



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**FOORIPROGRAMMIDE KOOSTAMISEKS
VAJALIKE PARAMEETRITE MÄÄRAMINE**

**ASSESSMENT OF TRAFFIC SIGNAL TIMING PLAN
PARAMETERS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Tepandi

Üliõpilaskood 182798EALM

Juhendaja: Dago Antov
Transpordiplaneerimise professor

Tallinn 2020

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.

(kuupäev digiallkirjas)

Autor: Tanel Tepandi

(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

(kuupäev digiallkirjas)

Juhendaja: Prof. Dago Antov

(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

(kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees: Jelizaveta Janno

(allkirjastatud digitaalselt)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Tanel Tepandi (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 26.12.1993)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Fooriprogrammide koostamiseks vajalike parameetrite määramine“,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Dago Antov

(juhendaja nimi)

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.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäev digiallkirjas)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tanel Tepandi, 182798EALM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: EALM02/18 – Logistika, liikuvuskorraldus (kood ja nimetus)
Juhendaja: Dago Antov, Transpordiplaneerimise professor, tel 620 2609
(amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

Fooriprogrammide koostamiseks vajalike parameetrite määramine
Assessment of traffic signal timing plan parameters

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Koostada ülevaade hetkel kasutatavast fooriprogrammide koostamise meetodikast Eestis ja mujal ning selgitada välja vajalikud parameetrid, mida fooriprogrammide koostamisel kasutatakse.
2. Teostada uuring liikluses, et määrata vajalikud parameetrid.
3. Võrrelda saadud parameetreid kasutatavate parameetritega.
4. Leida parameetrid, mida kasutada edaspidi fooriprogrammide koostamisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Fooriprogrammide koostamise teoreetilise tausta koostamine ja uurimismetoodika määramine	01.03
2.	Liiklusolukorra seire foorjuhitavatel ristmikel vastavalt püstitatud lähteülesandele	01.04
3.	Videomaterjali analüüs ja andmestiku koostamine	01.05
4.	Tulemuste vormistamine, võrdlemine ja järelduste formuleerimine. Töö vormistamine ja esitamine	15.05

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25." mai. 2020a

Üliõpilane: Tanel Tepandi (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)
Juhendaja: Dago Antov (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)
Programmijuht: Jelizaveta Janno (kuupäev digiallkirjas)
(allkirjastatud digitaalselt)

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1. FOORJUHTAVAD RISTMIKUD	11
1.1 Fooriprogrammide projekteerimine	17
1.2. Mujal kasutatavad fooriprogrammide koostamise meetodid	20
1.3. Fooriprogrammide koostamise metoodika Eestis	23
2. METOODIKA	28
2.2. Varasemad uuringud ja andmestikud	28
2.3. Uuringu läbiviimise metoodika	33
2.3.1. Andmete kogumine	34
2.3.2. Andmestiku koostamine	36
2.3.3. Andmestiku analüüsi meetod	39
3. TULEMUSED	40
3.1. Sõidukijuhtide käitumine fooriristmikel	40
3.2. Jalakäijate ja jalgratturite käitumine foorjuhitavatel ristmikel ja ülekäikudel	48
3.3. Fooriprogrammide projekteerimise soovitatavad parameetrid	52
3.4. Järeldused ja ettepanekud	56
KOKKUVÕTE	59
SUMMARY	61
KASUTATUD KIRJANDUS	63
Lisa 1 Sõidukite vaatlustulemuste kokkuvõtlik tabel	65

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö pealkiri on „Fooriprogrammide koostamiseks vajalike parameetrite määramine“. Antud lõputöö teema on sõnastatud koostöös lõputöö juhendaja Dago Antoviga.

Foorjuhitavatel ristmikel kasutatakse liikluse reguleerimiseks fooriprogramme. Fooriprogrammide koostamine ei ole õigusaktides ega standardites nende koostamiseks vajalikus ulatuses reguleeritud. Fooriprogrammide optimeerimine aitab kaasa liiklusohutuse suurenemisele ja võimaldab suurendada foorjuhitava ristmiku läbilaskevõimet.

Töö eesmärgiks on leida parameetrid, mida kasutada fooriprogrammide koostamisel ja võrrelda neid hetkel kasutatavate parameetritega.

Töös kasutati kvantitatiivset uurimismeetodit. Töö käigus analüüsiti foorjuhitavaid ristmikke kolmes Eesti linnas ning leiti vajalikud parameetrid või nende vahemikud.

Antud magistritöö alusel võiks koostada täiendavad uuringud, et kinnitada toodud parameetrid. Kui parameetreid on piisavalt uuritud, oleks vajalik koostada fooriprogrammide koostamiseks standard või määrus, et likvideerida hetkeolukord, kus fooriprogrammide koostamine ei ole reguleeritud.

Soovin tänada järgnevaid isikuid ja asutusi, kes olid abiks käesoleva magistritöö koostamisel:

- Dago Antov – lõputöö juhendaja. Aitas teema formuleerimise ja konsultatsioonidega;
- AS Signaal TM – Tallinna foorjuhitavate ristmike andmebaasile ligipääsu eest.

Võtmesõnad: foorjuhtimine, fooriprogrammi koostamine, reguleeritud ristmik

Lühendite ja tähiste loetelu

c_i – sõiduraja tegelik läbilaskvus (sa/h)

eR – enne roheline fooritule lülitumist ristmikule sisenenud sõidukite arv

I – intervall (s)

JK – jalakäija

JR – jalgrattur

K – kollase fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv

l_l – lahkumisteedekonna pikkus (m)

l_s – saabumisteedekonna pikkus (m)

m_i – ühele sõidurajale taandatud liiklussagedus (sa/h)

P – punase fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv

PK – punase ja kollase fooritule korruga lülitumise ajal takti alguses ristmikule sisenenud sõidukite arv

q_i – keskmine sõidukite vaheline intervall (s)

R – roheline fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv

T – foori töötsükli kestus (s)

Tk – Kaitseaeg (s)

t_k – kollase märgutule kestus (s)

t_l – lahkumisaeg (m/s)

tR – esimese sõiduki ristmikule sisenemise aeg (s)

t_r – roheline tule kestus (s)

tR_{max} – esimese sõiduki ristmikule sisenemise maksimaalne aeg (s)

tR_{min} – esimese sõiduki ristmikule sisenemise minimaalne aeg (s)

tR_{avg} – esimese sõiduki ristmikule sisenemise keskmine aeg (s)

t_s – saabumisaeg (m/s)

t_0 – esimese sõiduki viivitus (s)

tP – pärast punase fooritule lülitumist ristmikule sisenenud sõiduki aeg (s)

tP_{avg} – pärast punase fooritule lülitumist ristmikule sisenemise keskmine aeg (s)

tP_{max} – pärast punase fooritule lülitumist ristmikule sisenemise maksimaalne aeg (s)

v_l – lahkumiskiirus (m/s)

v_s – saabumiskiirus (m/s)

z_i – manöövri liiklussagedus (sa/h)

SISSEJUHATUS

Käesolev magistritöö käsitleb foorjuhitavate ristmike fooriprogrammide koostamist. Fooriprogrammide projekteerimise jaoks on tänases olukorras Eesti õigusaktides ja standardites reguleeritud fooritulede lülitumise järjekorrad. Fooriprogrammis on määratud erinevad fooride lülitumise tingimused ja parameetrid. Need jäävad liiklejale enamasti märkamatuks, kuid on olulised liiklusohutuse tagamiseks.

Näiteks kui kahele foorigrupile pole võimalik anda samaaegselt rohelist aega, sest tekivad konfliktid ristmiku ületamisel, tuleb need eraldada eri taktidesse. Taktide lülitumise vahele tuleb määrata kaitseajad, mille leidmiseks kasutatakse spetsiaalset algoritmi. Valemites sisalduvad konkreetsest ristmikust sõltuvad komponendid ja fikseeritud parameetrid, millised on suures osas määratud kindlaks enne 2001. aastat, millal on koostatud viimane käsiraamat. Aastatel 2001 – 2020 on suurenenud märkimisväärselt sõidukite ja foorjuhitavate ristmike arv ning muutunud kasutatavad tehnoloogiad. Kui aastal 2001 olid fooriprogrammid valdavalt ajas fikseeritud, siis aastal 2020 on kasutusel lisaks adapteeritud foorilahendused, mis on osaliselt või täielikult aktiveeritavad liiklusest lähtuvalt ja kus mitmed parameetrid, reeglina takti rohelse aja pikkus, võivad olla muutuvad. Samas kaitseageade pikkused on reeglina kõikidel juhtudel fikseeritud. Kasutatav meetodika võib olla aegunud, ega pruugi vastata tegelikule olukorrale liikluses.

Lisaks kaitseageade arvutusele, käsitletakse käesolevas töös veel muid parameetreid, mille abil leitakse rohelse tule kestus. Kaitseageade ja rohelse tule arvutuse abil leitud arväärtused mõjutavad omakorda ristmiku läbilaskvust, ooteaegu ja teenindustaset ning ristmiku ohutut toimimist.

Töö uurimisprobleemiks on see, et tänaseks on vananenud senised fooriprogrammide koostamise mitmed parameetrid. Siiani Eestis kasutatud peamised parameetrid pärinevad 2001. aastast, mõned veelgi varasemast ajast. Kuigi käesolevaks ajaks on muutunud sõidukitehnoloogia ja liikluse juhtimise tehnoloogilised võimalused, siis fooriprogrammide koostamisel neid veel ei ole muudetud.

Käesolevas töös analüüsitakse ja täpsustatakse kõige olulisemaid fooriprogrammide koostamise parameetreid:

- sõidukite saabumis- ja lahkumiskiirus;
- jalakäijate saabumis- ja lahkumiskiirus;
- esimese sõiduki viivitus ristmikule sisenemisel;

- keskmine sõidukite vaheline intervall.

Antud lõputöö eesmärgiks on leida, millised on need vajalikud parameetrid tänases reaalses liikluses. Kui need uues väärtused on leitud, saab teha võrdluse, kas need ühtivad hetkel kasutatavate parameetritega. Antud parameetrid on olulised nii foorprogrammide projekteerijaile kui ka kõigile liikluses osalejatele – selleks, et foorjuhitavate ristmike läbimine oleks ohutu. Samuti mõjutavad need ristmiku toimimist, näiteks läbilaskvust ja ooteaegu.

Töö eesmärgi täitmiseks sõnastas töö autor uurimisküsimused. Küsimused jaotati kaheks osaks – eraldi sõidukite osaks ja jalakäijate osaks.

Sõidukite osas püstitati järgnevad küsimused:

- Millal sõidab esimene sõiduk ristmikule võrreldes rohelise tule lülituse hetkega ja millise kiirusega sõidab esimene sõiduk ristmikule?
- Kuidas jagunevad ülalmainitud parameetrid, kui sõiduk stardib paigalt võrreldes sellega kui ta sõidab ristmikule peatumata (roheline tule lülitusel esimesena ristmikule sisenevad sõidukid)?
- Kas kaitseaegade määramiseks kasutatavad parameetrid on piisavad ohutuse tagamiseks?
- Millised on sõidukite vahelised intervallid?
- Kui suur osa sõidukitest siseneb ristmikule selleks mitte ette nähtud ajal?

Kõik need väärtused tuleb arvutuste korrektseks teostamiseks leida eraldi erinevate manöövrite jaoks - vasakpöördel, parempöördel ja otse liikumisel.

Jalakäijate osas püstitati järgnevad küsimused:

- Millal sisenevad jalakäijad ristmikule võrreldes jalakäijatele lubava rohelise tule lülitusega?
- Kui suur on rikkujate osakaal, ehk kui palju jalakäijaid ületab ristmiku keelava foorisignaali ajal?
- Kas kaitseajad on piisavad jalakäijate ohutu ristmiku ületamise jaoks?
- Millised on jalakäijate sõidutee ületamise kiirused?

Uurimismeetod on kvantitatiivne analüüs. Videokaamerateaga jäädvustati liiklus valitud ristmikel ja teostati tulemuste analüüs. Video analüüsi põhjal loodi andmestik, mida analüüsiti omakorda eelpool toodud küsimustele vastuste saamiseks ja parameetrite leidmiseks.

Töö koosneb kolmest põhilisest osast. Esimeses osas antakse ülevaade foorjuhitavate ristmike erinevusest võrreldes foorjuhtimiseta ristmikega ja tuuakse välja fooriprogrammide koostamise metoodika Eestis ja mujal. Töö teises osas kirjeldatakse uurimuse metoodikat. Millistel põhimõtetel toimub analüüsitavate ristmike valik ja kuidas toimub andmete analüüs. Töö kolmandas osas esitatakse tulemused, tuuakse välja töö käigus leitud parameetrid, võrreldakse saadud parameetreid Eestis fooriprogrammide koostamisel kasutatavate parameetritega ning tuuakse välja autori järeldused töö tulemusele ja ettepanekud.

1. FOORJUHTAVAD RISTMIKUD

Käesolevas peatükis tuuakse ülevaade foorjuhitava ristmiku erisusest võrreldes teiste ristmike tüüpidega. Samuti esitatakse kokkuvõtte foorjuhitava ristmiku toimimist reguleerivatest õigusaktidest ja normidest ning ristmike ehitamisel kasutatavatest parameetritest. Kirjeldatakse fooriprogrammide koostamist mujal ja Eestis.

Liikluses jaguneb vastutus turvalisuse eest teede, kiiruste, liiklejate ja sõidukite vahel. (Austroads Ltd, 2019) Euroopa Liidu eesmärk on liiklusõnnetuste ohvrite arvu vähendamine. Selleks, et seda saavutada, tuleb kaasajastada ja ohutumaks muuta infrastruktuuri. Infrastruktuur hõlmab endas ristmikke. (Euroopa Komisjon, 2010) Enamus liiklusõnnetustest linnades juhtuvad ristmikel. See on sõltuvuses liiklussageduse kasvuga – kui liiklussagedus kasvab, suureneb tõenäosus, et toimub konflikt ristmikul ja ristmiku läbilaskvus väheneb. (Rune Elvik, 2009) Vastavalt Liiklusseadusele on ristmik samatasandiliste sõiduteedega teede lõikumisel moodustunud ala. Ristmik on reguleeritav, kui liiklejate liikumise järjekorra määravad foorituled või reguleerija märguanded. Muul juhul on ristmik reguleerimata. (Riigikogu, 2019).

Teede projekteerimismõõnetes on ristmikud jagatud põhitüübi järgi. Kasutatakse ka kombineeritud variante antud põhitüüpidest: (Majandus- ja taristuminister, 2015):

- lihtristmik;
- osaliselt kanaliseeritud ristmik;
- täielikult kanaliseeritud ristmik;
- ringristmik;
- eritasandiline ristmik.

On olemas väga palju lihtristmikke, kus puuduvad liikluskorralduslikud vahendid ja liiklejate eesõigus määratakse vastavalt sõiduki tüübile, ristuvate teede tee katendite tüübile või sooritavale manöövri. (Majandus- ja taristuminister, 2015) Peamiselt on sellised ristmikud kohtades, kus liiklussagedus ja sõidukiirused madalad. Vastavalt liiklussagedusele ja ristmiku tüübile määratakse ristmikul liiklejatele üheselt arusaadav liikluskorraldus. Liikluse korraldamise eesmärk on tagada häireteta, sujuv, võimalikult kiire, ohutu ja keskkonda minimaalselt kahjustav liiklus. (Riigikogu, 2019) Liikluse korralduse meetodi valik ristmikul on alati kompromiss liikuvuse ja liiklusohutuse vahel. (Rune Elvik, 2009)

Ristmikel kasutatakse liikluse reguleerimiseks liikluskorralduslikke vahendeid (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019):

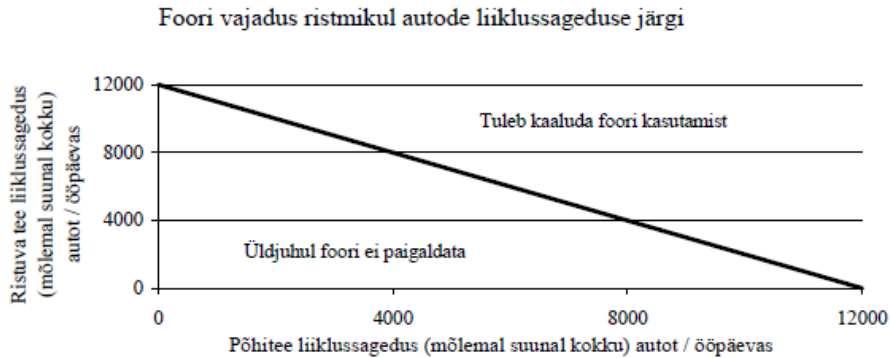
- liiklusmärgid;
- teemärgised (teekattemärgistus ja püstmärgised);
- foorid.

Käesolevas töös käsitletakse foorjuhtimisega ristmikke. Foorjuhitavad ristmikud kuuluvad reguleeritud ristmike hulka. Foorjuhtimist saab kasutada erinevat põhitüüpi ristmikel. Foorjuhitaval ristmikel kasutakse liikluse reguleerimiseks kõiki eelpool toodud liikluskorralduslikke vahendeid. Foorjuhitavad ristmikud on kasutusel peamiselt linnades. Lubatud suurimal kiirusel üle 90 km/h foore ei kasutata ja lubatud suurimal kiirusel üle 70 km/h võib foore kasutada ainult koos kiirustehniliste erimeetmete rakendamisega. (Eesti Standardikeskus, 2001)

Ristmikud projekteeritakse foorjuhitavana, kui: (Metsvahi, 2001)

- seda nõuavad sõidukite ja jalakäijate liiklussagedus või kohalikud olud (halb nähtavus, kooli lähedus, teiste foorjuhitavate ristmike koordineerimistingimused jms);
- samatasandilisel ristmikul on ristuvliikluse olemasolul vähemalt ühes sõidusuunas sõiduradade arv kolm või enam;
- samatasandilise foorjuhtimiseta ristmiku läbilaskvus on ammendumas;
- seda nõuab madal liiklusohutuse tase.

Enne foorjuhitavate ristmike projekteerimise alustamist koostatakse tavaliselt liiklusuuring, mille põhjal otsustatakse foorjuhitava ristmiku ehituse vajalikkuse üle. Põhiliseks määravaks argumendiks fooriristmiku projekteerimiseks standardi EVS 615:2001 „Foorid ja nende kasutamine“ põhjal on liiklussagedused. Võrreldakse liiklussagedust põhiteel ja ristuvaal teel (Joonis 1.1). Joonisel toodud liiklussagedused on toodud ööpäeva kohta. (Eesti Standardikeskus, 2001) Liiklusvood on ööpäeva lõikes küllaltki kiiresti muutuvad ja seetõttu on olemas ristmikke, kus fooride kasutamine ei ole otstarbekas ja ristmikke, kuhu küll võiks rajada foorjuhtimisega lahenduse, aga seda ei ole erinevatel põhjustel tehtud. (Inseneribüroo Stratum, 2003)

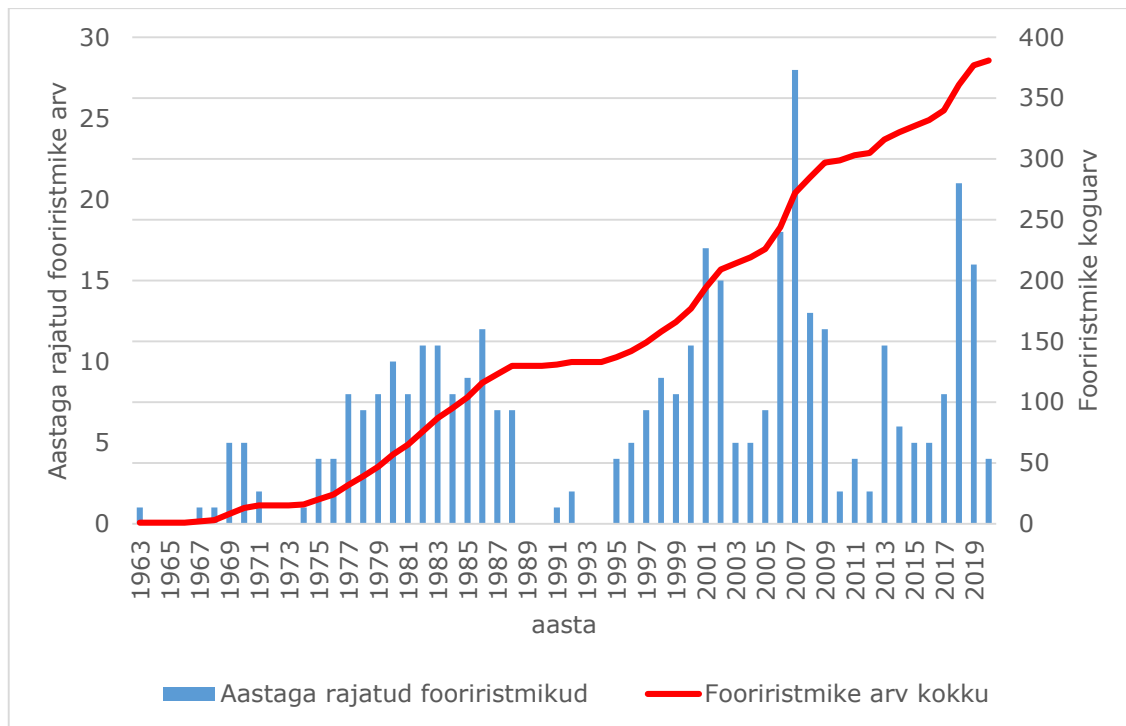


Joonis 1.1 Foori vajadus ristmikul autode liiklussageduse järgi

Allikas: (Eesti Standardikeskus, 2001)

Tallinnas asub suurem osa fooriristmikest Eestis. Töö kirjutamise ajal on Tallinnas kasutusel või ehitusel kokku 381 foorjuhitavat ristmiku (sisaldab foorjuhitavaid ülekäike). Andmed pärinevad AS Signaal TM fooriristmike andmebaasist, mille esimene kirje pärineb aastast 1963 (Pärnu mnt - Estonia pst fooriristmiku ehitus). (Signaal TM AS, 2020) Leidub veel versioone esimese foori paigalduse osas. Robert Nermani raamatus „Autobussiliiklus Tallinnas“ on väidetud, et esimene foor paigaldati aastal 1947 Pärnu mnt – Suur-Karja tn ristmikule ja esimesed jalakäijatele mõeldud foorid 1959. aastal Pärnu mnt – Võidu väljaku – Estonia pst ristmikul. (Nerman, 2007) 2005. aastal ilmunud Postimehe artiklis väidetakse, et esimene valgusfoor paigaldati Vabaduse puiestee ja Pärnu maantee ristmikule 1963. aastal, sest miilitsad ei saanud liiklussageduse suurenemise tõttu reguleerimisega hakkama. (Postimees, 2020)

Enim fooriristmike rajati aastal 2007, kui ühel aastal rajati 28 uut fooriristmikku. Joonisel 1.2 on toodud fooriristmike arvu kasv Tallinnas. Võrreldes aastaga 2001, kui Tiit Metsvahi koostas juhendi „Ristmike läbilaskvuse arvutamise meetodiline juhend“, on käesolevaks aastaks foorjuhitavate ristmike arv pea kahekordistunud (aastal 2001 oli 194 foorjuhitavat ristmikku) Joonisel on kajastatud rajamise aastad, on esialgse rajamise aasta. Palju ristmike on aja jooksul rekonstrueeritud. (Signaal TM AS, 2020)



Joonis 1.2 Foorjuhitavate ristmike rajamise trendid Tallinnas

Allikas: (Signaal TM AS, 2020), koostatud autori poolt

Foore ja foorijuhitavaid ristmikke reguleerivad standardid ja õigusaktid põhinevad suures osas Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni liiklusalasel konverentsil Viinis 1968. a teeliikluse ja liiklusemärgide ning – signaalide kohta vastuvõetud konventsioonil, selle hilisematel parandustel ja Genfis 1971. a sõlmitud Euroopa kokkuleppel. (Eesti Standardikeskus, 2001)

Eestis on foorjuhtimine ja foorjuhtivatel ristmikel liiklemine reguleeritud järgnevas õigusaktides:

- Liikluseadus (<https://www.riigiteataja.ee/akt/117032011021>)
- MKM määrus nr 12 „Liiklusemärgide ja teemärgiste tähendused ning nõuded fooridele“.

