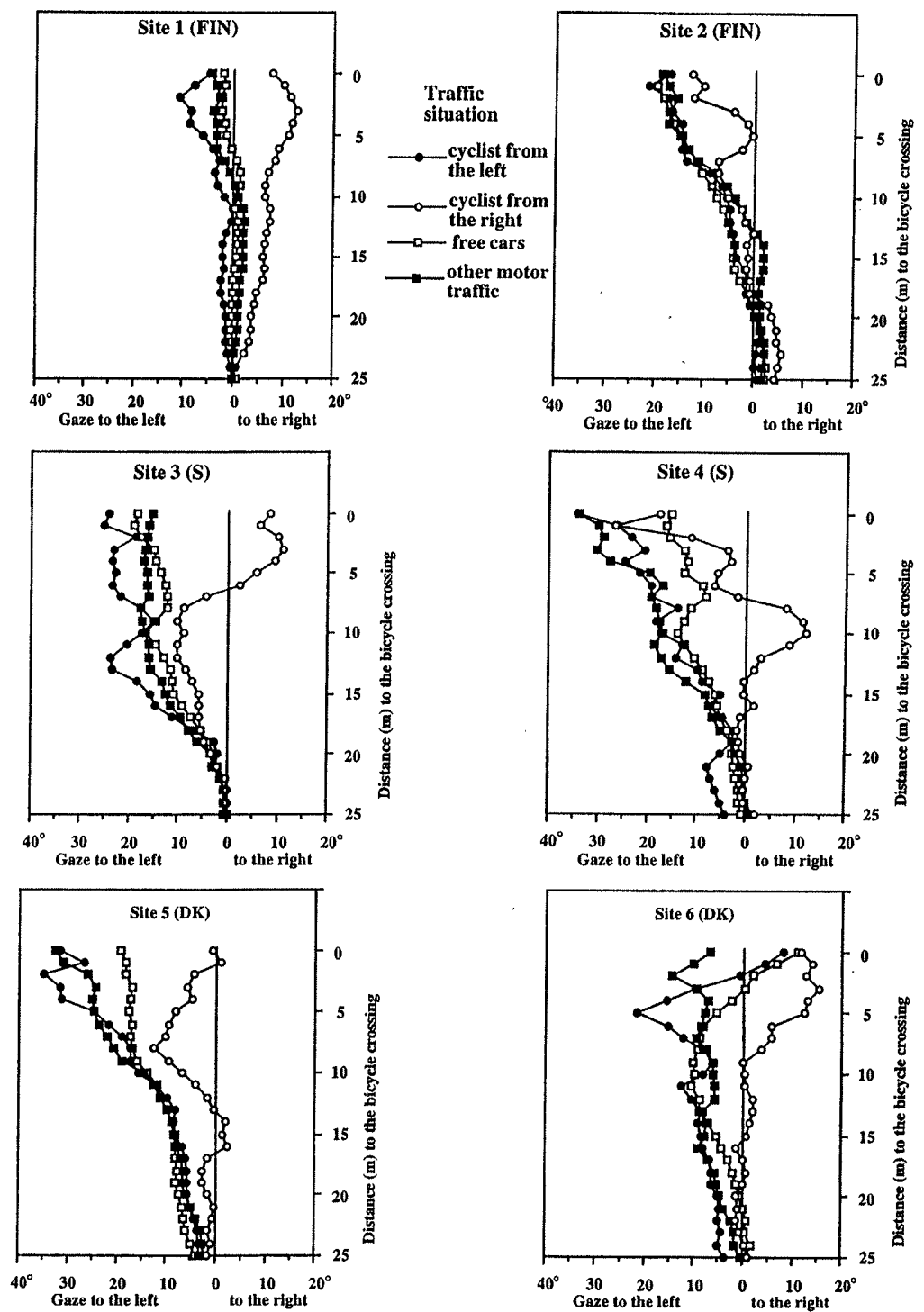


FIGURE 4 The average head directions of the car drivers by site and traffic situation. FIN = Finland; S = Sweden; DK = Denmark.

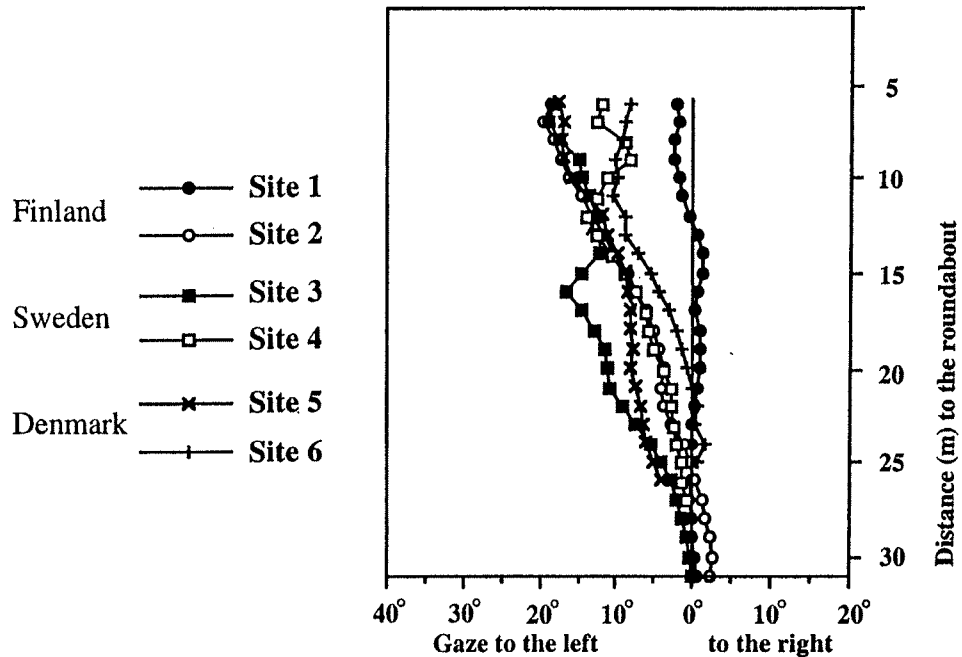


FIGURE 5 The average head directions of the free car drivers (no other traffic present) by site.

but this general effect was mainly due to what happened at Site 1, where the drivers continued to look more or less straight ahead. The road alignment in relation to the location and size of the central island obviously made smaller head movements possible here. As can be seen from Figure 4, drivers approaching Site 6 also showed a somewhat different pattern for the last 2 m just before the roundabout, with a strong tendency to make head movements to the right. This was because there was a bicycle lane located within the roundabout instead of a separate cycle path, and drivers were already attending to their path turning to the right.

Compared to the free-car situation, drivers' head movements shifted even more to the left when there was other traffic,  $F(24, 26,808) = 3.29, p < .001$ , and when the test cyclist was approaching from the left,  $F(24, 30,288) = 1.59, p = .036$ . When the test cyclist approached from the right, the drivers turned their heads strongly to the right,  $F(24, 30,048) = 8.78, p < .001$ , regardless of whether there was other traffic present. The ANOVA showed that the effect of the presence and direction of the test cyclist on the drivers' head movements was similar at all sites (i.e., there was no significant interaction of site and bicycle situation).

Drivers who do not look to the right during the whole approach are at the highest risk of hitting a cyclist who approaches from the right. Figure 6 shows the proportion of drivers who did not look to the right at all before the bicycle crossing. During the conditions in which the test cyclist came from the right, with or without other traffic present, the proportion of drivers who did not look to the right was clearly smaller than in all other conditions at every site. However, depending on the site, 7% to 15% of the drivers (average over all sites: 13.8%) did not look to the right when the test cyclist approached from the right. At Sites 2, 3, 5, and 6, if there was any traffic coming from the left, whether motor traffic alone or the test cyclist, high-

