

Kuolemaan johtaneisiin liikenneonnettomuuksiin
vaikuttaneita taustatekijöitä 2005–2014

2022

www.oti.fi

Onnettomuustietoinstituutti (OTI)

Raportin on laatinut:

Arto Luoma



17.6.2022

Raportin on laatinut Arto Luoma

Yhteydenotot

Onnettomuustietoinstituutti

Liikennevakuutuskeskus

Itämerenkatu 11–13

00180 Helsinki

p. 040 450 4666

Kuvioiden data [Excel-tiedostona](#).

Tietoja lainattaessa lähde on mainittava.

ISBN 978-952-7335-02-4 (verkkajulkaisu .pdf)

Alkusanat

Tämä tutkimus sai alkunsa Vakuutusyhtiöiden liikenneturvallisuustoimikunnan (VALT) myöntämästä apurahasta. Niina Sihvola ja Ilkka Nummelin perehdyttivät tutkimuksessa käytettyyn aineistoon. Professorit Lasse Koskinen (Tampereen yliopisto) ja Jukka Nyblom (Jyväskylän yliopisto) ovat opastaneet ja antaneet palautetta työstä. Toimiessani tilastotieteen yliopistonlehtorina Jyväskylän yliopistossa ja myöhemmin vakuutustieteen yliopistotutkijana Tampereen yliopistossa minulla oli mahdollisuus käyttää työaikaani tutkimuksen tekemiseen. Myöhemminkin olen voinut käyttää Tampereen yliopiston tutkimusresursseja. Jyväskylän yliopiston tilastotieteen henkilökunnan kanssa käymäni keskustelut asian tiimoilta olivat inspiroivia. Loppuvaiheessa sain Niina Sihvolalta ja Salla Saleniukselta (OTI) arvokasta palautetta, mikä auttoi selventämään tekstiä ja ottamaan huomioon eräitä taustatekijöitä.

Toukokuussa 2022 Kangasalla

Arto Luoma

Tiivistelmä

Tässä raportissa tutkitaan kuolemaan johtaneisiin liikenneonnettomuuksiin vaikuttaneita tekijöitä erilaisin tilastollisin menetelmin. Tutkimus kattaa vuosien 2005–2014 kuolemaan johtaneet moottoriajoneuvo-onnettomuudet, joissa oli mukana henkilöauto. Tarkasteltavat riskitekijät ovat kuljettajan ikä, kuljettajan juopumus, ylinopeus sekä henkilöauton vuosimalli. Lopuksi arvioidaan näiden tekijöiden sekä sairauskohtausten, nukahtamisten, itsemurhien ja huumaavien aineiden käytön osuuksia kuolemaan johtaneissa liikenneonnettomuuksissa.

Keskeisiä käytettyjä mittareita ovat riskisuhde sekä vakioitu riskisuhde, josta on poistettu sekoittavien muuttujien vaikutusta. Tutkimuksessa tarkastellaan erikseen 1) riskiä aiheuttaa onnettomuus ja 2) riskiä joutua onnettomuuteen, joko aiheuttajana tai muuna osallisena. Pääasiallinen tutkimusaineisto on poimittu Onnettomuustietoinstituutin ylläpitämästä rekisteristä, johon tallennetaan numeeriset tiedot tutkijalautakuntien tutkimista kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista. Lisäksi on hyödynnetty Traficomilta saatua valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen aineistoa vuosilta 2010-2011 ja avoimia aineistoja, kuten Traficomin ylläpitämää ajoneuvojen avointa dataa

Tutkimuksessa havaitaan, että kuljettajan nuoruus ja vanhuus kasvattavat merkittävästi riskisuhteita. Jo vähäinen määrä alkoholia kuljettajan veressä (alle 0.2 ‰) näyttää lisäävän kuolemaan johtavan onnettomuuden riskiä. Eksponenttimalli osoittautuu parhaaksi ylinopeuden riskisuhteen arvioinnissa ja lasketut riskisuhteet hieman aiempien tutkimusten tuloksia suuremmiksi. Riskisuhde on sitä pienempi, mitä uudemmasta vuosimallista on kysymys. Kokonaisriskiin eniten vaikuttaviksi yksittäisiksi tekijöiksi arvioidaan henkilöauton vuosimalli (24 %), törkeä rattijuoppous (16 %) ja itsemurha (14 %).

Sisällysluettelo

1. Johdanto	6
1.1. Määritelmiä.....	6
1.1.1. Tilastollisia termejä.....	6
1.1.2. Onnettomuusaineistoon liittyviä määritelmiä	7
1.2. Aikaisempi tutkimus aiheesta	8
1.2.1. Kuljettajan ikä.....	8
1.2.2. Kuljettajan juopumus.....	9
1.2.3. Ylinopeus.....	10
1.2.4. Henkilöauton vuosimalli.....	12
1.3. Tutkimusaineistot.....	13
2. Taustatekijöiden vaikutus kuolemaan johtavan liikenneonnettomuuden riskiin	15
2.1. Kuljettajan ikä	15
2.2. Kuljettajan juopumus.....	20
2.3. Ylinopeus.....	29
2.4. Henkilöauton vuosimalli	34
2.5. Eri riskitekijöiden kokonaisvaikutus.....	41
3. Päätelmät.....	43
Liite A. Menetelmät.....	50
Liite B. Veren alkoholipitoisuuden jakauma alkoholia nauttineilla.....	53
Liite C. Autojen nopeusjakauma.....	55
Liite D. Henkilöauton käyttöikä ja eri-ikäisenä ajetut kilometrit.....	57

1. Johdanto

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää neljän eri riskitekijän – kuljettajan iän, kuljettajan juopumuksen, ylinopeuden ja henkilöauton vuosimallin – vaikutusta vakavan liikenneonnettomuuden riskiin. Tutkimuksen kohteeksi on rajattu vuosina 2005–2014 Suomessa tapahtuneet kuolemaan johtaneet moottoriliikenneonnettomuudet, joissa henkilöauton kuljettaja on ollut aiheuttaja tai muu osallinen. Tutkimus kattaa onnettomuudet, joissa ainakin yhdessä osallisista moottoriajoneuvoista ainakin yksi henkilö on kuollut. Mukana ovat myös ns. sairauskohtausonnettomuudet, joissa kaikki saman onnettomuuden uhrit kuolivat tapaturmaisten vammojen sijasta sairauskohtaukseen. Aineisto on poimittu Onnettomuustietoinstituutin (OTI) ylläpitämästä onnettomuustietorekisteristä, joka sisältää tutkijalautakuntien tutkimista onnettomuuksista kootut numeeriset tiedot.

Tässä luvussa esitellään ensin tutkimuksessa esiintyviä käsitteitä ja termejä, sitten aikaisempaa aiheeseen liittyvää tutkimusta ja lopuksi käytettyjä tutkimusaineistoja.

1.1. Määritelmiä

Seuraavassa esitellään tutkimuksessa käytetyt tilastolliset termit sekä onnettomuusaineistoon liittyvät määritelmät.

1.1.1. Tilastollisia termejä

Tarkempia matemaattisia määritelmiä on liitteessä A, jossa on myös kuvattu käytetyt tilastolliset menetelmät.

- **Riski:** Jonkin epäedullisen tapahtuman, esim. onnettomuuden, mahdollisuus. Tässä tutkimuksessa usein samastetaan riski ja sen tilastollinen todennäköisyys.
- **Riskisuhde:** Onnettomuuden todennäköisyyksien suhde (osamäärä) kahdessa eri tilanteessa.
- **Riskikäyrä:** Riskisuhde riskitekijää kuvaavan lukuarvon, esim. veren alkoholipitoisuuden, funktiona.
- **Vakioitu riskisuhde:** Riskisuhde, josta on pyritty poistamaan yhden tai useamman sekoittavan tekijän vaikutus. Tässä tutkimuksessa vakiointiin käytetään kahta eri menetelmää: 1) korvataan ehdollinen todennäköisyys ns. kausaali vaikutuksella ja 2) lisätään tilastolliseen malliin selittäjiksi mahdollisia sekoittavia tekijöitä.
- **Vetokerroin:** Tapahtuman todennäköisyyden suhde todennäköisyyteen, ettei tapahtumaa esiinny. Jos tapahtuman todennäköisyys on hyvin pieni (esim. liikenneonnettomuus), vetokerroin on käytännössä yhtä suuri kuin tapahtuman todennäköisyys.
- **Vetosuhde:** Vetokertoimien suhde kahdessa eri tilanteessa. Yleensä verrataan tilanteita jonkin riskitekijän esiintyessä ja ilman sitä. Kun on kyse harvinaisesta tapahtumasta, kuten onnettomuudesta, vetosuhde on käytännössä yhtä suuri kuin riskisuhde.

1.1.2. Onnettomuusaineistoon liittyviä määritelmiä

Poimittu soveltuvien osin OTIn verkkosivulta: <https://www.lvk.fi/tilastot-ja-raportit/otin-maaritelmat/>.

- **Yhteenajo:** Liikenneonnettomuus, jossa on ollut mukana vähintään kaksi osallista.
- **Yksittäisonnettomuus:** Liikenneonnettomuus, jossa on ollut mukana vain yksi osallinen. Näihin lasketaan mukaan myös eläinonnettomuudet, eli eläimiä ei määritelmässä luokitella osallisiksi.
- **Kuolemaan johtanut moottoriajoneuvo-onnettomuus:** Yhteenajo- tai yksittäisonnettomuus, jossa moottoriajoneuvossa ollut henkilö menehtyi.
- **Sairauskohtausonnettomuus:** Onnettomuus, jossa kaikki uhrin kuolivat tapaturmaisten vammojen sijasta sairauskohtaukseen. Tyypillisesti kussakin sairauskohtausonnettomuudessa on kuollut yksi henkilö. Onnettomuuden osallisena yksi tai useampia ajoneuvoja, tai jalankulkijan ja ajoneuvon välinen yhteenajo.
- **Osallinen:** Liikenneonnettomuudessa mukana ollut tienkäyttäjä: moottoriajoneuvon kuljettaja, polkupyöräilijä, jalankulkija tai näihin rinnastettava tienkäyttäjä, esimerkiksi rullalautailija.
- **Aiheuttaja/pääaiheuttaja:** Yhteenajo-onnettomuuden osallinen (niin sanottu A-osallinen), jonka toiminnalla tutkijalautakunta on arvioinut olleen merkittävämpi vaikutus onnettomuuden syntymiseen kuin toisella osapuolella eli vastapuolella. Jos kyse on yksittäisonnettomuudesta eli osallisia on vain yksi, ainoa osallinen määritellään aiheuttajaksi. (Huom. Lautakunnat eivät selvitä onnettomuuksien syyllisyys- tai korvauskysymyksiä. Ne voivat määritellä osallisuuden, eli kuka on aiheuttaja ja kuka vastapuoli, eri tavoin kuin poliisi.)
- **Vastapuoli:** Yhteenajo-onnettomuuden osallinen (niin sanottu B-osallinen), jonka merkityksen onnettomuuden syntymiseen tutkijalautakunta on arvioinut olleen vähäisempi kuin pääaiheuttajan. B-osallisen lisäksi vastapuolia voi olla muitakin, jolloin ne ovat C, D jne. -osallisia.
- **Välitön riskitekijä:** Tekijä, joka vaikuttaa aktiivisesti onnettomuuden syntymiseen ja selittää sen tapahtumista. Esimerkkejä tienkäyttäjään liittyvistä välittömistä riskeistä ovat nukahtaminen, ohjausvirhe, virheellinen ajolinja ja havaintovirhe. Ajoneuvoon liittyviä välittömiä riskejä voivat olla muun muassa ohjauksen pettäminen tai renkaan puhkeaminen. Liikenneympäristöön liittyvät välittömät riskit, kuten tien reunan pettäminen tai puun kaatuminen, ovat harvinaisia.
- **Taustariski/Taustalla vaikuttanut riskitekijä:** Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakunnat arvioivat onnettomuuksien taustalla vaikuttaneita riskitekijöitä tekemänsä tutkinnan pohjalta. Taustalla vaikuttanut riskitekijä selittää välittömän riskin syntyä mahdollistamalla sen. Esimerkkejä tienkäyttäjään liittyvistä taustariskeistä ovat väsymys, päihtymys, piittaamaton asenne, ylinopeus ja kiire. Ajoneuvoon liittyviä taustariskejä voivat olla muun muassa virheelliset rengaspaineet ja näkemiseen vaikuttavat katvealueet. Esimerkkejä liikenneympäristöön liittyvistä taustariskeistä ovat ajoradan kunto, risteyksen rakenne sekä törmäyskohteet seurausten pahentajana. Liikennejärjestelmään liittyviä taustariskejä voivat olla muun muassa rangaistussäädöksiin tai ajoneuvovaatimuksiin liittyvät tekijät.

1.2. Aikaisempi tutkimus aiheesta

Tämän raportin osa-alueita on tutkittu aiemmin melko laajasti. Seuraavassa luodaan valikoitu katsaus tutkimuskirjallisuuteen aiheesta. Tämän tutkimuksen tulosten esittelyn yhteydessä luvussa 2 viitataan näihin aiempiin tuloksiin.

1.2.1. Kuljettajan ikä

Ensimmäisenä tutkimuskohteena tarkastellaan, miten kuljettajan ikä vaikuttaa riskiin aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus tai yleisemmin joutua sellaiseen joko aiheuttajana tai muuna osapuolena. Kansainvälisesti on havaittu, että riskikäyrä on U:n muotoinen: riski on suurin nuorimmilla ja vanhimmilla kuljettajilla (European Commission, 2018). Nuorimmilla tämä johtuu mm. ajattelun kypsyttömyydestä, kokemattomuudesta ja sosiaalisesta elämäntavasta, jolle on tyypillistä liikkuminen öisin ja viikonloppuisin ja toisinaan väsyneenä tai päihtyneenä ajaminen (ECMT, 2006; ERSO, 2006). Erityisesti nuorilla miehillä on taipumusta riskinottoon, kokemusten tavoitteluun ja ylinopeuksiin. He myös herkemmin yliarvioivat omat kykynsä ja ovat alttiita kavereiden vaikutukselle (ERSO, 2006). Lisäksi nuoret suosivat keskimääräistä vanhempia ja kevytrakenteisempia autoja, jotka ovat vähemmän turvallisia (Räty ja Kari, 2017).

Vanhimmilla kuljettajilla aistitoimintojen ja fyysisen ja henkisen toiminnallisuuden heikentyminen lisäävät riskiä joutua onnettomuuksiin (Anstey ja muut, 2005). Toisaalta iän tuoman haurauden myötä todennäköisyys kuolla tai loukkaantua vakavasti on suurempi kuin vastaavan intensiteetin onnettomuudessa nuoremmilla (Evans, 2001; Cerrelli, 1989). On osoitettu, että todennäköisyys kuolla onnettomuudessa on merkittävämpi selittäjä ikääntymisen aiheuttamalle riskille kuin todennäköisyys joutua onnettomuuteen (Li, Braver ja Chen, 2003) ja että tämän tekijän suhteellinen merkittävyys on kasvussa, kun ajosuoritteeseen suhteutettu kuoleman todennäköisyys on yleisesti ottaen vähentynyt erityisesti vanhimmilla ikäryhmillä (Cicchino, 2015). Tämän perusteella on esitetty, että vanhukset ovat liikenteessä riskinä lähinnä itselleen (Dellinger ja muut, 2004).

Toisaalta on osoitettu, että ikään liittyvä riski on selitettävissä vähäisemmällä ajomäärällä. Riippumatta kuljettajan iästä suurempi kilometrikohtainen riski on niillä, jotka ajavat vähemmän. Kyselytutkimusten (Hakamies, Raitanen ja O'Neill, 2002; Langford ja muut, 2006) tulokset viittaavat siihen, että riskikäyrä on U:n muotoinen vain vähiten ajavien (alle 3000 km vuodessa) ryhmässä. Enemmän ajavilla riski ei nouse vanhemmaksi tultaessa vaan on suurin nuorena ja laskee siitä tasoittuen noin 30 ikävuoden kohdalla. Tämä voi johtua osittain siitä, että vähemmän ajavilla suhteessa suurempi osa liikennesuoritteesta syntyy moottoriteiden ja muiden turvallisten väylien ulkopuolella reiteillä, joilla on enemmän risteyksiä ja kohtaamistilanteita (Janke, 1991; Keall ja Frith, 2004). Tämä korostuu vähän ajavien vanhusten kohdalla, joiden ajosuoritteesta erityisen suuri osa on kaupunkiajoa. Erityisesti vasemmalle kääntyminen, kun on vastaan tulevaa liikennettä, on vanhuksille vaativaa (OECD, 2001). Vähempi ajaminen selittyy osittain myös heikentyneellä terveydentilalla, jolloin riski kilometreihin suhteutettuna on suuri (Langford ja muut, 2006).

Kaikesta huolimatta liikenneonnettomuudet ovat harvinaisen kuolinsyy vanhuksilla verrattuna eri sairauksien aiheuttamaan riskiin. Vuonna 2016 ainoastaan 0.16 prosenttia 65

vuotta täyttäneiden kuolemista aiheutui maaliikennetapaturmista (Suomen virallinen tilasto, 2016).

1.2.2. Kuljettajan juopumus

Toisena tutkimuskohteena oli alkoholin aiheuttama riski kuolemaan johtaneisiin liikenneonnettomuksiin. Varhaisimpia aiheeseen liittyviä tilastollisia tutkimuksia on Grand Rapidsissa, Michiganissa vuosina 1962–1963 tehty tapaus-verrokkitutkimus (Borkenstain, 1964). Tutkimuksessa olivat mukana kaikki liikenneonnettomuudet, joissa moottoriajoneuvo oli osallisena, eivät ainoastaan vakavat onnettomuudet. Tavoitteena oli arvioida, miten alkoholi lisää riskiä aiheuttaa onnettomuus. Verrokkikuljettajat poimittiin samasta paikasta, samana viikonpäinä ja kellonaikana kuin jokin aiempi satunnaisesti valittu onnettomuus. Kutakin paikkaa kohden poimittiin neljä kuljettajaa riippumatta siitä, kuinka monta osallista onnettomuudessa oli ollut. Tutkimuksen perusteella onnettomuuden riski 1.0 ‰ humalassa on noin 5-kertainen raittiiseen verrattuna.

Long Beachissa, Kaliforniassa (v. 1997–1998) ja Fort Lauderdaleissa, Floridassa (v. 1998–1999) tehtiin ns. sovitettu tapaus-verrokkitutkimus (matched case-control study) (Compton ja muut, 2005; Blomberg ja muut, 2005). Tutkimuksessa olivat mukana kahden tai useamman ajoneuvon onnettomuuksissa kaikki kuljettajat. Näin pyrittiin arvioimaan riskiä olla osallisena onnettomuudessa eikä pelkästään riskiä onnettomuuden aiheuttamisesta. Kutakin onnettomuudessa osallisena ollutta kuljettajaa kohti poimittiin satunnaisesti kaksi verrokkikuljettajaa viikon kuluttua onnettomuudesta samassa paikassa, samana viikonpäivänä ja kellonaikana. Tällä pyrittiin kontrolloimaan sekoittavia tekijöitä. Tapauksia oli kaikestaan 4919 ja verrokkeja 10066. Mukaan otettiin vakavuusasteesta riippumatta kaikki kaduilla ja pysäköintialueilla (muttei moottoriteillä) tapahtuneet onnettomuudet, joissa oli osallisena henkilö-, paketti- tai avolava-auto. Tutkimusaineistoon sovitettiin logistisia regressiomalleja selittävien muuttujien (kuljettajan ikä, sukupuoli, siviilisäätö ja etninen tausta) kanssa tai ilman niitä. Tulokset eivät paljon poikenneet aiemmasta Grand Rapidsin tutkimuksesta.

Alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen riski korostuu, kun tarkastellaan vakavia, loukkaantumiseen tai kuolemaan johtavia onnettomuuksia. Uudessa-Seelannissa Aucklandissa 1998–99 toteutetussa, edellä mainittuja suppeammassa tapaus-verrokkitutkimuksessa (Connor ja muut, 2004), jossa tapauksia oli 571 ja verrokkeja 588, tarkasteltiin vakavia henkilöauto-onnettomuuksia, joissa ainakin yksi matkustaja kuoli tai joutui sairaalahoitoon. Tutkimuksessa pyrittiin kontrolloimaan mahdollisten sekoittavien muuttujien vaikutus, ja verrokkikuljettajat pyrittiin valitsemaan mahdollisimman edustavasti. Kaikilta kuljettajilta ei kuitenkaan mitattu veren alkoholipitoisuutta, jolloin puuttuvat arvot jouduttiin paikkaamaan käyttäen kuljettajien omaa ja tutkimukseen osallistuneen henkilökunnan arvioita. Tutkimuksen mukaan niillä, joilla veren alkoholipitoisuus oli alle 0.5 ‰, riski olla osallisena kuljettajana vakavassa liikenneonnettomuudessa, oli 3.2 (1.1–10) -kertainen, ja niillä, joilla se oli yli 0.5 ‰, riski oli 23 (9–56) -kertainen verrattuna selviin kuljettajiin.

Varsinkin laajat tapaus-verrokki-tutkimukset, joissa on mahdollista arvioida myös korkeampien alkoholipitoisuuksien riskiä, ovat kalliita toteuttaa. Tässä tutkimuksessa käytetään toisenlaista lähestymistapaa: alkoholin esiintyvyyttä liikenteessä arvioidaan

liikennevirtatutkimuksilla, joissa puhallutetaan systemaattisesti kaikki ohi ajavat. Näitä ovat valtakunnalliset ja Uudenmaan ratsiatutkimukset. Lisäksi voidaan osalle puhallutetuista tehdä haastatteluja taustatekijöiden vaikutuksen arvioimiseksi (Uudenmaan R-tutkimus). Yhdysvalloissa on tehty vastaavanlaisia tutkimuksia, joissa on yhdistetty valtakunnallinen tilasto kuolemaan johtaneista moottoriajoneuvo-onnettomuuksista (Fatality Analysis Reporting System, FARS) ja noin kymmenen vuoden välein pidetyt kansalliset tienvarsitutkimukset (National Roadside Survey, NRS). Nämä tutkimukset (Zador, 1991; Zador, Krawchuk ja Voas, 2000; Voas ja muut, 2012; Romano ja muut, 2018) antavat käsillä olevan tutkimuksen kanssa vertailukelpoisia tuloksia. Yksi tulos on, että kun veren alkoholipitoisuus kasvaa 0.2 promilleyksikköä, riski sille, että henkilöauton kuljettaja kuolee yhden ajoneuvon onnettomuudessa, noin kaksinkertaistuu.

Alkoholin vaikutusta ajokykyyn on tutkittu epidemiologisten (onnettomuusaineistoihin perustuvien) tutkimusten lisäksi laboratoriokokeissa ja ajosimulaatioissa sekä tien päällä ja suljetuilla radoilla tehdyissä tutkimuksissa. Hyödyllisen yhteenvedon näistä tutkimuksista sekä taustatekijöiden, kuten iän, sukupuolen, ajokokemuksen ja toiminnallisen sietokyvyn, vaikutuksesta ovat tehneet Martin ja muut (2013). Tuoreen yhteenvetoartikkelin alkoholin vaikutuksesta ajokyvyn kannalta merkityksellisiin kognitiivisiin toimintoihin ovat kirjoittaneet Garrisson ja muut (2021).

1.2.3. Ylinopeus

Kolmantena tutkimuskohteena tarkastellaan ylinopeuden vaikutusta kuolemaan johtaneisiin liikenneonnettomuuksiin. Suurin osa aiemmasta tutkimuksesta perustuu keskinopeuden muutosten vaikutusten mallintamiseen. Keskinopeuden muutokset saadaan aikaan eri toimenpiteillä, kuten nopeusrajoituksia muuttamalla ja nopeusvalvontaa kehittämällä. Tutkimuksissa on havaittu erityisesti vakavien ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien lisääntyminen keskinopeuden kasvaessa. Tunnetun Nilssonin potenssimallin (Nilsson, 2004) mukaan keskinopeuden kasvaminen 1 % lisää loukkaantumiseen johtavien onnettomuuksien määrää noin 2 %, vakavien onnettomuuksien määrää noin 3 % ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien määrää noin 4 %. Toinen käytetty malli on eksponenttimalli, jonka mukaan nopeuden kasvaminen 10 km/h lisää riskiä suhteessa aina saman verran riippumatta alkuperäisestä keskinopeudesta.

OECD:n raportissa (International Transport Forum, 2018) esitellään 11 tapaustutkimusta toimenpiteiden vaikutuksista eri maissa. Elvik ja muut (2019) ottivat mukaan lisää tutkimuksia ja tekivät niiden perusteella meta-analyysin. Meta-analyysiin perustuva estimaatti potenssimallin eksponentti on 4.0 loukkaantumisiin johtaneille onnettomuuksille, eli keskinopeuden kasvattaminen 1 % lisäsi tällaisia onnettomuuksia noin 4 %. Eksponenttimallin kerroin oli 0.067, minkä mukaan keskinopeuden kasvattaminen 10 km/h kasvattaa loukkaantumiseen johtavan onnettomuuden riskiä 95 %. Nämä estimaatit ovat lähes kaksinkertaiset aikaisempiin verrattuna (Elvik, 2013). Potenssimallin estimaatti oli 5.8 ja eksponenttimallin estimaatti 0.083 kuolleiden lukumäärälle. Nämä tulokset vastaavat aiempia kuolemaan johtaneita onnettomuuksia koskevia tuloksia, kun otetaan huomioon, että kuolemantapaukset lisääntyvät suhteessa hiukan enemmän kuin kuolemaan johtavat onnettomuudet. Aiemmassa tutkimuksessa (Elvik, 2013) eksponenttimallin estimaatti kuolemaan johtaville onnettomuuksille oli 0.069, minkä

mukaan keskinopeuden kasvu 10 % noin kaksinkertaistaa onnettomuuksien määrän. (Tosin Elvik (2014) esittää myöhemmin korjatun estimaatin 0.045, joka on huomattavasti pienempi.) Lisäksi on myös tutkittu nopeuden varianssin vaikutusta liikenneturvallisuuteen; myös suuret nopeuserot lisäävät onnettomuusriskiä (Elvik, 2014).

