



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**RIIGITEEDE SILDADE  
SÕIDUKIPIIRDESÜSTEEMIDE MÕJU  
LIIKLUSOHUTUSELE**

**THE IMPACT OF BRIDGE VEHICLE RESTRAINT SYSTEMS  
ON ROAD SAFETY**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Erik Vahemäe

Üliõpilaskood 221465EALM

Juhendaja: Tanel Jairus,  
doktorant-nooremteadur

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Autor: Erik Vahemäe

/allkirjastatud digitaalselt/

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

Juhendaja: Tanel Jairus

/allkirjastatud digitaalselt/

Kaitsmisele lubatud

Kaitsmiskomisjoni esimees Ott Koppel

/allkirjastatud digitaalselt/

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Erik Vahemäe

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Riigiteede sildade sõidukipiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele,

mille juhendaja on Tanel Jairus

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
  2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
- 

/allkirjastatud digitaalselt/

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

# TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Erik Vahemäe, 221465 EALM  
Õppekava, peeriala: EALM02/22 – logistika, liikuvuskorraldus  
**Juhendaja:** Tanel Jairus, Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja  
tööstustehnika instituudi doktorant-nooremteadur, tanel.jairus@taltech.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Riigiteede sildade sõidukiirdeüsteemide mõju liiklusohutusele  
(inglise keeles) The Impact of Bridge Vehicle Restraint Systems on Road Safety

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Selgitada välja kehtivate sõidukiirdeüsteemide nõuete täitmise ulatus, rakendamise võimalikkus ning sotsiaalmajanduslik tasuvus
2. Töötada välja sildadele ja viaduktidele sotsiaalmajanduslikult tasuvad sõidukiirdeüsteemide pikkused, võttes arvesse liiklussagedust ja toimunud liiklusõnnetusi

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö teooria koostamine	15.02.2024
2.	Töö metoodika ja analüüsi koostamine	15.04.2024
3.	Töö deklareerimine ÕIS-is ja eelkaitsmine	06.05, 09.05.2024
4.	Töö esitamine instituuti (üleslaadimine INNOMET serverisse)	20.05.2024
5.	Lõputöö kaitsmine	28.05.2024

**Töö keel:** eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 20. mai 2024. a

**Üliõpilane:** Erik Vahemäe, /allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Tanel Jairus, /allkirjastatud digitaalselt/

**Programmijuht:** Peep Tomingas, /allkirjastatud digitaalselt/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. TEOREETILISED LÄHTEKOHAD .....	9
1.1 Liiklusohutuse lähtekohad .....	9
1.1.1 Taristu mõju liikleja ohutusele .....	12
1.1.2 Teepiirdesüsteemide mõju liikleja ohutusele .....	14
1.2 Liiklusohutus rajatistel .....	17
1.3 Passiivse turvalisuse nõuded .....	20
1.3.1 Sõidukipiirdesüsteemide nõuded Eestis .....	20
1.3.2 Teiste riikide praktikad .....	25
2. METOODIKA .....	32
2.1 Metoodika valik .....	32
2.2 Andmeallikad ja valim .....	33
2.3 Andmete analüüs .....	36
2.4 Sotsiaalmajandusliku mõju hindamine .....	38
2.4.1 Liiklusõnnetusega seotud kulud .....	39
2.4.2 Sõidukipiirdesüsteemide maksumus ja elukaarekulud .....	40
3. ANALÜÜS JA TULEMUSED .....	42
3.1 Sõidukipiirdesüsteemid .....	42
3.1.1 Sõidukipiirded üle 70 km/h piirkiirusega rajatistel .....	42
3.1.2 Sõidukipiirded 70 km/h ja väiksema piirkiirusega rajatistel .....	46
3.2 Liiklusohutus .....	48
3.2.1 Varajakahjuga liiklusõnnetused .....	48
3.2.2 Vigastatutega liiklusõnnetused .....	49
3.3 Sotsiaalmajanduslik mõju .....	53
3.4 Järeldused ja ettepanekud .....	55
3.4.1 Sõidukipiirde pikkuse nõue .....	56
3.4.2 Piirde pikkus mahasõidu korral ja muud välistused .....	56
KOKKUVÕTE .....	59
SUMMARY .....	62
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	65

## EESSÕNA

Magistritöö pealkirjaks on „Riigiteede sildade sõidukiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele“. Sõidukiirdesüsteemide pikkuste määramisel tuginetakse ekspertarvamusel, kuid puudub tõestatud seos Eestis toimunud liiklusõnnetuste ja rajatistel kasutatavate sõidukiirdesüsteemide pikkuste vahel ning teadmine, kui suurel määral avaldavad sõidukiirdesüsteemid mõju liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute vähenemisele. Töö eesmärk on kindlaks teha riigiteede rajatistel kasutatavate sõidukiirdesüsteemide pikkuste mõju liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arvule ning leida sõidukiirdesüsteemi pikkuste sotsiaalmajanduslik tasuvus. Magistritöö tulemusel on võimalik Transpordiametil täiendada taristule esitatavaid kvaliteedinõudeid, täpsustades „Teepiirdesüsteemid“ juhendis toodud nõudeid.

Töö analüüsiga seotud algandmed pärinevad Teeregistrist ning Transpordiameti liiklusõnnetuste andmekogust. Analüüsi käigus hinnati 1069 riigimaanteel paikneva silla ja viadukti sõidukiirdesüsteemi pikkuse mõju vigastatutega lõppenud liiklusõnnetustele 2011. aasta algusest kuni 2023. aasta lõpuni.

Soovin tänada juhendajat Tanel Jairust ja retsensenti Jarmo Vooglainet.

Võtmesõnad: liiklusohutus, riigimaantee, sild, liiklusõnnetus, sõidukiirdesüsteem, magistritöö

## SISSEJUHATUS

Euroopa Komisjoni eesmärk 2050. aastaks on see, et liikluses ei hukkuku ühtegi inimest [1]. Liiklust saab käsitleda kui süsteemi, mille ohutu toimimine sõltub kolmest tegurist: liikleja, sõiduk ja keskkond [2]. Kui traditsioonilises käsitluses vastutab teekasutaja ise oma tegevuse tagajärgede eest, siis nullvisiooni põhimõtte järgi jaguneb vastutus teekasutaja ning liikuvuskeskkonna loojate ja haldajate vahel. Liiklusõnnetuste toimumine ning nende tagajärjel hukkunud ja vigastatud inimesed mõjutavad ühiskonda ning toovad kaasa sotsiaalmajanduslikke kulusid. Keskkond peab olema kujundatud selliselt, et liiklejate võimalike eksimuste esinemise tõenäosus oleks madal ja nende negatiivsed tagajärjed oleksid minimaalsed. [3] Kokkupõrked ja isegi väiksemad vigastused on vältimatud, kuid sündmuste ahel, mis viib inimese kaotuseni, on katkestatav. Otsuste tegemisel tuleks lähtuda teaduslikust lähenemisest leidmaks parim võimalik meede piiratud ressursside keskkonnas. Käesolev magistr töö keskendub eelkõige ohutu liikluskeskkonna kujundamisele, mis on teomaniku ülesanne.

Riigieelarveliste vahendite eraldamise vähenemine teedeehitusele, kuid liiklusohutuse parandamise eeldus, tingib vajaduse teaduspõhiselt välja selgitada optimaalsed ja sotsiaalmajanduslikult tasuvad riigiteede rajatiste passiivse turvalisuse nõuded. Lisaks uutele ja rekonstrueeritavatele objektidele, tuleb perioodiliselt hinnata kogu teedevõrgu ohutust. Puuduvad ühtsed nõuded ja juhised passiivse turvalisuse tagamiseks riigiteede sildadel, mis võib tekitada olukorra, kus projekteerijad ja teomaniku esindajad langetavad otsuseid subjektiivsele tunnetusele tuginedes. Tulemusena võib teepiirdesüsteemide pikkus olla ohutuse tagamiseks ebapiisav või vastupidi ebamõistlikult kulukas. Arvestades asjaolu, et piirdesüsteemi pikkuse määramisest sõltub ka tee muldkeha laiuse vajadus, ei ole võimalik alati piirdesüsteemi pikkust pärast objekti valmimist muuta. Piirdesüsteemi pikkuse vajaduse määramine ei mõjuta projekti maksumuses ainult sõidukiirde kulukust, vaid mõjutab ka teekonstruktsiooni laiuse planeerimist, mis omakorda võib tähendada täiendavat maade võõrandamise vajadust. Tegemist on komplekse mõjuga aspektiga, millele võib tunnetuslik lähenemine osutada liiklusohtlikuks ehk sotsiaalmajanduslikult kulukaks või vahetu investeeringu osas majanduslikult kulukaks. Vajalik on leida teemale riske arvestav kalkuleeritud tasakaalupunkt.

Käesoleva magistr töö uurimisprobleemiks on asjaolu, et puudub tõestatud seos Eestis toimunud liiklusõnnetuste ja rajatistel kasutatavate sõidukiirdepiirdesüsteemide pikkuste vahel ning teadmine, kui suurel määral avaldavad sõidukiirdepiirdesüsteemid mõju

liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute vähenemisele. Liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arvu vähendamiseks on oluline mõista, kui palju avaldavad sõidukiirdesüsteemide pikkused mõju liiklusõnnetuste raskusastmele ning milline on sõidukiirdesüsteemide paigaldamise sotsiaalmajanduslik tasuvus sõltuvalt rajatise liiklussagedusest.

Töö eesmärk on kindlaks teha riigiteede rajatistel kasutatavate sõidukiirdesüsteemide pikkuste mõju liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arvule ning leida liiklusohutuse mõju statistiline tugevus aastatel 2011 kuni 2023 toimunud liiklusõnnetuste analüüsi tulemusena, võttes arvesse liiklussagedust ning leida sõidukiirdesüsteemi pikkuste sotsiaalmajanduslik tasuvus. Töö tulemusel on võimalik teomanikul leida optimaalseim lahendus sõidukiirdesüsteemide pikkuse valimisel, arvestades liiklejate ohutust, riskihinnangut ja vahetu investeeringu kulukust.

Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgnevad uurimisküsimused:

- Kui paljudel sildadel vastavad sõidukiirdesüsteemide pikkused kehtestatud nõuetele?
- Milline on seos rajatistel toimunud liiklusõnnetustel ja sõidukiirdesüsteemide pikkuste vahel?
- Millised nõudeid kehtestada sildadel, kus nõuded siiani puudusid?

Magistritöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis annab autor ülevaate teoreetilistele lähtekohtadele tugineva taristu ja sõidukiirdesüsteemide mõjust liikleja ohutusele, teemakohastest uurimustest ning rahvusvahelistest valdkondlikest praktikatest. Teises peatükis kirjeldatakse uuringus kasutatud meetodikat ning uuringu läbiviimise protsessi. Eelkõige on meetodika peatüki eesmärk kirjeldada meetodika valiku põhimõtteid, analüüsi aluseks olevat andmestikku, andmekorjet, andmetöötlusviise ning töö tulemuste valideerimist. Töö kolmandas peatükis esitatakse tulemused uuringu analüüsist, lisatakse autori tõlgendus töö tulemustele ning tehakse ettepanekud sõidukiirdesüsteemide käsitluse ja nõuete täiendamiseks.



# 1. TEOREETILISED LÄHTEKOHAD

Liiklust saab käsitleda kui süsteemi, mille ohutu toimimine sõltub kolmest tegurist: liikleja, sõiduk ja keskkond [2]. Käesolev magistr töö keskendub viimasele ehk ohutu liikluskeskkonna kujundamisele, mis on teomaniku ülesanne. Järgnevas peatükis antakse teoreetiline taust lõputöö metoodika ja empiirilise osa koostamiseks. Tutvustatakse asjakohaseid uurimusi ning antakse ülevaade valdkondlikest regulatsioonidest Eestis ja teistes riikides. Peatüki lõpus esitatakse töö eesmärgi saavutamiseks vajalikud uurimusküsimused.

## 1.1 Liiklusohutuse lähtekohad

Euroopa Komisjoni eesmärk on 2050. aastaks, et liikluses ei hukkuks ühtegi inimest. Regulatsioonid võivad olla kehtestatud liiduüleselt kohustuslikena Euroopa Komisjoni määrustega või direktiividena, mille täpsem sisustamine on jäetud liikmesriigi lahendada. [1] Eestis on Transpordi ja Liikuvuse arengukava 2021+ alaprogrammina koostatud riiklik liiklusohutusprogramm. Kümneaastaseks perioodiks koostatud programmis kirjeldatakse kõigi kolme liiklussüsteemi valdkonna põhimõtteid ja eesmärke, täpsemad tegevused määratletakse elluviimiskavades. Kaks esimest elluviimiskava koostati nelja aasta kestusega ning viimane kahe aasta kestusega. [4]

Lähimaks 30 aastaks seatud siht lähtub 1990. aastate lõpus Rootsis kasutusele võetud nullvisiooni (ingl *Vision Zero*) põhimõttest. Nullvisioon on liiklusohutuse lähenemisviis, mis seab peaesmärgiks inimelude ja -tervise säilitamise ning arvestab inimese loomupärase ekslikkusega. Kui traditsioonilises käsitluses vastutab teekasutaja ise oma tegevuse tagajärgede eest, siis nullvisiooni põhimõtte järgi jaguneb vastutus teekasutaja ning liikuvuskeskkonna loojate ja haldajate vahel. Keskkond peab olema kujundatud selliselt, et liiklejate võimalike eksimuste esinemise tõenäosus oleks madal ja nende negatiivsed tagajärjed oleksid minimaalsed. [3]

Nullvisiooni fookuses ei ole analüüsida õnnetuste tagajärgi ja otsida reaktiivseid lahendusi, vaid ennetada raskete vigastatutega ja hukkunutega liiklusavariisid juba teede planeerimisel ja rajamisel [5]. Seega peab süsteemi kavandamisel ja toimimisel arvestama vigade tekkimise võimalusega, kuid vältima tervisekahjustusi ning inimelu kaotamist. Kokkupõrked ja isegi väiksemad vigastused on vältimatud, kuid sündmuste ahel, mis viib inimelu kaotuseni, on katkestatav. Otsuste tegemisel tuleks lähtuda teaduslikust lähenemisest leidmaks parim võimalik meede ning lahendus piiratud ressursside keskkonnas.

Nullvisioon tugineb neljale põhimõttele [4]:

- eetika – inimese elu ja tervis on tähtsamad kui mobiilsus ja teeliiklussüsteemi toimimise eesmärgid;
- vastutusahel – traditsiooniliselt eeldatakse, et liiklusõnnetuse eest on vastutavaks liikleja. Nullvisioon näeb ette, et liiklussüsteemi ohutu toimimise eest vastutavad selle kavandajad, elluviijad ja haldajad. Liiklejad vastutavad liiklusreeglite täitmise eest;
- ohutusfilosoofia – inimesed on ekslikud ehk transpordisüsteem peab võimalikult palju vähendama eksimise võimalusi ning neist tekkivaid kahjusid;
- muutusi ajendavad mehhanismid – liiklussüsteem peab olema kavandatud nii, et ükski õnnetus ei lõppe inimelu või tervise jäädava kaotusega. Süsteemi loojad ja haldajad peavad looma eeldused liiklejate ohutuks liiklemiseks ning kõik osapooled peavad ohutuse saavutamiseks olema valmis muudatusteks.

Liiklusohutusprogrammiga on seatud eesmärk vähendada liikluses hukkunute ja raskelt vigasaanute arvu. Programmi on tegevusi lisatud ja neid on sellest ka välja jäetud ning tegevuste rahastamist on vähendatud, kuid liiklusohutusprogrammi peamist eesmärki ei ole korrigeeritud. Riigikontroll uuris programmi täitmist ning avaldas auditi, kus nende hinnangul ei ole tõenäoline, et 2025. aasta lõpuks saavutatakse kavandatud meetmetega liiklusohutusprogrammi 2016–2025 eesmärk, kus aastate 2023–2025 keskmisena ei hukkuks liikluses üle 40 inimese ja raskesti vigastatute arv ei ületaks 2023.–2025. aasta keskmise väärtusena 302 inimest aastas. Kuigi liiklusohutusprogrammi 2016–2025 dokumendis on jätkuvalt eesmärk, et raskesti vigastatute arv ei ületa 2023.–2025. aasta keskmise väärtustena 330 inimest aastas, näeb „Transpordi konkurentsivõime ja liikuvuse programm aastateks 2023–2026“ [6] ette, et aastate 2023–2025 keskmisena ei ületaks raskesti vigastatute arv 2023.–2025. aasta keskmise väärtustena 302 inimest aastas. [7]

Maanteeameti tellimisel on Teede Tehnokeskus AS 2019 aastal teostanud riigiteede teehoiu rahavajaduse strateegilise analüüsi aastateks 2019 kuni 2048. Analüüsi lõpparuande kohaselt on teedevõrgu säilituse osas teehoiu rahavajaduse mahajäämus 2019. aastal 689 miljonit eurot, arvestades eesmärgitaset „hea“. Mahajäämus teedevõrgu arenduse osas on 2,16 miljardit eurot, millest 507 miljonit eurot moodustab ootus aastaks 2030. Optimaalse eelarve programmi maksumuseks 30 aastasel analüüsi perioodil (2019-2048) on 5,78 miljardit eurot. Keskmise aastane eelarve maht on ligikaudu 193 miljonit eurot aastas, mis sisaldab teede ja sildade säilitust ning teede kandevõimepuudujäägi elimineerimist 30 aasta jooksul. Optimaalse eelarve programm tagaks kõigi suure liiklusega teede säilimise vähemalt tasemel „rahuldav“ ning

teedevõrgu üldseisund pareneb. Teedevõrgu arenduse vajadus, arvestades kattega ja katteta teede ning müratõkete ja loomaületuskohtade rajamise vajadust 30 aastasel perioodil (2019-2048), on kokku 4,29 miljardit eurot. Keskmise aastase eelarve maht on 135-159 miljonit eurot, mis sisaldab maanteed vastavusse viimist TEN-T nõuetele ja kruusateede tolmuvabaks viimist aastaks 2030 ning tee klassi vastavusse viimist liiklussageduse nõuetega ja muid investeeringuid aastaks 2048. [8]

Riigikontrolli liiklusohutustegevusi maanteedel ja raudteel kontrolliv audit näitas, et tegevusi, millel on eeldatavasti kõige suurem mõju liiklusohutuse parandamisele, viiakse ellu planeeritust väiksemas mahus või ei viida üldse ellu. Samal ajal lisatakse liiklusohutusprogrammi ka tegevusi, mille plaanitav mõju ei ole teada. See tähendab, et pärast programmi perioodi lõppu ei ole võimalik kindlaks teha, kas ja milline mõju konkreetsel tegevusel oli. Nii on risk, et programmi raames viiakse ellu tegevusi, mille mõju eesmärkide täitmisele on vähene või mõned suurema mõjuga tegevused jäävad rahastuseta. Liiklusohutustegevuse eesmärgipärane planeerimine ja tulemuslikkuse hindamine on takistatud ka seetõttu, et puudub selge määratlus, keda pidada liikluses raskesti vigasaanud isikuks. Lisaks maanteeliikluses toimunud õnnetusi ei ole alati võimalik piisava täpsusega siduda õnnetuskohaga. Kuigi liiklusohutusprogrammi eesmärk on vähendada raskesti vigasaanute arvu, ei ole selge, keda pidada liiklusõnnetuses raskesti vigasaanuks ja kuidas nende kohta jagada infot, mille alusel muu hulgas kujundada liiklusohutuspoliitikat. Liiklusõnnetuse toimumise asukoha andmete õigsuse kontroll on korraldatud nii, et neid andmeid ei saa alati usaldada. Samas on vaja teada õnnetuse täpset kohta, et tuvastada liikluskeskkonna ja -õnnetuse seoseid, mis võimaldaks liiklusohutuse kohti veelgi ohutumaks muuta. [7]

Maanteeameti tellimisel koostas Inseneribüroo Stratum 2010. aastal teedevõrgu ohutustamise meetoodika juhendi, mille kohaselt tuleks liiklusõnnetuste andmete arvestamisel teelõikude ja ristmike ohutustaseme kindlaksmääramisel jagada inimvigastustega lõppenud liiklusõnnetused raske ja kerge vigastusega lõppenud liiklusõnnetusteks [9]. Teedevõrgu liiklusohutuse hindamise nõuded on eelnimetatud töö tulemusel kehtestatud määrusega, millega seatakse liiklusohutuse hindamise eesmärk ja ulatus [10]. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivist 2019/1936 tulenevalt on pädeval asutusel kohustus arvutada oma riigi territooriumil surmaga lõppenud liiklusõnnetuse ja raske vigastusega lõppenud liiklusõnnetuse keskmine kahju ühiskonnale ehk liiklusõnnetuste kahjumäär ning neid määrasid uuendada vähemalt üks kord iga viie aasta järel [11].

Riigikontrolli audit näitas, et tegevused, millel on eeldatavasti suurim mõju liiklusohutuse parandamisele, jäävad ellu viimata või siis viiakse need ellu planeeritust väiksemas mahus. Veel kinnitamata liiklusohutusprogrammi elluviimise kavas 2024–2025 on kokku 15 tegevust kogumaksumusega ligi 26 miljoni eurot, millele pole praegu veel rahalist katet. Näiteks on teehoiukavas 2024–2027 liiklusohutlike kohtade ümberehitamiseks planeeritud aastatel 2024–2025 kulutada 1,5 miljonit eurot, kuid liiklusohutusprogramm näeb ette, et vajadus kahe aasta peale on 12,3 miljonit. [7]

Liiklusohutusprogrammi rakenduskavast perioodiks 2024–2027 leiab ka amortiseerunud teepiirdesüsteemide vahetamise tegevuse, millele on eeldatud igal aastal 300 000 eurot, kuid mida piiratud eelarveliste vahendite tõttu ei viida ellu planeeritud mahus 2024. aastal.

### **1.1.1 Taristu mõju liikleja ohutusele**

Kuigi liikleja on kohustatud oma tegevuse eest vastutama, on tee haldajal kohustus tagada ohutu infrastruktuur [12]. Liiklusohutuse suurendamiseks on andestavate teeäärte (ingl *forgiving roadsides*) mõtteviis üks peamisi prioriteete teedevõrgu ohutustamise valdkonnas. Eesmärk on leevendada ühesõidukiõnnetuste tagajärgi, mis moodustavad peaaegu poole kõigist Euroopa Liidu liiklusõnnetustes hukkunutest. [13]

Ohutut süsteemi käsitleva lähenemisviisi kohaselt on liiklussurmasid ja raskete vigastustega õnnetusi võimalik suures osas ära hoida. Kõikidel tasanditel tuleks võtta ühine kohustus tagada, et liiklusõnnetused ei põhjustaks raskeid ega surmavaid vigastusi. Eelkõige peaks hästi kavandatud, nõuetekohaselt hooldatud ning selgelt märgistatud ja liiklusmärkidega varustatud teed aitama vähendada liiklusõnnetuste toimumise tõenäosust, samal ajal kui andestavad teed peaksid vähendama õnnetuste raskusastet. Andestavad teed on taristu, mis on kavandatud arukalt, et juhtide eksimustel ei oleks raskeid või surmaga lõppevaid tagajärgi. [11]

Teelt väljasõidud ehk ühesõidukiõnnetused on liiklusavariid, mis sagedasti toovad kaasa rasked vigastused või hukkumise. Ühesõidukiõnnetuste tagajärgede leevendamiseks on oluline tagada teedevõrgu passiivne turvalisus, mis tingib teatud oludes ka teepiirdesüsteemide kasutamise. Teepiirdesüsteemide kasutamisel on oluline määrata süsteemi toimivustase ja pikkus, võttes arvesse liikluskeskkonna parameetreid. [14]

Teega külgnevate alade ohutustamisel tuleb alati kaaluda muid meetmeid enne sõidukiirdesüsteemi paigaldamise kasuks otsustamist. Eelistada tuleks takistusteta teega külgneva vaba ruumi loomist, kui see on mõistlikutel tingimustel võimalik. Ohutu teeääre tagamiseks tuleks lähtuda järgnevatest tingimustest nimetatud järjekorras [14]:

- takistuse likvideerimine - kui võimalik, tuleks tee vabas ruumis olev takistus eemaldada vähendamaks riski, et sõiduk selleni jõuab;
- muuta takistus ohutumaks – kui takistust ei ole võimalik eemaldada, muuta see elastsemaks, et see kokkupõrkel sõidukis viibijaid ei ohustaks;
- muuta takistuse asukohta – liigutada takistus teest kaugemale, nõutud vaba ruumist välja, vähendamaks otsasõidu riski teelt väljasõidul;
- muuta takistus passiivse ohutuse nõuetele vastavaks – kui takistust ei ole võimalik mujale paigutada, tuleks muuta see passiivse ohutuse standardile EVS-EN 12767 vastavaks, vähendamaks sõidukis viibijate vigastusi kokkupõrkel;
- teepiirdesüsteemi paigaldamine – teepiirdesüsteemi paigaldamist tuleks kaaluda alles siis, kui ühtegi eelnevat tingimust ei ole võimalik täita või osutub see sotsiaalmajanduslikult ebamõistlikult kulukaks;
- takistuse tähistamine – kui ühtegi eelnevat tingimust ei ole võimalik täita, tuleks takistus tähistada liiklejatele märgatavaks ning vajadusel vähendada piirkiirust.

