TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TEEKATTEMÄRGISTUSE PUUDUMISEST TULENEVA LIIKLUSOHU HINDAMINE, TEEKATTEMÄRGISTUSE PUUDUMISEST TULENEVA LIIKLUSÕNNETUSE RISKI PROGNOOSIMINE

ASSESSMENT OF TRAFFIC HAZARDS RESULTING FROM THE ABSENCE OF ROAD MARKINGS AND FORECAST OF THE RISK OF TRAFFIC ACCIDENTS DUE TO THE LACK OF ROAD MARKINGS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Sergei Tavstõgin

Üliõpilaskood: 232270EAXM

Juhendaja: Luule Kaal, lektor

Tallinn 2025

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.

“23” mai 2025

Autor: Sergei Tavstõgin

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 20…..

Juhendaja: Luule Kaal

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20… .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks[1]

Mina, Sergei Tavstõgin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „TEEKATTEMÄRGISTUSE PUUDUMISEST TULENEVA LIIKLUSOHU HINDAMINE, TEEKATTEMÄRGISTUSE PUUDUMISEST TULENEVA LIIKLUSÕNNETUSE RISKI PROGNOOSIMINE “,

mille juhendaja on Luule Kaal,

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.

23.05.2025

[1] *Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Sergei Tavstõgin, 232270EAXM

Õppekava, peaeriala: EAXM15/23, teede- ja sillaehitus

Juhendaja: Lektor, Luule Kaal

Kaasjuhendaja:

Lõputöö teema:

Teekattemärgistuse puudumisest tuleneva liiklusohu hindamine, teekattemärgistuse puudumisest tuleneva liiklusõnnetuse riski prognoosimine

Assessment of traffic hazards resulting from the absence of road markings and forecast of the risk of traffic accidents due to the lack of road markings

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Teekattemärgistuse puudumisest tuleneva liiklusohu taseme uurimine ja hindamine
2. Liiklusõnnetuse tekkimise riski prognoosimismeetodi leidmine
3. Alternatiivsete lahendusete leidmine teekattemärgiste puudusest tulenevate riskide kompenseerimiseks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö struktuuri koostamine, eesmärkide määramine, lähteandmete kogumine ja töötlemine	17.02.2025
2.	Lõputöö põhiosa kirjutamine, andmeanalüüs ja esmased tulemused	30.03.2025
3.	Lõputöö tulemuste lõplik analüüs, järelduste ja ettepanekute koostamine, vormindamine ja tehniliste täienduste tegemine	20.04.2025

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** “23” mai 2025a

Üliõpilane: Sergei Tavstõgin /allkiri/ “20”aprill 2025 a

Juhendaja: Luule Kaal /allkiri/ “20”aprill 2025 a

Kaasjuhendaja: /allkiri/ “.....”.....2025 a

Programmijuht: Simo Ilomets /allkiri/ “.....”.....2025 a

SISUKORD

SISUKORD 5
1. SISSEJUHATUS 7
2. TEOREETILINE OSA 9
2.1 Teekattemärgistuse roll liiklusohutuses 9
2.1.1 Teekattemärgistuse määratlemine ja funktsioon 9
2.1.2 Märgistuse ajalooline taust ja tähtsus 11
2.2 Teegeomeetria ja visuaalne tajumine 14
2.2.1 Tee geomeetria olulised aspektid 14
2.2.2 Liiklejate visuaalse tajumise põhimõtted 15
2.3 Sõidukiiruse valik 20
2.3.1 Sõidukiirus ja liiklusohutus 20
2.3.2 Kiiruspiirangud ja nende rakendamine 23
2.3.3 Teekattemärgistuse mõju sõidukiirusele 24
2.4 Sõidukite paiknemine teel 26
2.4.1 Sõidukite liikumismustrid 26
2.4.2 Teekattemärgistuse mõju sõidukite paiknemisele teel 27
2.4.3 Probleemid teekattemärgistuse puudumisel 28
2.5 Mootorsõidukitega samal teeosal liikuvate jalakäijate ja jalgratturite ohutus 29
2.5.1 Jalakäijate ja jalgratturite liiklemine 29
2.5.2 Ristumiskohad ja ohutegurid 31
2.5.3 Teekattemärgistuse puudumise mõju jalakäijate ja jalgratturite ohutusele 32
2.6 Nullvisioon 33
3. METODOLOOGILINE OSA 35
3.1 Andmete kogumine ja analüüs 35
3.2 Liiklusohu määratlemine ja klassifitseerimine 36
3.3 Reaalse ja tõenäose liiklusohu hindamine 39
3.3.1 Kontrollpiirkondade meetod 39
3.3.2 Modelleerimise meetod 43
3.3.3 Teekattemärgiste seisukorra hindamine valguspeegelduvuse mõõtmise vahendusel 48
3.4 Minimaalne vajalik teekattemärgiste maht 49
3.5 Alternatiivsed märgistamise lahendused 50
3.5.1 Kleebised 50
3.5.2 Värviliste ja tekstuursete ehitusmatejalide kasutamine 51

3.5.3 E-katend 54
3.5.4 Hologrammid 55
3.5.5 Muud võimalused 57
3.6 Alternatiivse lahenduse valik 58
3.7 Hariduse ja teadlikkuse tõstmine 59
KOKKUVÕTE 61
SUMMARY 63
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 65

1. SISSEJUHATUS

Seoses võimaliku teehoiu rahastuse vähenemisega lähitulevikus hakkas Transpordiamet kaalutlema rahaliste vahendite kokkuhoiu võimalusi. Eeldatakse, et üheks kokkuhoiu võimaluseks on teekattemärgistuse mahtude vähendamine.

Arvestades autostumise taseme väga kiire kasvu ning Eesti kliimatingimustega, muutub liiklusohutuse tagamine üheks kõige olulisemaks ühiskonna ülesandeks võimaldades selle heaolu ja arengut. Turvalise ja tõhusa liikluskeskkonna kujundamisel mängib väga olulist rolli muu hulgas teekattemärgistuse olemasolu, kuna teekattemärgistuse peamisteks ülesandeks on liiklejate suunamine ning ohtlike kohtade esile toomine. Teekattemärgistuse puudumine võib endaga kaasa tuua liiklusolukorra valesti mõistmist, mis omakorda tähendab liiklejate vigade tegemise tõenäosuse kasvu suurendades ohtlike olukordade ja liiklusõnnetuste arvu.

Käesoleval lõputööl on kolm eesmärki. Esimeseks eesmärgiks on uurida ja hinnata teekattemärgituse puudumisest tuleneva liiklusohu taset tee geomeetria visuaalse tajumise, sõidukiiruse valiku, sõidukite teel paiknemise, mootorsõidukitega samal teeosal liikuvate jalakäijate/jalgratturite osas. Teiseks eesmärgiks on leida metoodilised alused teekattemärgistuse puudumisest tuleneva liiklusõnnetuse riski prognoosimiseks. Kolmandaks eesmärgiks on esitada ettepanekud võimalike meetmete osas märgistuse puudumisest tingitud liiklusriskide kompenseerimiseks.

Antud diplomitöö eesmärkide saavutamiseks autor: uurib teekattemärgistuse teoreetilist tausta; uurib andmeid liiklusõnnetuste kohta pöörates erilist tähelepanu nendele kohatadele, kus teekattemärgistus oli puudu; määratleb peamisi teekattemärgistuse puudusest tingitud liiklusohtusid ja hindab neid; uuritud informatsiooni põhjal koostab metodoloogilisi aluseid teekattemärgistuse puudumisest tulenevate liiklusohtude prognoosimiseks; teeb ettepanekud liiklusriskide kompenseerimiseks ettenähtud meetmete osas. Teadaolevalt vastavasisulist uuringut pole Eestis varem läbi viidud, seega lõputöö koostamise käigus diplomand uurib ka välismaiseid uurimistöid antud valdkonnas.

Lõputöö koosneb neljast põhiosast: sissejuhatus, teoreetiline osa, metodoloogiline osa ja kokkuvõte. Teoreetilises osas autor detailsemalt kirjeldab teekattemärgistuse funktsiooni ja tähtsust liiklusohutuses, teekattemärgistuse mõju liiklejate liiklusolukorra tajumisele, sõidukiiruse valikule, sõiduki teel paiknemisele ning jalakäijate ja jalgratturitele ohutusele. Metodoloogilises osas kogutakse ja analüüsitakse andmeid, määratletakse ja klassifitseeritakse teekattemärgistuse puudumisest tingitud peamised liiklusohu allikad,

metodoloogilised alused liiklusohtude prognoosimiseks ning ettepanekud liiklusriskide kompenseerimiseks. Kokkuvõttes autor toob lühidalt välja informatsiooni lõputöö sisulises osas saadud tulemuste, järelduste ja ettepanekute kohta.

2. TEOREETILINE OSA

2.1 Teekattemärgistuse roll liiklusohutuses

2.1.1 Teekattemärgistuse määratlemine ja funktsioon

Vastavalt liiklusseadusele: ″teemärgis on teekattemärgis ja püstmärgis, millega kehtestatakse teatav liikluskord, aidatakse liikluses orienteeruda ja juhitakse tähelepanu.″[1] Liiklusseaduses väljatoodud määratlustest on näha, et teekattemärgise puhul tegemist on liikluskorraldusvahendiga, mille abil liiklejatel aidatkse paremini liikluses orienteeruda ning pannakse pöörata rohkem tähelepanu erinevatele ohutudele. Liiklusseadus jaotab teemärgiseid kaheks tüübiks: püstmärgis ja teekattemärgis. [1]

Eelnimetatud õigusakt annab püstmärgisele järgmist määratlust: ″püstmärgis on teerajatise äärel vaheldumisi asetsevad valged ja mustad vöödid või valgele postile kantud helkur koos musta vöödiga või ilma selleta.″[1]

Majandus- ja kommunikatsiooniministri määruses ″Liiklusmärkide ja teemärgiste tähendused ning nõuded fooridele” on toodud püstmärgiste liigid: tähispostid; äärekivi; piirdehelkur; markiirpost; painduv püsttähis. Eelnimetatud määratlus käsitleb ka iga püstmärgise liigi kasutusviisi. Määrus sätestab, et tähisposte kasutatakse tee või eraldusriba ääre tähistamiseks, kusjuures antakse ka juhised seda tüüpi märgiste visuaalse kujunduse kohta: tähisposti vööt peab olema kantud postile sõidutee poole langeva nurga all või kitsa eraldusriba juures horisontaalselt. Tavaolukorras tähisposti helkuri värviks on valge, juhul kui tegemist on ohtiku kohaga kasutatakse kollast värvi helkureid, kusjuures helkuri kuju sõltub püstmärgise paigaldamise asukohast: paremalpool teed pannakse ristkülikukujulised helkurid ja vasakulpool teed ringikujulised. Äärekiviga tähistatakse äärekivisid, mis asuvad ooteplatvormidel, ohutusaartel, tee kitsamatel kohtadel või väikese plaaniraadiusega teekõveratel. Piirdehelkuritega tähistatakse teepiirdeid, mida paigaldatakse tee ääres või eraldusribadel. Sarnaselt tähispostidega sõltuvalt paigaldamiskohast piirdehelkurite värviks võib olla valge või kollane. Võrreldes tähispostidega erinevuseks on see, et piirdehelkurite kuju mõlemalpool teed on samasugune. Markiirpostidega tähistatakse tee äärt või muud takistust, kui seda ei ole näha lumekihi all. Painduvate püsttähistega märgistatakse kõik kohad, kus liiklemine ei ole lubatud ja selle märgise värv võib olla igasugune. [2]

Teekattemärgise puhul liiklusseaduses on väljatoodud järgmine määratlus: ″teekattemärgis on teekattele kantud joon, nool, kirje või kujutis.″ [1] Seoses sellega, et

liiklusseaduses kasutatud määratlus lõputöö autori hinnangul kajastab piisavalt teekattemärgiste sisu ning sellega, et eelmainitud õigusakt lubab kasutada teisi seaduses ei ole käsitletud teekattemärgistusi ning teekattemärgiste kujutiste, kirjete ja liikide jada võrreldes püstmärgistega on kordades suurem ei pea käesoleva lõputöö autor teekattemärgiste liikide ja tähenduste üksiasjalikku kirjeldamist otstarbekaks. Diplomand arvab, et teekattemärgiste puhul olulisem on käsitleda nende suhtes rakendatavaid üldsätteid ja nõudeid, kuna just need omavad väga suurt tähtsust liiklusohutuse ja visuaalse ja taktiilse tajumise kontekstis. [1]

Nendeks on värv, materjal, valguspeegelduvus, libisemiskindlus ning teekattemärgise kihi paksus. [3]

Teekattemärgise värviks on valge, kollane, punane või sinine. Üldjuhul teekattemärgised on valged, seega teise värvi kasutamise puhul tegemist on pigem erandiga. Kollase värviga tähistatakse kohti, kus on keelatud peatumine või parkimine. Samuti kollast värvi kasutatakse ajutise teekattemärgise kandmiseks. Sinise värviga märgistatakse neid kohti, kus tegemist on tasulise parkimise või mingisuguse teise parkimispiiranguga alaga. Lisaks eelnimetatud juhtudele sinise värviga tähistatakse parkimisalade piire. Punast värvi kasutatakse õueala piiri või kiiruspiirangu ala piiri tähistamiseks. [2]

Teekattemärgiste kandmiseks kasutatavad materjalid on sellised: valuplastik, pritsplastik, kuum valuplastik, külm valuplastik, kuum pritsplastik, külm pritsplastik, värv, struktuurne materjal. Valuplastik on materjal, mille kattele kandmise viisiks on valgumine. Valuplastik jaguneb kaheks tüübiks: kuum ja külm. Kuum valuplastik on materjal, mida transporditakse graanulite või pubri kujul. Kui materjal jõuab kohale, seda kuumutatakse ja siis sulatakse, nii et seda oleks võimalik kattele valguma panna. Jahtumisel materjal tahkub moodustades teekattemärgist. Valuplastik ei sisalda lahustit. Külm valuplastik koosneb mitmest komponendist, mida transporditakse vajalikusse kohta. Kui materjalid jõuavad kohale, neid segatakse õigetes proportsioonides ja valgutakse teekattele, kus segu keemilisel reakstioonil tahkub. Pritsplastik on materjal, mida märgistustööde käigus pritsitakse kattele. Sarnaselt valuplastikuga jaguneb kaheks tüübiks: kuum ja külm. Kuuma pritsplastiku puhul enne teekattele kandmist märgistusmaterjali kuumutatakse. Külma pritsplastiku puhul enne teekattele kandmist märgistusmaterjali ei kuumutata. Struktuurse märgistusmaterjali puhul tegemist on teatud kujuga väikestest elementidest koosneva massiga, mille kandmise tehnoloogia on sama nagu valuplastikul. Värv on märgistusmaterjal, mis koosneb pigmendist ja sideainest. Antud materjal on vedel. Füüsikaliste protsesside je keemiliste reaktsioonide käigus tahkub ja moodustab kesta

teekattel. Vastavalt Riigiteede teekattemärgistuse valiku, paigaldamise, kontrollimise ja eemaldamise juhendile riigiteede enamikel kohtadel kasutatakse valuplastikut. [3], [4]