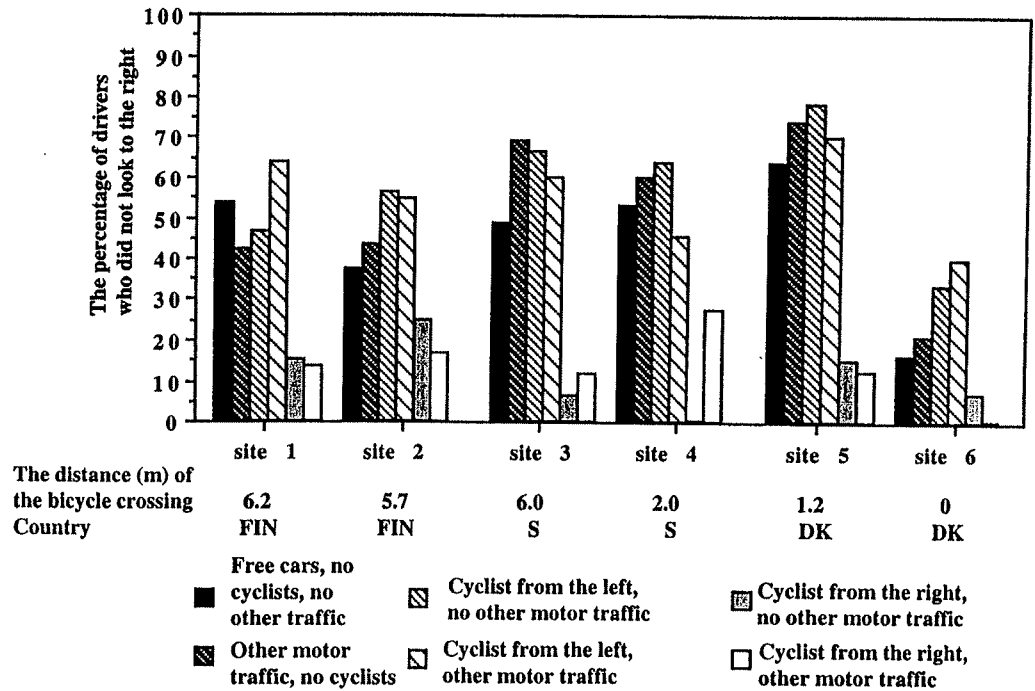


FIGURE 6 The proportions of drivers who did not look to the right during the whole approach, by site and by traffic situation. FIN = Finland; S = Sweden; DK = Denmark.

er proportions of drivers did not look to the right than when the roundabout was empty (free-car situations).

The speed of the free and other-traffic car drivers who did not look to the right was higher than the speeds of car drivers who did (repeated measures ANOVA with site, presence of other traffic, and looking left as between-subjects variables and speed at 5-m intervals as a within-subject variable),  $F(4, 7,076) = 2.779, p < .05$ .

### Yielding

The yielding behavior of drivers can be understood to be a result of three factors. The first is whether they have noticed the cyclist (the more often the drivers yielded, the more certain it was that they had noticed the cyclist). The second factor is how well drivers know the formal priority rule at bicycle crossings (the more often the drivers yielded to the cyclist, the better their knowledge of the traffic rules). Finally, yielding is probably related to driving style, in terms of speed and response tendency, and even attitudes toward cyclists (the more often the drivers yielded to the cyclist, the more they had a defensive driving style, and the more favorable attitudes toward cyclists they showed). Of course, all these factors were present, interacted at the same time, and influenced each other more or less positively or negatively.

Figure 7 shows the proportion of drivers who yielded to the test cyclist. These figures differed substantially at the different sites. At three sites (1, 2, and 3) where the bicycle crossing was

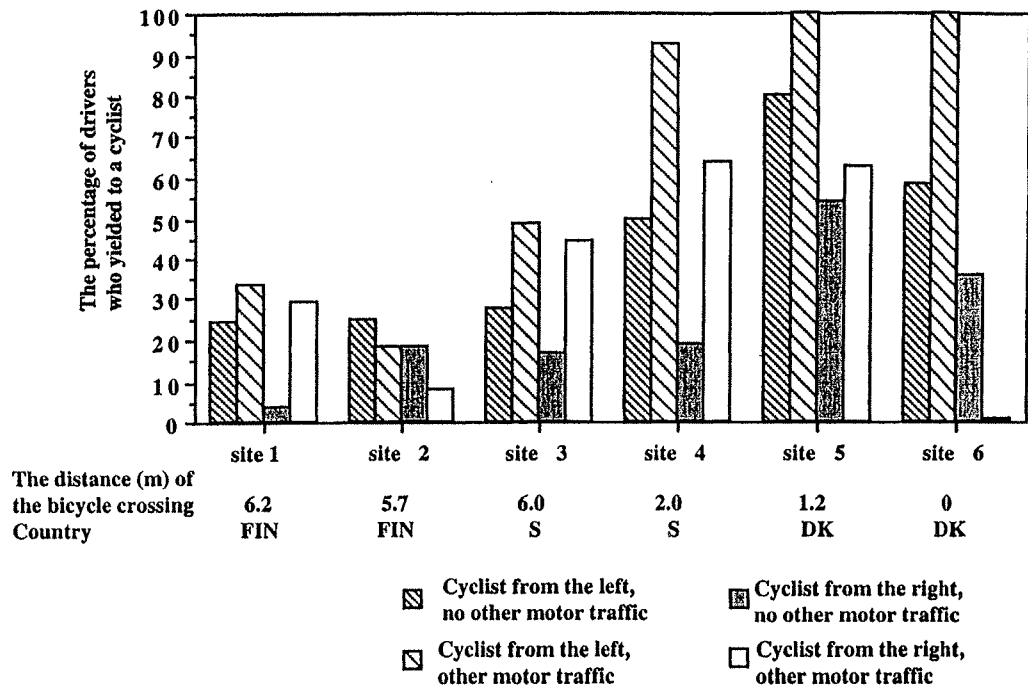


FIGURE 7 The proportions of drivers who yielded to the test cyclist, by site and by traffic situation. FIN = Finland; S = Sweden; DK = Denmark.

located 6 m from the roundabout, less than 50% of the drivers yielded in every traffic situation, whereas at the other sites (4, 5, and 6), where the bicycle crossing was located adjacent to the roundabout, the proportion of yielding drivers was higher than 50% in most situations (9 out of 12). In situations without other traffic, the proportions of yielding drivers were consistently higher at Sites 4 through 6 (Mann-Whitney  $U = 0$ ,  $p = .05$ ) regardless of whether the cyclist came from the left or the right. Additionally, logistic regression over all the sites, with the site as a categorical covariate, confirmed that when the test cyclist approached from the left he was yielded to more than when he approached from the right ( $p < .001$ ); the presence of other traffic ( $p < .001$ ) and slower approach speeds (25 m before the crossing,  $p < .001$ ) also promoted yielding to the cyclist. Other things being equal, as estimated from a general linear model, 64% of the drivers who approached at a speed of no more than 30 km/hr yielded to the cyclist; the respective figure for drivers who approached at a speed 50 km/hr or more was 33%.

It can be assumed that drivers who do not look to the right yield to cyclists less often. Indeed, in 93.8% (45 out of 48) of the situations in which the driver yielded to the test cyclist approaching from the right, the driver also looked to the right. Three (12.5%) of the 24 drivers who did not look to the right yielded to the test cyclist coming from the right when the corresponding number of drivers looking to the right was 45 out of 150 (30%). A logistic regression revealed that looking to the right correlated positively with yielding ( $p = .005$ ). It is interesting, however, that even when the test cyclist approached from the left drivers who did not look to the right yielded to him less often (42% of the cases) than those who did look to the right (55% of the

cases). This difference was significant ( $p = .013$ ) across all data in a logistic regression that also took into account the presence of other vehicles. Approach speed contributed to visual search, however (see above): A logistic regression analysis with site as a covariate showed that a higher speed increased the probability of not looking to the right ( $p < .001$ ).

## DISCUSSION

For a motor vehicle driver in countries that drive on the right side of the road, entering a roundabout is a situation in which other motor vehicles can approach only from the left. Therefore, the road design obviously tends to direct attention and visual search to the left. By using unobtrusive video recordings, we showed that drivers entering roundabouts indeed direct their attention mainly to the left, both in situations in which the driver is alone and when there is other motor vehicle traffic and/or a cyclist coming from the left. This obviously indicates a top-down expectancy effect in drivers that is due to their knowledge of the direction of motor vehicle traffic at the roundabout (Summala, 1998; Summala et al., 1996; Theeuwes, 1991, 1996; Theeuwes & Hagenzieker, 1993). Nevertheless, a cyclist approaching from the right—a bottom-up stimulus—captured the attention of the majority of drivers, as indicated by a head movement to the right. Some 14% of all the drivers failed to look to the right, however. Although this does not necessarily mean that they did not detect the cyclist at all—they might have done so peripherally while avoiding an orienting head movement—they showed an increased tendency to not yield to the cyclist. Our data also show that drivers gave priority to a cyclist coming from the left more often than to one coming from the right when approaching on a collision course.

Such highly selective attention in a minority of drivers (and perhaps in the minority of their task performances) may be critical in terms of bicycle accidents. Failing to look to the right when approaching a roundabout is a “black event” at a black spot (Summala et al., 1996), similar to right turns at ordinary street crossings where drivers have a conflicting path only with motor vehicles that come from the left. Such scanning behavior is indeed connected with a highly increased accident risk for cyclists who approach from the right on a cycle path that runs in front of the crossing (Pasanen, 1992; Räsänen et al., 1998; Räsänen & Summala, 1998; Summala et al., 1996). The results of this study confirm that the problem of the driver turning right and the cyclist coming from the right is also most acute at roundabouts. Some drivers ignored the cyclist approaching from the right because of their visual search strategy—they neither looked for cyclists nor yielded to them—and they were probably not even capable of yielding to them. However, the location of the bicycle crossing strongly affected this behavior, which is in line with van Minnen’s (1994) suggestion that in situations at roundabouts where cyclists have the right of way the roundabout’s design and construction factors have a major effect on safety.