Austrias läbi viidud teega külgneva vaba ruumi modelleerimise uuringu tulemusel leiti kõige kõrgema riskiga raskete inimvigastustega avarii tingimusteks nõlvust ja kindlustamata peenra või takistuse paiknemist väljasõidu alas. See tähendab, et väikese raadiusega plaanikõverikel tuleks tee vabas ruumis vältida eelnimetatud tingimusi. Sõidukiirde kasutamine võib tekitada sõidukis viibijatele kergemaid vigastusi, kuid võimaldab sõidukil püsida teel. Kõige sobivamateks meetmeteks on lai kindlustatud peenar ja teeäärsete alade kõrguste erinevuse puudumine, mida mõlemat rajatiste puhul tagada ei ole võimalik ning sõidukiirdesüsteemi kasutamine on sobivaim liiklusohutuse tagamise meede sildadel ja viaduktidel. [13]

Liiklusavariides vigastada saanute mudeli põhjal on suurimaks mõjutajaks seos sõidukiirdesüsteemide olemasolu, puude paiknemine teekaitsevööndis kuni 3,5 meetri kaugusel ning tee klass. Poolas läbi viidud uuringu kohaselt vigastatute arv vähenes kui sõidukiirdesüsteemide ja laiemate teepeenarde osakaal suurenes. Teele lähemal kui 3,5 meetri kaugusel paiknevad puud tõstsid vigastatutega liiklusavariide arvu 60%, kui puudus sõidukiirdesüsteem. [15]

### 1.1.2 Teepiirdesüsteemide mõju liikleja ohutusele

Teepiirdesüsteemid on projekteeritud ja katsetatud liiklusõnnetuse tagajärjel tekkivate vigastuste raskusastme vähendamiseks. On oluline meeles pidada, et ka teepiirdesüsteem on liikleja jaoks täiendav ohu allikas ning võib kaasa tuua soovimatuid tagajärgi. Eelistada tuleks muid meetmeid enne teepiirdesüsteemide paigaldamist ning teepiirdesüsteemi peaks paigaldama ainult tingimusel, et sõiduki jõudmine takistuseni tooks kaasa suurema kahju kui kokkupõrge teepiirdesüsteemiga. [14]

Sõiduki piirdesüsteeme kasutatakse vältimaks sõiduki sattumist vastassuunavööndisse, kokkupõrkeid teeäärsete jäikade objektidega või järsakutest alla kukkumist. Lisaks kasutatakse teepiirdesüsteeme jalakäijate ja jalgratturite ning liikluses mitteosalevate isikute ohutuse ning vara säilimise tagamiseks. Valdavalt on teepiirdesüsteemid väga tõhus meede vähendamaks vigastatute ja hukkunute arvu liikluses. Näiteks sõidusuundade eraldamine sõiduki piirdesüsteemiga vähendas Rootsis hukkunuga liiklusavariide arvu ligi 76% perioodil 1998 – 2009 [16]. Prantsusmaal läbi viidud uuringu kohaselt esines 50% vähem hukkunuga liiklusõnnetusi maanteedel, kus olid kasutusel tee välisäärel sõiduki piirdesüsteemid, kui nendel teedel, kus sõiduki piirdesüsteeme ei olnud [17].

Toimivustase (ingl *containment level*) iseloomustab piirdesüsteemis kasutatava toote toimivust sõltuvalt sõiduki kogumassist, kokkupõrke nurgast ja kokkupõrke kiirusest vastavalt standardi EVS-EN 1317 kohasele kokkupõrkekatsesele. Standardikohaste katsete parameetrid on toodud tabelis 1.1. Sõiduki piirdesüsteemile toimivustaseme saamise eelduseks on edukas katse läbimine. Toimivustasemed ja iga toimivustaseme saavutamiseks vajalikud katsed on toodud tabelis 1.2. Töölaius (ingl *working width*) on kaugus piirde esiserva algsest kohast punktini, kuhu piirde tagumine serv kokkupõrke korral ulatub. Sõiduki piirde töölaie sisse ei tohi planeerida teepäraldisi ja objekte, mis võivad mõjutada sõiduki piirdesüsteemi toimivust. Lisaks peab ka kaitstav objekt paiknema kaugemal kui valitud sõiduki piirdesüsteemi töölaie. Sõiduki piirde töölaie klassid on toodud tabelis 1.3. [18]

Tabel 1.1 Standardi EVS-EN 1317 kohased sõidukiirde kokkupõrke katsete parameetrid

Katse	Kokkupõrke kiirus (km/h)	Kokkupõrkenurk	Kogumass (kg)	Sõiduki tüüp
TB 11	100	20°	900	sõiduauto
TB 21	80	8°	1300	sõiduauto
TB 22	80	15°	1300	sõiduauto
TB 31	80	20°	1500	sõiduauto
TB 32	110	20°	1500	sõiduauto
TB 41	70	8°	10000	jäik raskeveok
TB 42	70	15°	10000	jäik raskeveok
TB 51	70	20°	13000	buss
TB 61	80	20°	16000	jäik raskeveok
TB 71	65	20°	30000	jäik raskeveok
TB 81	65	20°	38000	liigend raskeveok

Allikas: [18]

Tabel 1.2 Standardi EVS-EN 1317 kohased sõidukiirde toimivustasemed

Toimivustase	Läbiviidavad katsed
Keskmise toimivustase	
N1	TB 31
N2	TB 11; TB 32
Kõrge toimivustase	
H1	TB 11; TB 42
L1	TB 11; TB 32; TB 42
H2	TB 11; TB 51
L2	TB 11; TB 32; TB 51
H3	TB 11; TB 61
L3	TB 11; TB 32; TB 61
Väga kõrge toimivustase	
H4a	TB 11; TB 71
H4b	TB 11; TB 81
L4a	TB 11; TB 32; TB 71
L4b	TB 11; TB 32; TB 81

Allikas: [18]

Tabel 1.3 Standardi EVS-EN 1317 kohased sõidukipiirde normaliseeritud töölaiuste klassid ja väärtused meetrites

Normaliseeritud töölaiuse klass	Normaliseeritud töölaius meetrites
W1	$W \leq 0,6$ m
W2	$W \leq 0,8$ m
W3	$W \leq 1,0$ m
W4	$W \leq 1,3$ m
W5	$W \leq 1,7$ m
W6	$W \leq 2,1$ m
W7	$W \leq 2,5$ m
W8	$W \leq 3,5$ m

Allikas: [18]

Uuringu kohaselt on leitud tugev seos sõidukiliigi ja teepiirdesüsteemidega seotud liiklusõnnetuste raskusastme vahel. Nimelt veoautodega toimunud õnnetuste korral oli vigastatutega juhtumeid ligi 49% rohkem kui sõiduautodega toimunud õnnetustes. Veoautodega seotud liiklusõnnetusi mõjutab nende osakaal liikluskoosseisus ja tee geomeetria. Liiklusõnnetuste raskusastet veoautodega toimunud õnnetuste korral mõjutab kõige rohkem sõidukipiirdesüsteemi toimivustase ning suurema veoautode liikluskoosseisu osakaaluga teedel tuleks kasutada jäigemaid sõidukipiirdesüsteeme. Näiteks trosspiirdega teelõikudel on veoautoga toimunud raskete liiklusõnnetuste tõenäosus neli korda suurem kui teiste sõidukiliikide korral. Uuringus leiti märkimisväärne seos, et veoautode ja maasturite kokkupõrked sõidukipiirdesüsteemidega toimuvad pigem piirdesüsteemide lõpuosades kui alguses. Sõiduautodega seotud juhtumite korral piirde kokkupõrke asukoha vahel seost ei leitud. Lisaks tuvastati positiivne korrelatsioon kiiruspiirangu ja liiklusõnnetuse raskusastme vahel. Liiklusõnnetuste raskusaste kasvas 28% teedel, mille suurim lubatud piirkiirus oli 90 km/h ja enam. [19]

Sõidukipiirdesüsteeme katsetatakse kindlates tingimustes vastavalt standardile EVS-EN 1317. Katsetuste käigus viiakse läbi reaalsed kokkupõrkekatsed katsesõiduki ja katsetatava tootega, mis muudab katsetuste läbiviimise väga kulukaks. Standardis määratud metoodika seab kindlad reeglid, mis ei pruugi alati vastata liikluses esinevate olukordadega. Seda kitsaskohta on viimastel aastatel leevendanud modelleerimise ja arvutuskiiruste tõus, mis on võimaldanud matemaatiliste mudelite alusel sõidukipiirdesüsteemide toimivust erinevates olukordades analüüsida.

Teadusuuringu [20] tulemusel on välja töötatud matemaatiline mudel, mis võimaldab analüüsida sõidukipiirdesüsteemide toimivust olukordades, mida ei võimalda standardikohane metoodika. Mudel võimaldab sisendandmetena kontrollida passiivse



turvalisuse lahenduste ja toodete toimivust, sõiduki käitumist kokkupõrke järgselt ja sõidukisviibijatele mõjuvate jõudude kohta, mille alusel on võimalik hinnata sõidukisviibija vigastuste raskusastet. Olemasolevate piirdesüsteemide tootearenduses on võimalik kasutada modelleerimise lahendusi, kui lähteandmed on piisava täpsusega valideeritud. Matemaatilise mudeli ja simulatsioonide tulemusel on võimalik analüüsida erinevaid tooteid, tootelahendusi, nende paiknemist ja erinevatest teoludest tingitud muutujaid, mida standardi EVS-EN 1317 kohase katsetamise korral on väga keeruline või võimatu saavutada. [20]

Just ilmaoludest tingitud teekatte haardeteguri vähenemine on üks suurimaid sõidukipiirdesüsteemi toimivuse mõjutaja. Uuringu tulemusel on leitud, et madala haardeteguri korral muutub sõiduki trajektoor ning sõiduki tagumine osa satub libisemisse. See toob kaasa sõiduki tagumise osa kokkupõrke sõidukipiirdesüsteemiga suuremal kiirusel kui standardikohastes katsetingimustes. Tulemuseks on EVS-EN 1317 kohase TB42 katse korral olukord, kus veoautoga kokkupõrke korral ei vasta sõidukipiirdesüsteemi töölaius varasemalt määratule. Kui standardikohane toote töölaius on 0,9 meetrit, siis libedates oludes toimunud kokkupõrke tulemusel on töölaius 1,6 meetrit, mis paigutab toote W3 klassist W5 klassi. Oluline on märkida, et sõidukipiirdesüsteemi töölaiusesse ei tohi takistusi projekteerida, mis omakorda tingiks ka kogu muu teekeskonnas paiknevate seadmete, näiteks tänavavalgustite ja muude tehniliste lahenduste, ümberpaigutamise vajaduse. Uuringu tulemusel järeldati, et senine standardi EVS-EN 1317 kohane katsetamine ei pruugi anda piisavat veendumust sõidukipiirdesüsteemi ohutuse ja eeldatava toimivuse kohta tegelikes liiklusoludes. [21]

## **1.2 Liiklusohutus rajatistel**

Sillad ja viaduktid on kriitilise tähtsusega teedevõrgu elemendid transpordisüsteemi toimivuse ja efektiivsuse tagamiseks. Rajatiste geomeetrised puudujäägid ja funktsionaalne vananemine on kaks peamist tegurit, mis määravad teedevõrgu kasumlikkuse igas riigis. Sildade funktsionaalse vananemise nähtus ei ole seni saanud piisavalt tähelepanu ning parandusmeetmed rakendatakse sageli hädaolukordadele reageerides. Rajatiste, aga ka kogu teedevõrgu, investeringuvajaduste eiramine mõjutab negatiivselt liikluse toimimist ja liiklusohutust, põhjustades majanduslikke kahjusid nii liiklejatele kui ka kogu ühiskonnale. Sildade vananemise kategooriate puhul eristatakse viite peamist valdkonda: tekiplaadi geomeetria laius ja kalded, teepiirdesüsteemid sõidukitele ja jalakäijatele, vertikaalsed ja horisontaalsed gabariidid silla all, maantee paiknemine geomeetriselt ning veejuhtivus. [22]

Liiklusohutust rajatistel mõjutavad kliimaatilised tegurid nagu tugev külgtuul ning suurem libeduse tekkimise oht tulenevalt niiskest õhust ja tekiplaadi kergemast külmumisest. Veoautodele mõjuvast külgtuulest tekkivat negatiivset mõju liiklusohutusele on uuritud ning leitud seosed, et rataste haardetegur sõltub sõiduki sõidukiirusest, turbulentsest tuulekiirusest ja sõiduki paiknemisest sillal. Tõenäolisemalt paiksub sõiduk kummuli tuulepuhangu algushetkel. Enim valitseb ümberpaiskumise või libisemise sattumise oht pikemate sildade puhul. Ebatõenäoline on tugevast külgtuulest tingitud liiklusõnnetus kuivade teeolude korral, kui püsiv tuule kiirus ei ületa 20 m/s. Nimetatud tingimus kehtib nii kergemate kui ka raskemate veoautode puhul. Libedates teeoludes madalama haardeteguri korral võib külgtuulest tingitud õnnetused toimuda ka nimetatud tuulekiiruse korral. [23]

Uuritud on ka silla tekiplaadi ristlõike kuju mõju tugevate külgtuulte esinemisel reisibussile. Lisaks silla ristlõikest tulenevatele eripäradele, on võimalik täiendavalt külgtuule negatiivset mõju vähendada liigendatud tuuletõkkekraanidega, mis tagavad kirjeldatud olukordades parema tulemuse kui sõidukipiirdesüsteemid. Liigendatud tuuletõkkekraani kasutamisel on võimalik vähendada ümberpaiskumise tegurit kuni 22% võrra. [24]

Teedevõrgu ohutuse hindamiseks kasutatakse indeksit liiklusavarii toimumise ja mootorsõiduki läbitud miljoni kilomeetri suhte kaudu. Norra teedevõrgu keskmine hinnanguline ohutuse väärtus on 0,114 liiklusavariid miljoni läbitud kilomeetri kohta. Ühesõidukiõnnetused moodustavad Norras kõikidest juhtumitest kolmandiku, mis teeb riskiks 0,033 sündmust ühe miljoni läbitud kilomeetri kohta. Norra sildade ohutuse hindamise uuringust selgus, et kõikide sildade keskmine ohutushinne on 0,021, mis on oluliselt madalam kogu teedevõrgu keskmine prognoos. Uuringu läbiviijad toovad siiski välja, et sildadel 29% sõidukikilomeetreid läbitakse suurendatud piirkiirusega teedel, võrreldes ülejäänud teedevõrguga, kus suurendatud piirkiirus üle 80 km/h moodustab vaid 13% kogu läbitavatest teekilomeetritest. [25]

Väidet Norra sildehitiste heast ohutuse tasemest kinnitab ka teine uuring, milles selgus suurem õnnetuste toimumise tõenäosus madalama kiirusega rajatistel, kui suurendatud piirkiirusega rajatistel. See ei tähenda, et suurem sõidukiirus tõstaks liiklusohutust, vaid peegeldab, et kiiruspiirangud on asjakohaselt kehtestatud, võttes arvesse liikluskeskkonda ja tee parameetreid. Oluline on märkida, et Norras on suurim lubatud sõidukiirus, mis oli ka antud uuringus referentskiiruseks, 80 km/h. Suurendatud piirkiirus (90 km/h, 100 km/h ja 110 km/h) kehtestatakse Norras ainult maanteedel,

millel on sõidusuunad keskpäärdega eraldatud, vähemalt kaks samasuunalist sõidurada ning ei ole samatasandilisi ristumisi. Madalamad sõidukiirused (60 km/h ja väiksem) on kehtestatud tiheasustusaladel, linnalähialadel, kus on palju ristmikke ning suur jalakäijate ja jalgratturite liiklus. [26]

Täiendavalt on Norras põhjalikumalt uuritud avariide toimumist rajatisel ehk kas juhtumid leiavad aset pigem sillale eelneval lõigul, keskel või lõpus. Analüüsi hõlmati kõik sillad, mis olid pikemad kui kümme meetrit ning jagati kategooriatesse pikkusvahemike kaupa. Kõikidest analüüsitud 6673 sildehitisest selgus, et suurim liiklusavarii tõenäosus on sildadel, mille pikkus on 10 kuni 50 meetrit. Kõige väiksema sündmuse toimumise tõenäosusega on väga pikad ehk üle 300 meetri pikkused rajatised. Uuringus hinnati ka sildadele eelneva teelõigu liiklusavariisid 50 meetri ulatuses enne ja pärast rajatist. Tulemustena selgus üheselt, et sildadega seotud ühesõidukiõnnetuste toimumise risk on suurem rajatisele eelneval ja järgneval teelõigul kui silla peal. Täiendavalt on risk suurem lähenemissuunas silla alguses kui silla lõpus. Rajatise peal toimuvad õnnetused pigem rajatise algusosas, kui rajatise keskel või lõpuosas. [25]

Norras läbi viidud uuringus analüüsiti 31 hukkunuga liiklusõnnetust, mis toimusid sildadel. 22 juhul oli traagiliste tagajärgedega toimumisel seos sõidukiipirdesüsteemidega või selle puudumisega. Üheksal juhul oli tegemist frontaalkokkupõrgetega, milles oli riskiteguriks libedad ilmastikuolud või teegeomeetriast tulenev täiendav risk ehk silla paiknemine plaaniköverikul. [26]

Rajatistel toimuvate liiklusõnnetuste prognoosimiseks on kõige sobivamaks peetud mudelit, milles on seitse muutujat. Mudelisse kuuluvad muutujad on AKÖL (aastane keskmine ööpäevane liiklussagedus), silla pikkus, sildade vastavate ja mittevastavate komponentidega seotud kolm muutujat, teepeenra laius ja raskeliikluse osakaal. Siiski ei erine selle mudeli ennustamisvõime oluliselt mudeli ennustamisvõimest, milles on ainult kolm muutujat (AKÖL, silla pikkus ja raskeliikluse osakaal). Kui andmete kättesaadavus pole probleem, võiks kasutada rajatiste liiklusohutuse hindamisel rohkemate komponentidega mudelit. Samas tuuakse uuringus välja, et ka viiest komponendist koosnev mudel, milles on täiendavalt ka peenra laius ja üleminekuala, ei anna olulist eelist kolme komponendiga mudeli ees ning pigem võiks kasutada rajatistel liiklusõnnetuste prognoosimisel kolme komponendiga mudelit. [27]

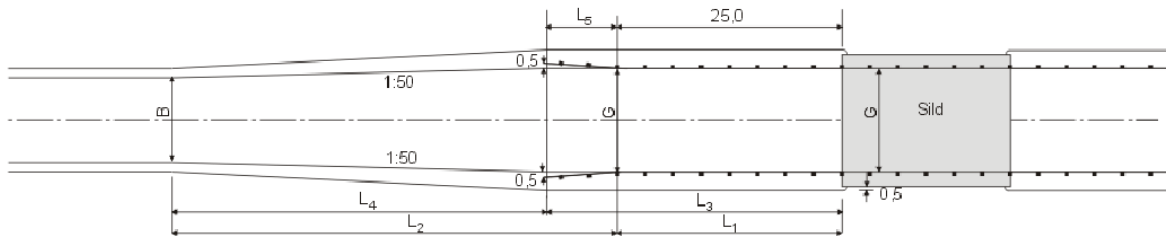
## 1.3 Passiivse turvalisuse nõuded

Sõidukiirdeüsteemi minimaalne nõutav pikkus sõltub takistuse või ohu mõõtmest ning paiknemise kaugusest sõidutee servast. Takistuse mõõtmest ei peaks sõltuma sõidukiirdeüsteemi toimivustase, kuid kindlasti mõjutab takistuse suurus piirdeüsteemi paigalduse pikkust, mis omakorda mõjutab investeeingu suurust. Enamikes riikides on nõutud, et sõidukiirdeüsteemi minimaalne paigalduse pikkus oleks mõlemas suunas pikem kui takistuse pikkus. [14]

### 1.3.1 Sõidukiirdeüsteemide nõuded Eestis

„Tee projekteerimise normid“ määrus number 106 redaktsioon 10.08.2015 kuni 02.01.2022 lisa „Maanteed projekteerimismid“ käsitles teatud määral sõidukiirdeüsteemide teematikat rajatistel, kuid normdokumendis esines mitmeid vastuolusid, mida tõlgendati autori varasemale valdkondlikule kogemusele tuginedes meelevaldselt ning mille kultuuriline pärand praktikas võib jätkuda ka pärast määruse kehtetuks tunnistamist. Näiteks punkt 6.1 *Rajatise üldnõuded* lõige 19 - Sillale ja viaduktile tuleb ette näha pörkepiire vastavalt joonistel 2.9 – 2.14 toodule. Pörkepiire tuleb kavandada kooskõlas käesoleva määruse lisa punktis 7.2 esitatud nõuetega. [28]

Sellest hoolimata on praktikas väga levinud, et sildade sõidukiirdeüsteemi pikkuse otsuseid tehti punkti 2.3 *Ristprofiilid* lõige 9 toodud joonise 2.15 järgi, mis käsitles tingimusi järgnevas sõnastuses: „Vähemalt 25 m pikkusel lõigul silla või viadukti algusest ja lõpust peab maantee muldkeha pealne laius ületama silla või viadukti käsipuude vahelise laiuse mõlemalt poolt 0,75 või 1,0 m olenevalt maantee klassist (ristprofiili tüüplahend «E»)." Sillaeelse muldkeha laiendamise näide on toodud joonisel 2.15.“ [28]



Märkus: G – silla sõidutee gabariit; B – kate laius teel;  $L_1=25,0$  m – vähim piirde horisontaalse osa pikkus silla otsas. Katte laius püsib võrdsena kate laiusega sillal;  $L_2=(G-B)/2 \times 50$  – kate laiuse üleminek laiuselt sillal laiusele teel;  $L_3=37,0$  m (32,6 m) – piirde üldpikkus koos mahaviidava osaga. Konstantse laiusega sillaeelne mulde;  $L_4=L_2-L_5$  – mulde laiuse üleminek sillaeelselt laiuselt normaal laiusele;  $L_5$  – Piirde mahaviidava osa pikkus, mis peab olema kaherealistel põhimaanteedel 12,0 m. Neljarajalistel põhimaanteedel (eraldusribaga) peab mahaviidava osa pikkus olema liiklusuunast lähtudes enne silda 12,0 m, pärast silda võib olla pikkusega 7,6 m, tugi- ja kõrvalmaanteedel kõikjal 7,6 m.