Järgmiseks oluliseks teekattemärgise omaduseks on valguspeegelduvus. Valguspeegeldusvus on valguse hulk, mis peale pinnale langemist peegeldub tagasi. Valguspeegeldavust mõõdetakse protsentides. Valguspeegelduvuse tagamiseks märgistusmaterjalis kasutatakse klaaskuule. Klaaskuul on läbipaistev klaaskera, millel on võime valgust tagasipeegeldada. Teekatte märgistamisel on väga oluline arvestada teiste valguspeegeldavusest tingitud parameetritest: heledustegur ja tagasipeegeldus. Vastavalt EVS_EN_1436-le heledustegur on teekattemärgise valgustuse suhe antud suunas ideaalset peegeldavat difuuserit, mis on ühtlaselt valgustatud. Tagasipeegeldust eelnimetatud standard määratleb selliselt: tagasipeegeldavus on teekattemärgise valgustuse suhe vaatlussuunas oleva L ja valgustuse E, mis on risti langeva valguse suunaga. [5], [6]

Libisemiskindlus on teekattemärgiste pinna omadus libiemist takistada. Libisemiskindlus saavutatakse lisades libisemisvastaseid materjale, milleks on looduslikku päritolu või kunstlikult tekitatud väikesed kõvad osakesed. Eelnimetatud materjalide puhul olulisteks omadusteks on osakeste terakoostis, materjali purunemiskindlus, värvuskoordinaadid (väärtused, mis näitavad värvi asukohta mingisuguses värvikoordinaadistikus) ning heledustegur. Libisemiskindlust iseloomustab SRT-väärtus, mis näitab kui hästi teekattemärgistus suudab libisemisele vastupidada, kusjuures mida suurem väärtus, seda parem materjali libisemiskindlus. [5], [7]

Samuti olulist rolli mängib teekattemärgistuse vähimad kihi paksused, kuna see näitaja mõjutab kõiki ülaltoodud omadusi. Teekattemärgistuse kihi paksusest sõltub selle märkamisvõime, heledus, libisemiskindlus, kulumiskindlus, purunemiskindlus, kuumuskindlus ning keemiline vastupidavus, sest ebapiisava materjali koguse puhul ei pruugi osutuda võimalikuks tagada eeltoodud omadusi piisaval määral. [5]

2.1.2 Märgistuse ajalooline taust ja tähtsus

Käesolevas lõputöös eelpool mainitud, et teekattemärgistuse peamiseks funktsiooniks on liikluse korraldamine, mille väljundiks on liilejate parem orienteerumine ning ohtlike kohtade rõhutamine. [1]

Antud lõputöö autor arvab, et eelnimetatud funktsiooni tähtsusest paremaks arusaamiseks tuleb uurida ja kirjeldada selle funktsiooni kujunemise ajaloolist tausta. Kõige esimesed liikluskorralduse vahendid olid väga primitiivsed ja ilmusid antiiktsivilisatsioonide ajal,

nendeks olid kivid ja puud. Sellise lähemise eesmärgiks oli eelkõige navigatsioon. Uute geograafiliste regioonide arendamine, ehitamine, kiire tehnoloogiline progress, inimeste migratsioon ja kaupade liikumine tekitas kiire transpordi vajadus. Seoses transpordi aina suureneva kasutamise ja kaupade liikumise mahu kiire kasvuga tekkis omakorda vajadus reeglite järele, mis oleksid kõikidele transpordivõrgu kasutajatele ühtlaselt arusaadavad. [8]

Aastal 1909 Pariisis toimus esimene rahvusvaheline autoliikluse konventsioon, kus olid arutatud autode konstruktsiooni, rahvusvahlise liikluse, liiklusmärkide ning teede valgustusega seotud probleemid. Muu hulgas konventsioonil sai määratletud liiklusmärkide liigitus ja kuju. Esimene dokumenteeritud teekattemärgistuse kasutamine pärineb aastast 1911. Ameerika Ühendriikides Michigan'i osariigis Wayne'i maakonnas Trenton River Road tänaval oli märgistatud tänava telgjoon. Ideed pakkus Edward N. Haines, kes ükskord nägi piima lekke jälge piimaveokist. Mõne aja pärast tänavate telgjooned said tähistatud ka teised osariigi teed, sarnane märgistus ilmus ka Californias ja Oregoni osariigis. Aastal 1917 Oregonis teele kanti kollast värvi teekattemärgistus, mis sai esimeseks kollast värvi teekattemärgistuse kasutamise juhtumiks. Hiljemini Pariisi konventsioon oli täiendatud veel kaks korda teise konventsioonide raames: Rahvusvaheline liikluse konventsioon ja Rahvusvahelise autoliikluse konventsioon. Kahe eelnimetatud konventsioonide kokkuvõtted olid võetud vastu aastal 1926 Pariisis. Hiljem jõuti järelduseni, et eelnimetatud konventsioon ei käsitle piisaval detailsuse määral liiklusmärkide ja teede valgustuse teemat, seega aastal 1931 Genfis toimus konverents, mille käigus liiklussignaalid said unifitseeritud. Aastal 1949 ÜRO Majandus- ja Sotsiaalnõukogu jõudis järelduseni, et aasta 1926 ja 1931 konverentsid on vananenud ja samal aastal korraldas uut konverentsi Genfis, mille tulemuseks oli Liikluse konventsioon ja Liiklusmärkide ja signaalide protokool. Nendele järgnesid veel mõned konverentsid, aga kõige olulisemaks sai Viini liiklusmärkide ja signaalide konvetsioon, mille raames varasemad konventsioonid olid ülevaadatud ja märkimisväärselt laiendatud. Eelnimetatud dokument kujutab endast lepingut, mis on suunatud liiklusohutuse taseme suurendamisele ja rahvusvahelise liikluse standartiseerimisele. Viini liiklusmärkide ja signaalide konvetsioon on ka tänapäeval paljude riikide liikluse korraldamise põhialuseks. Lisaks liiklusmärkidele konventsioon käsitles ka teekattemärgiseid. [8]

Mõne aja pärast sai selgeks, et öisel ajal teekattemärgised ei ole efektiivsed, kuna neil olnud valgustuspeegeldatavaid omadusi. Seega hiljem hakati lisama materjali klaaskuule.

Aastal 1971 ja 1973 Viini liiklusmärkide ja signaalide konvetsioon oli täiendatud mõnede protokollide ja kokkulepetega, mille raames olid täpsustatud juhilubade, teetähiste ja teiste sätetega. Antud hetkel eelnimetatud konventsiooni kasutatakse 69 maailma riikides. Maailmas kasutatakse ka teisi süsteeme, näiteks Ameerika Ühendriikides kasutatakse Ühtsete liikluskorraldusvahendite juhendit, mille teekattemärgistele esitatavad nõuded võrreldes Viini liiklusmärkide ja signaalide konvetsiooniga on mõnevõrra erinevad. Sellisteks erinevusteks on näiteks tee telgjoont tähistatavate teekattemärgiste värv või kasutatavate värvide laiem spekter, kus lisaks valgele, kollasele, punasele ja sinisele kasutatakse ka lilla värvi, millega tähistatakse tasulisi teid. [8], [9]

Lisaks ajalooliselt väljakujunenud funktsioonidele, mille tähtsus on hindamatu, mängivad teekattemärgised väga olulist rolli autojuhtide omavahelises suhtlemises, liiklusturvalisuses ning õigeaegses infovahetuses. Autori hinnangul on just need teekattemärgise funktsioonid on võrdväärsed varem nimetatutega, sest nad on otseselt seotud inimteguriga ja kaasaegse maailma eripäradega võrreldes antiikajaga: kõrge ja kasvav autostumise tase ja kasvavad sõidukiirused. Seoses sõidukite arvu kasvuga suureneb ka liiklustihedus, mis tähendab seda, et turvalise, sujuva ja kiire liikluskeskkonna tagamiseks kõikide liiklejate tegevused peavad olema koordineeritud. See on eriti oluline näiteks ülekäiguradadel, kus teekattemärgiste vahendusel liiklejatele edastatakse info tee ohutu ületamise võimalusest ja liiklejate liikumise eesõigusest või liiklusummiku puhul, kus teekattemärgised näitavad kohti, kus ei tohi peatuda, et ristmikku või muud teega külgnevat ala mitte blokeerida. Suurte kiiruste juhul teekattemärgised õigeaegselt annavad liiklejate infot näiteks kiirusreziimi, liiklusvooga ohutu liitumise võimaluse või mööödasõiduks ebasobivate kohtade kohta. Samuti võidakse teekattemärgiste kaudu edastada infot võimalikkudest liikumissuundadest ja teiste liiklejate liikumistrajektoori kohta. Uuringud näitavad, et ilma teeäärt tähistava märgiseta kipuvad sõidukijuhid sõitma tee telgjoonele lähemale, sest telgjoon üldjuhul asub sõidukijuhi poolel ja on mugav infoallikas sõiduki külgsuunalise liikumise kontrollimiseks. Kuna teadaolevalt suurim liiklusõnnetuste osakaal on tingitud inimtegurist, siis kiire, selge ja ühtlaselt arusaadav infovahetus muutub üliloluliseks ja omab väga suurt tähtsust liiklusõnnetuste arvu vähendamise kontekstis. [8], [9]

Erilist tähelepanu tuleb pöörata öisel ajal liikumisele, kus teekattemärgistuse olemasolu või selle kvaliteet tihti võib muutuda liiklusohutuse tagamise võtmeteguriks eriti väljaspool asulat, kus ei ole tehislikku valgustust. Antud juhul teekattemärgiste valguspeegeldavus avaldab tõsist mõju mitte ainult liiklejale aga ka juhiabisüsteemide tööle, kuna näiteks sõiduraja jälgimissüsteem, mis kaamerate abil tuvastab teekattemärgiste asukohta ja vastavalt korrigeerib rooliasendit. [8]

2.2 Teegeomeetria ja visuaalne tajumine

2.2.1 Tee geomeetria olulised aspektid

Projekteeritav tee geomeetria mängib võtmerolli liiklejate infrastruktuuri füüsilise keskkonna ja psühholoogilise tajumise kujundamises. Füüsilisele keskkonnale ja psühholoogilisele tajumisele avaldavad mõju erinevad elemendid, milleks on näiteks ristlõike eripärad, erinevad nähtavuskaugused, sirged ja kõverad teelõigud ning kõrguste muutused. Tee geomeetrial on otsustav tähendus transpordi infrastruktuuri arendamises, mis peab tagama liiklejate ohutust ja kiiret liikumisvõimalust. [10]

Tee geomeetria plaanilahenduse põhialuseks on projekteeritud tee telgjoon, mis koosneb sirgetest, kõveratest ja puutujatest, mis määravad tee suunda ning kiirusrežiimi. Just eelnimetatud geomeetriliste elementide täpne ja süsteemne kord võimaldab maksimaalse efektiivsusega arvestada geograafilise ja geoloogilise olukorraga, tagades sujuvat transpordi liikumist. [10]

Sama olulist rolli mängib ka projekteeritud tee pikiprofiil, mis paneb paika tee kõrgusliku lahenduse. Üldjuhul koosneb pikiprofiil kumeratest ja nõgusatest püstkõveratest, sirgetest lõikudest ning harjapunktidest. Tee vertikaalne lahendus tagab liiklejate ohutuse näiteks muutuva reljeefiga geograafilistes regioonides, tagab teekonstruktsiooni püsivuse ning toetab plaanilahendust. [10]

Tee ristprofiil omab samuti suurt tähtsust, kuna määratleb liiklejate asetus teel, määratleb projekteeritud teele esitatavad ruumilisi nõudeid, näitab teekonstruktsiooni ülesehitust ja teed teenindavate tehnovõrkude (nt drenaažitorud, valgustuskaabelid jms) paigaldamise põhimõtteid, esitab nõudeid tee ehitamisel kasutatavatele materjalidele, selgitab erinevate taristu teenindamiseks vajalikkude konstruktiivsete elementide paigaldamise printsiipe. [10]

Tuleb pöörata tähelepanu ka sellele, et kõik ülaltoodud teegeomeetria aspektid täidavad ka esteetilist rolli, mis omakorda avaldab mõju tee lähiümbruses asuvate linnade ja asulate sisemisele planeerimisele. [10]

Kõikide eelnimetatud aspektide põhjalik analüüs ja läbimõtlemine tagab optimaalset tee kasutamise režiimi, optimeerib ehituskulusid ning vähendab tulevasi tee rekonstrueerimis- või modeniseerimisvajadusega seotud kulusid. Selline lähenemisviis võimaldab ettenäha ja rahuldada muutuvaid tendentse transpordi valdkonnas, milleks on näiteks pikemate või raskemate võrreldes tänapäevaste standarditega sõidukite kasutamise kavatsused. [10]

Tee geomeetriline lahendus mõjutab veel ühte olulist aspekti, milleks on liiklejate käitumine. Kuna ohutu, kiire ja sujuva liikluskeskkonna tagamiseks liiklejad peavad pidevalt vahetada erinevaid signaale, siis võib kogu seda protsessi käsitleda kommunikatsioonina ja teed suhtlemiskanalina. Seda tüüpi suhtlemine toimub mitte ainult liiklejate vahel, aga ka liiklejate ja taristu vahel, kuna taristu ka peab andma liiklejatele erinevaid signaale, et liikleja saaks valida vastavat käitumisstiili. Üheks siganaali andmise võimaluseks liikleja ja taristu vahel on teekattemärgised, mis avaldvad tõsist mõju liiklejate käitumisele ja seega liikluskeskkonna ohutuks, kiireks ja sujuvaks saamiseks ja sellisena püsimiseks on seda tüüpi suhtlemise kõrge kvaliteet väga oluline. [11]

2.2.2 Liiklejate visuaalse tajumise põhimõtted

Uuringud näitavad, et liiklejate visuaalse tajumise paremaks toimiseks tee projekteerimisel tuleb arvestada 12 teguriga, mis tõstavad teede visuaalset kvaliteeti [12]:

- kooskõla,
- pildistatavus,
- lihtsus,
- nähtavus,
- kõrge kvaliteet ja hooldus,
- looduslikkus,
- integreeritus,
- kontrastsus,
- mitmekesisus,
- liikumise esteetika,
- loetavus,
- orientatsioon. [12]

Vastavalt projekteerimise käigus vaadeldavatele liikumisolukorrale ja visuaalse tajumise aspektidele liigitatakse need kriteeriumid kolme gruppi: teede visuaalsed omadused, kui neid vaadelda iseseisva struktuurina; teede visuaalsed omadused seoses nende ümbritseva keskkonnaga; teede visuaalsed omadused, mis on seotud reisija liikumisega mööda teed. [12]

