



MAANTEEAMET

Riigiteedel rakendatud statsionaarse automaatse kiirusjärelvalve mõju liiklusõnnetustele

Uuring



2019-001

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
Märksõnad	3
Sisukokkuvõte	3
Taust	4
Lühiülevaade uuringu tulemustest	4
1 KIRJANDUSE ANALÜÜS	5
1.1 Ülevaade välismaal tehtud uuringutest	5
1.2 Eestis seni tehtud uuringud	7
2 METOODIKA KIRJELDUS	9
2.1 Algandmed ja nende kogumine	11
2.1.1 Kiiruskaamerate asukoha- ja paigaldusandmed	11
2.1.2 Inimkannatanuga liiklusõnnetuste andmed	12
2.1.3 Aasta keskmine ööpäevane liilkussagedus (AKÖL) ja kiiruspiirangud	15
2.1.4 Teedevõrgu ruumilised andmed	16
2.2 Andmete ühendamise ja enne-pärast analüüsiks ettevalmistamine	17
2.3 Bayes analüüs RAPTOR tarkvaraga	19
3 UURINGU TULEMUSED	21
4 JÄREDUSED JA DISKUSSIOON	23
KASUTATUD ALLIKAD	24
LISAD	25
Lisa 1. Edasiseks analüüsiks ettevalmistatud kaamerakohtade andmed	25
Lisa 2. Edasiseks analüüsiks ettevalmistatud võrdlusrühma kohtade andmed	26
Lisa 3. Bayes analüüs tulemused kaamerakoha lõikes	28
Lisa 4. Bayes analüüsi väärtused	30
Lisa 5. Liiklusõnnetuste prognoosimismudeli väärtused	31
Lisa 6. Bayes mudeli koefitsiendid	32

SISSEJUHATUS

Statsionaarne automaatne liiklusjärelvalve süsteem on mõõtekabiini paigaldatud tehnoloogiliste seadmete kogum, mis koosneb järelvalvekaamerast või -kaamerate, sõidukiiruse mõõtmisel kiirusmõõtevahendist, dokumenteerimisseadmest ja muudest vajalikest lisaseadmetest, mis on ette nähtud liiklusalase õigusrikkumise fikseerimiseks ning mille salvestist on õigus kasutada mootorsõiduki ja selle juhi, mootorsõiduki omaniku või vastutava kasutaja tuvastamiseks¹.

Käesolevas töös käsitletakse riigiteedel rakendatud *statsionaarse automaatse kiirusjärelvalve süsteemi* mõju inimkannatanuga liiklusõnnetustele. Statsionaarne automaatne kiirusjärelvalve on kehtestatud kiirusrežiimi järgimise kontrolli meetod, kus sõidukiiruste mõõtmiseks kasutatakse spetsiaalseid tehnilisi seadmeid e kiiruskaameraid. Kiiruskaamera on sõidukite kiiruse mõõtmiseks ja lubatud sõidukiiruse ületajate automaatseks fikseerimiseks mõeldud süsteem, mis koosneb kiiruskaamera mõõtepunktist ning mõõtepunkti paigaldatud kiirusmõõtesüsteemist. Lihtsustamaks kokkuvõtte lugemist ja arusaamist, kasutatakse edaspidi „statsionaarse automaatse kiirusjärelvalve süsteemi“ asemel mõistet „kiiruskaamera“, millega seotakse üheks tervikuks mõõtepunkt ja sellesse paigaldatud kiirusmõõtesüsteem.

Töö eesmärgiks on uurida, kuidas mõjutas kiiruskaamerate rakendamine riigiteedel toimunud inimkannatanutega liiklusõnnetusi. Tööd puudutavates küsimustes võib pöörduda Maanteeameti liiklusohutuse osakonna poole mntloo@mnt.ee või uuringu kokkuvõtte autori liiklusohutuse osakonna peaspetsialisti Maria Pashkevichi Maria.Pashkevich@mnt.ee poole.

Analüüsi valmimisse on panustanud Suurbritannia analüüsiettevõtte Agilysis² esindajad Richard Owen ja George Ursachi ning Newcastle ülikooli esindajad PhD Lee Fawcett ja PhD Neil Thrope.

Märksõnad

Statsionaarne automaatne kiirusjärelvalve süsteem, kiiruskaamera, mõju analüüs, enne-pärast analüüs, Bayes teooria, regressioon keskmise suunas, üldine trend, inimkannatanuga liiklusõnnetus.

Sisukokkuvõte

Vaatamata sellele, et kiiruskaameraid hakati liiklusjärelvalveks kasutama alates 10.05.2010. aastast, alustati süsteemi paigaldamisega juba 2009. aastal. Töös on analüüsitud aastatel 2009 – 2014 paigaldatud kiiruskaamerate mõju toimunud inimkannatanutega liiklusõnnetustele. Analüüsi meetodiks on kvantitatiivne enne-pärast uuring, kasutades täielikku Bayesi teooriat. Kokkuvõttes on kirjeldatud välismaal ja Eestis antud teemal seni tehtud analüüse, uurimismetoodikat ja analüüsis kasutatud andmeid.

Kokku on analüüsitud 32 kaamerakohta (kaamerakoht on ühte või mitut lähedal asuvat kiiruskaamerat ümbritsev ala). Kiiruskaamerate lõplikku mõju leidmisel arvestatud nii regressiooni keskmise suunas kui ka üldist trendi. Arvutustes on kasutatud võrdlusrühma, kuhu kuulus kokku 82 lõiku. Nii kaamerakohtade kui ka võrdlusrühma lõikude kohta on kogutud ja analüüsi jaoks ühendatud liiklussageduse, inimkannatanutega liiklusõnnetuste, kiiruspiirangute ja taristu ruumilised andmed. Edasine andmeanalüüs tehti täieliku Bayesi meetodil Newcastle ülikooli matemaatika ja statistika koolis väljatöötatud vabavaraga RAPTOR.

¹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015001>

² <http://agilysis.co.uk/>

Taust

Eestis ei ole seni kiiruskaamerate mõju liiklusõnnetustele parimale tavale vastaval kvantitatiivsel enne-pärast uuringumeetodil analüüsitud. Alates 2003. aastast on tehtud rida uurimistöid, mis käsitlesid kiiruskaamerate rakendamise eelduste uurimist või statsionaarsete kiiruskaamerate asukoha valikut. Pärast kiiruskaamerate kasutuselevõtmist on tehtud ka rida lõputöid, milles uuriti eelkõige kiiruskaamerate mõju sõidukijuhtide käitumisele ja sõidukiiruse valikule.

Kasutades liiklusohutuse analüüsides kuldseks standardiks saanud Bayesi lähenemist sai antud töös arvutada, millist osa moodustavad kiiruskaamerate lõplikust mõjust liiklusõnnetuste vähenemisele regressioon keskmise suunas ja üldine trend ning mitu inimkannatanuga liiklusõnnetust sai ära hoida puhtalt tänu kiiruskaamerate rakendamisele.

Lühiülevaade uuringu tulemustest

Absoluutnumbreid vaadates vähenes liiklusõnnetuste arv kaamerakohtades 40% võrra, kusjuures võrdluskohtades ei olnud vähenemine nii märkimisväärne. AKÖL nii kaamerakohtades kui ka võrdlusrühma kohtades ei ole oluliselt muutunud. Bayes analüüsi tulemustest lähtudes võib järeldada, et ligikaudu 40% kõikides kaamerakohtades toimunud liiklusõnnetuste vähenemisest on leidnud aset tänu regressioonile keskmise suunas, 24% tänu üldisele trendile ning ca **34%** (absoluutarvuna 12 inimkannatanuga liiklusõnnetust) on kiiruskaamerate rakendamise nn „puhas“ efekt. Tehtud analüüsi alusel võib väita, et vaadeldud kohtades vähenes inimkannatanutega liiklusõnnetuste arv pärast kiiruskaamerate rakendamist **13% võrra**. Saadud tulemus kinnitab välismaal tehtud analoogsete uuringutega avastatut.

1 KIRJANDUSE ANALÜÜS

Statsionaarse automaatse kiirusjärelevalve süsteemi (edaspidi kiiruskaamerate) mõjusid liiklusohutusele on päris põhjalikult uuritud väljaspool Eestit. Mitmeid kvaliteetseid teadusuuringuid on tehtud nii statsionaarsete, mobiilsete kui ka lõigu keskmise kiiruskontrolli kohta. Allpool on keskendunud teadustöödele, milles on analüüsitud vaid statsionaarsete kiiruskaamerate mõjusid.

Välismaal tehtud uuringute ülevaade on koostatud SafetyCube projekti raames tehtud kokkuvõtte³ põhjal. Viidatud allikas analüüsitakse statsionaarsete kiiruskaamerate mõju liiklusõnnetustele ja neis kannatanutele ühe meta-uuringu (koondab kokku 15 erinevat üksikuuringut) ja lisaks veel kolme kvantitatiivse mõju uuringu tulemuste põhjal. Kõik kokkuvõttes käsitletud üksikuuringud on üles ehitatud sarnaselt klassikalisele enne-pärast uuringule, enamikes neis on kasutatud empiirilist Bayes meetodit. Kõikide viidatud uuringute tulemused arvestavad trendi mõju ja teatud määral ka regressiooni keskmise suunas (i.k. *regressioon to the mean*).

Eestis ei ole seni statsionaarsete kiiruskaamerate mõju liiklusõnnetustele parimale tavale vastaval kvantitatiivsel enne-pärast uuringumeetodil analüüsitud. Alates 2003. aastast on tehtud rida uurimistöid, mis käsitlesid kiiruskaamerate rakendamise eelduste uurimist või statsionaarsete kiiruskaamerate asukoha valikut. Pärast kiiruskaamerate kasutuselevõtmist on tehtud ka rida lõputöid, milles uuriti eelkõige kiiruskaamerate mõju sõidukijuhtide käitumisele ja sõidukiiruse valikule. Lühülevaade Maanteeametile teadaolevatest lõputöödest on esitatud peatükis „Eestis seni tehtud uuringud“.

1.1 Ülevaade välismaal tehtud uuringutest

Antud ülevaade põhineb Tabelis 1 toodud uurimistöödel. Statsionaarsete kiiruskaamerate metaanalüüsis (Høye, 2014a) leiti, et kiiruskaamerad **vähendavad märkimisväärselt** erineva raskusastmega liiklusõnnetusi. Kõige rohkem vähenesid kõige raskemad ehk surmaga lõppenud liiklusõnnetused.