Joonis 2.15. Sillaeelse muldkeha laiendamise näide

Joonis 1.1 Määruse lisa joonis 2.15 tingimus L1 – vähim piirde horisontaalse osa pikkus silla otsas

Allikas: [28]

Käesoleva töö joonisel 1.1 on kujutatud määruse joonist 2.15, mille märkuses on toodud suuruse L1 kirjeldus, mis ei ole asjakohane koht, kus vähimat piirde horisontaalse osa pikkust silla otsas määrata. Muldkeha laiendamise vajadus on otseselt seotud sõidukiirdesüsteemi vajadusega, kuid jääb ebaselgeks, kust tulenes vähima sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue 25 meetrit. Nimetatud tõlgendust peeti korrektseks ja piisavaks sildade passiivse turvalisuse tagamiseks mitte ainult vähendatud piirkiirusega objektidel, vaid ka asulavälise tee suurima lubatud sõidukiiruse 90 km/h puhul. Vastuolu oleks saanud lahendada joonise eemaldamise või jooniselt vastavate tingimuste eemaldamisega. Olukorras, kus riigiteedele kehtis ka passiivse turvalisuse tagamise juhend „Piirded riigiteedel. Juhis passiivse ohutuse tagamiseks teedel sõidukiirdesüsteemide abil“, mis seadis minimaalseks piirde pikkuseks 80 meetrit, oleks tulnud lähtuda sellest.

„Juhis passiivse ohutuse tagamiseks teedel sõidukiirdesüsteemide abil“ oli 2014. aastal Maanteeameti peadirektori käskkirjaga kinnitatud nõuete kogumik riigiteedel kasutatavate sõidukiirdesüsteemide kohta, mille koostamise lähtekohaks olid valdavalt Saksamaal kasutusel olevad nõuded [29]. 2016. aastal juhust uuendati ning eemaldati teatud nõuded, mis osutusid ebaproportsionaalselt rangeteks, uus juhust sai täiendavalt nimetuse „Piirded riigiteedel“ [30].

Sõidukirinnatise rajatise servades käsitles juhendi punkt 3.5. Rinnatiste pikkuse nõue punktis 3.5.1.3 järgnevas sõnastuses: „Põrkepiirde pikkuse kohta kehtivad p 3.3.1.4 nõuded; eriti vajalik on tagada pikkused L2. Lisaks peab põrkepiirde täielik toimivusala

ulatuma silla või tugiseina algusest allakukkumist välistavale kaugusele (vt joonist 16, variant a). See tähendab, et sillale paigaldatud sõidukirinnatis või piirde kinnitus oma ohjeldamise tasemega peab jätkuma silla otstest kaugemale. Kui see ei ole võimalik, võib sõidukirinnatis lõppeda sillal või tugiseinal eeldusel, et sõidukirinnatis liitub sama ohjeldamise tasemega pörkepiirdega (ühenduskonstruktsioon, joonis 16, variant b). Ühenduskonstruktsioonide pikkustele kehtivad ap 3.3.1.4 nõuded. Kui üleminekud on vajalikud, kehtivad ptk 2.2 nõuded.“ [30]

Pörkepiirete pikkus määratakse järgmiselt (punkt 3.3.1.4) [30]:

- pörkepiirete pikkuseks peab olema nende toimivust tagav vähim pikkus L1. Vähim pikkus L1 on ära toodud katse aruandes vastavalt EVS-EN 1317-2;
- pörkepiirde pikkus enne ohukohta peab olema vähemalt L2, vältimaks sõiduki piirdel libisemist või piirde taha sõitmist ohukohani (vt tabel 4 ning joonis 7). Ühe sõiduteega kahe-suunalise liiklusega teedel peab pikkus L2 olema mõlemal pool ohukohta (vt joonis 7). Ohjeldamise taset võib vähendada ühe taseme võrra L2 alal peale 0,5 L2. Ohjeldamise taseme H4b korral võib poole L2 kaugusel ohjeldamise taset alandada H2 peale. Erinevate süsteemide kasutamisel järgida ptk 2.3 ja L1 nõudeid;
- kui pörkepiire algab nõlval, ei ole vaja pikkusest L2 kinni pidada. Sel juhul tuleb pörkepiire lähtejoonest väljapoole paigaldada kaldega 1:20, erandjuhtudel kuni 1:12.

Tabel 1.4 Juhise „Piirded riigiteedel“ tabel 4 „Kiirusel üle 70 km/h nõutud pikkus L2 vältimaks pörkepiirdel libisemist takistuseni ja pörkepiirde taha sõitmist“

Kriteerium	Tee liik	Pörkepiirete iseloomustus	
		Teega paralleelselt	Lähtejoonest kaldega väljapoole
Pörkepiirdel libisemine, kui ohukoht on $\leq 1,5$ m pörkepiirde esiservast tagapool	Üks sõidutee	100 m	-
	Kaks sõiduteed	140 m	-
Tahasõitmine	Üks sõidutee	80 m	60 m
	Kaks sõiduteed	100 m	60 m

Allikas: [30]

Kuigi nõuetes on välja toodud võimalus projekteerida pörkepiirde alguseid nõlvale ehk lähtejoonest kaldega väljapoole, siis praktikas seda Eestis ei kasutata, mille tõttu võib selle parameetri minimaalse piirde pikkuse arvestuse analüüsist välja jätta. Piirdel libisemise vältimiseks on võimalik kasutada piirdelõigu alguses energianeelduvusega terminali, mille majanduslik kulu on oluliselt väiksem kui täiendava mitmekümne meetri pikkuse piirde paigaldamine koos täiendava teemulde laiendamise vajadusega. Eelnevale tuginedes saab väita, et minimaalne nõutav piirdesüsteemi pikkus peab olema enne ohukohta vähemalt 80 meetrit teelõikudel, millel kehtestatud piirkiirus on üle 70 km/h. Kiiruse ja minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse tingimus toodi sisse 2016. aasta juhise uuendusega. 2014. aasta juhises kiiruse tingimust ei olnud ning selle tõttu kehtis tinglikult nõue kõikidele olukordadele, sõltumata kehtestatud piirkiirusest.

Ehitusseadustiku § 99 lõike 4 alusel kehtestatud „Tee projekteerimise normid“ määrus number 71 hakkas kehtima 25. novembril 2023. aastal [31]. Määruse nõuete väljatöötamisel võeti eeskujuna põhjamaade praktikatest. Määrus käsitleb ka teatud määral teepiirdesüsteemide nõudeid - eelkõige ristlõigete ja vaba ruumi tingimusi, kuid ei kehtesta nõudeid piirete pikkustele enne ohu kohta. Määruse koostamisel on eeldatud, et määrus kehtestab minimaalsed nõuded, millele teeomanik võib seada täiendavaid nõudeid või piiranguid tagamaks ohutu ja kvaliteetne taristu.

Transpordiameti 2023. aasta suvel kinnitatud „Teepiirdesüsteemid“ juhend on koostatud „Tee projekteerimise normid“ määruse uustöötlust arvesse võttes. Täiendati valdkondlikke mõisteid, lisati jalakäijapiirdesüsteemide nõuded ning viidi olulisemad nõuded keerulise maatrikstabeli kujult tekstilisse lausestusse, millele on korrektsem juriidilistes dokumentides viidata. [32]

Nimetatud juhendi punkt 7.3 *Sõidukiirdesüsteemi pikkus* määrab järgnevad tingimused [32]:

- pörkepiirde minimaalseks pikkuseks tohib olla toote toimivust tagav katsetatud pikkus, mis on ära toodud katse aruandes vastavalt EVS-EN 1317-2;
- pörkepiirde pikkus enne ohukohta peab olema vähemalt 80 meetrit teedel, millel kiirus on üle 70 km/h, vältimaks piirde taha sõitmist ja sõiduki sattumist ohukohani. Ühe sõiduteega kahe-suunalise liiklusega teedel peab vastav pikkus olema mõlemal pool ohukohta;
- pörkepiirde pikkust on võimalik vähendada sõltuvalt ohu paiknemisest, kui projekteerimisel on modelleeritud, et sõidurajalt 15° nurga all teelt välja sõitev sõiduk ei satu ohukohta.

Eeltoodust nähtub, et piirdesüsteemide minimaalne pikkus enne ohukohta on minimaalse väärtusena määratud kohtades, kus sõidukiirus on üle 70 km/h. Sinna hulka ei kuulu teelõigud või objektid, kus on kehtestatud suurimaks lubatud sõidukiiruseks 70 km/h. Lisatingimusena on toodud nimetatud kohtade piirdesüsteemi pikkuse vähendamise võimalus, mis on suuniseks ka muudel tingimustel vajaliku piirdesüsteemi pikkuse väljaselgitamiseks, kuid intuitiivselt ei pruugi see olla nii lihtsalt mõistetav. Lisaks on piirde pikkuse modelleerimise võimalus uus tingimus, mida enne 2023. aasta suvel kehtima hakanud juhendit ei olnud. Projekteerijad ei ole varasemalt kokku puutunud nimetatud võimalusega ning puudub teadlikkus, kuidas seda täpselt rakendada. Tee omanike esindajate, projekteerijate ja ehituse järelevalve jaoks oleks kõige selgem, kui oleksid välja töötatud tüüpsed lahendused sõidukipiirdesüsteemide pikkustele kui ka sildehitistele paigaldatavate teepiirdesüsteemidele.

Teepiirdesüsteemi, mis paikneb rajatisel ehk sillal, nimetatakse rinnatiseks. Sõltuvalt eesmärgist on tegemist sõidukirinnatisega, jalakäijarinnatisega või ühendatud sõiduki ja jalakäijarinnatisega. Kuivõrd käesolev magistritöö keskendub eelkõige sõidukipiirdesüsteemidele ning nende pikkuste määramisele, siis jalakäijapiirdesüsteemide spetsiifikat töös täpsemalt ei käsitleta.

Sõidukirinnatise nõuded on toodud juhendi punktis 7.6 *Sõidukirinnatised* järgnevalt [32]:

- asulasisesel ja asulavälisel teel tuleb silla, viadukti ja estakaadi välisservale alati ette näha mõlemale poole sõidukirinnatis, mis peab olema vähemalt 1,10 meetri kõrgune mõõdetuna teepinnast;
- sillal, viaduktil või estakaadil kasutatakse valdavalt H2 toimivustasemega sõidukirinnatist, mille töölaius on W3;
- H4b piiret kasutatakse rajatistel, millel suurim lubatud sõidukiirus on üle 100 km/h ning mille vahetusläheduses on kolmandate osapoolte eriliselt kaitset vajavad alad, näiteks intensiivselt kasutatavad peatumisalad, raudteelõigud kiirusega üle 160 km/h, kokkupõrkejärgselt varisemisohtlikud ehitised;
- H1 sõidukirinnatist kasutatakse sillal, viaduktil või estakaadil kui lubatud sõidukiirus on kuni 50 km/h. Dünaamiline läbipaine võib olla kuni silla välisservani;
- kui rajatis on lühem kui sõidukirinnatisena kasutatava toote minimaalne katsetatud pikkus, siis tuleb sama toimivustasemega sõidukipiiret kasutada ka enne ja pärast rajatist, et ettenähtud suurima toimivustasemega piirdesüsteem oleks tervikuna vähemalt minimaalselt katsetatud pikkusega;



- rajatise pealesõitudel, millel on äärekiviga eraldatud kergliiklejate jaoks eraldatud teeosa, kasutatakse välisäärel ühendatud sõiduki- ja jalakäijapiirdesüsteemi, mis vastaks asukoha riske arvestades sõidukipiirdele ja jalakäijapiirdele esitatavatele nõuetele.

Teepiirdesüsteemide vastavuse tõendamise kord on kehtestatud toote nõuetele vastavuse seaduse alusel määruses number 74 „Tee-ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord“ [33]. Tõendamissüsteemi selgituseks on Transpordiamet koostanud meelespea „Piirdesüsteemide dokumentide kooskõlastamine (2022)“, mis on leitav ameti koduleheküljel [32].

Teepiirdesüsteemide valdkonda käsitlevad standardid ja tehnilised aruanded on järgnevad:

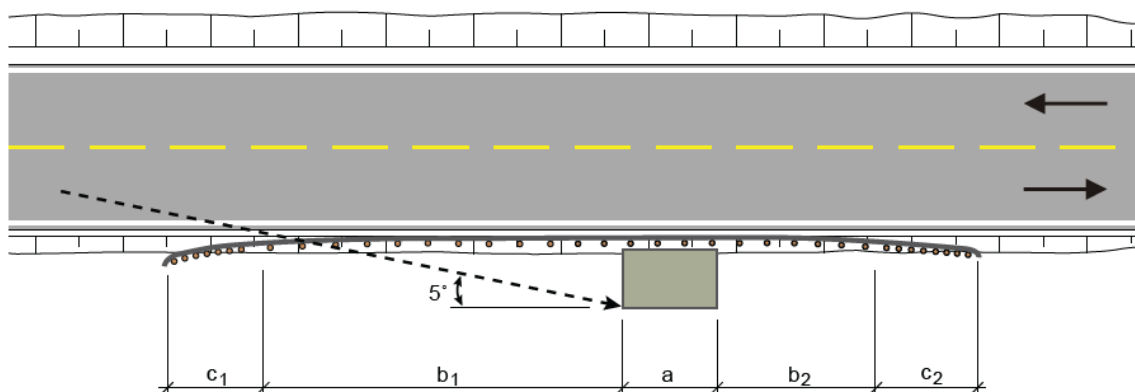
- EVS-EN 1317 „Teepiirdesüsteemid“ ning selle osad [18];
- CEN/TS 1317 „Teepiirdesüsteemid“ ning selle osad [34];
- CEN/TR 16949 „Jalakäijarinnatiseid“ [35];
- EVS-EN 16303 „Teepiirdesüsteemide virtuaalne katsetamine“ [36];
- EVS-EN 12767 „Teepäraldiste passiivne ohutus“ [37].

### **1.3.2 Teiste riikide praktikad**

Saksamaa sõidukipiirete juhend „Richtlinien für passiven Schutz an Strassen durch FahrzeugRückhaltesysteme“ (RPS), 2009 on varasemalt olnud Eestis kehtestatud Maanteeameti juhendi nõuete aluseks ning selle tõttu käesolevas punktis uuesti kordavat ülevaadet anda ei ole mõistlik [38]. Lisaks on sobilikum teepiirdesüsteemide nõuete käsitlemisel pigem vaadata Skandinaavia riikide poole, kus on väga hea liiklusohutuse tase, kuid kus ei ole nõuded kehtestatud kohaliku turu kaitsmise suunitlusega. Nõuete kehtestamisel tuleb arvesse võtta Eesti geograafilist paiknemist, sõidukipiirdesüsteemide tootmistehaste asukohti ja turustamise eripärasid. Tulenevalt Eesti väga väikestest tarbimismahtudest, ei pruugi teatud tooted ja lahendused olla kättesaadavad või osutuksid need ebamõistlikult kalliks.

Norras on väga heal tasemel liiklusohutusalane teadustöö ning juhendite kirjutamise praktika väga paljudes valdkondades. Erandiks ei ole ka teepiirdesüsteemide temaatika, mille juhendmaterjale ja nõudeid on täiendatud ülevaatlike joonistega. Sõidukipiirdesüsteeme käsitleb 2014. aasta juhend „Rekkverk og vegens sideområder. Håndbok N101“, mida on hiljem lisadega täiendatud ja täpsustatud. [39]

Sõidukiirdeüsteem peab olema piisava pikkusega, et vältida sõidukil piirdesüsteemi taha sõitmist ja ohu kohta sattumist. Sõidukiirdeüsteem peab terves pikkuses olema ühendatud ka juhul, kui see koosneb erineva toimivustasemega ja ristlõikega toodetest. Sõidukiirdeüsteem koosneb valdavalt viiest lõigust - a, b1 ja b2, c1 ja c2, mis on kujutatud joonisel 1.2. [39]



Joonis 1.2 Sõidukiirdeüsteemi pikkuse määramise joonis Norra juhendis.

Allikas: [39]

Joonisel 1.2 toodud lõikude kirjeldused on järgnevad:

Lõik a on sama pikk kui ohukoht.

Lõigud b1 ja b2 on piirde pikkus enne ja pärast ohukohta, mis takistavad teelt väljasõidu nurgaga liikuvat sõidukit sattumast ohukohta.

Lõik c1 ja c2 on piirde eritötlusega lõpuosad - mahaviigud, mille eesmärk on ankurdada piirdelatt ettenähtud toimivuse saavutamiseks või terminalid, et vältida sõiduki piirdel libisemist ohukohta.

Valdavalt kasutatakse Norras sõiduki teelt väljasõidu nurga suurusena viie kraadist nurka, mis on oluliselt laugem ja tingib suurema piirde pikkuse, kui Eesti juhendis toodud viieteist kraadine väljasõidu nurk sõidukiirde pikkuse vähendamise modelleerimiseks.

Norra juhendis toodud sõidukiirete pikkused enne ohu kohta ja pikkuste sõltuvus kehtestatud kiirusest on toodud tabelis 1.5.

Tabel 1.5 Sõidukiirdesüsteemide pikkus enne ohu kohta sõltuvalt kiirusest Norra juhendis

Kiirus (km/h)	Piirde pikkus b1 teeäärsete takistuste ja nõlvade korral (m)	Piirde pikkus b1 teiste liiklejate ja kõrgema ohuga rajatistel (m)
≤30	8	25
50	30	40
60	40	55
70	50	70
80	60	85
90	75	100
100	90	120
≤110	110	150

Allikas: [40]

Norras sõltub sõidukiirdesüsteemi pikkus enne ohukohta kiirusest kui ka ohu tüübist. Eripärana on võimalik välja tuua, et kiiruste vahemik on välja toodud kümme kilomeetrit tunnis sammuga ning igale kiirusele on antud ka vastav piirde pikkus. Norras toodud käsitluse järgi liigituvad sillad kõrgema ohuga piirde pikkuste hulka ning kiirustel üle 70 km/h peab piirde pikkus olema vähemalt 85 meetrit. Eestis laialt levinud asulavälisel teel kehtestatud suurima kiiruspiirangu 90 km/h korral peab minimaalne piirde pikkus olema 100 meetrit enne ohu kohta.

Soomes käsitletakse teepiirdesüsteemide nõudeid 2023. aasta märtsis riikliku transpordiameti Väylävirasto Trafikledsverket välja antud dokumendis „Tiekaiteiden suunnittelu“ [41]. Sõidukiirdesüsteemide pikkuseid käsitletakse juhendi peatükis 6.2 tabelis 9, mis on toodud käesolevast töös tabelis 1.6. Tabelist nähtub, et sildehitistele eelnev sõidukiirdesüsteemi pikkus sõltub kehtestatud kiirusest ja täiendavast teega külgneva ala ohust. Kiirusel üle 70 km/h on minimaalseks pikkuseks enne ohukohta vähemalt 80 meetrit. Kehtestatud kiirusel 70 km/h ja väiksem, peab piirde pikkus olema vähemalt 50 meetrit.

Tabel 1.6 Soome juhendi Tabel 1 – sõidukipiirdesüsteemi pikkus enne ohu kohta

Tähis	Ohukoht	Ristlõige piirdelõigu alguses	Kiirus (km/h)		
			50... 70	80...110	>110
O	Takistuse esiserva kaugus piirdest <1.2 m		50	70	
P	Takistuse tagumise serva kaugus piirdest ≤4m	Nõlvus 1:3...4	30	40	40
		Järsak 1:4/1:2	40	50	60
		Eraldusriba 1:5... 10	50	60	80
Q	Takistuse tagumise serva kaugus piirdest on rohkem kui 4m	Nõlvus 1:3...4	7 x E	10 x E	10 x E
		Järsak 1:4/1:2	10 x E	12 x E	12 x E
R	Enne silda	Nõlvus1:3...4	50	80	90
		Järsak 1:4/1:2	70	90	120
		Eraldusriba 1:5...10	90	120	160
S	Nõlvus	1:3... 4 nõlvus	30	50	60

Allikas: [41]

AASHTO (American Association of Highway Transportation Officials) käsiraamat „Roadside Design Guide“ annab sõidukipiirdesüsteemi pikkused enne ohu kohta sõltuvusena liiklussagedusest ja projekteeritud kiirusest. Sõidukipiirde pikkused on toodud tabelis 1.7. Projekteeritud kiirusel 100 km/h ehk kehtestatud kiirusel 90 km/h on sõidukipiirdesüsteemi pikkus enne ohu kohta sõltuvalt liiklussagedusest 61 kuni 91 meetrit. [42]

Tabel 1.7 AASHTO käsiraamatus toodud sõidukipiirde pikkused enne ohu kohta.

Projekteeritud kiirus (km/h)	Sõidukipiirdesüsteemi pikkus enne ohu kohta (m) sõltuvalt liiklussagedusest (AKÖL)			
	Üle 10 000	5000-10 000	1000-5000	Kuni 1000
130	143	131	116	101
110	110	101	88	76
100	91	76	64	61
80	70	58	49	46
60	49	40	34	30
50	34	27	24	21

Allikas: [42]

Varasemalt nimetatud AASHTO käsiraamatus toodud nõuetele oponeerimiseks on 2017. aastal läbi viidud uuring, kus on leitud sõidukiirdeüsteemide sotsiaalmajanduslik mõju kiirteedel. Uuringus analüüsiti sõidukiirdeüsteemidega kokkupõrgetest tulenevate hukkunute ja vigastatute arvu ning leiti, et tee ääres paiknevate takistustega kokku põrkamise korral oleks liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arv väiksem. Selle tulemusel tuleks sõidukiirdeüsteemide pikkuseid optimeerida ehk antud juhul vähendada, langetamaks liiklusõnnetustest vigastatute ja hukkunute arvu. Uuringu tulemusel leiti 97 km/h kiirusel ja liiklussagedusel 2000 kuni 6000 autot ööpäevas parema poole teeääre sõidukiirde süsteemi pikkuseks madalaima liiklusõnnetuse maksumusena 62 meetrit ning suurima sotsiaalmajandusliku mõjuna 54 meetrit. Kui võrrelda neid käsiraamatus nõutuga, mis 2006. aastal oli 120 meetrit ja 2011. aastal 76 meetrit, siis on tegemist olulisel määral kiirdeüsteemi pikkuse vähendamise ettepanekuga. Liiklussagedusel üle 6000 auto ööpäevas olid vastavad numbrid madalaima liiklusõnnetuse maksumusena 60 meetrit ja suurima sotsiaalmajandusliku mõjuna 58 meetrit, varasema vanema käsiraamatu 130 meetri ja uuema käsiraamatu 91 meetri nõude asemel. [43]

Euroopa Komisjoni direktoraadi rahastatud projekti RISER (*Roadside Infrastructure for Safer European Roads*) tulemusel valmis 2006. aastal käsiraamat teega külgnevate alade ohutustamiseks, mis muuhulgas käsitleb ka sõidukiirdeüsteemi pikkuseid. Projekti käigus analüüsitud ühesõidukiõnnetused näitasid, et kiirdeüsteemide pikkus enne ohukohta on ebapiisav. Teepiirdeüsteemide pikkuste ebapiisavust kinnitasid ka ZEDATU (*Zentrale Datenbank Tödlicher Unfälle*) andmed. Kõikidest sõiduauto teelt väljasõidu liiklusõnnetustest oli ligi kaheksal protsendil juhtudest sõidukiirdeüsteemi pikkus liiga lühike. [44]

CEDR (*Conference of European Directors of Roads*) viis 2013. kuni 2014. aastal läbi projekti SAVeRS, mille eesmärk oli defineerida erinevad parameetrid, mis mõjutavad sõidukiirdeüsteemide vajaduse ja valiku määramist. Projekti tulemusel valmis mahukas dokument ja sõidukiirdeüsteemide valiku tööriist. Projekti aruandes on põhjalikult analüüsitud erinevate Euroopa riikide sõidukiirdeüsteemide nõudeid, mille põhjal on koostatud ka arvutustabel sobivate sõidukiirdeüsteemi pikkuste ja toimivustasemetega valikuks arvestades sisestatavaid liikluskeskkonna parameetreid. [45]

Lisaks nõuete kehtestamisele on oluline ka olemasoleva taristu nõuetele vastavuse auditeerimine ning vastavusse viimise rahastuse planeerimine. Olemasoleva teedevõrgu inventeerimine ja olemasoleva paigaldatud sõidukiirdeüsteemi

tuvastamine võib olla ajamahukas töö. Viimaste aastate kiire tehnoloogiline areng on loonud võimaluse tuvastada paigaldatud sõidukiirdeüsteeme masinloetaval viisil. Austria maanteedel on masinloetaval viisil tuvastatud üle 110 kilomeetri ulatuses sõidukiirdeüsteeme, kasutades selleks väljatöötatud algoritmi. Tehniline lahendus võimaldab tuvastada paigaldatud sõidukiirdeüsteemi tüübi ja toimivustaseme ning paigaldatud pikkuse ulatust ning kontrollida selle kehtestatud nõuetele vastavust. Monitooringu tulemusel selgus, et kontrollitud maanteedel 67% sõidukiirdeüsteeme ei vastanud nõuetele ja olid ebapiisava pikkusega vältimaks sõidukite sattumist ohukohta. [46]

Riigieelarveliste vahendite eraldamise vähenemine teedehitusele, kuid liiklusohutuse parandamise eeldus, tingib vajaduse teaduspõhiselt välja selgitada optimaalsed ja sotsiaalmajanduslikult tasuvad riigiteede rajatiste passiivse turvalisuse nõuded. Lisaks uutele ja rekonstrueeritavatele objektidele, tuleb perioodiliselt hinnata kogu teedevõrgu ohutust. Praegusel hetkel puuduvad ühtsed nõuded ja juhised passiivse turvalisuse tagamiseks riigiteede sildadel, mis võib tekitada olukorra, kus projekterijad ja teeomaniku esindajad langetavad otsuseid subjektiivsele tunnetusele tuginedes. Tulemusena võib teepiirdeüsteemide pikkus olla ohutuse tagamiseks ebapiisav või vastupidi ebamõistlikult kulukas.