Vähemmän on kuitenkin tutkittu yksittäisen ajoneuvon nopeuden vaikutusta riskiin. Australiassa, Adelaiden kaupunkialueella toteutettiin henkilöautoille sovitettu tapaus-verrokkitutkimus, jossa kutakin onnettomuusajoneuvoa vastasi useita samassa paikassa, samaan suuntaan ja samoissa olosuhteissa ajaneita verrokkeja (Moore ja muut, 1995; Kloeden ja muut, 1997). Kloeden ja muut (2002) analysoivat saman aineiston uudestaan.

Toisessa tutkimuksessa Kloeden ja muut (2001) käsittelivät loukkaantumisiin johtaneita onnettomuuksia maaseututeillä Etelä-Australiassa. Näissä nopeusrajoitukset olivat 80 km/h tai enemmän, joten tulokset ovat paremmin vertailukelpoisia käsillä olevan tutkimuksen kanssa. Tapauksista poistettiin ne, joissa oli mukana muita riskitekijöitä, kuten alkoholin vaikutuksen alaisena ajaminen tai nukahtaminen. Lisäksi poistettiin tapaukset, joissa auto ei ajanut vapaalla nopeudella vaan oli esim. kääntymässä, ohittamassa tai ajamassa toisen ajoneuvon perässä. Rajoitukset tehtiin, jotta onnettomuus- ja verrokkiautojen nopeusjakaumat olisivat mahdollisimman vertailukelpoiset. Aineistoon hyväksyttiin kaikestaan 83 onnettomuusautoa, joita vastasi 830 vertailuautoa. Onnettomuusautojen nopeusarvioiden keskivirheeksi oletettiin 5 km/h. Tutkimuksessa havaittiin, että onnettomuusriski yli kaksinkertaistui, kun auton nopeus ylitti muun liikenteen keskinopeuden 10 km/h, ja lähes kuusinkertaistui, kun se ylitti keskinopeuden 20 km/h.

Tulokset eivät tukeneet aiempien, 60–70-luvuilla tehtyjen tutkimusten (esim. Solomon, 1964) päätelmiä, joiden mukaan riskikäyrä olisi U:n muotoinen, eli riski lisääntyisi keskinopeutta pienemmillä nopeuksilla. Myöhemmin Davis ja muut (2006) tutkivat vakavia tieltä ulosajoja käyttäen samaa aineistoa kuin Kloeden ja muut (1997) sekä otosta kuolemaan johtaneista ulosajoista Minnesotassa. He käyttivät Bayes-analyysiä, joka otti huomioon onnettomuusautojen nopeuden arviointiin liittyvän epävarmuuden. Tämänkään tutkimuksen tulokset eivät tukeneet U:n muotoista riskikäyrää.

Ranskassa toteutettiin sovitettu tapaus-verrokki-tutkimus, jossa tapauksina oli autoja loukkaantumisiin johtaneissa, onnettomuustutkintaohjelman käsittelemissä auto-onnettomuuksissa ja sovitettuina verrokkeina samassa paikassa ja samoissa olosuhteissa ajaneita autoja, jotka eivät olleet osallisia onnettomuudessa (Brenac ja muut, 2015). Tapauksia oli kaikestaan 52 ja verrokkeja 817. Nopeuden vaikutus oli tässä tutkimuksessa pienempi kuin Australian maaseututeillä tehdyssä tutkimuksessa (Kloeden ja muut, 2001); sovitetun eksponenttimallin mukaan nopeuden kasvaessa 10 km/h riski lisääntyi 1.67-kertaiseksi, ja nopeuden kasvaessa 20 km/h riski lisääntyi 2.78-kertaiseksi. Ranskalaistutkimuksessa ei kuitenkaan poistettu tapauksia, joissa oli mukana sekoittavia tekijöitä, kuten alkoholin vaikutuksen alaisena ajaminen.

1.2.4 Henkilöauton vuosimalli

Neljäntenä tutkimuskohteena tarkastellaan henkilöauton vuosimallin vaikutusta onnettomuusriskiin. Näin voidaan tutkia, onko autojen suunnittelussa tapahtunut turvallisuutta lisäävää kehitystä. Tässä tutkimuksessa riskisuhteet lasketaan auton käyttöönottovuoden perusteella mutta myös auton iän vaikutus otetaan huomioon selittäjänä tekijänä.

Broughton (2012) tutki henkilöauton ensirekisteröintivuoden vaikutusta onnettomuusriskiin isobritannialaisella aineistolla vuosilta 2001–2007. Tutkimuksessa otettiin huomioon kuuteen ryhmään luokiteltu henkilöauton tyyppi, joka kertoi lähinnä auton koosta, ja siinä tarkasteltiin erikseen nokkakolareita ja sivuttaistörmäyksiä. Tutkimus rajoittui kahden auton törmäyksiin, ja siinä analysoitiin erikseen kuljettajalle ja toisen auton kuljettajalle aiheutuvaa riskiä sekä yhdistettyä riskiä. Tulosten mukaan kuljettajan kuoleman riski 2000–2003 rekisteröidyssä autossa oli vain kolmasosa riskistä 1988–1991 rekisteröidyssä autossa. Toisaalta kuljettajan riski kuolla törmäyksessä 2000–2003 rekisteröidyn auton kanssa oli 18 % suurempi kuin törmäyksessä 1988–1991 rekisteröidyn auton kanssa. Täten omaan autoon liittyvä riski oli pienentynyt mutta osittain vastapuolen kustannuksella; uudempi auto oli aggressiivisempi sen auton matkustajille, johon törmättiin. Tosin tämän piti paikkansa vain kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa; riski aiheuttaa vakava loukkaantuminen vastapuolelle pieneni. Lisäksi havaittiin, että oman auton turvallisuus oli kehittynyt nokkakolareissa nopeammin kuin sivuttaistörmäyksissä. Toisaalta auton aggressiivisuus eli vastapuolelle aiheutettu riski kasvoi nimenomaan nokkakolareissa mutta ei tilastollisesti merkitsevästi sivuttaistörmäyksissä.

Anderson ja Searson (2015) tutkivat henkilöauton iän, onnettomuusvuoden ja auton valmistusvuoden vaikutusta loukkaantumisiin ja kuolemiin yhden ajoneuvon onnettomuuksissa Australiassa, New South Walesissa vuosina 2003–2010. He sovelsivat ikä-periodi-kohorttimalleja, joita yleensä käytetään ihmisen terveyteen liittyvissä tutkimuksissa. He kiinnittivät huomiota siihen, että havaintoaineistojen perusteella kolmesta onnettomuusriskistä selittävästä tekijästä (auton iästä, valmistusvuodesta ja tapahtumavuodesta) kahden vaikutus on mahdollista identifioida, kun kiinnitetään kolmannen vaikutus. Tietyillä rajoittavilla oletuksilla he päätyivät siihen, että autojen turvallisuus koheni vuosimallista 1996 alkaen ja että vuosimallista 2004 alkaen kuolemaan johtavan onnettomuuden riski pieneni 12 % ja loukkaantumiseen johtavan onnettomuuden riski 6 % mallivuotta kohden. Kuolemaan johtavan onnettomuuden riski oli 36 % ja loukkaantumiseen johtavan onnettomuuden riski 39 % vuonna 2010 valmistetulla autolla vuosina 1991–1996 valmistettujen autojen riskistä. Mallin mukaan periodivaikutus (tapahtumavuoden vaikutus, joka mittaa ajoympäristössä tapahtunutta muutosta) oli kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa 2 % vuotta kohti tutkimuksen aikavälinä, mutta loukkaantumisiin johtavissa onnettomuuksissa vaikutus oli häviävän pieni.

Norjalaistutkimuksessa (Høye, 2017) tutkittiin henkilöautojen turvallisuuden paranemisen ja niiden massan lisääntymisen vaikutusta kuolleiden tai vakavasti loukkaantuneiden kuljettajien määrään vuosien 2000–2016 aineiston perusteella. Käytetyissä Poissonin regressiomalleissa selittäjinä olivat auton ensirekisteröintivuosi ja massa. Malleissa kontrolloitiin myös onnettomuuden tapahtumavuoden sekä kuljettajan iän ja sukupuolen

vaikutus. Tutkimuksessa havaittiin, että myöhemmin rekisteröidyille autoille tapahtui vähemmän onnettomuuksia ja ne olivat vähemmän vakavia. Vuosina 2014–2016 rekisteröityjen autojen kuljettajat kuolivat tai loukkaantuivat vakavasti keskimäärin 72 % vähemmän kuin vuosimallien 1990–1980 kuljettajat. Toisaalta havaittiin, että riippumatta rekisteröintivuodesta vanhemmilla autoilla 20 ikävuoteen asti oli enemmän ja vakavampia onnettomuuksia kuin uudemmilla autoilla. Raportin mukaan syynä tähän ovat tekniset viat ja vanhempien autojen kuljettajien riskialttiimpi käyttäytyminen. Yli 20-vuotiailla autoille tapahtui iän kasvaessa vähemmän ja vähemmän vaarallisia onnettomuuksia, todennäköisesti ”veteraanivaikutuksen” vuoksi, ts. hyvin vanhojen autojen kuljettajat ajavat vähemmän ja erityisen varovasti. Kevyempien autojen turvallisuus parani jonkin verran enemmän kuin painavien. Painavammille autoille tapahtui keskimäärin vähemmän kuljettajille vakavia useamman kuin yhden ajoneuvon onnettomuuksia, mutta onnettomuudet olivat vakavampia onnettomuuden muille osapuolille.

Henkilöautojen turvallisuuskehitystä on tutkittu myös Suomessa.

Onnettomuustietoinstituutin tutkimuksessa (Räty ja Kari, 2017) tarkasteltiin henkilöautojen kolariturvallisuuden kehitystä ottamalla huomioon auton kokoluokka sekä useita autosta riippumattomia tekijöitä, kuten onnettomuuden tyyppi sekä kuljettajan ikä ja sukupuoli. Tutkimuksessa rajoituttiin kahden auton yhteenajoihin, jolloin oli mahdollista tutkia erikseen oman ja toisen auton kuljettajan riskiä ja yhteisriskiä. Riskejä laskettiin monella tavoin, mutta ajosuoritteeseen perustuva loukkaantumisriski laski vuosina 1990–1994 käyttöön otetuista autoista vuosien 2010–2014 autoihin pienillä autoilla 44 %, keskikokoisilla 57 % ja suurilla 40 %.

Tarkastelun aikaväli oli sama kuin tässä tutkimuksessa, v. 2005–2014, ja lisäksi ajoneuvosuorite perustui katsastuksen yhteydessä kerättyihin matkamittarilukematietoihin, jotka saatiin Liikenteen turvallisuusvirasto Trafikin tietokannoista kuten tässäkin tutkimuksessa. Aiemman tutkimuksen aineisto kuitenkin perustui toiseen Onnettomuustietoinstituutin rekisteriin, joka käsittää vakuutusyhtiöiden lakisääteisestä liikennevakuutuksesta korvaamat liikennevahingot. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuljettajien loukkaantumisia; sen sijaan tässä tutkimuksessa rajoitutaan vakavimpiin, kuolemaan johtaneisiin onnettomuuksiin. Siten tämä tutkimus täydentää aiempaa tutkimusta, vaikka onkin suppeampi eikä ota taustatekijöitä yhtä monipuolisesti huomioon.

1.3. Tutkimusaineistot

Pääasiallinen tutkimusaineisto on poimittu Onnettomuustietoinstituutin ylläpitämästä rekisteristä, johon tallennetaan numeeriset tiedot tutkijalautakuntien tutkimista kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista (OTI, 2016). Tässä tutkimuksessa rajoitutaan vuosien 2005–2014 onnettomuuksiin, joissa on ollut mukana henkilöauto ja ainakin yhdessä osallisista moottoriajoneuvoista ainakin yksi henkilö on kuollut. Analyseissä ovat mukana ns. sairauskohtausonnettomuudet, joissa kaikki uhrin kuolivat tapaturmaisten vammojen sijasta sairauskohtaukseen.

Riskisuhteiden määrittämiseksi tarvitaan myös vertailutietoa erityyppisten riskitekijöiden esiintymisestä eli yleisyydestä liikenteessä. Selvitettäessä eri ikäisten kuljettajien liikennesuoritetta hyödynnetään valtakunnallista henkilöliikennetutkimusta vuosilta 2010–

2011 (Liikennevirasto, 2012) ja sen tilastoaineistoa. Henkilöliikennetutkimus toteutetaan kuuden vuoden välein, ja sen tavoitteena on saada yleiskuva suomalaisten liikkumisesta, siihen vaikuttavista tekijöistä ja henkilöliikennematkojen väestöryhmittäisistä, alueellisista ja ajallisista vaihteluista.

Tutkittaessa alkoholirattijuopumuksen aiheuttamaa riskiä on selvitettävä alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen yleisyys. Tässä hyödynnetään sekä valtakunnallisesta että Uudenmaan ratsiatutkimuksesta julkaistuja tilastoja ja raportteja. Arvioitaessa ylinopeuden aiheuttamaa riskiä tarvitaan tietoa ajoneuvojen nopeusjakaumista Suomen maanteillä. Tässä käytetään liikenteen automaattisten mittausasemien (LAM) avulla kerättyjä tietoja. Tämä data on avointa, ja sen tuotannosta vastaa Finntraffic.

Tarkasteltaessa auton iän aiheuttamaa riskiä tarvitaan tietoa eri-ikäisten autojen liikennesuoritteesta tutkimuksen aikavälinä. Tätä tietoa ei ole suoranaisesti saatavilla, mutta se pyritään arvioimaan käyttämällä hyväksi tietoa eri vuosina ensirekisteröityjen autojen määrästä, autojen käyttöiän jakaumasta ja eri-ikäisillä autoilla keskimäärin ajetuista kilometreistä. Tässä hyödynnetään Traficomien ajoneuvojen avointa dataa, joka sisältää kaikkien liikennekäytössä olevien ajoneuvojen rekisteröinti-, hyväksyntä- ja teknisiä tietoja Traficomien ylläpitämästä liikenneasioiden rekisteristä. Vertaamalla kahden peräkkäisen vuoden aineistoja voidaan arvioida katsastuksessa todettujen matkamittarilukemien perusteella, paljonko ajokilometrejä keskimäärin ajetaan eri ikäisillä autoilla. Toisaalta voidaan arvioida autojen käyttöiän jakaumaa sen perusteella, miten eri-ikäiset autot ovat poistuneet liikennekäytöstä yhden vuoden aikana.

2. Taustatekijöiden vaikutus kuolemaan johtavan liikenneonnettomuuden riskiin

Tässä luvussa tarkastellaan muutamien taustatekijöiden – kuljettajan iän, kuljettajan alkoholin käytön, ylinopeuden ja henkilöauton vuosimallin – vaikutusta kuolemaan johtavien moottoriliikenneonnettomuuksien riskiin. Lopuksi arvioidaan näiden yksittäisten tekijöiden osuutta onnettomuuksien kokonaisriskistä.

2.1. Kuljettajan ikä

Luokittelemme henkilöauton kuljettajan iän seuraaviin kuuteen ryhmään: –19, 20–24, 25–64, 65–74, 75–79, 80–. Arvio siitä, miten paljon eri-ikäiset ajavat henkilöautoa, perustuu valtakunnalliseen henkilöliikennetutkimuksen 2010–2011 aineistoon. Tutkimuksesta on saatavilla tutkimusjulkaisu (Liikennevirasto, 2012) ja tekninen raportti (Pastinen ja muut, 2012). Tilastoaineisto on saatavilla Liikenne- ja viestintävirasto Traficomilta tutkimuskäyttöön. Aineistosta poimittiin tutkimuspäivän matkat kotimaassa, joissa lähtö- eikä määrämaana ollut ulkomaat. Tutkimus ei sisällä ammattikuljettajien ammatissaan tekemiä matkoja, joten vastaavasti onnettomuusaineistosta poistettiin tapaukset, joissa henkilöauton kuljettaja oli ammattiajossa. Liikennesuoritteiden mittarina käytettiin arviota vuorokauden aikana ajetuista kilometreistä.

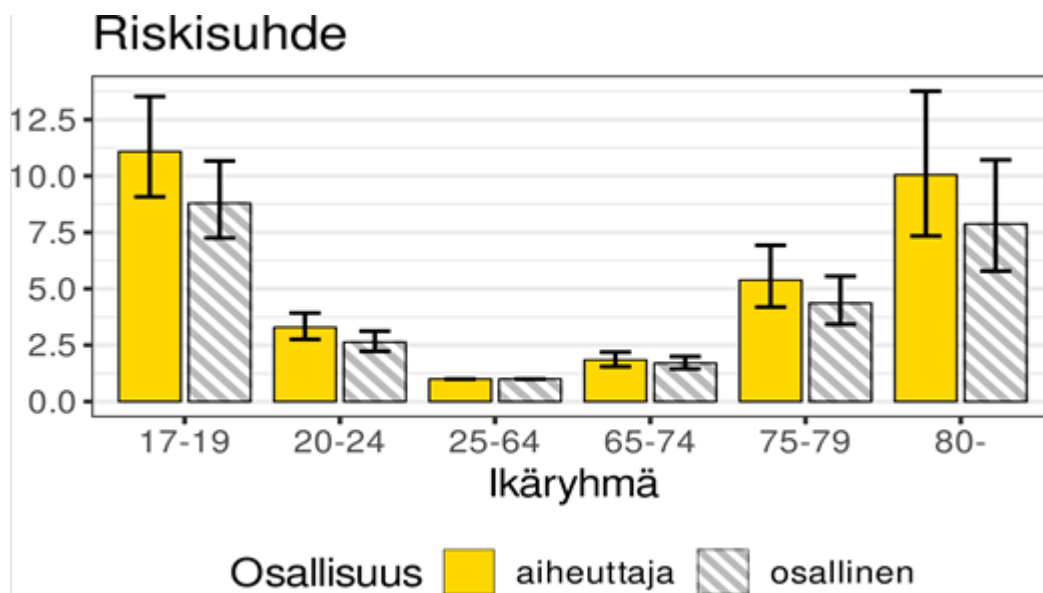
Taulukossa 2.1 on esitetty arviot eri ikäryhmien liikennesuoritteesta, kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien lukumäärä aiheuttajan kuullessa ikäryhmään sekä riskisuhde vertailuryhmän ollessa 25–64-vuotiaat. Aiheuttajiksi lasketaan myös autonkuljettajat yksittäisonnettomuuksissa ja eläinvahingoissa. Riskisuhdetta ja niiden luottamusrajoja on havainnollistettu taulukossa 2.1. Tulosten perusteella nuorimmat ja vanhimmat kuljettajat kuuluvat riskiryhmään. Alle 20-vuotiailla ja 80 vuotta täyttäneillä kuljettajilla on noin kymmenkertainen riski aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus verrattuna 25–64-vuotiaisiin kuljettajiin, kun onnettomuuksien määrä suhteutetaan ajettuihin kilometreihin. Riski 20–24-vuotiailla on noin kolme kertaa ja 75–79-vuotiailla noin viisi kertaa niin suuri kuin vertailuryhmässä.

Onnettomuuden aiheuttajaksi katsotun kuljettajan lisäksi muiden osapuolten toiminnalla on saattanut olla vaikutusta onnettomuuden syntyyn. Riskitekijä on voinut alentaa kykyä kompensoida muiden kuljettajien tekemiä virheitä. Siksi taulukossa 2.1 on esitetty myös riskisuhdet joutua osalliseksi kuolemaan johtavassa liikenneonnettomuudessa henkilöauton kuljettajana. Osallisiksi lasketaan tässä aiheuttajien lisäksi myös muiden onnettomuudessa mukana olleiden henkilöautojen kuljettajat, ja tapauksissa ovat mukana yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot. Taulukosta nähdään, että osallisuuteen perustuvat riskisuhdet ovat jonkin verran pienempiä.

Taulukko 2.1. Eri-ikäisten henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus tai olla sellaisessa osallisena (joko aiheuttajana tai muuna osallisena), vertailuryhmänä 25–64-vuotiaat. Ajosuorite on annettu tuhansina kilometreinä vuorokautta kohti. Riskisuhteiden jälkeen on annettu 90 % luottamusvälit.

Ikäryhmä	Suorite (tkm/vrk)	Onnettomuudet	Riski-suhde aiheuttaa	Riski-suhde aiheuttaa 90 % lv.	Osalliset kuljettajat	Riski-suhde olla osallinen	Riski-suhde olla osallinen 90 % lv.
–19	1840	218	11.1*	9.1–13.5	247	8.8	7.2–10.7
20–24	6342	223	3.3	2.8–3.9	255	2.6	2.2–3.1
25–64	81292	869	1	1–1	1241	1	1–1
65–74	8077	159	1.8	1.5–2.2	210	1.7	1.5–2.0
75–79	1667	96	5.4	4.2–6.9	111	4.4	3.4–5.6
80–	940	101	10.0	7.3–13.8	113	7.9	5.8–10.7

*) Riski arvioidaan suhteuttamalla onnettomuuksien määrä kilometrisuoritteeseen. Riskisuhde puolestaan lasketaan riskien osamääränä. Esim. ensimmäisellä rivillä esiintyvä luku 11.1 lasketaan seuraavasti: $(218/1840) / (869/81292)$.



Kuvio 2.1. Eri-ikäisten henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus (keltaiset pylväät) tai olla osallisena sellaisessa, joko aiheuttajana tai muuna osallisena (raidalliset pylväät), vertailuryhmänä 25–64-vuotiaat. Mustat tangot osoittavat 90 % luottamusvälejä.

Nuorten kuljettajien kohonnut riski johtuu erityisesti kokemattomuudesta, johon liittyy etenkin nuorten miesten osalta omien kykyjen yliarviointi, alkoholinkäyttö ja ylinopeus. Lisäksi nuoret suosivat keskimääräistä vanhempia ja kevytrakenteisempia autoja, jotka ovat vähemmän turvallisia (Räty ja Kari, 2017).

Tulokset vahvistavat aiemmat tulokset, joiden mukaan kuolemaan johtavan onnettomuuden riski suhteutettuna ajokilometreihin kasvaa vanhimmillä kuljettajilla. Riski on jonkin verran kohonnut 70 vuotta täyttäneillä, selkeästi kohonnut 80–84-vuotiailla ja kasvaa nopeasti 85 ikävuoden jälkeen (Cerrelli, 1989). Osittain tämän on katsottu johtuvan suuremmasta todennäköisyydestä joutua onnettomuuteen vanhenemiseen liittyvän aistien sekä henkisen ja fyysisen toimintakyvyn heikkenemisen seurauksena. Toinen syy on, että vanhukset kestävät heikommin rajuja onnettomuuksia fysiologisten ominaisuuksiensa vuoksi. Yli 70-vuotiailla kuljettajilla on selvästi suurempi riski kuolla kuin nuorilla tai keski-ikäisillä saman voimakkuusasteen onnettomuudessa. Edelleen 80–89-vuotiailla riski on selvästi suurempi kuin 70–79-vuotiaiden ryhmässä (Cerrelli, 1989; Evans, 2001). Näin ollen vanhukset ovat liikenteessä vaara ennen kaikkea itselleen.

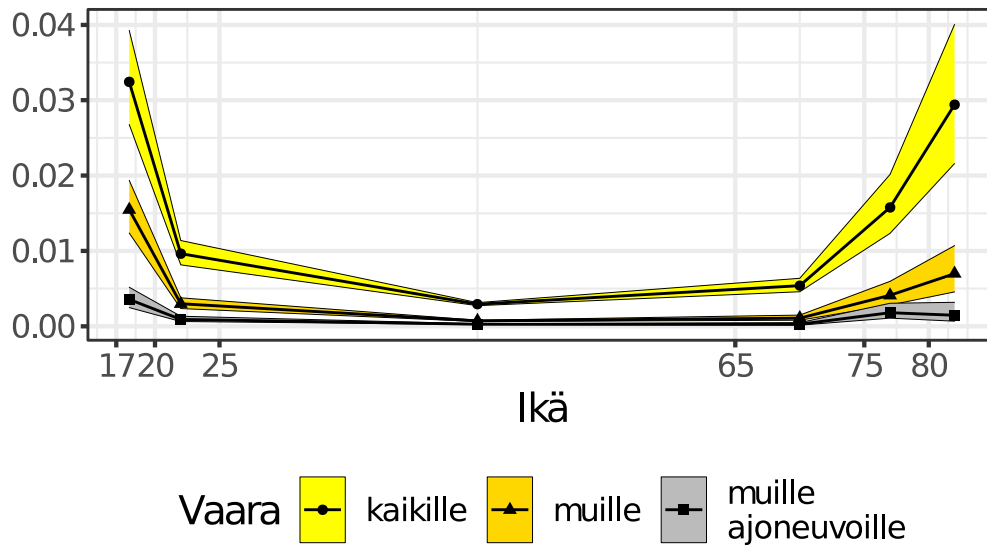
Tutkiaksemme sitä, millaisen riskin eri-ikäiset kuljettajat aiheuttavat muille kuin itselleen, määritämme todennäköisyydet, että kuljettaja aiheuttaa onnettomuuden, jossa joku muu kuin kuljettaja itse menehtyy. Laskuissa ei oteta huomioon sitä, onko kuljettaja mahdollisesti itse menehtynyt. Taulukosta 2.2 ja kuviosta 2.2 (keskimäinen murtoviiva) nähdään, että riski on erityisen korkea 17–19-vuotiaalla kuljettajilla. Heillä kuolemaan johtavan onnettomuuden todennäköisyys miljoonaa ajokilometriä kohti on 3.2 %, ja todennäköisyys jonkun muun kuin kuljettajan menehtymiselle on 1.5 %. Vanhemmissa ikäryhmässä riski on myös kohonnut (riski jonkun muun kuin kuljettajan menehtymiselle on 0.7 % 80 vuotta täyttäneillä), mutta ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti kuin nuorilla. Riskisuhde aiheuttaa onnettomuus, jossa joku muu kuin kuljettaja kuolee, on 17–19-vuotiailla 21.7 (16.9–27.8) ja 80 vuotta täyttäneillä 9.8 (6.3–15.2) verrattuna 25–64-vuotiaisiin (ei raportoitu taulukossa).