Teede visuaalsed omadused iseseisva struktuurina. Antud grupp koosneb visuaalsetest teguritest, mis kirjeldavad tee visuaalset ja esteetilist tajumist, nendeks on kooskõla, kuvatatavus, lihtsus, nähtavus, kõrge kvaliteet ja hooldus, ning looduslikkus. [12]

Kooskõla puhul tegemist on ühtlase, proportsionaalse ja järjekindla tee disainiga teekonstruktsiooni raames, mis tähendab seda, et teekonstruktsiooni elemendid peavad olema visuaalselt üksteisega kooskõlas ning ei tohi tekkida eelnevalt kehtestatud disaini või esteetikat rikkuvaid konstruktiivseid elemente. [12]

Kuvatatavus viitab sellele, et projekteerimisel üheks oluliseks ülesandeks on tekitada erinevat maastikku ning anda neile individuaalsust. Arvatakse, et heaks põhimõtteks on projekteeritud tee kõrge kokkusobivus ümbritseva keskkonnaga, mida saavutatakse kasutades kohalikke materjale või tekitades meeldejäävaid vaateid. Samuti kasuks tuleb erinevate tee eripärade tekitamine, milleks on näiteks teele erilise nime andmine; skulptuuride paigaldamine, tahvlid ja muud muljet avaldavad ning meeldejäävad elemendid. Tuleb pöörata tähelepanu ka sellele, et maastiku muutuste rohkus mõjutab positiivselt liiklusohutust, kuna vähendab liikumise monotoonsust ja hoiab liiklejate keskendumisvõimet toonuses. [12]

Vaatamata sellele, et tee eripärade olemasolu on oluline, ei tohi liiklejate vaateväli olla ülekoormatud, seega järgmiseks oluliseks teguriks tee projekteerimisel on lihtsus. Eeldatakse, et mõistlikul määral minimalism, disaini selgus ja liigeste elementide eemaldamine toob endaga kaasa selge ja atraktiivse liikluskeskkonna. [12]

Maastiku planeerimisel ja kuvatatavuse tagamisel tuleb arvestada mitte ainult liiklejate vaatevälja ülekoormatusega, aga ka nähtavusega, mis on järgmiseks oluliseks teguriks. Vajaliku nähtavuse tagamine on turvalise ja kiire liikluskeskkonna loomise võtmeelemendiks. Hea nähtavus vähedab liiklusõnnetuste riski, kuna võimaldab liiklejatel õigeaegselt märgata igasuguseid takistusi, teisi sõidukeid, jalakäijaid ning liikluskorraldusvahendeid. Liikluskorraldusvahendite ja antud lõputöö teema kontekstis tuleb pöörata tähelepanu, et teekattemärgistus on asendamatu abivahend öisel ajal näiteks juhul kui sõidukijuht on pimestustatud vastutulevate autode esitulede tõttu või halba nähtavuse korral: udu, vihm. Samuti vähendab hea nähtavus sõidukijuhtide stressi ja väsimustaset, kuna siis on juhil lihtsam keskenduda juhtimisprotsessile ja ei teki liigseid muresid võimalikest ettenägematutest ohtudest. [12]

Liiklejate visuulasele tajumisele avaldab mõju ka tee kõrge kvaliteet ja hooldus. Uuringud näitavad, et liiklejate vaatevinklist kvaliiteetsed materjalid ja töö teostus on otseselt seotud liikluskeskkonna heaolu ja hea hooldusega, mis omakorda tekitab kõrgemat turvatunnet võrreldes madalama kvaliteediga teedega, kuna tee visuaalset atraktiivsust liiklejad seostavad ka kõrge projekteerimise kvaliteediga. Tuleb rõhutada, et eelmainitud uuringu teostajate arvamusel oluline on ka tasakaalu jälgimine: liiga puhas ja korralik keskkond

võib tekitada liiklejatel liigset psühholoogilist pinget, kuna liikluskeskkonna kasutajatel võib tekkida hirm keskkonda juhuslikkude kahjustuste pärast. Juhul kui tegemist on ebapiisava hooldusega või ebaatraktiivse liikluskeskkonnaga, siis see võib põhjustada olukorda, kus liiklejad sarnaselt tekib tunne, et ei pea eriti pingutama näiteks liiklusseaduse jälgimisel. [12]

Projekteerimisnormide ja standardites soovitatakse vältida liiga suurt ″tehnilisust″ eelistades looduslikkust, mis järgmiseks visuaalse tajumise teguriks. Liiga suur hulk tehnilisi elemente ja suured asfaltplatsid, mis ei sobi hästi maastikuga kokku mõjutavad negatiivselt liilkejate stressi tasemele. Uuringud näitavad, et loomulikkus ja haljastus positiivselt korreleerub maastiku eelistusega, mis tähendab seda, et inimesed rohkem hindavad loodust, kui tehnilisi antropogeennseid maastiku elemente. Üheks näiteks on empiirilised uuringud, mis näitavad seda, et madalama muldkeha kõrgusega ja vähema muru niitmissagedusega teed avaldavad positiivset mõju sõidukijuhtide taastamisele ja vähendavad streesi taset. [12]

Järgmine liikljete visuaalse tajumise aspektiks on teede visuaalsed omadused seoses nende ümbritseva keskkonnaga. Antud grupp koosneb nendest visuaalsetest teguritest, mis kirjeldavad tee integreerimist ümbritseva maastikuga, nendeks on integreeritus ja kontrastsus. [12]

Ajalooliselt teede ehitamine oli tihti seotud geograafilise regiooniga, kus tee-ehitus toimub. Selle üheks põhjuseks on materjalide tarnimine, tehnoloogiate ebapiisvav areng ning ehitustööde väike mastaap. Sellisel olukorral tee kokku sobitamine ümbritseva keskkonnaga raskusi ei tekitanud. Aja jooksul tehnoloogiate arenemise ja ehituse mastaapide suurenemisega aina keerulisemaks muutus ka tee integreerimine ümbritseva keskkonnaga. Tee-ehituse projektide integreerituse eesmärk on kohalikkude ja regionaalsete maastiku eripärade säilitamine. Eelnimetatud visuaalse teguri olulisust rõhutab ja toetamist soodustab Euroopa maastiku konventsioon. Integreerituse sisu väga sarnaneb ülalmainitud teguritega, aga erinevus seisneb selles, et integreerituse võtted on rohkem suunatud ümbritsevale keskkonnale. Integreerituse raames rohkem tähelepanu pööratakse näiteks kännustikkude ja taimestiku asukohale ning kujule või puude istutamisele, aga antud teguri puhul ei tegeleta otseselt tee-elemenitde ja nende konstruktsioonide kokku sobitamisega, vaid nende visuaalse keskkonnamõju vähendamisega. [12]

Kontrastsuse puhul tegemist on üldjuhul eraldi suurte rajatistega, kus integreerimine on väga raske või ei ole võimalik. Sellisel juhul eeldatakse, et ehitatav rajatis annab

ümbritsevale keskkonnale uue eripära või identiteedi. Sellisteks objektideks on näiteks suured sillad: Kuldvärava sild San Franciscos. Antud juhul rajatistele või konstruktsioonile kunstlikult suurendatakse juba olevat kontrastsust näiteks erksama värvi arvelt. [12]

Teede visuaalsed omadused, mis on seotud reisija liikumisega mööda teed. Selle aspekti alla kuuluvad sellised tegurid: mitmekesisus, liikumise esteetika, loetavus ning orientatsioon. Antud aspekt on käesoleva lõputöö raames on kõige olulisem liiklejate visuaalset tajumist kirjeldav osa, kuna just siin detailsemalt vaadeldakse teekattemärgistuse ja liiklejate omavahelist seost visuaalse vastuvõtmise kontekstis. [12]

Kooskõla teguri vastandiks on mitmekesisus. Nagu juba varem sai mainitud kõikide tegurite kombinatsioonide läbimõtlemise juures tuleb jälgida tasakaalu, mis omakorda tähendab seda, et liikluskeskkonda ja selle ümbrus ei tohi olla liiga tühi või liigesete elementidega ülekoormatud. Mitmekesisuse olulisus seisneb kõigepealt turvalise liikluskeskkonna loomises, kuna võimaldab vähendada monotoonsust, tõstab turvalisuse taset, tõstab liikluskeskkonna kasutusmugavust. Monotoonsuse vähedamisest juba eelnevalt sai räägitud pildistavuse teguri juures: see võimaldab vähendada sõidukijuhtide väsimustaset ning hoiab keskendusmisvõimet optimaalsel tasemel. Eeldatakse, et teatud taseme mitmekesisus võimaldab muuta liikluskeskkonna mugavamaks, kuna erinevate elementide hulk annab võimalust näiteks liiklusmüra leevendamiseks erinevate konstruktiivsete elementide ja mullatööde käigus tekkinud rajatise arvelt. Eelnimetatud elemente või rajatisi võib vaadelda mitte ainult mugavuse kontekstis. Nende abil võib ka tekitada turvalist keskkonda vähemkaitstud liiklejatele näiteks kasutades erinevaid piirdeaedu või mullatööde käigus tekkinud muldeid liikluse kanaliseerimiseks või muul sarnasel viisil. [12]

Liikumise esteetika on tegur, mis näitab kuivõrd järjekindlalt liiklejad tajuvad maastiku ja looduskeskkonna elementide muutusi. Antud juhul olulist rolli mängib aeg, kuna ümbritseva keskkonna muutmiste tajumise kiirus mõjutab näiteks liikumiskiirust, ajatunnet, väsimust, stressi taset ning rütmi. [12]

Loetavus näitab, mis määral tee on liiklejale arusaadav ja kuidas selle välimus annab liiklejale info edasise käitumise kohta. Loetavust mõjutab päris palju elemente, milleks on näiteks tee konstruktsiooni keerukus, tee geomeetria, liikluskorraldusvahendite, valgustuse ja taimestiku olemasolu. Käesoleva lõputöö raames tuleb erilist tähelepanu pöörata liikluskorraldusvahenditele, milleks on ka teekattemärgistus. Uuringud näitavad, et liiklejate visuaalse tajumise ja käitumise kontekstis ei mõjuta lokaalsed kuni 300-meetrilised teekattemärgistuse katkestused kurvides sõidukite liikumiskiirust, pikivahet ja liikmise trajektoori nii öisel kui ka päevasel ajal. [12], [13]

Aasta 1987 uuring näitas, et samuti ei avalda mõju sõidukite kiirustele ja külgasetusele teekattemärgiste pikkus, kusjuures eeltoodud uuringu tulemus kehtib ka ajutiste teekattemärgiste puhul. 1993. aastal läbiviidud analoogse uuringu käigus selgus, et sõidukijuhid reguleerivad paremini liikumise kiirust, trajektoori ja sõiduki külgasetust pikemate sõidutee äärt tähistavate teekattemärgiste puhul, mille pikkus oli 1,22 meetrit võrreldes 0,66 meetri pikkusega, kusjuures 1,22 meetriliste teekattemärgiste puhul joonte vahemik oli 10,98 meetrit ning 0,66 meetriliste puhul – 11,59 meetrit. Tuleb rõhutada, et halva nähtavuse tingimustes 1,22 meetri pikkused teekattemärgised näitasid paremat tulemust. [13]

Laiuse osas näitavad uuringud, et mida laiem teekattemärgise joon, seda suuremat külgmist vahet sellest juhid hoiavad. See omakorda toob endaga kaasa kõrgema vastassuunalise kokkupõrke esinemise tõenäosuse sõidutee äärt tähistava joone puhul ja sõiduteelt mahasõidu kõrgemat riski suunavööndeid eraldatava joone puhul. [13]

Liikumiskiiruse osas näitavad uuringud, et reeglina on teekattemärgistusega teedel tegelik liikumiskiirus suurem võrreldes teekattemärgistuseta teedel, kuna märgistuse olemasolu puhul sõidukijuhid saavad rohkem infot liikumistrajektoori ja ohtlike kohtade kohta. Liiklusmiskiiruse muutust ei täheldatud juhul kui näiteks lisaks olemavolevale suunavööndeid eraldatavale joonele tähistatakse ka sõidutee ääred ning siis, kui suunavööndeid eraldatav joon asendatakse sõidutee ääri tähistatavate joontega. [13]

Kindlasti sõltub teekattemärgiste loetavus selle paigaldamise kvaliteedist ja hooldusest. [12]

Orienteerumise teguri sisu seisneb selles, et liiklejad suudavad tuvastada ja jälgida oma asukohta. Uuringud näitavad, et eriti oluliseks orientatsiooni teguri piisaval tasemel hoidmine muutub tunnelites ja mürakaitsetõkete kasutamise piirkonnas, kuna piiratud nähtavuse tõttu ei suuda liikleja oma marsruuti õigesti planeerida, mis omakorda võib kaasa tuua rohkem ohtlikke olukordi ja suuremat ajakulu. Orienteeruvuse parandamiseks võidakse kasutada erinevaid meetmeid näiteks läbipaistvad mürakaitsetõkkeid, vaatamisväärsuste lisavalgustus öisel ajal. [12]

2.3 Sõidukiiruse valik

2.3.1 Sõidukiirus ja liiklusohutus

Õige sõidukiiruse valik on üheks võtmefaktoriks turvalise liikluskeskkonna loomiseks. Teatud olukordades sõidukiirus võib nii suurendada kui ka vähendada ohutustaset. Käesoleva lõputöö peatükis autor vaatleb ja kirjeldab mõnesid sõidukiirusega seotud aspekte, mis avaldavad märkimisväärset mõju liiklusohutusele. Sellisteks aspektideks on pidurdusteekond, sõidukijuhi reageerimisaeg, tagajärgede tõsidus, sõiduki kontroll ning sõidukiiruse mõjust tingitud juhi taju muutmine teatud olukordades.

Pidurdusteekond omab kriitilist tähtsust liiklusohtuse valdkonnas, sest mida lühem on pidurdusteekond, seda kiiremini saab juht auto ohtlikus olukorras peatada. Sõidukiiruse mõju pidurdusteekonnale on tingitud füüsika seadustest. Pidurdusteekonna *s* saab arvutada, jagades algkiiruse ruudu keskmise pidurduskiirenduse kahekordse väärtusega, mis tekib pidurdamisel (2.1).

$$s=\frac{v^2}{2g\mu}\ , \tag{2.1}$$

kus
v – sõiduki kiirus, m/s;
g – vaba langemise kiirendus, m/s^2;
μ – haardetegur.

Eeltoodud valem tähendab seda, et pidurdusteekond on proportsionaalne kiiruse ruuduga. Sellest omakorda võib järeldada, et kui kiirus kahekordistub, suureneb pidurdusteekond umbes 4 korda. Kindlasti praktikas sõltub pidurdusteekond ka teekatte haardetegurist, aga isegi kui me võtame haardeteguri ka arvesse, siis ka sellisel juhul otsustavat rolli mängib sõidukiirus. Eriti oluliseks pidurdusteekond muutub näiteks talvistes tingimustes, kus haardeteguri mõju oluliselt väheneb võrreldes suviste tingimustega.