Käesoleva magistr töö uurimisprobleemiks on asjaolu, et puudub tõestatud seos Eestis toimunud liiklusõnnetuste ja rajatistel kasutatavate sõidukiirdeüsteemide pikkuste vahel ning teadmine, kui suurel määral avaldavad sõidukiirdeüsteemid mõju liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute vähenemisele. Liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arvu vähendamiseks on oluline mõista, kui palju avaldavad sõidukiirdeüsteemide pikkused mõju liiklusõnnetuste raskusastmele ning milline on sõidukiirdeüsteemide paigaldamise sotsiaalmajanduslik tasuvus sõltuvalt rajatise liiklussagedusest.

Töö eesmärk on kindlaks teha riigiteede rajatistel kasutatavate sõidukiirdeüsteemide pikkuste mõju liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute arvule ning leida liiklusohutuse mõju statistiline tugevus aastatel 2011 kuni 2023 toimunud liiklusõnnetuste analüüsi tulemusena, võttes arvesse liiklussagedust ning leida sõidukiirdeüsteemi pikkuste sotsiaalmajanduslik tasuvus. Töö tulemusel on võimalik teeomanikul leida optimaalseim lahendus sõidukiirdeüsteemide pikkuse valimisel, arvestades liiklejate ohutust, riskihinnangut ja vahetu investeeringu kulukust.

Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgnevad uurimisküsimused:

- Kui paljudel sildadel vastavad sõidukiirdesüsteemide pikkused kehtestatud nõuetele?
- Milline on seos rajatistel toimunud liiklusõnnetustel ja sõidukiirdesüsteemide pikkuste vahel?
- Millised nõudeid kehtestada sildadel, kus nõuded siiani puudusid?

## 2. METOODIKA

### 2.1 Metoodika valik

Uurimismeetodiks on statistiline andmeanalüüs sotsiaalmajandusliku tasuvuse leidmiseks riskide avaldumissageduse ja kahjude vahelise seose kaudu. Kvantitatiivuuringu käigus kasutati induktiivset ehk üksikult üldisele uurimisstrateegiat. Induktiivse strateegia puhul lähtutakse andmetest või üksikjuhtumitest, millest otsitakse seaduspärasusi ja mustreid [47].

Magistritöö koostamisel kasutatakse teiseste andmete analüüsimist. Teiseste andmete kasutamist võib nimetada andmete taaskasutamise erijuhuks, milles kasutatakse teadusliku uurimise läbiviimiseks teise osapoole kogutud andmeid, mis võivad olla algselt kogutud mitteteaduslikul eesmärgil. Teisesed andmed võivad pärineda erinevatest riiklikest andmekogudest ning ka avalikest või eraõiguslikest andmebaasidest. Teiseste andmete kasutamise puhul on tähtis arvestada andmete kogumise detaile ja andmete kogumise metoodikat, et hinnata teiseste andmete usaldusväärsust ja nende andmete sobivust ning kasutatavust teaduslikel eesmärkidel. [48]

Kvantitatiivse uuringu läbiviimisel peab arvestama järgmiste asjaoludega [49]:

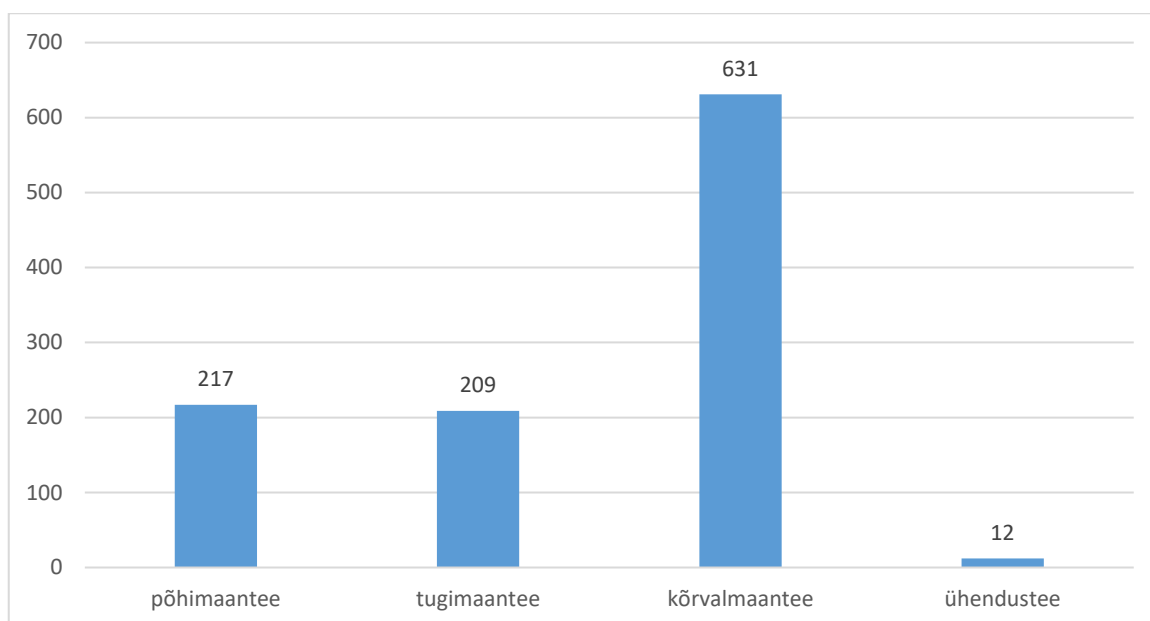
- teha järeldused varasematest uurimustest;
- toetuda varasematele teooriatele;
- esitada omapoolsed hüpoteesid;
- määratleda mõisted;
- kavandada andmete kogumine, mis sobiks kvantitatiivseks ehk arvudes mõõtmiseks;
- tabeli kujul muutujate moodustamine ning andmete korrastamine nii, et need oleksid statistiliselt analüüsitavad;
- teha järeldused statistilisele analüüsile tuginedes, esitada tulemused protsendiliselt ning testida tulemuste olulisust statistiliselt.



## 2.2 Andmeallikad ja valim

**Rajatiste andmed** on päritud Teeregistri andmekogust [50]. Teeregister hõlmab avalikult kasutatavate teede andmeid, mis on eelkõige mõeldud kasutamiseks Kliimaministeeriumi ja Transpordiameti töötajatele ning kohalike omavalitsuste spetsialistidele, et lahendada küsimusi ja teha otsuseid seoses riigi teedevõrguga. Teeregistrit saavad tealase teabe saamiseks kasutada kõik isikud. Näiteks on võimalik leida teavet teekatetest, liiklussagedusest teedel, bussipeatustest ja teede korrashoiust. [51]

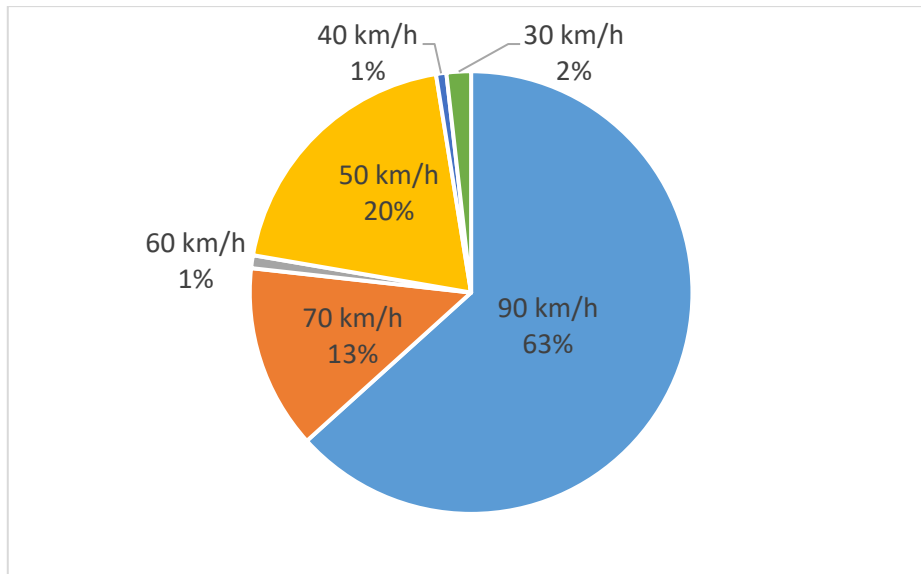
Magistritöö valim koosneb riigiteedel asuvast 930 sillast ja 139 viaduktist, mis teeb koguvalimiks 1069 rajatist. Rajatiste paiknemine tee liigi kaupa on toodud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Riigiteede rajatiste jagunemine tee liigi kaupa

Allikas: Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Riigiteedel paiknevate rajatiste jaotumine kiiruspiirangu alusel on toodud joonisel 2.2. Sildadel ja viaduktidel kehtestatud piirkiirus on oluline tunnus analüüsimaks olemasoleva sõidukiirdesüsteemi nõude kohaldumise ulatust ning valideerida nõude järgimise osakaalu.

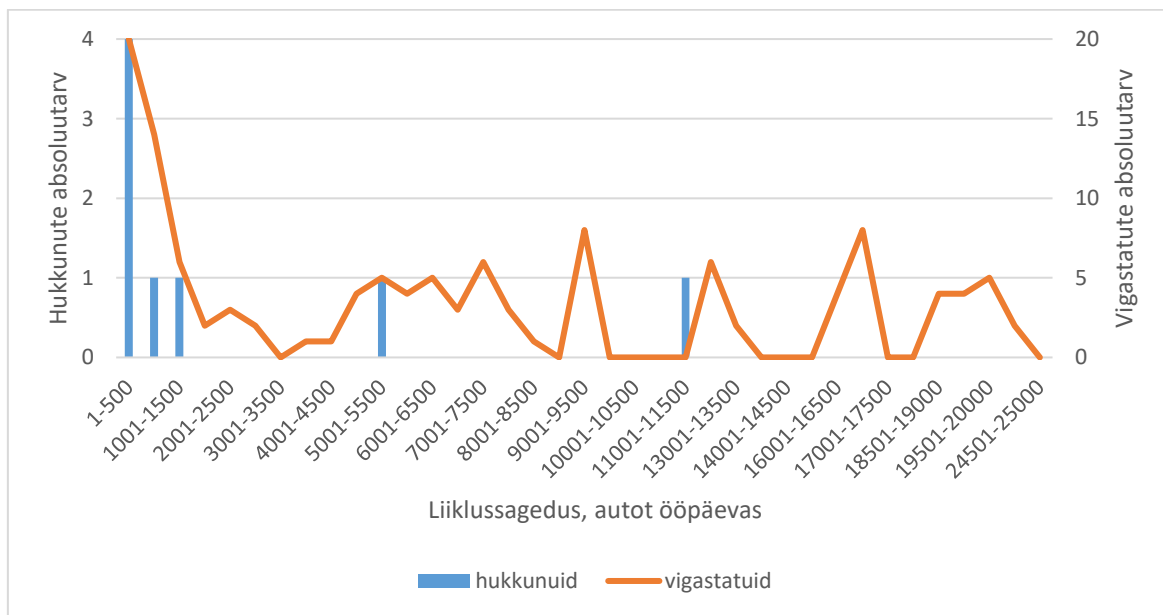


Joonis 2.2 Rajatiste jagunemine kehtestatud kiiruspiirangu alusel

Allikas: Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Liiklusõnnetuste andmete registreerimise ja liiklusõnnetuse andmekoguga seotud asjaolusid reguleerib Vabariigi Valitsuse määrus number 54 „Liiklusõnnetuse registreerimise, asjaolude väljaselgitamise ja arvestuse kord ning liiklusõnnetuste andmekogu pidamise põhimäärus“. Kui toimub liiklusõnnetus, milles on inimene hukkunud või vigastada saanud, registreerib selle juhtumi Politsei- ja Piirivalveamet [52]. Andmed edastatakse Transpordiametisse, kes haldab liiklusõnnetuste andmekogu ning väljastab liiklusõnnetuste kohta statistikat. Andmed on avaandmetena huvitatud osapooltele päritavad Eesti avaandmete lehekülje kaudu [53].

Vigastatute või hukkunutega **liiklusõnnetuste andmed** pärinevad Transpordiameti hallatavast andmekogust ajavahemikul 1. jaanuar 2011 kuni 31. detsember 2023 [53]. Valimi perioodiks on 13 täisaastat ning periood on valitud eeldusel, et madalama liiklussagedusega rajatistel toimuvate liiklusõnnetuste juhuslikkus oleks hõlmatud. Nimetatud perioodil on riigiteede rajatistel liiklusõnnetustes hukkunud 30 ja vigastada saanud 400 inimest. Käesolevas töös hinnatakse eelkõige sõidukiirdeüsteemide mõju liiklusohutusele ning selle tulemusel on liiklusõnnetuse liigi kaupa välja jäetud liiklusõnnetused, millel ei ole vahetut esmast seost sõidukiirdeüsteemi olemasoluga. Selle tõttu on liiklusõnnetuste liigi valimisse jäetud ühesõidukiõnnetused teelt väljasõiduna või teel ümberpaiskumisenä, mida teatud juhtudel võivad põhjustada kiirdeüsteemide algusosad ehk mahaviigud. Tulemuseks jäi 13 aastase perioodi kohta riigiteede rajatistel liiklusõnnetustes hukkunuid 8 ja vigastatuid 123. Riigiteede rajatistel ühesõidukiõnnetustes hukkunute ja vigastatute jaotus liiklussageduse kaupa on toodud joonisel 2.3.



Joonis 2.3 Ühesõidukiõnnetustes hukkunute ja vigastatute absoluutarv rajatistel liiklussageduse kaupa

Allikas: Transpordiameti liiklusõnnetuste andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Varakahjuga liiklusõnnetuste andmestik on päritud Liikluskindlustusfondi kindlustusjuhtumite andmekogust perioodi kohta 1. jaanuar 2017 kuni 31. detsember 2023 [54]. Nimetatud seitsmeaastasel perioodil on riigiteede rajatistel toimunud 3349 liikluskindlustuse juhtumit kogusummas 6,8 miljonit eurot. Varakahjuga liiklusõnnetuste arvu ja maksumuse jagunemine tee liigi kaupa on toodud tabelis 2.1. Põhimaanteedel toimub kogu valimist 80% varakahjuga liiklusõnnetuste arvust ning samas ulatuses moodustab ka põhimaanteedel toimunud varakahjuga toimunud liiklusõnnetuste maksumus kõikidest varakahjuga liiklusõnnetustest.

Tabel 2.1 Varakahjuga liiklusõnnetuste arvu ja maksumuse jagunemine tee liigi kaupa

Tee liik	Juhtumite arv kogu perioodi kohta	Kahju summa kokku, €
Põhimaantee	2734	5 459 623
Tugimaantee	223	512 861
Kõrvalmaantee	392	853 801
Kokku	3349	6 826 285

Allikas: Liikluskindlustusfondi liiklusõnnetuste andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

## 2.3 Andmete analüüs

Andmete korrastamise esimeseks etapiks on andmete kontrollimine. See tähendab, et vaadatakse üle andmete vead ning tehakse kindlaks, kas andmeid on puudu. Järgmiseks etapiks on andmete täiendamine. Kolmandaks etapiks on andmete korrastamine, et oleks võimalik läbi viia andmete analüüs. Andmete korrastamise meetodid peaksid olema sõltuvuses valitud uurimisstrateegiast. Kvantitatiivse uurimuse andmete põhjal moodustatakse muutujad, mille põhjal antakse igale vaatlusüksusele muutujaid tähistavad väärtused. [49] Andmete analüüsimiseks kasutati Microsoft Office Excel tabelarvutustarkvara.

Teeregistris on rajatise asukohad määratud punktobjektina, mis on määratud objekti asukoha kaugusena tee algusest [55]. Lineaar referentsüsteemina on rajatise asukoht Teeregistris määratud rajatise teljel. Rajatistele eelnevate sõidukiirdeüsteemide pikkuste valideerimiseks määrati esmalt rajatise asukohast ehk keskpunktist rajatise pool pikkust rajatise alguseni. Seejärel liideti väärtusele valideeritav tingimus sõidukiirde minimaalseks pikkuseks 80 meetrit, kontrollimaks minimaalse pikkuse täitmise nõuet vastavalt Transpordiameti „Teepiirdeüsteemid“ juhendile. Esitatud tingimust võrreldi teeregistris oleva sõidukiirdeüsteemi asukohaga ning tulemus esitati vastab – ei vasta tingimusena. Tulemusi analüüsiti ainult rajatisel, millel on kehtestatud kiirusepiirang suurem kui 70 kilomeetrit tunnis, nii nagu juhendi tingimusena nõue kohaldub.

Järgmiseks analüüsiti paigaldatud sõidukiirdeüsteemi pikkuseid enne rajatise absoluutväärtustes. Analüüs võimaldas hõlmata ka madalama kiiruspiiranguga rajatise ning võrrelda keskmiseid sõidukiirdeüsteemi pikkuseid enne rajatise piiratud kiirusega rajatistel kui ka asulavälise tee piiramata kiirusega rajatiste vahel liiklussageduste kaupa. Norra sildadel toimunud liiklusõnnetuste analüüsimisel tuvastati regressioonimudelite abil, et liiklussagedus on ainus olulise mõjuga tegur liiklusõnnetuste toimumise variatiivsuses [26]. Seda arvesse võttes on ka käesolevas töös kasutatud rajatiste kirjeldamisel peamise tunnuseks liiklussagedust.

Rajatistel, millele kohaldub Transpordiameti juhendist tulenev minimaalse sõidukiirdeüsteemi pikkus, arvutati välja nõude täitmiseks vajaliku sõidukiirdeüsteemi vajadus ning tegeliku paigaldatud sõidukiirdeüsteemi vahe. Puudujääk on maht, mida saab võtta aluseks nõude täitmise maksumuse hindamiseks, kui see korrutada läbi materjali ja töö ühikhinnaga. Nõude täitmise maksumuse arvutus on teoreetiline ja indikatiivne ning ei pruugi arvesse võtta kõiki asjaolusid, mida nõude realiseerimiseks teha tuleks. Näiteks ei ole arvestatud täiendava võimaliku muldkeha

laiendamise vajadusega, mis võib kaasa tuua ka teega külgnevate maade võõrandamist, mille hindamise arvesse võtmine ei olnud käesoleva töö puhul võimalik ja asjakohane.

Rajatiste riskiarvutuste koostamiseks liideti Teeregistri andmetele Transpordiameti liiklusõnnetuste andmekogu andmed iga objekti kohta. Liiklusõnnetuste andmetena võeti arvesse hukkunute ja vigastatute arvu rajatisel. Vigastustega lõppenud liiklusõnnetused taandati hukkunuga liiklusõnnetusteks, kasutades keskmise kahju määra suhet - viis vigastatut võrdub ühe hukkunuga, mille tulemusel saadi hukkunu ekvivalent (HE). Keskmise kahju määra suhet kasutab ka Transpordiamet liiklusohutlike kohtade riskiarvutuste koostamisel leidmaks taristuobjektide homogeensete lõikude ohutustasemeid [56]. Rajatise riskiväärtuse teada saamiseks kasutati valemit 2.1. Tulemuseks saadi rajatise riskiväärtus miljoni sõiduki kohta.

Igale rajatisele on arvatud riskiväärtus järgneva valemi alusel [9], [54](valem 2.1):

$$R_s = \left( \frac{L_h + k \cdot L_v}{x \cdot A \cdot 365} \right) * 1\,000\,000 \quad (2.1)$$

Valemi tähised:

$R_s$  - rajatise ohutustase (liiklusõnnetusi 1 miljoni auto kohta)

$L_h$  - valimi perioodi jooksul registreeritud hukkumisega lõppenud liiklusõnnetuste arv uuritaval rajatisel

$L_v$  - valimi perioodi jooksul registreeritud inimvigastusega lõppenud liiklusõnnetuste arv uuritaval rajatisel

$x$  - valimi aastate arv

$k$  - vigastustega liiklusõnnetuste redutseerimiskoeffitsient

$A$  - aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus ristmikul (autot ööpäevas)

Riiklike liiklusõnnetuste avalike andmekogude suurimaks puuduseks on peamiselt madal liiklusõnnetuse kirjelduse detailsus, mis piirab erinevate asjaolude analüüsimist. Varasemates uuringutes on leitud, et sõiduki kokkupõrkekiirus on peamine parameeter, mille alusel saaks hinnata sõiduki piirdesüsteemi toimivust või teelt välja sõitnud sõiduki kiiruse kaudu hinnata teega külgneval ala mõju sõiduki aeglustusele. Teine oluline ühesõidukiõnnetuste parameeter on teelt väljasõidu nurga suurus. Valdavalt ei ole riiklikes liiklusõnnetuste andmekogudes selliseid andmeid ning ka Eesti andmekogu ei ole erand. Leitud on seos teelt väljasõidu kiiruse ja kokkupõrkenurga vahel, seega ka ainult ühe parameetri kogumisel oleks võimalik teine tuletada hilisemaks liiklusõnnetuse täpsemaks analüüsiks. Teelt väljasõidu kiirus määrab ka otseselt sõiduki piirdesüsteemi pikkuse vajaduse enne takistust. Uuringus leiti, et keskmine arvutuslik väljasõidunurk

on 6,4 kraadi ning väljasõidunurga suuruse mediaan on 5 kraadi. 85% juhtudest oli liiklusõnnetuses osalenud sõiduki teelt väljasõidunurk 11 kraadi ning väljasõidunurga suurus ulatus kuni 18 kraadini. [44] RISER projekti uuringus tuvastati 85% juhtudest väljasõidunurgaks kuni 20 kraadi [57]. Suurim kokkupõrkenurk sõiduki piirdesüsteemide katsetamisel EVS-EN 1317 kohaselt on 20 kraadi, mis sobitub tegelike liiklusõnnetuste andmetega [18]. Transpordiameti juhendi „Teepiirdesüsteemid“ punkt 7.3.3 käsitleb samuti sõidurajalt välja sõitva sõiduki nurka, mis on määratletud 15 kraadise suurusega ja mis on eelpool toodud uuringuid arvesse võttes asjakohane [32].