Taulukko 2.2. Eri-ikäisten henkilöauton kuljettajien riski aiheuttaa onnettomuus, jossa joku muu kuin kuljettaja itse menehtyy. Ajosuorite on annettu tuhansina kilometreinä vuorokautta kohti. Riskit on annettu prosentteina ja ne ovat todennäköisyyksiä miljoonaa ajettua kilometriä kohden. Riskitodennäköisyyksien jälkeen on annettu 90 % luottamusväli.

Ikäryhmä	Suorite (tkm/vrk)	Onnettomuuksien lkm.	Riski	Riski 90 % lv.
–19	1840	104	1.547*	1.237–1.936
20–24	6342	69	0.298	0.236–0.377
25–64	81292	212	0.071	0.063–0.080
65–74	8077	32	0.108	0.080–0.147
75–79	1667	25	0.411	0.282–0.597
80–	940	24	0.699	0.457–1.069

*) Esim. ensimmäisellä rivillä esiintyvä luku 1.547 on laskettu seuraavasti: $(100 \cdot 1000 \cdot 104) / (10 \cdot 365 \cdot 25 \cdot 1840)$. Jakajana esiintyvä luku on arvio kilometrisuoritteelle 10 vuoden ajalta, jolta aineisto on kerätty.

Riski aiheuttaa onnettomuus / milj. km



Kuvio 2.2. Eri-ikäisten henkilöauton kuljettajien riski aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus (ympyröillä merkitty viiva), riski aiheuttaa onnettomuus, jossa joku muu kuin kuljettaja itse menehtyy (kolmioilla merkitty viiva), ja riski aiheuttaa onnettomuus, jossa joku menehtyy muussa ajoneuvossa kuin onnettomuuden aiheuttajan kuljettamassa henkilöautossa (neliöillä merkitty viiva). Riskit on annettu onnettomuuden todennäköisyytenä miljoona ajettua kilometriä kohden. Väritetyt kaistat osoittavat 90 % luottamusvälejä.

Koska riskin kohoaminen vanhimmissa ryhmissä saattaa johtua osittain siitä, että vanhimmilla kuljettajilla on usein kyydissä iäkkäitä matkustajia, laskimme vielä riskit sille, että joku menehtyy muussa ajoneuvossa kuin onnettomuuden aiheuttajan kuljettamassa henkilöautossa. Tulokset on esitetty taulukossa 2.3 ja havainnollistettu kuviossa 2.2 (alimmainen murtoviiva). Vanhimmilla ikäryhmillä näkyy edelleen jonkin verran kohonnut riski, mutta piste-estimaattien perusteella 80 vuotta täyttäneillä riski näyttää olevan hiukan pienempi kuin 75–79-vuotiailla. Todellisuudessa näin ei kuitenkaan liene asian laita, vaan kyse on tilastollisesta sattumasta. Luottamusvälit ovat melko laajat, koska havaintoja on vähän, ja ero ei ole tilastollisesti merkitseviä.

Taulukko 2.3. Eri-ikäisten henkilöauton kuljettajien riski aiheuttaa onnettomuus, jossa joku menehtyy muussa ajoneuvossa kuin onnettomuuden aiheuttajan kuljettamassa henkilöautossa. Ajosuorite on annettu tuhansina kilometreinä vuorokautta kohti. Riskit on annettu prosentteina ja ne ovat todennäköisyyksiä miljoonaa ajettua kilometriä kohden. Riskitodennäköisyyksien jälkeen on annettu 90 % luottamusvälit.

Ikäryhmä	Suorite (tkm/vrk)	Onnettomuuksien lkm.	Riski	Riski 90 % lv.
–19	1840	24	0.357	0.247–0.517
20–24	6342	21	0.091	0.062–0.133
25–64	81292	81	0.027	0.023–0.033
65–74	8077	8	0.027	0.015–0.049
75–79	1667	11	0.181	0.107–0.306
80–	940	5	0.146	0.067–0.317

lääkäillä kuljettajilla onnettomuusriskiä kasvattavat myös sairauskohtaukset. Sairauskohtaus voi itsessään aiheuttaa kuljettajan menehtymisen, tai se voi johtaa onnettomuuteen, jonka seurauksena kuljettaja ja mahdollisesti muita henkilöitä menehtyy. Taulukossa 2.4 on lukumäärät ja suhteelliset osuudet onnettomuuksille, joissa tutkijalautakunta on arvioinut sairauskohtauksen onnettomuuden välittömäksi riskitekijäksi. Noin neljännes yksittäisonnettomuuksista selittyy sairauskohtauksella ja 3 % muista onnettomuuksista. Alle 25-vuotialla sairauskohtaus ei ollut yhdessäkään tapauksessa onnettomuutta selittävä tekijä, mutta 65 vuotta täyttäneillä sairauskohtausten osuus yksittäisonnettomuuksista oli huomattavan suuri, noin kaksi kolmasosaa.

Taulukko 2.4. Sairauskohtausten osuus ikäryhmittäin kuolemaan johtaneista, henkilöautolla aiheutetuista onnettomuuksista. Vasemmalla yksittäisonnettomuudet ja oikealla muut onnettomuudet.

Ikäryhmä	Sairauskohtaukset yksittäisonnettomuuksissa	Yksittäisonnettomuudet	Sairauskohtaukset yksittäisonnettomuuksissa (%)	Sairauskohtaukset muissa onnettomuuksissa	Muut onnettomuudet	Sairauskohtaukset muissa onnettomuuksissa (%)
–19	0	116	0	0	102	0
20–24	0	117	0	0	106	0
25–64	87	470	24	11	499	2
65–74	48	70	69	6	89	7
75–79	19	29	66	6	67	9
80–	23	38	61	6	63	10
Yhteensä	177	740	24	29	926	3

2.2 Kuljettajan juopumus

Tutkiessamme rattijuopumuksen vaikutusta luokittelemme kuljettajat veren alkoholipitoisuuden mukaan seuraavasti: raittiit, vähän maistelleet (0.01–0.19 ‰), paljon maistelleet (0.20–0.49 ‰) ja rattijuopot (0.50–1.19 ‰) ja törkeät rattijuopot (1.20 ‰–). Valtakunnallisen ratsiatutkimuksen perusteella rattijuoppojen osuus liikennevirrasta oli vuosina 1988–1999 keskimäärin 0.20 % (Löytty, 2013). Vuosien 2000 ja 2009 välisenä aikana osuus oli hieman alhaisempi, keskimäärin 0.16 %, ja vuosina 2010–2017 keskimäärin 0.13 % (Poliisihallitus, 2019). Alkoholiammaistelleiden (alkoholipitoisuus <0.05 ‰) osuus on vaihdellut rattijuoppojen osuutta enemmän. 1990-luvun alkupuolelle paljon maistelleiden osuus liikennevirrasta oli noin puoli prosenttia. Tämän jälkeen heidän osuutensa alkoi voimakkaasti nousta ja oli yli prosentin vuosina 1999 ja 2001. Vuosina 2002–2017 heidän osuutensa on vaihdellut välillä 0.55–0.94 %, ollen alhaisimmillaan vuosina 2011 ja 2012.

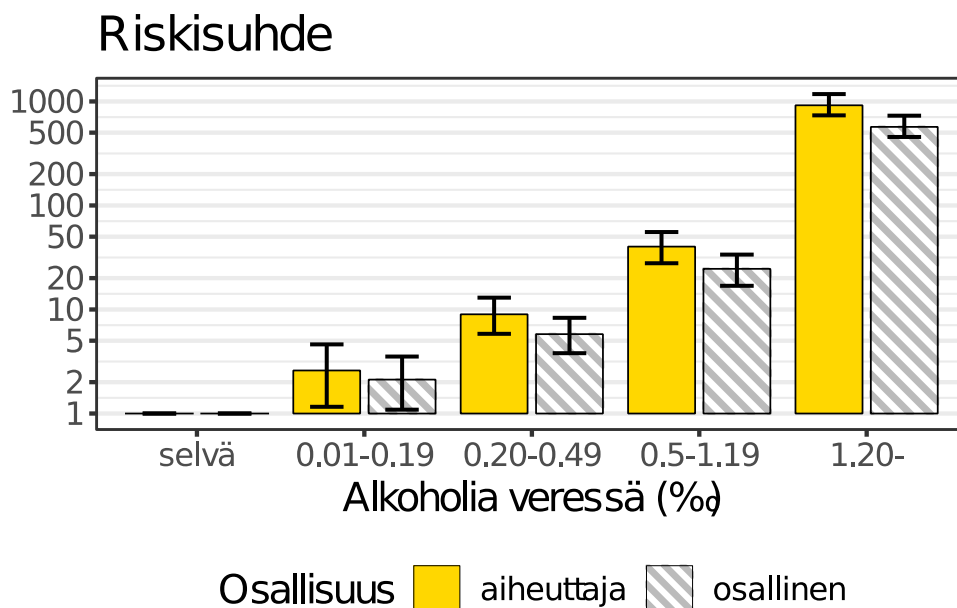
Tässä tutkimuksessa arvio alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisesta perustuu Uudenmaan R-tutkimuksista julkaistuihin raportteihin (Portman ja muut, 2011, 2012) sekä valtakunnallisten R-tutkimusten tuloksiin. Valtakunnallisissa tutkimuksissa rattijuoppojen osuus on ollut hiukan alhaisempi kuin Uudenmaan tutkimuksissa (Niemi, 2016), mutta tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia mm. erilaisten mittausmenetelmien vuoksi. R-tutkimusten tuloksissa ovat mukana kaikkien moottoriajoneuvojen kuljettajat, kun taas tässä tutkimuksessa keskitytään henkilöautojen kuljettajiin. Tämä saattaa aiheuttaa pientä harhaa tuloksiin.

Taulukossa 2.5 ja sitä havainnollistavassa kuviossa 2.3 on esitetty alkoholin käytön riskisuhteet veren eri alkoholipitoisuuksilla onnettomuustilaston sekä maistaneiden ja rattijuoppojen arvioidun esiintyvyyden perusteella. Luvuissa ovat mukana myös yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot. Koska tarkoitus on tutkia nimenomaan alkoholin aiheuttamaa riskiä, tapauksista poistettiin ne, joissa kuljettaja käytti huumausaineita tai ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavia lääkkeitä, hän sai sairauskohtauksen tai hänen todettiin tehneen itsemurhan. Pikkumaistissa (0.01–0.19 ‰) ajaminen näyttää jo lisäävän riskiä kuolemaan johtavan liikenneonnettomuuden aiheuttamisesta, ja riski on noin 2.6-kertainen verrattuna selviin kuljettajiin. Isommassa maistissa (0.20–0.49 ‰) riski on noin 9-kertainen, rattijuopoilla noin 40-kertainen ja törkeillä rattijuopoilla noin 900-kertainen. Tässä on huomattava luokittelu: esimerkiksi riski normaalin rattijuopumuksen ylärajalla (1.2 ‰) on huomattavasti korkeampi kuin sen alarajalla (0.5 ‰).

Aiheuttajaksi katsotun henkilön lisäksi onnettomuuden muiden osapuolten toiminnalla on saattanut olla merkitystä onnettomuuden syntyyn. Lisäksi alkoholin vaikutuksen alaisena ajaminen vähentää kykyä reagoida muiden tekemiin virheisiin. Siksi taulukossa 2.5 on annettu myös kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa mukana olleiden henkilöauton kuljettajien – sekä aiheuttajien että muiden osapuolten – lukumäärät sekä niihin perustuvat riskisuhteet (taulukon oikeanpuoleiset sarakkeet). Riskisuhteita osoittavat kuvion 2.3 oikeanpuoleiset pylväät. Taulukoista havaitaan, että aiheuttamiseen perustuvat riskisuhteet ovat korkeampia. Taulukosta ilmenee myös, että lähes kaikissa tapauksissa alkoholia nauttinut kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi.

Taulukko 2.5. Alkoholia nauttineiden henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus (vasemmalla) tai olla sellaisessa mukana, joko aiheuttajana tai muuna osallisena (oikealla). Myös riskisuhteiden 90 % luottamusvälit on annettu. Puhallutettujen jakauma valtakunnallisista ratsiatutkimuksista 2005–2014. Julkaistuissa tilastoissa ei ole kuitenkaan vähän maistelleiden (<0.2 ‰) eikä törkeiden rattijuoppojen (≥1.2 ‰) osuutta vaan nämä on arvioitu käyttäen Uudenmaan R-tutkimuksen vuosilta 2005–2008 julkaistuja tietoja.

Alkoholia veressä ‰	Puhallutetut	Onnettomuudet	Riskisuhde aiheuttaa	Riskisuhde aiheuttaa 90 % lv.	Osalliset kuljettajat	Riskisuhde olla osallinen	Riskisuhde olla osallinen 90 % lv.
0	940427	671	1	1–1	1097	1	1–1
0.01–0.19	3244	6	2.59	1.16–4.61	8	2.11	1.09–3.52
0.20–0.49	2811	18	8.97	5.83–13.0	19	5.79	3.81–8.31
0.50–1.19	907	26	40.2	27.8–55.4	26	24.6	16.9–33.6
1.20 –	406	266	918	734–1170	269	568	456–728

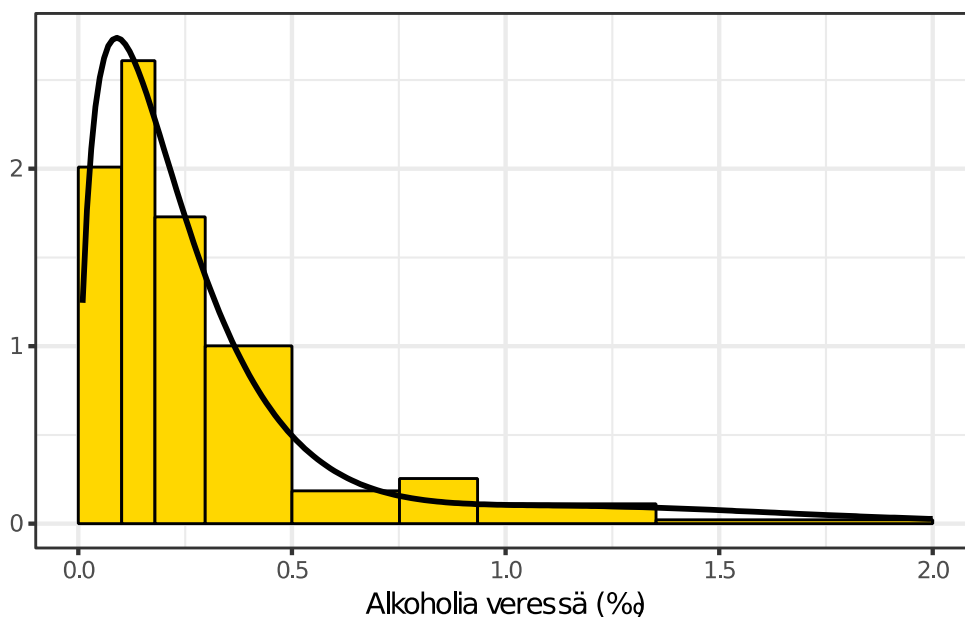


Kuvio 2.3. Alkoholia nauttineiden henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus (keltaiset pylväät) tai olla sellaisessa mukana, joko aiheuttajana tai muuna osallisena (raidalliset pylväät). Mustat tangot osoittavat 90 % luottamusvälejä.

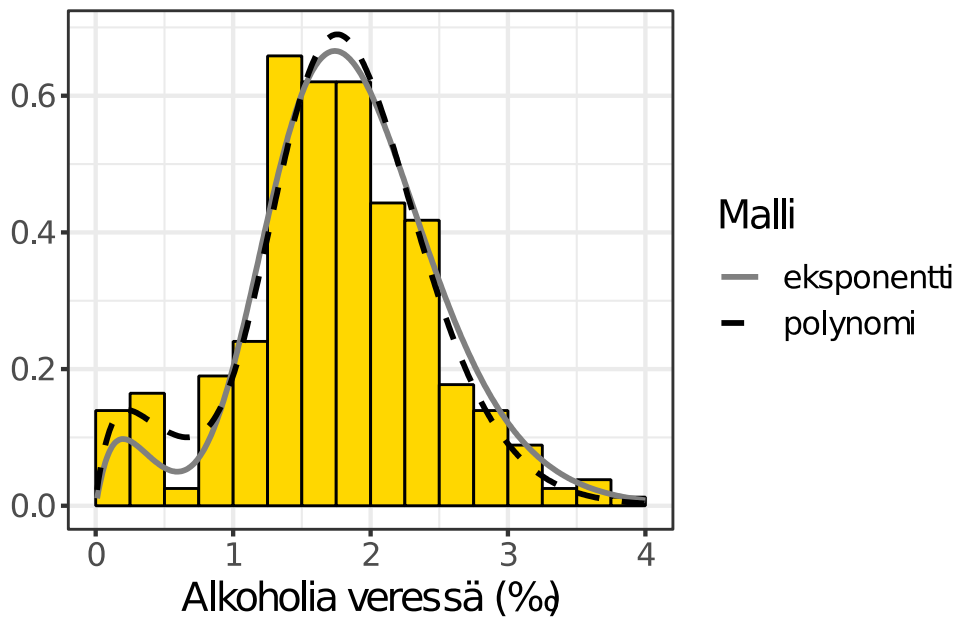
Alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen esiintyvyyttä liikenteessä voidaan likimain kuvata kahden jakauman sekoituksen avulla. Uudenmaan liikennevirtatutkimusten (R-tutkimusten) raporteissa (Portman ja muut, 2011, 2012) on esitetty kvartiilit sekä maistelleiden että rattijuoppojen jakaumille. Yhdistämällä vuosien 2005–2008 tulokset saadaan kuviossa 2.4

esitetty histogrammi. Näyttäisi siltä, että alkoholia nauttineet koostuvat kahdesta ryhmästä. Selkeästi suurin ryhmä koostuu niistä, jotka pyrkivät pitämään alkoholin käytön maltillisena niin, ettei rattijuopumuksen raja (0.5 ‰) ylity. Toinen ryhmä ei rajoita alkoholin käyttöönsä, jolloin alkoholin jakauman vaihteluväli on paljon suurempi. Sama ilmiö on nähtävissä myös kuviossa 2.5, jossa on esitetty veren alkoholipitoisuuden jakauma alkoholia nauttineiden osalta onnettomuusaineistossa.

R-tutkimuksen aineistoon on sovitettu kahden gammajakauman, joilla on eri muotoparametri, sekajakauma. Sovitettu tiheysfunktio näkyy kuviossa 2.4. Oletamme lisäksi, että alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen riskiä verrattuna selvin päin ajamiseen kuvaa käyrä $r(x) = 1 + \gamma_1x + \gamma_2x^2 + \gamma_4x^4$, missä x on alkoholin määrä veressä (‰). Parametrien estimaateiksi (posterioriodotusarvo ja -hajonta) saadaan $\hat{\gamma}_1 = 10.6$ (5.6), $\hat{\gamma}_2 = 17.8$ (13.9), ja $\hat{\gamma}_4 = 82.1$ (12.6). Aiemmassa tutkimuksessa käytetty eksponenttimalli $r(x) = \exp(\gamma x)$ (estimaatti $\hat{\gamma} = 4.2$ (0.1)) sopii aineistoon hiukan huonommin. Estimaatit perustuvat Uudenmaan R-tutkimuksen tuloksiin v. 2005–2008, valtakunnallisen R-tutkimuksen tuloksiin v. 2005–2014 sekä onnettomuusaineistoon. Valtakunnallinen aineisto ei sisällä informaatiota taustajakauman muodosta, koska siinä alkoholia nauttineet on luokiteltu ainoastaan kahteen ryhmään: maistelleisiin ja rattijuoppoihin. Sen sijaan Uudenmaan tulosten perusteella taustajakauma voidaan karkeasti selvittää. Käytetty malli ja eri lähteistä peräisin olevan informaation yhdistäminen on kuvattu tarkemmin liitteessä B.



Kuvio 2.4. Alkoholin vaikutuksen alaisena ajamisen esiintyvyys liikennevirrassa Uudenmaan R-tutkimusten 2005–2008 perusteella.



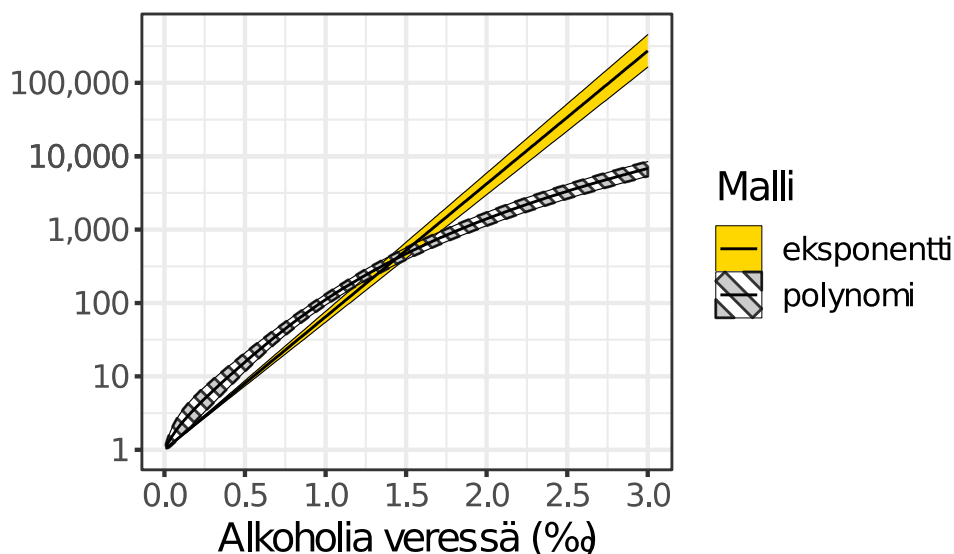
Kuvio 2.5. Veren alkoholipitoisuuden jakauma alkoholia nauttineilla kuolemaan johtavan onnettomuuden aiheuttaneilla henkilöauton kuljettajilla. Sovitetut tiheysfunktiot perustuvat malliin, joka ottaa huomioon myös puhallutuksiin perustuvan jakauman ja suhteellisen riskin käyrän. Eksponenttifunktioon perustuva tiheysfunktio on esitetty harmaalla, kiinteällä viivalla ja polynomifunktioon perustuva katkoviivalla.

Alkoholin jakauman tiheysfunktio alkoholia nauttivilla ja kuolemaan johtavaan liikenneonnettomuuteen joutuvilla on verrannollinen taustajakauman tiheysfunktion ja riskifunktion tuloon, ja kahta sovitettua riskifunktiota vastaavat tiheysfunktio on esitetty kuviossa 2.5. Kuvion perusteella eksponenttinen riskifunktio aliarvioi riskiä alle 0.5 ‰ pitoisuuksilla. Polynomifunktio puolestaan näyttäisi yliarvioivan riskiä pitoisuuksilla 0.5–0.75 ‰, mutta tämä selittyy ainakin osittain sillä, että taustajakauma (kahden gammajakauman sekoitus) yliarvioi liikennesuoritetta tällä välillä (vrt. kuvio 2.4). Riskisuhdetta kuvaava käyrät on esitetty kuviossa 2.6 logaritmisella asteikolla. Taulukossa 2.6 on laskettuna polynomiseen riskifunktioon perustuvat riskisuhteet muutamilla veren alkoholipitoisuuden arvoilla. Lisäksi taulukossa on esitetty arvioidut riskisuhteet olla osallisena kuolemaan johtavassa liikenneonnettomuudessa. On huomattava, että riskisuhteiden estimaatit yli 2.5 ‰ pitoisuuksilla eivät ole enää luotettavia, koska näillä pitoisuuksilla havaintoja ei ole paljon onnettomuusaineistossa eikä tausta-aineistoissa.