Foorjuhitava ristmiku projekteerimise tehnilised tingimused väljastab tellija. Selleks võib olla näiteks Maanteeamet või kohalik omavalitsus (näiteks Tallinna linnas selle Transpordiamet). Tehnilised tingimused väljastatakse uute teede ja tänavate ehitusel ning olemasolevate ristmike ümberehitamisel foorjuhitavateks ristmikteks. Kuna iga tehnilise tingimuse väljastamisel ei töötata välja uusi lahendusi lähtutakse foorjuhtimisega ristmike projekteerimisel Eestis tavaliselt järgmistest normdokumentidest ja juhendmaterjalidest (K-Projekt AS, 2019):

- Eesti standard EVS 615:2001 „Foorid ja nende kasutamine“;
- Eesti standardi muudatus EVS 615:2001/A1:2008 „Foorid ja nende kasutamine“;

- Euroopa standard EN 12368:2015 „*Traffic control equipment – Signal heads*“/„Liikluse reguleerimise vahendid. Signaalseadmed“;
- Euroopa standard EN 12675:2017 „*Traffic signal controllers. Functional safety requirements*“;
- Euroopa standard EVS-EN 50556:2018 „*Road traffic signal systems*“;
- Eesti standard EVS 613:2001 ja EVS 613:2001/A1:2008 „Liiklusmärgid ja nende kasutamine“;
- Eesti standard EVS 614:2008 ja EVS 614:2008/A1:2016 „Teemärgised ja nende kasutamine“;
- Eesti standard EVS 843:2016 „Linnatänavad“.

Õigusaktide ja standardite eesmärgiks on anda juhised ristmike projekteerimisel ja ehitusel, et tagada ühtlane kvaliteet ja arusaadavad lahendused ning vähendada ebamäärasust foorjuhitavate ristmike ehitusel. Kui õigusaktid on Eestis kohustuslikud, siis standardid kõigest soovituslikud. Standardid võib sätestada kohustuslikuks õigusakti või mõne muu dokumentiga. Standardid on vabatahtlikult ja enamasti erainitsiatiivil välja töötatud dokumendid, mille algne eesmärk on olla infoallikaks ja abivahenditeks, mitte sunnivahendiks. (Eesti Standardikeskus MTÜ, 2020)

Fooriristmiku ehitamisel kasutatakse järgnevaid komponente:

- Foorid (fooripeat) – peavad vastama standardile EVS-EN 12368. Standardis on määratud signaaltulede füüsilised parameetrid (näiteks signaaltulede võimaliku läbimõõdud). (Eesti Standardikeskus, 2015) Fooride paigalduse asukohti käsitletakse standardis EVS 615:2001 (Eesti Standardikeskus, 2001);
- Foorikontroller - foorikontroller ja selles kasutatav tarkvara peab vastama standardile EVS-EN 12675. Kaasaegsed foorikontrollerid on suutelised juhtima mitut ristmiku. Foorikontroller peab tagama foorikontrollide õiges järjekorras lülitumise selleks etteantud ajal ja sealjuures kontrollima kaitseaegade tagamist fooriprogrammis (Eesti Standardikeskus, 2017);
- Sideseadmed ja -võrgud – võimaldavad foorikontrolleri kaugjuhtimist ja jälgimist läbi võrguühenduse. Lisaks ka koordineerimist teiste foorjuhitavate ristmikega. Sideseadmed võivad olla füüsiliselt ühendatud võrku kasutades kaableid või kasutades GSM ehk ülemaailmset mobiilsidevõrku;
- Ühenduskaablid kaablitorustikes või üleviskepostidel. Kõik kaablid ja juhtmed peavad olema markeeritud;
- Foorikandurid – fooripostid, konsoolid, ja teised fooriobjekti ehitusel kasutatavad konstruktsioonid koos vundamentidega;

- Eelandurid – adaptiivse foorjuhtimise puhul kasutatavad andurid ristmike vahelisel alal, mille abil prognoositakse sõidukite saabumist ristmikele;
- Sõidukite liiklusandurid – sõidukite liikumisvajaduste registreerimiseks. Kasutatakse videoandureid, induksioonandureid, radardetektoreid;
- Jalakäijate liiklusandurid – jalakäijate liikumisvajaduse registreerimiseks;
- Jalakäijate väljakutsenupud/summerid – jalakäijate liikumisvajaduste registreerimiseks. Peavad olema kõigile kergliiklejatele kättesaadavas asukohas. Annavad infot visuaalselt, hääle ja ka vibratsiooni kaudu (Parker, 2003);
- Seireandurid – liiklusloendussüsteemi andmete kogumise võimaldamiseks (sõidukite loendamine ja klassifitseerimine).
 - Näitena võib tuua Tallinna liikluse seiresüsteemi – see on Tallinna Transpordiameti tellimisel loodud süsteem, mis loendab ja samas ka klassifitseerib seirepunktides sõidukeid. Olemasolevaid seirepunkte on 11, jälgitavaid sõiduradu 156, klasside arv 5. Süsteem on laiendatav. (Signaal TM AS, 2020);
- Liiklusmärgid – liiklusmärkidega täpsustatakse sõiduradade arv, tähistatakse ülekäigurajad, ohutussaared jms. Liiklusmärkidega määratakse tavaliselt peatee suund olukorraks kui foorid on kollasel vilkuval režiimil või peaks tekkima rike ja foorid ei tööta üldse;
- Teekattemärgistus – Teekattemärgistusega muudetakse arusaadavamaks sõiduradade arv, ülekäiguradade paiknemine, jms; Samuti määratakse teekattemärgistusega peatumise koht kui foorid on keelaval punasel lülitusel.
- Liiklusjärelvalve kaamerad – fikseerivad fooritulede eiramist, lubatud suurimast kiirusepiirangust kinni pidamist või teisi seaduse eiramisi;
- Videosalvestusseadmed – reeglina politsei kasutatavad kaamerad liikluse reaajas jälgimiseks või vajadusel salvestuste vaatamiseks (näiteks liiklusõnnetuste asjaolude väljaselgitamiseks);
- Muutinfoga (VMS- inglise k. *variable message sign*) infotablood – võimaldavad liiklejatele anda infot või muuta reaajas liikluskorda, kasutades näiteks liiklusanduritelt saadavat infot.

Fooriristmiku eesmärgiks on tagada konfliktivaba ristmiku ületus kõigile liiklejatele. Et vältida foorjuhitavatel ristmikel liiklejate konflikte, projekteeritakse nimetatud tingimustest lähtuvad fooriprogrammid.

1.1 Fooriprogrammide projekteerimine

Fooriprogrammide projekteerimise all mõistetakse üldiselt erinevate foorigruppide üksikute signaalide pikkuse ja lülitushetkede kavandamist, kusjuures foorigrupi moodustavad need foorid, milles lülitatakse samu signaale alati samal ajal. Tavaliselt esitatakse fooriprogrammid spetsiaalselt graafikul. (Inseneribüroo Stratum, 2003) Fooriprogramm koosneb fooritsüklitest, mis omakorda koosnevad fooritaktidest. Foorijuhitavatel ristmikel on vähemalt kaks eri takti.

Fooritaktide maksimaalne arv saab olla võrdne ristmikul sooritavate manöövrite arvuga. Mida rohkem on manöövrid eri taktidega eraldatud, seda väiksem on kokkupõrkeoht ja seeläbi parem liiklusohutus. Fooritaktide arvu suurendamine toob kaasa ooteaegade suurenemise ja kaitseaegade osakaalu suurenemise. (Liikennevirasto, 2016)

Fikseeritud fooritsüklite pikkus, juhul kui tsükli kestust saab valida sõltumatult teiste ristmike tööst, tuleks kahetaktilise töö korral valida 45...75s, kolmetaktilise töö korral 60...90s ja neljaktalilise töö korral 70...110s. (Metsvahi, 2001). Reaalselt kasutatakse tavaliselt tipuajal pikemat tsükli pikkust, kui vaikselt liikluse perioodidel.

Fooriprogrammid võivad olla (National Cooperative Highway Research Program, 2015):

- Täielikult adaptiivsed – täielikult adaptiivse fooriprogrammi puhul on taktide järjestus vajaduspõhine ja need kutsutakse esile vastavalt liiklusnõudlusele kindlaks määramata järjekorras. Liikumisnõudluse registreerimiseks kasutatakse liiklusandureid. (National Cooperative Highway Research Program, 2015) Täielikult adaptiivse foorjuhtimise puhul määratakse faaside maksimaalsed ja minimaalsed kestused ning vastavalt anduritel saadud informatsioonile koostatakse lõplik fooriprogramm. (K-Projekt AS, 2016)
- Osaliselt adaptiivsed – kasutatakse juhul, kui liikumisnõudlust ei registreerita. Sel juhul määratakse pidevalt roheline põhisuund, mida muudetakse kõrvalsuundade liikumisvajaduste registreerimise kaudu. Ülekäiguradade olemasolul toimib sama vajaduspõhise roheline fooritakti põhimõte ja liikumisvajaduste registreerimiseks liiklusandureid või väljakutsenuppe. Osaliselt adaptiivne fooriprogramm võib olla fikseeritud tsükli pikkusega, kus liikumisvajaduse mitte registreerimisel ei aktiveerita ebavajalike takte. (National Cooperative Highway Research Program, 2015) Juhul, kui nõudlus, registreeritakse enne antud foorigrupile ettenähtud rohelist aega, kutsutakse konkreetses taktis esile antud liikumist võimaldav roheline tuli. Osaliselt adaptiivse fooriprogrammi puhul võib tekkida olukord, kus teeületuse nõudluse registreerimine jääb momenti, kus

antud takti jooksul enam vastavat võimalust esile ei kutsuta ning seetõttu nihkub antav roheline tuli järgmisesse fooritakti ja tekkiv ooteaeg ületab ühe fooritsükli kestuse. Ebasoodsatel tingimustel võib tekkida ooteaeg olukordades, kus peasuunal pole liiklust. (K-Projekt AS, 2016)

- Ajas fikseeritud fooriprogrammid – foorikontrolleris on määratud kindla pikkuse ja järjestusega fooritsükkel, mis koosneb kindla pikkusega fooritaktidest. Fooriprogrammid ei arvesta tegelikke liikumisvajadusi ja -voogusid. Fooriprogrammid on tavaliselt koostatud kasutades eelnevalt mõõdetud liiklussagedusi ja läbilaskevõimet. Ristmike kohta koostatakse tavaliselt tipptunni- ja tipptunnivälised fooriprogrammid. Ööseks võidakse ristmik lülitada kollasele vilkuvale režiimile.

Adaptiivse juhtimissüsteemi puhul kasutatakse eelandureid liikluse jälgimiseks ristmikule eelneval ristmike vahelisel alal. Anduritelt saadud info põhjal prognoositakse sõidukite saabumist ristmikule. Võimalusel kohandatakse käimasolevat fooritsükli. (National Cooperative Highway Research Program, 2015) Adaptiivse foorijuhtimise puhul tuleb tagada minimaalne roheline aeg juhul, kui antud fooritaktile on roheline juba lülitatud. Seetõttu tagatakse kõik minimaalsed rohelise ajad, kaitseajad ja teised foorikontrolleris määratud parameetrid. (Transportation Research Board, 2010)

Adaptiivse foorijuhtimissüsteemi juhtimiseks kasutatakse spetsiaalseid tarkvarasid, millest tuntumad on SCOOT (*Split Cycle Offset Optimisation Technique*) ja SCATS (*Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*). Adaptiivset foorijuhtimist võimaldab täielikult adaptiivsete fooride omavahelist koordineerimist. (K-Projekt AS, 2016)

Adaptiivne foorijuhtimine aitab kaasa keskkonnasäästlikkusele (sujavam sõit annab väiksema kütusekulu ja vähenevad õhku paisatavad heitgaasid antud piirkonnas). Adaptiivne juhtimine võimaldab korrigeerida tsükli aega ja seeläbi ka ooteaegu juhul, kui terve ristmiku läbilaskevõime ei ole ammendunud. Adaptiivse fooriristmiku ehitus on samas kulukas ja nõuab kogemusi. Lisaks ei oma ühe ristmiku muutmine sageli piisavat efekti ja muuta tuleks mitmeid järjestikku asuvaid ristmikke. (Transportation Research Board, 2010) Eestis on näiteks selline kaasaegne adaptiivne foorijuhtimise lahendus rajatud Reidi tee rekonstrueerimise käigus ehitatud ja rekonstrueeritud fooriristmikel. Kasutatakse Swarco UTOPIA tarkvara adaptiivse juhtimise teostamiseks ja OMNIA tarkvara selle jälgimiseks. (Signaal TM AS, 2020) (K-Projekt AS, 2018)

Euroopas puuduvad ühtsed reeglid fooriprogrammide loomiseks ja kasutamiseks. Erinevates riikides on kasutusel erinev reeglistik, mis põhineb kohalikel tingimustel, praktilisel ja harjumustel (Inseneribüroo Stratum, 2003).

Siinkohal tulebki esile käesoleva töö probleem – nende parameetrite arvutamiseks ega kasutamiseks ei ole Eestis õigusaktides ega standardites sätestatud meetodeid ega parameetreid. Fooriprogrammide koostamise osas on Eestis õigusaktides reguleeritud vaid fooritulede lülitumise järjekorrad (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019) ja tingimus, et fooriprogrammide vahetumine ei tohi tekitada liiklusohutlikke olukordi (Eesti Standardikeskus, 2001).

Fooriprogrammis on sõltuvalt fooriprogrammi tüübist määratud erinevad fooride ümberlülitumise tingimused, mis jäävad tavaliselt liiklejale märkamatuks, kuid on olulised liiklusohutuse tagamiseks.

Fooriprogrammide koostamisel lähtutakse liiklusohutuse tagamiseks järgmistest tingimustest:

- Fooritulede lülitumise järjekorrad ühes faasis;
- Rohelise tule kestuse arvutus (ajab fikseeritud fooriprogrammide puhul);
- Kaitseaegade arvutus;
- Läbilaskvuse arvutus;
- Ooteajad ja teenindustase.

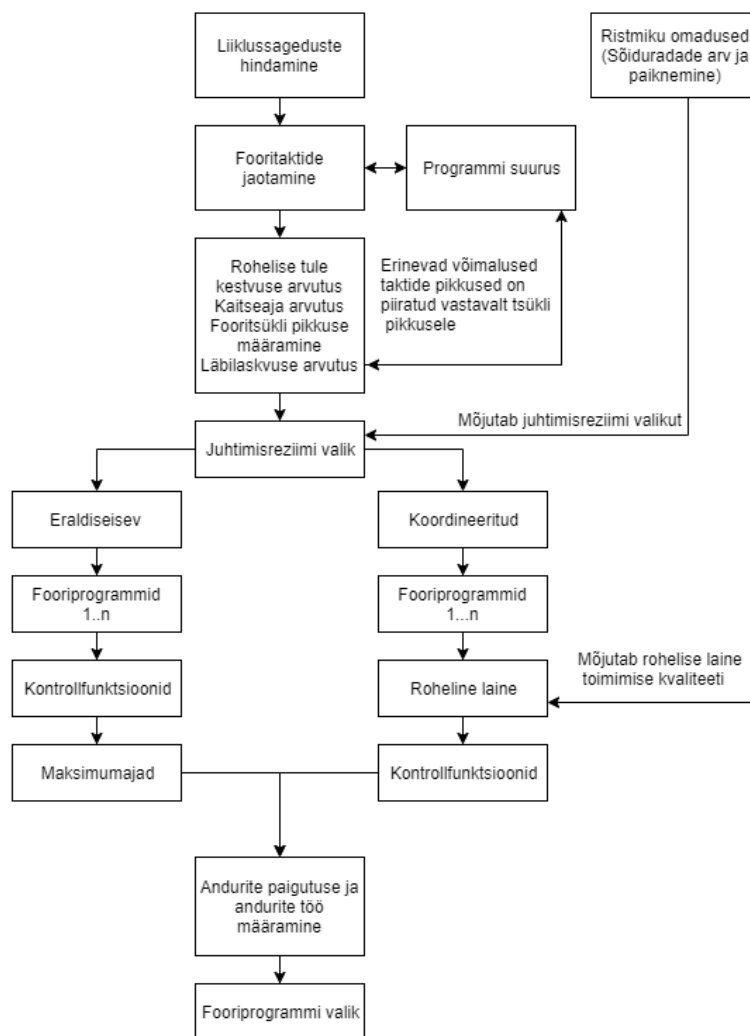
Käesoleva töö eesmärgiks on leida parameetrid, mida kasutada edaspidi fooriprogrammide koostamisel.

Järgnevates peatükkides käsitletakse rohelise tule kestuse arvutust, kaitseaegade arvutust ja läbilaskvuse arvutust. Töös uuritakse väärtusi, mis mõjutavad nende arvutamist. Ooteaegade ja teenindustaseme määramise tulemused sõltuvad käsitletavatest parameetritest kaudselt, teiste valemitega leitavate väärtuste kaudu. Ooteaegade ja teenindustaseme määramist selles töös ei käsitleta, sest neid arvutusühikuid ja valemiteid käesoleva töö tulemus ei mõjuta ning seega pole need selle töö kontekstis olulise tähtsusega.

Järgnevates punktides tuuakse välja käesolevas töös käsitletavate tingimuste leidmise lahendusi mujal ja Eestis.

1.2. Mujal kasutatavad fooriprogrammide koostamise meetodid

Soomes koostatakse fooriprogrammid vastavalt käsiraamatule LIVASU 2016 (soome k. Liikennevalojen suunnitteluohje) (Liikennevirasto, 2016). Käsiraamat on toodud selles töös näitena fooriprogrammide koostamisest Soomes, Rootsis ja Norras. Käsiraamatus käsitletakse fooriristmike kavandamist maanteedel ja linnatänavatel. Käsiraamatus on toodud fooriprogrammi koostamise kohta selgitav joonis, mille käesoleva töö autor kohandas eesti keelde (Joonis 1.3).



Joonis 1.3 Soome fooriprogrammide koostamise põhimõtteskeem

Allikas:(Liikennevirasto, 2016)

Järgnevalt on toodud Soomes kasutatavad parameetrid ja valemid, mida käesolevas töös analüüsitakse.

Rohelise tule kestuse arvutamisel on nimetatud käsiraamatus on kaitseegade arvutamiseks toodud sarnased valemid, mis eelnevalt kirjeldatud ja mida kasutatakse Eestis. Neid käsitletakse järgnevas punktis.

Arvutustes kasutatavad lahkumis ja saabumiskiirused on toodud tabelis 1.1. Toodud väärtused on üldjuhul sarnased eelnevalt toodud Eesti väärtustele.