## 2.4 Sotsiaalmajandusliku mõju hindamine

Liiklusõnnetused on sotsiaalmajanduslik probleem, millega kaasnevad majanduslikud kahjud. Liiklusõnnetustega kaasnevaid kulusid peetakse liiklusohutuse üheks peamiseks näitajaks, mille kulude põhjal on võimalik hinnata ohutusmeetmete rakendamise ja õnnetuste ärahoidmisest saadavat kasu. [58]

Liiklusohutuse meetmete mõju kiputakse hindama kõrgemaks, kui see tegelikult on. Itaalias läbi viidud uuringu tulemustest järeldati, et liiklusohutuse meetmete mõju hinnatakse kuni 10% suuremaks, kui see tegelikult on. Valiku kallutatuse mõjud võivad viia vale otsuseni liiklusohutuse meetme valikul, mis omakorda tingib ressursside ebaotstarbeka kasutamise. Kui otsus tugineb ebausaldusväärsetel andmetel, mis ei võta arvesse piisavalt täpselt enne ja pärast mõjusid, ei ole rakendatud meede piisavalt tulus ning liiklusõnnetustes vigastada saanute määr ei vähene prognoositud ulatuses. [59]

Ühiskondlik huvi ja teadlikkus liiklusohutusega seotud probleemide vastu on viimastel aastakümnetel oluliselt kasvanud. Sageli viiakse ohutus- ja riskianalüüs läbi pigem kvalitatiivse kui kvantitatiivse meetodi abil, mis võib anda nõrgad ja ebausaldusväärsed tulemused liiklusohutuse meetme mõju ja tasuvuse kohta. Liiklusohutuse hindamine ja meetme valik nõuab põhjalikumat analüüsimist ning liikluskeskkonna parameetrite arvesse võtmist. Peamiseks meetme valiku aluseks ei tohiks olla huvigruppide lobi või meetme rakendamise vastumeelsus meedias. [60]

Tasuvusanalüüsi teostamisega on võimalik hinnata, liiklusõnnetuste vähenemise kulude ning ohutusmeetmete maksumuse põhjal, kui kuluefektiivne on ohutusmeetmete rakendamine. Ohutusmeetmete rakendamine on tulus, kui kuluefektiivsuse suhtarv on suurem kui üks ehk meetmetest saadav kasu on suurem meetme maksumusest. [61]

Kuluefektiivsuse arvutamisel kasutatakse järgnevat valemit (valem 2.2):

$$K_e = \check{O}_k * \check{O}_v / M_k \text{ (2.2)}$$

Valemi tähised:

$K_e$  – Kuluefektiivsuse suhtarv

$\check{O}_k$  – Õnnetuste kulu, €

$\check{O}_v$  – Õnnetuste vähenemise tõenäosus, %

$M_k$  – Meetmete kulu, €

## 2.4.1 Liiklusõnnetusega seotud kulud

Liiklusõnnetustega seotud peamised kulud [58], [62]:

- ravikulud (õnnetusjärgne haiglaravi, taastusravi, ravimid);
- tootmiskaod (vigastatu ajutine või püsiv töövõimetus ja surm);
- mittevaraline kahju (kaotusvalu, elukvaliteedi langus, elukaotus);
- varaline kahju (sõidukid, taristu kahjustumine);
- haldustasud (politsei ja tuletõrje väljakutse, kindlustus, kohtukulud);
- muud kulud (matusekulud, ummikukulud, sõiduki remondiaeg jms).

Liiklusõnnetustes vigastatutest ja hukkunutest tuleneva majandusliku kahju arvutamisel on võetud aluseks „Liiklusõnnetustest ühiskonnale põhjustatud kahjude määramise meetodika täiustamine, kahjude suuruse hindamine ja prognoosimine“ aruandes välja toodud liiklusõnnetustest põhjustatud kahju prognoosi 2012 kuni 2016 aastaks [62]. Jätkates lineaarse regressioonivõrrandiga kahjude ligikaudset prognoosi aastateks 2022 kuni 2026, on saadud väärtused esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Liiklusõnnetuste kogukahju prognoos aastateks 2022 kuni 2026 riskiväärtust arvestades

Näitaja	Mõõtühik, €	2023	2024	2025	2026
Hukkunu	€ hukkunu kohta	2 413 500	2 465 500	2 517 500	2 569 500
Vigastatu	€ vigastatu kohta	31 603	32 293	32 983	33 673
Invaliidistunu	€ invaliidistunu kohta	864 886	888 708	912 530	936 352
Varakahju	€ õnnetuse kohta	11 666	11 921	12 176	12 431

Allikas: [62], Autori koostatud (2024)

## 2.4.2 Sõidukiirdeüsteemide maksumus ja elukaarekulud

Sõidukiirdeüsteemi, kui liiklusohutusmeetme, valikul on ülimalt oluline hinnata kaasnevaid kulutusi kogu tee elukaare jooksul. Kuigi ühtset metoodikat ei ole välja töötatud, mida läbivalt kõikides riikides kasutatakse, on levinuim Roadside Safety Analysis Program (RSAP) [63]. Metoodika võimaldab hinnata erinevate teega külgnevate alade ja liiklusohutusmeetmete kulukust. Lisaks eelmainitule on H. Karim Rootsisis läbi viinud sarnase teadustöö, mis võttis arvesse tee elukaare kulusid (LCC – life cycle cost analysis)[64].

RSAP-i ja Karimi mudeli peamised komponendid on [45]:

- õnnetuste sageduse ja raskusastme andmed uuritava tee jaoks;
- liiklusohutuse meetme ehituskulud;
- erinevate liiklusõnnetuste korral eeldatakse erinevate mõjudega kulusid;
- rakendatavate meetmete hoolduskulud;
- erinevate õnnetuste kohta prognoositud inimkahjude kulud.

RSAP analüüsib erinevaid tee projekteerimise lahendusi Monte Carlo simulatsiooni abil, leidmaks sõidukiirdeüsteemi kasutusega. Analüüsi tulemused esitatakse kulu-tulu suhtena, kus sotsiaalmajanduslik mõju, vigastuste kulude vähendamine, jagatakse ehitus- ja kasutusea kuludega. Kulu-tulu suhtarv, mis on ühest suurem, näitab tasuvat juhtumit. Ameerikas levinud praktika kohaselt oodatakse investeeringu tasuvuseks suhtarvu kaks või rohkem. Karimi analüüs kasutas samuti Monte Carlo mudelit sõidukiirdeüsteemi kasutusea leidmiseks, kuid tulemused esitati kogukuludena - vigastuste, ehitus- ja hoolduskulude summana - kus meetmete võrdluses eelistatakse madalaim kuluga lahendust. [45]

Kui tulude ja kulude suhe on väiksem kui üks, on prognoositavad tulud väiksemad kui prognoositavad kulud. Seega ei ole muudatus õigustatud ja seda ei tohiks tavaliselt rakendada. Kui ohutuse parandamise tulude ja kulude suhe on suurem kui üks, siis arvatakse, et oodatav kasu on võrdne või suurem kui eeldatavad kulud, mis tingib meetme rakendamise õigustatuse. Kuigi eelarvepiirangud välistavad üldiselt kõigi projektide rahastamise, mille tulude ja kulude suhe on üle ühe, saab tulude ja kulude suhet siiski kasutada ohutuse parandamise prioriteetsuse määramisel. [65]



Tegurid, mida tuleb tasuvusanalüüsi koostamisel arvesse võtta, on järgmised [65]:

- keskkonnamõju;
- liiklusõnnetuste kulud;
- sõidukiirdesüsteemi paigalduskulud;
- sõidukiirdesüsteemi remondikulud.

Euroopas ei ole kasutusel ühtset metoodikat või süsteemi teedel liiklusohutuse hindamiseks. Ühtse metoodika ja süsteemi puudumine ei võimalda ühetaoliselt Euroopa riikide üleselt liikmesriikide teede ohutust kontrollida, mis võib tingida olukorra, kus mõni liikmesriik peab teatud tunnuste alusel teed ohutuks, kuid teise riigi metoodika alusel liigituks tee ohtlikuks. Ka Eestis on ekspertide seas erinev nägemus, millisel kujul ja mis metoodika alusel tuleks läbi viia regulaarne tee ohutuse kontrollimine (TOK), mis on riiklikus liiklusohutusprogrammis ettenähtud tegevus [4].

**Sõidukiirdesüsteemi paigalduskulu** arvestamisel on lähtutud, et sõidukiirdesüsteemis kasutatakse enne rajatise valdavalt N2 toimivustasemega sõidukiirdesüsteemideid. Vastavalt Transpordiameti hankele „Amortiseerunud pörkepiirete vahetamine ja uute pörkepiirete paigaldamine riigimaanteedel lõikudel“ ühikhind nimetatud tootele ühe meetri kohta oli 2021. aastal 28 eurot ja 2023. aastal 24 eurot. Ühikhinnad sisaldavad materjalide hinda, tarnet kui ka paigaldust. 2021. aastal oli terase hind väga kõrge ning tarneraskuste tõttu materjali ühikhind kõrgem kui kaks aastat hiljem pakutav hind, hoolimata viimaste aastate kõrgest tarbija hinnaindeksi tõusust [66]. Käesolevas töös on arvestatud sõidukiirdesüsteemi ühikhinnaks 27 eurot meetri kohta. Sõidukiirdesüsteemi indikatiivne maksumus ei sisalda võimalikku muldkeha laiendamise vajadust ning sellega kaasnevat täiendavat maade võõrandamise vajadust.

**Sõidukiirdesüsteemi remondikulu** juures on kõige suurema osakaaluga tööjõukulu ning eritehnika kasutamisega seotud kulud. Järgmiseks suurima kulukuse moodustab remonditöödest sõidukiirdesüsteemi materjal ehk vahetatav toode. Tööde läbiviimiseks vajaliku ajutise liikluskorralduse kulusid hinnatakse kolmandaks suurimaks kuluks sõidukiirdesüsteemide parandamisel. Rootsis läbi viidud uuringu kohaselt on lainelise terasprofiillatiga (W-profiil) sõidukiirdesüsteemi remondikulu keskmiselt 150 eurot ühe miljoni sõiduki kilomeetri kohta. Täiendavalt leiti, et keskmine piirdesüsteemi remondikulu on suurim teedel, millel on kiiruspiirang 90 km/h, mis ületas ligi kahekordselt 110 km/h teede sõidukiirdesüsteemide remondikulu ning kolmekordselt 70 km/h piirkiirusega teedel olevate sõidukiirdesüsteemide remondikulu. [67]

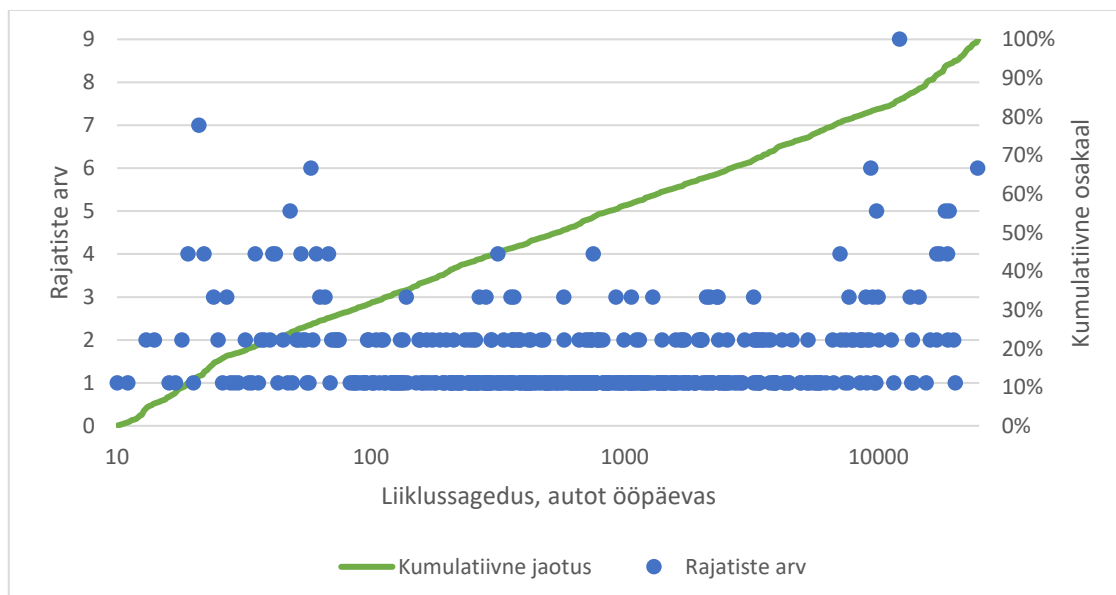
## 3. ANALÜÜS JA TULEMUSED

### 3.1 Sõidukiirdesüsteemid

#### 3.1.1 Sõidukiirde üle 70 km/h piirkiirusega rajatistel

Vastavalt Transpordiameti juhendile „Teepiirdesüsteemid“ peab pörkepiirde pikkus enne ohukohta peab olema vähemalt 80 meetrit teedel, millel piirkiirus on üle 70 km/h, vältimaks piirde taha sõitmist ja sõiduki sattumist ohukohani. Ühe sõiduteega kahe-suunalise liiklusega teedel peab vastav pikkus olema mõlemal pool ohukohta. [32] Teeregistri andmetel on riigiteedel 1069 silda ja viadukti, millest 677 on kehtestatud piirkiirus suurem kui 70 kilomeetrit tunnis. See omakorda tähendab, et 392 ehk rohkem kui kolmandikel riigiteedel asuvatel rajatistel puuduvad minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse määramise nõuded ja teadmised, mille alusel sobivaim passiivse turvalisuse lahendus valida.

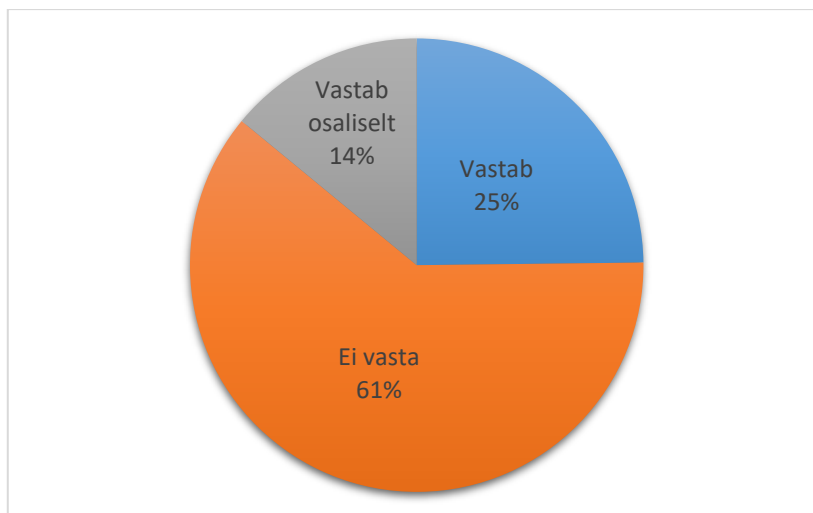
Rajatiste jagunemine liiklussageduse alusel, millel on kiiruspiirang suurem kui 70 kilomeetrit tunnis, on toodud joonisel 3.1. Jooniselt saab välja tuua, et pooltel rajatistel on liiklussagedus väiksem kui 700 autot ööpäevas. Rajatised, mille liiklussagedus jääb alla 1500 auto ööpäevas, moodustab 65% kõikidest sildadest ja viaduktidest, millel on minimaalse sõidukiirdesüsteemi nõue määratud.



Joonis 3.1 Rajatiste jagunemine liiklussageduse alusel, millel on kiiruspiirang suurem kui 70 km/h

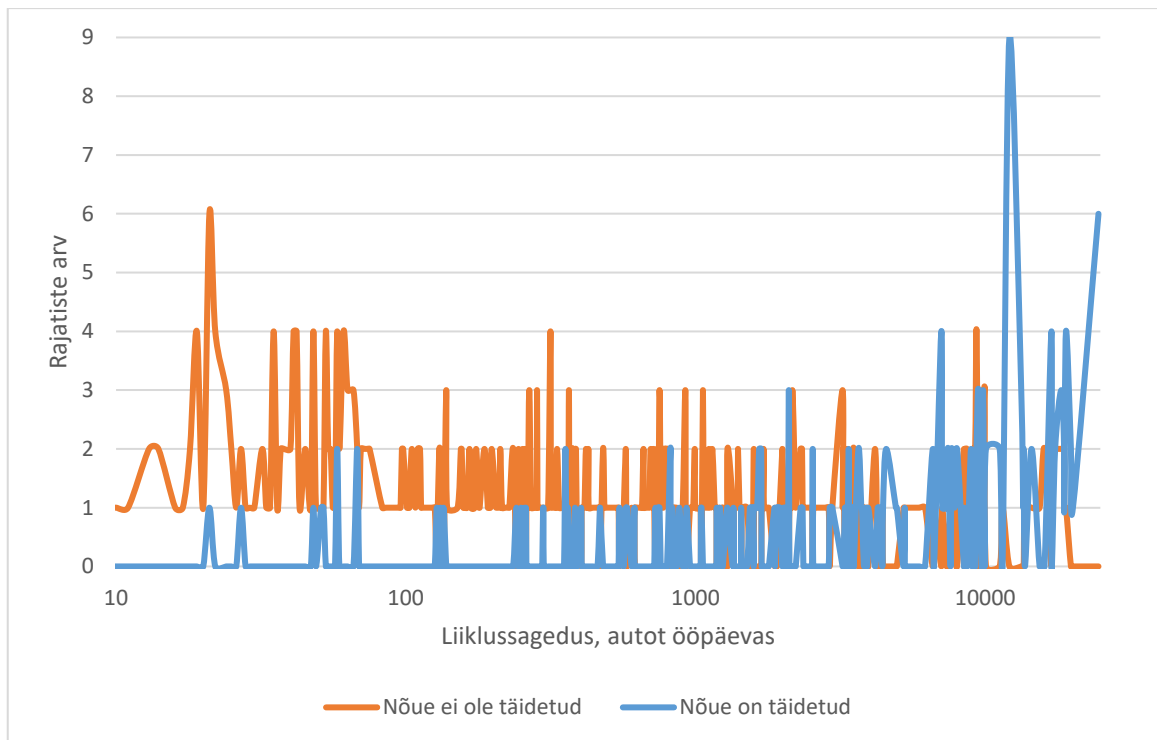
Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Järgnevalt on välja toodud, kui paljudel rajatistel on kehtestatud minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue täidetud. Minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue kohaldub 677 rajatisele, millest minimaalne pörkepiirde pikkus vastab 168 rajatisel. Osaliselt ehk ühes suunas vastab sõidukiirdesüsteem 95 juhul ning 414 rajatisel ei ole kehtestatud nõue täidetud. Joonisel 3.2 on toodud sõidukiirdesüsteemi vastavuse protsentuaalne jagunemine rajatistel, millele kohaldub minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue.



Joonis 3.2 Sõidukiirdesüsteemi pikkuse vastavus rajatistel, kus minimaalne pikkus on nõutud  
Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Liiklussageduse alusel rajatiste piirdesüsteemi pikkuse vastavus on toodud joonisel 3.3. Joonisel toodud andmetest ilmneb, et rajatistel liiklussagedusel kuni 700 autot ööpäevas moodustab 61% kõikidest mittevastavusega objektidest. Liiklussagedusega kuni 1500 autot ööpäevas rajatised moodustavad 76% kõikidest mittevastavatest rajatistest. Arvestades, et sillad ja viaduktid liiklussagedusega kuni 1500 autot ööpäevas moodustavad 65% kogu nõude kohalduvatest objektidest ning sama valim moodustab kõikidest mittevastavustest 76%, on oluline keskenduda nimetatud tingimustega rajatiste nõuetele vastavusse viimisele või nõude kohaldumise otstarbekuse ja tasuvuse kontrollimisele.

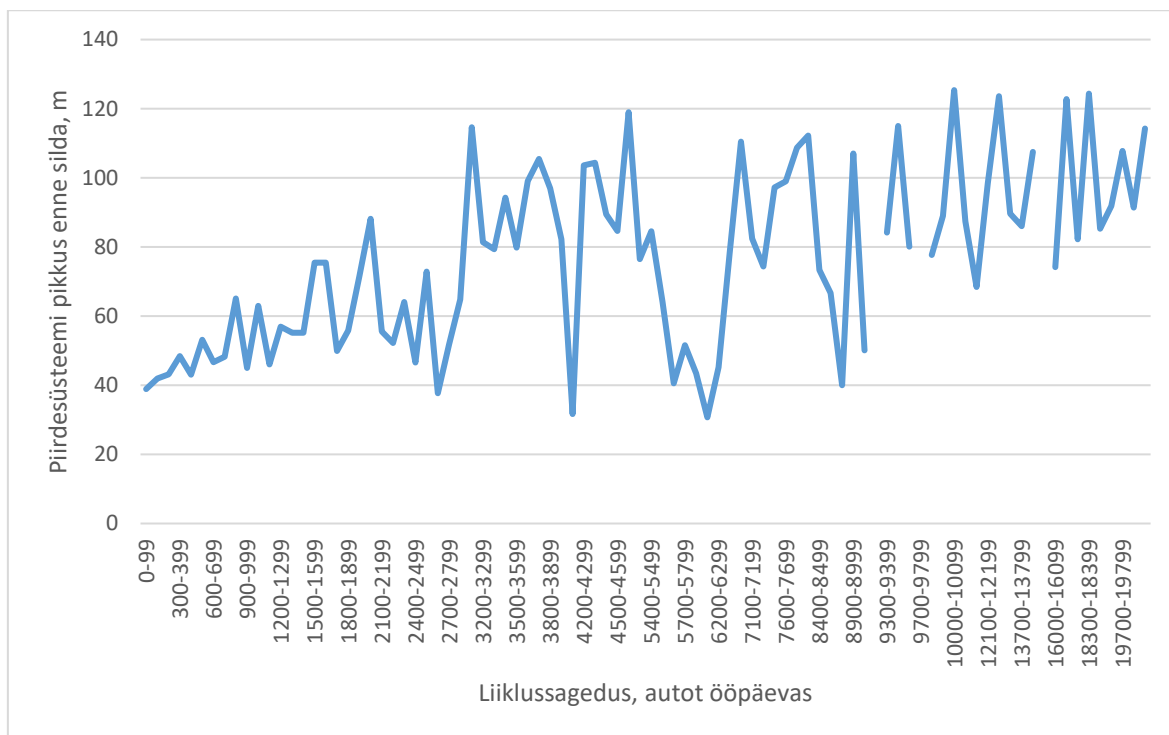


Joonis 3.3 Sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõudele vastavus liiklussageduse alusel  
 Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Rajatistel, millel on suurim lubatud sõidukiirus üle 70 kilomeetri tunnis, on praktikas rakendatud erinevaid sõidukiirdesüsteemide pikkuseid enne silda või viadukti. Piirdesüsteemide pikkuste erinevus sõltuvalt liiklussagedusest on toodud meetrites joonisel 3.4. Jooniselt nähtub, et kuni liiklussagedusega 700 autot ööpäevas on keskmine piirdesüsteemi pikkus enne rajatist 45 meetrit, mis on ligi kaks korda vähem kui juhendis nõutud minimaalne sõidukiirdesüsteemi pikkus. Rajatistel, millel on liiklussagedus kuni 1500 autot ööpäevas, on keskmine piirdesüsteemi pikkus enne rajatist 50 meetrit. See tähendab, et 70% rajatistel on iga piirdesüsteemi algusest puudu 30 meetrit sõidukiipiiret juhendi nõude täitmiseks. Igal rajatisel on neli piirdesüsteemi algust – ühes sõidusuunas nii paremal kui vasakul ning ta teises sõidusuunas paremal ning vasakul. Seega on 70% rajatistel, kus minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue rakendub, puudu 120 meetrit sõidukiirdesüsteeme iga rajatise kohta.