Riskisuhteiden estimointiin voivat vaikuttaa useat sekoittavat tekijät. Esimerkiksi vuorokaudenaika ja viikonpäivä voivat selittää alkoholin vaikutuksen alaisina ajavien kuljettajien esiintyvyyttä liikenteessä ja myös muita riskitekijöitä, kuten väsyneenä ajamista. Taulukon 2.7 mukaan Uudenmaan liikenteessä oli v. 1990–2008 tiistai-iltapäivisin ja -iltapäivisin maistelleita noin 0.2–0.3 ‰, tiistai-iltaöisin ja lauantai-iltapäivisin noin 0.7–0.8 ‰ ja lauantai-iltaöisin 0.8–0.9 ‰. Rattijuoppoja esiintyi vähiten tiistai-iltapäivisin, noin 0.10 ‰, ja eniten lauantai-iltapäivisin, noin 0.35 ‰. Kuviossa 2.7 on esitetty rinnakkain onnettomuuksien ja puhallutusten jakautuminen eri ajankohtiin. Tiistaisin tehtyjen puhallutusten oletetaan edustavan kaikkia arkipäiviä ja lauantaisin tehtyjen koko

viikonloppua. Jakaumat eivät poikkea toisistaan huomattavasti, joten voisi ajatella puhallutusten antavan realistisen kuvan alkoholin aiheuttamasta riskistä liikenteessä.

Riskisuhde



Kuvio 2.6. Alkoholia nauttineiden riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus henkilöautolla. Eksponenttifunktioon perustuva riskikäyrä ja siihen liittyvä 90 % luottamusvyö on esitetty keltaisella värillä ja siihen liittyvä 90 % luottamusvyöineen raitakuviolla.

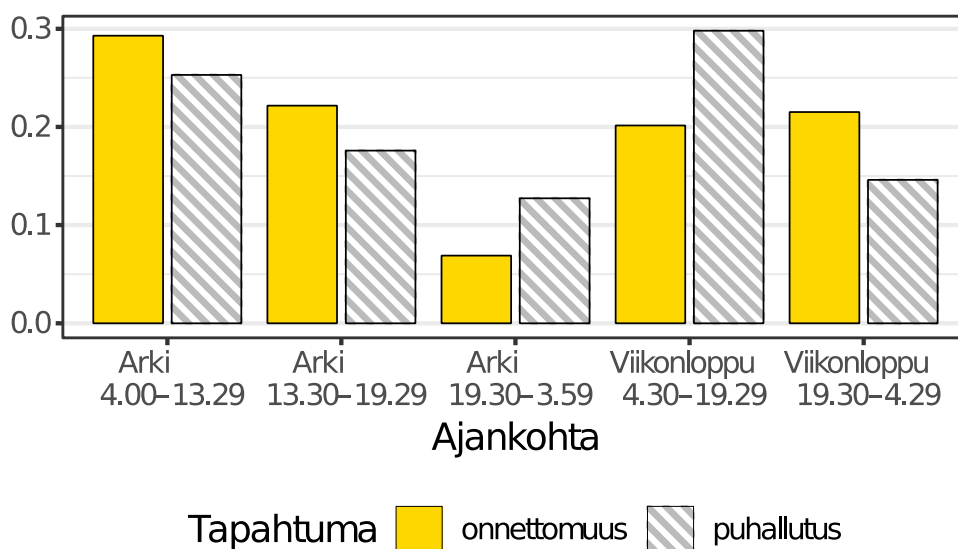
Taulukko 2.6. Alkoholia nauttineiden henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus sekä riskisuhde joutua tällaiseen onnettomuuteen, joko aiheuttajana tai muuna osallisena. Taulukossa on myös riskisuhdeiden 90 % luottamusvälit.

Alkoholia veressä ‰	Riskisuhde aiheuttaa	Riskisuhde aiheuttaa 90 % lv.	Riskisuhde olla osallinen	Riskisuhde olla osallinen 90 % lv.
0.1	2.2	1.5–3.2	1.8	1.3–2.4
0.2	3.9	2.5–5.7	2.8	2–4
0.3	6.3	4.3–9	4.3	3–6.1
0.4	10	7.1–14	6.6	4.7–9
0.5	16	12–21	10	7.5–13
0.7	36	30–46	23	18–28
1	110	94–130	68	58–80
1.2	210	180–250	130	110–150
1.5	470	390–560	290	240–340
2	1400	1100–1700	850	690–1000
2.5	3300	2600–4100	2000	1600–2500
3	6800	5300–8500	4100	3200–5200
4	21000	16000–27000	13000	10000–16000

Taulukko 2.7. Maistelleiden ja rattijuoppojen osuudet sekä niiden 90 % luottamusvälit Uudenmaan ratsiatutkimuksessa 1990–2008.

Ajankohta	Maistelleet (%)	Maistelleet (%) 90 % lv.	Ratti-juopot (%)	Ratti-juopot (%) 90 % lv.	Puhallutetut
Tiistai, aamu	0.28	0.26–0.30	0.17	0.15–0.19	137209
Tiistai, iltapäivä	0.25	0.22–0.27	0.10	0.09–0.12	95400
Tiistai, iltayö	0.76	0.71–0.81	0.20	0.17–0.23	69044
Lauantai, aamu	0.77	0.73–0.80	0.35	0.33–0.38	161627
Lauantai, iltayö	0.85	0.80–0.91	0.25	0.22–0.28	79215

Suhteellinen osuus



Kuvio 2.7. Onnettomuuksien ja puhallutusten jakautuminen eri ajankohtiin. Puhallutettujen jakauma Uudenmaan ratsiatutkimuksessa 1990–2008; kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien jakauma vuosilta 2005–2014. Kuvion luokittelussa viikonloppu alkaa perjantai-iltana klo 19.30 ja päättyy sunnuntaina klo 19.29.

Pyrimme poistamaan ajankohdan vaikutuksen vakioimalla onnettomuuden ja alkoholin käytön todennäköisyydet viikonajan suhteen ja laskemalla tähän perustuvat vakioidut riskisuhteet (ns. kausaaliset riskisuhteet, ks. määritelmä kappaleesta 1.1.1). Uudenmaan ratsiatutkimuksen v. 1990–2008 yhteenvetotuloksista saadaan raittiiden, maistelleiden ja rattijuoppojen esiintyvyys eri viikonaikoina (Portman ja muut, 2012, 2011, taulukot 10 ja 11). Lisäksi saadaan vetokerroin paljon maisteleemiselle (Portman ja muut, 2012, taulukko 75) ja riskisuhde törkeälle rattijuoppoudelle kunakin viikonaikana (Portman ja muut, 2011, taulukko 70). Oletamme, että näissä ei ole tapahtunut oleellista muutosta Uudenmaan tutkimuksen jälkeen ja että luvut ovat riittävän edustavia koko maata koskevan analyysin kannalta. Lisäksi vuosien 2005–2008 tietoja käytetään arvioimaan vähän maistelleiden osuus kaikista maistelleista (Portman ja muut, 2012, taulukko 18) ja törkeiden rattijuoppojen osuus kaikista rattijuopoista (Portman ja muut, 2011, taulukot 2 ja 3). Valtakunnallisen ratsiatutkimuksen (Poliisihallitus, 2019) perusteella arvioidaan

maistelleiden ja rattijuoppojen esiintyvyys liikenteessä tämän tutkimuksen aikavälinä 2005–2014.

Tulokset on esitetty taulukossa 2.8 a). Vertaamalla taulukkoon 2.5 näemme, että törkeää rattijuoppoutta lukuun ottamatta viikonajan suhteen vakioidut riskisuhteet ovat hieman korkeammat kuin tavanomaiset riskisuhteet. Tämä johtuu siitä, että puhallutuksia on suhteessa enemmän ajankohtina, joihin ajetaan alkoholin vaikutuksen alaisina enemmän, jolloin alkoholin vaikutuksen ajamisen yleisyys tulee yliarvioitua laskettaessa tavanomaisia riskisuhteita. Erot eivät kuitenkaan ole suuria, varsinkin kun otetaan huomioon estimaattien epätarkkuus.

Toinen mahdollinen sekoittava tekijä, joka vaikuttaa yhdessä alkoholin käytön kanssa, on kuljettajan ikä. Vaikka erot eri ikäryhmien välillä eivät ole kovin suuria (Uudenmaan ratsiatutkimuksen mukaan), pyrimme kuitenkin vakioimaan tulokset iän suhteen. Määrittäessämme alkoholin käytön ja iän yhteisjakaumaa käytämme samoja tietolähteitä kuin ajankohdan suhteen vakioinnissa. Uudenmaan ratsiatutkimuksen yhteenvetotuloksista 1990–2008 poimittiin maistelleiden ikäjakauma ja vähän maistelleiden vetosuhteet (Portman ja muut, 2012, taulukot 20, 21 ja 75) sekä rattijuoppojen ikäjakauma (Portman ja muut, 2011, taulukot 18 ja 20). Rattijuopumuksen törkeys ja ikä oletettiin riippumattomiksi, koska julkaisussa Portman ja muut (2011) oli raportoitu ainoastaan törkeän rattijuopumuksen riskisuhteet miesten osalta ja miehilläkään tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta ei ollut. Raittiiden kuljettajien ikäjakaumaa ei ollut raportissa mutta se laskettiin maistelleiden vetosuhteiden avulla (Portman ja muut, 2012, taulukko 73). Vakioinnissa ikä jaettiin kolmeen ryhmään: alle 20-vuotiaat, 21–34-vuotiaat ja 35 vuotta täyttäneet.

Verrattaessa taulukoita 2.8 b) ja 2.5 havaitaan, että vakiointi iän suhteen nostaa rattijuoppojen riskisuhteita. Tämä johtuu siitä, että riski aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus on suurin nuorilla, alle 20-vuotiailla kuljettajilla, joilla rattijuopumuksen esiintyvyys on pienempi (noin puolet 20–34-esiintyvyydestä vuosina 1990–2008). Kun ikävakiointia ei tehdä, rattijuopumuksen aiheuttama riski tulee aliarvioitua. Rattijuopumuksen (erityisesti törkeän rattijuopumuksen) yhteydessä esiintyy usein myös ylinopeutta, mutta koska ylinopeuden voi näissä tapauksissa olettaa aiheutuvan rattijuopumuksesta eikä päin vastoin, emme pyri poistamaan ylinopeuden vaikutusta.

Lisäksi sukupuolten välillä vallitsee suuri ero. Miesten riski ajaa maistelleena on noin kolminkertainen naisiin verrattuna ja rattijuopumuksen riski yli viisinkertainen (Portman ja muut, 2011, 2012). Kuten edellisissä tarkasteluissa käytämme valtakunnallisen R-tutkimuksen (Poliisihallitus, 2019) tuloksia vuosilta 2005–2014 arvioimaan maistelleiden ja rattijuoppojen esiintyvyyttä. Maistelemisen määrän ja rattijuoppouden törkeyden jakaumat sukupuolittain perustuvat Uudenmaan tutkimuksen tuloksiin vuosilta 2005–2008 (Portman ja muut, 2012, 2011, taulukot 2 ja 3). Raporteissa ei mainita puhallutettujen kokonaismäärää sukupuolittain, mutta henkilöliikennetutkimuksen (Liikennevirasto, 2012) perusteella arvioitiin, että miesten osuus henkilöauton kuljettajista oli 66.6 %.

Vertailemalla taulukoita 2.8 c) ja 2.5 havaitaan, että vakioidut riskisuhteet ovat ei-törkeän rattijuoppouden osalta hieman alemmat. Tämä johtuu siitä, että naisrattijuopoilla riski aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus oli tutkimusaineiston perusteella jonkin

verran pienempi kuin miehillä ja toisaalta naisrattijuoppojen esiintyvyys oli huomattavasti pienempi. Jos tätä ei oteta huomioon, riskisuhde tulee yliarvioitua. Yleisesti ottaen ei ole vakuuttavaa tutkimusnäyttöä siitä, että sukupuolien välillä olisi eroa alkoholin ajokykyä heikentävässä vaikutuksessa (Martin ja muut, 2013).

Yhdysvalloissa on tehty sarja vertailukelpoisia tutkimuksia, joissa tilastoja kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista on yhdistetty tienvarsilla tehtyihin kyselyihin ja puhallutuksiin (Zador, 1991; Zador, Krawchuk ja Voas, 2000; Voas ja muut, 2012; Romano ja muut, 2018). Näissä tutkimuksissa on käytetty logistisia regressiomalleja, joissa selittäjinä ovat veren alkoholipitoisuuden lisäksi ikä ja sukupuoli. Tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin tässä tutkimuksessa: kun veren alkoholipitoisuus kasvaa 0.2 promilleyksikköä, riski sille, että kuljettaja kuolee yhden ajoneuvon onnettomuudessa noin kaksinkertaistuu. Lisäksi veren alkoholipitoisuuden kasvuun liittyvä riskin lisääntyminen näytti olevan suurempaa 16–20-vuotiailla kuin muilla ikäryhmillä.

Tässä suomalaisaineistolla tehdyssä tutkimuksessa eksponenttimallin sovituksen perusteella veren alkoholipitoisuuden kasvu 0.2 promilleyksiköllä nostaa todennäköisyyden aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus noin 2.3-kertaiseksi. Ero saattaa selittyä sillä, että osallisten kuljettajien ryhmitykset yhdysvaltalais tutkimuksessa eivät tarkalleen vastaa tässä käytettyä (esim. yhtenä ryhmänä tarkastellaan yksittäisonnettomuuksia, joissa kuljettaja on menehtynyt) tai sillä, että tutkimus on rajattu viikonloppuöihin ja päällystettyihin teihin, jotka eivät ole osavaltioiden välisiä teitä tai muita moottoriteitä.

Taulukko 2.8. Alkoholia nauttineiden henkilöauton kuljettajien riskisuhde aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus tai olla sellaisessa osallisena (aiheuttajana tai muuna osallisena), kun tulokset vakioidaan ajankohdan, kuljettajan iän tai kuljettajan sukupuolen suhteen. Myös riskisuhteiden 90 % luottamusvälit on annettu. Puhallutettujen jakauma valtakunnallisista ratsiatutkimuksista 2005–2014. Julkaistuissa tilastoissa ei ole kuitenkaan vähän maistelleiden (<0.2 ‰) eikä törkeiden rattijuoppojen (≥1.2 ‰) osuutta vaan nämä on arvioitu käyttäen Uudenmaan R-tutkimuksen vuosilta 2005–2008 julkaistuja tietoja. Saman tutkimuksen perusteella on arvioitu myös ajankohdan, kuljettajan iän ja kuljettajan sukupuolen vaikutus alkoholin vaikutuksen alaisena ajamiseen. Sukupuolen osalta on käytetty aikavälin 2005–2008 tietoja mutta iän ja ajankohdan osalta aikavälin 1990–2008 tietoja. Kuljettajien sukupuolijakauma on kuitenkin arvioitu valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen 2010–2011 perusteella.

a) Vakiointi ajankohdan suhteen

Alkoholia veressä ‰	Puhallutetut	Onnettomuudet	Riskisuhde aiheuttaa	Riskisuhde aiheuttaa 90 % lv.	Osalliset kuljettajat	Riskisuhde osallistua	Riskisuhde osallistua 90 % lv.
0	940427	671	1	1–1	1097	1	1–1
0.01–0.19	3244	6	3.16	1.43–6.43	8	2.31	1.15–4.39
0.20–0.49	2811	18	9.25	5.98–14.4	19	6.45	4.22–10.0
0.50–1.19	907	26	52.6	36.0–87.4	26	32.2	22.2–52.9
1.20 –	406	266	880	723–1240	269	545	448–767

b) Vakiointi iän suhteen

Alkoholia veressä ‰	Puhallutetut	Onnettomuudet	Riskisuhde aiheuttaa	Riskisuhde aiheuttaa 90 % lv.	Osalliset kuljettajat	Riskisuhde osallistua	Riskisuhde osallistua 90 % lv.
0	940427	671	1	1–1	1097	1	1–1
0.01–0.19	3244	6	3.68	1.57–6.93	8	2.76	1.33–4.94
0.20–0.49	2811	18	9.71	6.18–14.2	19	6.25	4.05–9.00
0.50–1.19	907	26	56.7	36.0–85.1	26	34.7	22.1–52.4
1.20 –	406	266	1190	881–1620	269	732	541–991

c) Vakiointi sukupuolen suhteen

Alkoholia veressä ‰	Puhallutetut	Onnettomuudet	Riskisuhde aiheuttaa	Riskisuhde aiheuttaa 90 % lv.	Osalliset kuljettajat	Riskisuhde osallistua	Riskisuhde osallistua 90 % lv.
0	940427	671	1	1–1	1097	1	1–1
0.01–0.19	3244	6	2.64	1.14–5.22	8	2.03	0.999–3.64
0.20–0.49	2811	18	9.24	5.78–14.2	19	5.89	3.74–8.93
0.50–1.19	907	26	35.0	23.0–58.4	26	21.4	14.1–35.4
1.20 –	406	266	962	718–1480	269	586	444–888

2.3 Ylinopeus

Tässä luvussa pyrimme arvioimaan henkilöauton ylinopeuden aiheuttamaa riskiä kuolemaan johtavalle liikenneonnettomuudelle. Riskin arviointia vaikeuttavat monet sekoittavat tekijät, ja siksi tarkastelemme sitä rajatuissa olosuhteissa. Rajoitumme tarkastelemaan kesäaikaa, toukokuun alusta syyskuun loppuun, koska vaihtelevien talvikeliä ottaminen huomioon olisi vaikeaa ja lisäksi havaintoja varsinaiselta talviajalta on vähemmän. Rajoitumme tarkastelemaan teitä, joilla on yksi kaista yhteen suuntaan ja joko 80 km/h tai 100 km/h nopeusrajoitus. Näistä jälkimmäinen voi olla pysyvä rajoitus tai kesärajoitus.

Arvioimme autojen nopeusjakaumia käyttäen liikenteen automaattisten mittausasemien (LAM) avulla kerättyjä tietoja. Nämä tiedot ovat avointa dataa, ja niiden tuotanto siirtyi Finntrafficille 1.1.2019. Siirtymäkaudella jakelusta vastaa Väylävirasto (ks. <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata/tiestotiedot/lam-tiedot>).

Arvioidaksemme nopeusjakaumaa 80 km/h rajoitusalueilla poimimme satunnaisesti mittaustiedot 20 päivältä aikaväliltä 1.5–30.9.2010, jolloin otokseen tuli 187932 paketti- tai henkilöauton nopeudet. Nopeusjakauman arvioimiseksi 100 km/h alueella poimimme tiedot 50 päivältä, jolloin otokseen tuli 281906 auton nopeudet. Mittauspisteet valittiin satunnaisesti niin, että todennäköisyys valita mittauspiste oli verrannollinen sen liikennemäärään. Mittauksissa ei eroteltu henkilö- ja pakettiautoja. Tässä tutkimuksessa kuitenkin keskitytään henkilöautojen riskiin, joten tulokset saattavat olla jossain määrin harhaisia, jos henkilö- ja pakettiautojen nopeusjakaumat poikkeavat paljon toisistaan.

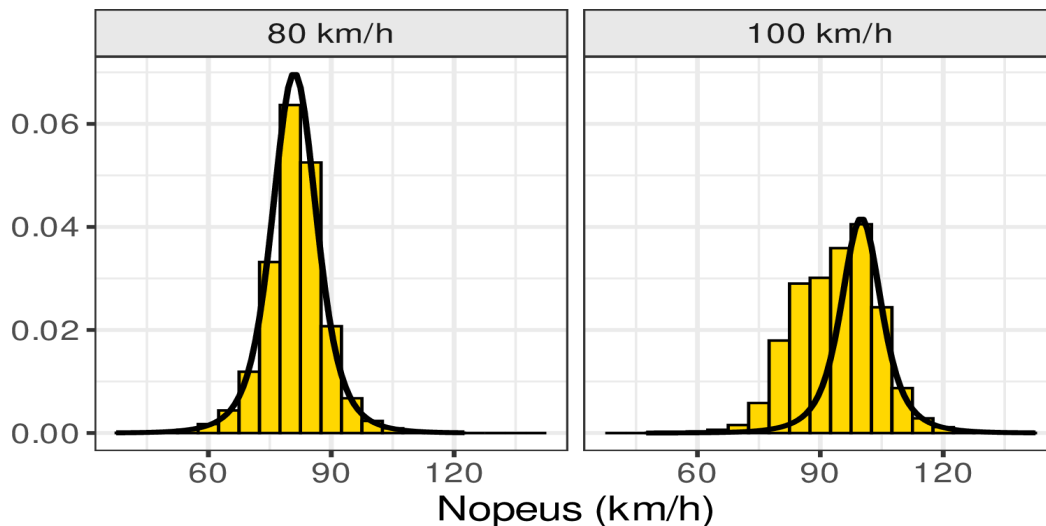
Kummankin jakauman mallintamiseksi käytettiin kahden t-jakauman sekoitejakaumaa, missä komponenttijakaumilla oli samat sijainti- ja muotoparametrit mutta eri skaalaparametrit. Näin oli mahdollista saada jakauma sopimaan sekä jakauman keskiosaan että oikeaan häntään. Vasemmalla hännällä ei ole merkitystä ylinopeuden aiheuttaman riskin mallintamisessa joten nopeusrajoitusta pienempiä havaintoja ei otettu huomioon estimoinnissa. Kuviossa 2.8 on esitetty näiden nopeusjakaumien histogrammikuviot sekä sovitettujen jakaumien käyrät. Aineistossa oli myös jonkin verran hyvin pieniä ja hyvin suuria nopeuksia, jotka eivät näy histogrammeissa. Jakaumat ja niihin liittyvät estimointitulokset on esitelty tarkemmin liitteessä C.

Ylinopeuden aiheuttamaa riskiä arvioitiin kahdella aikaisemmissa tutkimuksissa sovelletulla mallilla: eksponenttimallilla ja potenssimallilla (International Transport Forum, 2018). Eksponenttimallissa riskisuhde, kun verrataan nopeudella x ajamista nopeudella x_0 ajamiseen, on

$$r(x) = e^{\beta(x-x_0)}.$$

Vastaava suhde potenssimallilla on

$$r(x) = (x/x_0)^k.$$



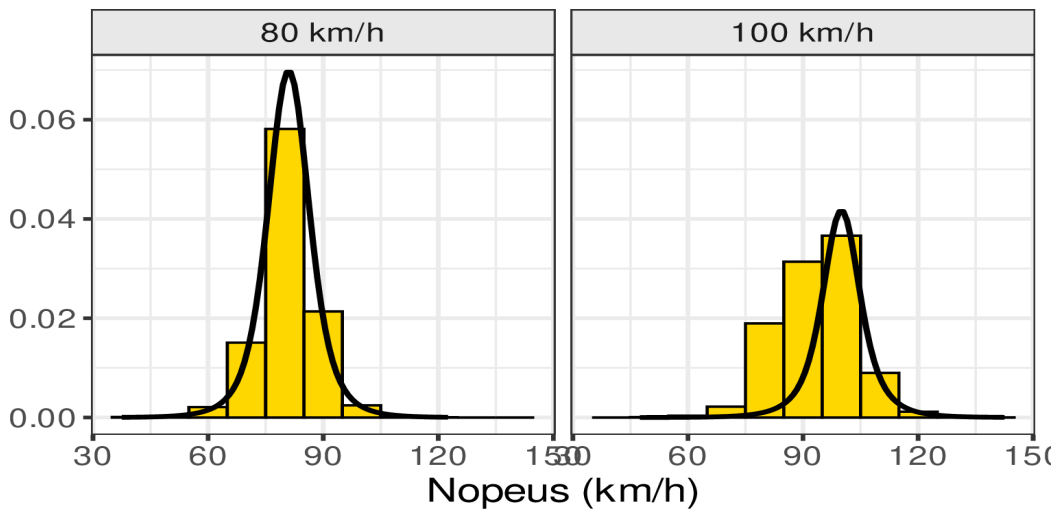
Kuvio 2.8. Henkilö- ja pakettiautojen nopeusjakaumat otoksessa, vasemmalla 80 km/h ja oikealla 100 km/h nopeusrajoitetuilla tieosuuksilla. Käyrillä on osoitettu jakaumien oikeanpuoleisiin häntiin sovitettut tiheysfunktiot. Suurimmat ja pienimmät nopeudet eivät näy kuviossa.

Onnettomuusaineiston henkilöautojen nopeusjakauma saatiin kertomalla LAM-mittauksiin perustuva taustajakauma riskifunktiolla $r(x)$, katkaisemalla jakauma oikealta oletetusta nopeuden maksimiarvosta M ja skaalaamalla saatu funktio tiheysfunktioiksi. Katkaisua tarvittiin, jotta taustajakauman ja riskifunktion tulo olisi integroitava.

Nopeusrajoitusalueella 80 km/h käytettiin ylärajaa $M=175$ ja alueella 100 km/h rajaa $M=200$.

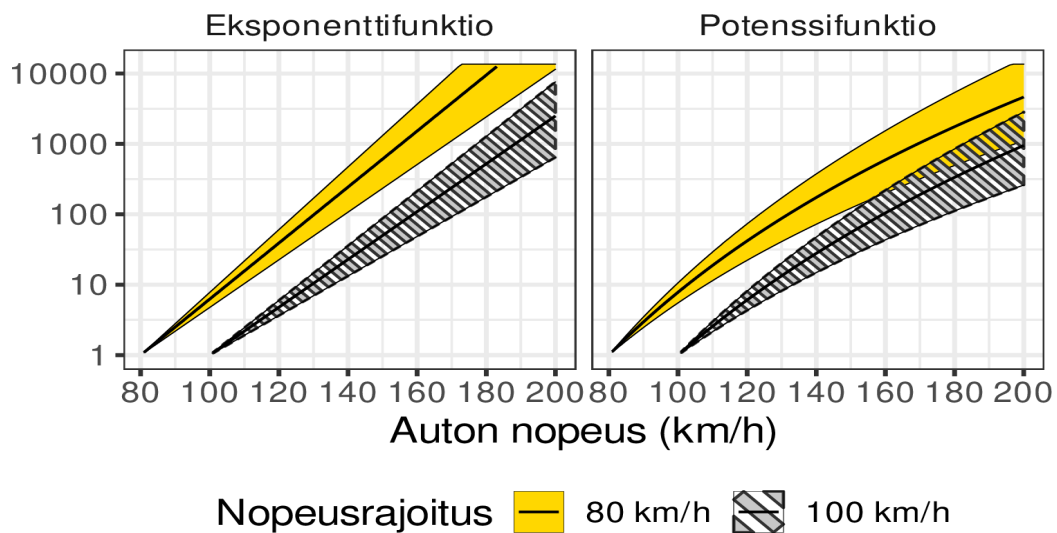
On huomattava, että onnettomuudessa osallisen ajoneuvon nopeuden arviointi on onnettomuustutkinnassa usein hankalaa, joten nopeuksia ei voida pitää tarkkoina arvoina. Arviot perustuvat esim. ajoneuvon vaurioihin, silminnäkijäläusuntoihin, kuljettajan kertomaan ja ajoneuvon kulkurataan törmäyksessä. Liitteessä C kuvataan, miten pyöristetyiksi oletetut arvot on otettu huomioon tilastollisen mallin sovituksessa.