Tabel 1.1 Soomes kasutatavad lahkumis- ja saabumiskiirused

	Lahkumiskiirus (m/s)			Saabumiskiirus (m/s)			
	Otse liikuja	Pöördel (kurvi raadius)		Pöörav sõiduk	Kiiruspiirang (km/h)		
		R > 12 m	R < 12m		50	60	70
Auto	10/ 8 *	8	7	11	11	13	16
Jalgratas	5	5	5	5	5	5	5
Jalakäija	Tavakiirus	Pikk ülekäik	Rohke jalakäija-liiklusega ülekäik	Saabumistee pikkus = 0			
	1,2	1,4	1				

*) lahkumiskiirus 8 m/s arvestatakse juhul kui kiiruspiirang on 30 km/h või puudub selge teekattemärgistus

Allikas: (Liikennevirasto, 2016)

Ameerika ühendriikides on aastal 2000 on välja töötatud maanteede läbilaskevõime käsiraamat (*Highway capacity manual*). (Transportation Research Board, 2000) Kuna see käsiraamat ei ole kohustuslik siis sõltub fooriprogrammide koostamise meetodika osariigis kehtestatud õigusaktidest, standarditest ja juhenditest.

Maanteede läbilaskevõime käsiraamatu põhjal arvutatakse jalakäijate roheline tule kestus valemiga 1.1 kui ülekäiguraja laius (W_E) on üle 3 meetri (Transportation Research Board, 2000)

$$G_p = 3,2 + \frac{L}{S_p} + \left(0,81 \frac{N_{ped}}{W_E}\right) \quad (1.1)$$

- kus G_p - rohelise tule (minimaalne) kestus (s)
 3,2 - jalakäijate reaktsioonaeg (s)
 L - ülekäiguraja pikkus (m)
 S_p - jalakäija keskmine liikumiskiirus (m/s)
 N_{ped} - ülekäigurada ületavate jalakäijate arv takti ajal
 W_E - ülekäiguraja laius (m)

Maanteede läbilaskevõime käsiraamatu põhjal arvutatakse jalakäijate rohelise tule kestus valemiga 1.2 kui ülekäiguraja laius on alla 3 meetri. (Transportation Research Board, 2000)

$$G_p = 3,2 + \frac{L}{S_p} + (0,27N_{ped}) \quad (1.2)$$

Käesolevas töös käsitletakse antud valemitest jalakäijate reaktsiooniaega ja jalakäijate keskmist liikumiskiirust. Jalakäijate kiirusena arvestatakse käsiraamatus parameetrit 1,2 m/s. (Transportation Research Board, 2000) Jalakäijate liikumiskiiruseid hinnatakse näiteks Californias vahemikus 0,76...1,52 m/s. Tavaliselt kasutatakse parameetrit 1,22 m/s. Sotsiaalobjektide (näiteks vanadekodude või koolide) ümbruses kasutatakse madalamat väärtusega parameetrit. (Anh Nguyen, 2006)

Käsiraamatus on kaitseaja parameetrina toodud 4 sekundit iga takti kohta või 8 sekundit tsükli kohta. (Transportation Research Board, 2000) Kaitseaja terminina kasutatakse ka kogu ristmiku punase lülituse intervalli terminit (*All-Red Clearance Intervall*). Metoodika on välja töötanud Transpordi inseneride instituut (*Institute of Transportation Engineers*). Kaitseage leitakse valemiga 1.3 (Anh Nguyen, 2006):

$$\text{kaitseage} = \frac{(\text{ristmiku laius} + \text{sõiduki pikkus})}{\text{sõiduki kiirus}} \quad (1.3)$$

1.3. Fooriprogrammide koostamise meetodika Eestis

Fooritulede lülitumise järjekorrad on määratud Määruse nr 12 paragrahvides 29 – 37 ja standardis „Foorid ja nende kasutamine“, kus on toodud fooritulede lülitumise järjekorrad (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019) (Eesti Standardikeskus, 2001).

Ümartuledega fooridel, nooltuledega fooridel, lisasektsiooniga fooridel, jalgrattafooridel ning jalgratta- ja jalakäijafooridel on fooritulede lülitumise järjekorrad:

1. roheline – roheline vilkuv (võib ka puududa) – kollane – punane – punane ja kollane korruga – roheline. Rohelisele vilkuvale tulele või kollasele tulele võib järgneda ka roheline tuli;
2. ainult kollane vilkuv.

Kollase märgutule kestus valitakse vastavalt kehtivale kiiruspiirangule. Linnades on kehtivaks kiirusepiiranguks valdavalt 50 km/h ja kollase märgutule kestus $t_k = 3s$. Punase ja kollase märgutule korruga lülitumise aeg enne rohelisele tulele lülitumist on Eestis 1 s. (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019)

Ühissõidukifooridel kasutatakse värviliste tulede asemel püstkriipsuga, rõhtkriipsuga ja S tähe kujutisega tulesid. Ühissõiduki fooride tulede lülitumise järjekord on: püstkriipsuga vilkuv tuli (võib ka puududa) – rõhtkriipsuga tuli – S tähe kujutisega tuli – S tähe kujutisega tuli ja rõhtkriipsuga tuli korruga – püstkriipsuga tuli. (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019)

Jalakäijafoorides puudub kollane tuli ning tuled lülituvad järgnevalt: punane (punased) – roheline. Lõpu eel võib roheline tuli vilkuda. (Majandus- ja kommunikatsiooniminister, 2019)

Juhendis on toodud fooritulede lülitumise järjekorrad kollase vilkuva tulega fooride, suunamuutefooride ja ülesõidufooride kohta. Neid järjekordi töös ei käsitleta, sest neil puuduvad fooriprogrammid käesoleva töö mõistes.

Rohelise tule kestuse arvutust rakendatakse osaliselt adaptiivsete ja ajas fikseeritud fooriprogrammide koostamisel. Rohelise tule kestuse arvutamiseks puuduvad õigusaktides ja normdokumentides juhised. Rohelise tule kestuse arvutuse lähtutakse fooriprojektide koostamisel tavaliselt T.Metsvahi poolt 2001.a koostatud „Ristmike läbilaskvuse arvutamise meetodilisest juhendist“.

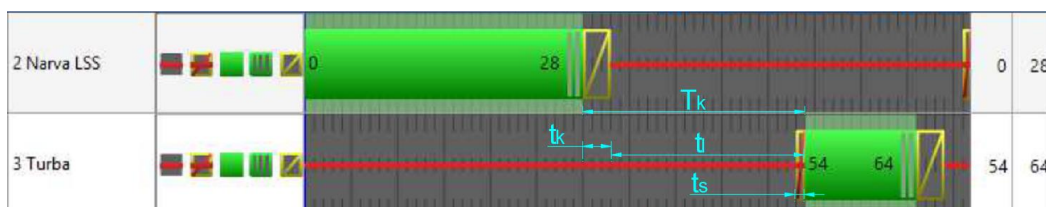
Rohelise tule kestus iga manöövri jaoks sõltub ühele sõidurajale taandatud liiklussagedusest, kogu töötsükli kestusest, sõidukite vahelistest tühikutest ja leitakse valemiga 1.4 (Metsvahi, 2001):

$$t_r = t_0 - q_i + \frac{Tm_iq_i}{3600} \quad (1.4)$$

- kus t_0 - esimese sõiduki viivitus ehk aeg rohelise tule sisselülitamise momendist kuni sõiduki liikuma hakkamiseni, mis loetakse võrreks teeprojekteerimises rakendatava reageerimisajaga $t_0 = 2$ s
- q_i - keskmine autode vaheline intervall stoppjoone ületamisel vaadeldavas suunas
- T - foori töötükli kestus
- m_i - ühele sõidurajale taandatud liiklussagedus antud suunal sa/h.

Eeltoodud valemi abil leitud rohelise tule kestus tagab läbilaskvuse taseme $z=1$. Fooriristmike projekteerimisel valitakse fooritule rohelise aeg ca 25% võrra suurem. Käesoleva töö käigus läbi viidud uuringus tuuakse välja esimese sõiduki viivituse ja keskmise autode vahelise intervalli arvutuslikud väärtused teostatud vaatluste põhjal. (Metsvahi, 2001)

Kaitseaegade arvutus on vajalik kui kahele foorigrupile pole võimalik ühel ajal anda rohelist aega. Sel juhul peab nende foorigruppide rohelise aja vahel olema siirdetakt või taktid, mis moodustavad kaitseaja. Kaitseaja paiknemine fooriprogrammis on toodud joonisel 1.4.



Joonis 1.4 Kaitseaeg Narva mnt – Turba tn fooriprogrammi näitel
Allikas: (K-Projekt AS, 2019)

Kaitseajad arvutatakse fooriprogrammide koostamisel kõikide omavahel potentsiaalselt konflikti sattuvate liiklejate vahel (konfliktisuundade foorigruppide) – nii sõidukite kui jalakäijate vahel. Kaitseaeg on ajavaru fooritaktide vahel, mis peab garanteerima ohutuse kriitilistes olukordades. Kaitseaegade arvutamiseks puuduvad õigusaktides ja normdokumentides juhised. Kaitseaegade arvutamisel lähtutakse fooriprojektide koostamisel tavaliselt T.Metsvahi poolt 2001.a koostatud „Ristmike läbilaskvuse arvutamise meetodilisest juhendist“.

Kaitseaeg (T_k) arvutatakse valemiga 1.5: (Metsvahi, 2001)

$$T_k = t_k + t_l - t_s \quad (1.5)$$

kus t_k - kollase märgutule kestus (s)

t_l - lahkumiseaeg (m/s)

t_s - saabumiseaeg (m/s)

Lahkumiseaeg (t_l) arvutatakse valemiga 1.6: (Metsvahi, 2001)

$$t_l = \frac{(l_l + 6 \text{ m})}{v_l} \quad (1.6)$$

kus l_l - lahkumisteedekonna pikkus (m). Lahkumisteedekonna pikkusele lisatakse 6 m, mis on arvestuslik sõiduki pikkus

v_l - lahkumiskiirus (m/s)

Saabumisaeg (t_s) arvutatakse valemiga 1.7 (Metsvahi, 2001):

$$t_s = \frac{l_s}{v_s} \quad (1.7)$$

kus l_s - saabumisteedekonna pikkus (m)

v_s - saabumiskiirus (m/s)

Kohalt ära minevate sõidukite saabumisaeg (t_s) arvutatakse valemiga 1.8, võttes kiirenduseks (a) $3,5 \text{ m/s}^2$ (Metsvahi, 2001):

$$t_s = \sqrt{\frac{2l_s}{a}} = 0,76\sqrt{l_s} \quad (1.8)$$

kus t_s - kohalt ära minevate sõidukite saabumisaeg (s)

l_s - saabumiskiirus (m/s)

Juhendis toodud lahkumis ja saabumiskiiruste kohta, mida eelpool toodud valemities kasutatakse, koostas töö autor tabeli 1.2 sarnaselt soome LIVASU juhendile.

Tabel 1.2 Lahkumis- ja saabumiskiirused

	Lahkumiskiirus (m/s)			Saabumiskiirus (m/s)			
	Otse liikuja	Pöördel (kurvi raadius)		Pöörav sõiduk	Kiiruspiirang (km/h)		
		R > 12 m	R < 12m		50	60	70
Auto	8/10*	8	5...7	11	11	13	16
Jalgratas	5**	5**	5**	Kuna saabumistee pikkus $l_s=0$ m, ei ole väärtus oluline ja seda ei ole täpsustatud			
Jalakäija	Tavakiirus	Pikk ülekäik	Rohke jalakäija-liiklusega ülekäik				
	1,2	1,4	1,2				

*) lahkumiskiiruse võib võtta 10 m/s ristmikel, kus on selge sõiduradade märgistus ja hea nähtavus

**) jalgratturi lahkumisaja arvestust alustatakse 2s enne kollase märgutule lõppu

Allikas: (Metsvahi, 2001), koostatud autori poolt

Käesolevas töös tehtud uuringute käigus analüüsitakse sõidukite ja jalakäijate tegelike lahkumiskiirusi teostatud uuringu põhjal.

Saabumiskiirus sõltub ristmikul kehtivast kiiruspiirangust. Käesolevas töös käsitletakse asulasiseseid ristmike, kus kiiruspiirangud on kuni 50 km/h. Sellisel juhul käsitletakse sõidukite saabumiskiirusena 11 m/s (40 km/h). Eeldatakse, et esimene sõiduk võib ületada stoppjoone roheline märgutule sisselülitamise hetkel saabumiskiirusega (arvesse ei võeta esimese sõiduki viivitust). (Metsvahi, 2001)

Valemis kasutatavad lahkumistee ja saabumistee pikkused valitakse vastavalt lahkuva ja saabuva liikleja konflikti tüübile. Need väärtused sõltuvad olukorrast ja need määratakse igal ristmikul eraldi (Tabel 1.3).

Tabel 1.3. Lahkumis- ja saabumistee pikkuse määramine

Lahkuv - saabuv	Eesmärk	lahkumistee pikkus (l_1)	saabumistee pikkus (l_s)
Lahkuv sõiduk – saabuv sõiduk	On vajalik, et ühe foorigrupi rohelise aja lõpul stoppjoone ületanud sõiduk jõuaks ristmikult lahkuda enne, kui teise foorigrupi rohelise aja algul liikuma hakanud sõiduk jõuab ristmiku konfliktalasse	Kaugus stoppjoonest konfliktpunktini	Kaugus stoppjoonest konfliktpunktini
Lahkuv sõiduk – saabuv jalakäija	On vajalik, et ühe foorigrupi rohelise aja lõpul stoppjoone ületanud sõiduk jõuaks ülekäiguraja ületada enne kui jalakäijatele alustab roheline märgutuli ja jalakäija jõuaks astuda ülekäigurajale	Kaugus peatumisjoonest ülekäiguraja keskkohani	Kaugus kõnnitee servast konfliktpunktini. Üldjuhul $l_s=0$ m
Lahkuv jalakäija – saabuv sõiduk	On vajalik rohelise märgutule ajal ülekäigurajale astunud jalakäija jõuaks ületada sõidutee või jõuaks lähimale eraldusaarele enne, kui liikumist alustanud sõiduk jõuab ülekäigurajale	Sõidutee laius või kaugus kõnniteest eraldusaareni	Kaugus stoppjoonest ülekäiguraja eesääreni

Allikas: (Metsvahi, 2001), koostatud autori poolt

Läbilaskvuse arvutuse abil leitakse ühe sõiduraja tegeliku läbilaskvus. Seda saab leida kui on koostatud kaitseaegu arvestav taktijaotus ja valitud roheliste fooritulede kestus. Ühe sõiduraja tegeliku läbilaskvuse (C_i) arvutamiseks kasutatakse valemit 1.9: (Metsvahi, 2001)

$$C_i = \frac{3600}{T} \times \frac{t_r + q_i - t_0}{q_i} \quad (1.9)$$

Läbilaskvuse kasutustase leitakse iga liiklussuuna jaoks valemiga 1.10: (Metsvahi, 2001)

$$z_i = \frac{m_i}{C_i} \quad (1.10)$$

kus m_i - manöövri liiklussagedus sa/h

C_i - valitud rohelisele tulele vastav läbilaskvus sa/h

Käesolevas töös käsitlevate parameetrite muutmisel muutuvad läbilaskvuse arvutamise tulemused kuna käsitletakse rohelise tule kestust t_r , keskmist autode vahelist intervalli q_i ja esimese sõiduki viivitust t_0 .

2. METOODIKA

Töö teises peatükis kirjeldatakse magistritöö eesmärgi saavutamiseks kasutatavaid uurimismeetodeid ja uurimisobjekte ning analüüsimeetodeid.

Töö peamiseks eesmärgiks on määrata kindlaks parameetrid, mida kasutada edaspidi fooriprogrammide koostamisel. See, kas need kattuvad seni kasutatud parameetritega või mitte, selgub töö käigus. Eesmärgi saavutamiseks kasutatakse kvantitatiivset uurimismeetodit, kus vaatluse käigus määratakse kindlaks parameetrid ja hiljem neid analüüsitakse..

Lähteandmetena kasutatakse käesoleva töö punktis 1.1.2 kirjeldatud parameetreid ja valemeid. Lähteandmete põhjal püstitati probleem – õigusaktides ja normdokumentides ei ole välja toodud täpseid fooriprogrammide koostamiseks vajalike nõudeid. Töö käigus kasutatakse lähteandmetena juhendis T.Metsvahi 2001.aasta „Ristmike läbilaskvuse arvutamise juhend“ välja toodud valemeid ja parameetreid. Lähteandmete põhjal formuleeritakse küsimused, mida töö eesmärgi saavutamiseks on vaja liikluses uurida.

2.2. Varasemad uuringud ja andmestikud

Töö autor tutvus foorjuhitavate ristmike kohta infot sisaldavate teostatud uuringutega. Varasemate uuringutega tutvumise eesmärk oli saada infot selle kohta, kas sarnaseid uuringuid on juba teostatud. Kui sarnaseid uuringuid on teostatud, selgub:

- Kas on olemas tulemusi, mida saab kasutada käesoleva töö tulemuste võrdlemiseks;
- Kui on teostatud uuringuid, saab kasutada sarnaseid uurimismeetodeid, või teostatud uuringute põhjal kohandada käesoleva töö eesmärgi saavutamiseks sobiv uurimismeetod.

Liikluskäitumise monitooring

Liikluskäitumise monitooring on Eestis iga-aastaselt teostatav uuring, mida viiakse Eestis läbi aastast 2001 eesmärgiga hinnata trende liiklejate käitumises.

Liikluskäitumise monitooringu käigus vaadeldakse järgmisi liikluskäitumise aspekte, mis on käesoleva töö mõistes olulised (Teede Tehnokeskus, 2019):

- Fooritulede nõuetest kinnipidamine sõidukijuhtide poolt;
- Fooritulede nõuetest kinnipidamine jalakäijate poolt.

Fooritulede nõuetest sõidukijuhtide poolt kinnipidamise uuringu eesmärk oli määrata keelava fooritule (kollane ja punane) nõudeid eiravate mootorsõidukijuhtide osakaal liikluses. Vaatluse käigus fikseeriti juhtide arv, kes kollase ja punase tule süttides peatusid ning eraldi nende juhtide arv, kes kollase ja punase fooritule süttides jätkasid liikumist. Pärast vaatlustulemuste kogumist määrati kollase ja punase fooritule nõuete rikkujate osakaalud ning selliste fooritsüklite osakaal kõikidest tsüklitest, kus esines eirajaid. (Teede Tehnokeskus, 2019)

Kuna selles uuringus kasutatud meetod, erineb käesoleva töö käigus kasutatud meetodist, ei ole tulemused omavahel võrreldavad. Fooriprogrammide koostamise parameetrite määramise jaoks ei ole oluline rikkujate käitumismall, vaid üleüldised ühe tsükli ajal ristmikule sõitvate sõidukite arvud ning teadmine millal siseneb ristmikule viimane sõiduk.

Fooritulede nõuetest jalakäijate poolt kinnipidamise uuringu eesmärk oli teada saada keelava fooritule nõuet eiravate jalakäijate osakaal liikluses. Vaatlusi viidi läbi reguleeritud ristmikel ja ülekäiguradadel. Kokku loendati 2000 jalakäijat, neist 40% Tallinnas, 60% teistes linnades. Fooritulede nõudeid eiras 187 jalakäijat ehk 9%. (Teede Tehnokeskus, 2019)

Selle uuringu tulemusi saab kasutada käesoleva töö tulemuste võrdlemisel kuid ainuüksi selle uuringu põhjal ei saa määrata fooriprogrammide koostamiseks vajalike parameetrid.

Fooriprogrammide ja –parameetrite mõju liiklusohutusele

Aastal 2003 teostas Inseneribüroo „Stratum“ uuringu „Fooriprogrammide ja –parameetrite mõju liiklusohutusele. Uuringus püstitati sarnane probleem – fooriprogrammide projekteerimisel puuduvad kindlaks määratud parameetrid.

Uuring näitab, et probleem oli olemas juba aastal 2003. Käesolev magistr töö koostati aastal 2020 ja vahepealse aja jooksul ei ole autorile teada olevalt antud probleemiga tegeletud. On keeruline hinnata kas ja kui palju õnnetusi saanuks ära hoida fooriprogrammide optimeerimisega.

Ameerika Ühendriikides teostatud uuringud

Ameerika Ühendriikides on teostatud uuringuid fooriprogrammide koostamise algoritmide koostamiseks. Foorjuhtimise optimeerimise eesmärgi uuringus arendati simulatsiooni põhine mudel, mis valib parima algoritmi etteantud algoritmide seast fooriprogrammi optimeerimiseks. Sealjuures arvestati konkreetse etteantud ristmiku nõudlust. (Hajbabaie & Benekohal, 2013)

Fooriprogrammide sõidukite ja jalakäijate ooteaegade põhjal optimeerimise uurimustööl oli kaks eesmärki. Esimene neist oli välja töötada efektne meetodika fooriprogrammide optimeerimiseks ja seeläbi ristmiku summaarse ooteaja vähendamiseks nii sõidukitele kui jalakäijatele. Uuringu aluseks toodud algoritmides jalakäijate ooteaegu ei käsitletud. Teiseks oli luua juhend jalakäijate takti koostamiseks - kuidas määrata lubava aja pikkus ja kas eraldi taktide asemel peaks olema üks takt, kus jalakäijad võivad ristmiku ületada kõigis suundades. Töö käigus arendati algoritm, mille eesmärgiks oli ühe konkreetse ristmiku läbilaskvuse suurendamine. Seda algoritmi testiti hüpoteetilisel ristmikul. Algoritm poolt koostatud fooriprogrammid hinnati mõistlikuks. Algoritm suurendas fooritsükli pikkust vastavalt liikluskoormuse suurenemisele. Jalakäijate lubav aeg peab uuringu põhjal olema lühem kui samas suunas liikuvatel sõidukitel. Jalakäijatele eraldatud takt, kus jalakäijad võivad ristmiku ületada kõigis suundades, on läbilaskvusele kasulik kui jalakäijate ja parempöoret sooritavate sõidukite arv on suur ning ristmiku otse läbivate sõidukite osakaal väiksem. (Yang, 2010)

Fooriprogrammide optimeerimise uurimistöös, kus arvestati peamiselt mõju keskkonnale ja ohutusele, oli töö eesmärgiks välja töötada algoritm, mis arvestab liikuvust, ohutust ja mõju keskkonnale samaaegselt. Töötati välja mudel heitgaasikoguste arvestamiseks ja algoritmide liiklusõnnetuste ennetamiseks. Uuringus leiti, et ristmiku suurus (eelkõige peasuuna sõiduradade arv) mõjutab nii liikuvust, ohutust kui keskkonna mõju. (Andrade, Elefteriadou, & Zhang, 2017)

Lisaks on teostatud erinevaid uuringuid liikluse modelleerimise mudelite kohta, mis arvestavad ristmike vahelisi liiklusvoogusid ja koostavad selle põhjal fooriprogramme. Sellised fooriprogrammide optimeerimise rakendused on näiteks SimTraffic, TRANSYT-7F, PASSER ja SYNCHRO. Need rakendused on teostatud algoritmide põhjal, mis sisaldavad käesolevas magistris analüüsitavaid parameetreid. Parameetreid täpsemalt aga antud uuringutes ei käsitleta. (P.Alvarez & M.A.Hadi, 2014)

Liiklusõnnetuste statistika

Käesolevas töös kasutatav liiklusõnnetuste statistika pärineb Maanteeameti kodulehelt leitavast andmebaasist. Andmebaasis on toodud välja liiklusõnnetused aastatest 2011-2019. Antud andmebaas ei sisalda liikluskindlustusjuhtumeid ja omavastutuskindlustusjuhtumeid, mida ei registreeritud liiklusõnnetusena. Samuti on liiklusõnnetuste tunnuste järgi andmebaasi märkimine sageli ebatäpne või puudulik.