Varasemalt kehtinud määrus number 106 „Tee projekteerimise normid“ tõlgendamisest tulnud ebaselgus võis tingida olukorra, kus teatud olukordades valiti enne rajatist 25 meetri pikkused sõidukiipiirded ning sarnastes kohtades võidi järgida ka 80 meetri nõuet, vastavalt Maanteeameti juhendile. Välistatud ei ole ka olukorrad, kus peeti ühte nõuet liiga karmiks ning teist ebapiisavaks ja subjektiivsele arvamusele tuginedes valiti

pikkus nende vahel, näiteks 36 meetrit või 48 meetrit. Väidet kinnitavad teeregistri andmed, mida kirjeldavad sõidukiirdesüsteemi keskmise pikkuse jaotus liiklussageduse alusel (joonis 3.4). Eelnevale tuginedes saab väita, et teomaniku käekiri projektide tellimisel ja elluviimisel ei olnud ühetaoline.



Joonis 3.4 Sõidukiirdesüsteemi keskmine pikkus meetrites sõltuvalt liiklussagedusest rajatistel, millel piirkiirus suurem kui 70 km/h

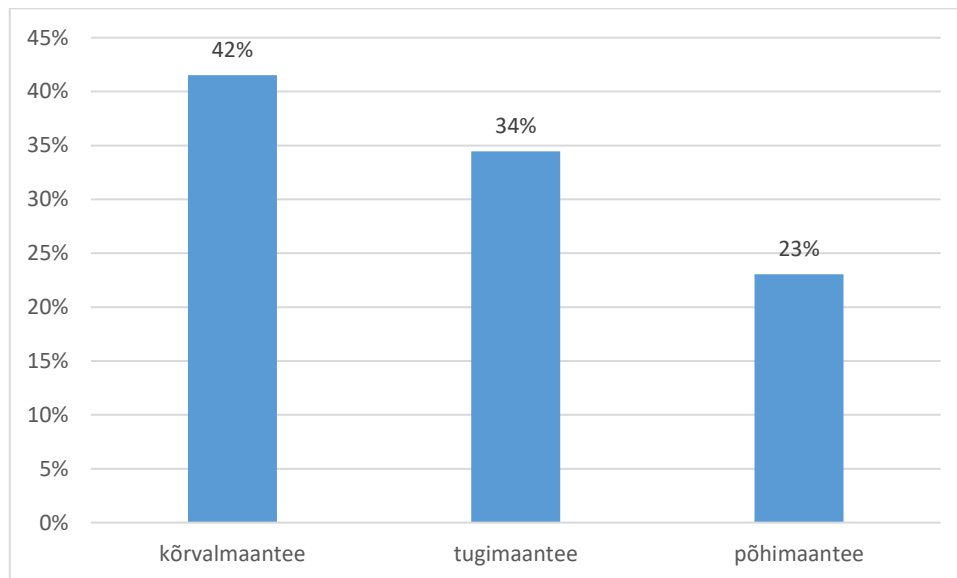
Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Kehtiva minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõude täitmise maksumuse teada saamiseks on võrreldud Teeregistri andmetes toodud olemasolevate piirete pikkuseid nõudest tulenevate piirete pikkustega. Kui võtta arvesse kõik 509 rajatist, millele kehtib minimaalse sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue, kuid seda ei ole osaliselt või täielikult täidetud, tuleks täiendavalt paigaldada 54 209 meetrit sõidukiirdesüsteemi.

Sõidukiirdesüsteemi ühikhinna maksumus on toodud alapeatükis 2.4.2. Arvutuse tulemusel läheks kehtiva nõude vastavusse viimine maksma hinnanguliselt ligi 1,47 miljonit eurot. Indikatiivne maksumus ei sisalda võimalikku muldkeha laiendamise vajadust ning sellega kaasneda võivat täiendavat maade võõrandamise vajadust.

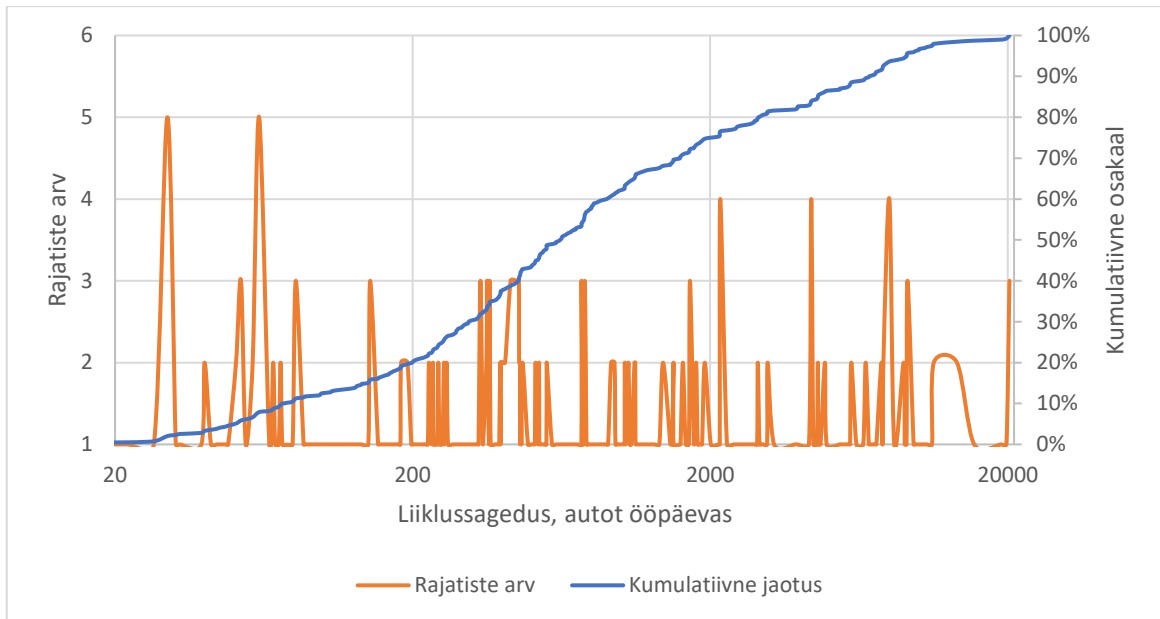
### 3.1.2 Sõidukiirde 70 km/h ja väiksema piirkiirusega rajatistel

Teede liigi järgi paikneb kõige enam rajatisi kõrvalmaanteedel, millel on piirkiirus 70 kilomeetrit tunnis või väiksem. Seda nii absoluutarvuna kui ka suhtarvuna teede liikide võrdluses. Piiratud kiirusega rajatiste suhtarv on saadud piiranguga rajatise arv jagatuna sama tee liigi koguarvuga. Joonisel 3.5 on toodud madalama kiiruspiiranguga rajatiste suhtarv sama liigi teede koguarvust. Asulavälise tee maksimaalset lubatud sõidukiirust on vähendatud 42% üldvalimisse kuuluval kõrvalmaantee rajatisel. Tugimaanteede rajatistel on 34% suurim lubatud sõidukiirus 70 kilomeetrit tunnis või väiksem ning põhimaanteedel on 23% rajatistel kehtestatud madalam kiiruspiirang. Toodud numbrid kirjeldavad ilmekalt tee funktsioonist ja parameetritest lähtuvat kiiruspiirangute kehtestamist.



Joonis 3.5 Madalama kiiruspiiranguga rajatiste suhtarv sama liigi teede koguarvust  
Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

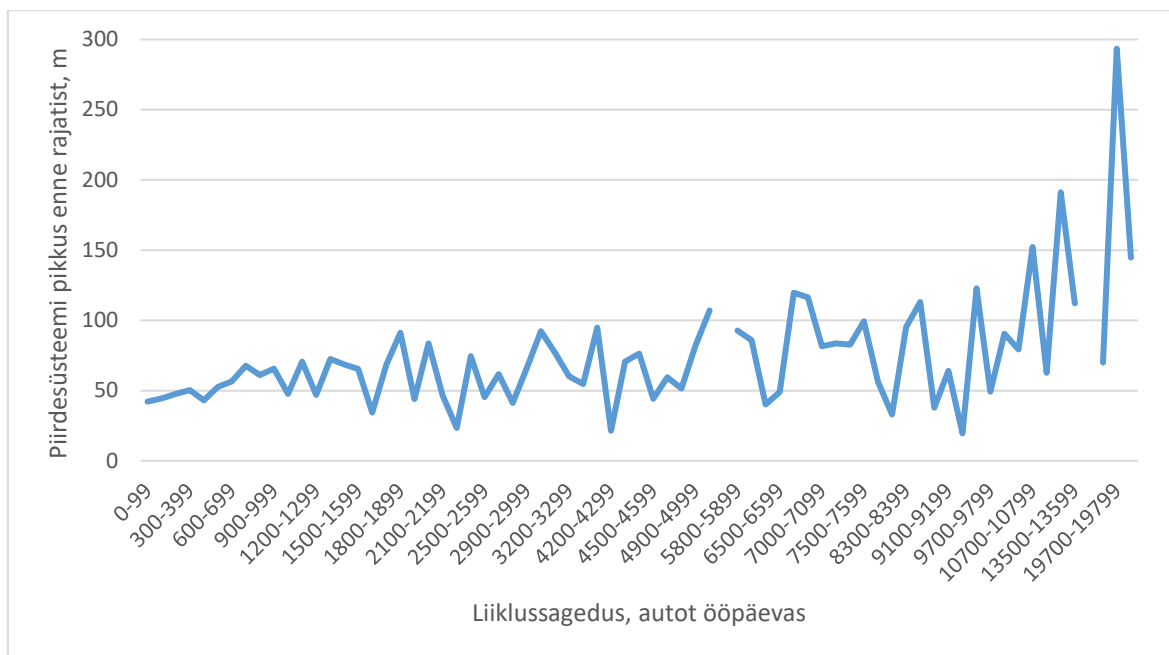
Rajatiste jagunemine liiklussageduse alusel, millel on kiiruspiirang 70 kilomeetrit tunnis või väiksem, on toodud joonisel 3.6. Jooniselt saab välja tuua, et üle pooltel rajatistel on liiklussagedus väiksem kui 700 autot ööpäevas. Rajatised, mille liiklussagedus jääb alla 1500 auto ööpäevas, moodustab 70% kõikidest sildadest ja viaduktidest, millel ei ole minimaalse sõidukiirde süsteemi nõuet määratud.



Joonis 3.6 Rajatiste jagunemine liiklussageduse alusel, millel on kiiruspiirang 70 km/h või väiksem

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Rajatistel, millel on suurim lubatud sõidukiirus on 70 kilomeetri tunnis või väiksem, ei ole ühtselt kehtestatud minimaalse sõidukiirdeüsteemi pikkust enne rajatist. Piirdeüsteemide pikkuste erinevus sõltuvalt liiklussagedusest on toodud meetrites joonisel 3.7. Jooniselt nähtub, et kuni liiklussagedusega 700 autot ööpäevas on keskmine piirdeüsteemi pikkus enne rajatist 48 meetrit, mis on keskmiselt kolme meetri võrra suurem kui sama suure liiklussagedusega rajatistel, kus minimaalne sõidukiirde pikkus on juhendis määratud. Rajatistel, millel on liiklussagedus kuni 1500 autot ööpäevas, on keskmine piirdeüsteemi pikkus enne rajatist 56 meetrit, mis on kuue meetri võrra suurem, kui sama suure liiklussagedusega rajatistel, millel on kehtestatud minimaalse sõidukiirdeüsteemi pikkuse nõue.



Joonis 3.7 Sõidukiirdesüsteemi keskmine pikkus meetrites sõltuvalt liiklussagedusest rajatistel, millel piirkiirus 70 km/h või väiksem

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

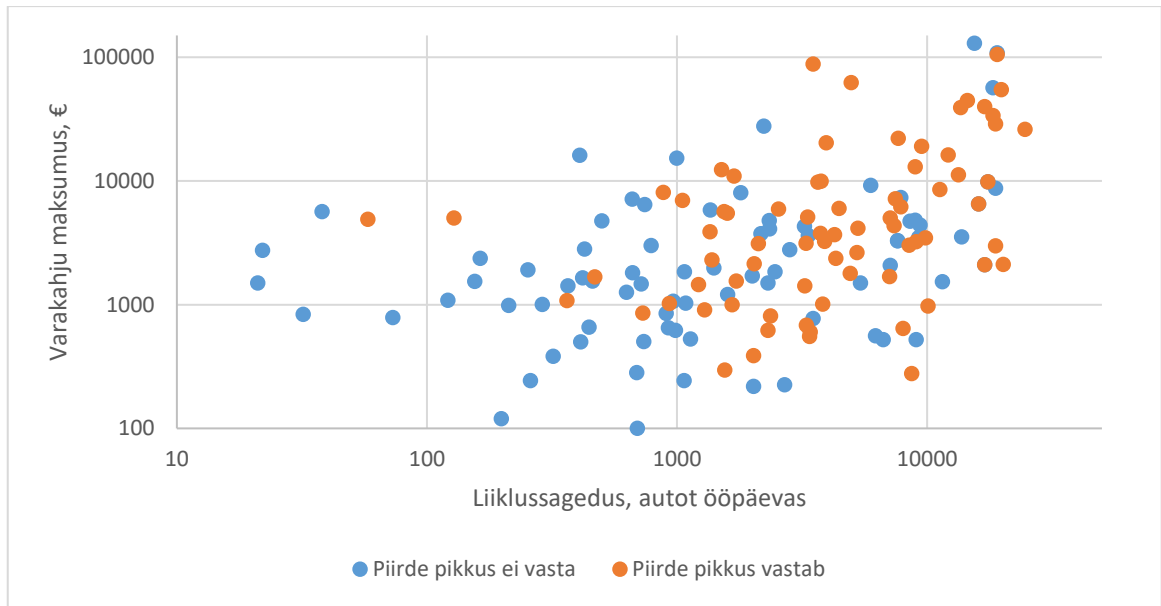
## 3.2 Liiklusohutus

### 3.2.1 Varajahjuga liiklusõnnetused

Liikluskindlustusfondi juhtumite maksumuse ja liiklussageduse vaheline seos rajatistel, millel sõidukiirde pikkuse nõue on täidetud ja millel nõue täidetud ei ole, on toodud joonisel 3.8. Liiklussageduse kasvades tõusevad ka keskmise varakahjuga õnnetuste maksumused ning seost sõidukiirdesüsteemi pikkusega ei ole võimalik välja tuua.

Sõidukiirdesüsteemide eesmärk on vähendada liiklusõnnetustes hukkunute ja raskelt vigastatute arvu, kuid ei välista liiklusõnnetuste toimumist ja varakahju tekkimist. Seega võib eeldada, et sõidukiirdesüsteemide täiendav paigaldamine ei vähenda varakahjuga toimunud õnnetuste arvu ega maksumusi. Lisaks paiknevad enamik riigiteede rajatise madala liiklussagedusega teedel, millel toimub väga väike osa varakahjuga toimunud õnnetustest ning ka seal toimunud juhtumite maksumused on madalad. Eeltoodule tuginedes ei ole edaspidises analüüsis arvesse võetud riigiteede rajatistel varakahjuga toimunud õnnetusi sõidukiirdesüsteemide liiklusohutuse mõju hindamiseks.



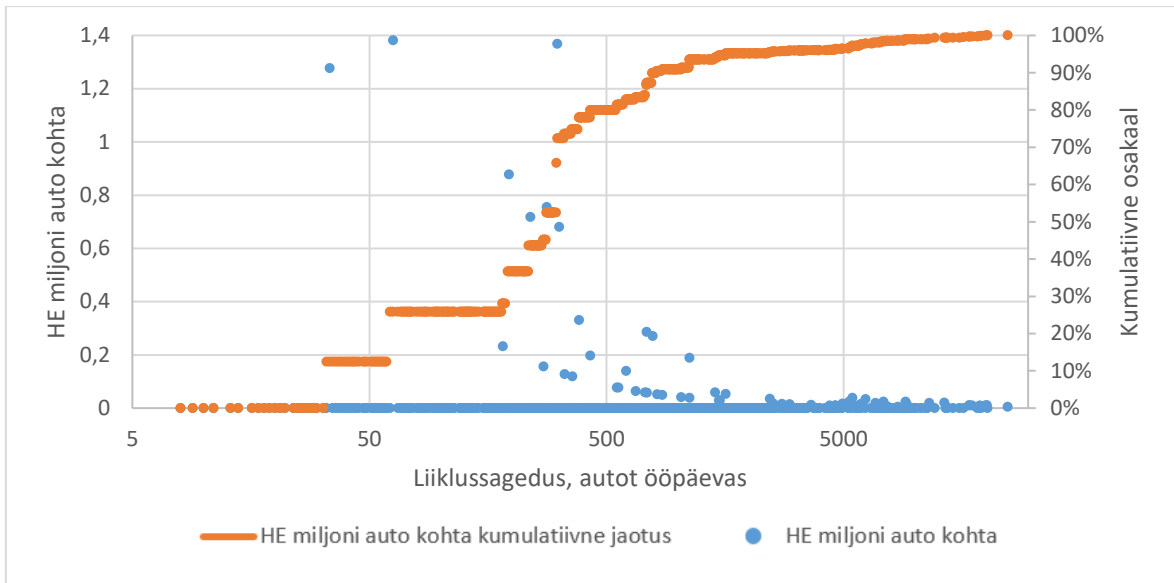


Joonis 3.8 Varakahjuga liiklusõnnetuste maksumuse ja liiklussageduse vaheline seos rajatistel, millel sõidukiپییرde pikkuse nõue on täidetud ja millel nõue täidetud ei ole

Allikas: Liikluskindlustusfondi liiklusõnnetuste andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

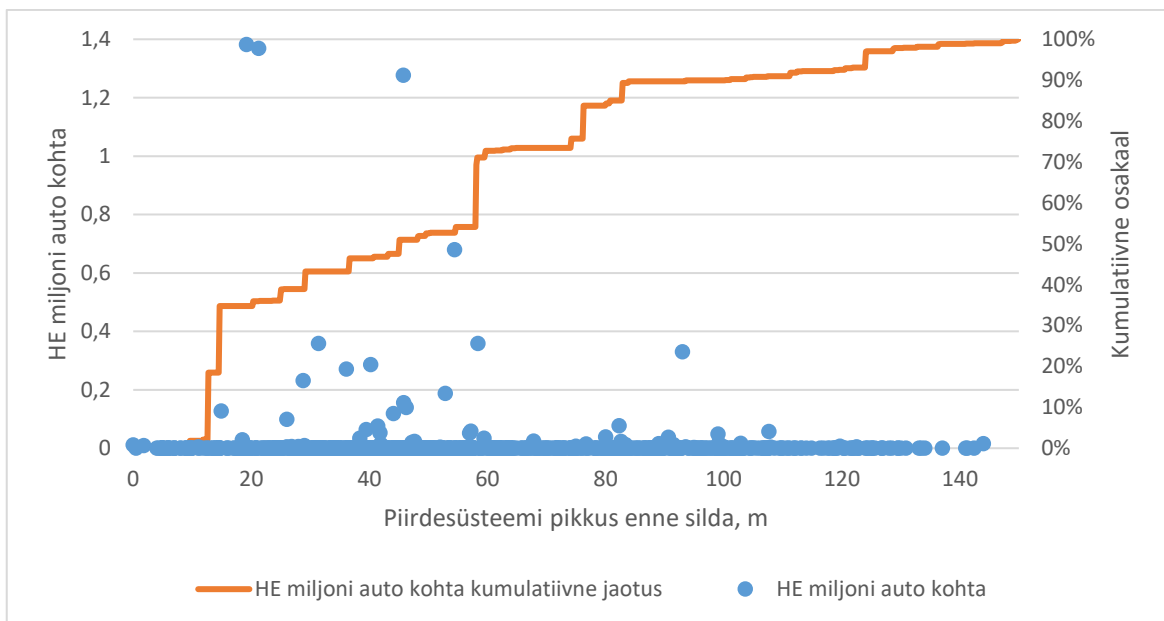
### 3.2.2 Vigastatutega liiklusõnnetused

Kõikide riigiteedel paiknevate sildade ja viaduktide keskmine liiklusohutuse näitaja on 0,0182 hukkunu ekvivalenti ühe miljoni auto kohta. Kui võtta arvesse ainult ühesõidukiõnnetused on kõikide riigiteedel paiknevate sildade ja viaduktide keskmine liiklusohutuse 0,0096 hukkunu ekvivalenti ühe miljoni auto kohta. Ühesõidukiõnnetuste andmetel loodud hukkunu ekvivalenti kumulatiivne jagunemine liiklussageduse alusel on toodud joonisel 3.9. Jooniselt on võimalik välja tuua, et 90% ühesõidukiõnnetuste hukkunu ekvivalentist miljoni auto kohta toimuvad rajatistel liiklussagedusega kuni 800 autot ööpäevas. Kõige kõrgema liiklusõnnetuste suhtarvuga objektid asuvad rajatistel, mille liiklussagedus on kuni 500 autot ööpäevas.



Joonis 3.9 Hukkunu ekvivalendi ühe miljoni auto kohta kumulatiivne jaotus liiklussageduse kaupa

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)



Joonis 3.10 Hukkunu ekvivalendi ühe miljoni auto kohta kumulatiivne jaotus piirdesüsteemi pikkuse suhtes enne silda

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Joonisel 3.10 on toodud hukkunu ekvivalendi ühe miljoni auto kohta kumulatiivne jaotus piirdesüsteemi pikkuse suhtes enne silda. Jooniselt on võimalik näha, et kõige kõrgema hukkunu ekvivalendi miljoni auto kohta suhtarvuga on rajatised, mille sõiduki piirdesüsteemi pikkus enne silda jääb alla 60 meetri. Kõikidest hukkunu ekvivalendi kumulatiivsest jagunemisest 70% moodustavad alla 60 meetri pikkuse sõiduki piirdesüsteemiga rajatised.

Tabel 3.1 Liiklusõnnetuste suhtarvud rajatistel, millel on minimaalse piirdesüsteemi pikkuse nõue

Piirde pikkuse vastavus	Ei vasta	Vastab
Hukkunuid miljoni km kohta	0,0006	0,0033
Hukkunu ekvivalent miljoni auto kohta	0,007	0,0039

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Statistilist olulisust on hinnatud Mann-Whitney U-testi alusel. Sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõude täitmist või mitte täitmist on kontrollitud rajatiste seosest hukkunute või hukkunu ekvivalendi arvuga miljoni auto kohta. Hukkunute arvu korral oli p-väärtuseks 0,0134 ja hukkunu ekvivalendi korral oli p-väärtus 0,00017. Mõlemal juhul on p-väärtus alla 0,05, mille põhjal saab väita, et sõidukiirdesüsteemi pikkuse vastavuse ja vigastatutega liiklusõnnetuste vahel on statistiliselt oluline seos.