Onnettomuusaineistosta otettiin mukaan kaikki kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa osalliset henkilöautot, ei pelkästään aiheuttajan kuljettamat. Koska kuitenkin tarkoituksena on tutkia pelkästään ylinopeuden aiheuttamaa riskiä, aineistosta poistettiin tapaukset, joissa kuljettajalla oli alkoholia veressä, hän oli käyttänyt huumeita tai ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavia lääkkeitä tai onnettomuuden välitön riskitekijä oli tutkijalautakunnan mukaan sairauskohtaus, nukahtaminen, vireystilan lasku tai tajunnan menetys. Myös todetut itsemurhat sekä tapaukset, joista oli tiedossa, että kuljettajalla oli ollut itsemurha-ajatuksia tai -yrityksiä, poistettiin. Näiden poistojen jälkeen aineistoon jäi melko vähän havaintoja (80 km/h alueella 146 havaintoa, joista 34 ylinopeuksia, ja 100 km/h alueella 121 havaintoa, joista 24 ylinopeuksia), joten tuloksiin on syytä suhtautua varovasti. Kuviossa 2.9 on esitetty näiden jakaumien histogrammit ja oikeaan häntään sovitettut käyrät.



Kuvio 2.9. Henkilöautojen nopeusjakaumat onnettomuusaineistossa, vasemmalla 80 km/h ja oikealla 100 km/h nopeusrajoitetuilla tieosuuksilla. Käyrillä on osoitettu jakaumien oikeanpuoleisiin häntiin sovitettuja tiheysfunktioita, jotka perustuvat eksponentiaaliseen riskifunktioon. Pienimmät nopeudet eivät näy kuviossa.

Kuvio 2.10. havainnollistaa eksponentti- ja potenssimallin antamia riskisuhteita. Nopeusrajoituksen ollessa 80 km/h molemmat mallit antavat saman tuloksen, kun ylinopeus on 43 km/h, ja nopeusrajoituksen ollessa 100 km/h, kun ylinopeus on 56 km/h. Tätä pienemmillä ylinopeuksilla potenssimalli antaa suuremman riskin ja suuremilla ylinopeuksilla pienemmän riskin.



Kuvio 2.10: Riskisuhde ylinopeutta ajavalle henkilöautolle joutua kuolemaan johtavaan liikenneonnettomuuteen ja 90 % luottamusväli. Keltainen käyrä kuvaa tilannetta 80 km/h ja raidallinen 100 km/h nopeusrajoitusalueella. Riski suhteutettu nopeusrajoituksen nopeudella ajamiseen. Vasemmanpuoleisessa kuviossa eksponentti- ja oikeanpuoleisessa potenssifunktio riskifunktioina.

Eksponenttimalliin perustuvat riskisuhteet on esitetty taulukossa 2.9. Näemme, että riski kasvaa noin kymmenkertaiseksi verrattuna nopeusrajoituksen mukaan ajamiseen, kun ylinopeus 80 km/h nopeusrajoitusalueella on 25 km/h tai kun ylinopeus 100 km/h nopeusrajoitusalueella on 30 km/h. Riski kasvaa 80 km/h nopeusrajoitusalueella satakertaiseksi 50 km/h ylinopeudessa ja 100 km/h nopeusrajoitusalueella 60 km/h ylinopeudessa.

Taulukko 2.9. Riskisuhde ylinopeutta ajavalle henkilöautolle joutua kuolemaan johtavaan liikenneonnettomuuteen ja 90 % luottamusväli. Riski suhteutettu nopeusrajoituksen nopeudella ajamiseen. Arviot perustuvat eksponentiaaliseen riskifunktioon.

Ylinopeus	Nopeus 80 km/h alueella	Riskisuhde 80 km/h alueella	Riskisuhde 80 km/h alueella 90 % lv.	Nopeus 100 km/h alueella	Riskisuhde 100 km/h alueella	Riskisuhde 100 km/h alueella 90 % lv.
5	85	1.58	1.48–1.67	105	1.48	1.38–1.56
10	90	2.5	2.18–2.79	110	2.19	1.91–2.44
15	95	3.95	3.22–4.66	115	3.23	2.64–3.82
20	100	6.25	4.75–7.78	120	4.78	3.65–5.97
25	105	9.87	7.01–13	125	7.07	5.04–9.34
30	110	15.6	10.4–21.7	130	10.4	6.96–14.6
35	115	24.7	15.3–36.2	135	15.4	9.62–22.8
40	120	39	22.6–60.5	140	22.8	13.3–35.7
45	125	61.7	33.3–101	145	33.8	18.4–55.8
50	130	97.5	49.2–169	150	49.9	25.4–87.2
55	135	154	72.6–282	155	73.8	35.1–136
60	140	244	107–471	160	109	48.5–213
65	145	385	158–786	165	161	67–333
70	150	609	233–1310	170	239	92.6–521
75	155	963	345–2190	175	353	128–815
80	160	1520	509–3660	180	521	177–1270
85	165	2410	751–6120	185	771	244–1990
90	170	3800	1110–10200	190	1140	337–3110
95	175	6010	1640–17100	195	1690	466–4870
100	180	9500	2420–28500	200	2490	644–7610

Sekä eksponentti- että potenssimalli sopivat aineistoon hyvin, eksponenttimalli hiukan paremmin, kuten aiemmassa tutkimuksessa on havaittu (Elvik, 2013; Elvik ja muut, 2019; Brenac ja muut, 2015). Ero logaritmoidun uskottavuusfunktion maksimiarvossa oli 80 km/h nopeusrajoituksen tieosuksilla 4.07 ja 100 km/h osuuksilla 0.79 eksponenttimallin eduksi. Eksponenttimallin kertoimen estimaatti oli 0.092 (keskivirhe 0.007) 80 km/h tieosuksilla ja 0.079 (0.007) 100 km/h tieosuksilla. Nämä estimaatit ovat hieman suurempia kuin Elvikin (Elvik, 2013) estimaatti 0.069 (0.004), joka perustuu yli sadan alkuperäistutkimuksen meta-analyysiin. Näissä tutkimuksissa kuitenkin tarkastellaan teiden keskinopeusten muutosten vaikutuksia onnettomuuksien ja uhrien määrään, ja ne ovat hyvin monenlaisilta

tieosuuksilta (nopeusrajoitukset väliltä 10–130 km/h). Australialaisessa tutkimuksessa, jossa tarkastellaan yksittäisten autojen nopeuden poikkeamaa keskinopeudesta, estimaatti on 0.07 (Kloeden ja muut, 2001). Mallin eksponentissa on kuitenkin mukana myös toisen asteen termi; ilman sitä estimaatti olisi suurempi. Lisäksi tulokset koskevat yleensä loukkaantumisiin johtaneita onnettomuuksia; kuolemaan johtavissa onnettomuksissa estimaatti olisi todennäköisesti suurempi.

Potenssimallin estimaatti oli 9.2 (0.9) 80 km/h tieosuuksilla ja 10.0 (1.0) 100 km/h tieosuuksilla. Nämä ovat huomattavasti suurempia kuin aiemman tutkimuksen (Elvik, 2013) estimaatti 4.2, joka perustuu tutkimuksiin keskinopeuden muutosten vaikutuksista. Uudemman tutkimuksen eri menetelmiin perustuvat estimaatit, kun nopeudella muutoksella ennustettiin kuolemien määrää, vaihtelevat välillä 5.5–6.7 (Elvik ja muut, 2019). Ero käsillä olevan tutkimuksen ja näiden aiempien tutkimusten välillä selittynee sillä, että potenssimalli käyttäytyy eri tavoin tarkasteltaessa pieniä nopeuseroja, jotka aiheutuvat keskinopeuden muutoksesta, kuin tarkastaltaessa yksittäisten kuljettajien mahdollisesti suuria ylinopeuksia.

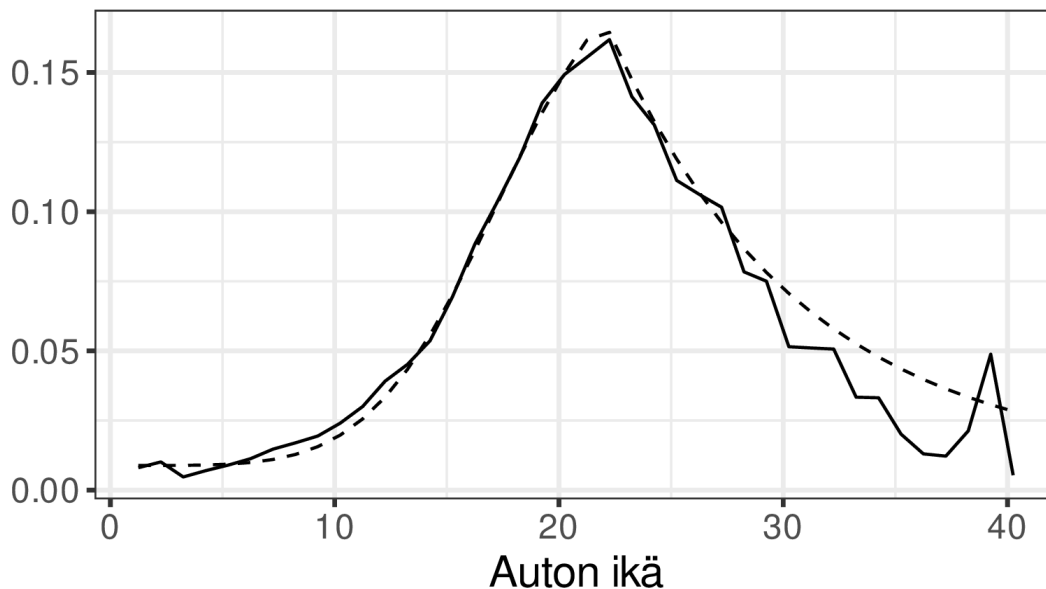
Tässä tutkimuksessa riskisuhteiden laskeminen perustui oletukseen, että LAM-dataan perustuva henkilö- ja pakettiautojen yhteinen nopeusjakauma edustaa hyvin henkilöautojen nopeusjakaumaa varsinkin ylinopeuksien osalta. Jos näin ei ole, tulokset voivat olla jonkin verran vääristyneitä. Jos esim. pakettiautoilla esiintyy suhteessa vähemmän suuria ylinopeuksia, lasketut riskisuhteet saattavat olla harhaisia ylöspäin.

2.4 Henkilöauton vuosimalli

Tässä luvussa tarkastelemme, miten henkilöauton vuosimalli selittää kuoleman riskiä liikenneonnettomuuksissa. Tätä varten on ensin arvioitava, miten paljon liikenteessä esiintyy eri-ikäisiä autoja. Arviomme perustuu autojen käyttöiän jakaumaan sekä eri-ikäisillä autoilla keskimäärin ajettuun kilometrimäärään.

Oletamme seuraavassa laskelmassa, että tarkasteltavana ajanjaksona henkilöautojen käyttöiän jakauma ei ole muuttunut. Sitä, miten hyvin tämä oletus pitää paikkansa, ei ole mahdollista selvittää tässä tutkimuksessa käytettyjen aineistojen perusteella. Arvioimme käyttöiän jakaumaa käyttäen Traficomien rekisteristä aikavälillä 1.10.2016–1.10.2017 poistuneiden eri-ikäisten henkilöautojen määrää, ja oletamme, että suhteellinen poistuma eri-ikäisten autojen luokista on samanlainen kuin tutkimusaikavälinä 2005–2014. Suhteellisen poistuman avulla voimme estimoida käyttöiän uhkafunktion (hazard function) ja elossaolofunktion (survival function). Määritämme tässä auton iän ensirekisteröintivuoden perusteella, vaikka se ei ole aina sama kuin käyttöönottovuosi tai auton vuosimalli. Kuvion 2.11 perusteella todennäköisyys henkilöauton poistumiselle rekisteristä kasvaa 22 vuoteen asti, jonka jälkeen se alkaa uudelleen laskea. Aineistoon on sovitettu parametrinen uhkafunktio; katso yksityiskohtia liitteestä D.

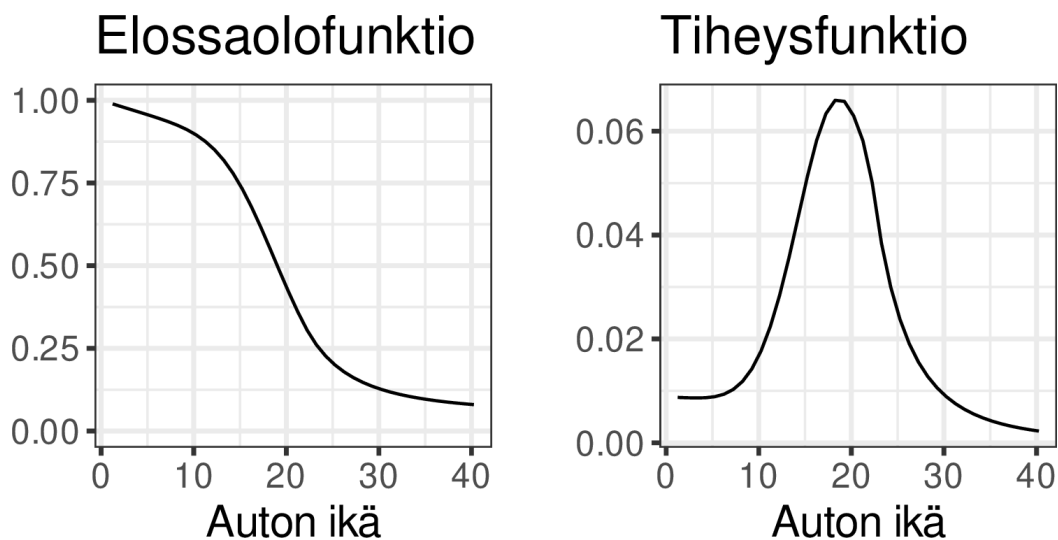
Uhkafunktio



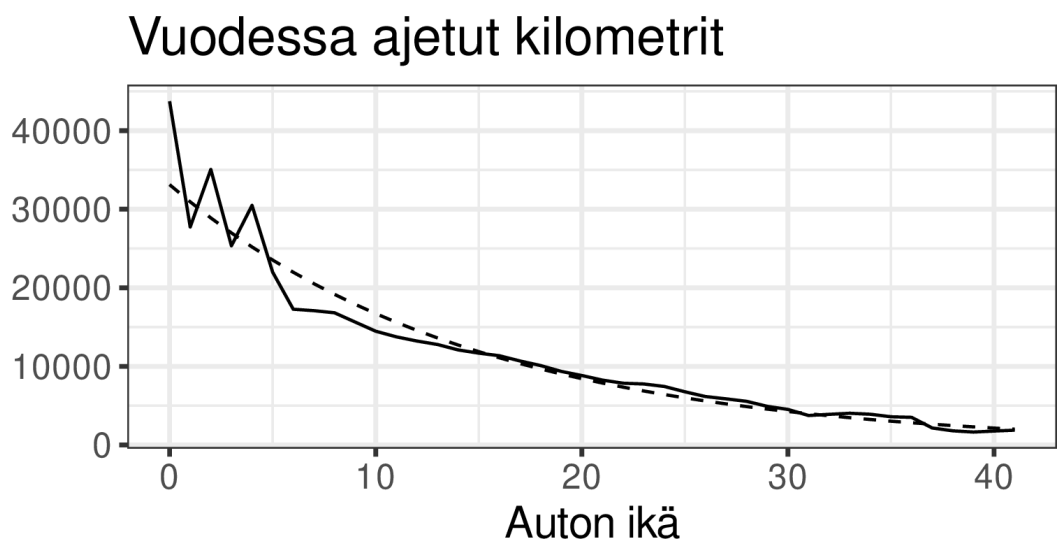
Kuvio 2.11. Todennäköisyys Traficomien ajoneuvorekisterissä olevan henkilöauton poistumiselle seuraavan vuoden aikana iän funktiona, sekä sovitettu uhkafunktio. Laskettu käyttäen Traficomien avoimen datan 1.10.2016 ja 1.10.2017 päivättyjä tiedostoja.

Käyttöiän jakaumaa vastaava elossaolofunktio ja tiheysfunktio, jotka perustuvat sovitettuun parametriseen malliin, on esitetty kuviossa 2.12. Henkilöauton poistumisiän (romuttamisen) mediaani on tämän mallin perusteella noin 19 vuotta. Kuviossa 2.13 on esitetty eri-ikäisillä autoilla vuodessa keskimäärin ajettut kilometrit ja havaintoihin sovitettu eksponenttifunktio. Kuvioista nähdään selvästi, että mitä vanhempi auto, sitä vähemmän sillä ajetaan vuosittain. Laskemme Traficomien avoimesta datasta vuodelta 2016 eri vuosina ensirekisteröityjen

henkilöautojen määrät ja käyttäen elossaolofunktiota ennustamme taaksepäin eri vuosimallien esiintyvyydet tutkimusvuosina 2005–2014. Ottamalla huomioon eri-ikäisillä autoilla keskimäärin vuosittain ajettut kilometrit, voimme arvioida eri ikäisten autojen esiintyvyyden liikenteessä (eli liikennesuoritteen) tutkimuksen aikavälillä.



Kuvio 2.12. Henkilöautojen käyttöiän elossaolofunktio ja tiheysfunktio. Laskettu käyttäen Traficomien avoimen datan 1.10.2016 ja 1.10.2017 päivättyjä tiedostoja.



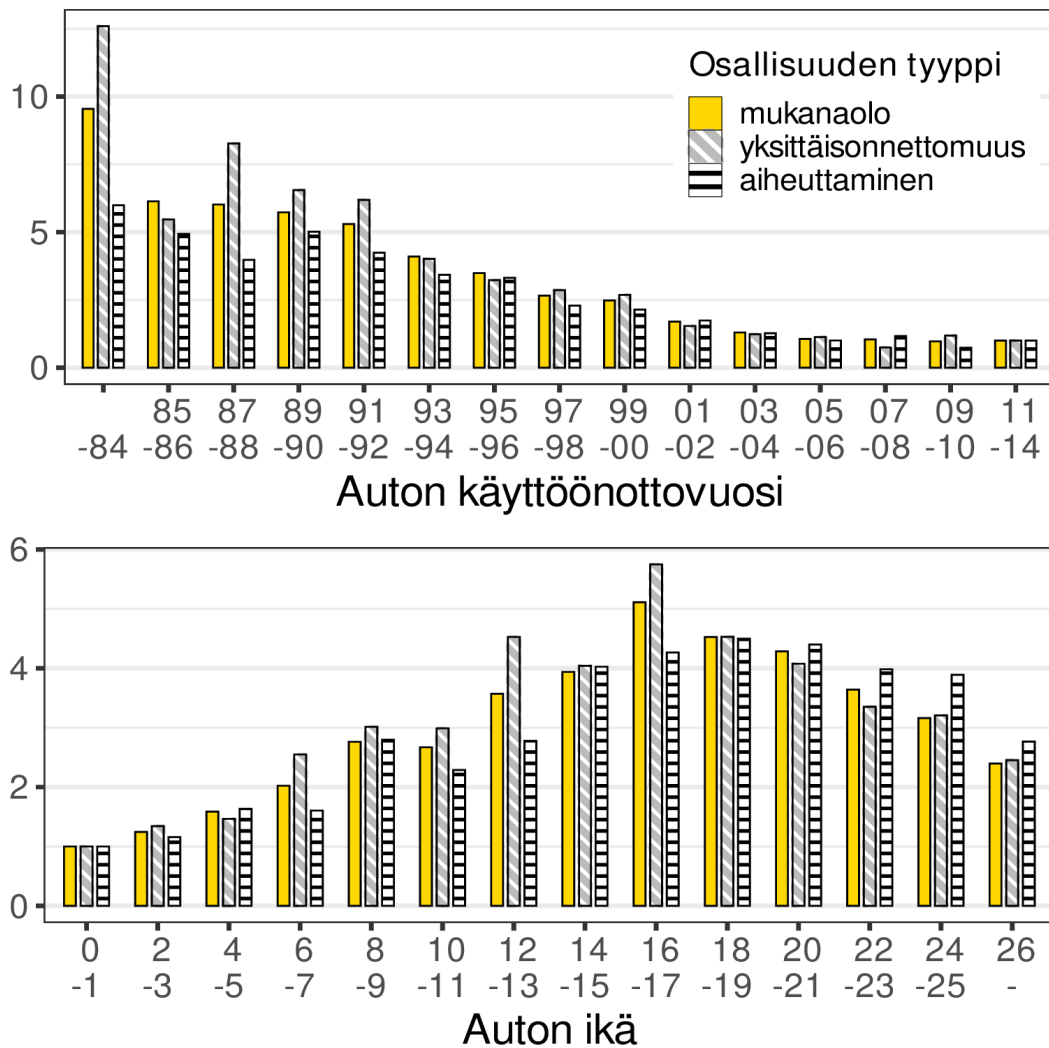
Kuvio 2.13. Vuodessa keskimäärin ajettut kilometrit eri-ikäisillä henkilöautoilla ja sovitettu eksponenttifunktio. Tässä 'ikä' on aika ensirekisteröinnistä pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Jotta luvut olisivat vertailukelpoisia, 0-vuotiaita vastaava luku on kerrottu kahdella. Laskettu käyttäen Traficomien avoimen datan 1.10.2016 ja 1.10.2017 päivättyjä tiedostoja.

Laskemme riskisuhteet sovittamalla Poissonin regression, jossa selittäjinä ovat auton käyttöönottovuosi (15 luokkaan ryhmiteltynä) sekä auton ikä (14 ryhmään luokiteltuna). Aiemmissa tutkimuksissa (esim. Høye, 2017) on havaittu, että vuosimallista riippumatta vanhempiin henkilöautoihin sisältyy suurempi riski. Vanhemmissa autoissa on enemmän vikoja, mutta pääasiallinen syy lienee se, että eri-ikäisiä autoja käytetään erilaisissa olosuhteissa ja niiden käyttäjäkunta on erilainen. Jos mallissa ei kontrolloida auton ikää, vuosimallin vaikutus tulee yliarvioitua. Sovitettaessa Poissonin regressio havaitaan myös, että molemmat selittäjät ovat tilastollisesti merkitseviä. Malliin olisi periaatteessa mahdollista lisätä onnettomuuden tapahtumavuosi ajoympäristössä tapahtuneen muutoksen kontrolloimiseksi, mutta käytännössä tämä johtaa mallin identifioituvuusongelmiin. Oletamme, että tapahtumavuoden vaikutus on vähäinen verrattuna auton iän ja vuosimallin vaikutuksiin, ja jätämme sen huomiotta.

Aiemmissa tutkimuksissa on myös havaittu, että painavimmat autot ovat keskimäärin turvallisempia (Høye, 2017; Rätty ja Kari, 2017). Tässä tutkimuksessa sovitettavassa tilastomallissa ei kuitenkaan kontrolloida auton massan vaikutusta, koska tavoitteena on tutkia autojen turvallisuudessa tapahtunutta kokonaiskehitystä ja massan lisääntyminen on osittain seurausta auton rakenteiden vahvistamisesta.