Tabel 1 – Ülevaate koostamisel kasutatud kvantitatiivsed uuringud

Autor(id), aasta, riik	Uurimisteema ja valim	Uuringu kujundus	Uuringuobjektid e asukoht	Tulemusnäitajad
Høye, 2014 (metaanalüüs), erinevad riigid	Statsionaarsete kiiruskaamerate mõju erineva 15 üksikuuringu põhjal	Metaanalüüs, osa tulemuste kohta on kasutatud keskmisele taandumise reeglit	– Ei ole täpsustatud; – Üksikuuringute vahel võib olla erinevusi.	– Liiklusõnnetuse arv; – Kannatanutega LÕ arv; – Hukkunu ja raskesti vigastatutega LÕ arv; – Surmaga lõppenud LÕ arv.
Høye, 2015a, Norra	Statsionaarsete kiiruskaamerate mõju 223 koha näitel	Empiiriline Bayes enne-pärast uuring, kasutatud keskmisele taandumise reeglit	• Väljaspool asulaid; • Enamik 2 sõidurajaga; • Kiiruspiirang 50 – 90 km/h	– Kannatanutega LÕ arv; – Hukkunu ja raskesti vigastatutega LÕ arv;

³ De Ceunynck, T. (2017), Installation of section control & speed cameras, European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Retrieved from www.roadsafety-dss.eu on 04.01.2019

Hu & McCart, 2016, USA	Mõju 198 kiiruskaamerate ga varustatud kohtades ja 9 kohta, kuhu kaamera mõju võis laieneda.	enne-pärast uuring, keskmisele taandumise reeglit osaliselt kasutatud	Koolide ümbrus ja elurajoonid kiiruse piiranguga kuni 56 km/h	– Vigastuse raskusaste (vigastuse või surma saamise tõenäosus)
Li & Graham, 2016	Statsionaarsete kiiruskaamerate mõju 771 koha näitel	i.k. <i>propensity score matching (PSM)</i> ; keskmisele taandumise reegel	Erinevad kohad piirkiirusega 48 – 64 km/h	- Kannatanutega LÕ arv; - Hukkunu ja raskesti vigastatutega LÕ arv;

Li & Graham (2016) leidsid, et statsionaarsed kiiruskaamerad vähendavad oluliselt vigastatutega liiklusõnnetuste arvu, kuid ei saanud tõestada samasugust efekti surmaga lõppenud õnnetuste puhul. Hu & McCart (2016) kinnitasid, et kiiruskaamerad vähendavad oluliselt liiklusõnnetuse raskusastet, mida hinnati arvestades tõenäosust, et liiklusõnnetus lõpeb vigastuse või surmaga. Høye (2015) uuringus analüüsiti erineva raskusastmega õnnetusi ja kaameraid ümbritsevate alade suurust. Tulemus näitas, et kõige rohkem vähenesid inimkannatanutega liiklusõnnetused keskmise pikkusega lõikudel (1,1 km), lühematel (200 m) ja pikematel (3,1 km) lõikudel olulisi mõjusid ei leitud. Kokkuvõtte analüüsitud uuringute tulemustest on leitav Tabelist 2.

Tabel 2 – Kvantitatiivse uuringute tulemused

Autor(id), aasta, riik	Uuritud näitaja	Täpsustus	Väärtus [95% CI]	Mõju liiklusohutusele
Høye, 2014 (metaanalüüs), erinevad riigid	LÕ arv (raskusaste täpsustamata)	/	-20% [-28; -10]	
	Vigastatutega LÕ	/	-20% [-26; -12]	
	Hukkunu ja raskelt vigastatutega LÕ	/	-15% [-24; -6]	
	Hukkunuga LÕ	/	-51% [-72; 12]	
Høye, 2015a, Norra	Vigastatutega LÕ	Pikk lõik	-5% [-12; +2]	/ ⁴
		Keskmine lõik	-22% [-30; -14]	
		Lühike lõik	+1% [-36; +37]	/
	Hukkunu või raskesti vigastatuga LÕ	Pikk lõik	-17% [-47; +14]	/
		Keskmine lõik	-24% [-72; +24]	/
		Lühike lõik	-14% [-92; +65]	/
Hu & McCart, 2016, USA	Vigasatu või hukkunuga LÕ tõenäosus	Kaamerakohad	-19,4% [ei ole toodud]	
		Ümbritsevad kohad	-17,2 [ei ole toodud]	/
Li & Graham, 2016	Vigastatutega LÕ	/	-25,9% [ei ole toodud]	
	Hukkunu ja raskelt vigastatutega LÕ	/	-4,5 [ei ole toodud]	/

⁴ Uuringuga ei suudetud tõestada olulist positiivset või negatiivset mõju liiklusohutusele

1.2 Eestis seni tehtud uuringud

Kiiruskaamerate kasutuselevõtmisele eelnes päris pikk otsuse langetamise periood. Esimeses Maanteeameti tellimisel tehtud uuringus (IB STRATUM, 2003⁵) on kirjeldatud teiste riikide praktikat kiiruskaamerate rakendamisel, toodud ka liiklejate suhtumine antud meetmesse küsitlusuuringu põhjal, kirjeldatud kiiruskaamera asukoha valiku kriteeriume ja tehtud ettepanekuid seadusandluse muutmiseks.

IB STRATUM (2005⁶) tegi kiiruskaamerate kohavaliku töös ettepanekuid pilootprojekti läbiviimise kohtade valikuks. Kuigi soovitati panna esimesed kaamerad kohtadesse, kus nende hoiatav roll võiks olla suurem (suure liiklussagedusega maanteelõigud, kus on liiklusõnnetusi olnud), tehti lõppvalik lähtudes Politsei ja Maanteeameti ekspertide arvamustest, kaamerate tööks vajaliku infrastruktuuri olemasolust (elektriühenduse kättesaadavus) ja süsteemi haldamisega seotud ametiasutuste võimekusest.

AS Teede Tehnokeskuse (2006⁷) töö eesmärgiks oli käivitada kiiruste automaakontrolli pilootprojekti monitooring, mis sisaldas pilootprojekti tulemuste analüüsi, ning saadud hinnangu alusel määrata kiiruste automaakontrolli edasised arendusvariandid. Pilootprojekti eesmärgiks oli katsetada mobiilset kiiruskaamerat kiirusjärelvalveks. Projekti üheks järelduseks oli, et ohtlikel teelõikudel kiiruste ohjamiseks ja liiklusõnnetuste vähendamiseks tuleks kasutada statsionaarseid kiiruskaameraid.

Esimesed kiiruskaamerad võeti kasutusele 2009. aastal. Pärast seda ilmus rida lõputöid, mille autorid proovisid analüüsida kiiruskaamerate mõjusid eelkõige sõidukijuhtide käitumisele. Avalikult kättesaadavatest allikatest on leitud 3 lõputööd:

1. M. Draba (2012) magistritöös on katsetatud hinnata kiiruskaamerate mõju liiklusohutusele kvantitatiivselt⁸. Lisaks uuriti liiklusohutuse asjatundjate seisukohti kiiruskaamerate mõju kohta, kasutades poolstruktureeritud intervjuud. Autor tegi katse kvantitatiivselt hinnata kiiruskaamerate mõju sõidukiirustele, politsei fikseeritud kiiruse ületajate arvule ja inimkannatanutega liiklusõnnetuste arvule maanteel nr 2 Tallinn – Tartu lõigul. Ekspertide kokkuvõtliku hinnangu kohaselt on kiiruskaamerad väga tõhus liiklusohutuse parandamise meede ja selle kasutusala tuleks edasi laiendada. Kvantitatiivne analüüs aga seda ei kinnitanud. Tegemist oli väga lihtsustatud meetodikaga, mille kasutamine ei anna järelduste tegemiseks piisavalt usaldusväärset tulemust.
2. R. Kolling (2014) uuris bakalaaurusetöös juhtide kiiruskäitumist kiiruskaameratega varustatud maanteel Tallinn-Tartu maantee näitel⁹. Käesolev töö tõi välja juhtide kiiruskäitumise kiiruskaamerate juures ja vahel. Antud töö autor avastas, et pärast kiiruskaameraid ületatakse oluliselt rohkem piirkiirust ja V85 tõusis nendes kohtades kuni 7 km/h. Töös aga ei saanud kinnitust hüpotees, et kiiruste suurenemine kiiruskaamerate-järgsetes mõõtepunktidest on tingitud kiiruskaamerate olemasolust, kuna puudusid võrdlevad andmed kiiruskaamerate-eelsest perioodist või maanteedelt, kus kiiruskaamerad puuduvad.

⁵ <https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/aukiir.pdf>

⁶ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/kaamera_0.pdf

⁷ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/kiiruskaamera_uuring_iii_etapp3.pdf

⁸ https://digiriul.sisekaitse.ee/bitstream/handle/123456789/94/2012_Draba%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

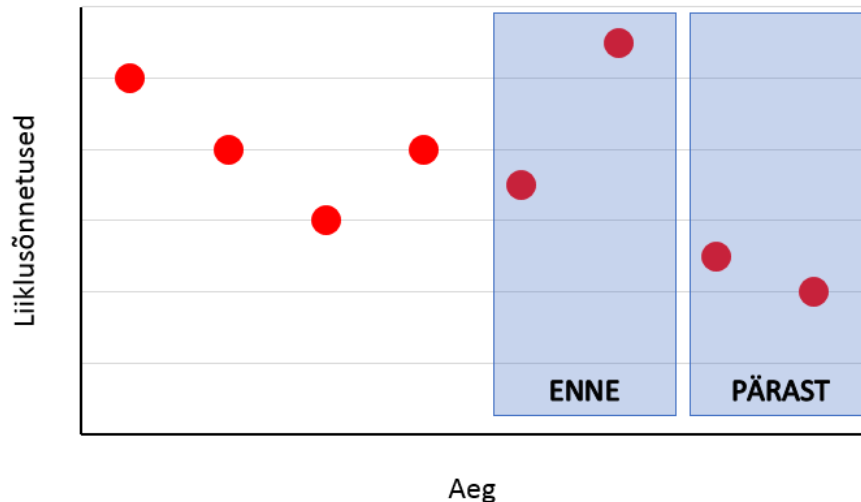
⁹ <https://digi.lib.ttu.ee/i/?1556>

3. J. Napritson (2016)¹⁰ tehtud uuringus püstitatud hüpotees, mille kohaselt juhid vähendavad kiirust enne kiiruskaamerat ning kiirendavad uuesti kaamerast möödudes ehk tekib nõndanimetatud “känguruefekt”, ei saanud kinnitust. Tulemustest selgus, et kiiruskaamerad vähendavad kiiruseid ning sellega täidavad oma eesmärgi. Vaadeldud juhtidest sõitis enamik piirkiirusest aeglasemalt või täpselt lubatud piirkiirusega, mis antud töös oli defineeritud kui 88-92 km/h. Täpsemat infot uuringu valimi ja mõõtmismetoodika kohta ei ole teada.

¹⁰ <https://digi.lib.ttu.ee/i/?6511>

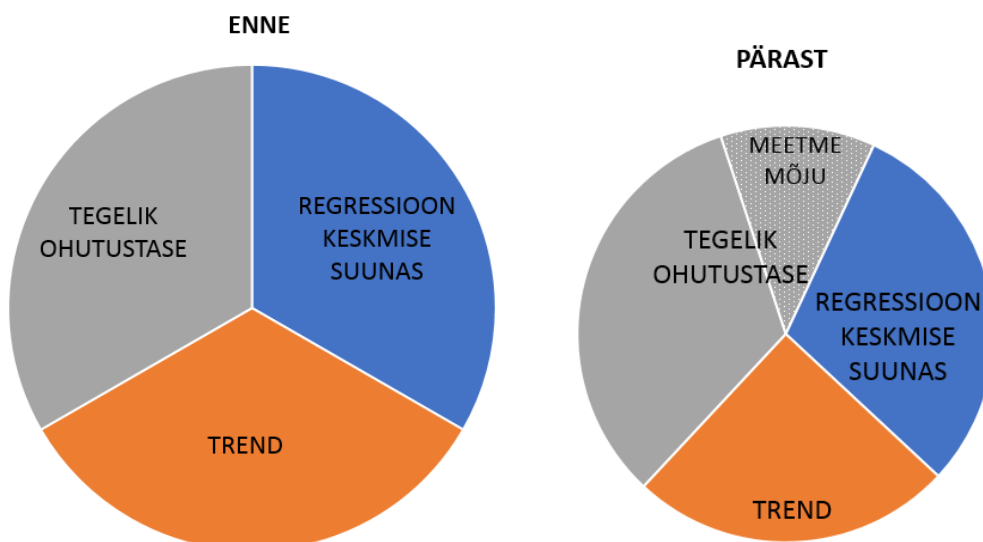
2 METOODIKA KIRJELDUS

Antud töö eesmärgiks on uurida, kuidas mõjutas kiiruskaamerate rakendamine riigiteedel toimunud inimkannatanutega liiklusõnnetusi. Skemaatiliselt on uuringu metoodika näidatud allpool joonisel. Lihtsuse mõttes võib öelda, et rakendatud parandusmeetme mõju hindamiseks oleks vaja võrrelda uuritava näitaja seisu enne ja pärast meetme rakendamist. Näitajaks antud juhul võib olla kas inimkannatanutega liiklusõnnetused või andmete olemasolul ka surmaga või raskesti vigastatutega liiklusõnnetused. Sellise põhimõtte alusel on tehtud enamik Eestis läbiviidud ja eelmises peatükis kirjeldatud uuringuid.



