

Samu Kantola

SUOJATEIDEN TURVAJÄRJESTELMIEN VAIKUTUKSET VÄISTÄMISKÄYTTÄYTY- MISEEN

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Toukokuu 2023

TIIVISTELMÄ

Samu Kantola: Suojateiden turvajärjestelmien vaikutukset väistämiskäyttäytymiseen
(The effects of crosswalk warning systems on yielding)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Toukokuu 2023

Suomessa liikenneturvallisuus on parantunut sekä yleisesti että suojatieturvallisuuden osalta 2000-luvulla. Turvallisuuden parantaminen myös tulevaisuudessa vaatii jatkuvia toimia etenkin, kun tavoitteena on liikenneturvallisuusstrategian nollavisio, jonka mukaan tieliikennekuolemien sekä vakavien loukkaantumisien määrä tulisi pudottaa nollaan vuoteen 2050 mennessä. Turvallisuutta parantavat rakenteelliset liikenteenrauhottamistoimenpiteet ovat usein suhteellisen kalliita, joten viimeisen vuosikymmenen aikana teknologisen kehityksen myötä on otettu käyttöön erilaisia suojateiden turvallisuuden parantamiseen pyrkiviä järjestelmiä. Suojateiden turvajärjestelmät ovat yksi yleistynyt vaihtoehto.

Tässä työssä tarkastellaan suojateiden turvajärjestelmien vaikutuksia väistämiskäyttäytymiseen valo-ohjaamattomilla suojateilla. Väistämiskäyttäytymistä käsitellään erityisesti väistämisas-teen sekä väistämisvelvollisuuden noudattamisasteen osalta ja työ rajataan koskemaan jalankul- kijoita. Työssä esitellään joitakin yleisesti käytössä olevia suojateiden turvajärjestelmien tyyppejä, jotka luokitellaan toimintatapojensa perusteella passiivisiin sekä aktiivisiin järjestelmiin sen perus- teella, onko järjestelmä toiminnassa koko ajan, vai aktivoituuko se jalankulkijan toiminnasta. Pää- painoisesti työssä perehdytään aktiivisten järjestelmien vaikutuksiin.

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena ja se pohjautuu vertaisarvioituihin tieteellisiin julkai- suihin. Koska pohjoismaisia ja eurooppalaisia tutkimuksia suojateiden turvajärjestelmistä on hy- vin rajoitetusti saatavilla, työ perustuu suurelta osin pohjoisamerikkalaisiin tutkimuksiin. Tämä saattaa heikentää tulosten yleistettävyyttä suomalaisessa liikenneympäristössä.

Tutkimukset osoittavat, että suojateiden turvajärjestelmät voivat vaikuttaa myönteisesti ajo- neuvojen kuljettajien väistämiskäyttäytymiseen parantamalla väistämisasastetta tai väistämisvel- lisuuden noudattamisastetta. Tämän perusteella on mahdollista, että jalankulkijoiden ja ajoneu- vojen väliset konfliktit vähenevät suojateilla, joissa turvajärjestelmä on käytössä. Konfliktien vä- heneminen voi johtaa suojatieturvallisuuden paranemiseen. Monet tekijät, kuten vallitseva liiken- neympäristö, vaikuttavat kuitenkin siihen, kuinka suuri suojateiden turvajärjestelmien vaikutus väistämiskäyttäytymiseen on. Tutkimusten tulosten perusteella voidaan todeta, että suojateiden turvajärjestelmät voivat olla yksi keino liikenneturvallisuusstrategian mukaisen nollavision saavut- tamisessa. Toisaalta erityisesti suomalaiselle jatkotutkimukselle olisi tarvetta, jos oletetaan järjes- telmien yleistyvän laajemmin Suomessa.

Avainsanat: Suojateiden turvajärjestelmät, suojateiden varoitusjärjestelmät, suojatieturvallisuus, suojatie, väistämiskäyttäytyminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ALKUSANAT

Tämä suojateiden turvajärjestelmien vaikutuksia käsittelevä työ on tehty osana rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelmaa. Haluan erityisesti kiittää työn ohjaajaa Hanne Tiikkajaa sekä alkuvaiheessa työtä ohjannutta Roni Utriaista.

Tampereella, 14.5.2023

Samu Kantola

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Työn taustaa	1
1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus	1
1.3 Tutkimusmenetelmä ja rakenne	2
1.4 Suojateitä koskeva lainsäädäntö Suomessa	2
2. SUOJATIETURVALLISUUS.....	4
2.1 Henkilövahingot suojateillä.....	4
2.2 Törmäysnopeuden vaikutus jalankulkijan kuoleman riskiin.....	5
2.3 Ajonopeuden vaikutus väistämiskäyttäytymiseen	6
3. SUOJATEIDEN TURVAJÄRJESTELMÄT	8
3.1 Järjestelmistä yleisesti	8
3.2 Suomessa käytössä olevan järjestelmät.....	8
3.3 Muita maailmalla käytettyjä järjestelmiä	10
4. TURVAJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS VÄISTÄMISKÄYTTÄYTYMISEEN.....	13
4.1 Vaikutukset väistämisteeseen	13
4.2 Vaikutukset väistämisvelvollisuuden noudattamisteeseen	15
4.3 Järjestelmien tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä	19
4.4 Tulosten vertailua.....	20
5. PÄÄTELMÄT	22
LÄHTEET	24

1. JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Suomi on sitoutunut Euroopan unionin nollavision, jonka tavoitteena on laskea tieliikennekuolemien määrä nolnaan vuoteen 2050 mennessä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2022). Suomessa tieliikenteessä kuolleiden jalankulkijoiden määrää on saatu laskettua viimeisen kymmenen vuoden aikana, mutta edelleen vuonna 2021 sekä tätä kirjoittaessa vielä ennakkotiedon mukaan vuonna 2022 jalankulkijoita kuoli vuosittain 24. Vuonna 2019 kuoli 15 jalankulkijaa, mikä on ennätyskellisen vähän, mutta nyt määrä on palautunut lähes vuoden 2018 tasolle 25 kuolemaan. Tieliikenteessä loukkaantuneiden jalankulkijoiden määrä on puolittunut 2010-luvun alun yli 500 loukkaantuneesta noin 250 loukkaantuneen tasolle vuoden 2021 tilaston sekä 2022 ennakkotiedon perusteella. Vuosina 2010–2021 noin neljäsosa jalankulkijoiden kuolemista oli suojateillä tapahtuneita jalankulkuonnettomuuksia. Jalankulkijoiden loukkaantumista suojatiellä tapahtuneita oli vuosina 2010–2021 noin 60 prosenttia. (Tilastokeskus 2023)

Tilastoista nähdään, että jalankulkijoiden liikenneturvallisuus on parantunut, mutta nollavision saavuttamiseksi kehityksen on oltava jatkuvaa kaikilla liikenteen osa-alueilla. Suojateiden turvajärjestelmät ovat yleistyneet viime vuosikymmenenä myös Suomessa ja ne voivat toimia yhtenä osana tavoitteeseen pääsemistä. Tämän työn tarkoituksena on selvittää, voivatko suojateiden turvajärjestelmät vaikuttaa väistämiskäyttäytymiseen ja sitä kautta suojatieturvallisuuteen.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaus

Tässä työssä esitellään sekä tarkastellaan erilaisia käytössä olevia suojateiden turvajärjestelmiä, ja tavoitteena on selvittää niiden liikenneturvallisuusvaikutuksia. Työssä vertaillaan turvajärjestelmien liikenneturvallisuusvaikutuksia erityisesti väistämiskäyttäytymisen kautta. Työn tutkimuskysymyksenä on seuraava: miten suojateiden turvajärjestelmät vaikuttavat kuljettajien väistämiskäyttäytymiseen? Aihe on selvittämisen arvoinen, koska erityisesti viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomessa on otettu käyttöön erilaisia liikenteenrauhottamistoimenpiteitä, joiden tarkoitus on parantaa jalankulkijoiden liikenneturvallisuutta. Suomessa tehtyä tutkimusta ei ole saatavilla, joten tässä työssä

käsitellään ulkomaisia tutkimuksia, joista suurin osa on pohjoisamerikkalaisia, koska eurooppalaista tutkimusta on heikosti saatavilla.

Työ on rajattu koskemaan nimenomaan jalankulkijoiden liikenneturvallisuutta, koska suojatiekäytännöt pyöräliikenteen suhteen vaihtelevat maittain. Lisäksi työ on rajattu käsittelemään liikennevalo-ohjaamattomia suojateitä, joissa ajoradan liikenne on väistämisvelvollinen, jotta tutkimukset vastaavat mahdollisimman hyvin suomalaista määritelmää suojatiestä. Suojateiden turvajärjestelmät ovat tässä työssä rajattu koskemaan järjestelmiä, jotka varoittavat ajoradan liikennettä.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja rakenne

Työ toteutetaan kirjallisuustutkimuksena ja se perustuu pääasiassa englanninkielisiin tutkimuksiin, jotka on tehty enimmäkseen muualla kuin Suomessa. Työn aineistoja etsitään pääasiassa Tampereen yliopiston kirjaston Andor-palvelusta. Tiedonhaun tärkeimpiä hakusanoja ovat ”suojatie” (engl. crosswalk, zebra crossing ja pedestrian crossing), ”turvallisuus” (engl. safety), ”varoitusta” (engl. warning), ”liikenteenrauhottamistoimenpide” (engl. traffic calming measure, TCM) sekä ”RRFB” (engl. rectangular rapid flashing beacon). Suomessa tehtyjä suojaiteiden turvajärjestelmiin liittyviä opinnäytetöitä löytyi yksi. Rinteen (2022) opinnäyte käsittelee suojaiteiden turvajärjestelmiä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen Raision hoito- ja Paimion alueurakassa. Tiedonhaku on toteutettu helmi-huhtikuussa 2023.