Tabel 3.2 Piirdesüsteemi pikkuse ja kehtestatud kiiruspiirangu seos liiklusõnnetuse riskimääruga hukkunu ekvivalent miljoni sõiduki kohta

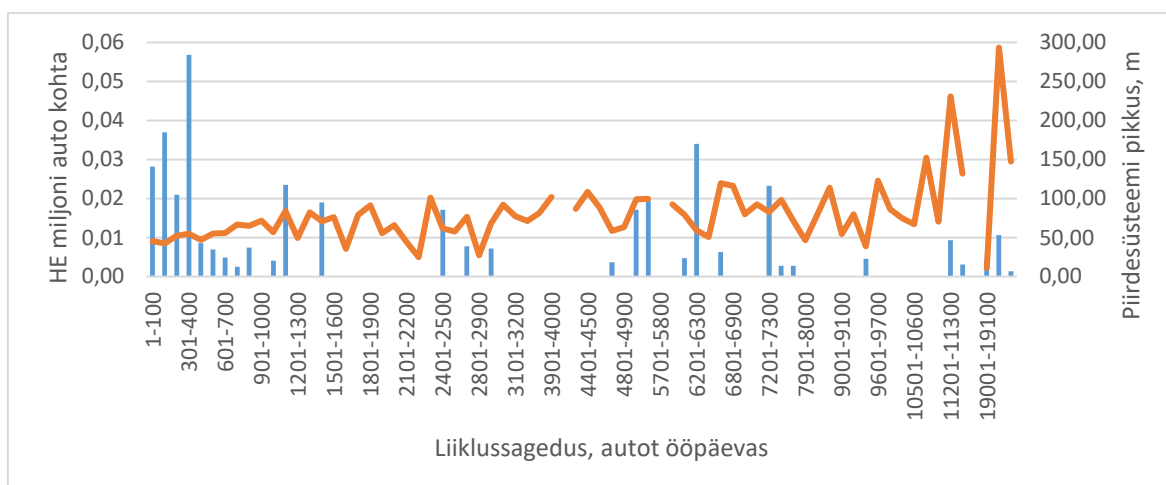
Piirdesüsteemi pikkus, m	Kiiruspiirang		
	50 km/h	70 km/h	90 km/h
0-12	0,0432	0,0013	0
12-24	0,0977	0,2303	0,0031
24-36	0,0102	0	0,0052
36-48	0,0049	0,0053	0,0207
48-60	0,0075	0,0034	0,0157
60-72	0	0	0,0005
72-84	0,0043	0,0044	0,0007
84-96	0,0330	0,0002	0,0016
96-108	0,0088	0,0001	0,0013
108-120	0	0,0020	0
120-132	0	0	0,0003
132-144		0	0

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Tabelis 3.2 on toodud liiklusõnnetuse riskimäär hukkunu ekvivalent miljoni sõiduki kohta kiiruspiirangu ja piirdesüsteemi pikkusena. Referentspunktiks on valitud 0,0039, mis on keskmine liiklusohutuse määr rajatistel, millel on järgitud minimaalset sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõuet. Nimetatud referentspunktist väiksemad väärtused on rohelised ehk tulemus on parem kui keskmine. Kollased ja punased on väärtused, mis on referentsväärtusest suuremad ehk riskimäär on suurem. Tabelis toodud

andmetest on võimalik välja tuua, et kiirusel 90 km/h peaks minimaalse sõidukiirde pikkus olema vähemalt 60 meetrit. Madalamate kiiruspiirangute kõrgem riskimäär võib olla seotud asjaoluga, et tegemist on tavapärasest ohtlikuma liikluskeskkonnaga, kus on täiendavaid ohutegureid, mille tõttu on kehtestatud ka madalam kiiruspiirang. Ka madalamatel kiirustel on valdavalt riskimäär väiksem vähemalt 60 meetri pikkuse sõidukiirdesüsteemi korral.

Riigiteede sildadel ja viaduktidel, millel on kehtestatud kiiruspiirang 70 km/h või väiksem, on keskmine liiklusohutuse näitaja 0,02 hukkunu ekvivalenti ühe miljoni auto kohta. Joonisel 3.11 on toodud liiklusõnnetuse riskimäära ja sõidukiirdesüsteemi pikkuse seos rajatistel, millel on kiiruspiirang 70 km/h või madalam. Korrelatsioonikordaja sõidukiirdesüsteemi pikkuse ja hukkunu ekvivalenti miljoni auto kohta vahel on -0,038 ehk korrelatsiooni kahe suuruse vahel madalama kiiruspiiranguga rajatistel ei ole.



Joonis 3.11 Hukkunu ekvivalenti ja keskmise sõidukiirde pikkuse seos liiklussageduse alusel rajatistel, millel on kiiruspiirang 70 km/h või väiksem

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Liiklusõnnetuste andmete analüüsi põhjal on võimalik välja tuua, et liiklussageduse kasvades langeb liiklusõnnetustes vigastatute ja hukkunute arv miljoni sõiduki kohta, mis kirjeldab investeeringute suunamise prioriteetsust ja kõrgematele ohutusnõuetele vastavat taristut suurema liiklussagedusega teedel. Lisaks on liiklusõnnetuste arv väiksem teedel, millel on suurem piirkiirus. Madalama kiiruspiiranguga rajatistel on liiklusõnnetuste määr kõrgem, mis peegeldab kiiruspiirangute kehtestamist teedel, mille liikluskeskkond on tee parameetritest tulenevalt ohtlikum ja esineb muid riskitegureid. Sarnastele järeldusele jõuti ka Norra sildade ohutuse hindamise uuringus [26].

### 3.3 Sotsiaalmajanduslik mõju

Võttes arvesse tabelis 3.1 toodud hukkunu ekvivalendi suhtarv kõikidel rajatistel, millel on järgitud kehtestatud minimaalse sõidukiirde süsteemi nõuet, on suhtarvu väärtus 44% võrra väiksem, kui sildadel ja viaduktidel, millel nõuet järgitud ei ole. Selle põhjal on võimalik meetme efektiivsust hinnata õnnetuste raskusastme vähenemise efektiivsuseks 44%. Kui arvestada nimetatud meetme õnnetuste vähenemise efektiivsuseks 44%, korrutada see läbi hukkunu kuluga 2,57 miljonit eurot ning jagada meetme kuluga, mis antud juhul sõidukiirde nõuetele vastavaks viimise korral oleks 1,47 miljonit eurot, tuleb kuluefektiivsuse suhtarvuks 0,77, mis on väiksem kui üks ning meetme elluviimisel ei ole positiivset sotsiaalmajanduslikku mõju.

Kui vähendada minimaalse sõidukiirde pikkuse nõuet 80 meetrilt 60 meetrini, oleks meetme maksumuse kulu 300 000 euro võrra väiksem. Arvestades joonisel 3.9 toodut, et kiirde süsteemide pikkustel vahemikus 60 kuni 80 meetrit ei ole olulist liiklusõnnetuste riskimäära muutust, võib eeldada ja pidada ka liiklusohutuse meetme mõju samaväärseks ehk 44%. Tehes läbi uuesti tasuvusarvutuse vähendatud minimaalse kiirde süsteemi pikkusega, tuleb kuluefektiivsuse suhtarvuks 0,97 ehk ka see ei muudaks meedet sotsiaalmajanduslikult tasuvaks kõikide mittevastavate rajatiste kiirde süsteemide pikkuste suurendamiseks.

Iga rajatise sõidukiirde süsteemi sotsiaalmajandusliku tasuvuse arvutus on tehtud valemi 3.1 alusel.

$$K_e = \frac{(100 - (HE_r / HE_o * 100)) * (HE_o * H_k)}{(P_n - P_t) * P_h * 4} \quad (3.1)$$

Valemi tähised:

$K_e$  – Kuluefektiivsuse suhtarv

$HE_r$  – Hukkunu ekvivalent miljoni auto kohta referentsväärtus

$HE_o$  – Hukkunu ekvivalent miljoni auto kohta objekti väärtus

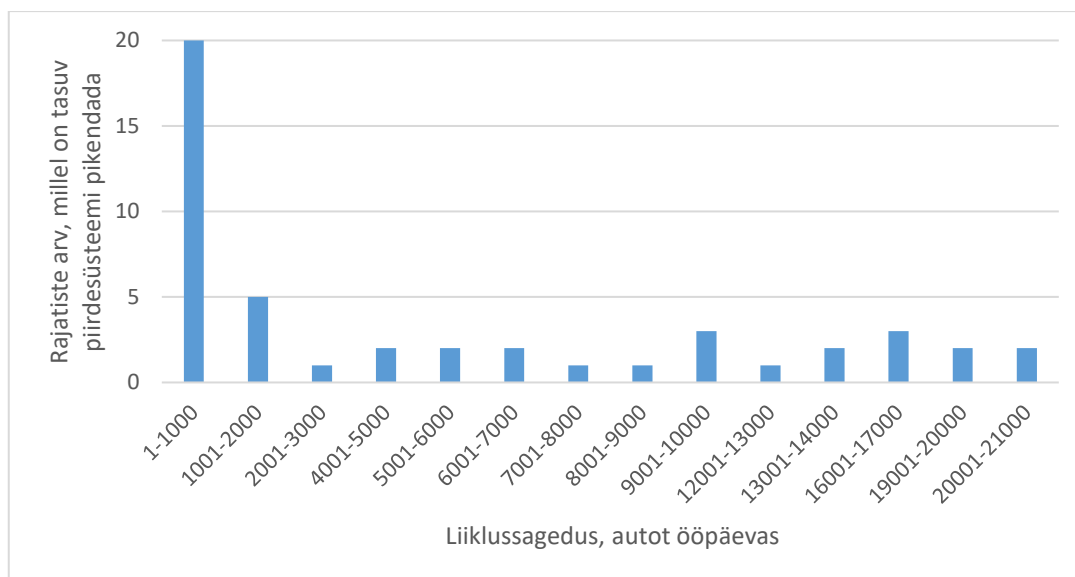
$H_k$  – Hukkunu kulu, €

$P_n$  – Sõidukiirde süsteemi nõude pikkus, m

$P_t$  – Sõidukiirde süsteemi tegelik pikkus, m

$P_h$  – Sõidukiirde süsteemi hind meetri kohta, €

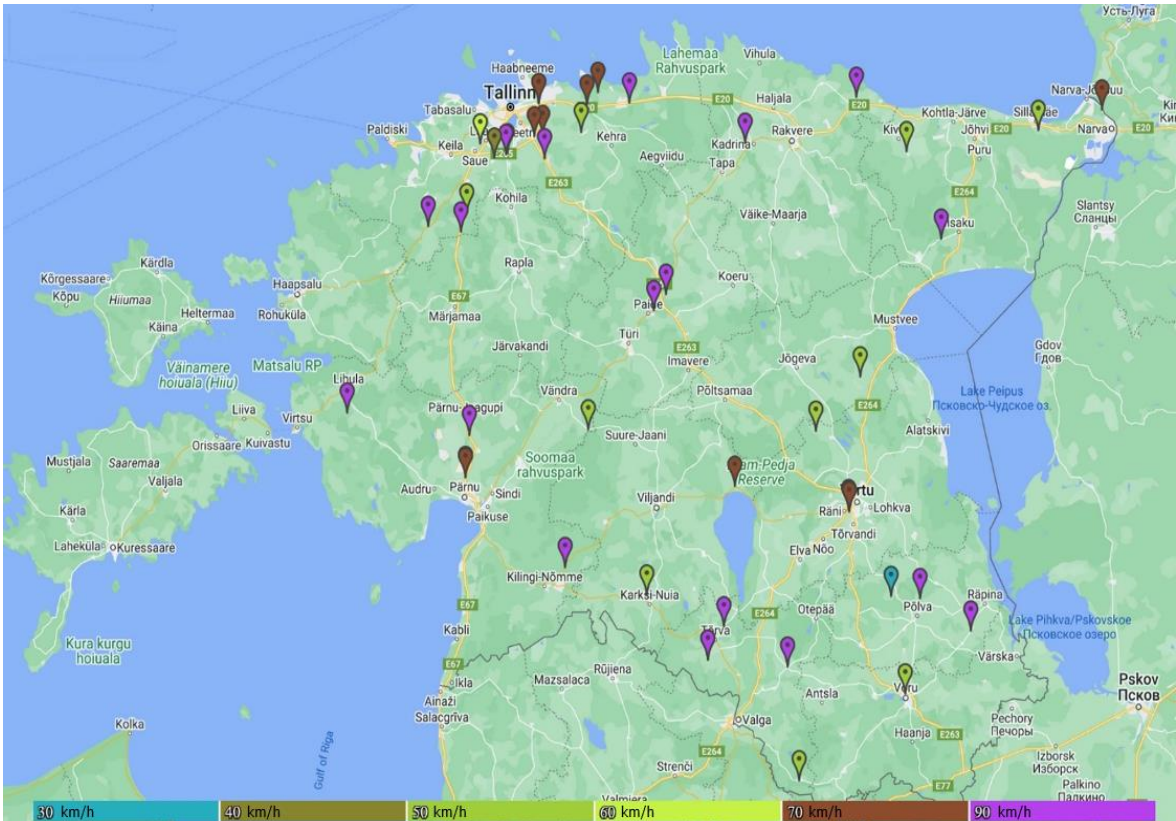
Arvutuse tulemusel on neljakümne seitsmel rajatisel kuluefektiivsuse suhtarvuks suurem kui üks. See tähendab, et neljakümne seitsmel rajatisel on sotsiaalmajanduslikult tasuv sõidukiirdesüsteemi, võrreldes praegusega, pikendada 60 meetrini. Sotsiaalmajanduslikult on tasuv pikendada kõrvalmaanteedel 22 rajatise, põhimaanteedel 16 rajatise ja tugimaanteedel üheksa rajatise sõidukiirdesüsteeme. Joonisel 3.12 on toodud rajatiste jagunemine liiklussageduse alusel, millel on sotsiaalmajanduslikult tasuv sõidukiirdesüsteemi pikendada 60 meetrini enne silda.



Joonis 3.12 Rajatiste arvu jagunemine liiklussageduse alusel, millel on sotsiaalmajanduslikult tasuv piirdesüsteemi pikendada

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

Rajatised, millel on sotsiaalmajanduslikult tasuv sõidukiirdesüsteemi pikendada 60 meetrini (joonis 3.13), paiknevad 21 juhul 90 km/h kiiruspiirangu alas. Kiiruspiirang 70 km/h on kehtestatud üheteistkümnel sillal ning kiiruspiirang 50 km/h on kehtestatud kaheteistkümnel sillal, millel on tasuv sõidukiirdesüsteemi pikendada. Kiiruspiirang 30 km/h, 40 km/h või 60 km/h on kehtestatud kokku kolmel rajatisel ehk iga kiiruspiirangu kohta ühel sillal. Kuivõrd piirkiirustel alla 50 km/h ei ole sotsiaalmajanduslikult mõistlik ja ristmike lähedal paiknemise tõttu võimalik sõidukiirdesüsteeme pikendada 60 meetrini, on investeringu vajaduse arvutusest selliste tingimustega rajatised välja jäetud. Investeringu vajaduse suuruseks on veidi üle 80 000 euro, mis jaguneb 33 rajatise vahel, millel sotsiaalmajanduslikult on tasuv sõidukiirdesüsteemi pikendada 60 meetrini.



Joonis 3.13 Rajatiste asukohad ja kehtestatud kiiruspiirang (km/h) sildadel, millel on sotsiaalmajanduslikult tasuv piirdesüsteemi pikendada

Allikas: Transpordiameti Teeregistri andmekogu andmed. Autori koostatud (2024)

### 3.4 Järeldused ja ettepanekud

Tuginedes esimeses peatükis toodud teoreetilistele lähtekohtadele, teises peatükis kirjeldatud metoodika alusel läbi viidud uurimusele ja kolmandas peatükis toodud tulemustele, on koondatud käesolevasse alapeatükki järeldused ja ettepanekud sõidukiirdesüsteemide pikkuste määramiseks enne rajatisi.

Käesoleva uurimuse tulemusel on võimalik järeldustena välja tuua, et vaid neljandikel rajatistel on nõutud sõidukiirdesüsteemi pikkus tagatud, kuid kõikide rajatiste kehtiva nõudega vastavusse viimine ei osutuks sotsiaalmajanduslikult tasuvaks. Kinnitust leidis väide, et sõidukiirdesüsteemi pikkuse ja vigastatutega lõppenud liiklusõnnetuste vahel on statistiliselt oluline seos. Uurimuse tulemustele tuginedes on koostatud ettepanekud kehtivate nõuete täpsustamiseks rajatiste sõidukiirdesüsteemide pikkuste valimisel.

### 3.4.1 Sõidukiirde pikkuse nõue

Töö autori koostatud ettepanek sõidukiirdesüsteemide pikkuste käsitlemiseks rajatistel sõltuvalt kehtestatud kiiruspiirangust ja liiklussagedusest on toodud tabelis 3.3. Tuginedes läbiviidud analüüsile, mis võttis arvesse riigiteede rajatistel toimunud liiklusõnnetusi ning nende sotsiaalmajanduslikku mõju, on asjakohane täpsustada nõudeid Transpordiameti juhendis „Teepiirdesüsteemid“ tabelis 3.3 toodud kujul. Oluline on mõista, et tabelis toodud väärtused on minimaalsed sõidukiirde pikkused enne rajatist ning täiendavate liikluskeskkonnas esinevate riskitegurite korral tuleks vajadusel kasutada pikemaid sõidukiirdeid. Üksikasjalikemate tee parameetrite arvesse võtmisel tasuks lähtuda SAVeRS töövahendist [14], kus on võimalik määrata täpsemaid teeandmeid ning saada sobivaim tulemus vastavatesse liiklusoludesse.

Tabel 3.3 Minimaalne sõidukiirdesüsteemi pikkus rajatistel sõltuvalt kiiruspiirangust ja liiklussagedusest

Liiklussagedus, autot ööpäevas	Minimaalne sõidukiirdesüsteemi pikkus enne rajatist (m), sõltuvalt kehtestatud kiiruspiirangust (km/h)			
	90 km/h	70-80 km/h	60 km/h	≤50 km/h
Kuni 5000	60	48	32	24
5001 kuni 10000	72	56	38	28
10001 ja rohkem	80	68	48	32

Allikas: Autori koostatud (2024)

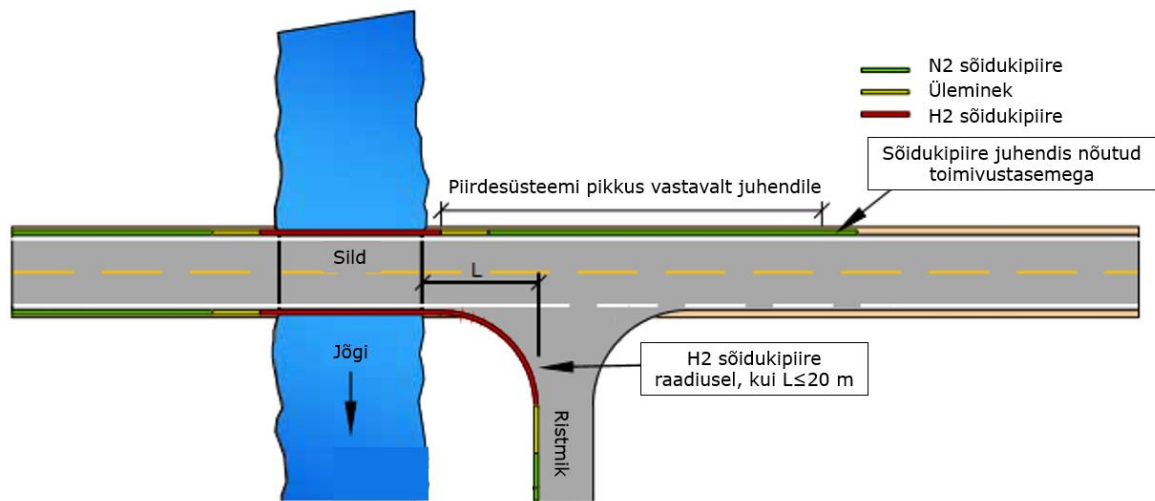
### 3.4.2 Piirde pikkus mahasõidu korral ja muud välistused

Sõidukiirdesüsteemi pikkuse tagamisel võib tekkida välistusi, mis ei võimalda tagada katkematut piirdesüsteemi pikkust. Peamiseks põhjuseks võib olla näiteks lähedal asuv madala liiklussagedusega ristmik ehk mahasõit. Kui nõutud minimaalset sõidukiirdesüsteemi pikkust ei ole võimalik tagada, tuleb rakendada alternatiivseid meetmeid. Ristmiku paiknemine riigitee rajatise minimaalse nõutud sõidukiirdesüsteemi pikkuse sees on oluline aspekt, millele tähelepanu pöörata nõude kehtestamisel ning olukorra esinemisel tuleks anda suunised, kuidas olukord lahendada. Kolmandikel rajatistest, millel on kehtestatud kiiruspiirang üle 70 km/h ehk millel kehtib minimaalne sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõue, paikneb eelnev või järgnev ristmik lähemal kui 80 meetrit ehk minimaalse sõidukiirde paigalduspikkuse nõudest ei ole



võimalik kinni pidada. Kui vähendada minimaalset sõidukiirdesüsteemi pikkuse nõuet 60 meetrini, väheneks rajatiste arv viiendikuni, millel ristmik paikneks minimaalse kiirdesüsteemi paigalduspikkuse sees.

Norra piirete juhendis [39] on toodud nõue, et kui mahasõit või ristmik paikneb lähemal kui 20 meetrit enne ohukohta, kasutatakse H2 toimivustasemega piiret ka ristmiku raadiusel kuni külgneva tee täisosa alguseni (joonis 3.14). Seda on asjakohane järgida, kui külgneval teel on samuti võimalik ja asjakohane sõidukiirdesüsteemiga pikemalt jätkata. Teise alternatiivina tuleks ristmikel, mis tingivad rajatise ebapiisava pikkusega sõidukiirdesüsteemide paigaldamise, kasutada raadiusel kasutamiseks sobivat EVS-EN 1317 kohast energianeelduvusega terminali, näiteks Primus Arcus 90 või analoog (joonis 3.15).



Joonis 3.14 H2-toimivustasemega sõidukiirde kasutamine ristmiku raadiusel, kui ristmik asub rajatisele lähemal kui 20 meetrit

Allikas: [39]. Autori tõlgitud (2024)



Joonis 3.15 Ristmiku raadiusel kasutatav energianeelduvusega terminal Arcus Primus 90

Allikas: [68]

**Välistusena** tuleks arvesse võtta, et käesolev uurimus hõlmas ainult riigiteedel paiknevate sildade ja viaduktide sõidukiirdesüsteeme. Täiendavalt tuleks uurida kohalike omavalitsuste teede rajatiste sõidukiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele. Lisaks eeltoodule ei käsitletud käesolevas töös teiste teeäärsete takistuste või ohualade kaitseks paigaldatud sõidukiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele ning sotsiaalmajanduslikku tasuvust.

## KOKKUVÕTE

Transpordivaldkonna üheks peamiseks eesmärgiks on liiklusõnnetustes hukkunute ja raskelt vigastatute arvu vähendamine ning ambitsioonikama eesmärgina täielik vältimine. Liiklusõnnetustes hukkunute ja vigastatute vähendamiseks tuleb luua passiivselt turvaline ja andestav liikluskeskkond, mis hoiaks ära traagiliste tagajärgede esinemise ka liikleja eksimuse korral. Sõidukiirdesüsteemid on levinuim passiivse turvalisuse meede ning sobiva toimivustaseme ning pikkusega piirdesüsteem on ohutu liikluskeskkonna loomiseks kriitilise tähtsusega. Magistritöö uurimusprobleemiks oli asjaolu, et puudub tõestatud seos Eestis kehtestatud sõidukiirdesüsteemide pikkuse nõude ja liiklusõnnetuste toimumise vahel ning teadmine, kui suurel määral mõjutavad sõidukiirdesüsteemide pikkused rajatistel liiklusõnnetuste raskusastet.

Töö käigus selgitati välja kehtivate sõidukiirdesüsteemide nõuete täitmise ulatus, rakendamise võimalikkus ning sotsiaalmajanduslik tasuvus. Töö eesmärk oli välja töötada sildadele ja viaduktidele sotsiaalmajanduslikult tasuvad sõidukiirdesüsteemide pikkused, võttes arvesse liiklussagedust ja toimunud liiklusõnnetusi, tagamaks suhtelist ohutust passiivse turvalisuse kaudu. Töö tulemusel on võimalik teomanikul leida optimaalseim lahendus sõidukiirdesüsteemide pikkuse valimisel, arvestades liiklejate ohutust, riskihinnangut ja vahetu investeeringu kulukust.

Eesmärgi saavutamiseks püstitati järgnevad uurimisküsimused:

- Kui paljudel sildadel vastavad sõidukiirdesüsteemide pikkused kehtestatud nõuetele?
- Milline on seos rajatistel toimunud liiklusõnnetustel ja sõidukiirdesüsteemide pikkuste vahel?
- Millised nõuded kehtestada sildadel, kus neid siiani ei olnud?