Joonis 1 – metoodika skeem

Vastavalt enne-pärast metoodika parimale tavale on igasugu liiklusohutusmeetme mõju hindamisel usaldusväärse tulemuse saamiseks vaja arvestada asjaoludega, mis võivad vaadeldavat indikaatori väärtust (nt liiklusõnnetuste arvu) mingis suunas mõjutada, kuid mis ei ole seotud rakendatava meetmega. Nendeks on liiklusõnnetuste arvu puhul regressioon keskmise suunas, liiklussageduse muutus ja liiklusõnnetuste arvu muutuse üldine trend¹¹.

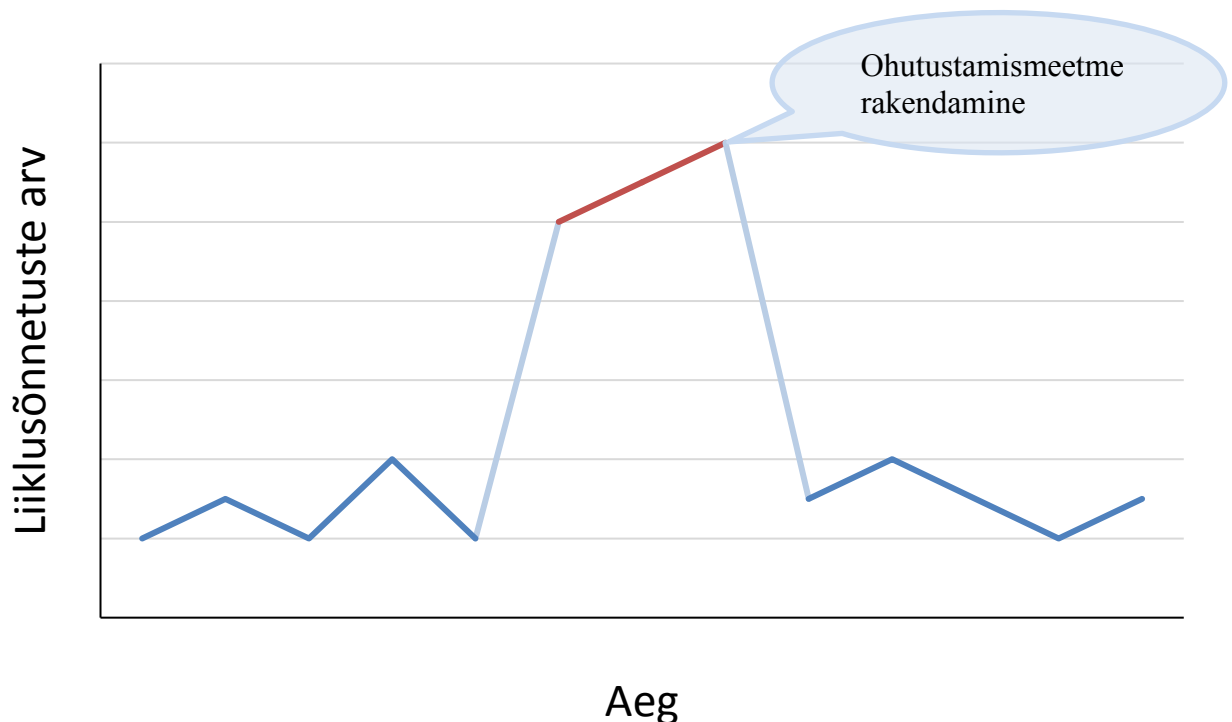


¹¹Choi, Yoon-Young, Kho, Seung-Young, Jang, Kitae, Kim, Dong-Kyu (2018/09/28) Evaluating Time Trend Correction Approaches Associated with Empirical Bayes Before-after Study for Road Safety https://www.researchgate.net/publication/328069235_Evaluating_Time_Trend_Correction_Approaches_Associated_with_Empirical_Bayes_Before-after_Study_for_Road_Safety

Joonis 2 – Meetme efekti arvutamise skeem

Rakendatud parandusmeetme „puhta“ efekti saamiseks on vaja hinnata, kui suur osa „enne“ ja „pärast“ perioodide vahel toimunud muutusest tulenes meetme mõjust ja kui suur osa muutusest oleks aset leidnud ka meedet rakendamata. Seda arvestamata võime meetme efekti üle- või alahinnata.

Regressioon keskmise suunas on statistiline nähtus, mis tähendab, et harukordsed sündmused on ajutised ja järgmisel mõõtmisel enam suure tõenäosusega ei kordu, vähemalt mitte niisama ekstreemses ulatuses. Ebatavaliselt suure liiklusõnnetuste arvu korral tähendab regressioon keskmisele, et edaspidi suundub see pikemaajalise trendi mediaanväärtustele tagasi. Ja vastupidi: ebaharilikult madale liiklusõnnetuste arvule järgnevad suuremad väärtused. Regressioon keskmisele on toimunud liiklusõnnetuste arvu eeldatava pikaajalise trendi ümber juhusliku kõikumise tulemus (Elvik & Vaa, 2002)¹². Väga tihti otsitakse parandusmeetmeid just nendele kohtadele, kus liiklusõnnetuste arv on väga suur. Arvestades eespool öeldut võib järeldada, et liiklusõnnetuste arv väheneb olenemata rakendatud meetmest. Kui regressiooni keskmisele ei ole analüüsis nõuetekohaselt arvestatud, toob see sellistel juhtudel kaasa meetme efektiivsuse ülehindamise. Meetme „puhta“ efekti eraldamiseks regressioonist keskmisele kasutatakse liiklusohutuse analüüsides kuldseks standardiks saanud Bayesi (empiirilist või täielikku) lähenemist¹³.



Joonis 3 – Liiklusõnnetuste arvu regressioon keskmise suunas

Teine oluline faktor, mida tuleb enne-pärast analüüsi juures arvestada, on liiclussageduse muutus. Selleks kasutatakse prognoositud liiklusõnnetuste suhtarvu, mis arvutatakse enne ja pärast perioodi keskmise ööpäevase liiclussageduse alusel. Kolmandaks teguriks on üldine trend. Kui liiclussageduse muutus on empiirilises Bayesi lähenemises sisse arvestatud, eeldatakse, et kõik muud mõjufaktorid (nt ilmaolud, sõidukite ohutus, juhtide käitumine jm) jäävad enne ja pärast meetme rakendamist samaks. Tegelikult see nii ei ole ja ka need faktorid muutuvad aja jooksul. Kuna liiclust ei saa võrrelda laboriga, kus on võimalik katsete

¹² http://www.ictct.org/migrated_2014/ictct_document_nr_834_24th%20ICTCT%20-Ellen%20de%20Pauw.pdf

¹³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457509001638>

kordamisel jätta kõik muud mõjuparameetrid samaks, siis üheks võimaluseks trendi mõju hindamisel on kontrollgrupi või võrdlusrühma kasutamine.

Antud töös on kiiruskaamerate lõplikku mõju leidmisel arvestatud nii regressiooni keskmise suunas kui ka üldist trendi. Kõik arvutused on tehtud Newcastle Ülikooli matemaatika ja statistika kooli koostöös PTV GROUP-ga väljatöötatud vabavaraga RAPTOR¹⁴. Tarkvara on loodud spetsiaalselt transpordi sektoris tegutsevatele inseneridele, kelle ülesandeks on kõrgetasemeliste analüüside läbiviimine, kuid kellel ei ole piisavalt ressursi uurida statistikat ja programmeerimist eksperttasemel. Ülevaade RAPTOR tarkvaras tehtust on esitatud alampeatüks 2.3 Bayes analüüs RAPTOR tarkvaraga.

2.1 Algandmed ja nende kogumine

Analüüsi esimeseks väljakutseks oli kaardistada, millised andmed on mõju hindamiseks vajalikud, kui pikk peab olema vaadeldav periood ning kas nende andmete saamine, ja eriti ajalooliste andmete saamine on praktikas võimalik ja kas olemasolevate andmete kvaliteet on antud analüüsi jaoks piisav. Kiiruskaamerate mõju hindamiseks minimaalselt on vaja teada:

- Kiiruskaamerate täpset asukohta ja paigalduskuupäeva;
- Inimkannatanutega liiklusõnnetuste toimumisaega ja kohta;
- Aasta keskmist ööpäevast liilkussagedust;
- Teedevõrgu ruumilisi andmeid.

Lisaks eespool toodud andmetele on soovitatav koguda andmeid enne ja pärast kiiruskaamerate paigaldamist kehtinud piirkiiruste ja nende võimaliku muutuse kohta, keskmiste sõidukiiruste kohta (nt V85) enne ja pärast kiiruskaamerate paigaldamist ja piirkiiruse rikkujate osakaalu nii enne kui ka pärast meetme rakendamist. Antud töös oleme lisaandmetest kontrollinud vaid, kas kaameratsoonis 3 aastat enne ja 3 aastat pärast kiiruskaamera paigaldamist kehtinud piirkiirus jäaks samaks. Saada ajaloolisi andmeid (alates 2006. aastast) tegelike kiiruste kohta ei osutunud võimalikuks.

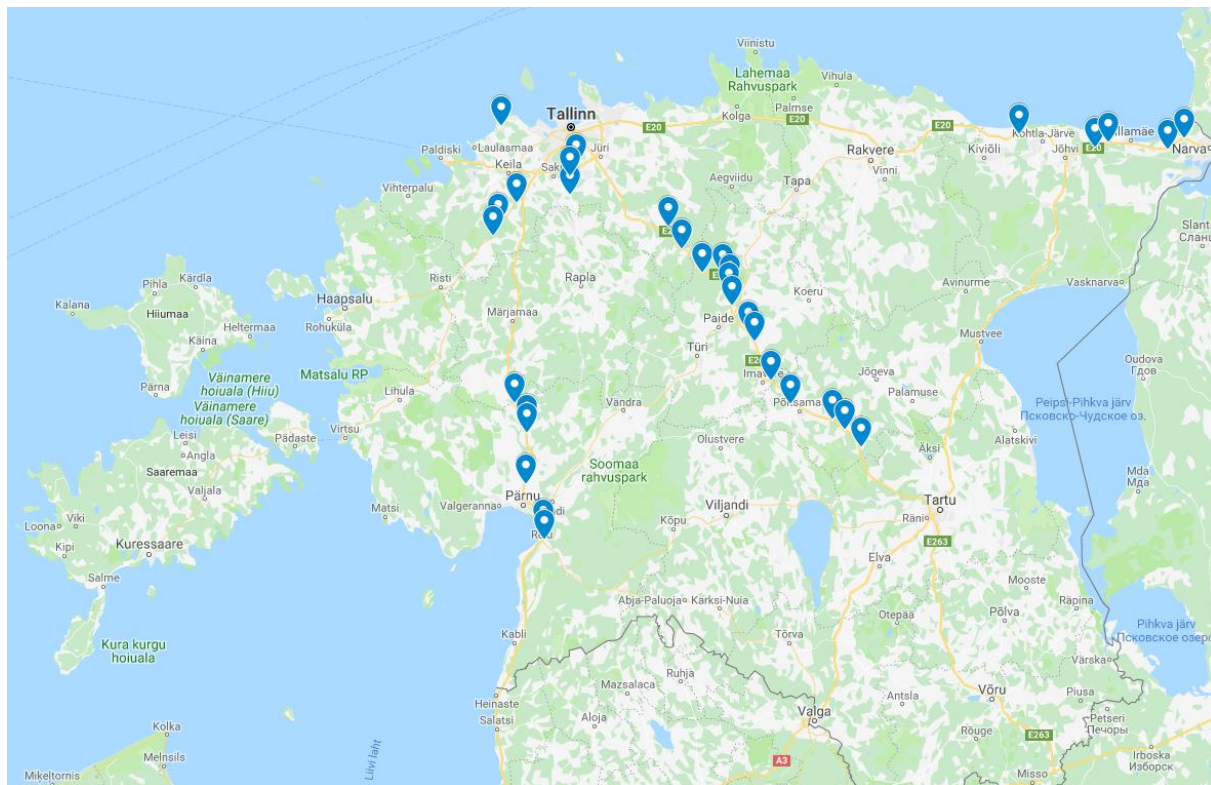
2.1.1 Kiiruskaamerate asukoha- ja paigaldusandmed

Analüüsiks vajalikud andmed olid lihtsasti kättesaadavad tabeli kujul. Iga mõõtekabiini kohta on teada järgmine info (vt näidis Tabel 3):

1. Kabiini tähis;
2. Asukoht (koordinaadid (x, y), sõidusuund, asukoht tee suhtes, tee nimetus, aadress);
3. Lubatud kiirus;
4. Sõiduradade laius;
5. Kaugus sõidutee äärest ja kõrgus teepinnast;
6. Paigaldusaeg (kuu täpsusega);
7. Paigaldus- ja hoolduslepingut puudutav info.