Tämän työn luvussa 2 käsitellään suojatieturvallisuutta henkilövahinkojen, ajonopeuden sekä väistämiskäyttäytymisen kautta. Luvussa 3 määritetään yleisesti suojatien turvajärjestelmät sekä esitellään Suomessa sekä muualla maailmassa käytettyjä järjestelmiä. Luvussa 4 perehdytään suojaiteiden turvajärjestelmien vaikutuksiin tieteellisten artikkeleiden kautta. Vaikutuksia esitetään alaluvuissa, jotka käsittelevät väistämisastetta, väistämisvelvollisuuden noudattamisastetta sekä järjestelmien tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Luvun viimeiseen alalukuun on kerätty tutkimustulokset taulukkoon. Luvussa 5 koostetaan päätelmät suojaiteiden turvajärjestelmien vaikutuksista, esitetään joitakin suosituksia suojaiteiden turvajärjestelmien käyttökohteista sekä käsitellään jatkotutkimusaiheita.

1.4 Suojateitä koskeva lainsäädäntö Suomessa

Suomessa tieliikennelaki asettaa tienkäyttäjien vastuut ja velvollisuudet suojatiellä jalankulkijan sekä suojatien ylittävän ajoneuvon kuljettajan osalta. Tieliikennelain (Myöhem-

min lakiin viitataan TLL 729/2018) luvussa 1 pykälässä 2 tarkoitetaan ”suojatiellä jalankulkijoiden käytettäväksi ajoradan, pyörätien tai raitiotien ylittämiseen tarkoitettua, liikennemerkillä tai tiemerkinällä osoitettua tien osaa”. Muut tämän työn kannalta olennaiset suojaiteita koskevat tieliikennelain pykälät ovat listattuna tässä alaluvussa.

16 § Ajoradan ylittäminen

”Jalankulkijan on ylittävä ajorata suojatietä kulkien tai ali- tai ylikulkua käyttäen, jos sellainen on lähellä. Muuten ajorata on ylittävä kohtisuoraan ja risteyksen vierestä, jos sellainen on lähellä.

Ajoradalle menevän jalankulkijan on noudatettava sitä varovaisuutta, jota lähestyvän ajoneuvon tai raitiovaunun etäisyys ja nopeus edellyttävät. Hänen on ylittävä ajorata tarpeettomasti viivyttämättä.

Ajorataan rinnastetaan tätä pykälää sovellettaessa pyörätie ja raitiotie.” (TLL 729/2018)

18 § Tien eri osien käyttö

” Ajoneuvolla suojatiellä ajorataa ylittäessä ei saa aiheuttaa vaaraa eikä haittaa jalankulkijalle.” (TLL 729/2018)

27 § Ajoneuvon ajaminen suojatien yli

” Ajoneuvolla suojatietä lähestyttäessä on noudatettava erityistä varovaisuutta ja ajettava sellaisella nopeudella, että ajoneuvon voi tarvittaessa pysäyttää ennen suojatietä. Jalankulkijalle, joka on suojatiellä tai valmistautuu menemään sille, on annettava esteetön kulku.

Jos ajoneuvo tai raitiovaunu on pysähtynyt suojatien eteen, sitä ei saa ohittaa ajoneuvolla pysäyttämättä, ellei ohittajan ja ohitettavan väliin jää suojakoroketta tai vapaata ajokaistaa.

Jos näkyvyys suojatielle on rajoittunut muulla tavoin, ajoneuvolla on hidastettava ja tarvittaessa pysäytettävä ennen suojatietä.” (TLL 729/2018)

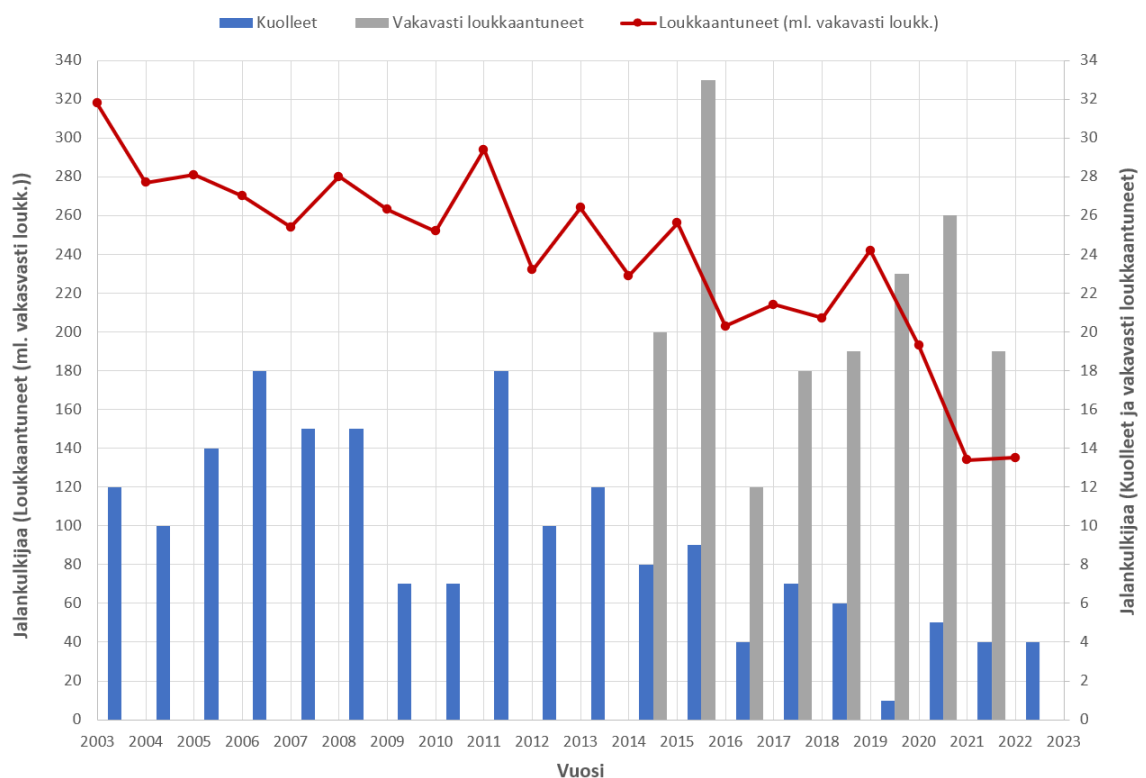
Lisäksi vuonna 2020 tuli voimaan valtioneuvoston asetus liikenteenohjauslaitteiden käytöstä (myöhemmin asetukseen viitataan VNa 379/2020), joka sisälsi joitakin tarkennuksia suojaiteiden osalta. Asetuksen mukaan valo-ohjaamattomalla suojatiellä nopeusrajoitus voi olla enintään 50 km/h ja valo-ohjatulla 60 km/h, mutta vanhan lain mukaisia järjestelyjä voi olla käytössä vielä vuoteen 2030 asti siirtymäajan puitteissa.

2. SUOJATIETURVALLISUUS

2.1 Henkilövahingot suojateillä

Suomessa suojateillä tapahtuneet henkilövahingot ovat olleet laskusuunnassa 2000-luvulla sekä kuolemien että loukkaantumisien osalta. Kuolemien osalta laskusuunta on ollut maltillisempi ja viime vuosina määrä on vakiintunut noin viiden tasolle. Suojateillä loukkaantuneiden (mukaan lukien vakavasti loukkaantuneet) määrä on pudonnut 2010-luvulla yli 250 loukkaantuneen tasolta alle 150 tasolle. Vuonna 2019 suojateillä jalankulkijoita kuoli yksi, mikä on ennätysellisen vähän, mutta vastaavasti loukkaantuneiden määrä nousi huomattavasti edellisvuosista. Vakavasti loukkaantuneiden määrä on vaihdellut kohtalaisen paljon, mutta vuosien 2014–2021 keskiarvo on ollut 21 jalankulkijaa vuodessa. (Tilastokeskus 2023)

Alla kuvassa 1 on esitettyä jalankulkuonnettomuuksissa suojateillä loukkaantuneet, vakavasti loukkaantuneet ja kuolleet vuosilta 2003–2022, jossa vuoden 2022 tiedot ovat ennakkotietoa. Vakavasti loukkaantuneiden erillinen tilastointi on aloitettu vuonna 2014.

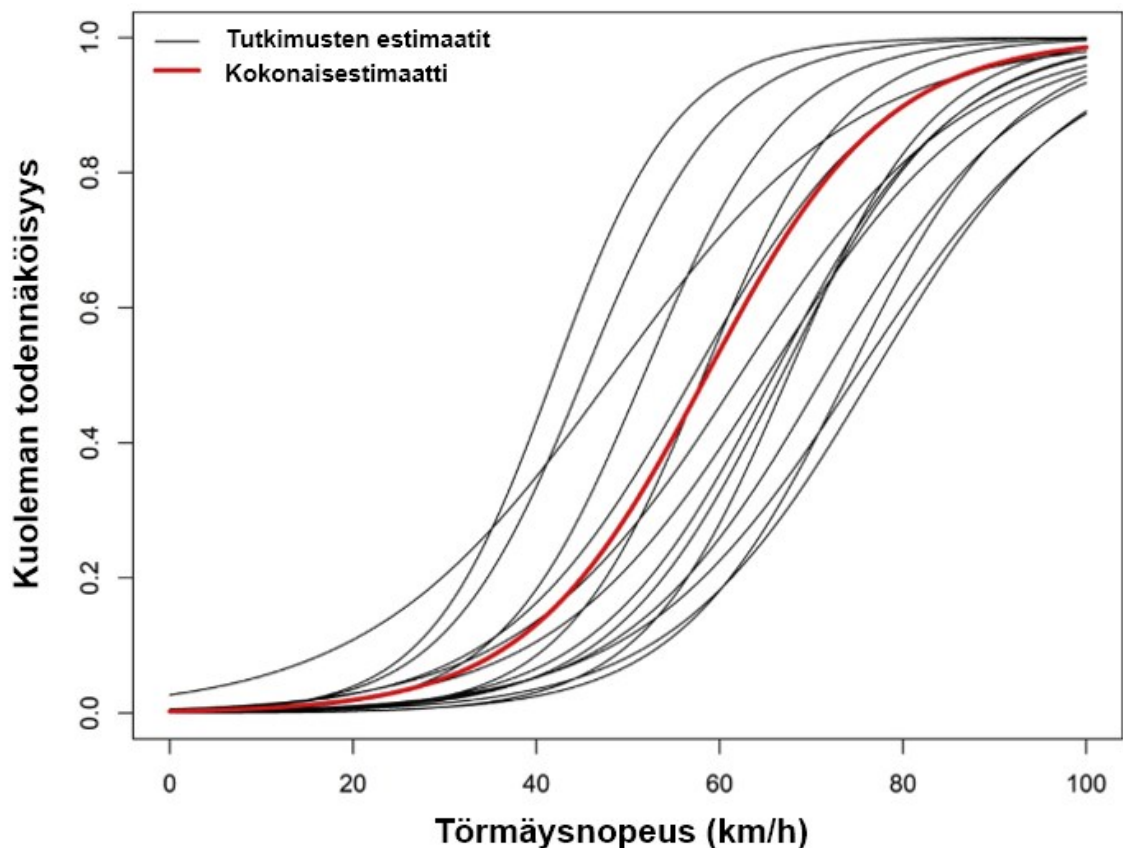


Kuva 1. Jalankulkuonnettomuuksissa loukkaantuneet, vakavasti loukkaantuneet ja kuolleet 2000-luvulla, jossa vuoden 2022 tiedot ovat ennakkotietoa (Tilastokeskus 2023).