Andmebaasist selekteeriti välja fooriga reguleeritud ristmikel (720 õnnetust) ja reguleeritud jalakäijate ülekäigurajal toimunud õnnetused (148 õnnetust). Liiklusõnnetustes sai vigastada 1066 ja hukkus 15 inimest. Foorjuhitavatel ristmikel leidis aset 8,9% aastatel 2011 – 2019 toimunud õnnetustest. Vigastatute arv moodustas 6,8% ja hukkunute arv 2,3% koguarvust. (Maanteeamet, 2020) Foorjuhitavatel ristmikel, kus konfliktide võimalus peaks olema välistatud, on need näitajad töö autori hinnangul pigem kõrged.

Liiklusõnnetuste statistikast saab töö autor koostada järeltõlge, et õnnetusi toimub erinevat tüüpi ristmikel (Tabel 2.1). See annab aluse uurida erinevaid ristmike ja mitte keskenduda ühte tüüpi ristmiketele.

Tabel 2.1 Aset leidnud õnnetused vastavalt ristmiku tüübile

Ristmiku tüüp	LÕ arv	LÕ arv
†-kujuline ristmik	587	587
5 või enama haruga ristmik	35	35
T-kujuline ristmik	202	202
X- kujuline ristmik	35	35
Y-kujuline ristmik	9	9

Allikas: (Maanteeamet, 2020), koostatud autori poolt

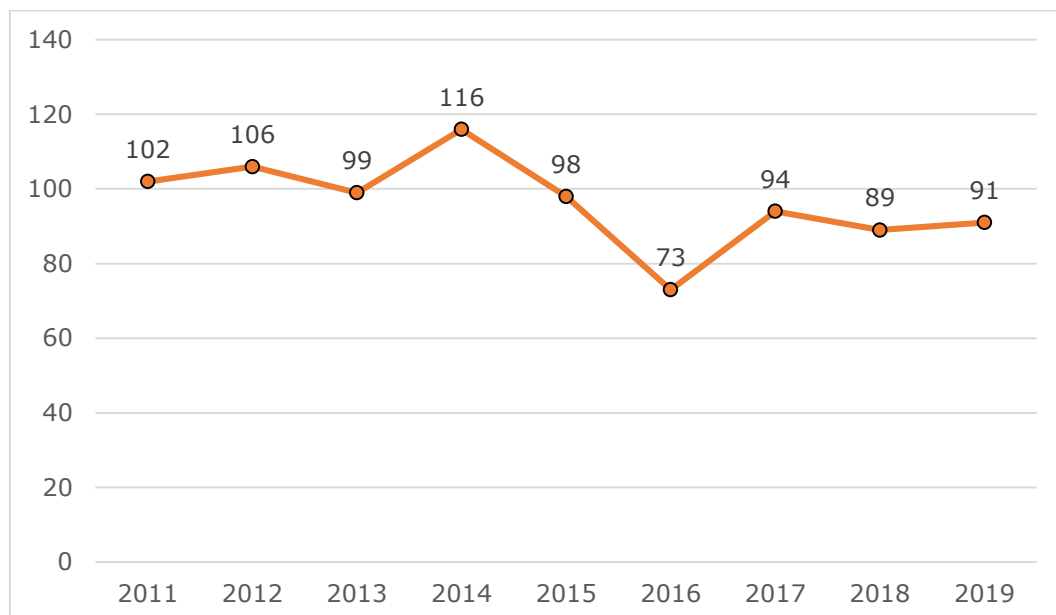
Liiklusõnnetuste statistika põhjal saab tuua välja, et protsentuaalselt on kõige sagedasem liiklusõnnetuse põhjus jalakäijaga kokkupõrge (Tabel 2.2). Seetõttu tuleks töö käigus kindlasti uurida jalakäijatega seotud parameetreid.

Tabel 2.2 Registreeritud liiklusõnnetused vastavalt liigile

Liiklusõnnetuse liik	Kokku	%
Ühesõidukiõnnetus – teelt väljasõit	53	6
Kokkupõrge vastutuleva sõidukiga	118	14
Kokkupõrge mootorsõidukiga külgnevatelt suundadelt	214	25
Kokkupõrge jalakäijaga	286	33
Kokkupõrge samas suunas liikuva sõidukiga	134	15
Muu põhjus või põhjus märkimata	63	7

Allikas: (Maanteeamet, 2020), koostatud autori poolt

Peamiselt leidsid liiklusõnnetused aset asulas (841 õnnetust). Kõige rohkem õnnetusi toimus Tallinnas (572), Tartus (97) ja Pärnus (53). Kuigi fooriristmikke ehitatakse igal aastal juurde, ei ole liiklusõnnetuste arv suurenenud (Joonis 2.1).



Joonis 2.1 Liiklusõnnetuse arv foorjuhitavatel ristmikel aastate lõikes

Allikas: (Maanteeamet, 2020), koostatud autori poolt

Aastatel 1999 – 2002 oli kõige liiklusõnnetuste rohkem foorjuhitav ristmik Tallinnas Endla tn – Sõpruse pst – Tulika tn ristmik. (Inseneribüroo Stratum, 2003)

Kristiine ristmikul (Endla tn – Sõpruse pst – Tulika tn) toimus enne kiiruskaamerate rakendamist (perioodil 01.01.2011 – 01.03.2017) 6 liiklusõnnetust. Kiiruskaamerate rakendamisest kuni foorikaamerate rakendamiseni (perioodil 01.03.2017 – 07.05.2019) leidis aset 4 liiklusõnnetust. Pärast foorikaamerate tööle asumist leidis perioodil 07.05.2019 – 31.12.2019 aset 1 liiklusõnnetust. (Maanteeamet, 2020) Kuna perioodid on erineva pikkusega ei anna liiklusõnnetuste arv täpset ülevaadet sellest kui suur on liiklusrikkumisi fikseerivate kaamerate mõju. Töö autor planeerib teostada vaatlused sellel ristmikul, et leida võimalikud erisused.

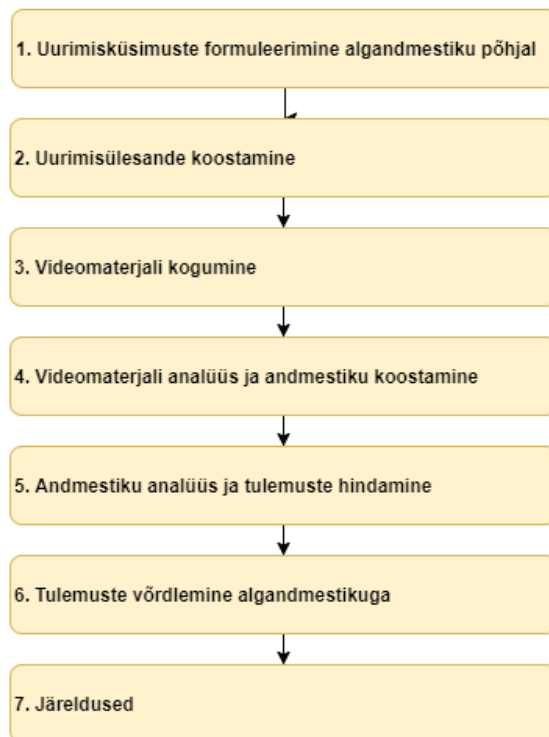
Enne Haabersti ringristmiku (Paldiski mnt – Ehitajate tee – Rannamõisa tee) ümberehitust foorjuhitavaks, peeti seda ristmiku Eesti kõige ohtlikumaks ristmikuks. (ERR, 2017) Aastatel 2011-2017 leidis aset vähemalt 22 inimkannatanuga liiklusõnnetust. Aastal 2018 Toimus ristmiku ümberehitus ja seda aastat võrdlusele ei kasutata. Aastal 2019 leidis aset üks liiklusõnnetus, kus sai vigastada 2 inimest. (Maanteeamet, 2020) Käesolevas töös planeeritakse antud info kaalutlustel vaatlus Haabersti ringristmikul.

Liiklusõnnetuste statistika põhjal ei saa tuua järeldusi kui palju liiklusõnnetusi on seotud fooriprogrammide koostamisel määratud tingimustega ristmikul liiklemisel. Liiklusõnnetuste statistika andis aluse uurida erinevat tüüpi ristmikke ja kindlasti uurida jalakäijatega seotud parameetreid.

2.3. Uuringu läbiviimise metoodika

Käesoleva uuringu läbiviimise saab jaotada 7-etapiliseks protsessiks. Joonisel 2.2 on esitatud üldine sõnastus analüüsi etappide kohta. Esmalt formuleeriti uurimisküsimused algandmestiku (määrused, standardid, juhendid) põhjal. Uurimisküsimuste põhjal koostati uurimisülesanne. Uurimisülesande põhjal alustati videomaterjali kogumist.

Videomaterjali kogumise järel teostati selle analüüs ja selle põhjal koostati andmestik. Andmestiku põhjal sai teostada analüüs ja koostata tulemused. Tulemuste koostamisel hindas töö autor, kas tulemused on realistlikud ja kasutatavad. Pärast kasutatavate tulemuste selekteerimist, võrreldi neid algandmestikuga. Võrdluse tagajärjel tegi töö autor järeldusi.



Joonis 2.2 Uuringu läbiviibimise etapid, koostatud autori poolt

2.3.1. Andmete kogumine

Andmete kogumiseks kasutati videokaamera abil läbi viidud vaatlust, millega jäädvustati liiklussituatsioone. Videokaamerate valikul lähtus töö autor sellest, et kõik kaamerad oleksid suutelised salvestama videopilti resolutsiooniga vähemalt 1280x720 pikslit ja sealjuures tegema seda kaadrisagedusega vähemalt 60 kaadrit sekundis. Kaadrisagedus on oluline, et oleks võimalik määrata ajalisi väärtusi täpsusega 0,1 sekundit. Töö autor kasutas varasemalt olemas olnud kaameraid GoPro ja Acme ning spetsiaalselt käesoleva töö jaoks soetatud kaamerat Sjcam. Kaamerate valikul oli oluline nende maksumus – kuna kaamerad jäeti tihti ristmikule filmima ilma järelevalveta, oli oht nende varguseks. Kaamerad kinnitati juhtmesidemetega erinevate olemasolevate konstruktsioonide, näiteks fooripostide, tänavavalgustuse postide ja trolliliinikandurite külge.

Andmete kogumise algusetapis viidi läbi pilootprojekt, mille eesmärgiks oli testida kavandatavat meetodikat, seda nii tehnilisest küljest (näiteks kaamerate akude kestvus) kui andmete kogumise võimalikkust videosalvestuse alusel. Pilootprojekti järel suurendas töö autor ristmikul asetsevate kaamerate arvu ühe võrra ja lisis kaameratele akupanga, mille aku kestvusega oli probleeme, et suurendada kaamera salvestusvõimekust.

Pilootprojekt andis kogemuse kaamerate paigutuse ja juhised edasiseks kuidas kaameraid paigutada ristmikule nii, et nende filmitavat videopilti oleks võimalik kasutada.

Käesoleva töö käigus teostati uuringud kokku 16 korda, kaheteistkümmel erineval ristmikul. Uuringud viidi läbi ajavahemikus 14.02.2020 – 07.04.2020. Uuringute käigus analüüsiti kokku 122 sõiduraja/manöövri toimumist. Uuringud toimusid:

1. Sarnastel ristmikel erinevates Eesti linnades tööpäeva tipptunnil ajavahemikus 16:45 – 18:00. Ristmike valikul sai määravaks eri tüüpi sõiduradade olemasolu.
 - Viljandis, C.R.Jakobsoni tn – Leola tn ristmikul;
 - Tartus, Aardla tn – Võru tn ristmikul;
 - Tallinnas, Ehitajate tee – Vilde tn ristmikul;
 - Tallinnas, Nõmme tee – Linnu tee ristmikul.
2. Ühel ristmikul erinevatel kellaaegadel - A.H.Tammsaare tee – Mustamäe tee ristmikul Tallinnas. Iga vaatluse käigus analüüsiti kolme suunda ühe tunni jooksul.
 - Tööpäeval ajavahemikus 7:45 – 9:00;
 - Tööpäeval ajavahemikus 11:30 – 12:30;
 - Tööpäeval ajavahemikus 16:45 – 18:00;
 - Nädalavahetusel ajavahemikus 12:00 – 13:00.
3. Tallinnas Endla tn – Sõpruse pst – Tulika tn ristmikul, et teada saada liiklusrikkumisi fikseerivate kaamerate mõju liiklusrikkumiste osakaalule võrreldes teiste ristmikuga
 - Tööpäeval ajavahemikus 7:45 – 9:00;
 - Tööpäeval ajavahemikus 16:45 – 18:00.
4. Erineva fooritsükli pikkusega ristmikel – analüüsitud ristmike fooritsükli pikkused olid vahemikus 48...90s.

Lisaks eelnevalt toodud asukohtadele teostati täiendavad vaatlused järgnevatel Tallinna ristmikel:

- Akadeemia tee - Raja tn (enne rekonstrueerimise algust);
- Peterburi tee – J.Smuuli tee;
- Sõle tn – Paldiski mnt – Tulika tn;
- Paldiski mnt – Ehitajate tee – Rannamõisa tee (Haabersti ringristmik);
- Narva mnt – Pirita tee;
- Narva mnt Russalka jalakäijate reguleeritud ülekäik.

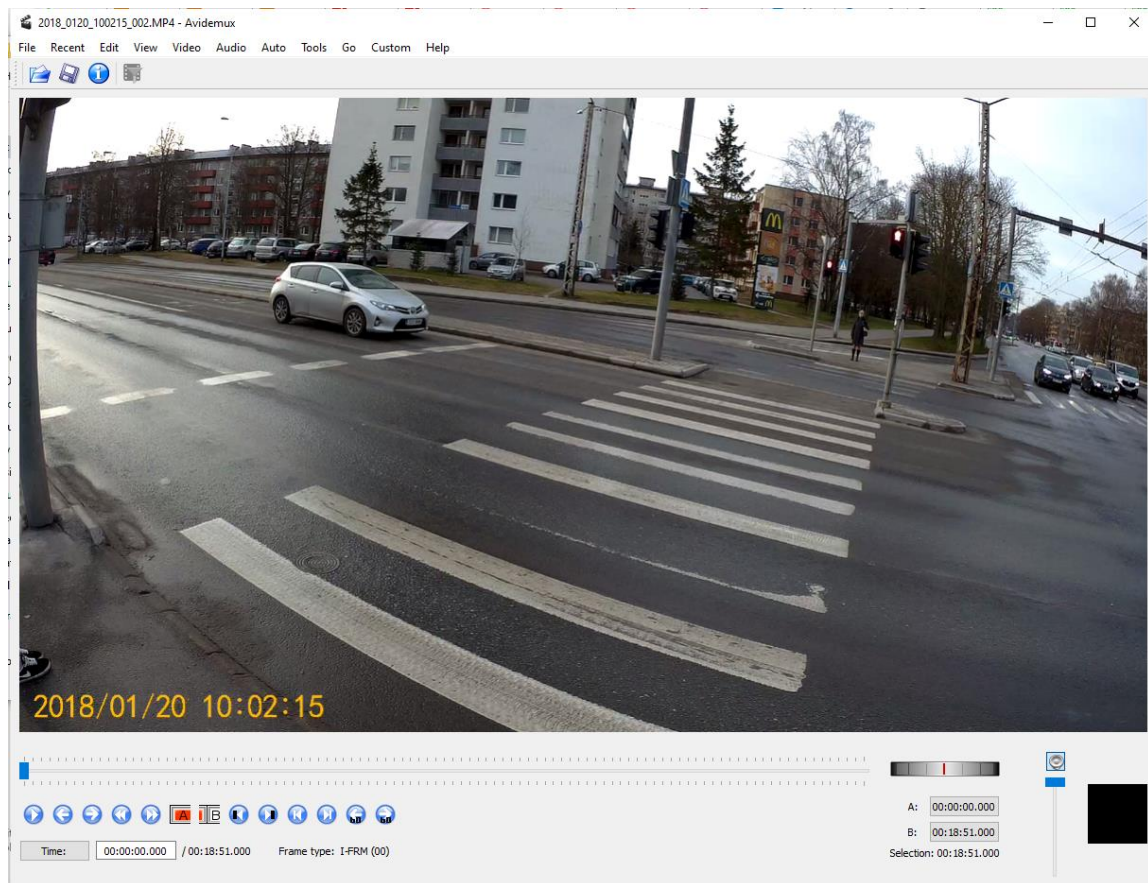
Täiendavate vaatluste eesmärk oli suurendada valimit ja teostada analüüs erinevates linnaosades asuvatel ristmikel, väljakutsenupuga aktiveeritavatel jalakäija ülekäikudel ja erinevaid manöövreid võimaldavatel sõiduradadel.

2.3.2. Andmestiku koostamine

Kuna analoogset uuringut ei ole varem teostatud, koostas töö autor andmestiku koostamiseks vajaliku meetodika. Andmestiku koostamiseks toimus videomaterjali analüüs kasutades programmi Avidemux. Programmi eeliseks teiste sarnaste programmide ees oli selle lihtne kasutajaliides ja võimalus videomaterjale kaadrihaaval vaadata.

Videomaterjali analüüsi lihtsustamiseks koostati arvutuslik fooriprogrammi arvutustabel. Selleks oli vajalik teada, milline fooriprogramm antud ristmikul filmimise hetkel kasutusel oli. Fooriprogrammidele Tallinnas oli töö autorile antud ligipääs ettevõtte AS Signaal TM abiga. Ettevõtte on Tallinna linnas foorisüsteemide ehitamise ja hooldamisega tegelenud juba pikka aega ja tänu sellele on ettevõttel olemas andmebaas fooriristmike puudutavale infole varasemast ajast ning ligipääs reaalaaja andmetele.

Linnades, kus puudus info kasutatava fooriprogrammi kohta, määras töö autor kasutatava fooriprogrammi vaatluse teel.



Joonis 2.3 Andmeanalüüsi koostamiseks kasutatud programmi Avidemux kuvatõmmis, koostatud autori poolt

Iga sõiduraja kohta koostati tabel sarnaselt tabelile 2.3:

Tabel 2.3 Tabel sõiduraja analüüsiks, koostatud autori poolt

Fooritakti nr	tR	eR	R	K	P	tP
1						

Tabelis 2.3 määrati:

- Fooritakti nr - näitab videos analüüsitava fooritakti järjekorra numbrit. Fooritakte ei tähistatud täpse ajavahemikuga kuna see info ei olnud selle töö kontekstis oluline. Samuti jättis töö autor fooritakte vahele kui fooritakti analüüsimist mõjutas segav voog (näiteks analüüsitava fooritakti ajal alarmsõitu tegev ja ristmikule külgnevalt suunalt lähenev sõiduk). Ühel videol analüüsiti kuni 75 fooritsükli;
- t_r – esimese sõiduki ristmikule sisenemise aeg (stoppjoone ületus) võrreldes rohelise fooritule lülitumisega;
- eR – enne rohelise fooritule lülitumist ristmikule sisenenud sõidukite arv;

- R – rohelse fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv;
- K – kollase fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv;
- P – punase fooritule ajal ristmikule sisenenud sõidukite arv;
- tP – pärast punase fooritule lülitumist ristmikule sisenenud sõiduki aeg (stoppjoone ületus) võrreldes punase fooritule lülitumisega.