These results support the notion presented earlier (Summala et al., 1996) that speed modifies visual search patterns and, consequently, to keep speed high when approaching and coping with a crossing, drivers have to scan in the most relevant direction (e.g., on a certain leg of the crossing) and ignore the less relevant direction. The faster drivers indeed looked to the right less often and showed a tendency to yield to the cyclist less often, regardless of whether the cyclist approached from the right or left. It is to be noted, however, that these data do not yet exclude an alternative explanation that fast driving and not looking to the right are simply independent indications of a risky driving style.



Speed is also a major design factor related to the size of roundabouts. The main difference between the Finnish and Swedish roundabouts studied was the size of the central island. The speed level of the approaching free cars was lower at the Swedish roundabouts with a larger central island (diameter = 40 m) than at the Finnish roundabouts with a smaller central island (diameter = 13 m–16 m). The large central island strongly bends the vehicle path through the roundabout, thus decreasing the speed. Speed is also relevant to the location of bicycle crossings at roundabouts. A shorter distance from the crossing to the roundabout may be preferable, because this means lower impact speed and less severe injuries in the case of collision.

The idea behind a recessed (pulled back) bicycle crossing is to provide a two-phase approach process for drivers. They can concentrate first on bicycle (and pedestrian) traffic at some distance from the roundabout, and thereafter on the motor vehicle traffic at the roundabout. This design principle does not seem to work if drivers' yielding behavior is considered. All the sites with an adjacent bicycle crossing (two Danish, one Swedish) had higher proportions of yielding drivers than those with crossings at a more distant location (6 m) from the roundabout (two Finnish, one Swedish). Of course, a driver close to the roundabout will yield to the cyclist more easily in a situation where there is other traffic on the roundabout, simply because there is no space to stop after the bicycle crossing (or bicycle lane). However, the difference was also clear in situations when there was no other traffic. Differences in yielding behavior can be partly related to bicycle traffic volume, because drivers can be expected to learn to pay more attention to more numerous cyclists (e.g., Brüde & Larsson, 1993). Thus, in Denmark, which has the biggest bicycle traffic volume, drivers have possibly learned to take cyclists into account better than drivers in Finland and Sweden. However, the results at the Swedish roundabout with a bicycle crossing at 2-m distance (Site 4) were similar to those at the Danish roundabouts. Nevertheless, there were no major differences in the head movements of unimpeded car drivers at roundabouts where the bicycle crossing was in a different location.

## DESIGN RECOMMENDATIONS

Although the design characteristics of the roundabouts we studied were not systematically different, our results suggest certain design implications. The safe roundabout for cyclists should have ample entry deflection, not only in rural areas but also in built-up areas where the size of the central island is frequently too small (< 20 m) to bend the vehicle path enough to decrease the speed of the cars. However, a very acute entry angle has been found to not be a good solution, because it causes fast-merging maneuvers with circulating traffic, or sharp braking (Brown, 1995).

The majority of studies suggest that locating a separate (one-way) cycle path at a roundabout is a better solution than adding a cycle lane (or having mixed traffic) where there are high motor traffic volumes. The next question that arises is this: What is the best location for the cycle crossing—that is, what should the distance from the circulating carriageway be? Current practice prefers either an adjacent location at a distance of 0 m to 2 m or a more distant location of greater than 5 m. At locations between these distances, entering cars tend to block cyclists' paths when waiting for other traffic. The results of this study suggest that an adjacent location (0 m–2 m) is more favorable for cyclists' safety (see also Leden, 1989). Fewer than half of the car drivers yielded to the test cyclist when the bicycle crossing with priority was at the longer distance of 6

m from the roundabout. Brilon et al. (1993) also found, in a before-and-after comparison, that new roundabouts with adjacent cycle paths decreased the number of cycle accidents, compared to a normal crossing, whereas there was no change when bicycle crossings at new roundabouts were located a longer distance away. An adjacent location also improves visibility by increasing the sight triangle that has been shown to reduce bicycle accidents at T-junctions (Räsänen, 1997; Räsänen et al., 1998). Finally, an adjacent location means less detour for cyclists and promotes cyclists' priority, thus better conforming to the policy of increasing cycle traffic that has been adopted in many countries.

These results imply that the priority regulation should be different depending on the location of the cycle path, to meet drivers' yielding practices. Priority should continue to be with cyclists at crossings located close to the roundabout (0 m–2 m). If a bicycle crossing is located at a longer distance, then motor vehicles should have priority (see also van Minnen, 1994; Vejdirektoratet, 1998). However, taking the right of way from cyclists in the latter situation may give rise to some confusion for road users if a pedestrian (zebra) crossing is adjacent to a bicycle crossing.

#### ACKNOWLEDGMENTS

Mikko Räsänen is now at Liikenneturva, Central Organization for Traffic Safety in Finland.

This research was funded by the Ministry of Transport and Communication in Finland as a part of the Nordic Cooperation Program.

We thank Lisbeth Harms and Lisa Herland from the Swedish Road and Transport Research Institute, and Mai-Britt Herslund and N. O. Jørgensen from the Technical University of Denmark, for help in finding the sites. Samu Toiviainen deserves thanks for his assistance in analyzing the videotapes and Jaakko Haapasalo for writing the computer programs for the analyses.

#### REFERENCES

- Agústsson, L. (1994, September). *Safety of cyclists in urban areas*. Paper presented at Road Safety in Europe and Strategic Highway Research Program, Lille, France.
- Allot & Lomax, Consulting Engineers. (1991). *Cyclists and roundabouts: A review of literature* (Cyclists' Touring Club tech. rep.). Godalming: Cyclists' Touring Club.
- Alphand, F., Noelle, U., & Guichet, B. (1991). Roundabouts and road safety: State of the art in France. In *Proceedings of an International Workshop: Intersection without Traffic Signals II* (pp. 107–125). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Balsiger, O. (1995). Cycling at roundabouts: Safety aspects. In *Velo-City Conference "95"* (pp. 215–217). Basel, Switzerland: IG Velo Basel.
- Bergh, T. (1997). Roundabouts—Current Swedish practice and research. In M. Kyte (Ed.), *Third International Symposium on Intersections Without Traffic Signals* (pp. 36–44). Moscow: University of Idaho.
- Brilon, W., Stuwe, B., & Drews, O. (1993). *Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Kreisverkehrsplätzen* [Safety and capacity of roundabouts] (Schlussbericht FE Nr.: 77359/91). Bochum, Germany: Ruhr-Universität.
- Brown, M. (1995). *The design of roundabouts*. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Brüde, U., & Larsson, J. (1993). Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved: How well do they fit? *Accident Analysis and Prevention*, 25, 499–509.
- Brüde, U., & Larsson, J. (1996). *The safety of cyclists at roundabouts* (VTI meddelande No. 810A). Linköping, Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institut.
- Centre for Research and Contract Standardisation in Civil and Traffic Engineering. (1993). *Sign up for the bike: Design manual for a cycle-friendly infrastructure*. Ede, the Netherlands: Author.