Tieliikenneonnettomuustilastossa kuolleeksi luokitellaan onnettomuuden seurauksena 30 vuorokauden kuluessa kuolleet henkilöt, josta on poisluettu sairaskohtauksiin kuolleet. Loukkaantuneeksi lasketaan henkilöt, jotka eivät ole kuolleet vastaavassa ajassa, mutta ovat saaneet onnettomuudessa hoitoa tai tarkkailua vaativia vammoja. Vakavasti loukkaantuneeksi määritetään henkilöt, jotka ovat saaneet AIS-vakavuusluokituksen mukaisen vakavan vamman tai vammoja. (Tilastokeskus 2023)

2.2 Törmäysnopeuden vaikutus jalankulkijan kuoleman riskiin

Ajoneuvon ja jalankulkijan välisessä törmäyksessä kulkuneuvon ajonopeudella on huomattava vaikutus jalankulkijan todennäköisyyteen selvitä hengissä. Vuonna 2019 tehdyn 20 tutkimusta sisältävän meta-analyysin mukaan jalankulkijan kuoleman todennäköisyys törmäyksessä ajoneuvon kanssa on noin 5 %, kun ajoneuvon nopeus on 30 km/h. Törmäysnopeuden ollessa 40 km/h jalankulkijan kuoleman todennäköisyydeksi muodostui 13 % ja 50 km/h nopeudella 29 %. (Hussain et al. 2019) Alla olevassa kuvassa 2 nähdään meta-analyysin perusteella muodostettu estimaatti kuoleman todennäköisyydestä ajoneuvon törmätessä jalankulkijaan.

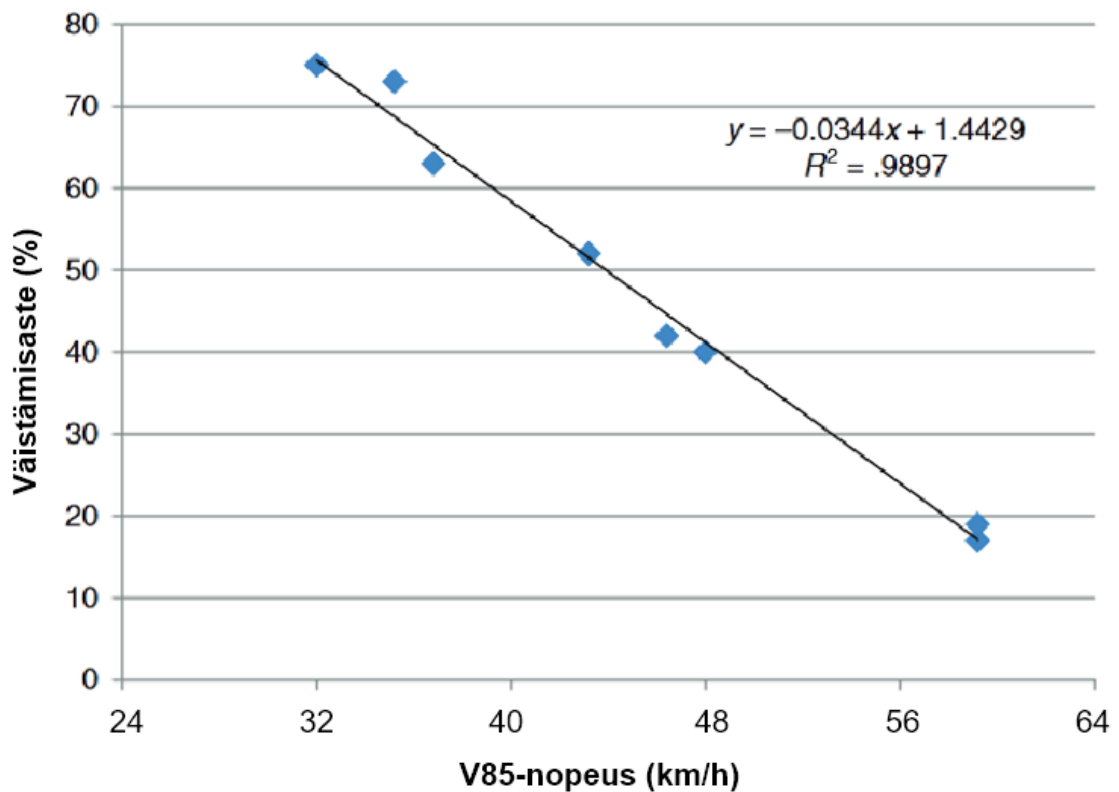


Kuva 2. Kuoleman todennäköisyys esitettynä törmäysnopeuden funktiona (Muokattu lähteestä Hussain et al. 2019).

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että nopeusrajoitusten laskeminen on huomattava liikenneturvallisuutta lisäävä tekijä alueilla, joissa on paljon jalankulkuliikennettä. Lisäksi voidaan arvioida, että vuonna 2020 Suomessa voimaan tullut asetus VNa 379/2020, joka määrää liikennevalo-ohjaamattoman suojatien enimmäisnopeusrajoitukseksi 50 km/h, on aiheellinen muutos.

2.3 Ajonopeuden vaikutus väistämiskäyttäytymiseen

Tutkimukset ovat osoittaneet, että ajonopeus on merkittävä tekijä ajoneuvon kuljettajan väistämisteeseen jalankulkijaa kohtaan liikennevalo-ohjaamattomilla suojateilla. Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa mitattiin yhdeksässä paikassa V85-nopeus eli nopeus, jonka 85 % ajoneuvoista alittaa, ja suoritettiin sata väistämiskoetta jokaisessa kohteessa. Tutkimuksen mukaan kaksikaistaisella kadulla, jossa V85-nopeus oli 20 mailia tunnissa (mph) eli noin 32 km/h, väistämiste oli parhaimmillaan 75 %. Alhaisin väistämiste 17 % mitattiin kadulla, jossa ajoneuvojen V85-nopeus oli 37 mph eli noin 60 km/h. (Bertulis & Dulaski 2014) Alla olevassa kuvassa 3 nähdään nopeuden vaikutus väistämisteeseen.



Kuva 3. Väistämiste V85-nopeuksien suhteen kaksikaistaisissa mittauskoh-teissa (Muokattu lähteestä Bertulis & Dulaski 2014).

Tuloksista nähdään, että nopeuden kasvaessa väistämistä laskee huomattavan määrän tavallisilla 40–50 km/h nopeuksilla. Vaikka tutkimus ei välttämättä vastaa täysin suomalaisia olosuhteita, voidaan päätellä, että yleisesti liikenteenrauhottamistoimenpiteet ovat perusteluja suojatieturvallisuuden parantamiseksi.

3. SUOJATEIDEN TURVAJÄRJESTELMÄT

3.1 Järjestelmistä yleisesti

Suojateiden turvajärjestelmät voivat perustua liikennemerkin heijastavuuden lisäksi erityyppisiin varoitusvaloihin. Suojateiden turvajärjestelmien lisäksi tässä työssä käsitellään joitakin liikenteenrauhottamistoimenpiteiksi luokiteltavia järjestelmiä sekä yleisesti suojateihin liittyvää laitteistoa, kuten suojatien valaistusta.

Tässä työssä järjestelmät on jaettu passiivisiin sekä aktiivisiin järjestelmiin. Passiivisesti toimivat järjestelmät ovat käytössä koko ajan tai käynnistyvät vuorokauden ajan tai hämäryyden mukaan, mutta eivät reagoi suojatiellä liikkuviin jalankulkijoihin. Aktiivisissa järjestelmissä laite aktivoituu varoittamaan ajoradan liikennettä varoitusvaloilla tunnistessaan suojatielle astuvan jalankulkijan tai jalankulkijan painettua painonappia.

3.2 Suomessa käytössä olevan järjestelmät

Suomessa liikenteenohjaus perustuu tieliikennelakiin, ja tarkemmin liikenteenohjauslaitteiden käyttöä on säädelty valtioneuvoston asetuksella 379/2020. Tämän lisäksi TLL 729/2018 70 pykälän mukaan liikenne- ja viestintävirasto (Traficom) voi myöntää kokeilupäätöksiä tai luvan poiketa liikenteenohjauslaitteiden käyttämisestä annetuista säädöksistä. Tieliikennelaki 729/2018 tai VNa 379/2020 ei sisällä mainintaa suojateiden varoituslaitteista. Valtioneuvoston asetus 379/2020 kuitenkin mainitsee 41 pykälässä liikennemerkkipylvään tehostamismerkkin I10, jota voidaan käyttää suojatiemerkin E1 tehosteena.

Esimerkkejä Suomessa käytetyistä suojateiden turvajärjestelmistä ovat InnoTrafikin Välkky-havainnekapseli ja Välkky Sign -älykäs liikennemerkki sekä Amparo solutionsin SeeMe-suojatien varoitusjärjestelmä. Molempien valmistajien tuotteet toimivat aktiivisesti jalankulkijan tunnistavalla anturitekniikalla, ja SeeMe-varoitusjärjestelmä on saatavilla vaihtoehtoisesti myös painonapilla. (Amparo solutions 2023; InnoTrafik 2023) Mainittujen järjestelmien lisäksi Suomessa on käytössä muita vastaavia järjestelmiä eri valmistajilta.