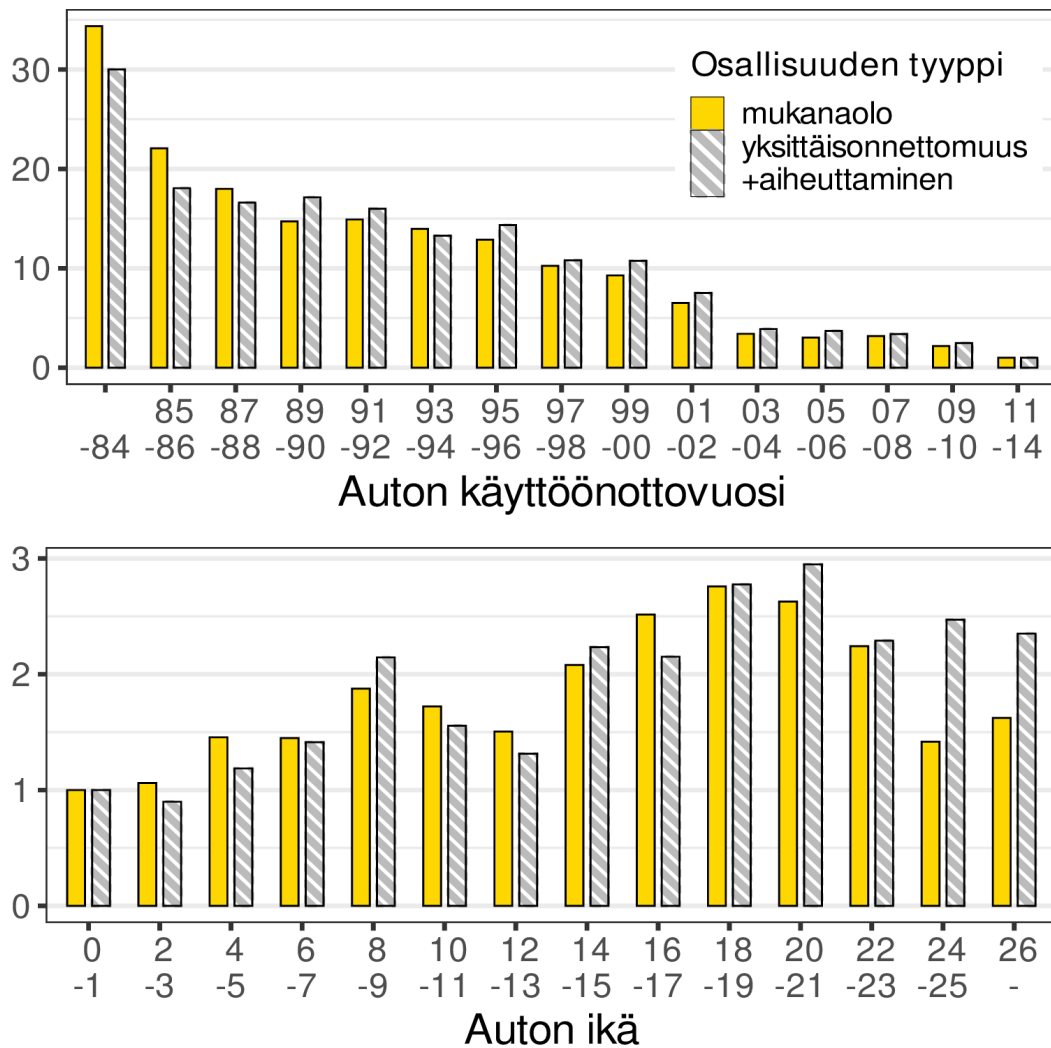
Laskemme riskisuhteet kolmessa tapauksessa. Ensimmäisessä tapauksessa otamme huomioon kaikki tutkimusaineiston henkilöautot, joissa olleista henkilöistä ainakin yksi menehtyi joko onnettomuuspaikalla, matkalla sairaalaan, sairaalassa tai muualla. Mukana ovat yhteentörmäysten lisäksi yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot. Toiseksi rajoitumme yksittäisonnettomuuksiin ja eläinvahinkoihin. Kolmanneksi tarkastelemme useamman moottoriajoneuvon onnettomuuksissa henkilöautoja, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi. Onnettomuusautojen lukumäärät eri tapauksissa on esitetty [Excel-
taulukon Liite.D.5.xlsx](#) eri välilehdillä ja arvioitu altistus (kilometrisuorite) [Excel-
taulukossa Liite.D.6.xlsx](#).

Eri-ikäisten henkilöautojen riskisuhteet on esitetty kuviossa 2.14 (vrt. liitetaulukot D.1 ja D.2, joissa on esitetty myös luottamusvälit), kun vertailukohtana uusimmat, vuosina 2011–2014 käyttöönotetut autot. Kuviosta ilmenee, että riski on suurempi vanhoille autoille; vuonna 1985–1992 käyttöönotetuilla autoilla riski, että joku autossa kuolee, on noin viisinkertainen verrattuna uudempiin, vuonna 2005 tai sen jälkeen käyttöön otettuihin autoihin. Vuonna 1984 tai sitä ennen käyttöön otetuilla autoilla riski on jopa kymmenkertainen. Ero vanhempien ja uudempien autojen välillä selittyy autojen turvaominaisuuksien kehityksellä. Yksittäis- ja eläinvahinkojen kohdalla auton ikään liittyvä riski näyttää korostuvan: niihin liittyvät riskisuhteet näyttävät olevan systemaattisesti suurempia kuin tarkasteltaessa kaikkia tapauksia. Vastaavasti useamman moottoriajoneuvon onnettomuuksissa riskisuhteet ovat hiukan pienemmät.



Kuvio 2.14. Riskisuhde eri-ikäisille henkilöautoille, kun vertailukohtana ovat uusimmat, vuosina 2011–2014 käyttöönotetut autot. Alemmassa kuviossa riskisuhde esitetään iän suhteen, vertailukohtana 0–1-vuotiaat autot. Vasemmanpuoleiset pylväät liittyvät autoihin, joissa joku mukana olija kuolee. Keskimäiset pylväät liittyvät yksittäisonnettomuuksiin ja eläinvahinkoihin. Oikeanpuoleiset liittyvät henkilöautoihin, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi useamman ajoneuvon onnettomuudessa. Riskisuhteet on laskettu sovittamalla Poissonin regressio, jossa auton käyttöönottovuosi ja ikä ovat selittävät muuttujat.

Kuvion 2.14 alaosasta nähdään, että riski kuolemaan johtavaan liikenneonnettomuuteen on suurempi vanhemmilla henkilöautoilla auton vuosimallista riippumatta. Kuten aiemmin todettiin, tämä selittyy osittain autosta riippumattomilla tekijöillä: eri-ikäisillä autoilla ajetaan erilaisissa olosuhteissa ja kuljettajien ikäjakauma on erilainen. Tyypillisesti nuoret ja kokemattomat kuljettajat ajavat vanhemmilla autoilla. Kuitenkin riski näyttää pienenevän mentäessä 20 ikävuodesta eteenpäin. Tämä voi selittyä sillä, että näillä vanhimmissa autoilla ajetaan hitaammin ja varovaisemmin ja mahdollisesti turvallisemmissa olosuhteissa. Lisäksi vanhimmissa vuosimalleista ovat jäljellä keskimääräistä vankkatekoisemmat ja turvallisemmat autot.



Kuvio 2.15. Riskisuhde eri-ikäisille henkilöautoille, kun poistetaan tapaukset, joissa kuljettaja oli alkoholin, lääkkeen tai huumausaineen vaikutuksen alainen tai hän ajoi tietoisesti tilanteeseen (itsemurha), sai sairauskohtauksen, nukahti tai ajoi ylinopeutta. Ylempässä kuvioissa vertailukohtana ovat uusimmat, vuosina 2011–2014 käyttöönotetut autot. Alemmassa kuviossa riskisuhde esitetään iän suhteen, vertailukohtana 0–1-vuotiaat autot. Vasemmanpuoleiset pylväät liittyvät autoihin, joissa joku mukana olija kuolee. Oikeanpuoleiset liittyvät autoihin, joiden kuljettaja on määritelty onnettomuuden aiheuttajaksi, mukaan lukien yksittäisonnettomuudet. Riskisuhteet on laskettu sovittamalla Poissonin regressio, jossa auton käyttöönottovuosi ja ikä ovat selittävät muuttujat.

Tarkastelemme seuraavaksi, miten riskisuhteet muuttuvat, kun poistetaan osa autosta riippumattomista riskitekijöistä. Sovitamme Poissonin regressiomallin uudestaan poistamalla tapaukset, joissa kuljettaja oli alkoholin, lääkkeen tai huumausaineen vaikutuksen alainen, hän ajoi ylinopeutta tai välittömänä riskitekijänä oli tietoinen ajo tilanteeseen (itsemurha), sairauskohtaus, nukahtaminen tai vireystilan lasku. Yksittäisonnettomuuksia on näiden poistojen jälkeen liian vähän (77) mallin sovitusta varten, joten nämä tapaukset yhdistetään muihin onnettomuuksiin. Riskisuhteet on esitetty kuviossa 2.15 (vrt. liitetaulukot D.3 ja D.4, joissa myös luottamusvälit). Verrattuna koko aineistoon riski aiheuttaa onnettomuus useamman auton kolarissa näyttää korostuvan (harmaat, raidalliset pylväät) ja on vuosimallien 1985–2000 henkilöautoilla 10–20-kertainen

verrattuna uusimpiin vuosimalleihin. Ilmeisesti auton turvallisuuteen liittyvät riskisuhteet korostuvat, kun poistetaan autosta riippumattomia riskitekijöitä. Sama ilmiö havaitaan, kun tarkastellaan kaikkia mahdollisia onnettomuuksia, joissa joku autossa olijoista kuolee (keltaiset pylväät). Riski, että joku autossa olijoista kuolee, on 1987–1996 käyttöön otetuissa noin 15-kertainen aineiston uusimpiin autoihin verrattuna.

Kuvion 2.15 alaosa havainnollistaa auton iän vaikutusta riskiin kuljettajasta riippuvien riskitekijöiden poistamisen jälkeen. Kun tarkastellaan onnettomuuden aiheuttamista tai onnettomuudessa mukana oloa, riskisuhteet ovat samankaltaisia mutta pienempiä kuin ilman riskitekijöiden poistamista (vrt. kuvion 2.14 alaosa). Itse asiassa ikävaikutus ei ole aivan tilastollisesti merkitsevä 5 % riskitasolla (uskottavuussuhdetestissä $\chi^2 = 22.12$, $df = 13$, $p = 0.053$). Se, että ikävaikutus lähes häviää, kun poistetaan kuljettajasta riippuvia tekijöitä, tukee ajatusta, että auton ikäriskissä on osittain kysymys käyttäjäkunnan erilaisuudesta.

Tässä esitetyt tulokset ovat hyvin samankaltaisia kuin aiemmissa kansainvälisissä tutkimuksissa, joissa on vertailtu kuoleman tai vakavan loukkaantumisen riskiä vanhempien ja uudempien automallien välillä (Broughton, 2012; Anderson ja Searson, 2015; Høye, 2017). Riskin väheneminen oli erityisen voimakasta, kun vertaillaan vuosina 1985–1992 käyttöön otettuja henkilöautoja vuonna 2005 tai sen jälkeen käyttöön otettuihin: riski joutua onnettomuuteen, jossa joku autossa olijoita kuoli, putosi noin viidesosaan. Tänä aikavälinä ovat sekä autojen aktiivinen että passiivinen turvallisuus merkittävästi parantuneet. Aktiivista turvallisuutta, eli pienempää riskiä joutua onnettomuuksiin, ovat lisänneet lukkiutumattomat jarrut ja ajonvakautusjärjestelmät. Passiivista turvallisuutta, eli kuoleman ja vakavien vammojen välttämistä kolaritilanteessa, ovat lisänneet korirakenteiden kehittyminen suojaavammiksi ja turvatyynyjen yleistyminen.

Tulokset ovat myös samansuuntaisia kuin aiemmassa suomalaisessa henkilöautojen kolariturvallisuutta käsittelevässä tutkimuksessa, joka selvitti kuljettajan loukkaantumisriskiä kahden henkilöauton yhteenajoissa (Räty ja Kari, 2017). Auton ikään liittyvä riski ei ollut kuitenkaan yhtä suuri kuin tässä, vaikka tarkasteltava aikaväli oli sama. Ajosuoritteeseen perustuva kuljettajan loukkaantumisriski oli tarkasteluvälin uusimmilla autoilla 40–57 % alhaisempi kuin vanhimmilla. Ilmeisesti kuolemaan johtavissa onnettomuuksissa, joihin tyypillisesti liittyvät suuret nopeudet ja pienet marginaalit ajan ja paikan suhteen, korostuvat sekä aktiiviset että passiiviset turvaominaisuudet. Myös muiden tutkimusten perusteella kuoleman riski on pienentynyt suhteessa enemmän kuin loukkaantumisen riski (Anderson ja Searson, 2015).

Riskisuhteet eivät kuitenkaan yksin kerro, miten merkittävä yksittäinen riskitekijä on liikenteessä, vaan lisäksi on otettava huomioon riskitekijän yleisyys. Tutkimusaineistossa oli moottoriajoneuvossa mukana olleen henkilön kuolemaan johtaneita onnettomuuksia, joissa aiheuttajana on ollut henkilöauton kuljettaja, yhteensä 1683. Näistä tapauksista oli 463 (27.5 %) sellaisia, joita ei voi selittää itsemurhalla, sairauskohtauksella, nukahtamisella, alkoholin tai huumaavan aineen vaikutuksella tai ylinopeudella. Edelleen näistä tapauksista oli 77 (4.6 %) oli yksittäis- tai eläinvahinkoja ja 386 (22.9 %) useamman moottoriajoneuvon kolareita. Jos kaikki onnettomuuksien aiheuttajiksi katsottujen kuljettajien, joilla ei esiintynyt edellä mainittuja riskitekijöitä, henkilöautot olisi korvattu samanikäisillä mutta

tarkasteltavan aikavälin uusimmilla, vuonna 2011 ja sen jälkeen käyttöönotetuilla autoilla, laskettujen riskisuhteiden perusteella kuolemaan johtaneista olisi vältetty noin 404 (24.0 %). Useamman ajoneuvon kolareissa oletuksena on, että aiheuttajan rooli oli niin merkittävä, että ilman sitä onnettomuutta ei olisi tapahtunut tai se ei olisi ollut kuolemaan johtava.

2.5 Eri riskitekijöiden kokonaisvaikutus

Edellä tarkasteltiin muutamia vakaviin liikenneonnettomuuksiin johtavia riskitekijöitä. Riskien suuruutta arvioitiin riskisuhteiden ja -käyrien avulla. Kuitenkaan riskisuhteet eivät yksinään kerro, mikä osuus kullakin riskitekijällä on vakavan onnettomuuden kokonaisriskistä. Harvinaisemmat tekijät vaikuttavat vähemmän kokonaisriskiin, vaikka ne itsessään olisivat vaarallisia. Taulukossa 2.9 on esitetty tutkimusaineistoon perustuvan arvio eri tekijöiden merkittävyydestä. Taulukko perustuu onnettomuuksiin, joissa aiheuttaja oli henkilöauton kuljettaja ja osallisissa moottoriajoneuvoissa mukana olleita henkilöitä kuoli.

Sairauskohtausten osuus (12.5 %) perustuu tapauksiin, joissa tutkijalautakunta on määrittänyt sairauskohtauksen onnettomuutta välittömästi edeltäneeksi riskitekijäksi. Tällöin kuoleman saattoi aiheuttaa itse sairauskohtaus tai sen aiheuttama onnettomuus. Sairauskohtauksen saanut kuljettaja ei välttämättä itse kuollut. Itsemurhiksi (14.1 %) on laskettu tapaukset, joissa tutkijalautakunta on päätellyt kuljettajan ajaneen tietoisesti tilanteeseen. Aineistossa on myös mukana muuttuja, joka kertoo, tiedettiinkö onnettomuuden aiheuttaneella kuljettajalla olleen itsemurha-ajatuksia tai -yrityksiä. Tätä muuttujaa ei kuitenkaan ole otettu laskelmissa huomioon. Tapauksista ei myöskään ole poistettu huumaavien aineiden tai alkoholin vaikutuksen alaisena ajamista, mikä osaltaan saattoi vaikuttaa onnettomuuden syntyyn.

Taulukko 2.9. Eri riskitekijöiden arvioitu osuus moottoriajoneuvossa mukana olleen henkilön kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista 2005–2014, joissa aiheuttajana ollut henkilöauton kuljettaja. Osuudet on laskettu toistensa poissulkevinä niin, että kuhunkin tekijään liitetyt tapaukset eivät sisälly taulukossa ylempänä esiintyviin tekijöihin. (Kolme epämääräistä tapausta, joissa alkoholia on epäilty mutta sitä ei ole mitattu, on jätetty pois.)

Riski	Osuus (%)	Lukumäärä
Sairauskohtaus	12.5	210
Itsemurha	14.1	237
Huumeet	5.1	85
Lääkkeet	6.1	103
Törkeä rattijuopumus	15.8	266
Rattijuopumus	1.5	26
Maistelleena ajaminen	1.4	24
Nukahtaminen, vireystilan lasku	5.3	89
Ylinopeus	10.5	177
Auton turvallisuuspuutteet	24.0	404
Muut syyt	3.5	59
Yhteensä	100.0	1680

Huumeiden käytön osuus (5.1 %) on arvioitu olettamalla, että onnettomuutta ei olisi tapahtunut, jos kuljettaja ei olisi ollut huumeen vaikutuksen alaisena. Noin 72 % (61/85) huumeen vaikutuksen alaisista oli myös alkoholia tai ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavaa lääkettä veressään. Näissä tapauksissa onnettomuus saattoi aiheutua eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavaa lääkettä käytti 6.1 % onnettomuuden aiheuttaneista kuljettajista. Näistä tapauksissa yli puolessa (58/103) kuljettaja oli myös nauttinut alkoholia, jolloin onnettomuuden voi katsoa aiheutuneen sekakäytöstä.

Arvioitaessa alkoholin riskiä liikenteessä on poistettu sairauskohtaukset, itsemurhat ja tapaukset, joissa kuljettaja käytti myös huumausainetta tai ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavaa lääkettä. Suurin kokonaisriski (15.8 %) aiheutuu törkeästä rattijuopumuksesta. Tavallinen rattijuoppous (0.5–1.2 ‰) on sinällään vaarallisempaa kuin maistelleena (0–0.5 ‰) ajaminen, mutta koska maistelleena ajaminen on huomattavasti yleisempää, näistä molemmista aiheutuu samaa suuruusluokkaa oleva kokonaisriski, n. 1.5 %. Arviossa oletetaan, että onnettomuus ei olisi tapahtunut, jos kuljettaja olisi ajanut selvin päin.

Tutkijalautakunta määrittä onnettomuuden aiheuttaneen kuljettajan nukahtamisen tai vireystilan laskun onnettomuuden välittömäksi riskitekijäksi 5.3 % onnettomuuksista. Edelleen tutkijalautakuntien arvioiden mukaan tiekohtaista ylinopeutta ajoi 10.5 % onnettomuuden aiheuttaneista henkilöauton kuljettajista. Tässä luvussa ei kuitenkaan ole mukana tapauksia, joissa esiintyi ainakin yksi edellä mainituista riskitekijöistä, kuten alkoholin vaikutuksen alaisena ajaminen, jotta arvio kuvaisi puhdasta ylinopeudesta aiheutuvaa riskiä. On kuitenkin muita mahdollisia onnettomuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten matkaseuran vaikutus tai tie- ja liikenneympäristöntekijät, joita ei ole tässä otettu huomioon.

Arvio henkilöautojen turvallisuuteen liittyvästä riskistä ei perustu suoraan aineistossa esiintyvien tapauksien lukumäärään vaan kappaleessa 2.4 arvioituihin auton vuosimalliin liittyviin riskisuhteisiin. Riskisuhteiden perusteella arviolta 24 % tapauksista onnettomuutta ei olisi tapahtunut tai se ei olisi ollut kuolemaan johtava, jos aiheuttajaksi katsottujen henkilöiden kuljettamat henkilöautot olisi korvattu samanikäisillä mutta tarkasteltavan aikajakson uusimpia vuosimalleja edustavilla, vuonna 2011 tai sen jälkeen käyttöön otetuilla autoilla. Tässä muihin riskitekijöihin, kuten ylinopeuteen tai rattijuopumukseen, liittyviä tapauksia ei ole otettu mukaan.

3 Päätelmät

Tässä raportissa tutkittiin kuolemaan johtaneisiin liikenneonnettomuuksiin vaikuttaneita tekijöitä tilastollisen mallinnuksen keinoin. Tarkasteltavat tekijät olivat kuljettajan ikä, kuljettajan juopumus, ylinopeus ja henkilöauton vuosimalli. Tutkimuksessa tarkasteltiin erikseen riskiä aiheuttaa onnettomuus ja riskiä joutua onnettomuuteen joko aiheuttajana tai muuna osallisena.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, millaiset riskitekijät olivat ylipäättään tilastollisesti merkitseviä. Koska kuolemaan johtavat onnettomuudet ovat nykyään melko harvinaisia, etua saavutettiin tutkimuksen melko pitkästä, kymmenen vuoden seurantavälistä. Näin saavutettiin riittävän suuri otoskoko heikkojenkin riskivaikutusten havaitsemiseksi. Esimerkiksi havaittiin, että jo vähäinen veren alkoholipitoisuus (alle 0.2 ‰) lisää kuolemaan johtavan onnettomuuden riskiä.

Toisena tavoitteena oli arvioida riskitekijöiden suuruusluokkaa ja myös suhteuttaa niitä toisiinsa. Riskimittarina käytettiin riskisuhdetta, ja jatkuvassa tapauksessa riskiä havainnollistettiin myös suhteellisen riskin käyrillä. Riskisuhteille laskettiin luottamusvälit, joilla kuvataan rajallisen otoskoon aiheuttamaa tilastollista epävarmuutta. Kun epävarmuuden lähteitä oli useita, hyödynnettiin Bayes-tilastotieteeseen perustuvia simulointimenetelmiä. Yleinen havainto oli, että aiheuttamiseen perustuvat riskisuhteet olivat suurempia kuin osallisuuteen perustuvat riskisuhteet, joissa otettiin huomioon aiheuttajan lisäksi muut osalliset. Tämä johtuu siitä, että autokolareissa on mukana 'syyttömiäkin' kuljettajia, mikä laimentaa riskitekijöihin liittyviä riskisuhteita.

Havaittiin, että kuljettajan nuoruus ja vanhuus kasvattavat merkittävästi riskisuhteita. Kuten aiemmissakin tutkimuksissa on havaittu, iäkkäät kuljettajat ovat kuitenkin riski ensisijaisesti itselleen. Ne, jotka ajoivat alkoholin vaikutuksen alaisena, näyttävät jakautuvan kahteen ryhmään. Suurin osa (n. 90 %) pyrkii pitämään alkoholin nauttimisen sallitun rajoissa, niin ettei rattijuopumuksen raja ylitä, mutta osa ei välitä tästä rajasta mitään. Tämän vuoksi alkoholia nauttineiden kuljettajien veren alkoholipitoisuuden jakauma on onnettomuustilastossa kaksihuippuinen.

Tutkimuksessa saavutetut riskisuhteet ovat pääosin samansuuruisia tai hieman suurempia kuin mitä on esitetty aiemmassa tutkimuskirjallisuudessa. Tarkka vertailu on vaikeaa, koska tutkimusasetelmat, olosuhteet ja tilastolliset mallit ovat erilaisia. Esimerkiksi tutkittaessa alkoholin vaikutusta aiemmissa vastaavissa yhdysvaltalais tutkimuksissa rajoitettiin viikonloppuöinä tapahtuneisiin onnettomuuksiin, kun taas tässä tutkimuksessa vastaavaa rajausta ei ollut. Yhdysvaltalais tutkimuksessa käytettiin tilastollisena mallina logistista regressiomallia, johon liittyi oletus likimain eksponenttisesta riskifunktiosta. Tässä tutkimuksessa polynomifunktion havaittiin sopivan aineistoon paremmin. Tutkimuksissa on eroa myös sen suhteen, kuinka hyvin on ollut mahdollista kontrolloida erilaisia sekoittavia tekijöitä. Jos sekoittava tekijä vaikuttaa samansuuntaisesti sekä riskitekijän yleisyyteen että riskin toteutumiseen eikä sen vaikutusta kontrolloida, riskisuhde voi tulla yliarvioitua.

Yleinen havainto on, että riskitekijät kasvattavat suhteessa enemmän vakavien ja kuolemaan johtavien onnettomuuksien riskiä kuin lievempien onnettomuuksien riskiä.

Kuolemaan johtavat onnettomuudet tapahtuvat tyypillisesti suurissa nopeuksissa, jolloin marginaalit ovat pienet, mikä saattaa kärjistää riskitekijöiden vaikutusta. Toisaalta harvinaisen ilmiön tapauksessa melko suurikaan riskisuhde ei vielä välttämättä tarkoita absoluuttisesti korkeaa riskiä.

Erityyppisten riskien suuruusluokkaa voidaan arvioida karkeasti seuraavasti: Riski olla aiheuttajana kuolemaan johtavassa liikenneonnettomuudessa on noin kymmenkertainen verrattuna alimman riskin ryhmään, jos

- olet alle 20-vuotias tai 80 vuotta täyttänyt,
- veresi alkoholipitoisuus on 0.4 ‰,
- ajat vuosimallia 2000 olevalla tai vanhemmalla henkilöautolla,
- ylinopeutesi on 25 km/h tiellä, jonka nopeusrajoitus on 80 km/h,
- ylinopeutesi on 30 km/h tiellä, jonka nopeusrajoitus on 100 km/h.

Riskisuhde kasvaa noin satakertaiseksi, jos

- veresi alkoholipitoisuus on 1.0 ‰,
- ylinopeutesi on 50 km/h tiellä, jonka nopeusrajoitus on 80 km/h,
- ylinopeutesi on 60 km/h tiellä, jonka nopeusrajoitus on 100 km/h.

Se, miten suuri merkitys eri riskitekijöillä on, ei riipu pelkästään riskitekijän vaarallisuudesta vaan myös sen yleisyydestä Suomen liikenteessä. Siksi arvioitiin myös näiden tekijöiden (kuljettajan ikää lukuun ottamatta) sekä sairauskohtausten, nukahtamisten, itsemurhien ja huumaavien aineiden käytön osuuksia kuolemaan johtaneissa liikenneonnettomuuksissa. Havaittiin esimerkiksi, että vaikka maistelleena ajaminen sinänsä on vähemmän vaarallista kuin varsinainen rattijuopumus, on sen aiheuttama kokonaisriski (n. 1.5 %) samaa suuruusluokkaa kuin törkeän rattijuopumusrajan alittava rattijuoppous. Törkeän rattijuopumuksen kokonaisriski on sen sijaan huomattavasti suurempi (16 %). Seuraavaksi suurimmat, kuljettajasta riippuvat riskitekijät olivat itsemurha (14 %), sairauskohtaus (12 %), ylinopeus (11 %), ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavat lääkkeet (6 %), nukahtaminen (5 %) ja huumeet (5 %).