- Davies, D. G., Taylor, M. C., Ryley, T. J., & Halliday, M. E. (1997). *Cyclists at roundabouts—The effects of "Continental" design on predicted safety and capacity* (Transport and Road Research Laboratory Rep. No. 285). Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 33, 1139–1155.
- Gjaever, T. (1993). Application, design and safety of roundabouts in Norway. In *"Giratoires 92" Actes du séminaire international* (pp. 83–92). Bagnoux: Centre d'Etudes des Transports Urbains, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.
- Isler, R. B., Parsonson, B., & Hansson, G. J. (1997). Age related effects of head movements on the useful field of view of drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 29, 793–801.
- Jordan, P. W. (1985). Pedestrians and cyclists at roundabouts. In *Third National Local Government Engineering Conference 1985: "Managing our environment and caring for people"* (pp. 290–295). Melbourne, Australia.
- Jørgensen, N. O. (1991). *Rundkørslers kapacitet og sikkerhed* [Capacity and safety of roundabouts] (Rapport nr. 61). Copenhagen, Denmark: Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmarks Tekniske Højskole. Trafiksikkerhedsafdelingen-SSV, Vejdirektoratet.
- Kito, T., Haraguchi, M., Funatsu, T., Sato, M., & Kondo, M. (1989). Measurements of gaze movements while driving. *Perceptual & Motor Skills*, 68, 19–25.
- Layfield, R. E., & Maycock, G. (1986). Pedal-cyclists at roundabouts. *Traffic Engineering and Control*, 27, 343–349.
- Leden, L. (1989). *The safety of cycling children: Effect of the street environment* (VTT publications 55). Espoo, Finland: Technical Research Centre of Finland.
- Maycock, G., & Hall, R. D. (1984). *Accidents at 4-arm roundabouts* (Transport and Road Research Laboratory Rep. No. 1120). Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory.
- Näätänen, R., & Summala, H. (1976). *Road-user behavior and traffic accidents*. Amsterdam: North-Holland.
- Pasanen, E. (1992). *Oikealle kääntyvän ja oikealta tulevan pyöräilijän ongelma* [The problem of right-turning drivers with cyclists coming from right] (Rep. L4). Helsinki, Finland: City of Helsinki, Traffic Planning Department.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 733–750.
- Räsänen, M. (1997). *Pyöräilijöiden liittymäonnettomuustyyppit ja liittymien ominaisuudet* [Cyclist accident types at intersections and characteristics of intersections] (Report 46). Helsinki, Finland: Finnish Road Administration.
- Räsänen, M., Koivisto, I., & Summala, H. (1999). Car driver and bicyclist behavior at bicycle crossings under different priority regulations. *Journal of Safety Research*, 30, 67–77.
- Räsänen, M., & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: An in-depth study. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 657–666.
- Räsänen, M., Summala, H., & Pasanen, E. (1998). The safety effect of sight obstacles and road markings at bicycle crossings. *Traffic Engineering and Control*, 39, 98–103.
- Sanders, A. F. (1970). Some aspects of the selective process in the functional field of view. *Ergonomics*, 13, 101–117.
- Rumar, K. (1990). The basic driver error: Late detection. *Ergonomics*, 33, 1281–1290.
- Schnüll, R., Lange, J., Fabian, I., Kölle, M., Schütte, F., Alrutz, D., Fechtel, H. W., Stellmacher-Hein, J., Brückner, T., & Meyhöfer, H. (1992). *Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten* (Forschungsberichte 262). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.
- Schoon, C., & van Minnen, J. (1994). The safety of roundabouts in the Netherlands. *Traffic Engineering and Control*, 35, 142–148.
- Shinar, D. (1978). *Psychology on the road, the human factor in traffic safety*. New York: Wiley.
- Singleton, D. (1991). Adjusting drivers' focus of attention to reduce vulnerable road user casualties. In *Proceedings of the International Conference on Traffic Safety and the Vulnerable Road Users* (pp. 225–228). New Delhi, India.
- Summala, H. (1996). Accident risk and driver behaviour. *Safety Science*, 22, 103–117.
- Summala, H. (1998). American drivers in Europe: Different signing policy may cause safety problems at uncontrolled intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 285–289.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns. *Accident Analysis and Prevention*, 28, 147–153.
- Summala, H., Vierimaa, J., Hietamäki, J., & Keinänen, K. (1981). *Varoitusvilkku ja jalankulkijoiden turvallisuus: kokeellinen tutkimus autonkuljettajien käyttäytymisestä* [Warning flasher and pedestrian safety: Experimental study on driver behavior]. (Report No. TVH-741966). Helsinki, Finland: Finnish Road Administration.
- Theeuwes, J. (1991). Visual selection: Exogenous and endogenous control. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, I. Moorhead, & S. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles* (Vol. 3, pp. 53–61). Amsterdam: Elsevier.
- Theeuwes, J. (1996). Visual search at intersections: An eye-movement analysis. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles* (Vol. 5, pp. 125–134). Amsterdam: Elsevier.

- Theeuwes, J., & Hagenzieker, M. (1993). Visual search of traffic scenes: On the effect of location expectations. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, H. W. Kruysse, & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles* (Vol. 4, pp. 149–158). Amsterdam: Elsevier.
- Thompson, S. J., Lloyd, B., & Gallear, D. (1990). Pelican crossings at roundabouts. *Traffic Engineering and Control*, 2, 76–77.
- Transportation Research Board. (1998). *Modern roundabout practice in the United States* (NCHRP Synthesis 264). Washington, DC: National Academy Press.
- van Minnen, J. (1994). *Der voorrangregelingen voor fietsers op rotondes met fietspaden* [Rules governing priority for cyclists on roundabouts with separate cycle paths] (R-94-73). Leidschendam, The Netherlands: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.
- van Minnen, J. (1995). *Rotondes en voorrangregelingen* [Roundabouts and the priority rule] (R-95-58). Leidschendam: SWOV.
- Vejdirektoratet. (1994). *Trafiksikkerhed i 82 danske rundkorsler—Anlagt after 1985* [Traffic safety in 82 Danish roundabouts built after 1985] (Rapport 4). Copenhagen, Denmark: Illeman Tryk.
- Vejdirektoratet. (1998). *DUMAS, Safety of pedestrians and two-wheelers*. Copenhagen, Denmark: Author.









# Car Driver and Bicyclist Behavior at Bicycle Crossings Under Different Priority Regulations

Mikko Räsänen, Ilkka Koivisto, and Heikki Summala

In order to improve traffic safety, the Finnish Traffic Code concerning rights of way at bicycle crossings changed on the first of June, 1997. This study examines the effects of the law change both on drivers' and cyclists' behavior, and on their knowledge. Behavior was measured with the help of unobtrusive video recordings, and in experimental settings where a test cyclist approached a bicycle crossing on a collision course with a car. The new law formalized the prevailing yielding behavior between drivers and cyclists at bicycle crossings on road sections where drivers did not generally yield to cyclists coming from the right, neither before nor after the law change. The study suggests also that changes in priority rules may affect road user behavior and knowledge in situations in which the formal change does not apply. It can be concluded that road users' behavior at bicycle crossings is strongly dependent on their movement direction and on the location of the crossings. Thus, changes in priority regulations have different effects on road user behavior depending on the characteristics of the bicycle crossings. © 1999 National Safety Council and Elsevier Science Ltd

**Keywords:** Bicycle crossings, intersections, Finnish Traffic Code, traffic knowledge, visual search

## INTRODUCTION

According to the Vienna convention (1968, reaffirmed in 1993), all traffic from the left should

give way to all traffic from the right unless traffic signs show otherwise. However, on the first of June 1997, the Finnish traffic code changed in contravention of the Vienna convention in order to improve traffic safety. The earlier rule, where traffic from the left has to give way to traffic from the right at bicycle crossings, changed so that bicyclists (and moped riders) have to give way to all traffic when they are coming from a cycle path onto a carriageway at intersections without a specific right-of-way ruling. The priority-from-the-right rule remained in force for cars and cyclists at intersections without bicycle facilities where cyclists' (over 11 years of age) legal place is on the carriageway. A driver turning across a cyclist's intersecting path from the opposite or the same direction must also still give way to a

---

Mikko Räsänen is researcher at the Traffic Research Unit, Department of Psychology, University of Helsinki, Finland. He has published in the field of cyclists' safety. He received his MS in Geography from the University of Helsinki.

Ilkka Koivisto is researcher at Central Organisation for Traffic Safety in Finland (Liikenneturva). He received his MA in Psychology from the University of Helsinki.

Heikki Summala is professor of Traffic Psychology and head of Traffic Research Unit at the University of Helsinki, Finland. He received his PhD in General Psychology from the University of Helsinki. He co-authored the book "Road-User Behavior and Traffic Accidents," in 1976, and has published extensively in the field of driver behavior and traffic safety.



cyclist entering a bicycle crossing. The main arguments behind the law change concerned road users, the traffic environment, and naturally the law itself. The priority-from-the-right rule was inadequately known among road users at bicycle crossings. It was especially troublesome for children who have difficulties distinguishing right from left. The locations and markings at bicycle crossings vary so much that it was often impossible for road users to interpret when a cyclist might be coming from the right and when not. The two-way cycle paths widely used in Finland added to the confusion. The new rule is unambiguous and clear, and closer to the prevailing rules neighboring Sweden and Norway, which also have a better cyclists' safety record than Finland. (Government proposal to Parliament for a change in the Traffic Code 19.12.96).

The situation is probably not quite clear in Norway and Sweden either. The revision of traffic code ended up on the first of May, 1998 not to change the priority rules in Norway where, interestingly enough, cyclists have to give way in all situations where a cycle path crosses a carriage-way, and drivers' knowledge of the priority regulations deviates considerably from the traffic code (Sagberg & Borger Mysen, 1996). From the Finnish and Norwegian experience, it can be stated that the teaching in driving schools does not seem to deal carefully enough with cyclists in traffic, or if it does, the lessons are forgotten quickly by drivers. Thus, it is no wonder that Swedish cyclists who had been in collision with a car said that it was a lack of respect for the prevailing traffic regulations by the car driver that was the major cause of the accident (Eilert-Petersson & Schelp, 1997). In Sweden, cyclists also have to give way to traffic on the road when coming from a cycle path, but drivers have to adapt their speed so as not to endanger cyclists at bicycle crossings or entering them, and if necessary drivers should stop to give way to cyclists. Before the law change, drivers were, in principle, obligated to give way in 66% of accidents that happened between cyclists and drivers at bicycle crossings in Finland (Räsänen, 1995).