InnoTrafikin Välkky-havainnekapseli vastaa ulkoisesti liikennemerkkipylvään tehostamismerkkiä I10, ja se asennetaan liikennemerkkipylvään varteen. Laitteen varoitusvalot ja muu tekniikka on sijoitettu havainnekapselien sisään. Järjestelmä poikkeaa muista vastaavista järjestelmistä siten, että varoitusvalot ovat väriltään keltaisen sijaan valkoisia sekä sinisiä. Välkky Sign -älykäs liikennemerkki on valaistu suojatien E1 liikennemerkki.

Molemmat laitteet aktivoituvat jalankulkijan astuessa liikennetunnistimen keila-alueelle. (InnoTrafik 2023) Kuvassa 4 on Väkky-havainnekapseli.



Kuva 4. Väkky-havainnekapseli toiminnassa (InnoTrafik 2023).

Amparo solutionin SeeMe-turvajärjestelmä asennetaan tavallisen E1 suojatimerkin yläpuolelle. Laitteessa on keltaiset varoitusvalot, jotka käynnistyvät erillisillä antureilla tai painonapeilla. SeeMe-turvajärjestelmä on käytössä myös muualla Euroopassa (Amparo solutions 2023). Kuvassa 5 on SeeMe-suojatien turvajärjestelmä.



Kuva 5. SeeMe-suojatien turvajärjestelmä (Amparo solutions 2023).

3.3 Muita maailmalla käytettyjä järjestelmiä

Euroopassa on käytössä vastaavia aktiivisia suojateiden turvajärjestelmiä kuin Suomessa. Esimerkiksi Amparo solutionsin SeeMe -suojatien turvajärjestelmää on käytetty myös Norjassa (Høye & Laureshyn 2019). Tämä lisäksi Euroopassa on käytössä erilaisia suojateiden kohdalla tai ennen niitä olevia passiivisia varoitusvaloja. Kuvassa 6 on suojatie varustettuna passiivisesti toimivalla varoitussysteemillä Tanskassa.



Kuva 6. Suojatien varoitusjärjestelmä Kööpenhaminassa Tanskassa (Kuva: Samu Kantola 2023).

Pohjois-Amerikassa on käytössä vastaavia passiivisesti toimivia suojatien varoitusvaloja sekä painonapeilla tai antureilla aktivoitavia suojateiden turvajärjestelmiä (engl. rectangular rapid flashing beacon, myöhemmin termiin viitataan RRFB). Tämän lisäksi Pohjois-Amerikan markkinoilla on saatavilla turvajärjestelmiä, joissa suojatiemerkkiä reunustaa keltaiset led-valot (TAPCO 2023). Hieman raskaampi vaihtoehto on HAWK- tai PHB-järjestelmä (engl. high-intensity activated crosswalk beacon tai pedestrian hybrid beacon), joka perustuu yhteen keltaiseen ja kahteen punaiseen valoon. Jalankulkijan painaessa painonappia ensin syttyy vilkkuva keltainen valo, minkä jälkeen kaksi staattisesti palavaa punaista valoa syttyy ja ajoneuvojen tulee pysähtyä suojatien eteen. Valokierron edetessä punaiset valot alkavat vilkkua, jolloin ajoneuvo saa ylittää suojatien varoen mahdollisia jalankulkijoita. (Schultz et al. 2020) Kuvassa 7 on esimerkki pohjoisamerikkalaisesta suojatien RRFB-turvajärjestelmästä.



Kuva 7. Carmanah R920-F RRFB-järjestelmä (Carmanah 2023).

Kuvien 5, 6 ja 7 esimerkeistä nähdään, että suojateiden turvajärjestelmät ovat toimintaperiaatteiltaan melko yhteneväisiä Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Ainoastaan kuvassa 4 oleva suomalainen Innotrafikin Välkky-järjestelmä poikkeaa ulkoasultaan muista vastaavista järjestelmistä. Kuvassa 8 on pohjoisamerikkalainen HAWK-järjestelmä.



Kuva 8. HAWK-järjestelmä toiminnassa (Federal Highway Administration 2010).

4. TURVAJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS VÄISTÄMISKÄYTTÄYTYMISEEN

4.1 Vaikutukset väistämiseen

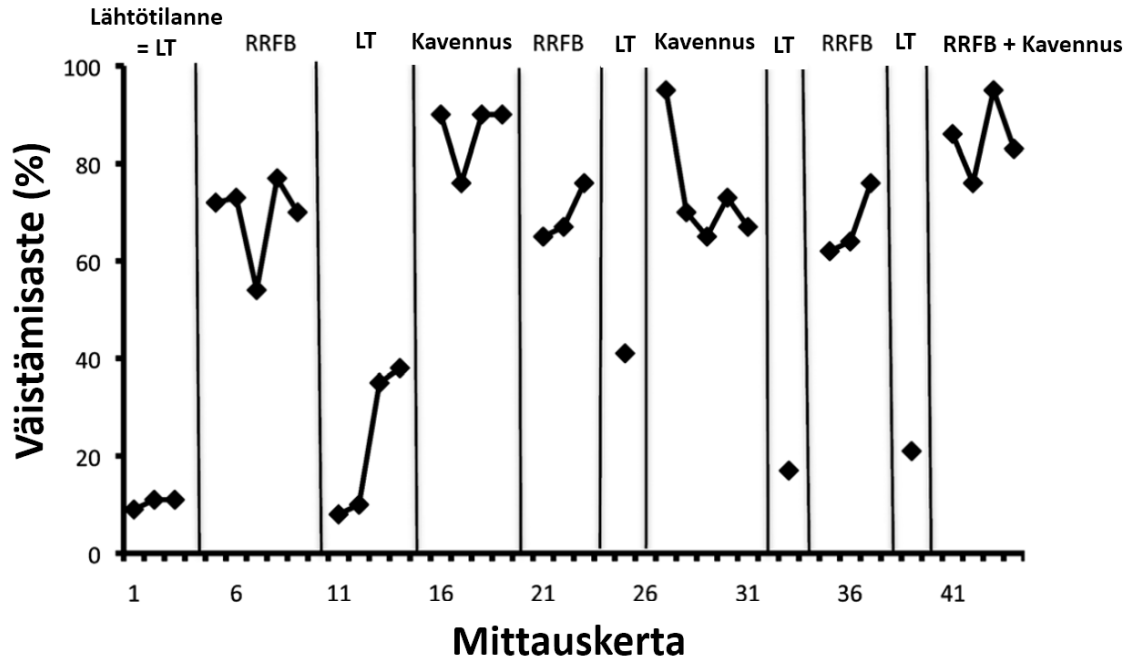
Väistämiste (engl. yielding rate) kuvaa jalankulkijaa väistäneiden kuljettajien osuutta kaikissa jalankulkijoiden ja ajoneuvojen kuljettajien välisissä kohtaamisissa. Useimmissa tutkimuksissa väistämiste sisältää myös kohtaamiset, joissa ajoneuvo on ollut jo liian lähellä suojatietä väistääkseen. (Fu et al. 2018)

Norjan Trondheimissa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin SeeMe-suojatieturvajärjestelmän vaikutuksia väistämiseen. Tutkimuksessa käsitellyissä kohteissa oli jo ennestään melko korkea väistämiste varsinkin verrattuna muihin pääasiassa yhdysvaltalaisiin tutkimuksiin. Mittaukset suoritettiin kaksikaistaisilla ajoradoilla nopeusrajoitusten ollessa 30–50 km/h. Keskimäärin SeeMe-järjestelmä paransi väistämistettä 14 %, kun huomioidaan muutokset vertailukohteissa. Tulokset vaihtelivat eri kohteiden välillä. Väistämiste parani 39 % kahdella suojateistillä, joissa oli ennen toimenpiteitä alle 80 % väistämiste. Vastaavasti kahdella suojatiellä, joissa väistämiste oli yli 80 % ennen toimenpiteitä, väistämiste laski 4 %, mikä ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä muutos. Tutkimuksessa nähtiin, että koejärjestelyjä vastaavilla suojateillä SeeMe-järjestelmä voi parantaa väistämistettä, mutta jo ennestään korkea väistämiste voi heikentää järjestelmän vaikuttavuutta. Tulokset eivät ole välttämättä yleistettävissä koeasetelmista poikkeaville kaduille. (Høye & Laureshyn 2019) Tutkimuksen mittauspisteiden liikennejärjestelyt vastaavat hyvin suomalaisia liikenneolosuhteita poikkileikkauksen, nopeusrajoitusten sekä liikennemerkkien osalta.

Texasissa Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa seurattiin RRFB-järjestelmän vaikutuksia väistämiseen ennen ja jälkeen asennuksen. Tutkimuksen kaikissa kohteissa väistämisteet olivat alle 40 % ja heikoimmillaan 2 % ennen järjestelmän asentamista. Ajoradat olivat kolmessa kohteessa nelikaistaisia ja yhdessä kohteessa kuusikaistainen. Tutkimuskohteiden nopeusrajoitukset olivat välillä 50–72 km/h (30–45 mph). Kaikissa tarkasteltavissa kohteissa väistämiste kasvoi yli kaksinkertaiseksi RRFB-järjestelmän asentamisen jälkeen. Alhaisimmillaan väistämiste kasvoi 36 prosenttiyksikköä ja enimmillään 79 prosenttiyksikköä. (Brewer et al. 2015) Nähdään, että liikenneolosuhteet sekä tutkimuksen tulokset poikkeavat huomattavasti Norjassa tehdystä tutkimuksesta sekä suomalaisista olosuhteista, joten tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia norjalaiseen tutkimukseen.