Esimesed mõõtekabiinid paigaldati oktoobris 2009. Loetakse, et enne-pärast analüüsi läbiviimiseks on minimaalseks „enne“ ja „pärast“ perioodide pikkuseks 3 aastat. Antud uuringus tähendas see, et „enne“ perioodi kõige varasemaks algusaastaks on 2006 ning valimisse sai võtta vaid need kiiruskaamerad, mis on paigaldatud kuni 2014. aasta lõpuni (analüüs viidi läbi 2018. aastal). Kokku oli valimisse võetud 51 mõõtekabiinide asukohta. Kui mõõtekabiinide vahemaa oli ≤ 1 km, ühendati need kiiruskaamerad ühte kaamerakohta. Lõpuks jäi kokku 32 kaamerakohta (vt joonis 1).

¹⁴ <https://mas-shiny.ncl.ac.uk/scheme-evaluation/> (nõuab eelnevat registreerimist)



Joonis 4 – Analüüsis kasutatud kaamerakohad

Tabel 3 – Kiiruskaamerate asukoha ja paigalduse andmed

Kabiini tähis	Kaamera 1
Asukoht	Tee nr 2, 66,5. km
Sõidusuund	Tallinn-Tartu
x	6545306
y	583097
Tee nimetus	Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa
Aadress	Mustla
Asukoht tee suhtes	vasak
Lubatud kiirus	90
1. sõiduraja laius	3,74
2. sõiduraja laius	3,71
3. sõiduraja laius	-
Kaugus sõidutee äärest	4,2
Kõrgus teepinnast	0,86
Paigaldusaeg	okt.09
Paigaldusleping	28.11.2009
Paigalduslepingu kehtivus	lõppenud
Hooldusleping	18.12.2014
Hoolduslepingu kehtivus	18.12.2018

2.1.2 Inimkannatanuga liiklusõnnetuste andmed

Liiklusõnnetustel ja eriti nende toimumiskoha andmetel on võtmeroll ohutustamismeetme mõju hindamisel. Analüüsiks oli vaja liiklusõnnetuste andmeid 2006 – 2017 perioodi kohta. 2010. aastal asendas Maanteeamet vana AVARIID liiklusõnnetuste andmebaasi uue liiklusõnnetuste infosüsteemiga MALIS. Seega pärinevad analüüsiks vajalikud liiklusõnnetuste andmed aastate 2006 – 2009 kohta AVARIID-e baasist ning ülejäänud 2010 – 2017 MALIS-est.

Lisaks üleminekule uuele andmebaasile hakati alates 2010. aastast lisama õnnetuste andmetele juurde GPS koordinaate. 2006 – 2009 aastate andmetes on liiklusõnnetuste toimumiskoht

kirjeldatud aadressiga: maakond, administratiivüksus, tee nr ja km 100 m täpsusega. Aastate 2006 – 2009 ja 2010 – 2017 andmekoosseisud on toodud tabelites 4 ja 6.

Tabel 4 – 2006 – 2009 toimunud liiklusõnnetuste andmekoosseis

Tunnus	Väärtus
Õnnetuse ID	2006_ 010005
Number	010005
Kuupäev	2.01.2006
Kellaaeg	17:15
Maakond	Harju maakond
Regioon	Tallinn
Tee number	0
Tee km	0
Piirkiirus	50
Õnnetuse liik	Kokkupõrge teel oleva jalakäijaga
Asula liik	Tallinn
Tee liik	Tänav
Teekate	Märg
Tee seisund	Märg
Valgustus	Pimeda ajal valgustus põleb
Ilmastik	Pilvine (s.t. tihedad pilved)
Tee tingimus	Sõidutee on korras
Tee element	Jalakäijate reguleerimata ülekäigurada
Osapooli (juhte/jalakäijaid)	2
Hukkunuid	1
Vigastatuid	0

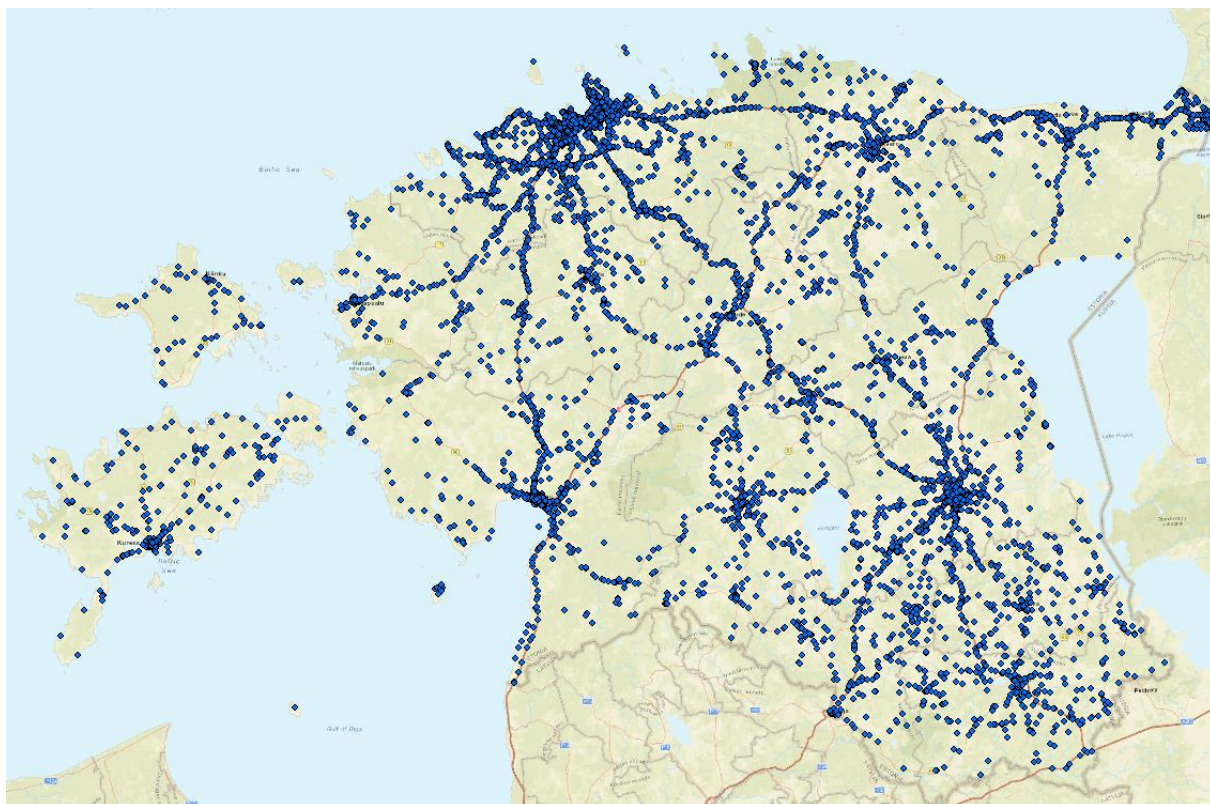
Selleks, et edaspidi oleks võimalik 2006. – 2009. aastatel toimunud liiklusõnnetuste andmeid kasutada, oli vaja õnnetusele juurde panna selle toimumiskoha ristkoordinaadid L-EST97 koordinaatsüsteemi järgi. Koordinaatide arvutamiseks on kasutatud tee numbrit ja kilomeetrit. Nendele õnnetustele, kus teenumbrit/kilomeetrit kas ei olnud või oli vigane, ei suudetud koordinaate juurde panna. Null-väärtustega „teenumber“ ja „kilomeeter“ tunnused enamikel juhtudel tähendasid, et tegemist oli asulasisese õnnetusega, mis antud töös lõpptulemust ei saanud mõjutada.

Tabel 5 – 2006 – 2017 liiklusõnnetuste asukoha andmete kasutatavus

Aasta	Liiklusõnnetuste koguarv	Teedevõrguga seostatav (GPS koordinaatidega)	Kaardile pandud LÕ osakaal	Teedevõrguga seostamata (koordinaatideta) väljaspool asulaid toimunud liiklusõnnetused
2006	2585	1185	45,84%	74
2007	2450	1128	46,04%	107
2008	1869	783	41,89%	75
2009	1505	662	43,99%	69
2010	1348	1347	99,93%	0
2011	1508	1507	99,93%	1
2012	1384	1383	99,93%	1
2013	1364	1360	99,71%	3

2014	1413	1410	99,79%	2
2015	1376	1374	99,85%	1
2016	1468	1432	97,55%	18
2017	1406	1270	90,33%	59

Antud analüüsis on liiklusõnnetuste asukoha andmetel võtmeroll. Vaatamata sellele, et alates 2010. aastast lisati GPS koordinaadid andmekoosseisu ja politsei hakkas neid igal aastal järjest rohkem ka sisestama, olid tihti X ja Y koordinaatide väärtused segamini läinud, puudulikud või sisestamata. Lihtsamat sorti vead parandati, nt vahetusse läinud koordinaadid tõsteti õigesse järjekorda. Tabelist 5 on näha, et alates 2010. aasta liiklusõnnetustest oli võimalik kaardile panna üle 90%. 2006 – 2009 on selliseid õnnetusi vähem kui pool, kuid valdav osa teedega sidumata juhtumitest toimus asulates.



Joonis 5 – 2006 – 2017 toimunud inimkannatanutega liiklusõnnetused, mida sai kaardile panna

Tabel 6 – 2010 – 2017 toimunud liiklusõnnetuste andmekoosseis

Liiklusõnnetuse id	2302100000452
Kuupäev	1.01.2010
Liiklusõnnetuse liik	Kokkupõrge vastutuleva sõidukiga
Osapoolte arv	2
Hukkunute arv	0
Vigastatute arv	1
Olud Ilmaolud	Lumesadu
Olud Valgustus	Pimeda ajal valgustus põleb
Tee Liik	KOV tänav
Tee Maantee nr	Null
kmNr	Null
X koordinaat	6594373

Y koordinaat	548784
Piirkond Asula olemasolu	TRUE
Tee Piirkiirus	40
Tee kurviliisus	Sirge tee
Tee tõus	Tasane tee
Tee kate	Püsikate

2.1.3 Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL) ja kiiruspiirangud

Andmed liiklussageduse ja kiiruspiirangute kohta on saadud Teeregistrist. Andmeid oli võimalik saada .csv-formaadis (vt Tabel 7) iga aasta kohta eraldi. Andmed on toodud 31.12 seisuga. Andmed seoti riigiteede kaardikihiga, kasutades kõikide .csv failide ühist tunnust „TEE2“.