If drivers have difficulties dealing with bicycle traffic regulations, the situation is even more complicated for cyclists who are a much more heterogeneous group, as Dutch studies show. According to van Schagen & Brookhuis (1994), children apply informal rather than formal rules in priority situations, and an increase in knowledge of the formal rules is not reflected in

changes in actual behavior (Top & Timmermans, 1988). These informal rules are mainly defensive in nature, and dependent on factors such as approaching speed and traffic noise. Maring & van Schagen (1990) found that older cyclists (>70 years) also lack knowledge of priority regulations despite their lifetime experience. Other Dutch results (Top & Timmermans, 1988; Janssen et al., 1988) suggest that cyclists' and drivers' behavior is formally correct more often at intersections with a specific priority regulation than at those without it. In the Netherlands, the general priority rule dictates that cyclists have to give way to all vehicles at intersections without specific priority regulation.

The Finnish change in priority regulations was aimed at making the road user behavior safer and less ambiguous. However, this change in rules may have other effects, depending on the site characteristics. On the other hand, the changes could also influence behavior at sites where no formal change occurs at all. The aim of this study was to assess the effects of different priority regulations on road user behavior at bicycle crossings with different characteristics where the new rules either applied or did not apply.

## MATERIALS AND METHODS

### On-Road Video Recordings

Normal traffic was observed before and after the law change at seven bicycle crossings in two cities (Helsinki and Hämeenlinna), at places where the priority had changed and those where no change had occurred. Unobtrusive video recordings were made at bicycle crossings with different visibility conditions. The data obtained referred to cases where cyclists and drivers prepared for possible danger, adjusted their speed, and looked for possible cars/cyclists accordingly. Occasional situations in which a car and a bicycle approached the crossing on a collision course, or close to it were analyzed separately. At least two independent sample recordings of three hours were taken at each bicycle crossing before and after the law change in August 1996 and 1997, respectively. Road users' approach sequences were analyzed by means of a mouse-driven computer program that used time-coded videotapes. Cyclists' and drivers' speed, as a function of the distance from the potential conflict point, and the respective head movements of cyclists were determined. Only the behavior of free drivers and cyclists was

analyzed (i.e., those who approached the bicycle crossing alone or the first place in the queue). The age of the cyclists was estimated within 10-years intervals. The approach speed of 1003 cyclists and 821 drivers, and the head movements of 975 cyclists, were analyzed before the law change. The corresponding figures after the law change were the speed of 1254 cyclists and 856 drivers, and the head movements of 1137 cyclists.

There are quite a few conflicts between cyclists and drivers in normal traffic flow. Therefore a test cyclist was used to provide well-controlled conflict situations. Unobtrusive videotaping was used again to assess drivers' speed adjustment when they approached a bicycle crossing as the test cyclist came from the left or right on an approximate collision course. To avoid accidents, the test cyclist braked just before entering the crossing, and did not cross the road (unless the driver stopped), so as not to risk collision or too strong braking and the subsequent loss of control. The driver's speed profile was again measured using a mouse-driven program. Two bicycle crossings on road sections in the city of Helsinki were selected for this measurement because the priority rule change was the clearest in this situation, and the influence of the other traffic on the conflict situations was the least. The measurement periods lasted about three to six hours, before the law change in the beginning of September 1996 and after the law change at the end of August 1997. Data were collected both on cars that were on a collision course with the test cyclist (experimental), and on cars that were driving freely through the bicycle crossing (control group). The total number of conflicting test drives was 440.

Figure 1 summarizes the study setting of the video recordings at the bicycle crossings.

### Interviews

The interviews with cyclists and drivers took place on the road in two cities (Helsinki and Jyväskylä) before and after the law change. The interviewed were questioned about their knowledge of the priority rules. The cyclists were stopped in a relevant traffic situation, and they were asked who should give way according to the traffic rules. Car drivers were shown drawings of relevant situations in parking areas of gas stations or shops. The interviews on the road were made before the law change in April 1995 and in Au-

gust through October 1996. The interviews after the law change were done at the end of August 1997. Additional interviews, based on the drawings that presented relevant traffic situations, were carried out by a private research company at the subjects' homes. These interviews were carried out before the law change in January-February 1997 and after the law change in September 1997. The sample represented the Finnish population of  $\geq 15$  years. The respondents were classified as car drivers if they said that they were regular car drivers, and as cyclists if they said that they rode a bicycle at least in summer. It was thus possible that the same subject was a representative of both groups. The total number of subjects interviewed before the law change was 895 adult cyclists, 101 child cyclists (7-14 years), and 833 car drivers; after the law change 959 adult cyclists, 88 child cyclists, and 856 car drivers were interviewed.

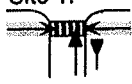


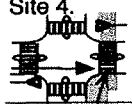



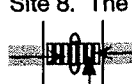
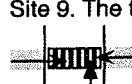
## RESULTS

### Speed and Yielding

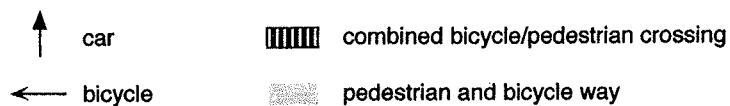
Measurements of undisturbed traffic flow showed only minor changes in the speed of road users before and after the law change. The average speed of drivers entering a bicycle crossing from a minor road at three sites seemed to decrease after the law change (a repeated measure ANOVA, with priority regulation as a between factor, and distance from the bicycle crossing as a within factor: site 1,  $p = 0.003$ ; site 2,  $p = 0.054$ ; site 3,  $p < 0.001$ ). The average speed difference was 3.5, 2.4, and 2.0 km/h, respectively. The priority regulation did not change at sites 1 and 2 because there were yield signs in the approach direction of drivers. There were, however, no changes at all in speed when drivers approached bicycle crossings at different locations, and no changes in the average speed of cyclists before and after the law change.

Figure 2 shows the approach speeds of cars on a collision course with the test cyclist. These speeds decreased when the test cyclist approached from the left or right. A repeated measure ANOVA (with distance from the bicycle crossing as a within factor) showed a significant effect for the cyclists coming from the left (site 8,  $p = 0.002$ , site 9,  $p = 0.011$ ), and from the right (site 8,  $p < 0.001$ ; site 9,  $p = 0.003$ ) in comparison to

FIGURE 1 Settings of the study and courses of the drivers and cyclists.

Site	Location of bicycle crossing	Sight conditions	Change in priority?	Goal How parties prepare for
Site 1. 	before intersection	restricted to the right	no, drivers have to yield	an invisible danger situation, the general effect of the law change
Site 2. 	before intersection	moderate	no, drivers have to yield	a possible danger situation, the general effect of the law change
Site 3. 	before intersection	restricted	yes, cyclists from the right have to yield	an invisible danger situation when the law changed
Site 4. 	after intersection	unrestricted	no, drivers have to yield	a possible danger situation, the general effect of the law change
Site 5. 	on a road section	unrestricted	yes, cyclists from the right have to yield	a possible danger situation when the law changed
Site 6. 	on a road section	restricted to the right	yes, cyclists from the right have to yield	an invisible danger situation when the law changed
Site 7. 	before intersection	restricted to the right	yes, cyclists from the right have to yield	an invisible danger situation when the law changed
Site 8. The test cyclist. 	on a road section	unrestricted	yes, cyclists from the right have to yield	a possible danger situation when the law changed
Site 9. The test cyclist. 	on a road section	moderate	yes, cyclists from the right have to yield	a possible danger situation when the law changed

(Cyclists from the left had to yield to drivers before and after the law change if there was no yield sign for drivers)



the control condition. When the drivers who yielded were left out of the calculation, the difference between the test trials and the free cars was marginally significant ( $p = 0.077$ ) at site 8 and still significant ( $p = 0.019$ ) at site 9. There

were no significant changes in the speeds of the cars before and after the law change (the number of trials varied between 49 and 66 according to the site and the cyclist's direction, and the number of control situations varied between 46 and 187).

FIGURE 2 Average speed of free cars (control condition) and cars which approached the bicycle crossing on a collision course with the test cyclist.