Toisessa Yhdysvalloissa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin RRFB-järjestelmän vaikutuksia väistämistä varten monikaistaisilla suojateilla, joissa nopeusrajoitus oli 56–64 km/h (35–40 mph). Ensimmäisessä kokeessa oli mukana kaksi suojatietä, joiden väistämisaste ennen järjestelmän asentamista oli 0–2,5 %. Molemmilla suojateilla väistämisaste nousi 60–66 prosentin tasolle järjestelmän asentamisen jälkeen koehenkilöiden suorittamissa järjestetyissä kohtaamisissa. Satunnaisten jalankulkijoiden kohtaamisissa väistämisaste nousi 65–92 prosentin tasolle. Kun koejärjestelyt poistettiin, väistämisaste laski alkutilanteen tasolle molemmilla suojateilla. Tulokset pysyivät pääpiirteittäin samoina, kun järjestelyt toistettiin neljä kertaa. Toisessa kokeessa oli RRFB-järjestelmän lisäksi mukana painonapista samanaikaisesti varoitusjärjestelmän kanssa aktivoitua kohdevalaistus suojatien alkuosassa. Kokeessa huomattiin, että erillinen kohdevalaistus RRFB-järjestelmän lisänä ei vaikuttanut väistämisasteeseen. Toisaalta kohdevalaistus valaisi vain suojatien alkuosasta 1,2 m, joten sitä oli vaikea havaita RRFB-järjestelmän välkkyvien valojen seasta. (Van Houten et al. 2008)

Michiganissa tehdyssä yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa selvitettiin RRFB-järjestelmän sekä liikennemerkeillä tehdyn ajoradan kavennuksen vaikutuksia väistämisasteeseen. Ajoradan kavennus toteutettiin asentamalla melko matalat törmäyksenkestävät liikennemerkit kaistojen väliin sekä ajoradan reunoille. Mittauskohteessa oli 40 km/h nopeusrajoitus ja kadulla oli suojatiestä ennakkoon varoitettava liikennemerkki noin 9 m ennen suojatietä. Lähtötilanteessa suojatien väistämisaste oli 20 % ja RRFB-järjestelmällä saavutettiin keskimäärin 69 % väistämisaste. Liikennemerkein kavennetulla ajoradalla saavutettiin keskimäärin 80 % väistämisaste ja molemmat toimenpiteet yhdistettynä 85 % väistämisaste. Alla kuvasta 9 nähdään, että kun toimenpiteet poistettiin, väistämisaste palautui lähes lähtötasolle. Vastaavasti myönteiset vaikutukset väistämisasteeseen palautuivat, kun RRFB-järjestelmä, ajoradan kavennus tai molemmat palautettiin suojatielle. (Bennett et al. 2014)

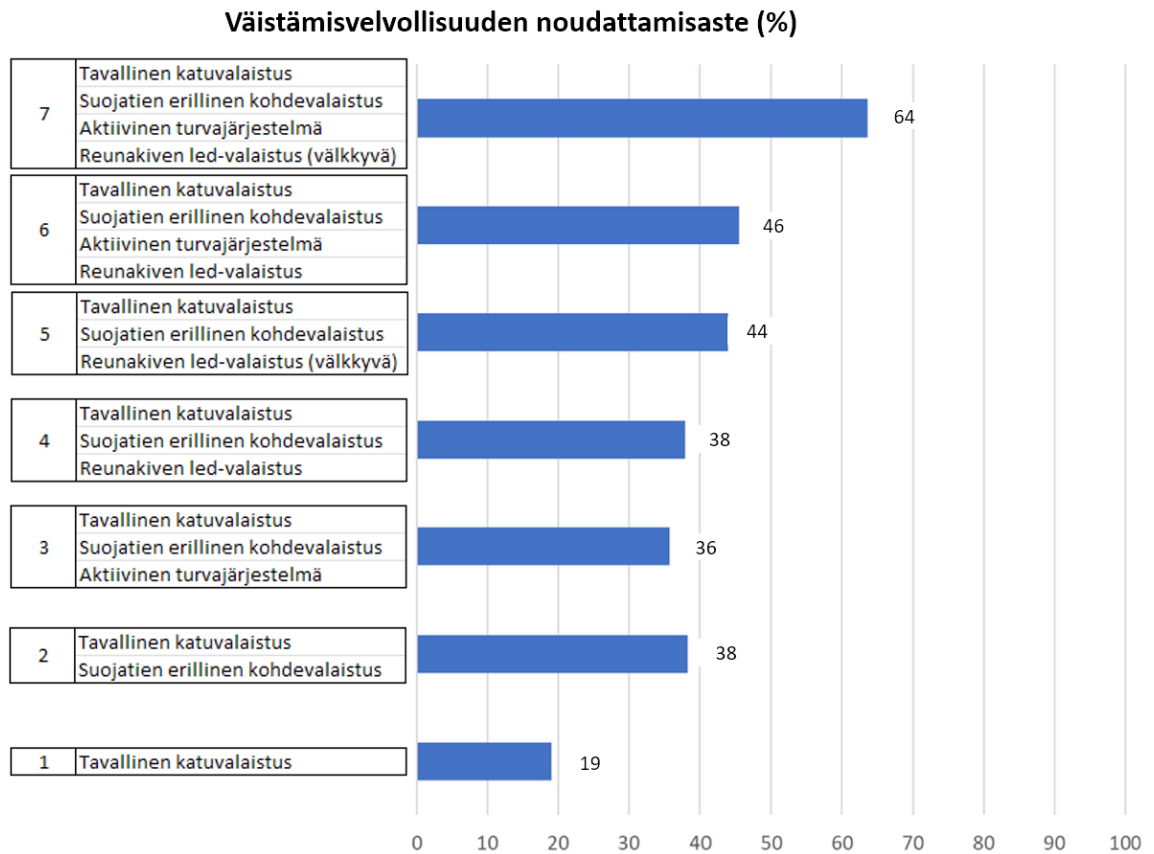


Kuva 9. Väistämisaste mittauskertojen ja käytetyn järjestelyn suhteen. Lähtötilanteessa tai sitä vastaavassa tilanteessa (LT) suoja-tilalla ei ole RRFB-järjestelmää tai kavennusta. (Muokattu lähteestä Bennett et al. 2014)

4.2 Vaikutukset väistämisvelvollisuuden noudattamisasteeseen

Väistämisasteen sijasta monissa tutkimuksissa käytetään väistämisvelvollisuuden noudattamisastetta (engl. yielding compliance). Väistämisvelvollisuuden noudattamisaste kuvaa jalankulkijoita väistäneiden ajoneuvojen kuljettajien määrää suhteessa kohtaamiin, joissa kuljettajan on ollut fyysisesti mahdollista väistää jalankulkijaa (Fu et al. 2018). Väistämisvelvollisuuden noudattamisaste ei ole suoraan vertailukelpoinen väistämisasteen kanssa.

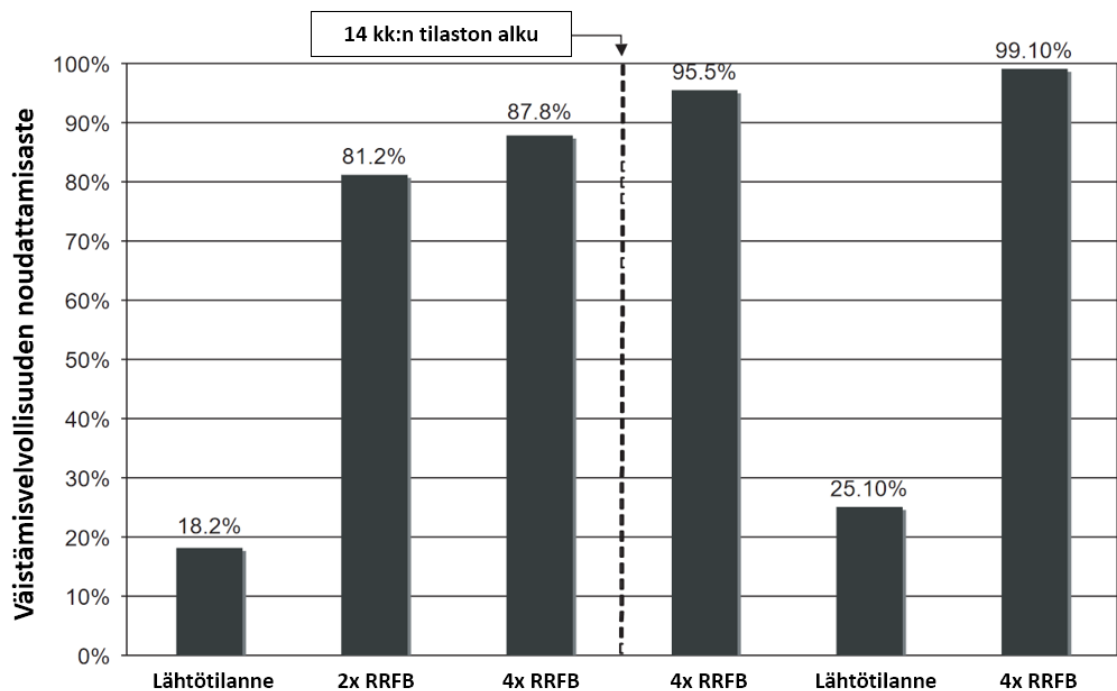
Italiassa vuonna 2019 tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin suoja-tilojen turvajärjestelmien vaikutuksia väistämisvelvollisuuden noudattamisasteeseen yöllä. Tutkimuksessa tutkittiin tavallista tievalaistusta, erillistä suoja-tilojen kohdevalaistusta, aktiivista turvajärjestelmää oransseilla valoilla sekä reunakiveen asennettua LED valaistusta, joista muodostettiin mittauksiin seitsemän eri yhdistelmää. (Costa et al. 2020) Kuvassa 10 on esitettyä väistämisvelvollisuuden noudattamisasteet eri yhdistelmillä.



Kuva 10. Väistämismellvollisuuden noudattamisasteet tutkimuksen seitsemässä yhdistelmässä (Muokattu lähteestä Costa et al. 2020).