Olulist rolli mängib ka sõidukijuhi reageerimisaeg, kuna sellst sõltub, kui kiiresti juht reageerib liiklusolurkorra muutmisele ning ettenägematutele olukordadele, et vältida õnnetust. Reageerimisaeg on ajavahemik, mille jooksul sõidukijuht tajub ohtu ja otsustab, mida peab edasi tegema. Mida suurem on sõiduki kiirus, seda vähem sõidukijuhile jääb aega reageerimisele. Hädaolukordades, milleks on näiteks jalakäijate ootamatu tulek

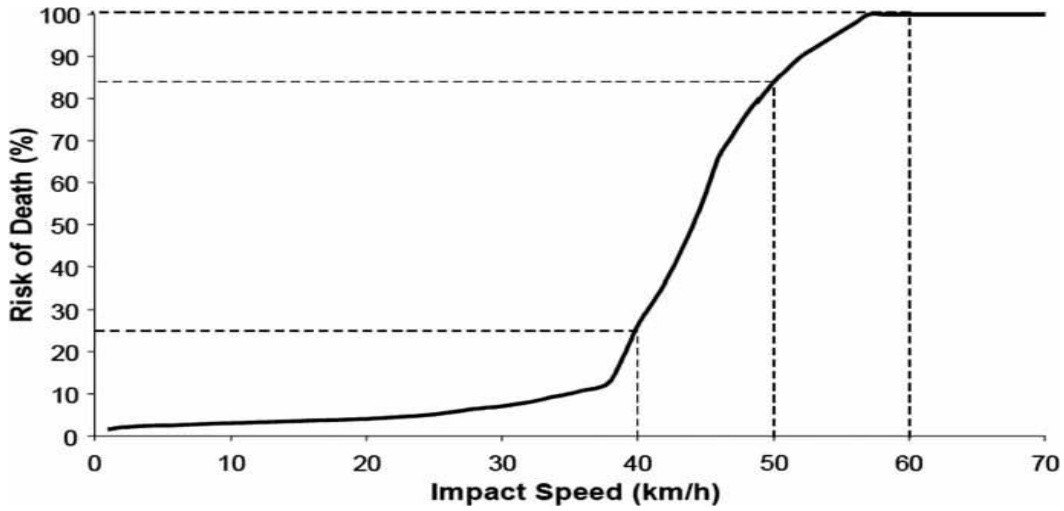
sõiduteele või sõiduki liikumistrajektoori tahtmatu muutmine talvistel tingimustel liiga suure kiiruse tõttu sõidukijuhil ei pruugi olla piisavalt aega reageerimiseks.

Vastavalt kineetilise energia E_K valemile võib järeldada, et mida suurem sõidukiirus, seda suurem sõiduki kineetiline energia (2.2).

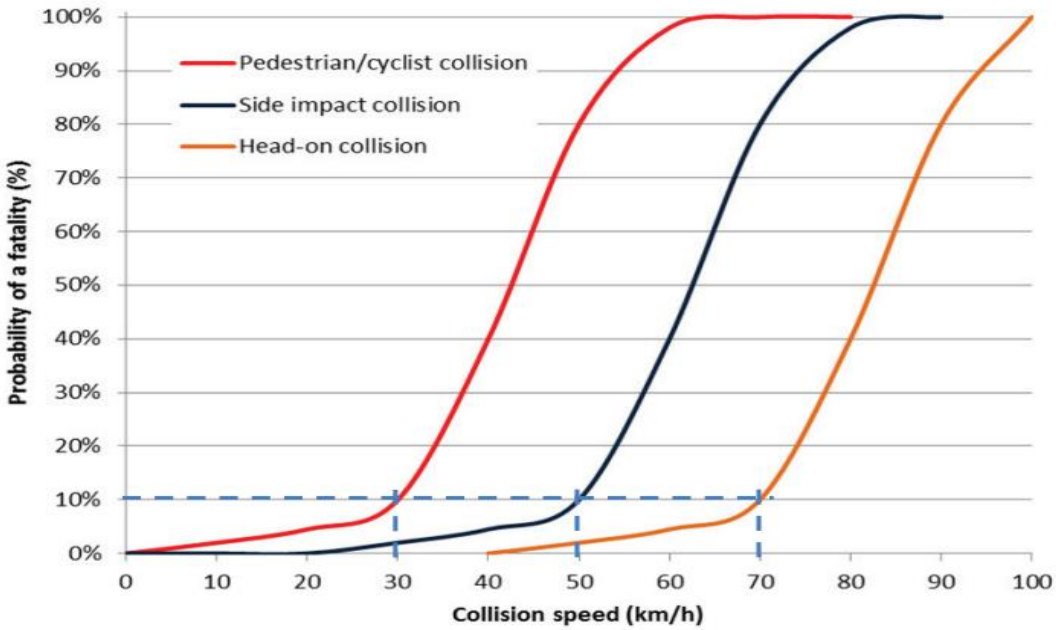
$$E_K=\frac{m*v^2}{2}\ , \tag{2.2}$$

kus
m – sõiduki mass, kg;
v – sõiduki kiirus, m/s.

Sarnaselt pidurdusteekonnaga kineetiline energia kasvab sõiduki kiiruse ruudule proporsionaalselt. See omakorda viitab sellele, et liiklusõnnetuse puhul kaasnev kahju ka suureneb. Uuringud näitavad, et kui jalakäijaga kokkupõrkel on sõiduki kiirus 30 km/h, siis on jalakäija surma tõenäosus umbes 10%, 50 km/h puhul surma tõenäosus kohe muutub 85% ning 60 km/h puhul on jalakäija hukkumine väga tõenäoline (vt Joonis 2.1). Sõidukite laupkokkupõrke puhul nende summaarsel kiirusel 70 km/h on hukkumise tõenäosus 10% ning 100 km/h juures surma tõenäosus on 100% (vt Joonis 2.2). Seega võib öelda, et sõidukiirus avaldab märkimisväärset mõju liiklusõnnetuse tagajärgede tõsidusele. [14], [15]



Joonis 2.1 Jalakäija surma tõenäosus kokkupõrkel sõidukiga [15]



Joonis 2.2 Surma tõenäosus erinevatel liiklusõnnetuste tüüpidel [14]

Teadaolevalt sõidukiirus väga tõsiselt mõjutab sõiduki kontrolli. Antud juhul kontrolli all autor mõtleb näiteks sõiduki soovitava trajektoori hoidmine liikumisel või manöövrite sooritamisel. Vastavalt füüsika reeglitele sõiduk saab ohutult kurvi läbida siis kui rataste ja teekatte vaheline haardejõud F_{haard} (2.3) on suurem kui tsentrifugaaljõud $F_{tsentrifugaal}$ (2.4).

$$F_{haard}=\mu * F_N, \tag{2.3}$$

kus

μ – haardetegur;

F_N – teekatte pinnale sõiduki poolt avaldatav normaaljõud, N.

$$F_{tsentrifugaal}=\frac{m*v^2}{r}, \tag{2.4}$$

kus

m – sõiduki mass, kg;

v – sõiduki kiirus, m/s;

r – kurvi radius, m.

Valemitest on näha, et kiirus avaldab tõsist mõju tsentrifugaal jõule, mis on kordades suurem massi ja kurvi raadiuse poolt avaldatava mõjuga võrreldes. Kuna sõidukijuhil ei osutu alati võimalikuks märkimisväärselt muuta sõiduki massi ning peaaegu ei ole võimalik ohutult liikumisraadiuse muuta, siis ainsaks näitajaks, mida sõidukijuhil on võimalik

suhteliselt lihtsalt ja kiiresti mõjutada on kiirus, mis on samaaegselt kõige tulemuslikum tsentrifugaaljõu mõjuviis seda tüüpi olukordades. Käesoleva lõputöö kontekstis võib arvutada maksimaalset kurvi läbimise kiirust *v* järgmise valemiga (2.5), mis tuleb kasuks näiteks teekattemärgiste asendamisel suurimat kiirust sätestava liiklusmärgiga.

$$v=\sqrt{r * g * \mu}, \tag{2.5}$$

kus
r – kurvi radius, m;
g – vaba langemise kiirendus, m/s^2;
μ – haardetegur.

Teadaolevalt avaldab sõidukiirus mõju ka sõidukijuhtide teekeskkonna visuaalsele tajumisele. Üheks oluliseks näiteks võib olla sõidukijuhi vaatevälja kitsenemine sõidukiiruse suurendamisel. See on eriti oluline näiteks siis, kui tegemist on ringrismikult mahasõiduga, kuhu tavaliselt projekteeritakse ületuskohti. Ringristmiku plaaniline geomeetria eeldab, et sõidukijuhil peab olema võimalik ristmikult lahkuda nii kiiresti kui võimalik, mis toob endaga kaasa sõidukiiruse kiiret kasvu mahasõidul ja järelikult ka sõidukijuhi vaatevälja kitsenemist, mis on väga ohtlik kohtades, mis ettenähtud jalakäijatele sõidutee ületamiseks.

2.3.2 Kiiruspiirangud ja nende rakendamine

Selleks, et tagada ohutu liikluskeskkond, kiired ja sujuvad ühendused ning vähendada transpordi kahjulikku keskkonnamõju rakendatakse kiiruspiirangud. Projekteerimistööde käigus kiiruspiirangute kavandamisel lähtutakse erinevatest parameetritest, milleks on näiteks plaani- ja vertikaalkõverate geomeetria, nähtavuste tagamise nõuded ning tee või tänava klass. [16], [17]

Eestis üldjuhul suurimaks lubatavaks kiiruseks asulates on 20-50 km/h ning teatud juhtumitel on suurem. Asulavälistel teedel on lubatud sõidukiirused vahemikus 90–120 km/h. Asulate puhul sõltub suurima lubatava kiiruse valik tänava liigist, kus juures tänava liik sõltub selle tänava funktsioonist. Nii linnasiseste tänavate liigitamine kui ka maantee projektkiiruse määramine on kompleksne protsess, mida käesolevas lõputöös eraldi ei käsitleta, kuna teede klassifitseerimise nüanssid autori arvates ei avalda otsest märkimisväärset mõju antud lõputöö teema raames uuritavatele küsimustele. [16], [17]

Vastavalt standardile jagatakse linnatänavad kaheks peamiseks liigiks: magistraalid ja juurdepääasud. [16]

Magistraalid omakorda jagunevad kiirteedeks, põhimagistraalideks ning jaotusmagistraalideks. Magistraalide peamiseks eesmärgiks on kiire ja sujuva ühenduse tagamine linnaosade vahel ning maanteede liikluse vastuvõtmine. Tavaliselt on magistraalid maanteede jätkud või teed, mis pakuvad ümbersõidu võimalust, et vältida linnakeskusesse pääsemist. Seda tüüpi tänavad reeglina ei võimalda kinnistutele otsest ligipääsu. Lähtudes magistraaltänavate põhifunktioonist, lubatakse seda tüüpi tänavatel suuremaid kiirusi, mis tavaliselt jäävad vahemikku 70–90 km/h. [16]

Juurdepääsude puhul kasutatakse sellist jaotust: kohalik jaotustänav, veotänav, kõrvaltänav, kvartalisisene tänav, jalgtänav. Juurdepääsude põhufunkstiooniks on kinnistutele liigipääsu tagamine ning ristmikkude arvu vähendamine magistraaltänavatel. Seda tüüpi tänavatel erineb kiirusreziim magistraaltänavate omast: üldjuhul kiirused juurdepääsudel jäävad vahemikku 20-50 km/h. [16]

Asulavälistel teedel lähtutakse kiiruste määramisel kõigepealt sõidutee funktsioonist ning seejärel muudest teguritest. [17]

2.3.3 Teekattemärgistuse mõju sõidukiirusele

Uuringud näitvad, et teekattemärgistuse vahendusel võib sõidukiirust mõjutada väga erinevalt. Allpool on toodud mõned uuringud, mis kirjeldavad erinevaid teekattemärgiste mõjusid sõidukiirusele. [13]

Aastal 1988 S. Maroney ja R. E. Dewar tehti uuring, mille eesmärgiks oli hinnata teekattemärgistuse mõju sõidukiirusele. Uuringu käigus vaatluse all olid sõiduradasid tähistavad teekattemärgistused, mille kriipsude vahed progressiivselt vähenesid ohtliku koha poole lähenedes, et tekitada sõidukijuhtidel valveloleku tunnet ja sõiduki kiirenemise illusiooni. 3,5 kuu jooksul kogutud andmed näitasid, et sellisel viisil saab 40% võrra vähendada sõidukiiruse ületamisi. [13]

Said tehtud ka mõned uuringud, mis olid suunatud sõidukite juhtimise ja sõidukijuhtide psühholoogilise seisundi analüüsimisele. H. Ding poolt sõiduki juhtimis-simulaatoril läbiviidud uuring näitas, et nii teega risti kui ka piki teed kantud teekattemärgised võivad avaldada tõsist mõju sõidukiirusele. Vastavalt uuringu tulemusele teega risti kantud

teekattemärgised võimaldavad oluliselt vähendada sõidukiirust kuni 2% langusega teelõikudel ning piki teed kantud teekattemärgiste puhul sõidukiiruse vähenemine oli märgatud kuni 3% langusega teelõikudel. [13]

H. Yotsutsuji tehtud uuringus oli käsitletud erinevad teekattemärgiste ja tähispostide konfiguratsioonid. Uurimistööde käigus jõuti järelduseni, et näiteks üherajalisel kahesuunalisel teelõigul nii teega risti kantud teekattemärgiste kui ka tähispostide vaheliste kauguste vähendamisel sõidukijuhtide tajutav sõidukiirus on suurem, kui tegelik. [13]

A. Montella samuti korraldas uuringut juhtimis-simulaatoril, mille käigus sai uuritud sõidukijuhtide käitumine kurvide läbimisel asuvälistel magistraalidel. Vähema raadiusega kurvide olemasolust informeerimiseks olid kasutatud erinevad teekattemärgised. Erinevuseks oli tüüp, värv ning teekattemärgise kandmise asukoht. Tulemused näitasid, et teekattemärgiste olemasolu avaldab väga märkimisväärset mõju sõidukiirusele, kuna võimladas sõidukijuhtidel varem tuvastada ohtlikku kohta. Tuleb rõhutada, et sõidukiiruse vähendamist oli tingitud just sellest teekattemärgiste tüübist, mille traditsiooniline kasutusviis on muutusest informeerimine: teeäärt ja telge tähistavad üleminekujooned ja pidevad jooned. [13]

Juhtimis-simulaatori abil C. Ariën oma uuringus käsitles kahe teekattemärgise tüübi mõju külgsuunalisele sõiduki liikumisele. Teekattemärgiste uuritavateks tüüpideks oli täristi ja teine Eestis mittekasutatav chevron-tüüpi märgis (vt Joonis 2.3). Tulemused näitavad, et nii sõidukiiruse vähendamise kui ka külgsuunalise sõiduki liikumise stabiilsuse aspektides täristi näitas paremat tulemust võrreldes teist tüüpi märgisega. Vaatamata sellele, et antud uuringu raames täristi sai parema tulemuse, mõlemad teekattemärgiste tüübid osutusid efektiivseteks sõidukiiruse reguleerimise osas. [13]

Joonis 2.3 Chevron-tüüpi märgise illustratiivne pilt [18]

Kokkuvõtteks võib järeldada, et teekattemärgiste olemasolu avaldab märmisväärset mõju sõidukiirusele ja järelikult ka liiklusohutusele. [13]

2.4 Sõidukite paiknemine teel

2.4.1 Sõidukite liikumismustrid

Sõidukite liikumismustrid kirjeldavad erinevaid seaduspärasusi ja tüüpolukordi, millele üldjuhul vastab sõidukite liikumine teedel. Liikumismustrid võivad erineda sõltuvalt mitmetest mõjuteguritest, milleks on näiteks asukoht, teekatendi seisund, liiklussagedused ning sõidukijuhtide käitumine ettenägematutes olukordades. Liikumismustrite analüüs võimaldab muuta liikluskeskkonna ohutumaks, kiiremaks ja sujuvamaks. Käesolevas peatükis autor toob välja neli enimlevinud liikumismustrit. Liikumismustrite kirjeldus on koostatud lõputöö autori poolt.