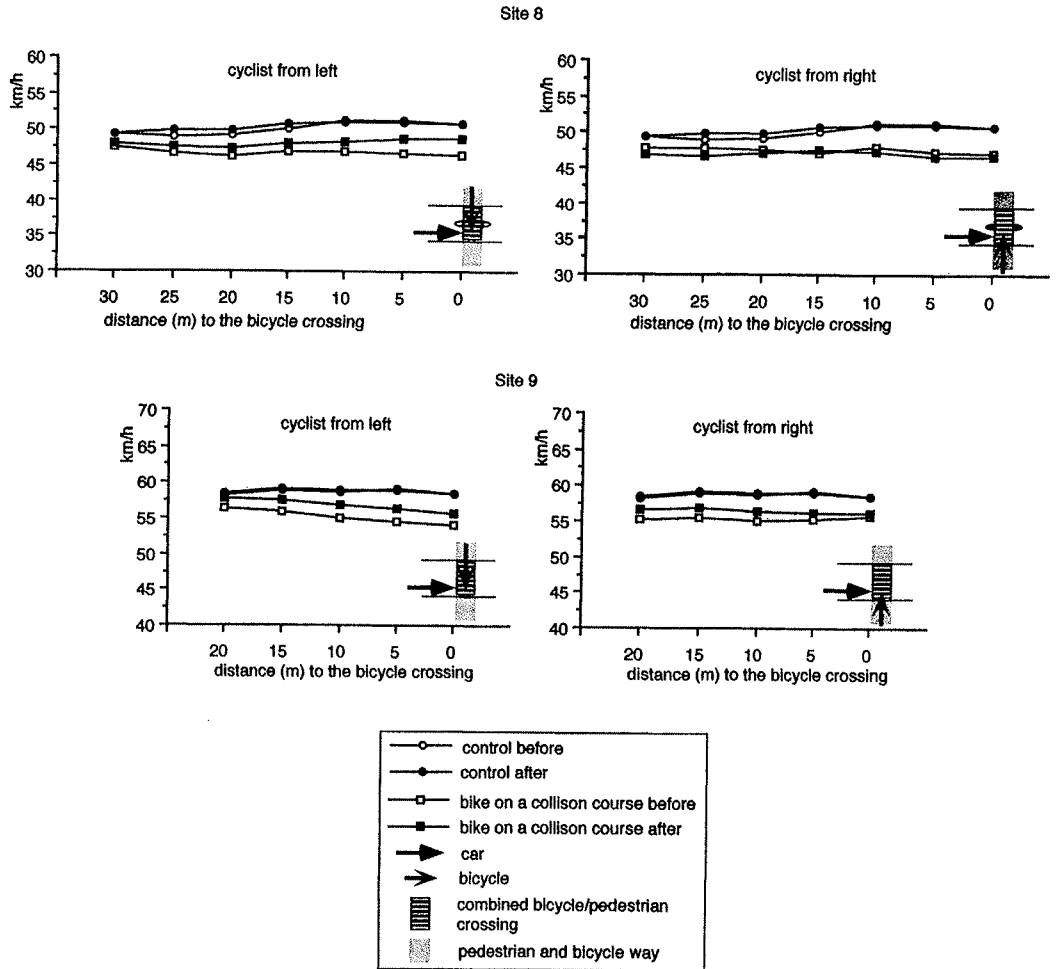



Figure 3 presents, before and after the law change and by site, all the potential conflicts between cars and cyclists in which one of them had to give way. Although it should be noted that the number of such situations was fairly small, the proportion of yielding drivers diminished at all the sites involving conflict type 3a, and increased at all the sites involving conflict type 3b.

The turning vehicle (3a) was still obliged to give way to a cyclist coming from the opposite or the same direction after the law change. In this situation, the average number of drivers who gave way to the cyclist fell from 85.4% to 67.2%, all sites taken together. Applying the multiplication rule of independent probabilities to the exact probabilities computed for each site (Fisher test,

see Siegel, 1956) resulted in  $p = 0.021$  for the change. The opposite was the case among drivers coming from a minor road (3b) ( $p = 0.004$ , over three sites). They were more likely to give way to cyclists coming from the right after the law change, especially at sites 1 and 3. However, the priority changed only at site 3, to give drivers the right of way over cyclists. When cyclists came from the left (3c), drivers coming from the minor road seemed to give way correctly before and after the law change. Traffic volumes were approximately the same before and after the law change. At sites 5, 7, 8, and 9 (Figures 3d, 3e and 3f), the new priority regulation appeared to confirm the practice that prevailed already before the law change.


FIGURE 3 Proportion of drivers and cyclists who yielded before and after the law change, by site.

**3a) The car is turning, the cyclist comes from the same or opposite direction**




	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
Site 1	13 (92.9%)	1 (7.1%)	28 (73.7%)	10 (26.3%)
Site 2	14 (73.7%)	5 (26.3%)	10 (50.0%)	10 (50.0%)
Site 3	8 (100%)	0 (0%)	5 (83.3%)	1 (16.7%)
<b>Total</b>	<b>35 (85.4%)</b>	<b>6 (14.6%)</b>	<b>43 (67.2%)</b>	<b>21 (32.8%)</b>

**3b) The car is coming from the minor road, the cyclist from the right**




	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
Site 1	3 (23.1%)	10 (76.9%)	21 (80.8%)	5 (19.2%)
Site 2	8 (66.6%)	4 (33.3%)	18 (69.2%)	8 (30.8%)
Site 3*	5 (50.0%)	5 (50.0%)	8 (80.0%)	2 (20.0%)
<b>Total</b>	<b>16 (45.7%)</b>	<b>19 (54.3%)</b>	<b>47 (75.8%)</b>	<b>15 (24.2%)</b>

**3c) The car is coming from the minor road, the cyclist from the left**




	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
Site 1	20 (100%)	0 (0%)	17 (81.0%)	4 (19.0%)
Site 2	3 (75.0%)	1 (25.0%)	11 (91.7%)	1 (8.3%)
Site 3	-	-	2 (40.0%)	3 (60.0%)
<b>Total</b>	<b>23 (95.8%)</b>	<b>1 (4.2%)</b>	<b>30 (78.9%)</b>	<b>8 (21.1%)</b>

**3d) The car is going straight ahead, the cyclist is coming from the right**




	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
Site 5*	2 (10.5%)	17 (89.5%)	0 (0%)	27 (100%)
Site 8*. The test	3 (6.0%)	47 (94.0%)	3 (5.4%)	53 (94.6%)
Site 9*. The test	1 (1.5%)	65 (98.5%)	0 (0%)	51 (100%)
<b>Total</b>	<b>6 (3.9%)</b>	<b>146 (96.1%)</b>	<b>3 (2.2%)</b>	<b>131 (97.8%)</b>

**3e) The car is going straight ahead, the cyclist is coming from the left**



	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
Site 8. The test	8 (19.1%)	42 (80.9%)	3 (5.5%)	52 (94.5%)
Site 9. The test	3 (4.8%)	60 (95.2%)	1 (2.1%)	48 (97.9%)
<b>Total</b>	<b>11 (9.7%)</b>	<b>102 (90.3%)</b>	<b>4 (3.8%)</b>	<b>100 (96.2%)</b>