Tuloksista nähdään, että väistämismellvollisuuden noudattamisaste kaksinkertaistui 19 prosentista 38 prosenttiin erillisellä suojatien kohdevalaistuksella. Jalankulkijan tunnistava oransseilla vilkkuvaloilla varustettu suojatien varoitusjärjestelmä lisättiin erillisen suojatien kohdevalon lisäksi, mutta se ei parantanut väistämismellvollisuuden noudattamisastetta. Vastaavasti jatkuvasti valaiseva reunakiven LED-valaistus ei myöskään vaikuttanut väistämismellvollisuuden noudattamisasteeseen yhdessä erillisen kohdevalaistuksen kanssa. Kaikkien järjestelmien eli erillisen kohdevalaistuksen, suojatien aktiivisten varoitusvalojen ja jalankulkijasta aktivoituvien reunakiven LED-valojen yhteisvaikutuksena saavutettiin noin 64 % väistämismellvollisuuden noudattamisaste, joka oli tutkimuksen muihin yhdistelmiin verrattuna selvästi korkein. (Costa et al. 2020) Yleisesti suojateiden turvajärjestelmien tavoitteena on parantaa liikenneturvallisuutta kustannustehokkaasti, joten usean eri järjestelmän asentaminen yhdelle suojatielle ei ole tavoiteltavaa. Tällöin Costa et al. (2020) tutkimuksessa tehokkaaksi havaittua suojatien erillistä kohdevalaistusta voidaan pitää perusteltuna ratkaisuna. Toisaalta tutkimuksessa ei selvitetty pelkän suojatien aktiivisen varoitusjärjestelmän vaikutuksia ilman erillistä suojatien kohdevalaistusta.

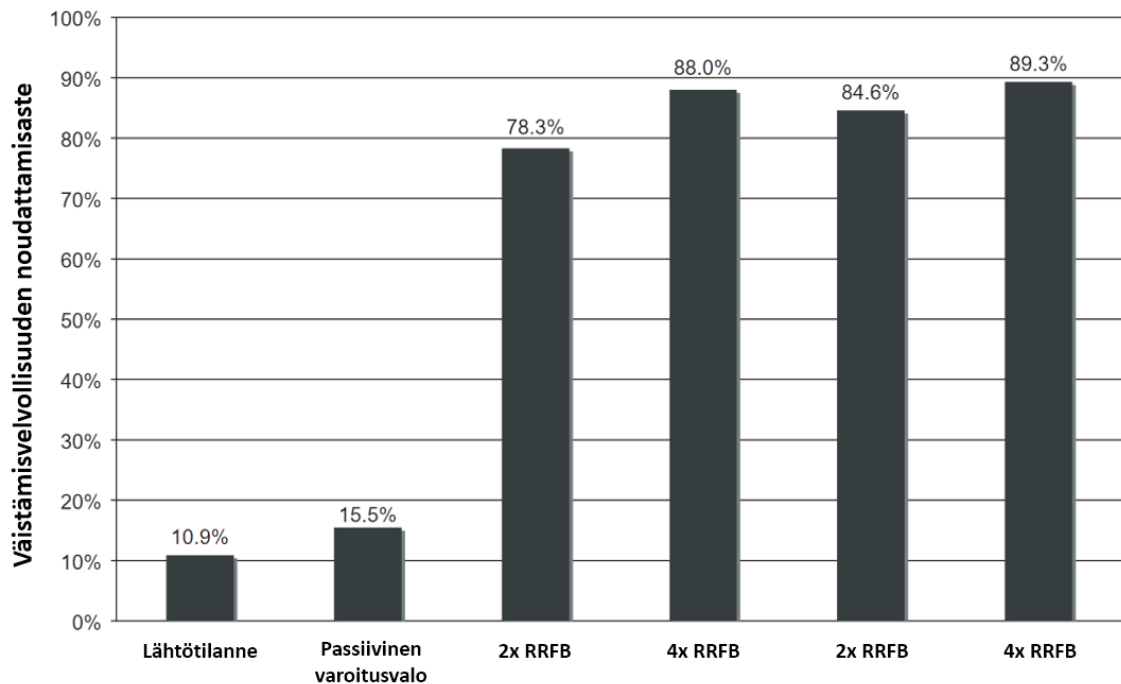
Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa selvitettiin kolmessa eri koejärjestelyssä suojateiden turvajärjestelmien vaikutuksia monikaistaisilla suojateilla. Mukana oli perinteinen passiivisesti toimiva suojatien varoitusvalo, kaksi eli yksi molempiin ajosuuntiin sekä neljä eli kaksi molempiin ajosuuntiin painonapilla käynnistyvää RRFB-järjestelmää. Ensimmäisessä kokeessa alkutilanteessa väistämiselvöllisyyden noudattamisaste oli neljällä mittauspaikalla keskimäärin 18,2 %. Kahdella RRFB-järjestelmällä eli yksi molempiin ajosuuntiin ajoradan oikealla puolella väistämiselvöllisyyden noudattamisasteeksi saatiin 81,2 % ja neljällä RRFB-järjestelmällä eli molempiin suuntiin ajokaistan oikealla puolella sekä keskisaarekkeella väistämiselvöllisyyden noudattamisaste oli 87,8 %. Mittaukset toistettiin 14 kuukauden jälkeen järjestelmän asentamisesta, jolloin väistämiselvöllisyyden noudattamisaste oli noussut 95,5 % tasolle neljällä RRFB-järjestelmällä. Kun koejärjestelyt poistettiin, väistämiselvöllisyyden noudattamisaste aleni lähes lähtötilanteen tasolle 25,1 prosenttiin ja kasvoi 99,1 prosenttiin tasolle, kun RRFB-järjestelmä palautettiin. (Shurbutt et al. 2009) Tulokset havainnollistetaan kuvassa 11.



Kuva 11. Väistämiselvöllisyyden noudattamisaste eri mittausjärjestelyissä (Muokattu lähteestä Shurbutt et al. 2009).

Toisessa kokeessa vertailussa oli mukana tavallinen passiivinen suojatien varoitusvalo suojatien yläpuolella ja RRFB-järjestelmän kokoonpanoa vaihdeltiin kahdesta neljään. Toisen kokeen alkutilanteessa väistämiselvöllisyyden noudattamisaste tutkittavalla

suojatiellä oli 10,9 %, passiivisen suojatien varoitusvalon kanssa 15,5 %, kahdella RRFB-järjestelmällä 78,3–84,6 % ja neljällä 88,0–89,3 %. Tuloksista nähdään, että väistämismittauksien noudattamisaste nousi molemmilla kerroilla, kun keskisaarekkeelle ajokaistojen vasemmalle puolelle lisättiin toiset RRFB-järjestelmät ja vastaavasti laski, kun lisätyt järjestelmät poistettiin. (Shurbutt et al. 2009) Kuvassa 12 on havainnollistettu väistämismittauksien noudattamisasteen vaihtelua eri koejärjestelyillä kokeessa 2.



Kuva 12. Väistämismittauksien noudattamisasteet eri turvajärjestelmillä kokeen suojatiellä (Muokattu lähteestä Shurbutt et al. 2009).

Tutkimuksen kolmannessa kokeessa RRFB-järjestelmä asennettiin 23 suojatielle Floridassa, Illinoisissa ja Washingtonissa. Floridan suojateilla väistämismittauksien noudattamisaste oli alkutilanteessa keskimäärin 2 %, 7 päivää asennuksen jälkeen 79 % ja 30 päivän jälkeen tulos vakiintui 76–86 % tasolle viimeisen mittauskerran ollessa 730 päivää asennuksen jälkeen. Illinoisissa väistämismittauksien noudattamisaste oli alkutilanteessa keskimäärin 13 %, 7 päivän jälkeen 67 % ja 30 päivän jälkeen 65 %. Washingtonissa yhdellä suojatiellä väistämismittauksien noudattamisaste oli alkutilanteessa 26 %, 7 päivän jälkeen 62 %, 30 päivän jälkeen 74 % ja 180 päivän jälkeen 80 %. Kokeessa kaikilta suojatieltä ei ollut saatavissa tulosta jokaiselta mittauskerralta. (Shurbutt et al. 2009)

Tutkimuksen tuloksista nähdään, että painonapilla aktivoitava RRFB-järjestelmä voi parantaa väistämismvelvollisuuden noudattamisastetta merkittävästi monikaistaisten ajoratojen suojateilla. Tutkimuksessa perinteinen passiivinen suojatien varoitusvalo ei parantanut merkittävästi verrattuna lähtötilanteeseen. Lisäksi pidempiaikaisesta seurannasta nähdään, että väistämiskäyttäytymiseen saavutettu positiivinen vaikutus säilyy vakiintuneella tasolla ajan kuluessa. (Shurbutt et al. 2009)

Utahissa tehdyssä yhdysvaltalaisutkimuksessa selvitettiin erilaisten suojateiden turvajärjestelmien vaikutuksia väistämismvelvollisuuden noudattamisasteeseen. Tutkimuksessa oli mukana HAWK-järjestelmä, suojatien passiivinen varoitusvalo ajoradan yläpuolella, RRFB-järjestelmä ajoradan molemmin puolin sekä ajoradan yläpuolelle sijoitettu RRFB-järjestelmä. Mittaukset suoritettiin jo käytössä olevissa kohteissa. Suojateiden, joissa ei ollut käytössä turvajärjestelmiä, väistämismvelvollisuuden noudattamisasteeksi tutkimuksessa oli saatu 35 %, tavallisella passiivisesti toimivalla varoitusvalolla varustetuille 85 %, ajoradan yläpuolisille RRFB-järjestelmille 90 %, ajoradan reunoilla oleville RRFB-järjestelmille 91 % ja HAWK-järjestelmille 94 %. Mittauskohteista analysoitiin lukuisia väistämismvelvollisuuden noudattamisasteeseen vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi liikennenympäristöön ja liikennemääriin liittyen ja niiden pohjalta muodostettiin logistinen regressiomalli. Mallin perusteella tulokseksi saatiin, että viisikaistaisella ajoradalla, jossa nopeusrajoitus on 56–72 km/h väistämismvelvollisuuden noudattamisaste voi parantua HAWK-järjestelmällä 97 %, ajoradan yläpuolisella suojatien varoitusvalolla 77 % ja RRFB-järjestelmillä ajoradan reunoilla tai yläpuolella 57 %. (Schultz et al. 2020) Nähdään, että mallissa ajoradan yläpuolinen varoitusvalo vaikuttaa melko tehokkaalta keinolta väistämismvelvollisuuden noudattamisasteen parantamiseksi verrattuna tässä työssä aiemmin käsiteltyihin tutkimuksiin.