Tabel 7 – Analüüsis kasutatud liiklussageduse andmed

Tunnus	Väärtus
TEE2	11
Tee nr	1
Tee nimetus	Tallinn – Narva
Sõidutee	1
Algus teeosa nr	2
Algus tkaugus	0
Algus mkaugus	9240
Lõpp teeosa nr	2
Lõpp tkaugus	1791
Lõpp mkaugus	11031
Pikkus	1791
Aasta keskmine ööp. liiklus	30429
Sõiduaud.ja pakiautod (%)	91
Veoaudod ja autobussid (%)	3
Autorongid (%)	6
Sõiduaud.ja pakiautod (a/ööp)	27683
Veoaudod ja autobussid (a/ööp)	922
Autorongid (a/ööp)	1824
Loenduse aasta	2017

Kiiruspiirangute andmeid kasutati vaid kontrolli eesmärgil, et välistada neid kohti, kus „enne“ ja „pärast“ perioodil kiiruskaamera tsoonis kehtinud piirkiirus oli muutunud. Kiiruspiirangute kohta saadud andmed on esitatud tabelis 8. Väljad „Algus mkaugus“ ja „Lõpp mkaugus“ on vastav kaugus tee algusest meetrites, kus kiiruspiirang teel algab ja lõpeb.

Tabel 8 – Analüüsis kasutatud kiiruspiirangute andmed

Tunnus	Väärtus
TEE2	11
Tee nr	1
Tee nimetus	TALLINN – NARVA
Sõidutee	1
Algus teeosa nr	2
Algus tkaugus	555

Algus mkaugus	10930
Lõpp teeosa nr	2
Lõpp tkaugus	855
Lõpp mkaugus	11230
Pikkus	300
Kiiruspiirangu väärtus paremal	70
Kiiruspiirangu väärtus vasakul	70
Piirangu tüüp paremal	3
TekstPAREMAL	KOHALIK KIIRUSPIIRANG
Piirangu tüüp vasakul	3
TekstVASAKUL	KOHALIK KIIRUSPIIRANG
Lisatahvel paremal suunal	8
TekstLTAHVELPAR	KIIRUSPIIRANGU MOJUPIIRKOND
Lisatahvel vasakul suunal	8
TekstLTAHVELVAS	KIIRUSPIIRANGU MOJUPIIRKOND
KPAASTA	2006

2.1.4 Teedevõrgu ruumilised andmed

Antud töös on kasutatud riigiteede ruumilisi andmeid 2018. aasta seisuga. Peab tunnistama, et kuigi riigiteede ruumilised andmed on pidevas muutumises, ei ole see muutus valimisse sattunud teelõikude osas märkimisväärne. Antud töös on tehtud selles osas lihtsustus, kasutades viimast kättesaadavat riigiteede kaardikihti (allpool joonisel).



Joonis 6 – Riigiteed seisuga 27.02.2018

2.2 Andmete ühendamine ja enne-pärast analüüsiks ettevalmistamine

Andmete statistilise analüüsi läbiviimiseks peavad RAPTOR tarkvarasse sisestatud andmed olema Tabelis 9 näidatud kujul. „Enne“ ja „pärast“ väärtused on iga parameetri kohta arvatud 3 aasta absoluutväärtused (liiklusõnnetuste arv) või keskmised väärtused (liiklussagedus) enne ja pärast kiiruskaamera paigaldamist.

Tabel 7 – Analüüsis kasutatud liiklussageduse andmed

Kaamerakoha/võrdluskoha nr	AKÖL, autot/ööpäev		Liiklusõnnetuste arv		Kiiruspiirang, km/h	
	Enne	Pärast	Enne	Pärast	Enne	Pärast
Kaamerakoht 1						
Kaamerakoht 2						
Võrdluskoha 1						
Võrdluskoha 2						

Edasine andmete ühendamine ja analüüs toimus tarkvaraga ArcGIS. Töö koosnes järgmisest etappidest:

1. Kiiruskaamerate ühendamine ja puhvertsoonide (polügoonide) moodustamine

Kui vahemaa kahe kõrvalasuva kiiruskaamera vahel jäi alla 1 km, ühendati need kiiruskaamerad ühte kaamerakohta. Kaamerakoha ümber loodi mõlemas sõidusuunas 1 km pikk kaamera *mõjutsoon*. Seega üldiselt oli kiiruskaamera mõjutsooni pikkuseks ca 2 km, kuid kahe või enama üksteise lähedal asuva kiiruskaamera puhul võis see osutuda pikemaks.



Joonis 7 – Kiiruskaamera (punane ruut), selle mõjutsoon (heleroheline ovaal) ja selles toimunud liiklusõnnetused (mustad täpid)

2. Kaameratsoonis toimunud liiklusõnnetuste väljaselgitamine ning „enne“ ja „pärast“ perioodi liiklusõnnetuste väljasõelumine

ArcGIS-i abil ühendati kiiruskaamera mõjutsoonide ja liiklusõnnetuste ruumilised andmed ja määrati, kas õnnetus toimus kiiruskaamera mõjutsoonis või mitte. Edasine analüüs toimus MS

Excelis (vt tabel 8). Võrreldes kiiruskaamera paigalduskuupäeva kaameratsoonis toimunud liiklusõnnetuse kuupäevaga, oli võimalik teada saada, kas juhtum sattus „enne“ või „pärast“ perioodi. Kui liiklusõnnetus toimus enne koostajate poolt defineeritud „enne“ perioodi algust või peale „pärast“ perioodi lõppu, siis seda ignoreeriti.

Tabel 8 – Enne ja pärast perioodil toimunud liiklusõnnetuste arvu väljaselgitamine

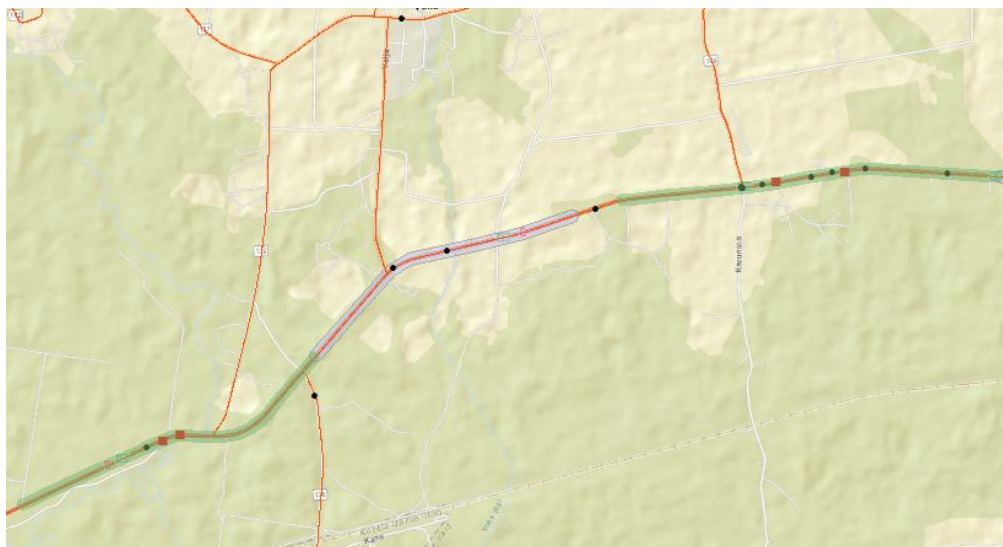
Liiklusõnnetuse ID	2302100089170	3110140131660	3110150046750	3140170011110
Toimumiskuupäev	26.04.2010	16.09.2014	17.03.2015	7.03.2017
Buffer_Sta	17787	17787	17787	17787
Buffer_End	19954	19954	19954	19954
KaameraInfo	Muraste1 and 2	Muraste1 and 2	Muraste1 and 2	Muraste1 and 2
KaameraID	CA_RD11390_3_4	CA_RD11390_3_4	CA_RD11390_3_4	CA_RD11390_3_4
Kaamera paigalduskuupäev	1.02.2016	1.02.2016	1.02.2016	1.02.2016
3 enne	1.02.2013	1.02.2013	1.02.2013	1.02.2013
3 pärast	1.02.2019	1.02.2019	1.02.2019	1.02.2019
Periood		Before	Before	After
Kaamera on välja jäetud?	Y	Y	Y	Y

3. „Enne“ ja „pärast“ AKÖL väärtuste leidmine

2006 – 2017 liiklussageduse andmete ühendamise kiiruskaamera mõjutsoonidega toimus ArcGIS-is. Kui liiklussageduse väärtus muutus puhvri sees, siis puhvri AKÖL-i arvutati proportsionaalselt iga liiklussageduse lõigu pikkusele puhvri kogupikkusest. Seega arvutati iga kiiruskaamera mõjutsoonile iga aasta kohta kaalutud keskmised AKÖL-d, millest hiljem Excelis leiti „enne“ ja „pärast“ perioodide AKÖL-i keskmised väärtused.

4. Võrdlusrühma kohtade valik ja puhvertsoonide moodustamine

Meetme lõpliku mõju korrigeerimiseks üldise trendi võrra on antud analüüsis kasutatud võrdlusrühma. Võrdlusrühma lõigud asuvad samadel riigiteedel, kuhu olid kiiruskaamerad paigaldatud, kuid kaameratest vabadel teelõikudel. Kokku oli valitud 82 võrdluskohta.



Joonis 8 – Võrdlusrühma valitud koht ja selle puhvertsoon

Igale teele eraldi on välja arvatud kiiruskaamerate keskmine paigaldusaeg (vt Tabel 9), mida hiljem kasutati „enne“ ja „pärast“ perioodide liiklusõnnetuste arvu ja AKÖL-i leidmiseks. Sisuliselt korraldati antud loetelu punkte 2 ja 3 ka võrdlusrühma puhul.

Tabel 9 – Edasiseks analüüsiks ettevalmistatud kaamerakohtade andmed

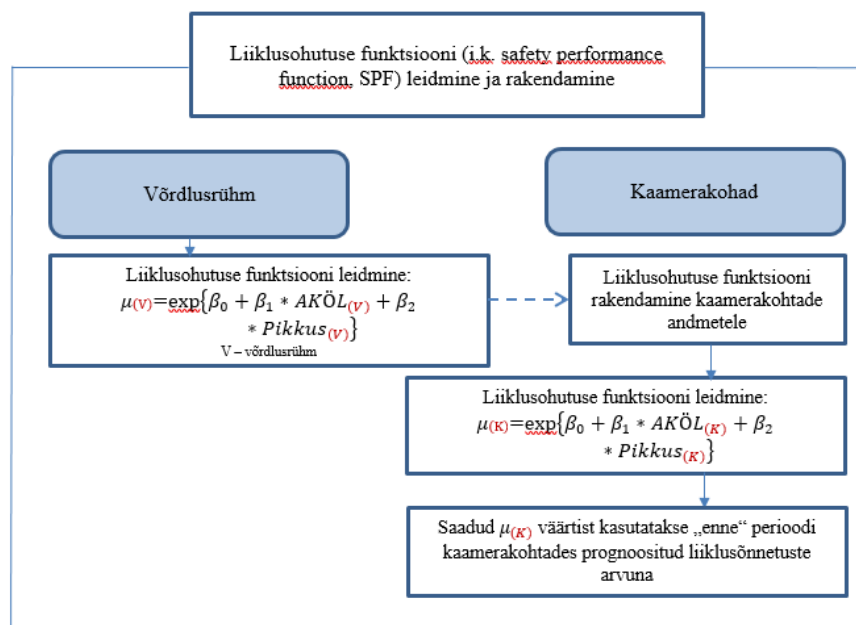
Tee nr	Keskmine paigaldusaeg	3 aastat enne	3 aastat pärast
1	31.07.2012	1.08.2009	31.07.2015
2	31.01.2010	1.02.2007	30.01.2013
4	1.12.2010	2.12.2007	30.11.2013
9	1.12.2013	2.12.2010	30.11.2016
15	1.03.2014	2.03.2011	28.02.2017
8	7.10.2016	8.10.2013	7.10.2019
11390	1.03.2014	2.03.2011	28.02.2017

5. Kaamerakohtade ja võrdlusrühma kohta saadud tulemuste koondamine

Tulemused on esitatud tabelites Lisas 1 ja 2.