Esimeseks vaadeldavaks liikumismustriks on sirgejooneline liikumine. Sirgejooneline liikmismuster on kõige lihtsam sõiduki liikumise mudel, mis kujutab endast mööda sirget joont liikumist püsiva või ühtlaselt muutuva kiirusega. Seda tüüpi liikumine tavaliselt esineb hea teekatendi seisundiga teedel, kus ei ole järske kurve ja takistusi. Näitena võib tuua mööda maanteed liikumist.

Järgmiseks liikumismustriks on kurvis liikumine, kus muutub sõiduki liikumise suund. Antud juhul esmatähtsat rolli mängib pöörderaadius, kuna see avaldab otsest mõju liiklusohutusele. Väiksemate raadiuste puhul sõidukijuhtidel võib tekkida kiiruse vähendamise vajadus (vt jaotis 2.3.1 Sõidukiirus ja liiklusohutus), kusjuures suurema raadiusega kurvides ei pruugi sellist vajadust olla. Kurvi ohutu läbimisvõimaluse tagamiseks projekteerimisel võidakse kasutada erinevaid geomeetrilisi elemente, milleks on näiteks eelkõverikud ja klotoidid. Seda tüüpi liikumismustri juures käesoleva lõputöö raames tekib veel üks oluline aspekt on sõiduki külgsuunaline paiknemine teel, millele avaldab mõju mitte ainult kurvi raadius, aga ka teekattemärgistus. [16]

Muutuva kiirendusega liikumismuster on tavaliselt iseloomulik linnasisese liikluskeskkonna jaoks. Selle mustri eripärad on tingitud suurematest liiklussagedustest, liikluskorraldusest (nt foorristmikkude või ülekäiguradade olemasolu puhul) ning teistest olukordadest, kus sõidukijuhid peavad kiiresti reageerima muutustele. Selline liikumismuster esineb ka muutuva tee vertikaalgeomeetriaga piirkondades. Antud juhul teekattemärgised võimaldavad sõidukijuhtidel vältida liigseid kiirendusi ja aeglustusi, mis mõjutab positiivselt nii ohutust kui ka looduskeskkonda.

Järgmine liikumismuster tuleneb takistusele reageerimise vajadusest. Sellele liikumismustrile on iseloomulik kiire, lühiajaline ja ebaühtlane varasemast liikumistrajektoorist kõrvale kaldumine. Seda tüüpi liikumismuster esineb tavaliselt ettenägematutes olukordades: kokkupõrke vältimine või loomade või teise liikleja äkkiline ilmumine teel. Sellisel juhul teekattemärgiste olemasolu võib osutuda otsustava mõjuga faktoriks, kuna nende vahendusel saab õigeaegselt teavitada liiklejaid võimalikest ohtudest (nt loomad teel, pikivahe hoidmine jms).

2.4.2 Teekattemärgistuse mõju sõidukite paiknemisele teel

Teadaolevalt tavaolukordades sõiduki külgsuunalise paiknemise muutus sagedamini ja suuremal määral esineb kurvides võrreldes teiste liikumismustritega. Uuringud näitavad, et teekattemärgistus on teine kõige mõjukam kurvis liikuvale sõiduki paigutusele mõju avaldav faktor. Allpool toodud uuringus mõõdeti sõidukite külgsuunalist paiknemist kurvi keskpunktis. Uuringu käigus tehti mõõtmised välisel sõidurajal, sisemisel sõidurajal ning määrati tee telgjoont tähistatava teekattemärgistuse ületamise sagedus. [19]

Uuringu tulemused näitavad, et välise sõiduraja puhul sõidukiiruse suurenemisel sõiduki ja tee telgjoont tähistatava teekattemärgistuse kaugus väheneb. Samuti sõiduki paigutus mõjutab ka teekattemärgistuse olemasolu: sõidukite liikumistrajektoor nihkus tee telgjoonest kaugemale, juhul kui see oli märgistatud ning juhul kui olid märgistatud ainult teeäärt tähistavad jooned, siis liikumistrajektoor nihkus tee telgjoonele lähemale. [19]

Siseste sõiduradade puhul esineb väliste sõiduradadega sarnane tendents: tee telgjoone ja sõidukite vaheline kaugus vähenes nendes kohtades, kus olid märgistatud ainult teeäärt tähistatav teekattemärgistus. Kusjuures kõige vähim sõiduki ja tee telgjoone vaheline kaugus oli mõõdetud ilma teekattemärgistuseta teedel. [19]

Kuna tee telgjoont tähistatava teekattemärgise ületamise puhul muutub väga kõrgeks vastassuunalise kokkupõrke tõenäosus, siis uuringus kontrolliti ka eelmainitud teekattemärgistuse tüübi ületamise sagedust. Tulemused näitasid, et välise sõiduraja puhul kõikidest mõõdetud liikmistrajektooridest 86% puhul oli märgistuse ületamisega seotud, kusjuures siseste sõiduradade puhul esinesid ületamised ainult 12% mõõdetud liikmistrajektooridest. Suurim ületamiste osakaal oli fikseeritud sisemiste sõiduradade puhul kohtades, kus teekattemärgistust ei ole ning välimiste sõiduradade puhul kohtades,

kus olid märgistatud ainult tee ääred. Kõige vähim ületamiste osakaal oli fikseeritud märgistatud tee telgjoonega teedel. [19]

Sama uuringu raames erinevate teede märgistamise stsenaariumide analüüsimisel jõuti järelduseni, et teekattemärgistuse mahu vähendamise vajadusel kõige sobivamaks on variant, kus minimaalse mahu juures on märgistatud tee telgjoon. Põhjendus seisneb selles, et sõidukite paiknemise kontekstis see teekattemärgistuse tüüp võimaldab vältida vastassuunalisi kokkupõrkeid. Antud stsenaariumi eeliseks on ka see, et võrreldes teiste teekattemärgistuse tüüpidega telgjoont tähistav märgistus kulub vähem, mis omakorda vähendab paigaldamise ja hooldusega seotud rahalisi kulusid. [19]

Tuleb pöörata erilist tähelepanu sellele, et teekattemärgiste olemasolust sõltub mõnede juhiabisüsteemide töö, milleks on näiteks Lane departure warning system (LDW), Lane keeping assistance (LKA), Advanced driver-assistance system (ADAS). Eeldatakse, et teekattemärgiste puudumine võib põhjustada ka järgmisi probleeme: ristmike ja pöörete tuvatamise raskused; adaptiivse kiirushoidja ebakorrektne töö; kaob üks kauguse mõõtmise võimalus, mida on vaja liikumise ohutuse hindamiseks. Arvatakse, et eelnimetatud probleemid võivad avaldada negatiivset mõju autonoomsete sõidukite kasutusele ning arenemisele. [19]

2.4.3 Probleemid teekattemärgistuse puudumisel

Lisaks antud lõputöö raames varem kirjeldatud probleemidele teekattemärgiste puudumisel võivad tekitada probleemid järgmistes teistes aspektides, milleks on näiteks sõiduridade määramine, liikumistrajektoori määramime ristmikul, halba nähtavuse tingimustes liikumine, sõidueesõiguse määramine, parkimine.

Sõiduridade määramisega seotud aspekt tuleneb sellest, et teekattemärgiste puudumisel sõidukijuhid ei saa täpselt hinnata oma liikumistrajektoori, mis omakorda toob endaga kaasa sõiduradade piiride sagedaid kogemata ületamisi, muudab liikumismustrit raskesti prognoositavaks ning tekitab liiklusohtlikke olukordi.

Liikumistrajektoori määramise probleemist ristmikkudel on tingitud liikumistrajektoori ettearvamatus, kuna ilma teekattemärgistuseta liiklejad ei saa prognoseerida nii enda kui ka teiste liiklejate liikumismustreid, mis toob endaga kaasa suuremat liiklusõnnetuse tekkimise riski. Lisaks eelnimetatud probleemidele võivad tekkida rismikkude ummistamise

probleemid, kuna ristmikuala ei ole märgistatud ja sõidukijuhtidel ei õnnestu alati täpselt määrata selle ulatust.

Teekattemärgistus on oluliseks orienteerumise abivahendiks halba nähtavuse tingimustes, kus sõidukijuhid enam ei suuda piisaval kaugusel tuvastada näiteks sõiduradade piire, liikumissuuna muutmist või liiklusmärke. Mõnikord võib juhtuda ka nii, et sõidukijuhti pimestavad vastutulevate sõidukite tuled, siis sõidukijuhid on võimalus jälgida teekattemärgistuse joont, et vältida täiendavat ohtu, mis muutub eriti suureks linnavälistel teedel.

Sõidueesõiguse määramine teekattemärgiste olemasolu kontekstis on eriti oluline sellistes kohtades nagu näiteks ülekäigurajad, sõidutee ja jalgrattatee ristusmiskohtades, kus teekattemärgistuse puudumine võib tekitada surmaohtliku olukorda vähem kaitstud liiklejatele, sest sõidukijuht ei suutnud õigel ajal oma olukorda hinnata ja liikumist vastavalt korrigeerida. Autor arvab, et erilist tähelepanu vajavad kiirusmuuterajad, sest antud juhul sõidueesõiguse õigeaegne määramine ja ruumivajaduse hindamine on selles olukorras kriitiliselt oluline, kuna kiirusmuuteraja olemasolu tihti viitab sellele, et tegemist on suuremate kiirustega ehk maanteedega. Teadaolevalt maanteedel raskeliikluse osakaal on suurem võrreldes linnasisese liiklusega, mis omakorda tähendab seda, et maanteel juhtunud liiklusõnnetuse tagajärged on raskuse osas potentsiaalselt suuremad. Samuti suurema kiiruse saavutamiseks või pidurdamiseks vajab sõidukijuht pikemat teekonda ja sellisel juhul on väga oluline, et sõidukijuht saaks täpselt teada kiirusmuuteraja pikkust.

Parkimiskohti tähistav teekattemärgistus avaldab suurt mõju eriti linnakeskkonnas, kus sõidukite õigest parkimisest sõltub teistele liiklejatele kasutamiseks kättesaadav ruum. Samuti olulist ohtu võib tekitada parkimist keelava teekattemärgiste puudumine, sest sellest võib sõltuda näiteks nähtavus ülekäiguradadele või päästeautode ligipääs avariikohale.

2.5 Mootorsõidukitega samal teeosal liikuvate jalakäijate ja jalgratturite ohutus

2.5.1 Jalakäijate ja jalgratturite liiklemine

Kuna jalakäijad ja jalgratturid on vähem kaitstud liiklejad, siis nende ohutust antud lõputöö raames käsitletakse eraldi. Seoses liikumisviiside erinevustega eelnimetatud liiklejate

gruppe saab iseloomustada erinevate aspektide kaudu. Jalakäijate puhul nendeks aspektideks on teel paiknemine, sõidutee ületamine, jalakäijate nähtavus teiste liiklejate jaoks. Autor arvab, et jalgratturite osas käesoleva lõputöö kontekstis peab vaatlema teel paiknemist ning sõidutee ületamist. [1]

"Jalakäija on jalgsi, ratastoolis või muu sarnase üksnes piiratud liikumisvõimega isikule kasutamiseks ettenähtud sõidukiga liikleja. Jalakäijaks loetakse ka inimese lihasjõul liikuvat rula, rulluiske või -suuski, tõukeratast või -kelku või muud sellesarnast vahendit kasutav liikleja ning jalgratast või mittetöötava mootoriga ühe- või kaherattalist sõidukit käekõrval lükkav liikleja." [1]

Eeltoodud määratlusest võib järeldada, et jalakäijate liikumismustrid võivad olla väga erinevad ja sellest tulenevalt jalakäijate teel paiknemisele on esitatud hulk reegleid. Lühikokkuvõte on järgmine: jalakäijad peavad liikuma sõidukite liikumisele vastassuunas tee ääres või servas, kasutades pimedal ajal helkureid. Grupis võivad liikuda kõrvuti maksimaalselt 4 inimest. Kõnnitee puudumisel võivad jalakäijad liikuda jalgrattateel, kui nad ei takista jalgrattureid. Puudega isikud ratastoolis võivad liikuda sõiduteel, kasutades turvavarustust. [1]

Jalakäijate ohutuse tagamiseks peavad nad ületama sõiduteed ainult käigusilla, -tunneli, ülekäigurajal, ülekäigukohal või ristmikul juhul kui need asuvad 100 meetri raadiuses. Kui need on kaugemal, võib ületamine toimuda ainult siis, kui tee on hästi nähtav, ei tekitata liiklusohtu ja ei takistata sõidukite liiklust. [1]

Jalakäijate nähtavuse tagamiseks peab kasutama helkurit või valgusallikat, ratastooli puhul peab olema vasakul küljel punane helkur või tuli. Halva nähtavuse juhul või pimeda ajal tohib sõiduteel liikuda ainult ühes reas. Üksikute käsikärude puhul, mis on üle 1 meetri laiad, peavad ees olema valge ja taga punane tuli või latern. [1]

Vastavalt liiklusseadusele jalgrattaga võib sõita jalgrattarajal; jalgrattateel; jalgratta- ja jalgteel; sõidutee paremas servas, välja arvatud vasak- või tagasipöörde ajal; teepeenral. Juhul kui jalgrattaga sõitmine on raskendatud või ei ole sobivat teed, siis võib sõita jalgteel või kõnniteel. Arvestades antud lõputöö teemaga, autor arvab, et jalgrattutire liiklemise analüüsimisel tuleb rohkem keskenduda nendele kohtadel, kus esineb mootorsõidukitega samal teeosal liikumine: sõidutee parem serv, jalgrattarajad, teepeenar. [1]

Sõiduteed ületades jalgteel, kõnniteel, jalgratta- ja jalgteel või jalgrattateel peab jalgrattur kiirust vähendama ja ületama tee jalakäija kiirusel. Juhul kui tegemist on piiratud nähtavusega teede lõikumiskohal, siis peab jalgrattur aeglustuma, et näha võimalikku takistust ja suuta vajadusel peatuda. Ülekäigurajal võib sõidutee ületada ka sõidukitega, aga sellisel juhul jalgratturil, ei ole eesõigust. Erandiks on olukord kui jaögratturid ületavad teed, millele sõidukijuht pöörab. Ülekäigurajal tuleb sõita jalakäija kiirusel. [1]

2.5.2 Ristumiskohad ja ohutegurid

Jalakäijate ja jalgratturite ristumised mootorsõidukitega on tavaliselt kõige ohtlikumad kohad teel. Nende kohtade suurem ohtlikkus on tingitud sellest, et jalakäijad ja jalgratturid on vähem kaitstud liiklejad võrreldes mootorsõidukite juhtidega. Eelnevalt juba sai mainitud, et sellisteks riskantseteks kohtadeks on ülekäigurajad, ülekäigukohad, jalgrattarajad, teepeenrad, sõidutee parem serv ja muud kohad, kus ühel või teisel viisil võib esineda ristumine. Käesoleva lõputöö raames on väga oluline täpselt teada, kus ohukohad asuvad, seega nende asukoha määramiseks ning eripärade väljaselgitamiseks autor paralleelselt käsitleb ka riskitegureid. Autor arvab, et nendeks riskiteguriteks on sõidukijuhtide ja jalakäija või jalgratturi tähelepanematus, sõidukite kiiruse ületamine, sõidukite pimetsoonid, halvad ilmatingimused, ebaselge liikluskorraldus, ebapiisav valgustus.