**3 f) Site 7\*. The car is at intersection, the cyclist is coming from the right**

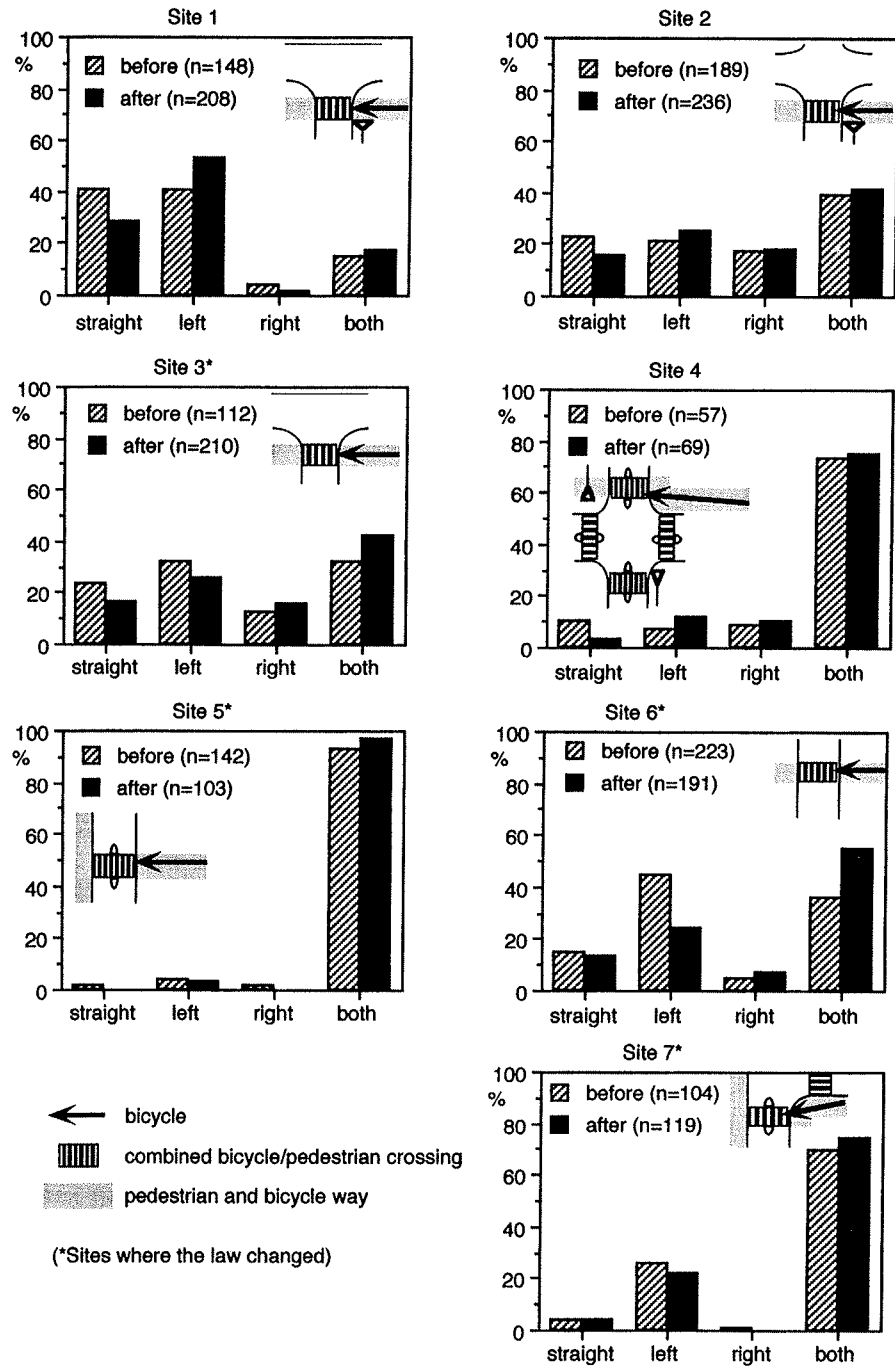


	Before		After	
	driver yielded	cyclist yielded	driver yielded	cyclist yielded
	0 (0%)	10 (100%)	0 (0%)	6 (100%)

\*Situations where the priority changed



FIGURE 4 Head movements of cyclists at a relevant distance from the bicycle crossing before and after the law change, by site.



### Cyclists' Head Movements

Figure 4 shows the head movements of cyclists, before and after the law change, when they approached a crossing. The movements were classified as straight ahead if the only direction in which they looked during their approach was straight ahead, left if they looked left and straight ahead, right if they looked right and straight ahead, and both if they looked to the left and to the right. These head movements showed a small but consistent change toward safer practice. The proportion of cyclists looking in both directions was larger at every site after the law change ( $p = (1/2)7 = 0.008$ ), amounting to an average increase of 6.3% units. It should be noted, however, that visibility at site 6 deteriorated after the law change because of the building of a new storehouse. This caused a considerable change in the head movement pattern of cyclists, who looked much more in both directions, being aware of the new sight obstacle on the right. The average increase in the number of cyclists looking in both directions was 4.2% units when site 6 was left out of the calculation.

Table 1 shows that, for all the minor road sites combined, middle-aged and especially older cyclists looked more often in both directions after the law change than before. It was most important at these sites to look to the left where the sight obstacles were located. From this point of view, the head movements of the young cyclists also showed a safer pattern with more looking to the left after the law change than before. Unfortunately, the number of child cyclists was too small to make any conclusions possible. There were no differences in the age groups at the other sites where the proportion of cyclists looking in both directions remained high.

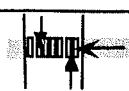
### Interviews

Figure 5 presents the results of the interviews covering the question of who should give way at a bicycle crossing on a road section. Before the law change, the right response was that the vehicle coming from the right had right of way. A "car driver will yield" response resembles the rule concerning pedestrians and drivers at zebra crossings. The correct response after the law change was that the cyclist should give way. The old priority-from-the-right rule was not widely known among road users. However, knowledge of the correct priority regulations at separate bi-

Table 1. The Directions of the Head Movements (%) of Cyclists Approaching a Bicycle Crossing over a Minor Road (Sites 1, 2, and 3), by Age Group

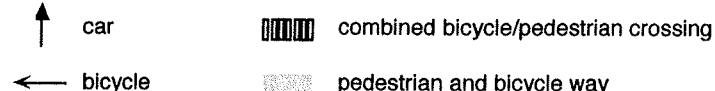
	Age Group													
	0-9		10-19		20-29		30-49		50-59		>60		Total	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Straight	29.4	16.0	29.6	18.2	31.3	25.2	28.1	19.5	37.8	20.0	14.6	5.7	28.7	19.9
Left	35.3	36.0	25.4	37.2	30.1	42.9	32.3	30.8	26.7	22.2	31.7	20.0	30.3	34.1
Right	11.8	24.0	14.1	15.7	10.8	9.2	10.4	10.2	6.7	11.1	19.5	20.0	11.6	12.1
Both	23.5	24.0	31.0	28.9	27.7	22.7	29.2	39.5	28.9	46.7	34.2	54.3	29.4	34.1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
n	17	25	71	121	83	163	192	266	45	45	41	35	449	655

FIGURE 5 Distribution (%) of responses to the question "who should yield at a separate bicycle crossing?" before and after the law change.



Responses	Interviewed on the road						Interviewed at home			
	cycling children		other cyclists		car drivers		cyclists		car drivers	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Vehicle from the right has right of way (the old rule)	9%	1%	35%	6%	19%	8%	14%	5%	15%	7%
A car driver will yield	12%	17%	23%	9%	47%	14%	35%	24%	39%	23%
A cyclist will yield (the new rule)	69%	78%	36%	81%	31%	76%	46%	67%	44%	67%
N	101	88	52	100	170	153	745	755	598	703

(On the road: cycling children  $\chi^2=6.0$  df=2 P=0.05; other cyclists  $\chi^2=32.68$  df=2 P<0.001; car drivers  $\chi^2=64.8$  df=2 P<0.001)




cycle crossings improved significantly after the law change, but still remained far from good. The shift toward the correct answer after the law change (the cyclist has to yield) was consistent and significant in all the groups except the cyclists over the age of 65 years ( $p > 0.05$ ). Drivers' actual behavior, and their responses about giving way on road sections conflicted before the law change when 4% gave way to cyclists coming from the right (Figure 3d), but 69% of the drivers interviewed on the road, and 56% of those interviewed at home responded that drivers should give way or that the vehicle coming from the right has the right of way at bicycle crossings on road sections.

There was no change in priority regulations in the situation in which a car is turning and a cyclist is entering a bicycle crossing from the same

or opposite direction. The knowledge of drivers and cyclists of the correct behavior in this situation worsened significantly after the law change, however (Figure 6). In particular, cyclists over 65 years of age gave fewer correct answers after the law change than before; but on the other hand, car drivers over 65 were the only age group whose level of knowledge remained the same (about 60% correct responses before and after the law change). The lower level of correct knowledge among road users in this situation was also seen in the yielding behavior of drivers and cyclists, drivers giving way less to cyclists after the law change than before (Figure 3a).

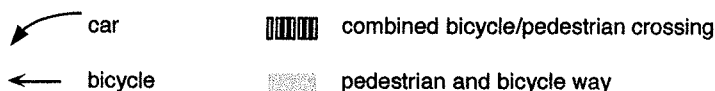
No change in priority occurred in the situation in which a car is approaching an intersection where there is a yield sign, and a cyclist is com-

FIGURE 6 Percentages of correct responses to the question "who should yield at a bicycle crossing when a cyclist is going straight ahead and a car is turning from the same or opposite direction?" before and after the law change.



	Interviewed on the road				Interviewed at home			
	cyclists		car drivers		cyclists		car drivers	
	before	after	before	after	before	after	before	after
The right response: A car driver will yield	61%	51%	83%	67%	64%	54%	69%	58%
Total N	52	100	170	153	745	755	598	703

(On the road: cyclist  $\chi^2=1.53$  df=1 P>0.05; car drivers  $\chi^2=11.45$  df=1 P<0.001.  
In homes: cyclists:  $\chi^2=15$  df=1 P<0.001; car drivers:  $\chi^2=17$  df=1 P<0.001)





ing from the cycle path. Almost all the drivers knew that they should give way, both before and after the law change (94% in both situations). Drivers' behavior seemed to be more cautious after the law change, however, as measured in yielding behavior (Figure 3b) and approach speed.