2.3 Bayes analüüs RAPTOR tarkvaraga

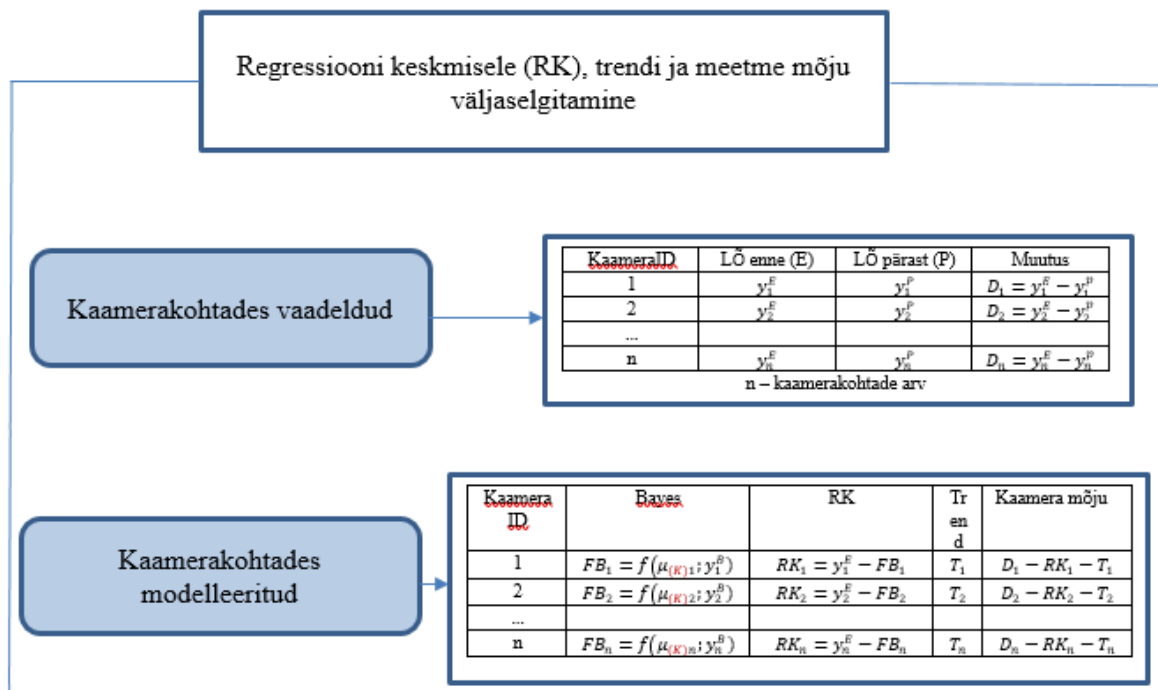
Kasutades täielikku Bayes meetodit (i.k. Full Bayes) saab arvutada, millist osa moodustavad kiiruskaamerate lõplikust mõjust liiklusõnnetuste vähenemisele regressioon keskmise suunas ja üldine trend ning mitu inimkannatanuga liiklusõnnetust sai ära hoida puhtalt tänu kiiruskaamerate rakendamisele. Teadusartiklite põhjal¹⁵ on täielik Bayes empiirilises Bayesi meetodist keerulisem, kuid annab liiklusohutusmeetmete mõju hindamisel siiski usaldusväärsema tulemuse. Antud töös tehti andmeanalüüs täieliku Bayesi meetodil Newcastle ülikooli matemaatika ja statistika koolis väljatöötatud vabavaraga RAPTOR¹⁶. Andmeanalüüs Bayes-i meetodil nõuab päris kõrget kompetentsi statistika ja mudeldamise alal. RAPTOR-is läbiviidud andmeanalüüsi etapid on skemaatiliselt esitatud allpool:



Joonis 9 – RAPTOR-is tehtud arvutuste I etapp

¹⁵ <http://www.mas.ncl.ac.uk/~nlf8/publications/ApplStats.pdf>

¹⁶ <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/jmuen.16.00057>



Joonis 10 – RAPTOR-is tehtud arvutuste II etapp

Pärast algandmete allalaadimist pakub analüüsi keskkond valida allpool toodud parameetrite väärtusi ja modelleerimise seadistusi:

1. Liiklusõnnetuste arvu maksimaalselt võimalik suurenemine ja vähenemine aastas (%), mis on eksperdi arvamusel realistlik. Seda parameetrit kasutatakse trendi mõju suuruse hindamiseks. Vaikimisi on mudelis seadistatud 50% suurenemine ja 50% vähenemine, mis teatud määramatuse tasemega tähendab, et üldine trend ei mõjuta lõpptulemust. Antud töös on hinnatud vaadeldud perioodil üldist liiklusõnnetuste arvu muutust, lisaks kontrollitud inimkannatanutega liiklusõnnetuste arvu muutust riigiteedel ja eraldi 1+1 sõidurajaga teedel. Liiklusõnnetuste arv vähenes perioodil 2006 – 2017 keskmiselt 10% aastas. Seega on mudelisse sisestatud vahemik [-25%; +5%].
2. Iteratsioonide (korduste) arv, mis mõjutab lõpptulemuse täpsust: iteratsioonide arvu suurendamisega suureneb tulemuse täpsus, kuid pikeneb modelleerimise aeg. Antud analüüsis on kasutatud maksimaalselt võimalikku iteratsioonide arvu, s.t. 50 000.
3. Iteratsioonide (korduste) arv, mis jäetakse arvestamata, enne tulemuse salvestamist analüüsis kasutamiseks. Antud töös on valitud 10 000 iteratsiooni. Seega teostati kokku 510 000 iteratsiooni.

3 UURINGU TULEMUSED

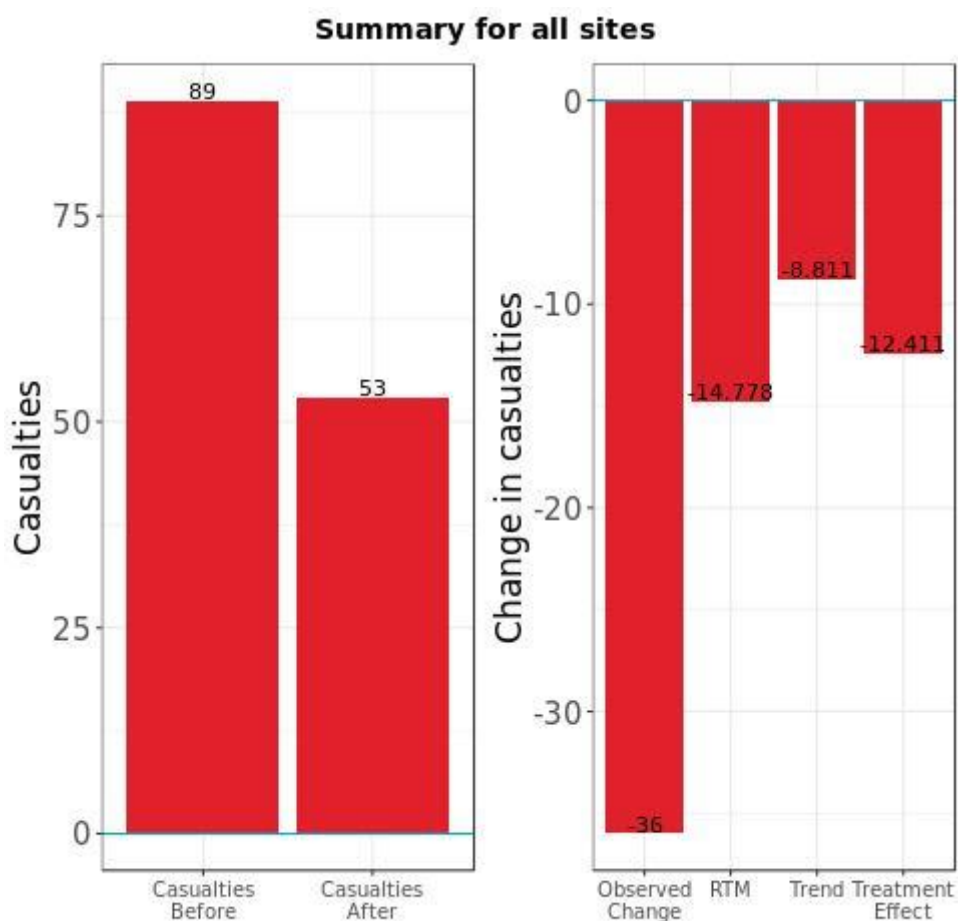
Kahes 32 valimisse sattunud kaamerakohast ei ole „enne-pärast“ perioodil inimkannatanutega liiklusõnnetusi toimunud. Seega põhinevad allpool toodud tulemused kokku 30 kaamerakohal.

Absoluutnumbreid vaadates vähenes liiklusõnnetuste arv kaamerakohtades 40% võrra, kusjuures võrdluskohades ei olnud vähenemine nii märkimisväärne. AKÖL nii kaamerakohtades kui ka võrdlusrühma kohtades muutus arvutusvea piires (vt Tabel 10).

Tabel 10 – Enne ja pärast perioodil toimunud muutused

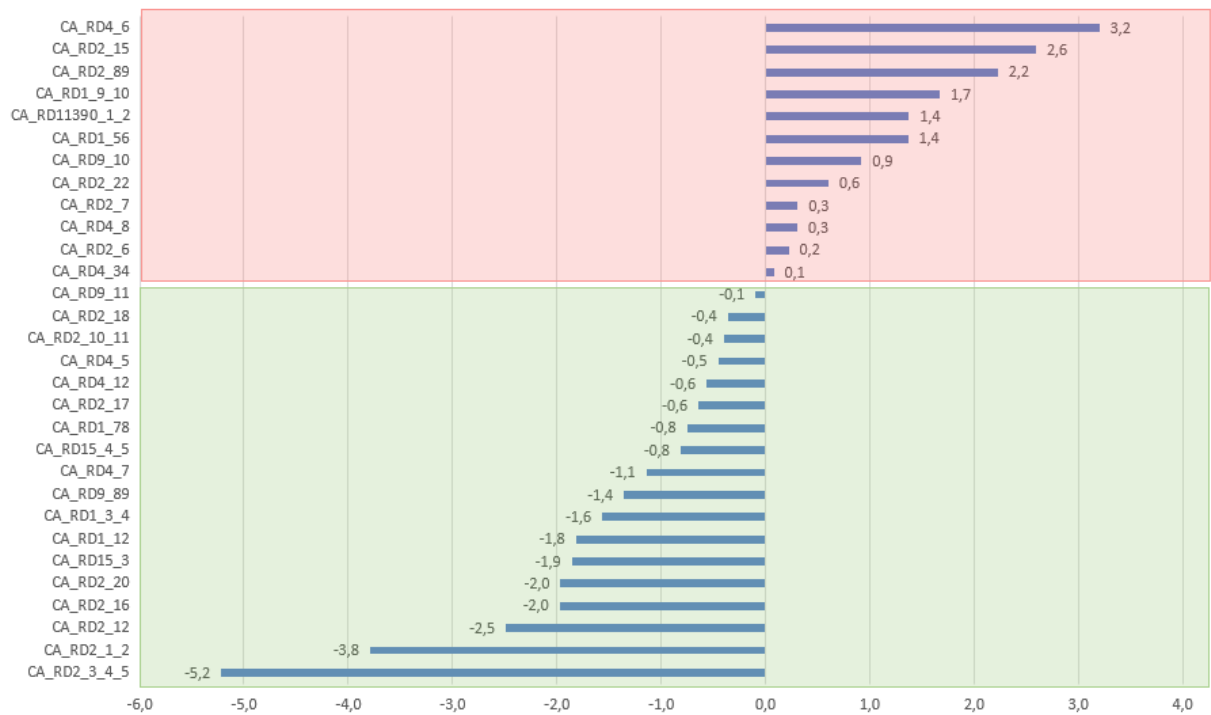
Koht	Inimkannatanuga liiklusõnnetused		Muutus	Kaalutud keskmine AKÖL, autot/ööp		Muutus
	Enne	Pärast		Enne	Pärast	
Kaamerakohad kokku	89	53	-40%	6568	6453	-2%
Võrdluskohad kokku	110	85	-23%	6375	6496	2%

Bayes analüüsi tulemustest lähtudes peab aga tunnistama, et ligikaudu 40% kõikides kaamerakohtades toimunud liiklusõnnetuste vähenemisest on leidnud aset tänu regressioonile keskmise suunas, 24% tänu üldisele trendile ning ca **34%** (absoluutarvuna 12 inimkannatanuga liiklusõnnetust) on kiiruskaamerate rakendamise nn „puhas“ efekt. Tehtud analüüsi alusel võib väita, et vaadeldud kohtades vähenes inimkannatanutega liiklusõnnetuste arv pärast kiiruskaamerate rakendamist **13% võrra**. Saadud tulemus kinnitab Høye, 2014 metaanalüüsis avastatud.