Käyttäen henkilöautojen vuosimalleihin liittyviä riskisuhhteita arvioitiin, että lähes neljännes kuolemaan johtavista onnettomuuksista olisi ollut vältettävissä (tai onnettomuus tapahtuessaan ei olisi johtanut kuolemaan), jos aiheuttajaksi katsottu kuljettaja, jolla ei esiintynyt edellä mainittuja kuljettajasta riippuvia riskitekijöitä, olisi ajanut samanikäisellä mutta tarkastelujakson uusimpia vuosimalleja edustavalla autolla. Tämä arvio on ainoastaan suuntaa antava, sillä se perustuu moniin oletuksiin, mutta viittaa kuitenkin vahvasti autokannan uudistamisen hyödyllisyyteen.

Pääasiallinen tutkimusaineisto saatiin Onnettomuustietoinstituutin ylläpitämästä rekisteristä, johon tallennetaan numeeriset tiedot tutkijalautakuntien tutkimista kuolemaan johtaneista liikenneonnettomuuksista. Aineisto oli sinänsä erinomainen, mutta yksin sen avulla ei ollut mahdollista päätellä riskisuhhteita. Lisäksi tarvittiin tilastotietoa eri riskitekijöiden esiintyvyydestä liikenteessä. Tässä tutkimuksessa käytettiin verkossa avoimesti saatavilla olevia aineistoja ja tilastoja. Näiden soveltamisessa oli omat haasteensa, eivätkä ne mahdollistaneet esiintyvyyksien tarkkaa ja aukotonta arviointia.

Tulokset saattaisivat muuttua jonkin verran, jos kattavampia tausta-aineistoja olisi saatavilla ja sekoittavia tekijöitä olisi mahdollista kontrolloida paremmin.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin määrittämään ns. kausaalivaikutus alkoholin aiheuttamalle riskille liikenteessä. Tällöin sekoittavista tekijöistä korjattiin viikonpäivän ja kellonajan sekä kuljettajan iän ja sukupuolen vaikutus. Korjaukset tehtiin erikseen kullekin näistä tekijöistä, vaikka periaatteessa kausaalivaikutuksen laskemisessa ne pitäisi ottaa kaikki samanaikaisesti huomioon. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, sillä se olisi edellyttänyt riskitekijän jakauman tuntemista ehdollistettuna kaikkien sekoittavien tekijöiden suhteen. Myös yhden tekijän suhteen ehdollistettaessa tuloksiin sisältyi tausta-aineistojen rajallisten otoskokojen vuoksi tilastollista epävarmuutta siinä määrin, että luottamusvälit olivat selvästi laajemmat kuin korjaamattomissa riskisuhteissa. Lisäksi Uudenmaan R-tutkimukseen perustuvat ehdolliset jakaumat eivät välttämättä edusta hyvin koko maata, mikä voi aiheuttaa harhaa tuloksiin. Tulokset eivät kuitenkaan viitanneet siihen, että sekoittavien tekijöiden huomioon ottaminen oleellisesti muuttaisi vakioimattomia riskisuhteita. Olisi mielenkiintoista soveltaa laajemminkin kausaalimallinnusta, mutta tämä edellyttäisi kattavampaa tilastotietoa riskitekijöiden ja sekoittavien tekijöiden yhteisjakaumista.

Perinteisempi tapa kontrolloida sekoittavien tekijöiden vaikutusta on ottaa ne mukaan selittäjiksi tilastolliseen malliin. Arvioitaessa automallien turvallisuuskehitystä Poissonin regressiomallin selittäjäksi otettiin auton käyttöönottovuoden lisäksi auton ikä. Näin kontrolloitiin auton ikään sidoksissa olevia sekoittavia tekijöitä.

Kirjallisuutta

Anderson, R. W. G., and Searson, D. J. (2015). Use of age–period–cohort models to estimate effects of vehicle age, year of crash and year of vehicle manufacture on driver injury and fatality rates in single vehicle crashes in New South Wales, 2003–2010. *Accident Analysis and Prevention*, 75, pp. 202–210.

Anstey, K.J., Wood, J., Lord, S., Walker, J.G. (2005). Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clinical Psychology Review*, 25, 45–65.

Blomberg, R.D., Peck, R.C., Moskowitz, H., Burns, M. and Fiorentino, D. (2005). Crash Risk of Alcohol Involved Driving: A Case-Control Study. Final report. Dunlap and Associates, Inc. <http://www.dunlapandassociatesinc.com/crashriskofalcoholinvolveddriving.pdf>. Viitattu 23.8.2018.

Borkenstein, R. F., Crowther, R. F., Shumate, R. P., Zeil, W. W., and Zylman, R. (1964). The role of the drinking driver in traffic accidents. Bloomington, IN: Department of Police Administration, Indiana University.

Brenac, T., Perrin, C., Canu, B., Magnin, J., and Canu, A. (2015). Influence of Travelling Speed on the Risk of Injury Accident: a Matched Case-Control Study. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43(3), pp. 129–137.

Broughton, J. (2012). The influence of car registration year on driver casualty rates in Great Britain. *Accident Analysis and Prevention*, 45, pp. 438–445.

Cerrelli, E. (1989). Older Drivers, The Age Factor in Traffic Safety. NHTSA Technical Report. National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation. https://rosap.nhtsa.gov/view/dot/1526/dot_1526_DS1.pdf. Viitattu 5.9.2018.

Cicchino, J. B. (2015). Why have fatality rates among older drivers declined? The relative contributions of changes in survivability and crash involvement. *Accident Analysis and Prevention*, 83, pp. 67–73.

Compton, R.P., Blomberg, R.D., Moskowitz, H., Burns, M., Peck, R.C., and Fiorentino, D. (2002). Crash Risk of Alcohol Involved Driving. http://www.icadtsinternational.com/files/documents/2002_048.pdf. Viitattu 23.8.2018.

Connor J, Norton R, Ameratunga S, Jackson R. (2004). The contribution of alcohol to serious car crash injuries. *Epidemiology*, 15(4), pp. 337–44.

Davis, D. A., Davuluri, S., Pei, J. (2006). Speed as a risk factor in serious run-off-road crashes: Bayesian case-control analysis with case speed uncertainty. *Journal of Transportation and Statistics*, 9(1), pp. 17–28.

Dellinger, A. M., Kresnow, M. J., White, D. D., and Sehgal, M. (2004). Risk to self versus risk to others: how do older drivers compare to others on the road? *American Journal of Preventive Medicine*, 26(3), pp. 217–221.

European Conference of Ministers of Transport (2006). Young Drivers: The Road to Safety, OECD Publishing.

- Elvik, R. (2013). A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims. *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 854–860.
- Elvik, R., Vadeby, A., Hels, T., and van Shagen, I. (2019). Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. *Accident Analysis and Prevention*, 123, pp. 114–122.
- Elvik, R. (2014). Fart og trafikksikkerhet. Nye modeller. Rapport 1296. Oslo, Transportøkonomisk institutt.
- European Commission (2018)). Older Drivers. European Commission, Directorate General for Transport.
- European Road Safety Observatory (2006). Novice Drivers, retrieved April 10, 2007 from www.erso.eu.
- Evans, L. (2001). Age and Fatality Risk from Similar Severity Impacts. *Journal of Traffic Medicine*, 29(1-2), pp. 10–19.
- Garrisson H., Scholey A., Ogden, E., and Benson, S. (2021). The effects of alcohol intoxication on cognitive functions critical for driving: A systematic review. *Accident Analysis and Prevention*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106052>
- Hakamies-Blomqvist, L., Raitanen, T., and O'Neill, D. (2002). Driver ageing does not cause higher accident rates per km. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(4), pp. 271–274.
- Héran, M. A. (2004) A definition of causal effect for epidemiological research. *Journal of Epidemiological Community Health*, 58, pp. 265–271.
- Høye, A. (2017). Bilalder og risiko. Rapport 1607. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- International Transport Forum, OECD (2018). Speed and Crash Risk. Research Report of the International Traffic Safety Data and Analysis Group (IRTAD).
- Janke, M. K. (1991) Accidents, mileage and the exaggeration of risk. *Accident Analysis and Prevention*, 23(2/3), pp. 183–188.
- Keall, M. D., Frith, W. J. (2004). Older driver crash rates in relation to type and quantity of travel. *Traffic Injury Prevention*, 5(1), pp. 26–36.
- Kloeden, C. N., McLean, A. J., Glonek, G. (2002). Reanalysis of Travelling speed and the risk of crash involvement in Adelaide, South Australia. Adelaide: University of Adelaide.
- Kloeden, C. N., McLean, A. J., Moore, V. M., Ponte G. (1997). Travelling speed and the risk of crash involvement. *Volume I, Findings*, Adelaide: University of Adelaide.
- Kloeden, C. N., Ponte, G., McLean, A. J. (2001). Travelling speed and the risk of crash involvement on rural roads. *Report CR 204*, Adelaide: University of Adelaide.

- Langford, J., Methorst, R., and Hakamies-Blomqvist, L. (2006). Older drivers do not have a high crash risk - a replication of low mileage bias. *Accident Analysis and Prevention*, 38(3), pp. 574–578.
- Langford, J., Koppel, S., Charlton, J., Fildes, B., Newstead, S. (2006). A re-assessment of older drivers as a road safety risk. *IATSS Research*, 30(1), pp. 27–37.
- Li, G., Braver, E. R., Chen, L. (2003). Fragility versus crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 35, pp. 227–235.
- Liikennevirasto (2012). Henkilöliikennetutkimus 2010–2011: Suomalaisten liikkuminen. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lr_2012_henkiloliikennetutkimus_web.pdf. Viitattu 5.8.2020.
- Löytty, Marita (2013). Alkoholirattijuopumus tieliikenteessä ja juopumuksen yleisyys ilma-, juna- ja vesiliikenteessä. Liikenteen analyysit, teema-analyysi. Trafín julkaisuja 11-2013.
- Martin, T. L., Solbeck, P. A. M., Mayers, D. J., Langille, R. M., Buczek, Y., Pelletier, M. R. (2013). A review of alcohol-impaired driving: the role of blood alcohol concentration and complexity of the driving task. *Journal of Forensic Sciences*, 58 (5), pp. 1238–1250.
- Moore, V. M., Dolinis, J., Woodward, A. J. (1995). Vehicle speed and risk of a severe crash. *Epidemiology*, 6, pp. 258–262.
- Niemi, Hannu (2016). Liikenneerikokset. Luku 8 teoksessa *Rikollisuustilanne 2015: Rikollisuuskehitys tilastojen ja tutkimusten valossa*. Helsingin yliopisto, Kriminologian ja oikeuspolitiikan instituutti. Katsauksia 14/2016.
- Nilsson, G. (2004). Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety. Bulletin 221. Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering, Lund.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2001). Ageing and Transport: Mobility Needs and Safety Issues. Report published by an OECD Scientific Expert Group, Paris, France.
- OTI (2016). Liikenneonnettomuuksien tutkijalautakuntien tutkimien tie- ja maastoliikenneonnettomuuksien onnettomuustietorekisteri. Onnettomuustietoinstituutti (OTI).
- Pastinen Virpi, Rantala Annika, Lehto Hannu, Nurmela Sakari (2012). Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus 2010–2011. Tekninen raportti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 8/2012. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-08_valtakunnallinen_henkiloliikennetutkimus_web.pdf. Viitattu 5.8.2020.
- Pearl, Judea (2009). *Causality: models, reasoning, and inference*, Cambridge University Press, 2nd ed.
- Poliisihallitus (2019). Alkoholia nauttineiden kuljettajien kokonaismäärät valtakunnallisissa ratsiatutkimuksissa vuosina 1988–2018. Liitetaulukko 4B teoksessa Petri Danielsson (toim.) *Rikollisuustilanne 2019: Rikollisuuskehitys tilastojen ja tutkimusten valossa*. Helsingin yliopisto, Kriminologian ja oikeuspolitiikan instituutti. Katsauksia 42/2020.

Portman Maria, Penttilä Antti, Haukka Jari, Eriksson Peter, Gunnar Teemu, Kuoppasalmi Kimmo, Koskimaa Heikki (2011). Rattijuopon profiili ja uusimisen riskitekijät. Tuloksia rattijuopumuksen esiintyvyydestä ja kehityksestä Uudenmaan ratsiatutkimuksesta vuosina 1990–2008. LINTU-julkaisu 1/2011.

Portman Maria, Penttilä Antti, Haukka Jari, Eriksson Peter, Gunnar Teemu, Kuoppasalmi Kimmo, Muuriaisniemi-Skippari Kirsi, Koskimaa Heikki (2012). Maistelleet liikenteessä. Tuloksia Uudenmaan ratsiatutkimuksesta 1990–2008. LINTU-julkaisu 4/2012.

Romano, E., Torres-Saavedra, P. A., Calderón Cartagena, H. I., Voas, R. B., and Ramírez, A. (2018). Alcohol-Related Risk of Driver Fatalities in Motor Vehicle Crashes: Comparing Data From 2007 and 2013–2014. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 79(4), pp. 547–552.

Räty Esa ja Kari Timo (2017). Henkilöautojen kolariturvallisuuden kehitys – Kuljettajan loukkaantumisriski kahden henkilöauton yhteenajoissa. Onnettomuustietoinstituutti, Liikennevakuutuskeskus. Verkkojulkaisu, www.oti.fi.

Solomon, D. (1964). Accidents on main rural highways related to speed, driver and vehicle. Washington, DC: US Department of Commerce & Bureau of Public Roads.

Suomen virallinen tilasto, SVT (2016). Kuolemansyyt [verkkojulkaisu]. Liitetaulukko 2a. Kuolleet peruskuolemansyyn ja iän mukaan 2016, molemmat sukupuolet. Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/ksyyt/2016/ksyyt_2016_2017-12-29_tau_002_fi.html. Viitattu: 5.9.2018.

Voas, R. B., Torres, P., Romano, E., and Lacey, J. H. (2012). Alcohol-related risk of driver fatalities: An update using 2007 data. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 73, pp. 341–350.

Zador, P. L. (1991). Alcohol-related relative risk and fatal driver injuries in relation to driver age and sex. *Journal of Studies on Alcohol*, 52, pp. 302–310.

Zador, P. L., Krawchuk, S. A., and Voas, R.B. (2000). Alcohol-related relative risk of driver fatalities and driver involvement in fatal crashes in relation to driver age and gender: An update using 1996 data. *Journal of Studies on Alcohol*, 61, pp. 387–395.

Liite A. Menetelmät

Tutkimuksessa pyritään arvioimaan, paljonko erityyppiset riskitekijät kasvattavat kuolemaan johtavan liikenneonnettomuuden riskiä. Mittarina käytetään riskisuhdetta, joka on onnettomuuden todennäköisyyksien suhde tapauksissa, kun riskitekijä esiintyy ja kun se ei esiinny. Riskisuhde määritellään

$$RS(x) = \frac{P(A|X = x)}{P(A|X = x_0)},$$

missä A viittaa onnettomuuden tapahtumiseen, X selittävään tekijään (esimerkiksi veren alkoholipitoisuuteen) ja $P(A|X = x)$ onnettomuuden ehdolliseen todennäköisyyteen selittävän tekijän X saadessa arvon x . Arvo $X = x_0$ edustaa vertailuluokkaa, johon riski suhteutetaan (esimerkiksi selvin päin ajaminen liikenteessä).

Onnettomuuden ehdollista todennäköisyyttä ei voi estimoida suoraan onnettomuusaineiston perusteella. Käyttäen Bayesin kaavaa ehdollisen todennäköisyyden suunta voidaan kuitenkin vaihtaa ja riskisuhde esittää muodossa

$$RS(x) = \frac{P(X = x|A)/P(X = x)}{P(X = x_0|A)/P(X = x_0)},$$

missä $P(X = x|A)$ on ehdollinen todennäköisyys, että selittävällä tekijällä on arvo x , kun onnettomuus tapahtuu. Tätä todennäköisyyttä voidaan arvioida sen osuudella onnettomuustietoaaineistossa: $P(X = x|A) \approx N(X = x|A)/N(A)$, missä $N(X = x|A)$ on arvon x esiintymisten lukumäärä aineistossa ja $N(A)$ onnettomuuksien kokonaismäärä aineistossa. Vastaavasti voidaan arvioida $P(X = x_0|A)$. Ei-ehdollisia todennäköisyyksiä $P(X = x)$ ja $P(X = x_0)$ eli arvojen x ja x_0 esiintymistä liikenteessä ylipäätään ei voida estimoida suoraan onnettomuusaineiston perusteella, vaan tähän tarvitaan taustatilastoja tai tausta-aineistoja.

Tuloksiin sisältyy monenlaisia epävarmuuslähteitä. Äärelliseen otoskokoon liittyvä epävarmuutta voidaan kuvata estimaattorin varianssilla ja luottamusvälillä. Tässä tutkimuksessa esitetään piste-estimaattien lisäksi 90 % luottamusvälit. Jos oletetaan, että taustatodennäköisyydet $P(X=x)$ ovat tarkkoja arvoja, luottamusvälin laskennassa voidaan hyödyntää arviota

$$\text{Var} \log[N(X = x|A)/N(X = x_0|A)] \approx 1/N(X = x|A) + 1/N(X = x_0|A),$$

joka perustuu deltamenetelmään ja siihen, että onnettomuuksien määrät oletetaan Poisson-jakautuneiksi. Kun lasketaan erilaisiin ihmisryhmiin liittyviä riskejä, riskisuhteen kaavassa taustatodennäköisyys $P(X = x)$ voidaan korvata kilometrisuoritteella $\eta(x)$. Näin on tehty tässä tutkimuksessa kuljettajan iän aiheuttamaa riskiä tutkittaessa. Nyt riskisuhteen estimaattorin logaritmin varianssi on likimain

$$\text{Var} \log \widehat{RS}(x) \approx \frac{1}{N(X = x|A)} + \frac{1}{N(X = x_0|A)} + \left(\frac{SE(\hat{\eta}(x))}{\hat{\eta}(x)} \right)^2 + \left(\frac{SE(\hat{\eta}(x_0))}{\hat{\eta}(x_0)} \right)^2,$$

missä $\hat{\eta}(x)$ on kilometrisuoritteen estimaattori ja $SE(\hat{\eta}(x))$ sen keskivirhe.

Tarkempia luottamusvälejä voidaan laskea Bayes-tilastotieteeseen perustuvan simuloinnin avulla. Jos asetetaan todennäköisyyden $P(X = i|A)$ priorijakaumaksi $Beta(\alpha, \beta)$, sen posteriorijakaumaksi saadaan $Beta(\alpha + N(X = i|A), \beta + N(X \neq i|A))$, sillä $N(X = i|A)$ noudattaa jakaumaa $Bin(N(A), P(X = i|A))$. Vastaavasti voidaan määrittää taustatodennäköisyyden $P(X = i)$ posteriorijakaumaksi $Beta(\alpha + N(X = i), \beta + N(X \neq i))$. Alkoholiriskiä tarkasteltaessa on käytetty priorijakaumana Beta-jakaumaa parametrein $\alpha = 0.1$ ja $\beta = 0.1 \cdot (k - 1)$, missä k on riskitekijän luokkien (eli sen mahdollisesti saamien arvojen) lukumäärä. Todennäköisyyksien arvot voidaan generoida niiden posteriorijakaumista ja muodostaa niistä riskisuhde. Näin voidaan simuloida riskisuhteen posteriorijakaumaa ja muodostaa sille posterioriväli. Huomaa, että raportin taulukkoteksteissä on käytetty myös posterioriväleistä nimitystä luottamusväli.

Kun riskitekijä x on jatkuva muuttuja, voidaan riskisuhde korvata suhteellisen riskin käyrällä:

$$r(x) = \frac{P(A|X = x)}{P(A|X = x_0)} = \frac{f^A(x)/f^A(x_0)}{f(x)/f(x_0)},$$

missä $f(\cdot)$ on tekijän x tiheysfunktio ja $f^A(\cdot)$ tiheysfunktio ehdolla, että onnettomuus tapahtuu. Esimerkiksi tarkasteltaessa ylinopeuden riskiä, x voi olla ajoneuvon nopeus ja x_0 nopeusrajoitus.

Siinä tapauksessa, että vertailuarvon todennäköisyys on positiivinen ($P(X = x_0) > 0$ ja $P(X = x_0|A) > 0$), suhteellisen riskin käyrä on

$$r(x) = \frac{(1 - p_0^A)f^A(x)/p_0^A}{(1 - p_0)f(x)/p_0},$$

missä $p_0 = P(X = x_0)$ ja $p_0^A = P(X = x_0|A)$. Esimerkiksi jos x on veren alkoholipitoisuus, vertailuarvo $x_0 = 0$ tarkoittaa selvin päin ajamista, p_0 on selvien kuljettajien osuus liikenteessä ja p_0^A todennäköisyys, ettei kuljettaja ole nauttinut alkoholia kuolemaan johtaneessa liikenneonnettomuudessa.

Riskisuhteen arviointiin voivat kuitenkin vaikuttaa sekoittavat taustamuuttujat, joilla voi olla vaikutusta sekä selittävään tekijään että onnettomuustodennäköisyyteen. Esimerkiksi tutkittaessa alkoholin käytön vaikutusta liikenneonnettomuuden todennäköisyyteen yhtenä sekoittavana tekijänä voi olla ajankohta (viikonpäivä ja kellonaika), joka voi selittää sekä alkoholin käyttöä että onnettomuusherkkyyttä suoraan. Tällöin voidaan pyrkiä korjaamaan sekoittavan tekijän vaikutus ja laskea ns. kausaalivaikutus. Kausaalivaikutus kuvaa riskiä, mikä aiheutuu, jos kuljettaja muista riskiin vaikuttavista tekijöistä riippumatta päättää tehdä jonkin toimenpiteen, esim. nauttia tietyn määrän alkoholia ennen ajamista.

Pearl (2009) määrittelee kausaalivaikutuksen todennäköisyytenä, joka perustuu oletettuihin syy- ja seuraussuhteisiin. Aina kausaalivaikutusta ei ole mahdollista määrittää (eli identifioida) havaittavien muuttujien todennäköisyysjakaumien perusteella. Toimenpiteen $X = x$ kausaalivaikutus onnettomuuteen A , merk. $P(A|\text{do}(X = x))$, määritellään tapahtuman A todennäköisyytenä ehdolla, että satunnaismuuttujan X arvoksi asetetaan x . Kausaalivaikutus poikkeaa yleensä tavanomaisesta ehdollisesta todennäköisyydestä $P(A|X = x)$. Jos oletetaan, että on ainoastaan yksi sekoittava tekijä Z , joka vaikuttaa sekä riskitekijään X että onnettomuusriskiin suoraan, kausaalivaikutus voidaan laskea

keskiarvoistamalla onnettomuuden ehdollinen todennäköisyys $P(A|X = x, Z = z)$ tekijän Z jakauman suhteen:

$$P(A|do(X = x)) = \sum_z P(A|X = x, Z = z)P(Z = z).$$

Kaava on erikoistapaus ns. takaovikorjauksesta (Pearl, 2009, s. 79–80).

Kausaalivaikutuksiin perustuva versio riskisuhteesta, ns. kausaalinen riskisuhde, määritellään

$$RS_{do}(x) = \frac{P(A|do(X = x))}{P(A|do(X = x_0))}$$

(Héran, 2004). Olettamalla yhden sekoittavan tekijän Z olemassaolo (kuten edellä) ja hyödyntämällä takaovikorjausta tämä voidaan esittää muodossa

$$RS_{do}(x) = \frac{\sum_z \frac{P(X = x, Z = z|A)}{P(X = x|Z = z)}}{\sum_z \frac{P(X = x_0, Z = z|A)}{P(X = x_0|Z = z)}}.$$

Huomataan, että kaavassa ei tarvita sekoittavan tekijän Z reunajakaumaa $P(Z = z)$, ainoastaan ehdolliset todennäköisyydet $P(X = x|Z = z)$ ja $P(X = x, Z = z|A)$.

Osa tämän tutkimuksen tuloksista laskettiin tai olisi voitu laskea myös perinteisillä tilastollisilla menetelmillä, logistisella regressioanalyysillä tai Poissonin regressioanalyysillä. Logistinen regressioanalyysi antaa vetosuhteita (OR, odds ratio), jotka ovat käytännössä yhtäsuuria kuin riskisuhteet (RR, risk ratio) silloin, kun mallinnettava tapahtuman (tässä tapauksessa liikenneonnettomuuden) todennäköisyys on hyvin pieni. Tutkittaessa ylinopeuden vaikutusta olisi ollut mahdollista käyttää logistista regressioanalyysiä, koska liikenteen automaattisiin mittauksiin perustuva tausta-aineisto koostui yksittäisistä nopeushavainnoista. Tällöin nopeusjakaumien mallinnus ei olisi ollut välttämätöntä. Mallintamalla nopeusjakaumat oli kuitenkin mahdollista ottaa huomioon onnettomuusajoneuvojen nopeusarvioiden epätarkkuus.