4.3 Järjestelmien tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä

Kanadalaisessa tutkimuksessa selvitettiin eri liikenteellisten olosuhteiden vaikutuksia RRFB-järjestelmän tehokkuuteen. Tutkimuksen perusteella korkeampi nopeusrajoitus oli yhteydessä heikompaan väistämismvelvollisuuden noudattamisasteeseen, mikä vastaa aiemmin Bertuliksen ja Dulaskin (2014) tekemiä havaintoja. Katutyypeistä kokoojakauduilla oli saavutettu parempi väistämismvelvollisuuden noudattamisaste kuin pääkaduilla. Muita väistämismvelvollisuuden noudattamisasteeseen heikentävästi vaikuttavia tekijöitä oli sateinen sää verrattuna aurinkoiseen säähän. Vastaavasti myönteisiä vaikutuksia saavutettiin keskisaarekkeilla sekä RRFB-järjestelmän sijoittamisella suojatiemerkin yläpuolelle. (Moshahedi et al. 2018)

Høyen ja Laureshyn (2018) tutkimuksessa SeeMe-suojatien turvajärjestelmän vaikutavuutta heikentäviksi tekijöiksi havaittiin esimerkiksi korkea määrä vääriä aktivoitumisia, jo ennalta korkea väistämistä sekä katualueella olevien muiden valonlähteiden suuri määrä. Tämän lisäksi suojatiemerkin sekä turvajärjestelmän sijoittelulla suhteessa ajorataan voi olla vaikutusta. Suojateilla, joissa väistämistä eivät kasvaneet tai laskivat hieman, suojatiemerkki sekä turvajärjestelmä oli sijoitettu kauemmaksi ajoradasta. Vastaavasti suojateilla, joissa väistämistä parani, suojatiemerkki sekä turvajärjestelmä oli sijoitettu aivan ajoradan viereen. (Høye & Laureshyn 2019)

Bennett et al. (2014) tutkimuksessaan havaitsivat, että liikennemerkein kavennetulla ajoradalla saavutettiin merkittäviä parannuksia väistämistäeseen. Lisäksi Shurbutt et al. (2009) mukaan väistämistävelvollisuuden noudattamista oli hieman korkeampi RRFB-järjestelmän sekä suojatien liikennemerkkien ollessa kaistan molemmin puolin kuin vain ajoradan ulkoreunassa. Nämä sekä aiemmin mainitut tulokset huomioiden voidaan päätellä, että parhaimman vaikuttavuuden väistämistäeseen voi saavuttaa sijoittamalla suojateiden turvajärjestelmät sekä suojatien liikennemerkit lähelle ajoradan reunaan sekä keskisaarekkeelle.

4.4 Tulosten vertailua

Tässä luvussa esitetään kootusti taulukkomuodossa aiemmissa luvuissa esitetyt tutkimustulokset ja käsitellään niiden yleistettävyyttä Suomeen. Luvuissa 4.1 ja 4.2 käsitellyt tutkimustulokset ja niiden tärkeimmät tulokset sekä arviot yleistettävyydestä Suomeen on esitettyinä taulukossa 1.

Yleistettävyydessä Suomeen on arvioitu pääasiassa vallitsevia liikenneolosuhteita tutkimusmaassa verrattuna suomalaisiin olosuhteisiin. Norjalaistutkimuksessa olosuhteet vastasivat hyvin suomalaisia olosuhteita nopeusrajoitusten, kaistamäärien sekä suojatiejärjestelyiden osalta. Italialaistutkimuksessa liikenneolosuhteet olivat melko vastaavia kuin Suomessa, mutta V85-nopeudet suojatiellä toiseen suuntaan olivat 68 km/h, mikä ei vastaa suomalaisia tavoitteita. Toisaalta italialaistutkimuksessa käytetyn mittauspaikan nopeusrajoitus ei ole tiedossa. Täten italialaistutkimuksen yleistettävyyden Suomeen arvioitiin olevan kohtainen. Yhdysvaltalaistutkimuksien osalta arviotiin yleistettävyyden Suomeen olevan heikko, koska nopeusrajoitukset sekä kaistamäärät olivat suurempia kuin Suomessa. Lisäksi voidaan myös yleisesti arvioida, että liikennekulttuurissa on mahdollisesti merkittäviä eroja Suomen ja Yhdysvaltojen välillä, koska väistämistäteet olivat pääsääntöisesti erittäin alhaisia tai olemattomia lähtötilanteissa.

Taulukko 1. *Yhteenvedo työssä käsitellyistä tutkimuksista.*

Luokittelu	Artikkeli	Tutkimus- vuosi	Tutkimus- maa	Tutkittava järjestelmä	Päätulokset	Yleistettävyy- s Suomeen
Väistämisaste	Høye & Laureshyn	2019	Norja	SeeMe-suojatien turvajärjestelmä (aktiivinen)	Keskimäärin väistämisaste parani 14 % laitteiston asennuksen jälkeen huomioiden vertailukohteet. Kahdella suojatiellä väistämisaste parani 13–23 prosenttiyksikköä ja vastaavasti kahdella laski 4–5 prosenttiyksikköä. Vertailukohteissa väistämistämisaste laski tutkimuksen aikana keskimäärin 5 prosenttiyksikköä.	Hyvä
	Brewer et al.	2015	Yhdysvallat	RRFB-järjestelmä (aktiivinen)	Väistämisaste vähintään kaksinkertaistui kaikilla mittauspaikoilla. Väistämisasteet kasvoivat 36–79 prosenttiyksikköä.	Heikko
	Benett et al.	2014	Yhdysvallat	RRFB-järjestelmä (aktiivinen) ja ajoradan kavennus liikennemerkeillä	RRFB-järjestelmä paransi väistämisastetta keskimäärin 49 prosenttiyksikköä ja ajoradan kavennus 60 prosenttiyksikköä. Molemmat järjestelyt yhdistettynä parannus oli 65 prosenttiyksikköä. Tulokset pysyivät samankaltaisina, kun koe toistettiin usean kerran.	Heikko
	Van Houten et al.	2008	Yhdysvallat	RRFB-järjestelmä (aktiivinen) ja erillinen suojatien kohdevalaistus	Väistämisasteet nousivat 58–91 prosenttiyksikköä. Koejärjestelyt poistaessa väistämisasteet laskivat lähtötilanteen tasolle ja uudelleen asennettaessa tulokset palasivat aiemmin saavutetuille tasoille. Erillinen kohdevalaistus ei tuonut parannusta väistämisasteeseen RRFB-järjestelmän lisänä.	Heikko
Väistämis- velvollisuuden noudattamis- aste	Costa et al.	2020	Italia	Suojatien turvajärjestelmä (aktiivinen) ja erillinen kohdevalaistus	Väistämisvelvollisuuden noudattamisaste kaksinkertaistui 19 prosentista 38 prosenttiin erillisellä suojatien kohdevalaistuksella. Kohdevalaistuksen lisäksi asennettu suojatien aktiivinen turvajärjestelmä ei vaikuttanut väistämisasteeseen merkittävästi.	Kohtalainen
	Schultz et al.	2020	Yhdysvallat	RRFB-järjestelmä (aktiivinen), HAWK-järjestelmä ja suojatien varoitusvalo (passiivinen)	Tutkimuksessa muodostettiin logistinen regressiomalli, jonka mukaan HAWK-järjestelmä voi parantaa väistämisvelvollisuuden noudattamisastetta 97 %, passiivisesti toimiva varoitusvalo 77 % ja RRFB-järjestelmä 57 %.	Heikko
	Shurbutt et al.	2009	Yhdysvallat	RRFB-järjestelmä (aktiivinen) ja suojatien varoitusvalo (passiivinen)	RRFB-järjestelmä paransi väistämisvelvollisuuden noudattamisastetta 68–78 prosenttiyksikköä riippuen laitteiden määrästä. Passiivinen varoitusvalo toi alle 5 prosenttiyksikön parannuksen. Lisäksi pitkäaikaisessa seurannassa nähtiin, että RRFB-järjestelmällä väistämisvelvollisuuden noudattamisaste vakiintui noin 80 % tasolle.	Heikko

5. PÄÄTELMÄT

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin suojaiteiden turvajärjestelmien vaikutuksia väistämiskäyttäytymiseen. Työssä tutkimuskysymyksenä oli: miten suojaiteiden turvajärjestelmät vaikuttavat kuljettajien väistämiskäyttäytymiseen? Väistämiskäyttäytymistä käsiteltiin väistämistasteen sekä väistämisvelvollisuuden noudattamistasteen kautta. Lisäksi työssä käsiteltiin suojaiteiden turvajärjestelmien tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, joita on useita.

Työssä käsiteltiin seitsemää eri tutkimusta, joiden perusteella voidaan sanoa, että suojaiteiden turvajärjestelmät voivat vaikuttaa myönteisesti ajoneuvojen kuljettajien väistämiskäyttäytymiseen. Tämä voi johtaa suojaiteilla tapahtuvien konfliktien vähenemiseen, joka oletettavasti voi parantaa suojaiteiden turvallisuutta. Työssä suojaiteiden turvajärjestelmät on luokiteltu aktiivisiin sekä passiivisiin niiden toimintaperiaatteen mukaisesti. Tutkimuksista nähdään, että aktiiviset järjestelmät, jotka käynnistyvät joko painonapilla tai tunnistaessaan jalankulkijan tutkalla, olivat vaikutukseltaan merkittävästi tehokkaampia kuin passiiviset järjestelmät, jotka eivät reagoi jalankulkijaan. Nähdään, että erityisesti suojaiteilla, joissa on alhainen väistämistasite tai väistämisvelvollisuuden noudattamistasite, voi olla hyötyä suojaiteiden turvajärjestelmistä. Vastaavasti suojaiteilla, joissa on jo ennestään korkea väistämistasite, suojaiteiden turvajärjestelmät eivät välttämättä tuo merkittävää parannusta väistämiskäyttäytymiseen.