Joonis 11 – Bayes analüüsi tulemused kokku kõikide kaamerakohtade kohta

Analüüsi tulemused eraldi iga kaamerakoha kohta on toodud allpool joonisel 12 ja Lisas 3.



Joonis 12 – Bayes analüüsi tulemusel arvutatud kiiruskaamera mõju igas kaamerakohas eraldi

Joonisel 12 näidatud kiiruskaamera mõju on „pärast“ perioodi liiklusõnnetuse arvu ja Bayesi analüüsi tulemusel saadud Bayesi väärtuse vahe. Bayesi väärtus näitab prognoositud liiklusõnnetuste arvu, mis oleks võinud antud kohas toimuda, kui meetet poleks rakendatud. Kui meetme mõju on > 0 , siis on arvutatud Bayes väärtus väiksem kui tegelikult toimunud õnnetuste arv. Analüüs näitas, et CA_RD4_6 (Nurmel) „pärast“ kiiruskaamerate paigaldamist toimus 5 liiklusõnnetust, kuid Bayes väärtuseks oli 1,8. See aga ei tähenda, et kiiruskaamera paigaldamine põhjustas liiklusõnnetuste arvu suurenemist. Pigem võiksid analüüsi tulemust mõjutada väiksed absoluutarvud (enne toimus 3 õnnetust, pärast 5). Samas võib selline tulemus näidata seda, et liiklusõnnetuste vähendamiseks antud kohas ei piisa ühest abinõust (ainult kiiruskaamerast), vaid on vaja rakendada lisameetmeid muude võimalike riskifaktorite maandamiseks.

4 JÄREDUSED JA DISKUSSIOON

Vaatamata analüüsi tulemusel tõestatud kiiruskaamerate positiivsele efektile, on meetme mõju inimkannatanutega liiklusõnnetuse vähendamisel oodatust mõnevõrra väiksem. Antud peatükis on toodud kitsendused, lihtsustused ja muud kitsaskohad, mis võisid lõpptulemust mõjutada.

- 1) Kiiruskaamera mõjutsooni pikkus: antud töös on puhvriks valitud 1 km pikk lõik mõlemas sõidusuunas. Mõjutsooni pikkuse valikul oleme lähtunud eelkõige teiste riikide kogemusest ja eksperthinnangust. Inglismaal kasutatakse lühemat puhvrit (kuni 500m). Reaalseid mõõtmisi, kui pikk võib olla kiiruskaamera mõjupiirkond, ei ole tehtud. Samas tuvastati nt Maanteeameti ja Politsei- ja Piirivalveameti koostöös läbi viidud kiiruskäitumise eksperimendis¹⁷, et teeääres paikneva politseipatrulli mõju sõidukijuhtide kiiruskäitumisele võis ulatuda kuni 10 km kaugusele.
- 2) Võrdlusrühma kohtade valik: võrdlusrühmakohad asuvad kiiruskaameratega varustatud teedel. Kui kiiruskaamera mõju ulatus kiiruskaamerast kaugemale, ka võrdlusrühma valitud teelõigule, siis võis kaamerate tõttu liiklusõnnetuste arv ka võrdlusrühmas väheneda. Sellisel juhul alahinnatakse tehtud arvutustes kiiruskaamerate tegelikku mõju. Võrdlusgrupi moodustamine teistel teedel, kuid sarnaste omadustega lõikudel, võib anda teistsuguse tulemuse.
- 3) Liiklusõnnetuste asukoha andmete kvaliteet: kiiruskaamera mõjutsoonis toimunud liiklusõnnetuste arv määrab suuresti, kui efektiivne meede on. Kui mõne liiklusõnnetuse asukohta ei ole võimalik tuvastada või asukoha andmed on valed, siis selliseid õnnetusi ignoreeriti. Suhteliselt väikse liiklusõnnetuste absoluutarvu puhul mängib iga üksikjuhtum olulist rolli ning võimalikud teelõikudele sattunud, kuid andmekvaliteedi puuduste tõttu kõrvaldatud liiklusõnnetuste andmed võisid lõpptulemust mõjutada.
- 4) Keskmise paigaldusaja kasutamine: võrdlusrühma jaoks on kasutatud „enne“ ja „pärast“ perioodi määramisel keskmist paigaldusaega. Erineval ajal paigaldatud kiiruskaamerate mõju eraldi analüüsimine võib lõpptulemust mõningal määral mõjutada.

Hoolimata diskussioonikohtadest, näitab analüüsi käigus saadud tulemus kindlaid teaduslikke tõendeid kiiruskaamerate positiivse mõju kohta. Kõik ülal loetletud piirangud pigem kindlustavad seda, et saadud 13% inimkannatanutega liiklusõnnetuste vähenemine on minimaalselt võimalik asetleidnud mõju. Seega meetme mõju ei ole üle hinnatud. Tegelikult tänu kiiruskaamerate rakendamisele võib liiklusõnnetuste arv väheneda isegi rohkem.

¹⁷ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/kiiruskaitumise_eksperiment_helenaruthe.pdf

KASUTATUD ALLIKAD

1. Statsionaarse automaatse liiklusjärelvalve süsteemi andmekogu põhimäärus <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015001>
2. De Ceunynck, T. (2017), Installation of section control & speed cameras, European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Retrieved from www.roadsafety-dss.eu on 04.01.2019
3. Høye, A. (2014). Speed cameras, section control, and kangaroo jumps—a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 200–208. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.09.001>
4. Høye, A. (2015a). Safety effects of fixed speed cameras—An empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.001>
5. Hu, W., & McCartt, A. T. (2016). Effects of automated speed enforcement in Montgomery County, Maryland, on vehicle speeds, public opinion, and crashes. *Traffic Injury Prevention*, 17(sup1), 53–58. <https://doi.org/10.1080/15389588.2016.1189076>
6. Li, H., & Graham, D. J. (2016). Heterogeneous treatment effects of speed cameras on road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 97, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.09.007>
7. Inseneribüroo Stratum (2003) Automaatse kiirusjärelvalve projekti rakendamiseks eelduste loomine
8. IB STRATUM (2005) Kiiruskaamerate kohalik. Lõpparuanne
9. AS Teede Tehnokeskuse (2006) Kiiruste automaatkontrolli arendusvariandid. Lõpparuanne
10. M. Draba (2012) Kiiruskaamerate mõju liiklusõnnetustele Tallinn – Taru maanteel
11. R. Kolling (2014) Juhtide kiiruskäitumine kiiruskaameratega varustatud maanteel Tallinn-Tartu maantee näitel
12. J. Napritson (2016) Kiiruskaamerate mõju sõidukijuhtide kiiruse valikule.
13. Choi, Yoon-Young, Kho, Seung-Young, Jang, Kitae, Kim, Dong-Kyu (2018/09/28) Evaluating Time Trend Correction Approaches Associated with Empirical Bayes Before-after Study for Road Safety
14. Bhagwant Persaud, Bo Lan, Craig Lyon, Ravi Bhim (2010) Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before–after road safety evaluations. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 42, Issue 1, January 2010, Pages 38–43
15. Ellen De Pauw, Stijn Daniels, Tom Brijs, Hermans Elke, Wets Geert (2014) The Magnitude Of The Regression To The Mean Effect In Traffic Crashes
16. Elvik, R (2002). The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures. *Accident Analysis & Prevention*, 34, 631–635.
17. Journal of Applied Statistics (2013): Mobile safety cameras: estimating casualty reductions and the demand for secondary healthcare, *Journal of Applied Statistics*, DOI: 10.1080/02664763.2013.817547
18. Joe Matthews, Keith Newman, Amy Green, ee Fawcett, Neil Thorpe, Karsten Kremer (2018) A decision support toolkit to inform road safety investment decisions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer* <https://doi.org/10.1680/jmuen.16.00057>
19. Kiiruskäitumise eksperiment Tallinn – Tartu maanteel (2018)

LISAD

Lisa 1. Edasiseks analüüsiks ettevalmistatud kaamerakohtade andmed

Camera_ID	Accidents_Before	Accidents_After	Flow_Before	Flow_After	Buffer Length
CA_RD1_12	4	1	5267	5367	3662
CA_RD1_56	5	3	5446	6232	2565
CA_RD1_78	2	1	4797	5212	3092
CA_RD15_3	4	0	6377	7164	2592
CA_RD2_10_11	2	4	8148	6841	3825
CA_RD2_12	3	4	7961	6726	4632
CA_RD2_15	1	4	6719	5595	2085
CA_RD2_16	2	0	8251	7367	2212
CA_RD2_17	1	1	7485	7349	2163
CA_RD2_18	2	1	6034	6149	2179
CA_RD2_20	2	0	5690	5940	3041
CA_RD2_22	3	2	6224	6403	2086
CA_RD2_3_4_5	7	2	8100	6973	4553
CA_RD2_6	1	2	8029	6973	2138
CA_RD2_7	2	2	7476	6959	2148
CA_RD2_89	2	4	7279	6261	2329
CA_RD4_12	3	1	6128	6315	2385
CA_RD4_34	5	2	6035	5942	2702
CA_RD4_5	3	1	6292	6363	2153
CA_RD4_6	3	5	7561	8290	2179
CA_RD4_7	4	1	8679	7865	2071
CA_RD4_8	2	2	7386	6706	2188
CA_RD9_10	1	2	5057	5378	2083
CA_RD9_11	1	1	5057	5378	2110
CA_RD9_89	1	0	5797	6894	2342
CA_RD11390_1_2	8	3	2982	3398	3094
CA_RD15_4_5	3	1	7653	8336	2165
CA_RD2_1_2	3	0	8100	6973	3487
CA_RD1_3_4	3	0	6240	7075	2346
CA_RD1_9_10	6	3	4797	5180	2268
TOTAL	89	53	6568	6453	