Töö eesmärgi täitmisel lähtuti Transpordiameti liiklusõnnetuste ja Teeregistri andmekogude andmetest. Teeregistri andmetele tuginedes analüüsiti 1069 riigiteedel paiknevat silda ja viadukti. Transpordiameti liiklusõnnetuste andmekogust kaasati ajavahemikul 1. jaanuar 2011 kuni 31. detsember 2023 toimunud hukkunute ja vigastatutega liiklusõnnetuste andmed. Nimetatud perioodil on riigiteede rajatistel liiklusõnnetustes hukkunud 30 ja vigastada saanud 400 inimest. Ühesõidukiõnnetustes oli riigiteede rajatistel hukkunuid 8 ja vigastatuid 123.

Vigastustega lõppenud liiklusõnnetused taandati hukkunuga liiklusõnnetusteks, kasutades keskmise kahju määra suhet - viis vigastatut võrdub ühe hukkunuga, mille tulemusel saadi hukkunu ekvivalent iga rajatise kohta. Võttes arvesse rajatise aastast keskmist ööpäevast liiklussagedust (AKÖL), leiti iga rajatise liiklusohutuse näitaja ehk riskimäär miljoni auto kohta.

Teeregistri andmete ja Transpordiameti liiklusõnnetuste statistilisest analüüsist selgusid järgmised tulemused. Kõikidest riigiteede sildadest ja viaduktidest (1069) kohaldub Transpordiameti juhend "Teepiirdesüsteemid" minimaalse piirdesüsteemi pikkuse nõue ligi kahele kolmandikule valimist (677). Pooltel nimetatud rajatistest on liiklussagedus väiksem kui 700 autot ööpäevas. Minimaalse sõidukiirde pikkuse nõue on täidetud kõigest veerandil rajatisest, millele see kohaldub. Kõikidest mittevastavatest objektidest kolmveerandil on liiklussagedus kuni 1500 autot ööpäevas.

Rohkem kui kolmandikel rajatistel (392) ei ole sõidukiirdesüsteemi minimaalne pikkus reguleeritud. Hoolimata minimaalse piirdesüsteemi pikkuse nõude puudumisest ja madalamast kehtestatud piirkiirusest (piirkiirus 70 km/h või väiksem), on keskmine piirdesüsteemi pikkus enne rajatist kuue meetri võrra suurem, kui sama suure liiklussagedusega rajatistel, millel on kehtestatud minimaalse piirdesüsteemi pikkuse nõue. Madalama piirkiirusega rajatistel on oluliselt kõrgem liiklusohutuse riskimäär, mis peegeldab kiiruspiirangute kehtestamist teedel, mille liikluskeskkond on tee parameetritest tulenevalt ohtlikum ja esineb muid riskitegureid.

Rajatistel toimunud liiklusõnnetuste ja sõidukiirdesüsteemide minimaalse pikkuse nõude täitmise vahel ilmnas statistiliselt oluline seos. Samas leiti, et miljoni auto kohta taandatud liiklusõnnetuse riskimäär ei erinenud olulisel määral, kui sillale eelnenud piirdesüsteemi pikkus oli 60 meetrit või 80 meetrit. Kuivõrd kõikidel mittevastava piirdesüsteemiga sildade 80 meetri nõudega vastavusse viimine ei osutunud sotsiaalmajanduslikult tasuvaks, teostati arvutus ka 60 meetri tingimuse korral, mis samuti ei osutunud sotsiaalmajanduslikult tasuvaks kõikidel mittevastavatel rajatistel. Eelnevale tuginedes viidi sotsiaalmajandusliku tasuvuse arvutus läbi iga rajatise kohta eraldi ning leiti 33 rajatist, millel piirdesüsteemi pikendamine 60 meetrini osutuks tasuvaks. Investeeringu vajadus oleks veidi üle 80 000 euro. Hetkel kehtiva nõude täitmine eeldaks vähemalt 1,47 miljoni euro suurust investeeringut, kuid ei osutuks sotsiaalmajanduslikult tasuvaks.

Töö tulemusel esitati ettepanekud riigiteede juhendmaterjalide ehk teomaniku kvaliteeditingimuste muutmiseks. Ettepanekuna tuleks täiendada Transpordiameti juhendit "Teepiirdesüsteemid" käesolevas töös esitatud tulemuste ja soovitud sõidukiirdesüsteemide projekteerimiseks ja paigalduspikkuste määramiseks. Lisaks on võimalik töö tulemusi kasutada investeeringute planeerimiseks ning vajalike meetmete elluviimiseks.

Käesolev uurimus hõlmas ainult riigiteedel paiknevate sildade ja viaduktide sõidukiirdesüsteeme. Täiendavalt tuleks uurida kohalike omavalitsuste teede rajatiste sõidukiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele. Lisaks eeltoodule ei käsitletud käesolevas töös teiste teeäärsete takistuste või ohualade kaitseks paigaldatud sõidukiirdesüsteemide mõju liiklusohutusele ning sotsiaalmajanduslikku tasuvust.

# SUMMARY

## The Impact of Bridge Vehicle Restraint Systems on Road Safety

Erik Vahemäe

One of the main objectives in the field of transport is to reduce the number of fatalities and serious injuries in traffic accidents, and more ambitiously, to avoid them altogether. To reduce the number of fatalities and injuries in traffic accidents, a passively safe and forgiving traffic environment must be created that would prevent tragic consequences even in the event of a user error. Vehicle restraint systems are the most common passive safety measure, and a restraint system with an appropriate level of performance and length is critical for creating a safe traffic environment. The research problem of the master's thesis was the fact that there is no proven correlation between the length requirement of vehicle restraint systems established in Estonia and the occurrence of traffic accidents, and the knowledge of how much the lengths of vehicle restraint systems on structures affect the severity of traffic accidents.

During the work, the extent of compliance with the current vehicle restraint system requirements, the possibility of implementation, and socio-economic profitability were clarified. The aim of the work was to develop socio-economically profitable lengths of vehicle restraint systems for bridges and viaducts, taking into account traffic intensity and traffic accidents that have occurred, to ensure relative safety through passive safety. As a result of the work, it is possible for the road owner to find the optimal solution in choosing the length of the vehicle restraint systems, taking into account the safety of road users, risk assessment, and the cost of direct investment.

Research questions were following:

- How many bridges meet the length requirements of vehicle restraint systems?
- What is the relationship between traffic accidents on structures and the lengths of vehicle restraint systems?
- What requirements to establish on bridges where there were none so far?

In fulfilling the objective of the work, data from the Transport Administration's traffic accidents and Road Register databases were used. Based on the data of the Road Register, 1069 bridges and viaducts located on national roads were analyzed. Data of fatal and injured traffic accidents that occurred from January, 2011 to December, 2023

were included from the Transport Administration's traffic accident database. During the mentioned period, 30 people were killed and 400 injured in traffic accidents on national road structures. There were 8 fatalities and 123 injuries in single-vehicle accidents on national road structures.

Injuries resulting in traffic accidents were reduced to fatal traffic accidents, using the ratio of the average damage rate - five injured equals one dead. Fatality equivalent was obtained for each structure. Taking into account the annual average daily traffic intensity (AADT) of the structure, the traffic safety indicator or risk rate per million cars was found for each structure.

The statistical analysis of the Road Register data and the Transport Administration's traffic accident statistics revealed the following results. Of all the bridges and viaducts on national roads (1069), the Transport Administration's guide "Road Restraint Systems" minimum restraint system length requirement applies to nearly two-thirds of the sample (677). Half of the mentioned structures have a traffic intensity of less than 700 cars per day. The minimum vehicle barrier length requirement is met in only a quarter of the structure to which it applies. Three-quarters of all non-compliant objects have a traffic intensity of up to 1500 cars per day.

More than a third of the structures (392) do not have a minimum length of the vehicle restraint system regulated. Despite the lack of a minimum restraint system length requirement and a lower established speed limit (speed limit 70 km/h or less), the average restraint system length before the structure is six meters longer than on structures with the same traffic intensity, which have a minimum restraint system length requirement. Structures with a lower speed limit have a significantly higher traffic safety risk rate, which reflects the establishment of speed limits on roads where the traffic environment is more dangerous due to road parameters and there are other risk factors.

A statistically significant correlation was found between traffic accidents on structures and the fulfillment of the minimum length requirement of vehicle restraint systems. However, it was found that the traffic accident risk rate reduced per million cars did not differ significantly if the restraint system length before the bridge was 60 meters or 80 meters. Since bringing all non-compliant restraint system bridges into compliance with the 80-meter requirement did not prove to be socio-economically profitable, the calculation was also performed under the 60-meter condition, which also did not prove to be socio-economically profitable on all non-compliant structures. Based on the above, a socio-economic profitability calculation was carried out for each structure separately,

and 33 structures were found where extending the restraint system to 60 meters would be profitable. The need for investment would be just over 80,000 euros. Fulfilling the current requirement would require an investment of at least 1.47 million euros, but would not prove to be socio-economically profitable.

As a result of the work, proposals were made to change the national road guide materials, i.e., the quality conditions of the road owner. As a proposal, the Transport Administration's guide "Road Restraint Systems" should be supplemented with the results and recommendations presented in this work for the design of vehicle restraint systems and the determination of installation lengths. In addition, it is possible to use the results of the work for planning investments and implementing necessary measures.

This study covered only the vehicle restraint systems of bridges and viaducts located on national roads. In addition, the impact of the vehicle restraint systems of local government road structures on traffic safety should be investigated. In addition to the above, this work did not address the impact of vehicle restraint systems installed to protect other roadside obstacles or hazard areas on traffic safety and socio-economic profitability.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „EU Road Safety policy - European Commission“. Vaadatud: 14. veebruar 2024. [Online]. Available at: [https://road-safety.transport.ec.europa.eu/eu-road-safety-policy\\_en](https://road-safety.transport.ec.europa.eu/eu-road-safety-policy_en)
- [2] „Detail of a publication | Virtual Library of PIARC | Road Safety Evaluations Based on Human Factors Method - Technical Report“. Vaadatud: 14. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.piarc.org/en/order-library/31358-en-Road%20Safety%20Evaluations%C2%A0Based%20on%20Human%20Factors%20Method%20-%20Technical%20Report>
- [3] „ROAD SAFETY REPORT 2021 | SWEDEN“. OECD. Vaadatud: 20. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/sweden-road-safety.pdf>
- [4] „Liiklusohutusprogramm 2016-2025 | Transpordiamet“. Vaadatud: 14. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/liiklusohutusprogramm>
- [5] R. Johansson, „Vision Zero – Implementing a policy for traffic safety“, *Saf. Sci.*, kd 47, nr 6, lk 826–831, juuli 2009, doi: 10.1016/j.ssci.2008.10.023.
- [6] „Tegevuspõhine riigieelarve | Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium“. Vaadatud: 21. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.mkm.ee/ministeerium-uudised-ja-kontakt/strateegiline-juhtimine/tegevuspohine-riigieelarve>
- [7] „Liiklusohutus maanteedel ja raudteel“. Riigikontroll, 2024. Vaadatud: 20. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigikontroll.ee/tabid/206/Audit/6568/language/et-EE/Default.aspx>
- [8] „RIIGITEEDE TEEHOIU RAHAVAJADUSE STRATEEGILINE ANALÜÜS 2019-2048“. Teede Tehnokeskus AS, 2019. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/media/3141/download>
- [9] „Teedevõrgu ohutustamine - kord ja metoodiline juhend“. Inseneribüroo Stratum, 2010. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/media/3448/download>
- [10] „Teedevõrgu liiklusohutuse hindamise nõuded–Riigi Teataja“. Vaadatud: 20. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/102092016001?leiaKehtiv>
- [11] „EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV (EL) 2019/1936“. Vaadatud: 11. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=celex%3A32019L1936>
- [12] R. Elvik, A. Høye, T. Vaa, ja M. Sørensen, *The Handbook Of Road Safety Measures: Second Edition*. 2009.
- [13] M. Helfert, P. Nitsche, ja R. Stütz, „A SIMULATION-BASED CONCEPT FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF FORGIVING ROADSIDE TREATMENTS“.
- [14] F. La Torre *et al.*, „Selection of the Most Appropriate Roadside Vehicle Restraint System – The SAVeRS Project“, *Transp. Res. Procedia*, kd 14, lk 4237–4246, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.395.

- [15] M. Budzynski *et al.*, „The effects of vehicle restraint systems on road safety”, *MATEC Web Conf.*, kd 262, lk 05003, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201926205003.
- [16] A. Carlsson, „Evaluation of 2+1-roads with cable barrier: Final report”. Swedish National Road and Transport Research Institute, 2009.
- [17] J. L. Martin, Y. Derrien, P. Bloch, ja G. Boissier, „SEVERITY OF RUN-OFF-CRASHES WHETHER MOTORWAY HARD SHOULDERS ARE EQUIPPED WITH A GUARDRAIL OR NOT”. 1. november 2001. Vaadatud: 14. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/SEVERITY-OF-RUN-OFF-CRASHES-WHETHER-MOTORWAY-HARD-A-Martin-Derrien/6424a225c18e6c0deee73e522de2a7fef244e057>
- [18] „EVS-EN 1317-1:2010 - EVS standard evs.ee | et”. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1317-1-2010>
- [19] A. Mehrara Molan, M. Rezapour, ja K. Ksaibati, „Modeling the impact of various variables on severity of crashes involving traffic barriers”, *J. Transp. Saf. Secur.*, kd 12, nr 6, lk 800–817, juuli 2020, doi: 10.1080/19439962.2018.1547995.
- [20] M. Budzynski, K. Jamroz, K. Wilde, W. Witkowski, L. Jelinski, ja D. Bruski, „The role of numerical tests in assessing road restraint system functionality”, *Eur. Transp. Res. Rev.*, kd 12, nr 1, lk 30, dets 2020, doi: 10.1186/s12544-020-00424-8.
- [21] S. Stanislawek, P. Dziejewski, ja P. Kedzierski, „Deterioration of Road Barrier Protection Ability Due to Variable Road Friction”, *Int. J. Simul. Model.*, kd 18, nr 3, lk 432–440, sept 2019, doi: 10.2507/IJSIMM18(3)480.
- [22] Z. Kamaitis, „Influence of functionally obsolete bridges on the efficiency of road network. Part I: obsolescence characteristics and assessment”, *Balt. J. Road Bridge Eng.*, kd 7, nr 3, lk 173–180, okt 2012, doi: 10.3846/bjrbe.2012.24.
- [23] Y. Zhou ja S. Chen, „Fully coupled driving safety analysis of moving traffic on long-span bridges subjected to crosswind”, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, kd 143, lk 1–18, aug 2015, doi: 10.1016/j.jweia.2015.04.015.
- [24] A. Alonso-Estébanez, J. J. Del Coz Díaz, F. P. Álvarez Rabanal, ja P. Pascual-Muñoz, „Numerical simulation of bus aerodynamics on several classes of bridge decks”, *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.*, kd 11, nr 1, lk 435–449, jaan 2017, doi: 10.1080/19942060.2016.1201544.
- [25] F. Sagberg, R. Elvik, ja P. A. Langeland, „Crash risk on entrance versus exit zones of road bridges in Norway”, *Accid. Anal. Prev.*, kd 134, lk 105247, jaan 2020, doi: 10.1016/j.aap.2019.07.023.
- [26] R. Elvik, F. Sagberg, ja P. A. Langeland, „An analysis of factors influencing accidents on road bridges in Norway”, *Accid. Anal. Prev.*, kd 129, lk 1–6, aug 2019, doi: 10.1016/j.aap.2019.05.002.
- [27] G. Mehta, J. Li, R. T. Fields, Y. Lou, ja S. Jones, „Safety Performance Function Development for Analysis of Bridges”, *J. Transp. Eng.*, kd 141, nr 8, lk 04015010, aug 2015, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000776.

- [28] „Tee projekteerimise normid 2015–Riigi Teataja“. Vaadatud: 7. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015014>
- [29] „Juhis passiivse ohutuse tagamiseks teedel sõidukiirdesüsteemide abil“. Maanteeamet, 2014.
- [30] „Piirded riigiteedel - Juhis passiivse ohutuse tagamiseks teedel sõidukiirdesüsteemide abil“. Maanteeamet, 2016.
- [31] „Tee projekteerimise normid–Riigi Teataja“. Vaadatud: 6. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122112023009>
- [32] „Riigiteede juhendid -Teepiirdesüsteemid“. Transpordiamet, 2023. Vaadatud: 6. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/riigiteede-juhendid#tee-piirdesusteemid>
- [33] „Tee-ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord–Riigi Teataja“. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/124092014005?leiaKehtiv>
- [34] „CEN/TR 1317-10:2023 - EVS standard evs.ee | et“. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/cen-tr-1317-10-2023>
- [35] „CEN/TR 16949:2016 - EVS standard evs.ee | et“. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/cen-tr-16949-2016>
- [36] „EVS-EN 16303:2020 - EVS standard evs.ee | et“. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-16303-2020>
- [37] „EVS-EN 12767:2019 - EVS standard evs.ee | et“. Vaadatud: 15. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-12767-2019>
- [38] „Richtlinien für passiven Schutz an Strassen durch FahrzeugRückhaltesysteme““. Vaadatud: 16. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://lnv-bw.de/wp-content/uploads/2014/05/FGSV-RL-passiver-Schutz-an-Stra%C3%9Fen-2009-1.pdf>
- [39] „Vegrekkverk og andre trafikksikkerhetstiltak - Håndbok V160“. Vaadatud: 2. veebruar 2024. [Online]. Available at: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/3047051>
- [40] „Rundskriv NA 201 5/1 3 Endringer i håndbok N1 01 for motorveg med fartsgrense 110 km/t“. 2016.
- [41] „Tiekaiteiden suunnittelu“, 2023.
- [42] The American Association of State Highway and Transportation Officials, *Roadside Design Guide, 4th Edition*. 2011.
- [43] F. D. B. Albuquerque, D. L. Sicking, C. S. Stolle, R. K. Faller, K. A. Lechtenberg, ja E. Emerson, „Optimal guardrail runout lengths for freeways“, *J. Transp. Saf. Secur.*, kd 9, nr 4, lk 403–418, okt 2017, doi: 10.1080/19439962.2016.1237599.
- [44] E. Tomasch *et al.*, „Required length of guardrails before hazards“, *Accid. Anal. Prev.*, kd 43, nr 6, lk 2112–2120, nov 2011, doi: 10.1016/j.aap.2011.05.034.

- [45] Ceki Erginbas *et al.*, „SAVeRS-Project :: 'Defining the Different Parameters which can influence the need and selection of VRS'", 2014, doi: 10.13140/RG.2.1.4293.0649.
- [46] C. Stefan, C. Beleznai, I. Erdelean, ja M. Hahn, „Image-based identification and GIS-integration of vehicle restraint systems and evaluation of safety effects", *Int. J. Saf. Secur. Eng.*, kd 9, nr 3, lk 344–355, nov 2019, doi: 10.2495/SAFE-V9-N4-344-355.
- [47] „Induktiivne strateegia, tsükliline uuringuprotsess – Teadustöö alused". Vaadatud: 4. mai 2024. [Online]. Available at: [https://sisu.ut.ee/teadustoo\\_alused/induktiivne-strateegia-tsukliline-uuringuprotsess/](https://sisu.ut.ee/teadustoo_alused/induktiivne-strateegia-tsukliline-uuringuprotsess/)
- [48] „Hea teadustava | Tartu Ülikool". Vaadatud: 22. märts 2024. [Online]. Available at: <https://eetika.ee/et/sisu/hea-teadustava>
- [49] S. Hirsjärvi, P. Remes, ja P. Sajavaara, *Uuri ja kirjuta*. Tartu: kirjastus Greif, 2010.
- [50] „Teeregister". Vaadatud: 15. märts 2024. [Online]. Available at: <https://avaandmed.eesti.ee/datasets/teeregister>
- [51] „Teeregister | Transpordiamet". Vaadatud: 7. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.transpordiamet.ee/teeregister>
- [52] „Liiklusõnnetuse registreerimise, asjaolude väljaselgitamise ja arvestuse kord ning liiklusõnnetuste andmekogu pidamise põhimäärus–Riigi Teataja". Vaadatud: 5. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110072018009?leiaKehtiv>
- [53] „Transpordiameti inimkannatanutega liiklusõnnetuste andmed perioodil 2011-2023". Vaadatud: 15. märts 2024. [Online]. Available at: <https://avaandmed.eesti.ee/datasets/inimkannatanutega-liiklusonnetuste-andmed>
- [54] „Liikluskindlustusfondi kindlustusjuhtumid perioodil 2017-2023". Vaadatud: 15. märts 2024. [Online]. Available at: <https://kindlustus.maps.arcgis.com/apps/Viewer/index.html?appid=abd977aeea074631845cc67bfc3da87d>
- [55] „Teeregistri aadress-süsteemi juhend". Transpordiamet, 2023. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/media/19009/download>
- [56] „Liiklusohlike kohtade riskiarvutused 2022". Transpordiamet.
- [57] R. Thomson *et al.*, „Submitted by: Chalmers University of Technology".
- [58] W. Wijnen *et al.*, „An analysis of official road crash cost estimates in European countries", *Saf. Sci.*, kd 113, lk 318–327, märts 2019, doi: 10.1016/j.ssci.2018.12.004.
- [59] S. Cafiso ja C. D'Agostino, „Evaluating the safety benefit of retrofitting motorways section with barriers meeting a new EU standard: Comparison of observational before–after methodologies", *J. Traffic Transp. Eng. Engl. Ed.*, kd 4, nr 6, lk 555–563, dets 2017, doi: 10.1016/j.jtte.2017.05.012.

- [60] G. Loprencipe, L. Moretti, G. Cantisani, ja P. Minati, „Prioritization methodology for roadside and guardrail improvement: Quantitative calculation of safety level and optimization of resources allocation“, *J. Traffic Transp. Eng. Engl. Ed.*, kd 5, nr 5, lk 348–360, okt 2018, doi: 10.1016/j.jtte.2018.03.004.
- [61] S. Daniels *et al.*, „A systematic cost-benefit analysis of 29 road safety measures“, *Accid. Anal. Prev.*, kd 133, lk 105292, dets 2019, doi: 10.1016/j.aap.2019.105292.
- [62] O. Koppel ja E. Ernits, „LIIKLUSÕNNETUSTEST ÜHISKONNALE PÕHJUSTATUD KAHJUDE MÄÄRAMISE METOODIKA TÄIUSTAMINE, KAHJUDE SUURUSE HINDAMINE JA PROGNOOSIMINE“, 2012.
- [63] M. H. Ray *et al.*, *Roadside Safety Analysis Program (RSAP) Update*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2022, lk 26521. doi: 10.17226/26521.
- [64] H. Karim ja R. Magnusson, „Road Design for Future Maintenance Problems and Possibilities“, *J. Transp. Eng.*, kd 134, nr 12, lk 523–531, dets 2008, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2008)134:12(523).
- [65] D. Wolford ja D. L. Sicking, „Guardrail Need: Embankments and Culverts“, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, kd 1599, nr 1, lk 48–56, jaan 1997, doi: 10.3141/1599-06.
- [66] „Steel - Price - Chart - Historical Data - News“. Vaadatud: 7. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://tradingeconomics.com/commodity/steel>
- [67] H. Karim, M. Alam, ja R. Magnusson, „Road Barrier Repair Costs and Influencing Factors“, *J. Transp. Eng.*, kd 137, nr 5, lk 349–359, mai 2011, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000227.
- [68] „Intertraffic“. [Online]. Available at: [https://company.intertraffic.com/Image/Download?docid=79437&dl=MIJNRAI\\_TO\\_P\\_LIBRARY&ltc=MIJNRAI\\_LOGIN\\_PRIVATEFILE](https://company.intertraffic.com/Image/Download?docid=79437&dl=MIJNRAI_TO_P_LIBRARY&ltc=MIJNRAI_LOGIN_PRIVATEFILE)