Juhul, kui esimene sõiduk ületas stoppjoone kiirusega üle 10 km/h või sõiduk sõitis ristmikule pärast punase fooritule lülitumist, arvutati välja sõiduki ligikaudne kiirus. Selleks kasutati videolt määratavat ajavahemikku kahe objekti vahel. Tüüpiliselt osutus selleks teekattemärgistus (näiteks aeg, mis kulus stoppjoonest ülekäigurajani jõudmiseks). Töö autor märkis aja täpsusega 0,05 sekundit. Täpsemateks mõõtmisteks oleks vaja läinud kaameraid, mille kaadrisagedus on suurem. Kuna nende kahe objekti tegelik kaugus oli mõõdetav sai välja arvutada sõiduki ligikaudse kiiruse kasutades valemit 2.1:

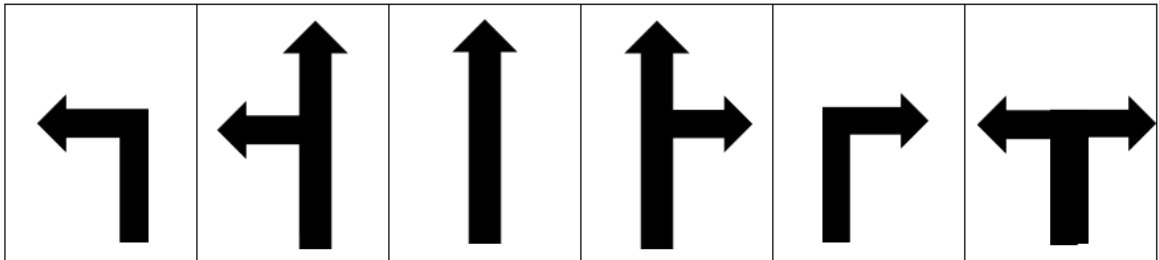
$$kiirus (m/s) = \frac{teepikkus (m)}{aeg (s)} \quad (2.1)$$

Jalakäijate ja jalgratturite analüüsil koostas autor meetodi, kus rohelse tule lülitumise järel määrati ülekäigurajale sisenemise aeg t_{rJK} või t_{rJR} (s) sarnaselt sõidukite puhul kasutatavale meetodile. Lisaks määrati mõlema puhul ülekäiguraja ületamiseks kuluv aeg 0,1 sekundi täpsusega. Kui on teada ülekäiguraja pikkus, sai töö autor kasutades eelnevalt toodud valemit välja arvutada jalakäijate ja jalgratturite ülekäiguraja ületamise keskmise kiiruse.

Täiendavalt märgiti kui palju jalakäijaid ja jalgrattureid sisenes ülekäigurajale lubava ja keelava fooritule ajal.

2.3.3. Andmestiku analüüsi meetod

Andmete analüüsil toodi kokkuvõtte analüüsitud sõiduradade arvust iga manöövri kohta ja eraldi. Käsitletud manöövrite kohta koostas autor joonise 2.4. Andmestikus toodi kokkuvõtted eelnevalt kirjeldatud ristmikule sisenemise tingimuste kohta.



Joonis 2.4 Analüüsitud sõidurajad graafiliselt

Järgmisena määrati keskmised reaktsiooniajad. Sõidukite loendamise tulemuste põhjal oli võimalik seega määrata arvutuslikud intervallid esimese, maksimaalse, keskmise ja minimaalse sõidukite arvu põhjal kasutades valemit 2.2 (Metsvahi, 2001):

$$I = \frac{\text{roheline fooritule pikkus (s)}}{\text{roheline fooritule ajal stoppjoone ületanud sõidukite arv}} \quad (2.2)$$

3. TULEMUSED

Käesoleva töö tulemused on jaotatud kaheks osaks – sõidukijuhtide ja jalakäijate andmed. Lisaks tuuakse alapunktis 3.3 välja töö eesmärgiks seatud analüüsitavate parameetrite väärtused.

3.1. Sõidukijuhtide käitumine fooriristmikel

Sõidukijuhtide kohta kogutud andmete kokkuvõtlik tabel on toodud Lisas 1. Käesolevas peatükis tuuakse välja konkreetsemad järeldused.

Fooritulede nõuetest kinnipidamine

Lubatud foorisignaali ajal sisenes vaatlustulemuste alusel ristmikule kokku 21 304 sõidukit (94%) ja keelatud ajal 1350 sõidukit (6%). Täpsem keelatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite jaotus sisenemishetke järgi on toodud tabelis 3.1. Uurimistulemustest selgus, et suurim keelatud ajal ristmikule sisenevate sõidukite osakaal on kollase tule ajal.







Tabel 3.1 Keelatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite jaotus

Foorisignaali	Sõidukeid	%
Punane või punane ja kollane takti alguses P P/K	264	20%
Kollane K	986	73%
Punane takti lõpus P	100	7%

Tabelist 3.2 on leitav ristmikule sisenemise jaotumine vastavalt võimalikele sõidurajalt sooritavatele manöövritele. Kõige rohkem keelatud ajal ristmikule sisenejaid oli sõidurajalt, kus oli võimalik teha vasakpöoret ja parempöoret (10,7%). Punase tulega takti lõpus ristmikule sisenejate arv oli selles kohas suurima osakaaluga (3,2%). Selline sõidurada oli ainult ühes analüüsitavas kohas (Akadeemia tee – Raja tn ristmik).

Et selgitada välja, kas selline tulemus on seotud antud sõiduraja lahendusega, tuleks läbi viia täiendavaid uuringuid sama iseloomuga sõidurajal. Enne roheline tule lülitumist ristmikule sisenejaid oli enim sõiduradadel, kus on võimalik teha vasakpöört (1.7%).

Tabel 3.2 Ristmikule sisenemise jaotumine vastavalt sõidurajale

						
P / PK	116 (1,7%)	0 (0%)	130 (1%)	12 (0,5%)	4 (1,5%)	2 (0,6%)
R	6187 (92,1%)	190 (96,9%)	11944 (94,7%)	2419 (95,7%)	255 (94,8%)	309 (89,3%)
K	382 (5,7%)	6 (3,1%)	485 (3,9%)	92 (3,6%)	8 (3%)	24 (6,9%)
P	34 (0,5%)	0 (0%)	49 (0,4%)	4 (0,2%)	2 (0,7%)	11 (3,2%)

kus P/PK – punane või punane ja kollane takti alguses;

R – Roheline;

K – Kollane;

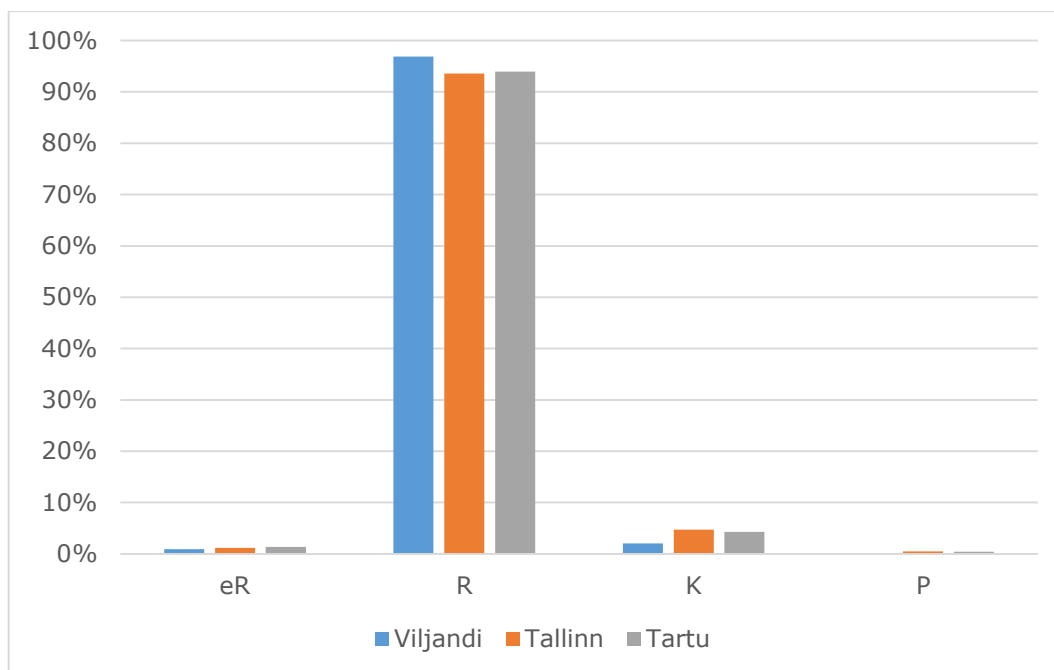
P – Punane takti lõpus.

Käesoleva töö raames teostatud uuringute põhjal ei ole fooritsükli kestus seotud rikkujate osakaaluga. Tabelist 3.3 on näha, kuidas mõjutab fooritsükli kestus rikkujate osakaalu protsentides. Suurim rikkujate protsent oli 72 sekundi pikkuse fooritsükli ajal. Küll aga jäi rikkujate osakaal valdavalt 6% ... 9% vahele. 68 sekundi pikkuse fooritsükli ajal oli rikkujate arv vaid 3%. Selline lahendus oli kasutusel ainult Viljandis C.R.Jakobsoni tn ja Leola tn foorjuhitaval ristmikul. Seega peegeldab see tulemus ainult ühe väikelinna ühe ristmiku rikkujate arvu. Rikkujate arvu erinevus võib tulla linnade liikluskultuuri erinevusest.

Tabel 3.3 Rikkujate osakaal vastavalt fooritsükli kestusele

Fooritsükli kestus T (s)	48	60	68	72	90
Rikkujate %	7	8	3	9	6

Selgitamaks välja, kas linnade rikkujate % on erinev ja linnades kasutatavad meetodid peaksid olema erinevad, koostas autor Joonise 3.1. Jooniselt on näha, et kuigi analüüsitud liiklejate arvud on erinevad, on rikkumiste jaotumine protsentuaalselt sarnane. Suurim erinevus on kollase tule ajal ristmikule sisenemine – Viljandis oli kollase tule ajal ristmikule sisenejate arv 2%, Tartus 4,3% ja Tallinnas 4,7%.



Joonis 3.1 Ristmikule sisenemine erinevates linnades

Seega saame järeldada, et linna suurusel ei ole olulist mõju liiklejate keelava fooritulega ristmikule sisenemise nõuete rikkumisel fooristmikel. Pigem võib seda tulemust seostada liikluskoormuse suuruse ja liikluspingega.

Kaitseagade kasutus

Tabelis 3.4 on välja toodud ristmikule sisenemise ajad fooritakti alguses. Analüüsiti ristmikule esimesena sõitnud sõiduki ristmikule sisenemise aegu iga sõiduraja lõikes) Täiendavalt on toodud need välja vastavalt asukohale linnade lõikes. Analüüsi tulemusel on olulisemad näitajad keskmised ristmikule sisenemise ajad (t_r avg).

Vasakpöörtele olid ristmikule sisenemise ajad vahemikus 6,7 sekundit enne roheline tule lülitumist ja 6,7 sekundit pärast roheline tule lülitumist. Keskmised ristmikule sisenemise ajad olid Tallinnas ja Tartus samad (1,2 sekundit). Viljandis oli see number Tallinna ja Tartu keskmisest ajast poole suurem (2,4 sekundit). Seda selgitab asjaolu, et Viljandis analüüsitud ristmikul puudus eraldi takt vasakpöördeks.

Ristmikku otse ületades jäid ristmikule sisenemise ajad vahemiku 3,1 sekundit enne rohelise tule lülitumist ja 5,4 sekundit pärast rohelise tule lülitumist. Keskmised ristmikule sisenemise ajad olid Tallinnas ja Tartus samad (1,3 sekundit) ja Viljandis natuke hilisemad (1,7 sekundit).

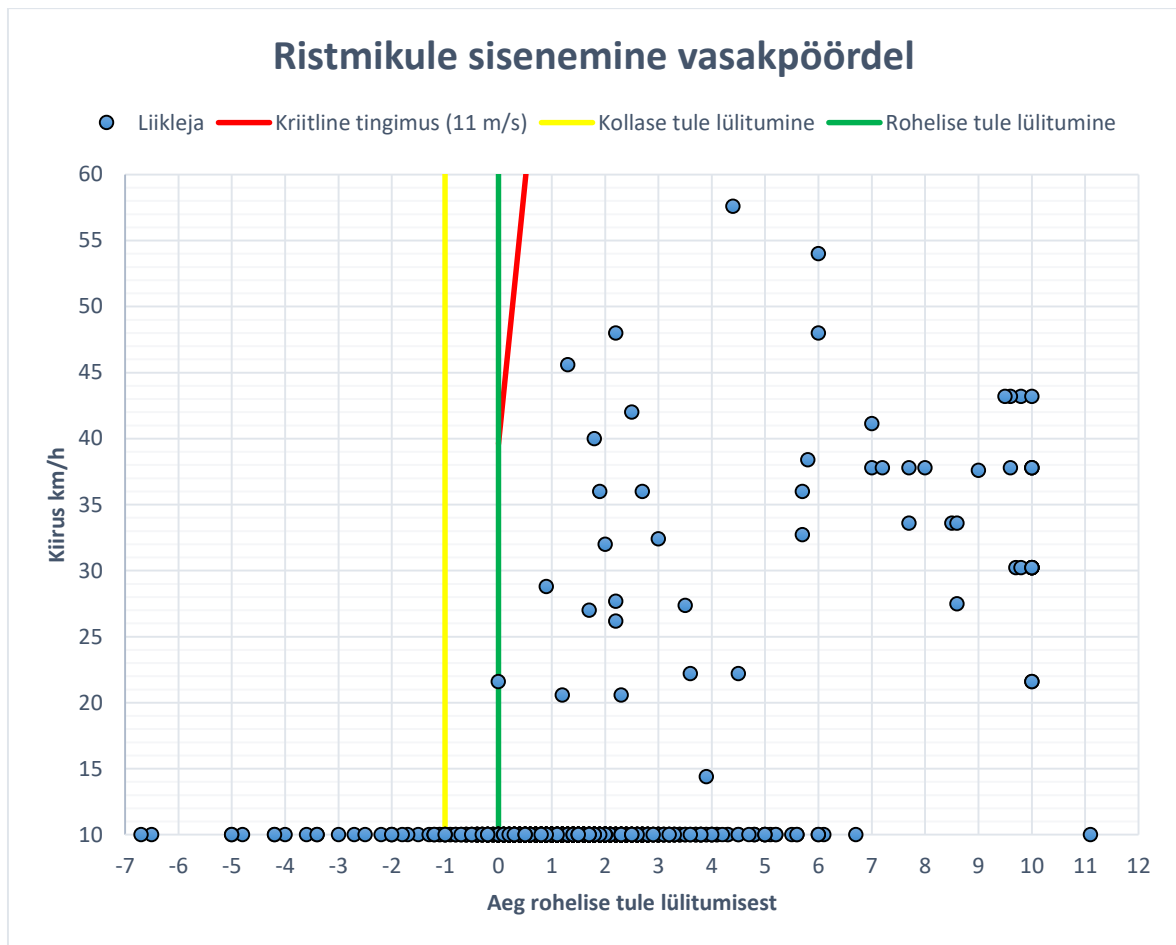
Parempööretele olid ristmikule sisenemise ajad vahemikus 1,5 sekundit enne rohelise tule lülitumist ja 4,3 sekundit pärast rohelise tule lülitumist. Keskmised ristmikule sisenemise ajad olid Tartus ja Viljandis samad (1,6 sekundit). Tallinnas siseneti ristmikule pool sekundit varem (1,1 sekundil pärast rohelise tule lülitumist).

Tabel 3.4. Ristmikule sisenemise ajad fooritakti alguses linnade lõikes

	Tallinn			Tartu			Viljandi		
	tR min	tR avg	tR max	tR min	tR avg	tR max	tR min	tR avg	tR max
Vasakpööre	-6,7	1,2	6,7	-2	1,2	4,2	-3	2,4	5,6
Otse sõites	-3,1	1,3	5,4	-2,5	1,3	5,1	-2	1,7	5,4
Parempööre	-1,5	1,1	4,3	-1,5	1,6	3,2	0,9	1,6	2,6

Järgnevatelt joonistelt on näha graafiku kujul ristmikule sisenemise aeg ja ristmikule sisenemise arvutuslik kiirus iga mõõdetud sõiduki kohta. Arvutuslik kiirus leiti täpsemalt sõidukite kohta, mille sisenemise kiirus oli vähemalt 10 km/h. Seega graafiku alumisel skaalal olevad sõidukid sisenesid ristmikule paigalt startides või madalal kiirusel. Graafikutele on kantud kollase tule ja rohelise tule lülitumise hetked ning saabumisaja arvutuses kasutatud tingimus 11 m/s (Tabel 2) rohelise tule lülitumise hetkel.

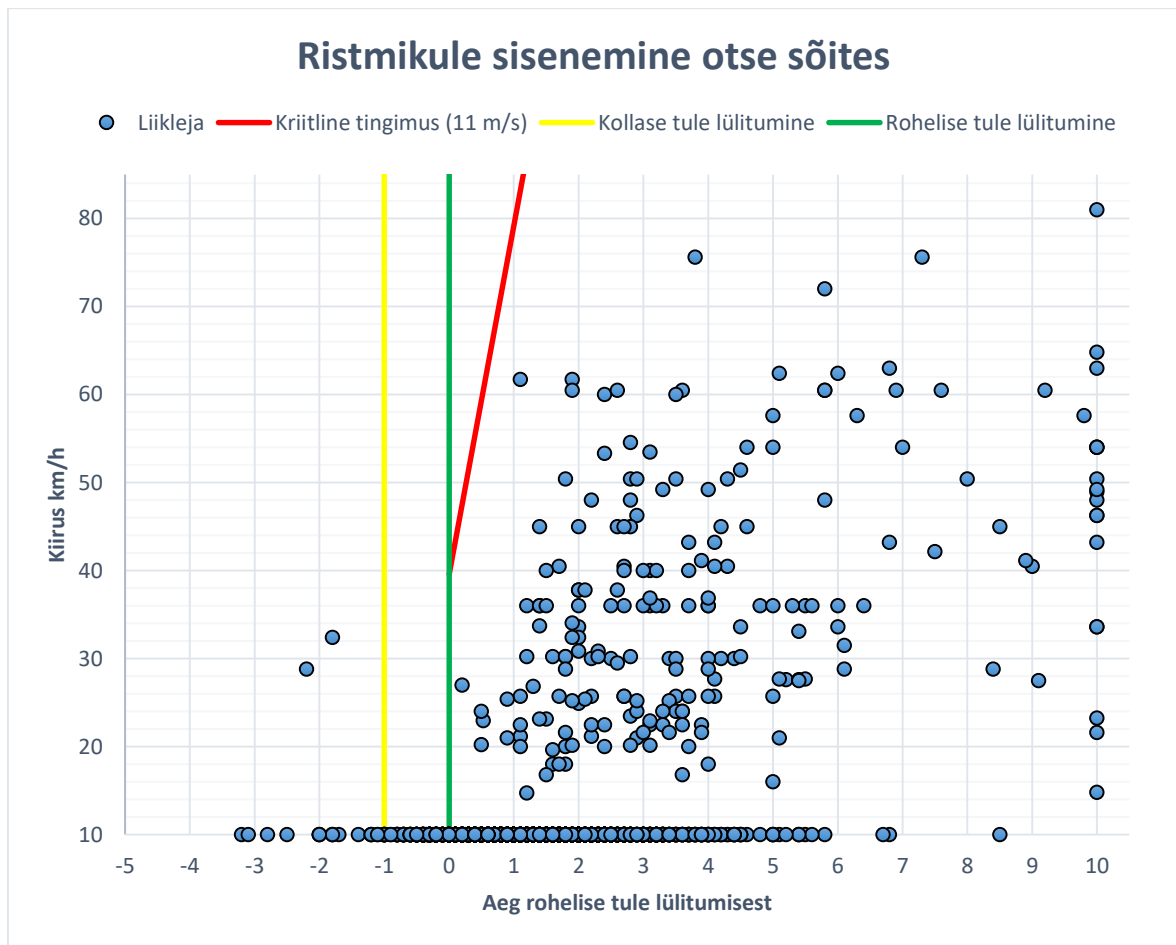
Joonisel 3.2 on välja toodud ristmikule sisenemise aeg ja arvutuslik kiirus vasakpöördel. Joonisel on näha, et kriitilist tingimust ei rikkunud need sõidukid, mis sisenesid ristmikule selleks ettenähtud ajal. Sõidukid, mis sõitsid ristmikule enne rohelise tule lülitumist võinuks olla ohuks konfliktuvatele liiklusvoogudele – teed ületavale jalakäijale või ristuvast suunas liikuvale sõidukile. Need sõidukid rikkusid liiklusreegleid ja nende ristmikule sisenemist ei ole fooriprogrammide koostamisel tavapäraselt arvestatud.