Lisa 2. Edasiseks analüüsiks ettevalmistatud võrdlusrühma kohtade andmed

CP_ID	Accidents_Before	Accidents_After	Flow_Before	Flow_After	Buffer Length
RD1_CP1	0	0	3607	4025	2085
RD1_CP10	1	3	5267	5459	2047
RD1_CP11	1	0	5267	5564	2063
RD1_CP12	0	1	4822	5523	2063
RD1_CP13	0	3	3485	6669	2050
RD1_CP14	0	0	6219	12185	2014
RD1_CP15	0	0	7309	7656	2071
RD1_CP16	2	1	4770	6745	2128
RD1_CP17	0	0	5910	7477	2057
RD1_CP18	2	3	7758	7479	2117
RD1_CP19	4	1	7046	7314	2089
RD1_CP20	2	0	5446	6346	2042
RD1_CP21	2	2	5446	6321	2044
RD1_CP22	3	1	5778	6383	2063
RD1_CP23	1	0	6096	6331	2054
RD1_CP24	1	3	5653	6893	2051
RD1_CP25	1	1	5357	6382	2071
RD1_CP26	3	1	5357	6123	2063
RD1_CP27	1	1	5357	5563	2066
RD1_CP3	1	0	3824	4115	2095
RD1_CP30	1	1	6078	5939	2091
RD1_CP4	1	0	3824	3950	2087
RD1_CP5	0	1	3824	4115	2110
RD1_CP6	1	1	3824	3947	2063
RD1_CP7	3	1	4244	4258	2072
RD11390_CP1	0	1	7714	8710	2052
RD11390_CP2	0	1	6176	6761	2054
RD11390_CP3	0	4	1457	2285	2083
RD15_CP1	1	1	8974	10050	1242
RD15_CP2	2	1	7590	7814	1100
RD15_CP3	2	0	7523	7598	2091
RD15_CP4	1	2	5737	6341	2081
RD2_CP1	2	1	8089	7695	2064
RD2_CP10	4	1	7807	7098	1997
RD2_CP11	3	1	7807	7098	2059
RD2_CP12	1	2	6750	6931	2029
RD2_CP14	3	0	6883	4578	2069
RD2_CP15	3	0	7728	4937	2079
RD2_CP16	3	1	8181	7219	2069
RD2_CP17	1	0	7584	6933	2040
RD2_CP19	0	0	7584	6933	2079
RD2_CP2	2	1	7945	7341	1943
RD2_CP20	2	2	7584	6933	2066
RD2_CP21	2	0	6801	5855	2076
RD2_CP23	2	2	6364	5862	2079
RD2_CP25	0	1	6246	6221	2070
RD2_CP26	1	2	6547	5920	2097
RD2_CP28	2	1	5936	5864	2083
RD2_CP29	3	2	5936	5866	2047
RD2_CP3	0	2	7945	7396	1987
RD2_CP30	1	0	5936	5871	2072
RD2_CP31	2	0	5936	5907	2061
RD2_CP32	3	4	5936	5907	2063

RD2_CP33	2	0	6030	5896	2069
RD2_CP34	2	1	6537	6276	2064
RD2_CP4	1	1	7945	7396	2078
RD2_CP5	3	1	7945	7351	2059
RD2_CP6	0	1	7945	7396	2051
RD2_CP7	2	0	7807	7098	2081
RD2_CP8	1	4	7807	7098	2046
RD2_CP9	0	1	7807	7098	2086
RD4_CP1	0	0	6099	6198	2053
RD4_CP11	1	2	8181	7036	2072
RD4_CP12	1	1	8181	7028	2071
RD4_CP13	1	5	8181	7498	1030
RD4_CP15	2	2	9689	8048	1464
RD4_CP17	1	0	3585	3782	2056
RD4_CP2	1	2	6128	6315	2071
RD4_CP3	0	1	6599	6697	2061
RD4_CP4	1	1	6599	6697	2062
RD4_CP5	0	1	6599	6697	2076
RD4_CP6	1	0	7168	7557	2075
RD4_CP7	2	1	7168	7557	2074
RD4_CP8	2	0	7168	7557	2081
RD4_CP9	3	1	9112	9811	2078
RD9_CP1	1	0	5694	6738	1250
RD9_CP2	1	0	5797	6894	1973
RD9_CP3	2	0	5496	6075	2058
RD9_CP4	0	0	5057	5275	2119
RD9_CP5	1	1	5057	5378	1980
RD9_CP6	1	0	4723	5017	2045
TOTAL	110	85	6375	6496	

Lisa 3. Bayes analüüs tulemused kaamerakoha lõikes

Kaamerakoha ID	LÕ enne	LÕ pärast	Muutus	Regressioon keskmisele	Trend	Meetme mõju	Bayes väärtus ¹⁸	Liiklusõnnetuste prognoosimismudeliga ennustatud LÕ arv
CA_RD1_12	4	1	-3	-0.785	-0.396	-1.819	2.819	2.909
CA_RD1_56	5	3	-2	-2.87	-0.495	1.365	1.635	1.451
CA_RD1_78	2	1	-1	-0.048	-0.198	-0.754	1.754	1.774
CA_RD15_3	4	0	-4	-1.746	-0.396	-1.858	1.858	1.726
CA_RD2_10_11	2	4	2	2.598	-0.198	-0.4	4.4	5.732
CA_RD2_12	3	4	1	3.787	-0.297	-2.49	6.49	12.189
CA_RD2_15	1	4	3	0.507	-0.099	2.592	1.408	1.431
CA_RD2_16	2	0	-2	0.172	-0.198	-1.974	1.974	1.979
CA_RD2_17	1	1	0	0.742	-0.099	-0.643	1.643	1.689
CA_RD2_18	2	1	-1	-0.44	-0.198	-0.362	1.362	1.328
CA_RD2_20	2	0	-2	0.162	-0.198	-1.964	1.964	2.001
CA_RD2_22	3	2	-1	-1.305	-0.297	0.602	1.398	1.317
CA_RD2_3_4_5	7	2	-5	0.913	-0.693	-5.22	7.22	11.523
CA_RD2_6	1	2	1	0.878	-0.099	0.221	1.779	1.838
CA_RD2_7	2	2	0	-0.111	-0.198	0.309	1.691	1.675
CA_RD2_89	2	4	2	-0.028	-0.198	2.226	1.774	1.762
CA_RD4_12	3	1	-2	-1.138	-0.297	-0.565	1.565	1.486
CA_RD4_34	5	2	-3	-2.583	-0.495	0.078	1.922	1.729
CA_RD4_5	3	1	-2	-1.249	-0.297	-0.454	1.454	1.371
CA_RD4_6	3	5	2	-0.903	-0.297	3.2	1.8	1.724
CA_RD4_7	4	1	-3	-1.461	-0.396	-1.143	2.143	2.003
CA_RD4_8	2	2	0	-0.106	-0.198	0.304	1.696	1.679
CA_RD9_10	1	2	1	0.179	-0.099	0.92	1.08	1.086

¹⁸ Bayes väärtus näitab liiklusõnnetuste arvu, mis oleks võinud antud kohas toimuda juhul, kui meetet poleks rakendatud

CA_RD9_11	1	1	0	0.194	-0.099	-0.095	1.095	1.098	
CA_RD9_89	1	0	-1	0.455	-0.099	-1.356	1.356	1.376	
CA_RD11390_1_2	8	3	-5	-5.584	-0.792	1.376	1.624	1.316	
CA_RD15_4_5	3	1	-2	-0.887	-0.297	-0.816	1.816	1.741	
CA_RD2_1_2	3	0	-3	1.09	-0.297	-3.793	3.793	4.285	
CA_RD1_3_4	3	0	-3	-1.136	-0.297	-1.567	1.567	1.485	
CA_RD1_9_10	6	3	-3	-4.075	-0.594	1.669	1.331	1.128	
TOTALS for all sites		89	53	-36	-14,78	-8,81	-12,41	65,41	75,83

Lisa 4. Bayes analüüsi väärtused

Site.Number	Mean	Standard.Deviation	Median	Quantile..2.5.	Quantile..97.5.
CA_RD1_12	2.819	2.221	2.193	0.502	8.947
CA_RD1_56	1.635	0.543	1.55	0.828	2.941
CA_RD1_78	1.754	0.952	1.537	0.559	4.226
CA_RD15_3	1.858	0.632	1.758	0.921	3.369
CA_RD2_10_11	4.4	3.68	3.347	0.616	14.589
CA_RD2_12	6.49	6.395	4.427	0.416	24.472
CA_RD2_15	1.408	0.308	1.386	0.865	2.076
CA_RD2_16	1.974	0.522	1.919	1.117	3.165
CA_RD2_17	1.643	0.389	1.612	0.969	2.496
CA_RD2_18	1.362	0.308	1.334	0.841	2.051
CA_RD2_20	1.964	1.018	1.739	0.65	4.586
CA_RD2_22	1.398	0.303	1.368	0.896	2.079
CA_RD2_3_4_5	7.22	6.855	5.067	0.508	26.418
CA_RD2_6	1.779	0.44	1.738	1.027	2.756
CA_RD2_7	1.691	0.392	1.656	1.026	2.571
CA_RD2_89	1.774	0.473	1.721	1.008	2.867
CA_RD4_12	1.565	0.421	1.514	0.896	2.543
CA_RD4_34	1.922	0.729	1.794	0.873	3.708
CA_RD4_5	1.454	0.322	1.422	0.916	2.175
CA_RD4_6	1.8	0.431	1.753	1.093	2.775
CA_RD4_7	2.143	0.547	2.082	1.261	3.391
CA_RD4_8	1.696	0.4	1.659	1.022	2.586
CA_RD9_10	1.08	0.262	1.057	0.631	1.654
CA_RD9_11	1.095	0.265	1.071	0.644	1.682
CA_RD9_89	1.356	0.355	1.318	0.767	2.161
CA_RD11390_1_2	1.624	0.941	1.395	0.49	4.067
CA_RD15_4_5	1.816	0.433	1.771	1.105	2.797
CA_RD2_1_2	3.793	2.749	3.074	0.749	11.33
CA_RD1_3_4	1.567	0.406	1.521	0.918	2.495
CA_RD1_9_10	1.331	0.359	1.283	0.779	2.169

Lisa 5. Liiklusõnnetuste prognoosimismudeli väärtused

Site.Number	Mean	Standard.Deviation	Median	Quantile..2.5.	Quantile..97.5.
CA_RD1_12	2.909	2.788	2.08	0.465	10.56
CA_RD1_56	1.451	0.406	1.394	0.814	2.408
CA_RD1_78	1.774	0.989	1.537	0.573	4.348
CA_RD15_3	1.726	0.516	1.647	0.934	2.974
CA_RD2_10_11	5.732	6.977	3.628	0.614	25.821
CA_RD2_12	12.189	25.472	4.83	0.39	77.323
CA_RD2_15	1.431	0.149	1.425	1.154	1.739
CA_RD2_16	1.979	0.389	1.945	1.321	2.864
CA_RD2_17	1.689	0.242	1.674	1.254	2.21
CA_RD2_18	1.328	0.168	1.32	1.022	1.681
CA_RD2_20	2.001	1.071	1.75	0.678	4.806
CA_RD2_22	1.317	0.139	1.311	1.057	1.605
CA_RD2_3_4_5	11.523	23.06	4.788	0.414	71.382
CA_RD2_6	1.838	0.298	1.817	1.316	2.492
CA_RD2_7	1.675	0.232	1.662	1.256	2.173
CA_RD2_89	1.762	0.348	1.728	1.174	2.557
CA_RD4_12	1.486	0.296	1.456	0.985	2.15
CA_RD4_34	1.729	0.606	1.623	0.844	3.228
CA_RD4_5	1.371	0.161	1.364	1.074	1.707
CA_RD4_6	1.724	0.261	1.707	1.26	2.29
CA_RD4_7	2.003	0.369	1.973	1.374	2.831
CA_RD4_8	1.679	0.248	1.663	1.237	2.213
CA_RD9_10	1.086	0.161	1.078	0.792	1.42
CA_RD9_11	1.098	0.164	1.09	0.801	1.439
CA_RD9_89	1.376	0.251	1.354	0.941	1.929
CA_RD11390_1_2	1.316	0.754	1.135	0.409	3.269
CA_RD15_4_5	1.741	0.263	1.724	1.272	2.31
CA_RD2_1_2	4.285	3.969	3.149	0.726	15.806
CA_RD1_3_4	1.485	0.273	1.461	1.015	2.093
CA_RD1_9_10	1.128	0.207	1.113	0.768	1.581

Lisa 6. Bayes mudeli koefitsiendid

Coefficient	Coefficient2	Mean	Standard.Deviation	Median	Quantile..2.5.	Quantile..97.5.
b0	(Intercept)	-1.53	1.203	-1.514	-4.13	0.824
b1	Flow	0.169	0.072	0.167	0.032	0.317
b2	Length	0.411	0.48	0.396	-0.535	1.427
gamma	Gamma	31.372	11.718	32.391	8.783	49.116
ksi	KSI (Trend)	0.901	0.086	0.901	0.758	1.042