Poissonin regressiomallin avulla on mahdollista laskea suoraan riskisuhteita, kun altistukset ovat tiedossa. Tutkittaessa auton vuosimallin vaikutusta riskiin eri vuosimallien kilometrisuoritteet kunakin vuonna oletettiin tunnetuksi. Malliin oli myös helppo lisätä selittäjäksi auton ikä ja siten kontrolloida sen vaikutusta. Käytetty log-lineaarinen malli on muotoa

$$\log(\mu_{ij}/c_{ij}) = \alpha_0 + \alpha_i + \beta_j,$$

missä μ_{ij} on onnettomuuksien määrän odotusarvo ja c_{ij} altistus (kilometrisuorite) autolle, jonka vuosimalli on i ja ikä j . Vuosimallin i riskisuhde suhteessa vertailuvuosimalliin on $\exp(\alpha_i)$ ja iän riskisuhde $\exp(\beta_j)$ suhteessa vertailuikään. Koska malli on kerrannainen (logaritmimuodossa additiivinen), iän ja vuosimallin vaikutuksia voidaan tarkastella toisistaan riippumattomasti. Tietyn ikäisen ja tiettyä vuosimallia olevan auton riskisuhde suhteessa vertailuryhmään saadaan kertomalla keskenään ikää ja vuosimallia vastaavat riskisuhteet.

Liite B. Veren alkoholipitoisuuden jakauma alkoholia nauttineilla

Onnettomuusaineiston perusteella vaikuttaa siltä, että alkoholia nauttineiden kuljettajien veren alkoholipitoisuuden jakauma on kaksihuippuinen. Oletamme, että jakauma on kahden gammajakauman sekoitusjakauma ja että gammajakaumilla on yhteinen skaalaparametri. Tällöin jakauman tiheysfunktio on muotoa

$$f(x) = \omega \frac{\beta^{\alpha_1}}{\Gamma(\alpha_1)} x^{\alpha_1-1} e^{-\beta x} + (1 - \omega) \frac{\beta^{\alpha_2}}{\Gamma(\alpha_2)} x^{\alpha_2-1} e^{-\beta x}.$$

Jos oletetaan lisäksi, että selvänä ajamisen todennäköisyys on p_0 , selvänä ajamisen todennäköisyys kuolemaan johtavan liikenneonnettomuuden aiheuttajilla p_0^A ja riskifunktio riskille aiheuttaa kuolemaan johtava liikenneonnettomuus on $r(x)$, niin veren alkoholipitoisuuden jakauma onnettomuuden aiheuttaneille ja alkoholia nauttineille on $f^A(x) = c \cdot r(x)f(x)$, missä

$$c = \frac{(1 - p_0)/p_0}{(1 - p_0^A)/p_0^A}.$$

Tässä tutkimuksessa oletetaan, että riskifunktio on muotoa $r(x) = 1 + \gamma_1 x + \gamma_2 x^2 + \gamma_4 x^4$. Jotta $f^A(x)$ olisi aito tiheysfunktio, vaaditaan, että $\int_0^\infty f^A(x) dx = 1$. Tästä ehdosta seuraa rajoite kertoimelle γ_4 :

$$\gamma_4 = \frac{\beta^4 \left(\frac{1}{c} - 1 \right) - \omega \left(\beta^3 \gamma_1 \alpha_1 + \beta^2 \gamma_2 \frac{\Gamma(\alpha_1 + 2)}{\Gamma(\alpha_1)} \right) - (1 - \omega) \left(\beta^3 \gamma_1 \alpha_2 + \beta^2 \gamma_2 \frac{\Gamma(\alpha_2 + 2)}{\Gamma(\alpha_2)} \right)}{\omega \frac{\Gamma(\alpha_1 + 4)}{\Gamma(\alpha_1)} + (1 - \omega) \frac{\Gamma(\alpha_2 + 4)}{\Gamma(\alpha_2)}}.$$

Malli voidaan estimoida onnettomuusaineiston ja puhallutustutkimusten tulosten perusteella. Puhallutustutkimuksista oli käytössä ainoastaan luokittelutason tietoa. Määritellään, että luokka l on väli $(r_{l-1}, r_l]$, $l = 1, \dots, L$, missä L on luokkien lukumäärä, ja olkoon n_l havaintojen määrä tässä luokassa. Olkoon selvien kuljettajien lukumäärä puhallutusaineistossa n_0 , kaikkien puhalletuttujen määrä n , onnettomuuden aiheuttaneiden selvien kuljettajien määrä n_0^A ja kaikkien onnettomuuden aiheuttaneiden kuljettajien määrä n^A . Olkoot lisäksi y_i , $i = 1, \dots, n^A - n_0^A$, mitatut veren alkoholipitoisuudet onnettomuuden aiheuttaneilla kuljettajilla onnettomuusaineistossa. Tällöin mallin uskottavuusfunktio voidaan kirjoittaa muodossa

$$L = p_0^{n_0} (1 - p_0)^{n - n_0} \prod_{l=1}^L [F(r_l) - F(r_{l-1})]^{n_l} \\ \times (p_0^A)^{n_0^A} (1 - p_0^A)^{n^A - n_0^A} c^{n^A - n_0^A} \prod_i r(y_i) f(y_i),$$

missä $F(\cdot)$ on tiheysfunktioita $f(\cdot)$ vastaava kertymäfunktio.

Malli voidaan estimoida Bayes-lähestymistavalla. Olettamalla tasaiset priorijakaumat muunnetuille parametreille

$$(\text{logit}(\omega), \log(\alpha_1), \log(\alpha_2 - \alpha_1), \log(\beta), \gamma_1, \gamma_2, \text{logit}(p_0), \text{logit}(p_0^A))$$

ja käyttämällä Metropolis-algoritmia saadaan taulukon B.1 estimointitulokset.

Taulukko B.1. Posteriorijakaumaa kuvaavat tunnusluvut, tehokas simulointien määrä n_{eff} ja potentiaalinen asteikon vähennys \hat{R} .

parametri	odotus- arvo	odotus- arvon keskivirhe	keski- hajonta	2.5 %	50 %	97.5 %	n_eff	Rhat
ω	0.901	0.000	0.007	0.887	0.901	0.914	1015	1.006
α_1	1.600	0.003	0.077	1.455	1.598	1.761	956	1.004
α_2	9.068	0.018	0.554	8.035	9.059	10.194	910	1.003
β	6.733	0.010	0.306	6.167	6.729	7.337	940	1.003
γ_1	10.610	0.144	5.627	1.209	10.329	22.534	1614	1.003
γ_2	17.840	0.311	13.889	0.567	15.036	50.991	1987	1.002
γ_4	82.086	0.391	12.596	58.002	81.784	106.809	1040	1.006
p_0	0.992	0.000	0.000	0.992	0.992	0.992	1006	1.007
p_0^A	0.680	0.000	0.015	0.650	0.681	0.709	1086	1.006

Liite C. Autojen nopeusjakauma

Mallinamme autojen nopeusjakaumia kahdesta komponentista koostuvilla sekoitusjakaumilla, jotta jakauma sopisi hyvin havaintoihin sekä jakauman keskialueella että oikeanpuoleisessa hännässä. Estimoinnissa katkaisemme jakauman noin puolesta välistä, koska tarkoitus on saada hyvä sovitus oikeanpuoleiselle hännälle, joka on kiinnostava ylinopeuksien mallintamisen kannalta. Normaalialueella liikennettä edustavat nopeusjakaumat estimoitettiin liikenteen automaattisilta mittausasemilta (LAM) kerätyn aineiston perusteella.

Sovitettaessa nopeusjakauma onnettomuusautoille poistettiin tapaukset, joissa kuljettajalla oli alkoholia veressä, hänen tiedettiin käyttäneen huumeita tai ajokykyyn mahdollisesti vaikuttavia lääkkeitä tai onnettomuuden välitön riskitekijä oli tutkijalautakunnan mukaan sairauskohtaus, nukahtaminen, vireystilan lasku tai tajunnan menetys. Myös todetut itsemurhat sekä tapaukset, joista oli tiedossa, että kuljettajalla oli ollut itsemurha-ajatuksia tai -yrityksiä, poistettiin. Näin tehtiin, koska haluttiin tutkia nimenomaan ylinopeuden aiheuttamaa riskiä. Tarkasteluissa rajoituttiin kesäaikaan 1.5–30.9 ja teihin, joilla on yksi kaista yhteen suuntaan. Erikseen tarkasteltiin 80 ja 100 km/h nopeusrajoituksen tieosuus-alueita.

Oletetaan, että autojen nopeusjakauman tiheysfunktio tausta-aineistossa on

$$f(x) = (1 - \omega)t_v(x|\mu, \sigma_0) + \omega t_v(x|\mu, \sigma_1),$$

missä

$$t_v(x|\mu, \sigma) = \frac{\Gamma((v+1)/2)}{\Gamma(v/2)\sqrt{v\pi}\sigma} \left(1 + \frac{1}{v} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)^{-(v+1)/2}$$

on sijainti- ja skaalaparametrilla varustetun Studentin t-jakauman tiheysfunktio.

Ylinopeuden aiheuttamaa riskiä arvioitiin kahdella aikaisemmissa tutkimuksissa sovelletulla mallilla: eksponenttimallilla ja potenssimallilla (International Transport Forum, 2018). Eksponenttimallissa riskisuhde, kun verrataan nopeudella x ajamista nopeudella x_0 ajamiseen, on

$$r(x) = e^{\beta(x-x_0)}.$$

Vastaava suhde potenssimallilla on

$$r(x) = (x/x_0)^k.$$

Onnettomuusaineiston autojen nopeusjakauma f_A saatiin kertomalla LAM-mittauksiin perustuva taustajakauma riskifunktiolla $r(x)$, katkaisemalla jakauma oikealta oletetusta nopeuden maksimiarvosta M ja skaalaamalla saatu funktio tiheysfunktioiksi. Katkaisua tarvittiin, jotta taustajakauman ja riskifunktion tulo olisi integroitava.

Nopeusrajoitusalueella 80 km/h käytettiin ylärajaa $M=175$ ja alueella 100 km/h rajaa $M=200$.

Taustajakauman f parametrien sekä riskifunktioiden parametrien β ja k estimoinnissa kiinnitimme 80 km/h nopeusrajoitusalueella sijaintiparametrin arvoksi $\mu = 81$, joka oli LAM-aineiston perusteella nopeusjakaumalle sekä mediaani että moodi ja 100 km/h nopeusrajoitusalueella kiinnitimme $\mu = 100$, joka oli moodi. LAM-aineiston nopeudet oli pyöristetty kokonaisluvuiksi. Uskottavuusfunktio on tällöin

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n \frac{f(y_i|\theta)}{1 - F(y_0|\theta)},$$

missä $F(\cdot)$ on tiheysfunktiota $f(\cdot)$ vastaava kertymäfunktio ja $\theta = (v, \sigma_0, \sigma_1, \omega)$ on estimoitavien parametrien vektori. Katkaisukohtaksi y_0 asetettiin 80 km/h nopeusrajoitusalueella 79.5 ja 100 km/h alueella 99.5.

Ajoneuvojen nopeudet onnettomuusaineistossa perustuvat arvioihin. Aineistossa esiintyi suhteessa eniten 10:llä jaollisia lukuja ja toiseksi eniten 5 jaollisia lukuja. Siksi oletimme estimoinnissa, että nämä luvut ovat pyöristettyjä arvoja. Uskottavuusfunktio on muotoa

$$L_A(\theta_A) = \prod_{i=1}^n \frac{f_A(y_i|\theta_A)}{1 - F_A(y_0^A|\theta_A)} \prod_{i=1}^{n'} \frac{F_A(y_i' + 2.5|\theta_A) - F_A(y_i' - 2.5|\theta_A)}{1 - F_A(y_0^A|\theta_A)} \\ \times \prod_{i=1}^{n''} \frac{F_A(y_i'' + 5|\theta_A) - F_A(y_i'' - 5|\theta_A)}{1 - F_A(y_0^A|\theta_A)},$$

missä $F_A(\cdot)$ on tiheysfunktiota $f_A(\cdot)$ vastaava kertymäfunktio, y_1, \dots, y_n ovat 'tarkat' havainnot, $y_1', \dots, y_{n'}$ lähimpään viidellä jaolliseen lukuun pyöristetyt havainnot ja $y_1'', \dots, y_{n''}$ lähimpään kymmenlukuun pyöristetyt havainnot ja θ_A on estimoitava parametri, joko β tai k . Estimoinnissa katkaisurajaksi y_0^A asetettiin 72.5 km/h nopeusrajoituksen ollessa 80 km/h ja 92.5 km/h sen ollessa 100 km/h.

Taulukossa C.1 on esitetty nopeusjakaumien parametrien suurimman uskottavuuden estimaatit keskivirheineen.

Taulukko C.1. Nopeusjakaumien parametrien suurimman uskottavuuden estimaatit (suluissa keskivirheet).

Rajoitus	σ_0	σ_1	v	$\log(\omega)$	β	k
80 km/h	5.28 (0.05)	10.47 (0.34)	7.90 (0.71)	-1.61 (0.12)	0.092 (0.007)	9.25 (0.89)
100 km/h	4.70 (0.06)	9.53 (0.43)	5.84 (0.43)	-1.20 (0.12)	0.079 (0.007)	9.96 (1.05)

Liite D. Henkilöauton käyttöikä ja eri-ikäisenä ajettut

kilometrit

Kuvion 2.11 perusteella henkilöauton käyttöiän uhkafunktio (hazard function) on ensin laskeva ja sitten vähenevä. Log-logistisella jakaumalla voidaan mallintaa tällainen ominaisuus. Jakauma ei kuitenkaan täysin vastaa empiirisen jakauman piirteitä. Tietyn pisteen jälkeen (merk. t_0) riskitiheys näyttää vähenevän nopeammin kuin mitä log-logistinen malli ennustaisi. Lisäksi rekisteristä poistuu tasaisesti kaikenikäisiä autoja, esim. liikenneonnettomuuksien vuoksi.

Seuraava paloittain määritelty uhkafunktio, joka yleistää log-logistisen mallin, vaikuttaa sopivan aineistoon kohtuullisen hyvin:

$$h(t) = \begin{cases} \frac{\frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}}{1 + \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} + \epsilon, & \text{kun } t < t_0, \\ \gamma e^{-\delta(t-t_0)} + \epsilon, & \text{kun } t \geq t_0. \end{cases}$$

Tätä vastaa elossaolofunktio

$$S(t) = \begin{cases} \frac{\exp(-\epsilon t)}{1 + \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}, & \text{kun } t < t_0, \\ \frac{\exp\left[-\epsilon t - \frac{\gamma}{\delta}(1 - e^{-\delta(t-t_0)})\right]}{1 + \left(\frac{t_0}{\alpha}\right)^\beta}, & \text{kun } t \geq t_0. \end{cases}$$

ja tiheysfunktio

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\exp(-\epsilon t) \left[\epsilon \left(1 + \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right) + \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \right]}{\left[1 + \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]^2}, & \text{kun } t < t_0, \\ \frac{\exp\left[-\epsilon t - \frac{\gamma}{\delta}(1 - e^{-\delta(t-t_0)})\right]}{1 + \left(\frac{t_0}{\alpha}\right)^\beta} [\gamma e^{-\delta(t-t_0)} + \epsilon], & \text{kun } t \geq t_0. \end{cases}$$

Jotta nämä funktiot olisivat jatkuvia kohdassa $t = t_0$, vaaditaan, että

$$\gamma = (\beta/\alpha)(t_0/\alpha)^{\beta-1}/[1 + (t_0/\alpha)^\beta].$$

Tämäkään jakauma ei sovi aineistoon enää kovin hyvin kaikkein suurimmilla arvoilla t . Kuitenkaan tällä ei ole suurta merkitystä, koska poistuneita autoja näissä ikäluokissa on vain muutamia kymmeniä. Aineisto on muutenkin epäsäännöllinen: autoille, jotka on otettu käyttöön ennen vuotta 1975, on merkitty ensirekisteröinti vuodelle 1975 tai sen jälkeen.

Malli voidaan estimoida suurimman uskottavuuden menetelmällä, kun oletetaan eri ikäkohorteista poistuneiden autojen määrät riippumattomiksi. Ikävälillä $(t, t + 1)$ poistuneiden autojen lukumäärä d_t noudattaa binomijakaumaa parametrein n_t ja p_t , missä n_t on autojen lukumäärä hetkellä t ja $p_t = (S(t) - S(t + 1))/S(t)$. Tästä saadaan uskottavuusfunktiksi

$$L = \prod_{t=1}^T \binom{n_t}{d_t} p_t^{d_t} (1 - p_t)^{n_t - d_t}.$$

Suurimman uskottavuuden estimaatit keskivirheineen ovat $\hat{\alpha} = 20.289$ (0.022), $\hat{\beta} = 5.7377$ (0.0251), $\log(\hat{\epsilon}) = -4.7286$ (0.0126) ja $\hat{\delta} = 0.11544$ (0.00183), kun tarkastellaan aikaväliä 1.10.2016–1.10.2017.

Eri-ikäisten autojen keskimääräinen kilometrimäärä lasketaan seuraavasti: Enintään nelivuotiaalla autoilla lasketaan keskiarvo nollan ylittävistä kilometrimääristä, koska autoa ei ole todennäköisesti katsastettu tarkasteltavalla aikavälillä, jos kilometrimäärä on 0. Tätä vanhemmilla autoilla lasketaan keskiarvo kaikista kilometriluvuista.

Keskimääräisen kilometrimäärän ja auton iän suhde on likimain log-lineaarinen (vrt. kuvio 2.13):

$$\log(\bar{x}_t) \approx 10.408 - 0.068391 \cdot t$$

(0.046) (0.001911)

Ottamalla huomioon autojen vuosimallin jakauman kunakin tutkimusvuonna 2005–2014 ja eri ikäisillä autoilla keskimäärin ajettut kilometrit voimme arvioida eri vuosimallin autojen liikennesuoritetta ajettuina kilometreinä. Käytämme näitä liikennesuoritteita altistuslukuina sovitettavassa Poissonin regressiomallissa, jossa selittäjinä ovat auton vuosimalli ja ikä. Taulukoissa D.1–D.4 on laskettuna riskisuhteita erilaisilla rajauksilla. Onnettomuusautojen lukumäärät eri tapauksissa on esitetty [Excel-taulukon Liite.D.5.xlsx](#) eri välilehdillä ja arvioitu altistus (kilometrisuorite) [Excel-taulukossa Liite.D.6.xlsx](#).

Taulukko D.1. Eri-ikäisten henkilöautojen riskisuhde kuolemaan johtavaan onnettomuuteen ja 90 % luottamusväli, kun riskiä tarkastellaan käyttöönottovuoden suhteen. Liikennesuorite on arvioitu ajettujen kilometrien määrä 2005–2014. Vasemmalla tapauksina ovat autot, joissa mukana olleita on kuollut, keskellä yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot ja oikealla autot, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi useamman moottoriajoneuvon onnettomuudessa.

Otettu käyttöön	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita)	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita) 90 % lv.	Riskisuhde (yksittäisonnettomuudet)	Riskisuhde (yksittäisonnettomuudet) 90 % lv.	Riskisuhde (aiheuttajat)	Riskisuhde (aiheuttajat) 90 % lv.
-84	9.5	4.5–20	13	6–27	6	2.8–13
85–86	6.1	3.1–12	5.5	2.8–11	4.9	2.5–9.7
87–88	6	3.2–11	8.3	4.5–15	4	2.1–7.4
89–90	5.7	3.2–10	6.5	3.7–12	5	2.8–9
91–92	5.3	3–9.5	6.2	3.5–11	4.2	2.4–7.6
93–94	4.1	2.3–7.3	4	2.3–7.1	3.4	1.9–6.1
95–96	3.5	2–6.1	3.2	1.9–5.6	3.3	1.9–5.7
97–98	2.7	1.6–4.6	2.9	1.7–4.9	2.3	1.3–3.9
99–00	2.5	1.5–4.2	2.7	1.6–4.5	2.1	1.3–3.6
01–02	1.7	1–2.9	1.5	0.9–2.6	1.7	1–2.9
03–04	1.3	0.8–2.1	1.2	0.8–2	1.3	0.8–2.1
05–06	1.1	0.7–1.7	1.1	0.7–1.9	1	0.6–1.6
07–08	1	0.6–1.7	0.8	0.4–1.2	1.2	0.7–1.9
09–10	1	0.5–1.8	1.2	0.7–2.2	0.7	0.4–1.3
11–14	1	1–1	1	1–1	1	1–1

Taulukko D.2. Eri-ikäisten henkilöautojen riskisuhde kuolemaan johtavaan onnettomuuteen ja 90 % luottamusväli, kun riskiä tarkastellaan auton iän suhteen. Liikennesuorite on arvioitu ajettujen kilometrien määrä 2005–2014. Vasemmalla tapauksina ovat autot, joissa mukana olleita on kuollut, keskellä yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot ja oikealla autot, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi useamman moottoriajoneuvon onnettomuudessa.

Auton ikä	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita)	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita) 90 % lv.	Riskisuhde (yksittäis- onnetto- muudet)	Riskisuhde (yksittäis- onnetto- muudet) 90 % lv.	Riskisuhde (aiheuttajat)	Riskisuhde (aiheuttajat) 90 % lv.
0–1	1	1–1	1	1–1	1	1–1
2–3	1.2	0.8–1.8	1.3	0.9–2	1.2	0.8–1.7
4–5	1.6	1.1–2.3	1.5	1–2.1	1.6	1.1–2.4
6–7	2	1.4–3	2.5	1.7–3.8	1.6	1.1–2.4
8–9	2.8	1.9–4.1	3	2–4.5	2.8	1.9–4.2
10–11	2.7	1.7–4.1	3	2–4.6	2.3	1.5–3.5
12–13	3.6	2.3–5.5	4.5	2.9–7	2.8	1.8–4.3
14–15	3.9	2.5–6.2	4	2.6–6.3	4	2.6–6.3
16–17	5.1	3.2–8.2	5.7	3.6–9.2	4.3	2.7–6.8
18–19	4.5	2.8–7.4	4.5	2.8–7.4	4.5	2.8–7.4
20–21	4.3	2.5–7.2	4.1	2.4–6.9	4.4	2.6–7.4
22–23	3.6	2.1–6.4	3.4	1.9–5.9	4	2.3–7
24–25	3.2	1.7–6	3.2	1.7–6.1	3.9	2.1–7.4
26–	2.4	1.1–5.1	2.5	1.2–5.2	2.8	1.3–5.8

Taulukko D.3. Eri-ikäisten henkilöautojen riskisuhde kuolemaan johtavaan onnettomuuteen ja 90 % luottamusväli, kun riskiä tarkastellaan käyttöönottovuoden suhteen. Liikennesuorite on arvioitu ajettujen kilometrien määrä 2005–2014. Vasemmalla tapauksina ovat autot, joissa mukana olleita on kuollut, ja oikealla autot, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi, mukaan lukien yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot. Tapauksista on poistettu ne, joissa kuljettaja on ollut alkoholin, lääkkeen tai huumausaineen vaikutuksen alainen, hän on ajanut tietoisesti tilanteeseen (itsemurha), saanut sairauskohtauksen, nukahtanut tai on ajanut ylinopeutta.

Otettu käyttöön	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita)	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita) 90 % lv.	Riskisuhde (aiheuttajat)	Riskisuhde (aiheuttajat) 90 % lv.
-84	34	11–110	30	8.3–110
85–86	22	7.5–65	18	5.3–62
87–88	18	6.5–50	17	5.2–53
89–90	15	5.4–40	17	5.5–53
91–92	15	5.5–40	16	5.2–49
93–94	14	5.2–37	13	4.3–41
95–96	13	5–33	14	4.9–42
97–98	10	4–26	11	3.7–31
99–00	9.3	3.7–23	11	3.8–31
01–02	6.5	2.6–16	7.5	2.6–22
03–04	3.4	1.4–8.4	3.9	1.4–11
05–06	3	1.2–7.5	3.7	1.3–10
07–08	3.2	1.3–7.9	3.4	1.2–9.6
09–10	2.2	0.8–5.8	2.5	0.8–7.6
11–14	1	1–1	1	1–1

Taulukko D.4. Eri-ikäisten henkilöautojen riskisuhde kuolemaan johtavaan onnettomuuteen ja 90 % luottamusväli, kun riskiä tarkastellaan auton iän suhteen. Liikennesuorite on arvioitu ajettujen kilometrien määrä 2005–2014. Vasemmalla tapauksina ovat autot, joissa mukana olleita on kuollut, ja oikealla autot, joiden kuljettaja on katsottu aiheuttajaksi, mukaan lukien yksittäisonnettomuudet ja eläinvahingot. Tapauksista on poistettu ne, joissa kuljettaja on ollut alkoholin, lääkkeen tai huumausaineen vaikutuksen alainen, hän on ajanut tietoisesti tilanteeseen (itsemurha), saanut sairauskohtauksen, nukahtanut tai on ajanut ylinopeutta.

Auton ikä	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita)	Riskisuhde (autot, joissa kuolleita) 90 % lv.	Riskisuhde (aiheuttajat)	Riskisuhde (aiheuttajat) 90 % lv.
0–1	1	1–1	1	1–1
2–3	1.1	0.7–1.7	0.9	0.5–1.5
4–5	1.5	0.9–2.4	1.2	0.7–2
6–7	1.4	0.9–2.4	1.4	0.8–2.4
8–9	1.9	1.1–3.1	2.1	1.3–3.7
10–11	1.7	1–2.9	1.6	0.9–2.8
12–13	1.5	0.9–2.6	1.3	0.7–2.4
14–15	2.1	1.2–3.7	2.2	1.2–4.1
16–17	2.5	1.4–4.6	2.2	1.1–4.1
18–19	2.8	1.5–5.2	2.8	1.4–5.5
20–21	2.6	1.3–5.2	2.9	1.4–6.1
22–23	2.2	1.1–4.7	2.3	1–5.1
24–25	1.4	0.6–3.5	2.5	1–6.1
26–	1.6	0.6–4.1	2.4	0.9–6.2