Suurim osa riskiteguritest võib esineda ka ülekäiguradadel: liiklejate tähelepanematus, võimalik kiiruse ületamine, halvad ilmatingimused või ebapiisav valgustus. Nii jalakäijate ja jalgratturite kui ka mootorsõidukite juhtide tähelepanematus on väga oluliseks liiklusõnnetuste põhjuseks, mis võib olla tingitud paljudest põhjustest, milleks on näiteks liigne väsimus, kõrvalasjadega tegelemine sõiduajal ja muu. Eeldatakse, et olukorda muudab keerulisemaks ka kiiruse ületamine, kuna kiiruse suurenemisel kitseneb juhtide vaateväli. Juhul, kui ülekäiguraja piirkond ei ole piisavalt valgustatud, siis eriti suurt mõju see asjaolu avaldab mootorsõidukijuhtidele, kuna esitulede valgustusest ei ole alati piisab, et tagada mootorsõidukijuhtidele vajaliku reageerimisajavaru näiteks kiiresti liikuva jalgratturi ilmumisel. Vaatamata piisavale valgutuse tasemele oht võib olla tingitud halbadest ilmatingimustest, mille puhul samamoodi ei ole piisavat reageerimisajavaru, kuna nähtavus sellisel juhul tavaliselt halveneb ka. Tuleb mainida, et halvad ilmatingimused võivad põhjustada ka vähemat haardetegurit ratta ja teekatte vahel, mis omakorda suurendab piidurdusteekonda, nii mootorsõiduki puhul kui ka jalgrattaga sõites. Võrreldes ülekäigurajaga, ülekäigukoha puhul selle ületajal ei ole mootorsõiduki suhtes eesõigust,

aga arvestades sellega, et ülekäigukoht täidab ülekäigurajaga samu funktsioone, autor arvab, et eelkirjeldatud riskid on rakendatavad ka ülekäigukoha puhul. Arvatakse, et ülekäigukoha puhul esinevad ka täiendav oht, milleks on ebaselge või ebaharilik liikluskorraldus. Oht seisneb selles, et jalakäijatel ja jalgratturitel tihti kipub tekkima segadust ja neil ei õnnestu teha selge vahe ülekäiguraja ja ülekäigukoha vahel, mis omakorda tekitab probleeme sõidueesõiguse määramisega.

Arvatakse, et mööda jalgrattaradu, teepeenraid ja sõidutee servasid liikudes esinevad samad ohud kui ülekäiguradade ja ülekäigukohtade puhul, aga nendele lisanduvad ka mootorsõidukite pimetsoonid. Autor arvab, et eriti ohtlikuks pimetsoonid muutuvad linnaliikluses, sest juhul kui näiteks jalgrattarada kulgeb sõiduradade vahel, siis ummikus olles, kus sõitjate kiirused muutuvad enam-vähem võrdsateks pikeneb ka jalgratturi viibimise aeg mootorsõiduki pimetsoonis. Selline riskitegur võib esineda kõikides olukordades, kus mootorsõidukite ja jalgratturite liikumistrajektoorid kulgevad samas suunas.

2.5.3 Teekattemärgistuse puudumise mõju jalakäijate ja jalgratturite ohutusele

Kuna jalakäijad ja jalgratturid on vähem kaitstud liiklejad võrreldes mootorsõidukite juhtidega, siis avaldab teekattemärgistus nendele suuremat mõju, sest ohtlikkude olukordade vältimiseks nad vajavad selgelt määratud liiklusruumi. Ilma selge teekattemärgistuseta võivad jalakäijad ja jalgratturid sattuda ohtlikesse olukordadesse, kuna sellisel juhul neil puudub visuaalne juhend, mis annaks neile info liikumissuuna kohta ning hoiataks valete tegevuste eest ja eriti ohtlikkude kohtade eest. Kriitiliselt tähtsat rolli jalakäijate ohutuse aspektis mängivad selgelt tähistatud tee ületuskohad.

Nagu juba varem mainitud, on jalakäijate turvalisuse tagamiseks eriti oluline, et oleksid selgelt tähistatud ülekäigurajad, jalakäijate liikumiseks ettenähtud alad ja kohad, kus nad saavad teed ohutult ületada. Juhul kui vajalik teekattemärgistus puudub, siis muutub jalakäijate ilmumise prognoseerimise ja õigeaegse tuvastamise protsess mootorsõiduki juhi jaoks väga problemaatiliseks. Kusjuures selline olukord tekitab ohtu mitte ainult vähem kaitstud liiklejatele, aga ka mootorsõidukitele, sest jalakäijate ettenägematu ilmumine sõiduteel toob endaga kaasa sõidukite järsu pidurdamist ja ettearvamatu liikumissuuna muutmist, mis on eriti ohtlik reisijate- ja kaubavedude puhul. Täiendav oht tekib ka piiratud nähtavusega kohtades. Samuti eeldatakse, et jalakäijate puhul teekattemärgistuse

puudumisest võib olla tingitud täiendava probleemi olemasolu vaegnägijatele, kuna nende jaoks sellisel juhul muutub tunduval keerulisemaks tee ületamise koha leidmine, sest enam ei ole võimalik seda tuvastada tänu kontraastsusele teekatte ja teekattemärgituse vahel.

Jalgratturid on liiklejad, kelle turvalisusele teekattemärgistuse puudumine ka avaldab märkimisväärset mõju. Sarnaselt jalakäijatega oluline on tagada, et jalgratturitel oleks võimalik ohutult ületada sõiduteed arvestades ka mootorsõidukite ohutuse tagamise vajadusega. Seoses sellega, et linnaruumis mootorsõidkid ja jalgratturid päris tihti liiguvad kõrvuri ühel teeosal, siis selgelt märgistatud jalgrattarajad annavad indikatsiooni kõikidele liiklejatele võimalikkudest sõidusuundadest. Teekattemärgistuse puudumisega võib kaasneda liikumisruumi segamine, kuna liiklejate jaoks ei pruugi õige liikumissuuna määramine osutuda võimalikuks kiiresti muutuvas situatsioonis.

2.6 Nullvisioon

Teekattemärgiste puudumine on oluline probleem liiklusohutuse kontekstis ja erilist mõju see avaldab liikumispuudega inimestele, sealhulgas nägemishäiretega inimestele, kuna nende jaoks teekattemärgistus on visuaalne ja taktiilne orientiir liikluskeskkonnas. Nullvision programmi puhul, mille üheks eesmärgiks on liiklusohutuse taseme parandamine muutub see probleem veelgi tõsisemaks. [20]

Antud lõputöö raames vaadeldava teema kontekstis Nullvision kontseptsiooni peamise põhimõtte täitmine, mille eesmärk on ohutu liikluskeskkonna loomine ning inimeste elu ja tervise kaitsmine, muutub keerulisemaks kõigepealt nägemishäiretega inimeste puhul. Kuna eeldatakse, et turvalise keskkonna loomiseks kasutatakse ka tehnoloogilisi võtteid nagu taktiilsed elemendid ja teekattemärgistus, siis eelmainitud elementide puudus võib tekitadada segadust ja seega ei soodusta maksimaalset inimliku eksimisvõimaluse vähendamist. [20]

Vastavalt Nullvisioon-i ideele teekattemärgiste mahu vähendamine toob endaga kaasa eetilisi probleeme nendele osapooltele, kes vastutab turvalise liikluskeskkonna toimise eest: haldaja, kavandaja ning elluviija. Seoses eeltoodud asjaoludega tekib süstemaatilise lähenemise kao risk terves harus, kuna ohutuse teemaga on hõlmatud erinevad ametid, kohalikud omavalitsused, ministeeriumid, ärisektor ning inspektsioonid. Eelnimetatud probleem omakorda hakkab tekitama kvaliteediprobleeme valdkonnas, mis avaldab mõju mitte ainult ohutusele, vaid ka teistele võtmeaspektidele nagu näiteks

keskkonnasõbralikkus, ligipääsetavus, elukvaliteet, ökonoomika. Veel üheks eetiliseks probleemiks, mis rikub Nullvisioon-i kontseptsiooni on see, et liikleja vastutus ka suureneb, sest liiklusreeglite järgmine muutub oluliselt raskemaks. [20]

Seega seab teekattemärgite puudus Nullvision programmi eesmärkide saavutamist kahtluse alla, kui seda ei kompenseerita sobivate alternatiivsete lahendustega. Nullvisiooni elluviimiseks tuleb tekitada selliseid tingimusi, kus liiklejad saaksid vastavad orienteerumisvõimalused. Näiteks võib kaalutleda helisignaalide või taktiilisete plaatide laialdasemat kasutamist. Kuna süstemaatiline lähenemine ka mängid olulist rolli, siis eeldatakse, et lisaks eelnimetatud abivahenditele võib kasutada ka tehnoloogilisi võtteid nagu hologrammid teekattel ja muud nutika linna kontseptstiooniga seotud tehnoloogiad. [20]

3. METODOLOOGILINE OSA

3.1 Andmete kogumine ja analüüs

Käesolevas lõputöös keskendub autor teemakohase teaduskirjanduse, uuringute ning välismaiste metodoloogiliste juhendite uurimisele ja analüüsimisele. Diplomand arvab, et kuna teema spetsiifika annab antud lõputöö raames väljatöötatud hindamis- ja prognoosimismeetoditele hinnangulist iseloomu, siis ei ole eraldi praktiliste vaatluste läbiviimine mõistlik.

Järgmine aspekt seisneb selles, et autori hinnangul on antud lõputöös käsitletav valdkond juba omab ulatuslikku ja väga mitmekesist andmebaasi, mis on kogutud ja analüüsitud maailma teadlaste poolt varem. Diplomand arvab, et praktikas läbiviidud eksperimendid ning vaatlused, mis on viidud läbi eelmainitud uuringutes, on täpsemad ja usaldusväärsemad tänu spetsialiseeritud mõõtmisseadmetele juurdepääsule, suurte ja pädevamate teadusmeeskondade olemasolule, suuremate ajavaru ja teadusuuringute tegemiseks ettenähtud vahendite olemasolule ning suuremate rahastamisvõimaluste olemasolule. Arvestades eeltoodud fakte, tuleb rõhutada, et valdkonna edendamiseks oleks autori arvates oluline ja kasulik keskenduda varem saadud andmete töötlemisele, kuna see aitab tuvastada trende ja seaduspärasusi, mida on täheldatud suuremas arvus paikades ja erinevates tingimustes. Seega võib antud lõputöö omandada väärtust mitte ainult Eestis, vaid ka ülejäänud maailmas.

Teaduskirjanduse otsimiseks kasutati Interneti ressurssi Google Scholar [21]. Otsing teostati järgmiste võtmesõnade järgi: ″road surface markings and safety″; ″pavement markings″; ″road markings influence″; ″quantitative estimation of road safety″; ″impact of road markings″ jms. Samuti uuriti leitud teaduskirjanduse koostamisel kasutatud allikate loetelusid.

Üheks eelnimetatud lähenemisviisi eeliseks diplomandi arvates on see, et töötades varem tehtud publikatsioonidega, on võimalus teha läbiviidud uuringute metodoloogiliste aluste ja järelduste sügavamat analüüsi ja siis tuvastada puudusi ning vastuolusid pakutud lähenemisviisides. Samuti selline lähenemisviis võimaldab laiendada olemasolevaid teooriaid, pakkudes uusi andmete tõlgendusi või rakendades alternatiivseid analüüsimeetodeid.

3.2 Liiklusohu määratlemine ja klassifitseerimine

Autor arvab, et teekattemärgiste olemasolust või puudumisest tingitud liiklusohu allikaid võib jagada kolmeks suureks grupiks ning pakub järgmist klassifitseerimist: füüsiline ohuallikas; liiklustehniline ohuallikas; psühholoogiline ohuallikas. Autor eeldab, et liiklusohu täpsemaks hindamiseks tuleb iga grupi juures määrata ka ohu iseloom, kuna erinev ohu iseloom eeldab ka erinevaid reageerimisviise. Diplomand pakub igale ohuallikale kahte karakteristikut: dünaamiline ja staatiline. Ohu dünaamiline iseloom tähendab seda, et tegemist on ajas muutuva ohuallikaga või oht on põhjustatud teiste liiklejate poolt. Staatilise ohu puhul lähtutakse sellest, et oht on seotud tingimuste või objektidega, mis ajas ei muutu.