Joonis 3.2. Ristmikule sisenemine vasakpöördel fooritakti alguses

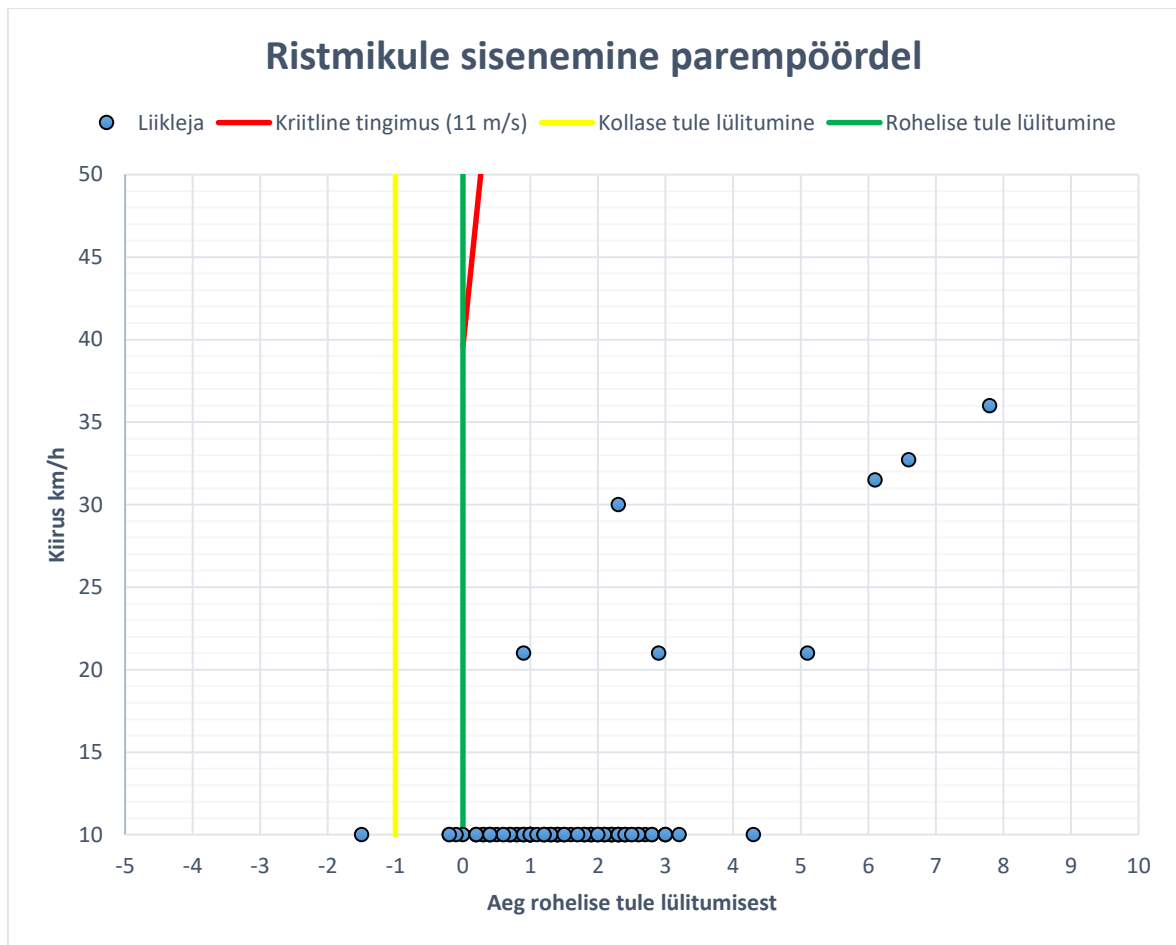
Joonisel 3.3 on välja toodud ristmikule sisenemise aeg ja arvutuslik kiirus otse liikunud sõidukitele. Joonisel on näha, et kriitilist tingimust ei rikkunud need sõidukid, mis sisenesid ristmikule selleks ettenähtud ajal.

Otse sõitnud sõidukite seas on sarnaselt vasakpööret teinud sõidukitele palju sõidukeid, mis sõitsid ristmikule enne rohelse tule lülitumist selleks mitte ettenähtud ajal. Kui vasakpöördel oli tegu sõidukitega, mis sõitsid ristmikule kiirusega 10 km/h või vähem, siis siin otse ristmiku ületamiseks ristmikule sõitis sõidukeid, mis sisenesid enne rohelse tule lülitumist kiirusel ligikaudu 30 km/h.



Joonis 3.3 Ristmikule fooritakti alguses sisenenud sõidukid ristmiku otse ületamiseks

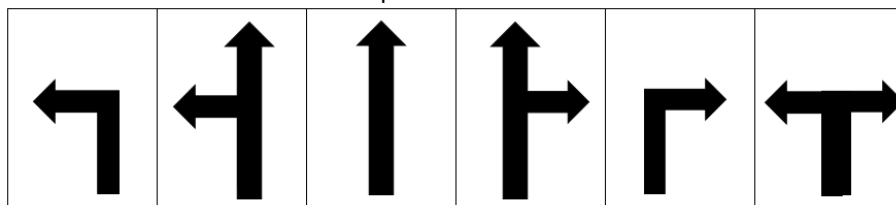
Joonisel 3.4 on välja toodud ristmikule sisenemise aeg ja arvutuslik kiirus parempöördel. Jooniselt on näha, et kriitilist tingimust ei rikkunud need sõidukid, mis sisenesid ristmikule selleks ettenähtud ajal. Leidus sõidukeid, mis sisenesid ristmikule enne rohelse tule lülitumist.



Joonis 3.4 Ristmikule fooritakti alguses sisenenud sõidukid parempöördel

Vastavalt juhendile on sõidukite lahkumiskiirused vastavalt sooritatavale manöövri ja pöördel kurvi raadiusele 5 – 10 m/s (Tabel 1.2). Uuringu käigus teostati sõidukiiruste hindamine viimasel sõidukil, mis sisenes ristmikule enne vilkuva rohelise tule lülitumist kollasele tulele. Siinkohal arvestati sõidukeid, mis sisenesid ristmikule kuni 1 sekund enne kollase tule lülitumist ning tulemustes ei ole arvestatud sõidukeid, mis sisenesid ristmikule kiirusega alla 3 m/s (olukord, kus pöördel puudub antud manöövri jaoks eraldatud fooritakt ja sõiduk peab ristmikul pöörde sooritamisel teed andma või olukord, kus parempööret sooritav sõiduk annab teed jalakäijale). Määratud sõidukiirused on toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Ristmikule sisenemine kiirused fooritakti lõpus



Ristmikule sisenemise kiiruse vahemik (m/s)	4,6...14,1	4,3...12,8	8,5...15,0	4,5...17,4	4,3...12,2	3,6... 7,0
Keskmine ristmikule sisenemise kiirus (m/s)	9,3 (8,9)*	9,0	12,1(11,8)*	9,8 (8,7)*	7,0	5,3
Vahemik, mis sisaldab 75% liiklejatest (m/s)	5,6...10,9	6,0...11,1	9,5...13,0	6,1...11,3	5,8...9,0	4,5...6,1

* - ei ole arvestatud maksimaalset lubatud sõidukiirust ületanud sõidukeid

Foorikaamerate mõju

Käesolevas töös viidi läbi vaatlused Tallinnas Endla tn – Sõpruse pst – Tulika tn ristmikul, et teada saada liiklusrikkumisi fikseerivate kaamerate mõju liiklusrikkumiste osakaalule võrreldes teiste ristmikuga (Tabel 3.6).

Tabel 3.6 Foorikaameratega ristmiku erinevus teistest Tallinna ristmikest

	Teised Tallinna ristmikud	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn
Möödetud reaktsiooniaegu	2932	493
tR min (s)	-6,7	-5
tR max (s)	8,5	5,1
tR avg (s)	1,3	1,6
Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses	209	51
Hooga ristmikule sisenenud t_{min} (s)	-2,2	1,2
Hooga ristmikule sisenenud t_{min} v (km/h)	34	28
Ristmikule sisenenud v_{max} (km/h)	72	65
Ristmikule sisenenud v_{max} aeg t (s)	1,9	3,8
e_R	226 (1,4%)	2 (0,0%)
R	15612 (93,2%)	2758 (97,6%)

	Teised Tallinna ristmikud	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn
K	821 (4,9%)	64 (2,3%)
P	88 (0,5%)	3 (0,1%)
tP _{avg} (s)	0,88	0,75
tP _{max} (s)	2,5	1
tP _{max} v (km/h)	54	48
Kokku liiklejaid	16747	2827

Kaameratega ristmikul on rikkujate arv oluliselt väiksem. Kuigi leidub kollase tule ajal ristmikule sisenenud sõidukeid, on punase tulega ristmikule sisenenute arv minimaalne. Ristmikule sõitis enne rohelise tule lülitumist 2 sõidukit ja üllataval kombel on ristmikule kõige varem sisenenud sõiduk sisenenud ristmikule 5 sekundit enne rohelise tule lülitumist. Keskmine ristmikule sisenemise aeg on võrreldes teiste Tallinna ristmikuega 0,3 sekundit hilisem.

Seega saame järeldada, et järelevalvekaameraga ristmikul on liiklejate käitumine teiste ristmikuega võrreldes märgatavalt seaduskuulekam ja seega võib teha esmase järelduse, et kaamerad avaldavad liikluskäitumisele mõju. Põhjalikum analüüs siiski peaks jääma mõne põhjalikuma uuringu teemaks.

3.2. Jalakäijate ja jalgratturite käitumine foorjuhitavatel ristmikel ja ülekäikudel

Jalakäijate ja jalgratturite liikluskäitumise analüüs teostati kokku 9 ülekäigul. Jalakäijate liikluskäitumise analüüsi kokkuvõtte on toodud Tabelis 3.7. Vaatluse käigus määrati 274 jalakäija ülekäigurajale sisenemise ajad.

Keskmiselt sisenes jalakäija ülekäigule 2 sekundit pärast rohelise tule lülitumist. Erinevatel ristmikel jäi jalakäijate ülekäigule sisenemise keskmine aeg vahemiku 0,9 – 2,9 sekundit. Leidus jalakäijaid, kes astusid ülekäigule kuni 5,3 sekundit enne rohelise tule lülitumist. Kokku oli jalakäijaid, kes sisenesid ülekäigule keelaval ajal 28 (6,2%). Vaatluse käigus määrati jalakäijate liikumise kiirused 453 juhul. Jalakäijate keskmine liikumiskiirus kõigi ülekäikude peale kokku oli 1,5 m/s. Madalaim kiirus oli 0,8 m/s.

Tabel 3.7 Jalakäijate käitumise parameetrid. Kokkuvõtlik tabel

	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viljandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Paidiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Häbekeeti liina)	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte
tR JK min (s)	0,1	-0,1	0,6	-2,7	0,3	0,9	-5,3	-2,9	-3,1	-5,3
tR JK max (s)	6,2	7,2	6,5	6	4,8	9	3,5	4,5	5,8	9,0
tR JK avg (s)	1,5	2,1	2,4	2,5	2	2,9	0,9	1,5	1,8	2,0
Mõõdetud reaktsiooniaegu	11	38	9	65	46	19	12	34	40	274
vJK min (m/s)	1,0	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	0,8	1,1	0,8
vJK max (m/s)	1,7	4,8	1,6	4,3	3,8	3	2,3	2	3,1	4,8
vJK avg (m/s)	1,3	2	1,4	1,5	1,5	1,4	1,5	1,3	1,7	1,5
Loendatud punasega	0	1	0	11	0	1	4	5	6	28
Loendatud jalakäijad	15	48	24	111	65	38	25	32	95	453

Jalgratturite analüüsi kokkuvõte on toodud Tabelis 3.8. Vaatluse käigus määrati 20 jalgratturi ülekäigule sisenemise ajad. Keskmiselt sisenes jalgrattur ülekäigule 1,8 sekundit pärast rohelise tule lülitumist. Erinevatel ristmikel jäi jalgratturite ülekäigule sisenemise keskmine aeg vahemiku 0,1 – 3,4 sekundit.

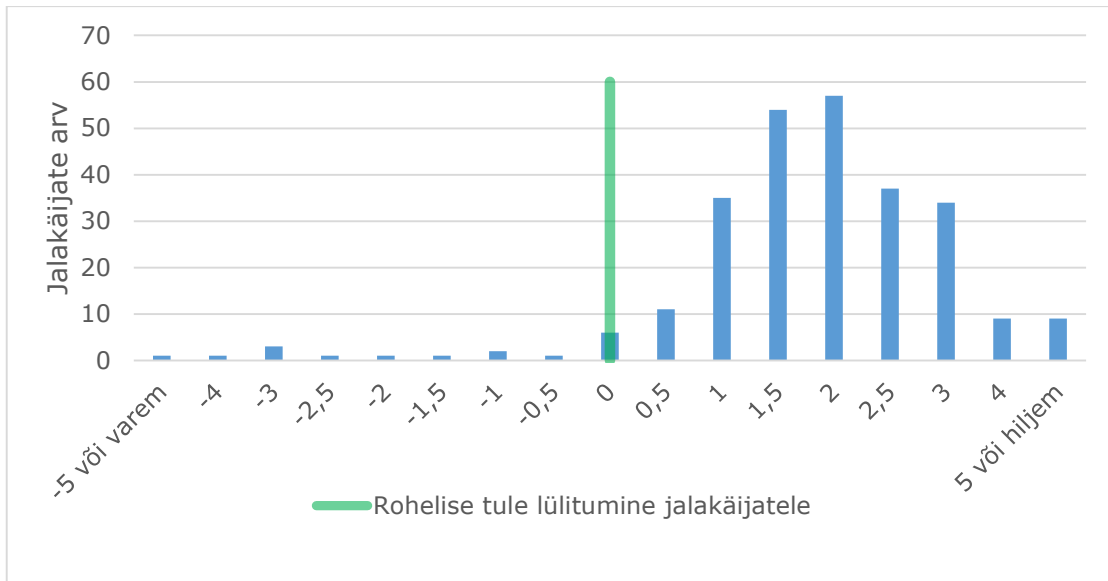
Uuringute käigus ei tuvastatud jalgrattureid, kes sisenesid ülekäigule enne rohelise tule lülitumist. Punase tule ajal sisenes ristmikule 2 jalgratturit (5,6%). Mõlemad juhtumid leidsid aset Rannamõisa teel asuval ülekäigul. Ülekäik oli kutsutava väljakutsega, mida jalgratturid ei kasutanud (osaliselt adaptiivne fooriprogramm). Vaatluse käigus määrati jalgratturi liikumise kiirus 36 juhul. Jalgratturite keskmine liikumiskiirus kõigi ülekäikude peale kokku oli 2,6 m/s ning madalaim kiirus oli 1,3 m/s.

Tabel 3.8 Jalgratturite analüüsi kokkuvõtlik tabel

	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viijandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti)	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte
tR JR min (s)	2,4	x	x	2	0,1	1,6	x	0,3	1	0,1
tR JR max (s)	2,4	x	x	2	3,4	1,7	x	1,4	2,3	3,4
tR JR avg (s)	2,4	x	x	2	2,1	1,7	x	1	1,8	1,8
Möödetud reaktsiooniaegu	1	0	0	1	5	2	x	4	7	20
v JR min (m/s)	2,4	4,5	2,6	1,5	1,7	2,3	2	1,3	1,9	1,3
v JR max (m/s)	2,4	4,5	2,6	1,8	3,6	2,5	4,7	2,1	4,1	4,7
v JR avg (m/s)	2,4	4,5	2,6	1,7	2,3	2,4	3,4	1,6	2,9	2,6
Loendatud punasega	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Loendatud jalgratturid	1	1	1	2	6	3	4	6	12	36

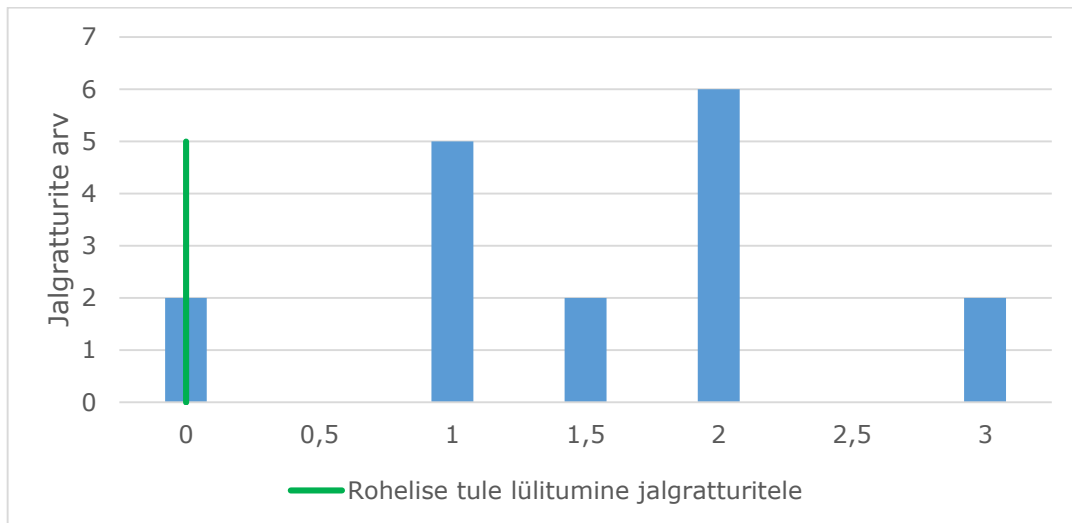
Kaitseaegade kasutus

Jalakäijate ülekäigule sisenemise ajad on toodud joonisel 3.5. Kokku sisenes ülekäigule enne roheline tule lülitumist 11 jalakäijat, mis on 4% määratud reaktsiooniaegadest. Suurem osa jalakäijatest sisenes ristmikule vahemikus 1-3 sekundit pärast roheline tule lülitumist.



Joonis 3.5 Jalakäijate ülekäigule sisenemise ajad (sek) võrreldes rohelise tule lülitushetkega.

Jalgratturite ülekäigule sisenemise ajad on toodud joonisel 3.6. Suurem osa jalgratturitest sisenes ülekäigule 1-2 sekundit pärast rohelise tule lülitumist.

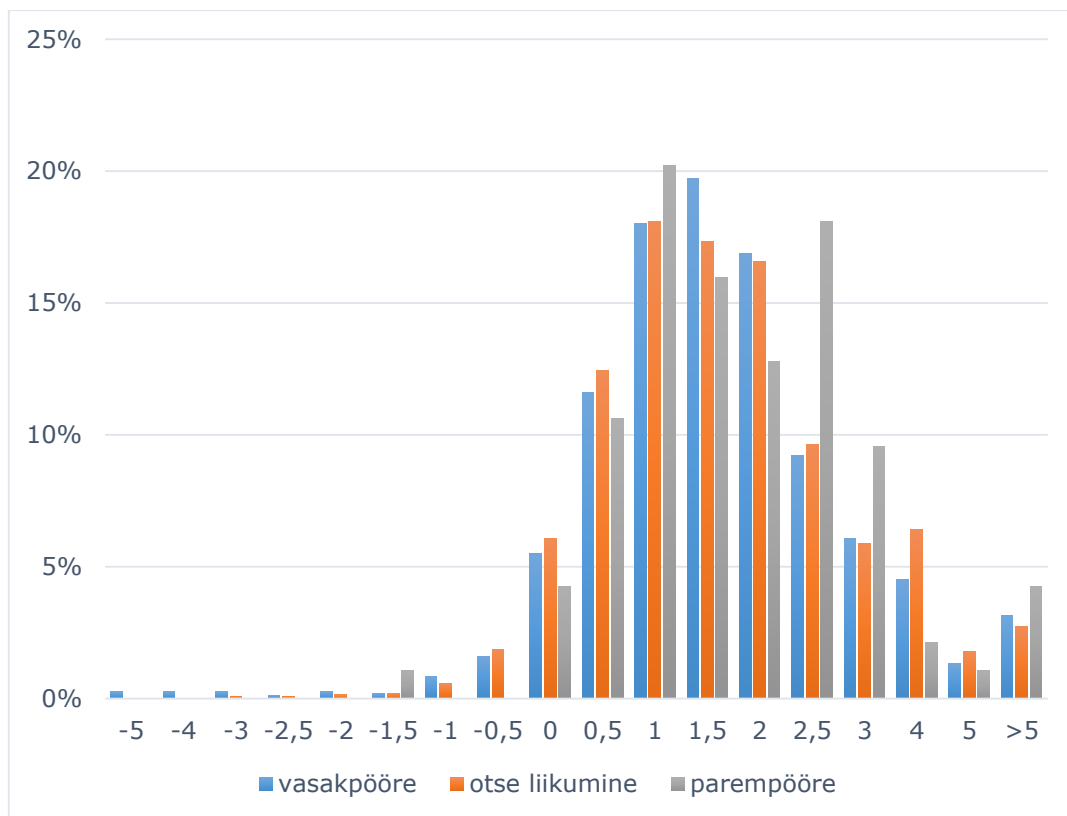


Joonis 3.6 Jalgratturite ülekäigule sisenemise ajad (sek) võrreldes rohelise tule lülitushetkega.

3.3. Fooriprogrammide projekteerimise soovitatavad parameetrid

Esimese sõiduki viivitus

Esimese sõiduki viivituse parameetri määramiseks on loodud joonis 3.7. Esmalt tuleb välistada seadust rikkuvad sõidukid ehk kõik sõidukid, mis sisenesid ristmikule enne rohelise tule lülitumist (vasakpöördel 9,4%; otse sõites 9,1%; parempöördel 5,3%).



Joonis 3.7 Esimese sõiduki viivitus, sek

Jooniselt 3.7 on näha, et suurem osa järelejäänud sõidukitest sisenes ristmikule 0,5 sekundit kuni 2,5 sekundit pärast rohelise tule lülitumist. Seadust täitvatest sõidukitest jääb antud vahemiku vastavalt vasakpöördel 73,3%, otse sõites 70,7% ja parempöördel 72,3%. Valikusse jäetud sõidukite keskmised parameetrid on vastavalt 1,7 sekundit vasakpöördel, 1,7 sekundit otse sõites ja 1,8 sekundit parempöördel. Nende sõidukite standardhälve on vasakpöördel 1,6 sekundit, otse sõites 1,4 sekundit ja parempöördel 1,3 sekundit.






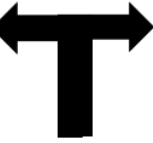
See teeb esimese sõiduki parameetri tõenäoliseks vahemikuks vastavalt manöövrile:

- Vasakpöördel 0,1...3,3 sekundit, keskmisena 1,7 sek.;
- Otse sõites 0,3...3,1 sekundit, keskmisena 1,7 sek.;
- Parempöördel 0,5...3,1 sekundit, keskmisena 1,8 sek..

Keskmine autode vaheline intervall

Keskmine lubatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite vaheline intervall jäi kõigi ristmike kokkuvõttes vahemiku 0,9 – 16,0 sekundit. Sealjuures arvestati igal ristmikul maksimaalselt ühe fooritakti lubatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite arvu. Kuna suured väärtused, nagu 16 sekundit näitavad, et ristmiku liiklussagedus antud pöördel ei olnud tihe, eemaldati need keskmise autode vahelise intervalli parameetri määramisest ja arvestati tulemusi intervalliga kuni 5 sekundit. Sellel meetodil leitud parameetrid vastavalt sõidurajalt sooritatavatele manöövritele on toodud tabelis 3.9.