Tutkimuksen tuloksista huolimatta suojaiteiden turvajärjestelmien vaikuttavuuteen liittyy joitakin epävarmuuksia. Aktiivisiin turvajärjestelmiin toimintaperiaatteesta riippuen liittyy aina jonkin verran vääriä aktivoitumisia sekä aktivoitumattomuutta. Aktiivisten turvajärjestelmien toiminta riippuu joko tutkan havainnoista tai jalankulkijan päätöksestä painaa painonappia, jolloin järjestelmän epävarmuutena tekniikan lisäksi on myös ihminen. Ihminen ei välttämättä lähde ylittämään suojaiteita tutkan vaikutusalueelta tai jättää painamatta painonappia. Tämän lisäksi liikenneympäristöllä ja laitteiden sijoittelulla on merkitystä suojaiteiden turvajärjestelmien vaikuttavuuteen.

Suojaiteiden ylitys on prosessi, johon liittyy monimutkaista vuorovaikutusta ajoneuvon kuljettajan sekä jalankulkijan välillä. Ihmistoiminnan takia virheitä ei voida koskaan täysin poistaa. Toisaalta turvajärjestelmät tuovat eräänlaisen uuden kommunikointitavan jalankulkijan ja ajoneuvon kuljettajan välille. Käyttäjien tottuessa järjestelmiin on mahdollista, että osapuolet alkavat luottamaan tekniikkaan liikaa, mikä voi johtaa konflikteihin järjestelmän pettäessä tai antaessa virheellisen viestin ajoneuvon kuljettajille.

Tutkimuksen tulosten perusteella suojateiden turvajärjestelmiä ei voi suositella lähtökoh-
taiseksi ratkaisuksi liikennesuunnittelussa uusia katuja tai teitä suunnitellessa. Aktiiviset
suojaiteiden turvajärjestelmät voivat soveltua suomalaisissa liikenneolosuhteissa jo käy-
tössä oleville suojaiteille erityisesti määräaikaiseen käyttöön. Parhaiten turvajärjestelmät
voivat soveltua suojaiteille, joissa ei ole mahdollista toteuttaa rakenteellisia muutoksia tai
väliaikaisiksi ratkaisuksi kohteisiin, joihin on suunnitteilla tulevaisuudessa rakenteellisia
toimenpiteitä. Passiivisia turvajärjestelmiä ei voi suositella käytettäväksi niiden verrattain
heikon vaikuttavuuden takia. Tulosten perusteella suojatien erillinen kohdevalaistus voi
olla melko tehokas keino parantaa suojatieturvallisuutta, joten sitä voi suositella varsin-
kin, jos väylän valaistus on muuten heikko.

Aihe on ajankohtainen, koska järjestelmät ovat viime vuosikymmenenä yleistyneet Suo-
messä ja kehityksen voidaan olettaa jatkuvan saman suuntaisena. Liikenneturvallisuus-
toimenpiteiden yleistymisen johtuneen Suomen tavoitteesta saavuttaa liikenneturvalli-
suusstrategian nollavisio vuoteen 2050 mennessä. Suojateiden turvajärjestelmät voivat
olla yksi osatekijä tavoitteeseen pyrkimisessä, mutta aiheesta on tarve tehdä jatkotutki-
mista.

Suojateiden turvajärjestelmistä oli saatavilla eurooppalaista sekä pohjoismaista tutki-
mista erittäin rajallisesti. Tästä syystä erityisesti suomalaisissa liikenneolosuhteissa
tehty tutkimus aiheesta olisi erittäin arvokasta. Muita jatkotutkimustarpeita olivat jalan-
kulkijoiden koettu turvallisuus turvajärjestelmillä varustetuilla suojaiteilla sekä mahdolli-
nen liiallinen turvallisuuden tunne. Lisäksi olisi tarpeellista tehdä tutkimusta turvajärjes-
telmien vaikuttavuudesta verrattuna rakenteellisiin liikenteenrauhottamistoimenpiteisiin,
jotka ovat usein huomattavasti kalliimpia investointeja. Rajallinen määrä eurooppalaista
tutkimusta suojateiden turvajärjestelmistä rajaa tämän työn tulosten yleistettävyyttä suo-
malaisissa liikenneolosuhteissa.

Työssä luokiteltiin suojaiteiden turvajärjestelmät aktiivisiin sekä passiivisiin ja havaittiin
näiden tehokkuudessa selvä ero. Väistämiskäyttäytymisen mittaamiseen liittyvä suo-
menkielinen terminologia on osittain vakiintumatonta, joten työssä käännettiin väistämis-
velvollisuuden noudattamisaste (engl. yielding compliance) suomeksi. Lisäksi työssä
tunnistettiin tutkimustarpeita aiheesta erityisesti Suomessa ja muualla Euroopassa.
Työssä onnistuttiin vastaamaan asetettuun tutkimuskysymykseen.

LÄHTEET

Amparo solutions (2023). Varningssystem SeeMe Övergång. Saatavissa (viitattu 18.3.2023): <https://amparosolutions.se/produkt/varningssystem-seeme-overgangss-talle/>

Bennett, M.K., Manal, H. & Van Houten, R. (2014). A comparison of gateway in-street sign configuration to other driver prompts to increase yielding to pedestrians at crosswalks. *Journal of applied behavior analysis*. Vol. 47(1), pp. 3–15. Saatavissa (viitattu 13.5.2023): <https://doi.org/10.1002/jaba.103>

Bertulis, T. & Dulaski, D.M. (2014). Driver Approach Speed and Its Impact on Driver Yielding to Pedestrian Behavior at Unsignalized Crosswalks. *Transportation research record*. Vol. 2464(1), pp. 46–51. Saatavissa (viitattu 14.5.2023): <https://doi.org/10.3141/2464-06>

Brewer, M.A., Fitzpatrick, K. & Avelar, R. (2015). Rectangular Rapid Flashing Beacons and Pedestrian Hybrid Beacons: Pedestrian and Driver Behavior before and after Installation. *Transportation research record*. Vol. 2519(1), pp. 1–9. Saatavissa (viitattu 16.4.2023): <https://doi.org/10.3141/2519-01>

Carmanah (2023). R920-F Rectangular Rapid Flashing Beacon. Carmanah Technologies Corp. Saatavissa (viitattu 18.3.2023): <https://carmanah.com/product/r920-f-solar-engine-rrfb-crosswalks/>

Costa, M., Lantieri, C., Vignali, V., Ghasemi, N. & Simone, A. (2020). Evaluation of an integrated lighting-warning system on motorists' yielding at unsignalized crosswalks during nighttime. *Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour*. Vol. 68, pp. 132–143. Saatavissa (viitattu 16.4.2023): <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.12.004>

Federal Highway Administration (2010). Safety Effectiveness of the HAWK Pedestrian Crossing Treatment. United States Department of Transportation. Saatavissa (viitattu 14.5.2023): <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/10045/>

Fu, T., Miranda-Moreno, L. and Saunier, N. (2018). A novel framework to evaluate pedestrian safety at non-signalized locations. *Accident analysis and prevention*. Vol. 111, pp. 23–33. Saatavissa (viitattu 16.4.2023): <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.015>

Høye, A. & Laureshyn, A. (2019). SeeMe at the crosswalk: Before-after study of a pedestrian crosswalk warning system. *Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour*. Vol. 60, pp. 723–733. Saatavissa (viitattu 18.3.2023): <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.11.003>

Hussain, Q., Feng, H., Grzebieta, R., Brijs, T. & Olivier, J. (2019). The relationship between impact speed and the probability of pedestrian fatality during a vehicle-pedestrian crash: A systematic review and meta-analysis. *Accident analysis and prevention*. Vol. 129, pp. 241–249. Saatavissa (viitattu 14.2.2023): <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.033>

InnoTrafik (2023). Vällkky - Näkyvä suojatien tehostemerkki. Saatavissa (viitattu: 18.3.2023): <https://www.innotrafik.com/liikenne/yleiskuvaus/>

Liikenne- ja viestintäministeriö (2022). Liikenneturvallisuusstrategia 2022–2026. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa (viitattu 12.2.2023): <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163951>

Moshahedi, N., Kattan, L. & Tay, R. (2018). Factors associated with compliance rate at pedestrian crosswalks with Rectangular Rapid Flashing Beacon. *Canadian journal of civil engineering*. Vol. 45(7), pp. 554–558. Saatavissa (viitattu 13.5.2023): <https://doi.org/10.1139/cjce-2017-0524>

Rinne, J. (2022). Suojateiden turvajärjestelmät Raision ja Paimion alueurakoissa. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavissa (viitattu 12.2.2023): <https://www.theseus.fi/handle/10024/750149>

Schultz, G.G., Galvez De Leon, P., Kiavash Fayyaz Shahandashti, S. & Chamberlin, R. (2020). Measuring Compliance of Driver Yielding at Enhanced Pedestrian Crossings in Utah. *Transportation research record*. Vol. 2674(5), pp. 327–339. Saatavissa (viitattu 4.5.2023): <https://doi.org/10.1177/0361198120915466>

Shurbutt, J., Van Houten, R., Turner, S. & Huitema, B. (2009). Analysis of Effects of LED Rectangular Rapid-Flash Beacons on Yielding to Pedestrians in Multilane Crosswalks. *Transportation research record*. Vol. 2140(1), pp. 85–95. Saatavissa (viitattu 25.4.2023): <https://doi.org/10.3141/2140-09>

TAPCO (2023). BlinkerSign® Pedestrian Crosswalk System. TAPCO Inc. Saatavissa (viitattu 31.3.2023): <https://www.tapconet.com/product/blinkersign-pedestrian-crosswalk-system>

Tilastokeskus (2023). Tieliikenneonnettomuustilasto. Saatavissa (viitattu 12.2.2023): https://pxdata.stat.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ton/stat-fin_ton_pxt_12z2.px/

TLL 729/2018. Tieliikennelaki. Saatavissa (viitattu 14.2.2023): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729>

Van Houten, R., Ellis, R. & Marmolejo, E. (2008). Stutter-Flash Light-Emitting-Diode Beacons to Increase Yielding to Pedestrians at Crosswalks. *Transportation research record*. Vol. 2073(1), pp. 69–78. Saatavissa (viitattu 25.4.2023): <https://doi.org/10.3141/2073-08>

VNa 379/2020. Valtioneuvoston asetus liikenteenohjauslaitteiden käytöstä. Saatavissa (viitattu 14.2.2023): <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2020/20200379>