Füüsilised ohuallikad on seotud taristust või välistingimustest tingitud ohtudega. Sellesse gruppi kuuluvad näiteks tee elemendid, looduslikud tegurid, füüsilised takistused. Tee elementide puhul vaadeldakse katendi seisundit, tee geomeetriat, nähtvust, taristu elementide valet paigaldust. Katendi seisundi osas olulist rolli mängib pragude ja aukude olemasolu, kuna eelnimetatud defektide olemasolu võib kaasa tuua sõiduki juhitavuse kadu. Tee geomeetriast tingitud peamised probleemsed kohad on järsud kurvid (konkreetse koha plaanikõveriku raadius ei vasta normidele), järsud tõusud ja langud (konkreetse tee või tänava kalle ületab normatiivi), ristuvate teede terav nurk, mis ei jää normatiivse vahemiku sisse, milleks on 70-110 kraadi. Nähtavuse all vaadeldakse kohti, kus esineb piiratud nähtavus: liiga järsud plaani- ja/või püstkõverikud, hoonete või haljastuse paigutuse tõttu. Täiendavat ohtu võivad tekitada ka taristu elementid ja nende vale paigutus: postid; reklaamtulbad; barjäärid. Looduslikkudeks teguriteks on ilmatingimused, ööised hämarad või muud ebapiisava valgustusega kohad, nähtavust piirav reljeef. Füüsilisteks takistuseks on kõigepealt teetööde ajaks teele paigaldatavad elemendid, teel tee ääres laotatud ehitusmaterjalid, liiklusõnnetuste pärast jäänud riismed ning loomaga kokkupõrge. Füüsilised ohuallikaid võib jagada dünaamilise ja staatilise iseloomuga ohtudeks. Füüsiliste ohuallikate puhul dünaamilist iseloomu omavad looduslikud tegurid ja osaliselt füüsilised takistused (loomaga kokkupõrge) ning tee elementid ning suurem osa füüsilistest takistustest omab staatilist iseloomu.

Liiklustehnilised ohuallikad võivad olla taristu ja liikluskorraldusvahendite nõuetele mittevastav seisund. Seda gruppi omakorda võib jaotada veel kolmeks aspektiks, mis on seotud liiklusmärkide ja valgusfooride tehnilised rikked, teekattemärgiste ebaselgus või puudus, tehisvalgustusega seotud probleemid.

Liiklusmärkide ja valgusfooride tehnilised rikked. Selle aspekti olemasolu on seotud liiklusmärkide kahjustustega või mustusega ning valgusfooride puhul tegemist on fooritsüklit reguleeritava tarkvara veaga või vilkuv kollane tuli. Teekattemärgiste ebaselguse või puuduse puhul eeldatakse, et loomuliku amortiseerumise tõttu markeering on kahjustatud ja see ei ole loetav või seda ei ole näha halvades ilmatingimustes või öisel ajal. Puudus tähendab seda, et teekattemärgist ei ole ja see raskendab liiklejate orienteeruvust (nt sõidutee äärejoont tähistavate markeeringud või ülekäiguradade markeeringu puudumine). Tehisvalgustusega seotud probleemidega all mõeldakse valgustuse ebapiisavust või valgustusseadmete tehnilised riked. Valgustuse ebapiisavus võib põhjustada näiteks jalakäijate või jalgratturite märkamata jäämist ülekäiguradadel või jalgrattaradadel eriti sellistel, mis asuvad mootorsõidukitega samal teeosal. Valgustusseadmete tehniliste rikete puhul tegemist on kahjustatud valgustite detailidega või läbipõlenud lampidega. Väga probleemseteks kohtadeks valgustuse aspektis võivad olla tunnelid, viaduktid, sillad ja muud kohad, kus tehisvalgustuse olemasolu mängib olulist rolli liiklejate orienteeruvuses. Eelloetletud aspekte tuleb analüüsida ka ohu iseloomu kontekstis. Kuna liikluskorralduslikud ohud reeglina ajas kaua ei püsi ning nende mõju kogu aeg avaldab mõju liiklejate otsustele ja liiklusolukorrale, siis arvatakse, et üldjuhul tegemist on dünaamilise ohu iseloomuga.

Psühholoogiliste ohuallikate puhul eeldatakse, et nad on seotud liiklejate käitumise, taju ning liiklejate gruppide psühholoogiliste eripäradega. Selle ohuallika raames vaadeldakse liiklejate vastastikmõju, taristuga vastastikmõju ning inimtegur.

Liiklejate vastastikmõju raames pööratakse tähelepanu sõidukijuhi väsimusele ja keskendumisvõimele ning reaktsioonile raskedele liiklumistingimustele. Autor arvab, et erilist tähelepanu vajavad need kohad, kus väga oluliseks muutub sõidukijuhi väsimuse mõju ja keskendumisvõime leevendamise võimalikult suur vähenemine. Sellisteks kohtadeks on need, kus vajaduse korral liikleja peab kiiresti reageerima muudatustele: suured ristmikud; raudteeülesõidukohad; mitmerajalised teelõigud, kus radade arv muutub; teetööd; liikluskeskkonna muutmine (nt sissesõidul maanteelt linna). Suure väsimuse ja halvenenud keskendusmisvõime juures eeldatakse liikleja varasemat etteteatamist tulevatest muudatustest, et tagada piisavat aega reageerimiseks. Seega autor arvab, et käesoleva ohu aspekti juures tuleb pöörata tähelepanu mitte ainult konkreetsele tänava- või teedevõrgu elemendile, vaid ka nende elementide eelnevale ja ümbritsevale teekattemärgistusele.

Inimfaktor viitab keskkonna-, organisatsiooni- ja tööfaktoritele, samuti inimeste ja üksikisikute omadustele, mis mõjutavad käitumist tööl viisil, mis võib mõjutada tervist ja ohutust [22]. Eeldatakse, et eeltoodud definitsioon on rakendatav ka sõidukijuhtimise kontekstis. Sellisel juhul inimfaktor viitab sellistele inimese omadusele, mis mõjutavad käitumist roolis ning järelikult võivad avaldada mõju nii tervisele kui ka ohutusele. Autor arvab, et käesoleva lõputöö kontekstis olulisteks omadusteks on orienteerumisvõime, liiga kõrge koormus tähelepanu peale, situatsioonist vale arusaam, oma tegevuste kontrollimise võimalus.

Teekattemärgiste üheks põhiliseks ülesandeks on liiklejate informeerimine orienteerumise hõlbustamiseks. Seda tüüpi info õigeaegne saamine liiklejate vaatevinklist muutub oluliseks näiteks kõrgete liiklussageduste ja liiklustihedusega teedel, kus ohtilikkude olukordade vältimiseks peab kohe aru saama, millises suunas peab liikuma, et jõuda õigesse kohta. Seoses sellega, et suuna valikust sõltub edasisine liikumistrajektoor, sõiduraja valik, kiirus ning sõidueesõigus, peab kogu eeltoodud info olema väga lihtsasti kättesaadav ja hästi loetav mitte ainult liiklusmärkide abil, vaid ka teekattemärgiste vahendusel. Kohad, kus kiire ja arusaadav orienteerumine muutub äärmiselt oluliseks on näiteks suured linnasisesed ristmikud, suured liiklussõlmed ning väikeste liiklussagedustega teede ristumised suurte liiklussagedustega teedega.

Täiendav oht esineb nendes kohtades, kus teekattemärgiste puudumisel tekib liiga suur koormus liikleja tähelepanule. Juhul kui teekattemärgistust ei ole, siis liikleja on sunnitud rohkem keskenduma teiste liiklejate asukohale, nende liikumissuuna prognoseerimisele, taristu elementide asukohale ning teistele liikluskorraldusvahenditele. Juhul, kui selline olukord kestab liiga kaua, toob see endaga kaasa liikleja keskendumisvõime vähenemise ja reageerimisaja pikenemise. Suurem koormus tähelepanule tekib tavaliselt suurtel linnasisestel ristmikel, kus esinevad ebastandardsed liikluslahendused. Sellistes kohtades esineb oht, et liiklejatel tekib situatsioonist vale arusaam, kuna teekattemärgistuse puudumisel võivad liiklejad interpreteerida liiklusolukorda erinevalt.

Autor arvab, et mängib teekattemärgiste olemasolu olulist rolli ka liiklejate psühholoogilise mugavustunde tekitamisel, kuna teekattemärgiste puudumise korral puudub liiklejatel võimalus kontrollida oma tegevuste õigsust. Selline olukord tekitab liiklejal sisepinget, mille tagajärgedeks on keskendumisvõime vähenemine, ettearvamatu käitumine ja väsimuse tekkimine, mis omakorda teeb olukorda ohtlikuks. Kontrolli võimaluse puudumine tekitab

täiendavaid raskusi uute sõidukite juhtide koolitamisel, kuna juht ei saa piisavat tagasisidet oma käitumise kohta. [23]

Kõik eeltoodud psühholoogilised ohuallikad on dünaamilised.

3.3 Reaalse ja tõenäose liiklusohu hindamine

Selleks, et oleks võimalik hinnata teekattemärgiste kandmise vajadust peavad olema kriteeriumid, millele hinnangute andmisel on võimalik tugineda.

The European Union Road Federation annab järgmised kriteeriumid teekattemärgiste mahu vähendamise hindamiseks: uus lahendus arvestab erivajaduste ning nägemisprobleemidega inimeste vajadustega; teekattemärgistuse mahust peab olema piisav, et oleks võimalik tagada korrektset juhiabisüsteemide tööd (nt LDW, LKA, ADAS); parandab ohutust ja ligipääsetavust meie teedel, andes sõidukijuhtidele umbes 3-sekundilise eelvaateaja. [24]

3.3.1 Kontrollpiirkondade meetod

Usa Texase osariigi teede tähistuse hoolduse tulemuslikkusele põhinevate lepingute efektiivsuse hindamise uuring pakub oma metoodikat liiklusõnnetuste tekkimise riski prognoosimiseks, mis koosneb mitmest sammust. [25], [26]

Kõigepealt määrati liiklusõnnetuste tüübid, mis on mõjutatud teekattemärgiste olemasolust ning kvaliteedist (valguspeegelduvus) – nendeks olid kokkupõrge liikumatu objektega (nt silla piirded, äärekivi, ohutussaar, puu, post), kokkupõrketa õnnetus (nt sõiduki ümberpaiskumine) ning kokkupõrge seisva sõidukiga. Täiendavalt kasutati järgmiseid kriteeriume – kokkupõrke koht ei tohi asuda ristmikul või juurdepäästuteel; kokkupõrge pidi juhtuma pimedal ajal; kokkupõrke ajal pidi teekate olema kuiv; valimisse jäid üksnes need liiklusõnnetused, kus tegemist oli laupkokkupõrkega või teelt mahasõiduga (ainult üks sõiduk); kokkupõrkes ei tohi esineda teisi olukorda raskendavaid tegereid nagu jalakäijaid, jalgrattureid, ronge ja ulukeid. [25], [26]

Järgmisena määratleti võrdlusgrupid ning selle alla lähevad kõik liiklusõnnetused, mis ei ole seotud teekattemärgistega. Võrdlusgruppide eesmärk on hinnata liiklusõnnetuse tekkimise riski juhul kui juhtum vastab esimeses etapis toodud liiklusõnnetuste kriteeriumidele, aga ei sõltu otseselt teekattemärgistusest – näiteks - alkoholi- või

narkojoobes juhid; väsinud või hooletud juhid; sõidukite tehnilised rikked; juhitavuse kaotamine või kaubaladungi nihkumine; libisemine. [25], [26]

Seejärel prognoositi eeldatav liiklusõnnetuste arv ja variatsioonid järgneval perioodil. Arvutuste tegemiseks tehti katsed kontrollpiirkonnas, mis määrati teede- või tänavavõrgus arvestades esimeses etapis toodud liiklusõnnetuste kriteeriumitega. Eeldatavate õnnetuste arvu ja variatsioonide prognoosimine järgneval perioodi on vajalik sellleks, et arvestada ohutuse mõjutavaid tegureid, mis ei ole seotud ainult parandusmeetmega. Kuna teised tegurid võivad avaldada mõju, tuleb arvestada ka järgneva perioodi liiklusõnnetuste sageduse ja variatsioonide prognoosimisega, mis ei ole mõõdetud või millel on mõju ohutusele. Oodatav liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil $\hat{\pi}$ (3.1) ja nende variatsioonid objektil I (objekt i tähendab teatud gruppi kontrollpiirkonnas), kui parandusmeetodit ei oleks rakendatud vaadeldaval objektil, on antud järgmiselt [25], [26]:

$$\hat{\pi}=\hat{r}_t K, \tag{3.1}$$

kus

$\hat{r}_t$ - oodatava liiklusõnnetuste arvu suhe ″töödeldud grupis″;

K – summaarne liiklusõnnetuste arv enne parandusmeetodite rakendamist ″töödeldud grupis″. [25], [26]

$$\hat{r}_t=\frac{\frac{N}{M}}{(1+\frac{1}{M})}, \tag{3.2}$$

kus

N - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil võrdlusgrupis;

M - summaarne liiklusõnnetuste arv enne parandusmeetodite rakendamist võrdlusgrupis. [25], [26]

$$\widehat{var}(\hat{\pi})= \hat{\pi}^2\left(\frac{1}{K} +\frac{\widehat{var}\{\hat{r}_t\}}{r_t^2}\right), \tag{3.3}$$

kus

$\hat{\pi}$ - oodatav liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil;

$\widehat{var}(\hat{\pi})$ - $\hat{\pi}$ dispersioon;

K – summaarne liiklusõnnetuste arv enne parandusmeetodite rakendamist ″töödeldud grupis″;

$\hat{r}_t$ - oodatava liiklusõnnetuste arvu suhe ″töödeldud grupis″. [25], [26]

$$\frac{\widehat{var}\{\hat{r}_t\}}{r_t^2} = \frac{1}{M} + \frac{1}{N}, \quad (3.4)$$

kus

$\widehat{var}\{\hat{r}_t\}$ - oodatava liiklusõnnetuste arvu suhe ″töödeldud grupis″ dispersion;

$\hat{r}_t$ - oodatava liiklusõnnetuste arvu suhe ″töödeldud grupis″;

N - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil võrdlusgrupis;

M - summaarne liiklusõnnetuste arv enne parandusmeetodite rakendamist võrdlusgrupis. [25], [26]

Juhul, kui nii enne kui ka pärast paranadusmeetme rakendamist kontrollpiirkonnas ei juhtunud ühtegi liiklusõnnetust nii ″töödeldud grupis″ kui ka võrdlusgrupis, siis ″töödeldud grupi″ suhtes rakendati paranduskoefitsienti 0,5. Töödeldud grupi all mõeldakse need liiklusõnnetused, mis sobivad target crash-tüüpi liiklusõnnetuste suhtes esitatavatele kriteeriumitele, aga ei lähe võrdlusgrupi alla. [25], [26]