Tabel 3.9 Keskmine autode vaheline intervall

						
I (s)	2,1	3,8*	2	2,9	3	2,2*

*) Antud tulemuste kasutamiseks on töö autori hinnangul teostatud andmete valim liiga väike

Käesoleva töö põhjal tuleks keskmise autode vahelise intervalli parameetrina kasutada pöörderadadel vahemikku 2,1 – 3,0 sekundit ja otseliikumist võimaldavatel radadel 2,0 – 2,9 sekundit.

Sõidukite saabumiskiirus

Sõidukite saabumiskiiruse parameetri määramiseks kasutatakse lubatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite kõige ohtlikumat tingimust roheline tule lülitumise hetke takti alguses.

Vasakpöördel oli selleks olukord, kus roheline tule lülitumise hetkel ($t_r = 0,0$ s) sisenes sõiduk kiirusega 21,6 km/h ($v = 21,6$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks 6 m/s roheline tule lülitumise hetkel.

Otse ristmikku ületades oli selleks olukord, kus 1,1 sekundit pärast rohelise tule lülitumist ($t_r = 1,1$ s) sisenes ristmikule sõiduk kiirusega 61,7 km/h ($v = 61,7$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks ca 8 m/s. Kuna tegu oli kiirust ületava sõidukiga, mille põhjal ei saa teha üldistatavaid järeldusi, valiti parameetri määramiseks kriitilisim tingimus, kus ei rikutud seadust. Järgnes olukord 0,2 sekundit pärast rohelise tule lülitumist

Parempöördel oli selleks olukord, kus 0,9 sekundit pärast rohelise tule lülitumist ($t_r = 0,9$ s) sisenes ristmikule sõiduk kiirusega 21 km/h ($v = 21,0$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks 3,1 m/s, rohelise tule lülitumise hetkel.

Sõidukite lahkumiskiirus

Sõidukite lahkumiskiiruse parameetri määramiseks kasutatakse lubatud ajal ristmikule sisenenud sõidukite kõige ohtlikumat olukorda - rohelise tule lülitumise hetke kollasele tulele. Kõige ohtlikuima tingimuse arvestusel kasutati madalaimat kiirust.

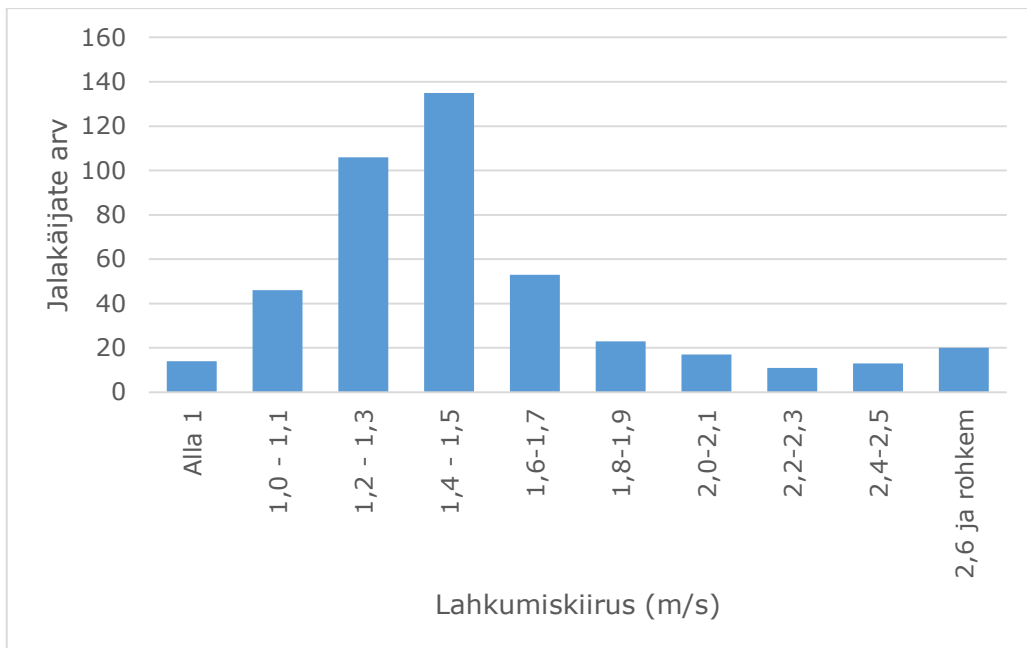
Vasakpöördel oli selleks kiiruseks 16,6 km/h ($v = 16,6$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks 4,6 m/s.

Otsesuunas ristmikku ületades oli selleks kiiruseks 30,6 km/h ($v = 30,6$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks 8,5 m/s.

Parempöördel oli selleks kiiruseks 15,5 km/h ($v = 15,5$ km/h). See teeb kriitiliseks tingimuseks 4,3 m/s.

Jalakäijate lahkumiskiirus

Jalakäijate mõõdetud lahkumiskiirused jäid vahemiku 0,8 – 4,8 m/s. Jalakäijate keskmine lahkumiskiirus oli 1,5 m/s. 75% jalakäijate lahkumiskiirused jäid vahemiku 1,0 – 1,7 m/s. 53% jalakäijate lahkumiskiirused jäid vahemiku 1,2 – 1,5 m/s. Enim jalakäijaid liikus kiirusega vahemikus 1,4-1,5 m/s (30%). Leitud standardhälve on 0,5 m/s. Selle põhjal on jalakäijate lahkumiskiiruse parameeter vahemikus 1,0...2,0 m/s.



Joonis 3.8 Jalakäijate lahkumiskiirused, m/s

Jalakäijate saabumisaeg

Jalakäijate saabumisaeg on võrdne jalakäijate ja jalgratturite ülekäigule sisenemise ajaga. Saabumisaaja määramisel ei saa arvestada seadust rikkuvate kodanikega. Leidus jalakäijaid ja jalgrattureid, kes sisenesid ülekäigule rohelise tule lülitumise hetkel. Seega on käesoleva töö põhjal õigustatud kasutada saabumisaaja väärtusena $t_s = 0$ s.

3.4. Järeldused ja ettepanekud

Käesoleva töö raames teostatud uuringute põhjal määratud parameetrid ja kasutatavad parameetrid on toodud tabelis 3.10.

Tabel 3.10 Parameetrite võrdlus

Parameeter	Parameeter juhendis „Ristmike läbilaskvuse arvutamise meetodiline juhend“ (Metsvahi, 2001)	Käesoleva töö käigus määratud parameeter
Esimese sõiduki viivitus t_0 (s)	2	Vasakpöördel 0,1...3,3 Otse sõites 0,3...3,1 Parempöördel 0,5...3,1
Keskmine autode vaheline intervall q_i (s)	2,1...2,6	2,0...3,0
Sõidukite saabumiskiirus v_s (m/s) kiiruspiirangu 50 km/h puhul	11	Vasakpöördel 6,0 Otse sõites 6,3 Parempöördel 3,1
Sõidukite lahkumiskiirus (m/s) kiiruspiirangu 50 km/h puhul	Otse sõites 8/10 Pöördel 5...8 (sõltuvalt raadiusest)	Vasakpöördel 4,6* Otse sõites 8,5* Parempöördel 4,3*
Jalakäijate lahkumiskiirus v_l (m/s)	1,2...1,4	1,0...2,0
Jalakäijate saabumisaeg t_s (s)	kuna saabumistee pikkus $l_s=0$ siis saabumisaeg $t_s=0$	0 (0...3)

* - madalaim mõõdetud tulemus, ei ole seotud kurvi raadiusega

Hetkel kasutatav parameeter esimese sõiduki viivitus jääb käesolevas töös määratud vahemiku. Küll aga siseneb oluline osa sõidukitest ristmikule varem (Joonis 3.7). Seega töö autori ettepanek oleks antud parameetrit vähendada.

Hetkel kasutatavad ja töö käigus määratud keskmise autode vahelise intervalli parameetri väärtused kattuvad. Määratud parameetrite vahemikud sõltuvad sõidurajalt sooritavatest manöövritest. Juhendis toodud vahemik sõltub samuti liikumistrajektoori siseradiusest. Töös määratud parameetrite põhjal tuleks seda vahemiku laiendada.

Sõidukite saabumiskiirus on sõltumata manöövrast juhendi põhjal 11 m/s. Käesoleva töö käigus määratud parameetrid on märkimisväärselt väiksemad. Seega võiks neid

parameetreid vähendada. Küll aga ei ole mõistlik neid viia vastavusse täpselt töö käigus määratud parameetritega, vaid jätta teatud varu.

Sõidukite lahkumiskiirus on juhendis määratud sõltuvalt kurvi raadiusest ja nähtavusest ristmikul. Käesoleva töö käigus määratud lahkumiskiirused on madalaimad mõõdetud parameetrid, sõltumata kurvi raadiusest või nähtavusest. Parameetrid on võrreldes juhendiga pööretel kuni 0,7 m/s võrra madalamad, kuid otse sõites 0,5 m/s võrra kiiremad. Parameeter pööretel on kindlasti sõltuv kurvi raadiusest ja juhendis toodud parameetrid on vastavuses tegeliku olukorraga. Valitav parameeter võiks kurvi raadiusest sõltuvalt olla täpsemalt reguleeritud.

Jalakäijate lahkumiskiiruste vahemikud juhendi ja käesolevas töös määratud parameetrite vahel kattuvad. Siin määratud vahemik on küll veidi suurem kui soovitatud vahemik. Siiski, töö autori hinnangul ei ole vajalik antud parameetreid muuta, sest antud uuringu käigus ei leidunud olukordi, kus lubatud ajal ülekäigule sisenenud jalakäija lahkumiskiiruse tõttu tekkinuks ohtlik olukord.

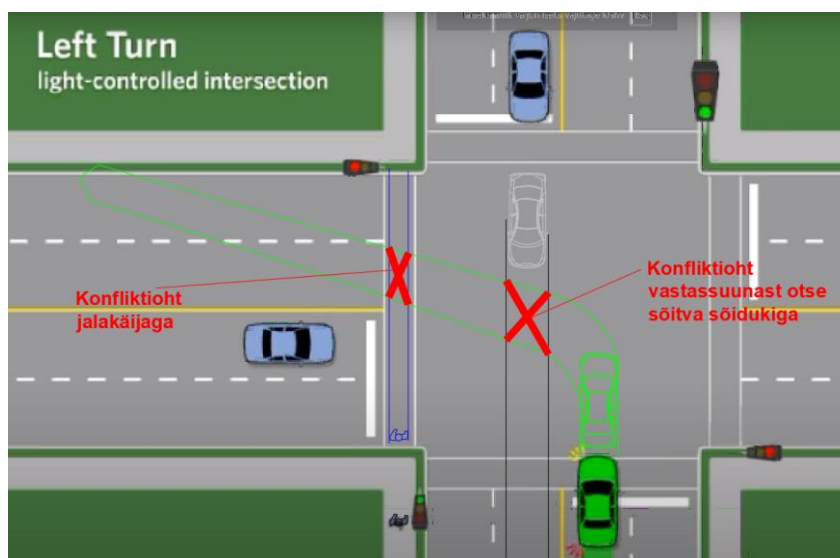
Jalakäijate saabumisaja parameetrina peab arvestama, et jalakäija astub sõiduteele rohelise tule lülitumise hetkel. Seda juhendis toodud parameetri ja käesoleva töö käigus määratud vahemiku põhjal.

Keelatud ajal ristmikule sisenevad liiklejad

Tõsine probleem on keelava fooritule ajal ristmikule sisenevate sõidukite suhteliselt suur arv. 6% analüüsitud liiklejatest sisenes ristmikule selleks mitte ette nähtud ajal. Tulemused olid sarnased sõidukite, jalakäijate ja jalgratturite puhul. Iga ristmikule keelatud ajal sisenev liikleja on ohuks iseendale ja teistele liiklejatele. Selle probleemiga tuleks tegeleda, sest kui peaks toimuma kaitseaegade vähendamine, on keelatud ajal ristmikule sisenema harjunud liiklejatel veel suurem tõenäosus õnnetusse sattuda.

Keelatud ajal ristmikule sisenejad saab vastavalt USAs läbi viidud uuringule jagada kahte rühma: tahtlik ja tahtmatu rikkuja. Tahtlikult keelatud ajal ristmikule sisenejaid mõjutab eelkõige rikkumiste eest karistamine. Tahtmatuid rikkujaid mõjutavad tehnilised meetmed. Ristmiku liikluskorraldus peab olema projekteeritud nii, et juhul on kollase tule lülitumise hetkest võimalus sõiduk peatada, enne ristmikule punasega sisenemist. Seda saab teha nii fooriprogrammi muutes, tsükli pikkust muutes või kollase fooritule pikkust muutes. (Institute of Transportation Engineers, 2003)

Kõige madalam lubava fooritulega ristmikule sisenejate protsent oli vasakpöoretel. Seda võib selgitada asjaolu, et paljudel analüüsitud sõiduradadel puudus eraldi fooritakt vasakpöörde sooritamise ajal. Vasakpöörde sooritamisel oli liiklejalatel kohustus anda teed vastassuunas otse liikuvatele sõidukitele. Juhul kui vasakpöörde sooritamiseks sõideti ristmikule enne rohelse tule lülitumist andis see võimaluse sooritada manööver, enne kui vastassuunas otse liikuv sõiduk jõudis ristmikule. Paraku oli sellises olukorras tihti anda kohustus ülekäigurada ületavale jalakäijale. Vaatluse käigus oli seetõttu mitu ohtliku olukorda. Olukorda selgitab joonis 3.9.



Joonis 3.9 Vasakpöoret eraldamata taktis sooritava sõiduki ohud
Allikas: (Alberta Motor Association, 2020) / autori töötlus

Töö autori ettepanek on võimalusel lisada eraldi fooritakt vasakpöörde sooritamiseks, kohtadesse, kus keelatud ajal ristmikule sisenejate arv vasakpöörde sooritamiseks moodustab üle 5%.

Käesolevas töös uuriti keelatud ajal ristmikule sisenejate osakaalu, kuna see mõjutab liiklusohutust foorjuhitaval ristmikul. Fooriprogrammi koostamisel rikkujatega arvestamine ei saa olla lubatud, et rikkumiste arvu veelgi suurendada. Keelatud ajal ristmikule sisenemise arvu vähendab läbiviidud uuringu põhjal rikkumis fikseerivate foorikaamerate olemasolu. Paraku on kõikidele ristmikule kaamerate lisamine kulukas ja ebamõistlik. Keelatud ajal ristmikule sisenejate arvu vähendamine ei olnud käesoleva töö eesmärk aga töö autori ettepanek on uurida seda järgnevatel lõputöödes.

KOKKUVÕTE

Foorjuhitavate ristmike fooriprogrammide koostamine on vajalik iga fooriristmiku puhul. Paraku puudub seaduslikult reguleeritud õigusakt või riiklik standard fooriprogrammide koostamiseks. Fooriprogrammide koostamisel lähtutakse tavaliselt juhendist, mis pärineb aastast 2001. Foorjuhitavate ristmike arvukus on ainuüksi Tallinnas käesolevaks aastaks kahekordistunud võrreldes juhendi ilmumise aastaga. Liiklusõnnetuste arv foorjuhitavatel ristmikel ei ole vaatamata foorjuhitavate ristmike arvu kasvule suurenenud kuid ei ole ka vähenenud. Arenenud on tehnoloogiad ja fooriristmikel on kasutusele võetud palju andureid, mis võimaldavad luua adaptiivseid ja täielikult aktiveeritavaid fooriprogramme. Iga fooriprogrammi puhul on määratud teatud tingimused, mida foorikontroller peab fooriristmiku juhtimisel tagama. Need tingimused leitakse aastast 2001 pärinevate parameetrite abil.

Esimeses peatükis tuuakse välja uurimisprobleem – vajalike tingimuste leidmiseks kasutatavate parameetrite arvutamiseks ei ole Eestis õigusaktides ega standardites sätestatud meetodeid. Uurimisprobleemi põhjal püstitati eesmärk – leida, millised on need parameetrid liikluses. Samuti on esimeses peatükis esitatud ülevaade foorjuhitavate ristmike erisusest võrreldes teiste ristmikega. Koostati ülevaade fooriprogrammide koostamise meetodikast ja nende koostamisel kasutatavatest parameetritest Skandinaavias (Soome näitel), Ameerika ühendriikides ja Eestis. Leiti, et Skandinaaviamaades kasutatavad meetodid on Eesti kasutatavatega sarnased, kuid leiduvad siiski teatud erisused mõnede parameetrite osas.

Magistritöö teises peatükis kirjeldati magistritöö eesmärgi saavutamiseks kasutatud uurimismeetodit, uurimisobjekte ja analüüsimeetodit. Toodi ülevaade varasemalt läbiviidud uuringute kohta – parameetrite kohta uuringuid teostatud Eestis ei ole. Lisaks koostati foorjuhitavatel ristmikel toimunud liiklusõnnetuste statistika, mis andis aluse uurida erinevat tüüpi ristmikke ja kindlasti uurida jalakäijatega seotud parameetreid. Kirjeldati andmete kogumise ja analüüsi meetodikat.

Kolmandas peatükis toodi välja tulemused sõidukijuhtide ja jalakäijate kohta:

- Keelatud ajal sisenes ristmikule 6% analüüsitud sõidukitest, 6% jalakäijatest ja 6% jalgratturitest;
- Rikkujate osakaal on seotud sooritatava manöövriga – enim rikkujaid on vasakpöoretel;
- Fooritsükli kestusel puudub selge mõju rikkujate arvukusele;

- Erinevates linnades teostatud analüüsid näitasid, et linna suurusel ei ole olulist mõju rikkujate arvule;
- Ristmikule sisenemise ajad varieeruvad vasak- ja parempööratel ning otse ristmiku ületades;
- Liiklejad, kes sisenesid ristmikule lubatud ajal ei rikkunud kaitseaja tingimust;
- Fooritule rikkumist fikseerivate kaameratega ristmikul oli rikkujate arv väiksem (sõidukijuhtide puhul);
- Jalakäijate ja jalgratturite liikumiskiirus on varieeruv.

Lisaks toodi kolmandas peatükis välja fooriprogrammide koostamiseks määratud parameetrid, mida võrreldi hetkel kasutatavate parameetritega.

Parameetrite võrdluse põhjal saab tuuakse järeldused:

- Kasutatav esimese sõiduki viivitus jääb käesolevas töös määratud vahemikku;
- Keskmise sõidukite vaheline intervall jääb käesolevas töös määratud vahemikku;
- Sõidukite saabumiskiirust võiks uuringu põhjal vähendada;
- Sõidukite lahkumiskiirust võiks uuringu põhjal vähendada;
- Jalakäijate lahkumiskiirus jääb käesolevas töös määratud vahemikku;
- Jalakäijate saabumisaja parameetrina peab arvestama, et jalakäija astub sõiduteele rohelise tule lülitumise hetkel.

Enamus käesolevas töös määratud parameetritest kattuvad kasutatavate parameetritega. Mõnel juhul võiks parameetrite vahemikku laiendada. Sõidukite saabumis- ja lahkumisaja parameetreid võiks käesoleva töö põhjal vähendada ja seeläbi lühendada kaitseaegu. Siinkohal saab probleemiks suur rikkujate arv, mis võib kaitseaegade ootamatul lühendamisel põhjustada liiklusõnnetusi. Kohtades, kus ei ole eraldi fooritakti vasakpöördele ja rikkujate arv ületab 5%, tuleks töö autori hinnangul lisada eraldi fooritakt vasakpöörde sooritamiseks. Töö põhjal saab järeldada, et uurida tuleks fooriristmikule keelatud ajal sisenejate arvu vähendamise võimalusi. Käesolevas töös selgus, et rikkumisi fikseerivate foorikaamerate olemasolu vähendab rikkujate arvukust. Kõikidele ristmikule kaamerate lisamine on kulukas ja ebamõistlik.

SUMMARY

The title of this Master's thesis is „Assessment of Traffic Signal Timing Plan Parameters“. Traffic light controlled intersections are common to manage traffic in cities. Traffic light switching times are controlled by traffic controllers which operate by traffic signal timing plans. There are no specific regulations or standards in Estonia that regulate the design of timing plans. The order in which the traffic lights are switched on are regulated by Regulation No 12. Calculation of minimum green time, green protection period, waiting times, intersection capacity etc. are designed used algorithms and parameters from manual „Methodological guide for calculating the capacity of junctions“. Manual is from year 2001. By year 2020 the number of traffic light control junctions alone in Estonia capital Tallinn has doubled. Traffic frequency has also risen. There are junctions capable of modern technologies with adaptive traffic light control systems in Tallinn. There are still conditions like green protection period that are fixed in these traffic light control systems. These conditions are still calculated by the manual from 2001.

The aim of this Master's thesis is to carry out a study to find what are the parameters in traffic that are used in designing traffic signal timing plans.

In chapter one the author brings out the uniqueness of the traffic light control intersection compared to other intersections. Then there is compilation of regulations, standards and manuals about traffic lights in Estonia. There are brought examples of traffic light timing plan designing methods from Finland and United States of America. Methods and parameters which is analyzed in this work are pointed out from manual of „Methodological guide for calculating the capacity of junctions“ . It turns out that methods in Estonia and Finland are similar, but some parameters vary.

In chapter two author describes the way of data collection and analysis. There are pointed out previously performed researches and data from traffic accident database about accidents in traffic light controlled intersections. There is explanation about selection of selected intersections and crossings used in data collection.