Immediately after the law change, people were also asked, on the road in summer and at their homes in September, whether they had heard about it. Again the children interviewed on the road ( $n = 88$ ) performed the worst: only 49% had heard about the law change, and no more than 35% could describe one situation that had changed. The corresponding percentages of adults ( $n = 104$ ) were 86 and 71. In home interviews, 81% of subjects ( $n = 1066$ ), and 68% of those aged 65 years or more said that they had heard about the law change.

## DISCUSSION

This study showed that behavior and knowledge of road users changed in some relevant traffic situations after the law change. The biggest changes occurred, however, in situations in which there was no formal change in priority regulations. In fact, the new law changed regulations at intersections very little because priority at most intersections with cycle path(s) are regulated by traffic signs or signals.

Before the law change vehicles (also bicycles) coming from the right had the right-of-way over vehicles coming from the left at bicycle crossings, unless it was otherwise indicated. Following the law change, cyclists coming from a cycle path must give way to all vehicles on the carriageway unless there are specific priority regulations. Thus, the clearest change in priority was at separate bicycle crossings on road sections that are not normally equipped with traffic signs. The results showed, in fact, that in such situations drivers were acting according to the new law before the law change was effected. They did not yield to cyclists coming from the right, even though in over 50% of cases, the interviewees indicated that this was against their knowledge. No wonder that the visual search strategy of most cyclists, in terms of head movement, demonstrated caution in this situation.

The influence of the test cyclist on the speed of drivers approaching a separate bicycle crossing was evident, and this was the same before and after the law change. Road user behavior at

separate bicycle crossings clearly showed the so-called psychological right-of-way phenomenon: when a narrow, low volume cycle path crosses a much wider carriageway, the situation has to be quite critical before a driver will give way to a cyclist. The bicycle crossing is even generally marked like a pedestrian crossing, which tells an unfamiliar driver nothing about the possibility of encountering cyclists. From the safety point of view, the new law is more appropriate in this situation than the old one, because it simply confirms the practice prevailing among road users. Changing the priority for cyclists at separate bicycle crossings, when planning main routes for cyclists, requires at least an elevated crossing, or a hump before the crossing.

The traffic situation is completely different when a cyclist is crossing a minor road on a cycle path adjacent to the major road, and a driver is coming from the minor road. This type of crossing situation is normally the most frequent on the cyclist's route and can be hazardous especially when the cyclist comes from the right (Summala et al., 1996; Räsänen et al., 1998). There was a change in priority under the law only if there was no yield sign for the driver on the minor road, which is rare if there are cycle paths by the side of the major road. The obligation of a driver coming to a yield sign to give way to cyclists was very well understood by the drivers, both before and after the law change. This was also seen in their behavior. In fact, they seemed to behave in this situation even more cautious after the law change than before. Their approach speed dropped at the two intersections studied, and they tended to give way more often to cyclists on the cycle path. It should be noted, however, that the number of such situations was fairly small and based only on three sites. The fact that a large proportion of drivers gave way to cyclists in this situation, and that the cyclists knew or believed that the drivers were required to do so, sometimes leads to accidents due to cyclists' expectations, especially when they were coming from the right (Räsänen & Summala, 1998; Cairney & Catchpole, 1991). Sagberg (1997) also found in his study that, in Norway, car drivers gave way in 70% of these kinds of cases, even if they had formal priority over cyclists.

The turning vehicle continues to be obliged to give way to a cyclist entering a bicycle crossing from the same or opposite direction. However, the behavior of drivers worsened after the law change. The proportion yielding to cyclists fell

from 85.4% to 67.2% and the interviewees also showed a significant decrease in the number of correct answers. This suggests that at least some drivers generalized the slogan used in the information campaign connected with the law change—"Cyclists on the cycle path will yield"—to cover all situations where there is no yield sign for oncoming drivers. The behavior of drivers approaching yield signs supported this interpretation, because they seemed to exercise more caution after the law change than before it.

This study suggests that changes in priority rules may also affect road user behavior in situations in which the formal change does not apply. An extreme strategy would be to keep the priority regulations very confusing, so that road users would not know for certain who should go first, and therefore they would act very cautiously. This is not a good solution, however, as far as the interactions between cyclists and drivers are concerned, because drivers tend to look first for other cars, which are normally more numerous, rather than for cyclists who are not on an equal footing as far as crashes are concerned.

The priority-from-the-right rule remains in force when both cyclists and drivers use carriageways at unmarked intersections, which is contrary to the practice in The Netherlands, for example. After the law change, therefore, cyclists' priority rules are different on cycle paths and on carriageways without specific priority regulations. This discrepancy, as well as these and earlier findings (Janssen et al., 1988; Schnüll et al., 1992), suggest that consistent, clear signing of priority at bicycle crossings is recommended. Clear markings should help young children (<10 years) in particular, bearing in mind their overrepresentation in accidents at intersections with no traffic control devices (Hunter et al., 1995). It has often been observed that cyclists are the most heterogeneous group of vehicle riders, which implies the need for very simple rules. Specific consideration should be given to the principle that the traffic environment should guide road users to follow these simple rules. If formal rules and/or the traffic environment conflict with informal rules, accidents will happen.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We would like to thank Mr. Samu Toiviainen for his assistance in analyzing the video tapes and Mr. Jaakko Haapasalo for doing the computer

program for the analyses of the field data. Sincere thanks are also due to Dr. Sirpa Rajalin who coordinated the project and directed the survey part of it at the Central Organisation for Traffic Safety in Finland. The research was funded by the Ministry of Transport and Communication and by the Central Organisation for Traffic Safety in Finland (Liikenneturva).

#### REFERENCES

- Cairney, P.T., & Catchpole J.E. (1991). *Road user behaviours which contribute to accidents at urban arterial/local intersections*. Research Report ARR No. 197. Victoria, Australia: Australian Road Research Board.
- Eilert-Peterson, E., & Schelp, L. (1997). An epidemiological study of bicycle-related injuries. *Accident Analysis & Prevention*, 29, 363-372.
- Hunter, W.W., Pein, W.E., & Stutts, J.C. (1995). Bicycle-motor vehicle crash types: The early 1990s. *Transportation Research Record*, 1502, 65-74.
- Janssen, W., van der Horst, R., Bakker, P., & Broeke, W. (1988). Auto-auto and auto-bicycle interactions in priority situations. In: *Road user behavior, theory and research* (J.A. Rothengatter and R.A. de Bruin, eds.), pp. 639-644. Assen/Maastricht, The Netherlands: Van Gorcum.
- Maring, W., & van Schagen, I.N.L.G. (1990). Age dependence of attitudes and knowledge in cyclists. *Accident Analysis & Prevention*, 22, 127-136.
- Räsänen, M. (1995). *Polkupyöräonnettomuuksien vähentäminen* [How to decrease the number of bicycle accidents?] Report L25/95. Helsinki, Finland: Ministry of Transport and Communications.
- Räsänen, M., & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: An in-depth study. *Accident Analysis & Prevention*, 30, 657-666.
- Räsänen, M., Summala, H., & Pasanen, E. (1998). The safety effect of sight obstacles and road markings at bicycle crossings. *Traffic Engineering + Control*, 39, 98-103.
- Sagberg, F., & Borger Mysen A. (1996). *Vikepliktsregler for syklende*. TOI notat 1051. Oslo, Norway: Transportøkonomisk institutt.
- Sagberg, F. (1997). *Atferdsobservasjon av syklistar og bilister i kryss mellom sykkelveg og bilveg*. TOI notat 1072. Oslo, Norway: Transportøkonomisk institutt.
- van Schagen, I.N.L.G., & Brookhuis, K.A. (1994). Training young cyclists to cope with dynamic traffic situations. *Accident Analysis & Prevention*, 26, 223-230.
- Schnüll, R., Lange, J., Fabian, I., et al. (1992). *Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten*. Forschungsberichte 262. Bergisch Gladbach, Germany: Bundesanstalt für Strassenwesen.
- Siegel, S. (1956). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. New York: McGraw-Hill.
- Summala, H., Pasanen, E., Räsänen, M., & Sievänen, J. (1996). Bicycle accidents and drivers visual search at left and right turns. *Accident Analysis and Prevention*, 28, 147-153.
- Top, T., & Timmermans, D. (1988). Behaviour of cyclists at intersections. In: *Road user behavior, theory and research* (J.A. Rothengatter and R.A. de Bruin, eds.), pp. 632-638. Assen/Maastricht, The Netherlands: Van Gorcum.

**Liikennetutkimusyksikkö  
Psykologian laitos  
PL 13 (Meritullinkatu 1A)  
00014 Helsingin yliopisto**

**ISSN 0781-9935  
ISBN 951-45-9484-3**

**Helsinki 2000**

TEKNILLISEN KORKEAKOULUN KIRJASTO



120 032 6304