In chapter three there are results from analysis. There are brought out that analyzed vehicles, pedestrians and cyclists had similar offenders percent – 6%. The highest percentage of offenders were among vehicles making a left turn. The traffic light cycle does not have significant effect on percentage of offenders. Studies conducted in different cities showed that there is no significant effect on percentage of offenders. Intersection entry times depend on which maneuver is performed – left turn, right turn

or crossing intersection straight. Vehicles that entered the intersection at the permitted time, did not exceed green protection time. At the intersection in Tallinn where is a camera which fixes offenders, the number of offenders were lower than average in Tallinn. The measured speed of pedestrians and cyclists is very variable.

There are brought out parameters assessed parameters:

- First vehicle delay
 - Left turn 0,1...3,3 seconds;
 - Straight crossing 0,3...3,1 seconds;
 - Right turn 0,5...3,1 seconds;
- Average vehicle spacing 2,0...3,0 seconds;
- Vehicle arrival speed (speed limit 50 km/h)
 - Left turn 6,0 meters per second;
 - Straight crossing 6,3 meters per second;
 - Right turn 3,1 meters per second;
- Vehicle departure speed (speed limit 50 km/h)
 - Left turn 4,6 meters per second;
 - Straight crossing 8,5 meters per second;
 - Right turn 4,3 meters per second;
- Pedestrian departure speed 1,0...2,0 seconds;
- Pedestrian arrival time 0 seconds.

The assessed parameters are compared to parameters in manual of „Methodological guide for calculating the capacity of junctions“. The conclusions based on assessed parameters are pointed out. Some of the parameters in manual overlap the assessed parameters. Some parameters are different and should definitely be further investigated and adjusted if necessary. The author points out that adjustment of parameters could lead to accidents if the number of offenders does not decrease. Therefore a research about decreasing the number of offenders should be carried out. This work shows that using cameras that fix violations could help, but it is not reasonable to add cameras to every intersection.

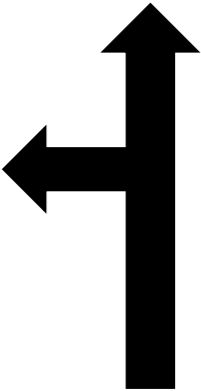
KASUTATUD KIRJANDUS

- Alberta Motor Association. (11. 5 2020. a.). *Left Hand Turn Demonstration*. Allikas: <https://www.youtube.com/watch?v=ZaX9Q6nvUK8>
- Andrade, G. R., Elefteriadou, L., & Zhang, L. (2017). *Signal Timing Optimization with Consideration of Environment and Safety Impacts*. Florida: Southeastern Transportation Research, Innovation, Development, and Education Center.
- Anh Nguyen, D. R. (2006). *San Pablo Avenue Pedestrian Signal Timing Optimization*. California: University of California Traffic Safety Center.
- Austrroads Ltd. (2019). *Guide to Traffic Management Part 1: Introduction to Traffic Management Edition 3.1*. Sydney: Austrroads Ltd.
- Eesti Standardikeskus. (2001). *Eesti standard EVS 615:2001 Foorid ja nende kasutamine*. Eesti Standardikeskus.
- Eesti Standardikeskus. (2015). „Traffic control equipment – Signal heads”, „Liikluse reguleerimise vahendid. Signaalseadmed”; Tallinn: Eesti Standardikeskus.
- Eesti Standardikeskus. (2017). *Traffic signal controllers - Functional safety requirements*. Tallinn: Eesti Standardikeskus.
- Eesti Standardikeskus MTÜ. (18. 5 2020. a.). *Eesti Standardikeskus*. Allikas: KKK: <https://www.evs.ee/et/kkk>
- ERR. (28. 11 2017. a.). Allikas: Galerii: Haabersti ristmik valmib ilmselt oodatust palju varem: <https://www.err.ee/645459/galerii-haabersti-ristmik-valmib-ilmselt-oodatust-palju-varem>
- Euroopa Komisjon. (20. 7 2010. a.). *Euroopa kui liiklusohutusalala: poliitikasuunised liiklusohutuse valdkonnas aastateks 2011–2020*. Allikas: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/road_safety_citizen/road_safety_citizen_100924_et.pdf
- Hajbabaie, A., & Benekohal, R. F. (2013). Traffic Signal Timing Optimization: Choosing the Objective Function. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 10-19.
- Inseneribüroo Stratum. (2003). *Foorprogrammide ja -parameetrite mõju liiklusohutusele*. Tallinn.
- Institute of Transportation Engineers. (2003). *Making Intersections Safer: A Toolbox of Engineering Countermeasures to Reduce Red-Light Running*. Washington, D.C.
- K.Laustsen, J. B. (2014). Intersection Safety Evaluation: InSAT Guidebook. *National Cooperative Highway Research Program*.
- K-Projekt AS. (2016). *Töö nr 15171 Haabersti ristmik - Foorjuhtimine Seletuskiri*. Tallinn.
- K-Projekt AS. (2018). *Töö nr 15150 Reidi tee põhiprojekt*. Tallinn.
- K-Projekt AS. (2019). *Töö nr 19021 Põhiprojekt Narva mnt ja Turba tn ristmik, Foorjuhtimine*. Tallinn.
- Liikennevirasto. (2016). *Maanteiden liikenevalojen suunnitteluohje, Traffic Signal Handbook LIVASU*. Helsinki: Liikennevirasto.
- Maanteeamet. (2. 5 2020. a.). *Liiklusõnnetuste andmed 2011-2019*. Allikas: https://www.mnt.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/liiklusonnetuste_andmed.xlsx.
- Majandus- ja kommunikatsiooniminister. (5. 8 2019. a.). *Määrus nr 12 „Liiklusmärkide ja teemärgiste tähendused ning nõuded fooridele”*. Kasutamise kuupäev: 30. 4 2020. a., allikas <https://www.riigiteataja.ee/akt/103032011006>
- Majandus- ja taristuminister. (5. 8 2015. a.). *määrus nr 106 „Tee projekteerimise normid” Lisa Maanteede projekteerimismid*. Kasutamise kuupäev: 3. 4 2020. a., allikas https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf#
- Metsvahi, T. (2001). *Ristmike läbilaskvuse arvutamise metoodiline juhend*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool Teedeinstituut.

- National Cooperative Highway Research Program. (2015). *Signal Timing Manual Second Edition*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Nerman, R. (2007). *Autobussi liiklus Tallinnas*.
- P.Alvarez, & M.A.Hadi. (2014). Evaluating the effectiveness of signal timing optimization based on microscopic simulation. *Obras y Proyectos 16*, 85-94.
- Parker, S. (2003). *Accessible Pedestrian Signals: Synthesis and Guide to Best Practice*. Research Results Digest.
- Postimees. (20. 4 2020. a.). *Repliik: Miks tehti valgusfoor*. Allikas: <https://www.postimees.ee/1470967/repliik-miks-tehti-valgusfoor>
- Reginald R. Souleyrette, M. M. (2004). *Effectiveness of All-Red Clearance Interval on Intersection Crashes*. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Riigikogu. (25. 3 2019. a.). *Liiklusseadus*. Kasutamise kuupäev: 30. 4 2020. a., allikas <https://www.riigiteataja.ee/akt/117032011021>
- Rune Elvik, A. H. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures Second Edition*. Emerald Group Publishing Limited.
- Signaal TM AS. (19. 5 2020. a.). Fooriristmike andmebaas.
- Signaal TM AS. (10. 5 2020. a.). *Liiklusseire*. Allikas: <https://seire.tallinn.ee/>
- Teede Tehnokeskus. (2019). *Liikluskäitumise monitooring 2019*. Tallinn: Teede Tehnokeskus.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. National Research Council.
- Transportation Research Board. (2010). *Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice*. Washington, D.C: National Cooperative Highway Program.
- Yang, Z. (2010). *Signal Timing Optimization Based on Minimizing Vehicle and Pedestrian Delay by Genetic Algorithm*. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.

Lisa 1 Sõidukite vaatlustulemuste kokkuvõtlik tabel


	Google Maps	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	Link	
Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Vijandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Piritu tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte
	Fooritsükli pikkus (s)	68	90	90	60	72	90	90	90	72	90	90	90	90	48	90	90	
	Fooritsükli arv tunnis	54	40	40	60	50	40	40	40	50	40	40	40	40	75	40	40	
	Analüüsitud sõiduradade arv	4 (4x1)	1	1	2 (2x1)	3 (3x1)	3 (3x1)	3 (3x1)	3 (3x1)	3 (3x1)	3(2+1)	5(2 lüt+2) ja	5(2 lüt+2) ja	4 (4x1)	4(2x2)			44
	Mõõdetud reaktsiooniaegu	105	31	40	50	131	110	101	85	25	84	178	176	132	119			1367
	tR min (s)	-3	-4,80	-1	-4	-0,6	-3,4	-3,6	-5	-0,2	-6,7	-5	-0,3	-2	-1			-6,7
	tR max (s)	5,6	3,3	2,9	6,7	5,6	4,3	5,1	6	6	3,1	5	3,8	4,2	5			6,7
	tR avg (s)	2,4	0,4	0,7	1,8	1,7	0,8	1	0,7	2,4	0,8	1,4	1,5	1,2	1,7			1,3
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	2	7	7	40			61
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)	x	x	x	0	3,6	x	x	x	x	x	1,3	5,8	2,2	0,9			0
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)	x	x	x	19	22	x	x	x	x	x	59	38	28	32			19
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)	x	x	x	26	22	x	x	x	x	x	1,3	45	40	65			65
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)	x	x	x	3	3,6	x	x	x	x	x	59	x	2,5	4,4			4,4
	eR	1	5	7	4	2	29	11	28	2	14	0	1	10	2			116
	R	280	229	152	106	384	546	370	177	44	663	1168	953	488	627			6187
	R fooritule pikkus	27	17	10	22/24	7/12/6	9/18/9	9	11/14/7	32/30	22/7	25/25/14	28/28/21	17/17/14/15	17/20			
	R tsükkel max	6	9	5	4/3	5/7/3	5/11/4	9	5/5/2	2	20/3	25/5/14	23/4/15	7/7/4/7	11/13			
	Arvutuslik avg intervall (s)	4,5	1,9	2	5,5/8	1,4/1,7/2	1,8/1,6/2,3	1	2,2/2,8/3,5	16/15	1,1/2,3	1/5/1	1,2/7/1,4	2,4/2,4/3,5/2,1	1,5/1,5			
	R tsükkel min	0	2	1	0	0	1/5/0	0	0	0	8/1	5/0/5	7/0/1	1/0/0/1	0/0			
	Arvutuslik avg intervall (s)	x	8,5	10	x	x	9/3,6/x	x	x	x	2,8/7	5/x/5	4/x/21	17/x/x/15	x			
	R tsükkel avg	1	7	4	1	3/5/2	4/8/2	3	1/3/1	1	16/2	17/1/11	15/1/8	3/3/1/5	4/5			
	Arvutuslik avg intervall (s)	20,8	2,4	2,5	22/24	2,3/2,4/3	2,3/2,3/4,5	3	11/4,7/7	32/30	1,4/3,5	1,5/25/1,3	1,9/28/2,6	5,7/5,7/14/3	4,3/4			
	K	3	22	37	3	67	74	21	10	2	30	44	6	26	37			382
P	0	1	3	0	13	4	3	3	0	0	2	1	1	3			34	
tP avg (s)	x	0,5	1	x	0,5	0,6	0,4	0,2	x	x	0,75	x	0,1	1,4			0,6	
tP max (s)	x	0,5	2	x	2	1,1	0,7	0,5	x	x	1	x	0,1	2,2			2,2	
tP max v (km/h)	x	46	33	x	27	48	23	32	x	x	48	x	32	65			65	
Kokku liiklejaid	284	257	199	113	466	653	405	218	48	707	1214	961	525	669			6719	

Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viljandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tuulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paidiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Pirita tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte	
	Analüüsitud sõiduradade arv)									1								1	
	Mõõdetud reaktsiooniaegu									42									42
	tR min (s)									0									0
	tR max (s)									6,7									6,7
	tR avg (s)									1,5									1,5
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses									4									4
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)									2,8									2,8
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)									46									19
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)									46									46
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)									2,8									4,4
	Er									0									0
	R									190									190
	R fooritule pikkus									30									
	R tsükkel max									8									
	Arvutuslik avg intervall (s)									3,8									
	R tsükkel min									0									
	Arvutuslik avg intervall (s)									x									
	R tsükkel avg									4									
	Arvutuslik avg intervall (s)									7,5									
	K									6									6
	P									0									0
	tP avg (s)									x									
	tP max (s)									x									
tP max v (km/h)									x										
Kokku liiklejaid									196									196	

Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viljandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Pirita tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte
	Analüüsitud sõiduradade arv)	1		2 (1x2)	1	6(3x2)	6(3x2)	6(3x2)	6(3x2)	1	3 (2+1)	3(1x2+1üt)	3(1x2+1üt)	6(2x1 ja 2x2)	3(1x2 ja 1x1)	3(1x2+1üt)	8(2x4)	58
	Möödetud reaktsiooniaegu	47		69	34	233	195	193	165	15	66	61	78	209	595	92	132	2184
	tR min (s)	-2		-1,7	-0,7	-1,8	-1	-0,8	-3,1	0,4	-1,2	-1	0,3	-2,5	-0,6	-0,4	-2	-3,1
	tR max (s)	5,4		2,8	5,4	4,6	4,5	4,8	4,5	2,7	5	4,1	5,1	5,4	4,1	5,2	3,9	5,4
	tR avg (s)	1,7		1,3	1,7	1,3	1,5	1,1	0,6	1,3	1,1	1,7	1,8	1,3	1,3	1,3	1,5	1,4
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses	x		x	11	8	x	35	41	2	18	26	16	16	11	9	10	203
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)	x		x	-1,8	-2,2	x	1,1	1,1	3,1	0,2	1,9	1,2	1,9	1,3	1,8	0,5	-2,2
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)	x		x	33	34	x	18	29	33	36	52	28	35	27	29	20	34
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)	x		x	55	34	x	70	67	46	72	65	56	50	49	58	40	72
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)	x		x	4,6	-2,2/5,4	x	5,8	2,4	8	1,9	3,8	6,9	5	3,3	6,3	4,1	1,9
	Er	2		1	4	3	33	18	41	0	3	1	0	9	7	8	6	136
	R	261		924	158	1779	2521	1543	1431	78	658	311	326	964	595	395	x	1194
	R fooritule pikkus	27		32	24	18/20/18	29/22/31	29/31/31	29/23/27	32	29/35	22	26	22/17/17/20	17/21	16	x	
	R tsükkel max	10		31	6	19/12/19	28/24/29	26/12/29	26/9/22	7	23/18	15/5	13/3	10/8/10/14	16/6	16/4	x	
	Arvutuslik avg intervall (s)	2,7		1	4	0,9/1,7/0,9	1/0,9/1	1,1/2,6/1,1	1,1/2,6/1,2	4,6	1,3/1,9	1,5/4,4	2/8,7	2,2/2,1/1,7/1,4	1/3,5	1/4	x	
	R tsükkel min	1		15	0	7/0/10	16/3/17	6/2/4	8/1/0	1	6/4	1/0	2/0	2/0/1/2	0/0	4/0	x	
	Arvutuslik avg intervall (s)	27		2,1	x	2,6/x/1,8	1,8/8/1,8	4,8/15,5/7,8	3,7/23/x	32	4,8/8,8	22/x	13/x	11/x/17/10	x	4/x	x	
	R tsükkel avg	5		24	3	15/6/16	22/16/25	15/5/18	17/4/15	4	13/11	8/1	7/1	6/5/5/8	6/2	8/2	x	
	Arvutuslik avg intervall (s)	5,4		1,3	8	1,2/3,3/1,1	1,3/1,4/1,2	1,9/6,2/1,7	1,7/5,8/1,8	8	2,2/3,2	2,8/22	3,7/1	3,7/3,4/3,4/2,5	2,8/10,5	2/8	x	
	K	3		42	12	130	118	42	10	1	2	9	5	43	33	35	23	508
	P	0		3	1	23	12	2	0	1	0	0	0	4	3	0	4	53
	tP avg (s)	x		0,8	x	0,9	0,5	0,25	x	2,5	x	x	x	0,5	0,3	x	2,5	1,0
	tP max (s)	x		1,3		1,4	1,4	0,5	x	2,5	x	x	x	0,7	0,6	x	2,5	2,5
	tP max v (km/h)	x		45	47	32	28	47	x	38	x	x	x	50	49	x	54	54
	Kokku liiklejaid	266		970	175	1935	2684	1605	1482	80	663	321	331	1020	638	438	x	1260



Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viljandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Pirita tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte	
	Analüüsitud sõiduradade arv)	3 (3x1)	2 (2x1)		2 (2x1)					2 (2x1)	1			1					2
	Mõõdetud reaktsiooniaegu	142	56		77					65	19			32					391
	tR min (s)	-3,2	-0,40		-2,8					0,1	0,1			0					-3,2
	tR max (s)	6,8	4,4		5,8					8,5	4			3,2					8,5
	tR avg (s)	1,6	1,3		1,7					1,6	1,8			1,2					1,5
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses	1	3		7					2	1			0					14
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)	0,8	0,3		1,4					2	3			x					0,3
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)	9	49		24					33	29			x					49
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)	9	49		66					58	3			x					66
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)	0,8	0,283		10					6,8	29			x					10
	Er	10	2		0					0	0			0					12
	R	792	683		454					364	69			57					2419
	R fooritule pikkus	27	34/56		24/22					32/30	29			22					
	R tsükkel max	12	16/19		8/10					12/9	5			5					
	Arvutuslik avg intervall (s)	2,3	2,1/2,9		3/2,2					2,7/3,3	5,8			4,4					
	R tsükkel min	0	7/4		0/0					0/1	0			0					
	Arvutuslik avg intervall (s)	x	4,9/14		x					x/30	x			x					
	R tsükkel avg	5	14/10		4/6					6/3	2			1					
	Arvutuslik avg intervall (s)	5,5	2,4/5,6		6/3,7					5,3/10	14,5			22					
	K	21	21		38					11	0			1					81
	P	2	1		0					0	0			1					4
	tP avg (s)	0,15	x		x					x	x			0,2					0,175
	tP max (s)	0,2	x		x					x	x			0,2					0,2
	tP max v (km/h)	x	x		x					x	x			46					46
Kokku liiklejaid	825	707		492					375	69			59					2527	

Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viljandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tuulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Pirita tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte
	Analüüsitud sõiduradade arv)	1								1	2			1	2(1x2)			5
	Mõõdetud reaktsiooniaegu	3								11	18			31	42			105
	tR min (s)	0,9								0	0,2			-1,5	-0,5			-1,5
	tR max (s)	2,6								1,7	4,3			3,2	3			4,3
	tR avg (s)	1,6								0,9	1,3			1,6	1,2			1,32
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses	x								0	1			3	1			5
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)	x								x	3,1			2,3	x			2,3
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)	x								x	8			30	x			30
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)	x								x	3,1			36	x			36
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)	x								x	8			7,8	x			7,8
	Er	0								0	0			4	x			4
	R	4								23	140			88	x			255
	R fooritule pikkus	27								32	53			17	x			
	R tsükkel max	2								3	16			6	x			
	Arvutuslik avg intervall (s)	13,5								10,7	3,3			2,8	x			
	R tsükkel min	0								0	9			0	x			
	Arvutuslik avg intervall (s)	x								x	5,9			x	x			
	R tsükkel avg	0								1	13			2	x			
	Arvutuslik avg intervall (s)	x								32	4			8,5	x			
	K	1								1	3			3	36			44
	P	0								1	0			1	3			5
	tP avg (s)	x								1,2	x			0,3	0,2			0,6
	tP max (s)	x								1,2	x			0,3	0,4			1,2
tP max v (km/h)	x								33	x			40	44			44	
Kokku liiklejaid	5								25	143			96	x			269	

Manööver	Ristmik	C.R.Jakobsoni tn - Leola tn, Viijandi	Akadeemia tee - Raja tn, Tallinn	Peterburi tee - J.Smuuli tee, Tallinn	Ehitajate tee - E.Vilde tee, Tallinn	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Nädalavahetus	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva õhtu	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva lõuna	A.H.Tammsaare tee - Mustamäe tee, Tallinn Tööpäeva hommik	Nõmme tee - Linnu tee, Tallinn	Sõle tn - Paldiski mnt - Tuulika tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Sõpruse pst - Tuulika tn - Endla tn, Tallinn	Aardla tn - Võru tn, Tartu	Paldiski mnt - Ehitajate tee - Rannamõisa tee, Tallinn (Haabersti ring)	Narva mnt - Pirita tee, Tallinn	Narva mnt Russalka JKÜ, Tallinn	Kokkuvõte	
	Analüüsitud sõiduradade arv)		1															1	
	Mõõdetud reaktsiooniaegu		37																37
	tR min (s)		-3,2																-3,2
	tR max (s)		2,7																2,7
	tR avg (s)		1																1
	Hooga ristmikule sisenenud tsükli alguses		x																
	Hooga ristmikule sisenenud tmin (s)		x																
	Hooga ristmikule sisenenud tmin v (km/h)		x																
	Ristmikule sisenenud vmax (km/h)		x																
	Ristmikule sisenenud vmax aeg t (s)		x																
	Er		2																2
	R		309																309
	R fooritule pikkus		24																
	R tsükkel max		11																
	Arvutuslik avg intervall (s)		2,2																
	R tsükkel min		2																
	Arvutuslik avg intervall (s)		12																
	R tsükkel avg		8																
	Arvutuslik avg intervall (s)		3																
	K		24																24
	P		11																11
	tP avg (s)		1,2																1,2
	tP max (s)		2,1																2,1
	tP max v (km/h)		x																0
	Kokku liiklejaid		346																346