Neljas samm on kõikide ″töödeldud″ kohtade oodatud liiklusõnnetuste summa $\hat{\pi}$ (3.5) ja nende dispersiooni $var(\hat{\pi})$ väljaarvutamine (3.6). Teadaolevalt parandanusmeetmete mõju ohutuse kontekstis varieerub sõltuvalt asukohast. Seetõttu usaldusväärse tulemuse saamiseks tuleb vaadelda kõike juhtumeid, kusjuures tuleb arvutada parandusmeetmete keskmine ohutuse mõju nii võrdlusgrupile kui ka ″töödeldud grupile″. Selle arvutamiseks antakse järgneva perioodi liiklusõnnetuste oodatav arv ja nende dispersiooni, kui parandusmeede ei oleks rakendatud ″töödeldud" kohtadel, järgmise kujul [25], [26]:

$$\hat{\pi} = \sum_{i=1}^{N} (\hat{\pi}_i), \quad (3.5)$$

kus

$\hat{\pi}$ - oodatav liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil;

N - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil ″töödeldud grupis″. [25], [26]

$$var(\hat{\pi}) = \sum_{i=1}^{N} var(\hat{\pi}_i), \quad (3.6)$$

kus

$var(\hat{\pi})$ - $\hat{\pi}$ dispersioon;

N - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil ″töödeldud grupis″. [25], [26]

Viiendaks sammuks on tegeliku liiklusõnnetuste arvu $\hat{\lambda}$ arvutamine kõikides ″töödeldud″ kohtades (3.7). Kuna ″töödeldud″ kohtade ohutusele avaldab mõju järgneval perioodil

rakendatud parandusmeetmed, siis parandusmeetmete vahendusel saavutatud ohutuse taseme efektiivsust määratakse võrdledes tegelikku liiklusõnnetuste arvu parandusmeetme rakendamise järgneval ajal ja oodatud liiklusõnnetuste arvu ilma parandusmeetmete rakendamist. Järgneva perioodi tegeliku liiklusõnnetuste arvu ″töödeldud″ kohtade grupis leitakse järgmiselt [25], [26]:

$$\hat{\lambda}=\sum_{i=1}^{N} L_{\mathrm{i}} \text{ ,} \tag{3.7}$$

kus

$\hat{\lambda}$ - tegelik liiklusõnnetuste arv ″töödeldud grupis″;

L_i - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil konkreetses kohas *i*. [25], [26]

Kuues samm on parandusmeetme efektiivsuse ja selle dispersiooni hindamine. [25], [26]

Efektiivsuse indeks $\hat{\theta}$ määratletakse kui ohutuse taseme parandusmeetmete rakendamisel ja ohutuse taseme ilma parandusmeetmete rakendamiseta suhe (3.8). Parameeter $\hat{\theta}$ võimaldab hinnata parandusmeetme efektiivsust järgmise valemi järgi [25], [26]:

$$\hat{\theta}=\frac{\left(\frac{\hat{\lambda}}{\hat{\pi}}\right)}{1+\frac{var(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2}} \text{ ,} \tag{3.8}$$

kus

$\hat{\theta}$ – efektiivsuse indeks;

$\hat{\lambda}$ - tegelik liiklusõnnetuste arv ″töödeldud grupis″;

$\hat{\pi}$ - oodatav liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil;

$var(\hat{\pi})$ - $\hat{\pi}$ dispersioon. [25], [26]

Parandusmeetmete rakendamisega seotud target crash-tüüpi liiklusõnnetuste arvu muutus protsentides arvutatakse selle valemi järgi: 100*(1-θ). Kui θ on väiksem kui 1, siis kontrollpiirkonnas rakendatud parandusmeede on avaldab positiivset mõju ohutusele. Parandusmeetme efektiivsuse dispersioon $var(\hat{\theta})$ (3.9) ja standardhälve $\sigma(\hat{\theta})$ (3.10) hinnatakse järgmiste valemite järgi [25], [26]:

$$var(\hat{\theta})= \hat{\theta}^2 \frac{\left(\frac{1}{L}+\frac{var(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2}\right)}{(1+\frac{var(\hat{\pi})}{\hat{\pi}^2})^2} \text{ ,} \tag{3.9}$$

kus

$var(\hat{\theta})$ - parandusmeetme efektiivsuse dispersioon;

$\hat{\theta}$ – efektiivsuse indeks;

L - summaarne liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil konkreetses kohas;

$\hat{\pi}$ - oodatav liiklusõnnetuste arv järgneval perioodil;

$var(\hat{\pi})$ - $\hat{\pi}$ dispersioon. [25], [26]

$$\sigma(\hat{\theta}) = \sqrt{var(\hat{\theta})}, \tag{3.10}$$

kus

$\sigma(\hat{\theta})$ - parandusmeetme efektiivsuse standardhälve;

$var(\hat{\theta})$ - parandusmeetme efektiivsuse dispersioon. [25], [26]

Ligikaudne 95-protsendiline usaldusvahemik θ väärtuse puhul saadakse liites ja lahutades 1,96*s.e.(θ) θ-st. Kui usaldusvahemik on 1 või suurem, siis arvatakse, et parandusmeede ei avalda märkimisväärset mõju olukorrale. [25], [26]

3.3.2 Modelleerimise meetod

Autor arvab, et veel üheks teekattemärgiste puudmisest tuleneva liiklusohu prognoosimise meetodiks võib olla matemaatiline modeleerimine. Selle meetodi sisu seisneb selles, et liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosust kirjeldatakse nii suvaliste kui ka konstantsete suuruste vahendusel teatud valemi kaudu ja seejärel statistiliselt olulise tulemuse saamiseks tehakse selle valemiga 10000 iteratsiooni. Uurimise meetodina käesoleva mudeli töö põhimõte seisneb olemasoleva ja uuritava stsenaariumi võrdlemises ja analüüsimises. Eeldatakse, et seejärel modelleerija ise teeb järeldused teekattemärgiste mõju kohta. Mudel võimaldab uurida kahte liikluskeskkonda: maantee või asula.

Antud mudeli puhul liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosust arvutatakse järgmiste tegurite baasil: sõidukite liikumiskiirus; teelõigu liiklussagedus; teekatte seisund (kuiv, märg või lumine teekate); nähtavus (öö või päev); sõiduradade arv; jalgrattaraja olemasolu; ülekäiguraja olemasolu; teekattemärgiste olemasolu. Selleks, et modelleeritud olukord vastaks täpsemini reaalsusele ning arvestaks võimalikult suurema olukordade hulgaga, otsus teekatte seisundi ning ööpäeva kohta langetatakse täiesti suvaliselt. Eeltoodud põhjustel juhuslikkuse element sai lisatud ka sõidukite kiirusele ja liiklussagedusele, kus juures nende tegurite põhiosa sõltub modelleerija valikust. Sellised tegurid nagu sõiduradade arv, jalgrattaraja olemasolu, ülekäiguraja olemasolu, teekattemärgiste

olemasolu sõltuvad täiesti modellerija valikust ehk nende puhul juhuslikkuse element puudub. Antud mudeli lihtsustamise huvides kõik tegurid on sõltumatud.

Sõidukiiruse ja liiklussageduse juhuslikkuse elemendi suurused on valitud sellised, mille juures on võimalik kajastada erinevaid olukordi liikluses.

Sõidukiiruse puhul juhuslikkust tekitav element on kiiruse hälve ±10 km/h, mille juures on võimalik arvestada nii kiiruse ületajate kui ka mingisugusel põhjusel alla suurima lubatud kiirusega liikuvate sõidukitega (nt sõiduki tehniline rike, õppesõit vms). Mudel on seadistatud nii, et kiiruse 10 km/h võrra juurdekasv või langus tõstab või vähendab sõidukiiruse teguri poolt tekitava ohtu 1,6% võrra. Teguri mõju liiklusohutusele sai mõõdetud uuringus ″Speed and Crash Risk″, mille viis läbi ″The International Transport Forum″. Asula kiiruste vahemikus 10 – 50 km/h vähim tekitava ohu määr on 1,6%, mis tekib 10 km/h juures ning suurim ohu määr on 9,6%, mis tekib 50 km/h juhul, kui eeltoodud kiirusele juhuslikkuse elemendina lisandub 10 km/h ehk siis summaarseks kiiruseks saab 60 km/h. Maantee kiiruste vahemikus 60 – 120 km/h vähim tekitava ohu määr on 8,0%, mis tekib 50 km/h juures (juhul juhuslikkuse elemendina 60-st lahutatakse 10 km/h) ning suurim ohu määr on 26%, mis tekib 120 km/h juhul, kui eeltoodud kiirusele juhuslikku elemendina lisandub 10 km/h ehk siis summaarseks kiiruseks saab 130 km/h. [27]

Liiklussageduste puhul juhuslikkust tekitav element on liiklussageduse hälve ±250 s/h, mille juures on võimalik arvestada erinevate ja ettenägematute olukordadega. Nendeks olukordadeks võivad olla näiteks liiklusummikud või muu põhjus, mille tagajärjeks on suurema või vähema nõudluse esinemine antud marsruudil. Antud mudeli seadistused võimaldavad modelleerida liiklusolukorda liiklussagedustel vahemikus 0 – 4250 s/h, kusjuures modelleerija saab valida ainult vahemikus 250 – 4000 s/h. Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et tegemist on mõlema suuna summaarse liiklussagedusega. Modeleerimiseks kättesaadav suurem liiklussageduste vahemik on tingitud juhuslikkuse elemendi olemasolust. Uuring ″Relationship Between Traffic Volume and Accident Frequency at Intersections″ näitab, et 100 s/h võrra liikussageduse juurdekasvuga kaasneb liiklusohu tõus 2% võrra. Käesolevas mudelis liiklussageduste muutusest tingitud ohumäärad jäävad vahemikku 4%-84%. Ebausaldusväärsete olukordade kogemata tekkimise vältimiseks on lisatud hoiatav indikaator, mis näitab soovitatavat sõiduradade arvu iga liiklussageduse juures ning hoiatab mudeli kasutajat siis, kui valitud sõiduradade arv soovitavaga ei klapi. Tuleb rõhutada, et antud indikaator omab ainult informatiivset iseloomu, ei mõjuta arvutustulemusele ning ei ole kohusta modelleerijat seda järgima. Selle

kaudu on tagatud võimalus ebastandardsete olukordade modelleerimiseks ja kontrollimiseks. [28]

Teekatte mõju puhul tegemist on täiesti suvalise teguriga. Täiesti juhuslikult langeb välja üks võimalikkudest teekatte seisundi variandist: kuiv; märg või lumine. Selline seadistus võimaldab arvestada aastaaja loomuliku muutusega, ühe aastaaja raames toimuvate ilmastikutingimuste muutustega sh ilmastikutingimustega, mis võivad olla teatud aastaaegadele ebatüüpilised. Sarnaselt eelloetletud teguritega teekatte seisundi variandi muutmisega kaasneb liiklusohu mõjutava määra muutmine. Uuring ″Pavement Condition and Traffic Safety: A Comprehensive Review of the Literature″ näitab, et 1000000 km kohta sõltuvalt teekatte seisundist esineb erinev vigastatute arv: kuival teekattel on 120000; märjal teekattel on 180000 ning lumisel teekattel on 300000. Eeltoodud statistilistest andmetest lähtudes sai mudel järgmised liiklusohu määrad: kuiv teekate ei mõju liiklusohtu; märjal teekattel oht tõuseb 6% võrra ning lumine kate põhjustab maksimaalset liiklusohu tõusu, milleks on 18% kuiva teekattega võrreldes. [29]

Sarnaselt eelnimetatud teguriga öine ja päevane nähtavus on täiesti suvalise iseloomuga tegur. Tuleb rõhutada, et antud juhul tegemist mitte ööpäeva ajaga, aga just ööpäeva jooksul muutuvate valgustatuse tingimustega, kuna Eesti kontekstis talvel hämardus võib alata juba kell 17 õhtul. Selline lähenemine võimaldab arvestada suurimat hulka tingimusi, mis teeb mudelit usaldusväärsemaks.

Austraalia riikliku teeohutuse partnerlusprogrammi raames tehtud uuringu tulemused näitavad, et pimedal ööpäva ajal sõidul liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosus on keskmiselt umbes 35% võrra suurem võrreldes päevase ajaga. Vastavalt eeltoodud uuringu tulemusele mudel sai järgmise seadistuse: päevane aeg ei avalda mõju liiklusohututsele ja pimedal ajal suurenab 35% võrra liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosus. [30]

Järgmiseks liiklusohutusele mõju avaldavaks teguriks sai sõiduradade arv teel. Antud teguril ei ole juhuslikkuse elementi, sellele ei rakendata hälbeid ning see on täiesti modelleerija poolt kontrollitav. Eeldatakse, et üldjuhul sõiduradade arvu suurenemisega kaasneb ka liiklusohutuse taseme kasv. Uuring ″On the number of freeway lanes and its positive or negative effect on safety″ näitab, et kõige vähim ohutase esineb neljarajalistel ja viierajalistel teedel, kusjuures neljarajaliste ja viierajaliste teede mõju ohu tasemele on võrdväärne. Võrreldes eelnimetatud arvudega, kolmerajalistel teedel liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosus 12,5% võrra suureneb. Kaherajalise tee puhul tõenäosus suureneb 25%-ni ja üherajalisel teel 37,5%-ni. Mudel on seadistatud nii, et vastavalt kasutaja poolt etteantud sõiduradade arvule rakendub üks eeltoodust ohu näitavatest määradest.

Sõiduradade arvu määramisel vigade ja ebausaldusväärsete tingimuste modelleerimise vältimiseks võib tööprotsessis kasutada ülalkirjeldatud informatiivset hoiatavat indikaatorit. Modelleerimisel on ka võimalik arvestadada jalakäijate ja jalgratturitega. Tuleb pöörata tähelepanu, et antud kontekstis eeldatakse, et jalakäijate puhul tegemist on ülekäiguraja olemasoluga ja selle mõjuga liiklusohutusele. Jalgratturite puhul eeldatakse jalgrattaraja olemasolu sõiduteel. Uuring ″The Traffic Calming Effect of Delineated Bicycle Lanes″ näitab, et jalgrattaraja olemasolul väheneb otsesuunas liikuvate sõidukite kiirus 8% võrra. Üldjuhul arvatakse, et ülekäiguraja olemasolu mõjutab liiklusohutust positiivselt, aga seoses sellega, et käesoleva lõputöö autor ei leidnud uuringuid, kus see mõju oleks arvuliselt määratud, siis lihtsustamise huvides sai rakendatud jalgrattaraja olemasolu puhul kasutatav tegur ehk 8%. Diplomand arvab, et kuna mõlemal juhul tegemist on sõiduteel liikuvate vähemkaitstud liiklejatega, siis alternatiivide puudumise tingimustes võrdväärsete määrade rakendamine on aktsepteeritav. [31], [32]

Kõige olulisemaks teguriks antud lõputöö teema kontekstis on teekattemärgiste olemasolu. Uuring ″Road Markings and Their Impact on Driver Behaviour and Road Safety: A Systematic Review of Current Findings″ näitab, et sõidutee äärt tähistavate joonte puudus suurendab 11% võrra liiklusõnnetuse tekkimis tõenäosust. Mudeli seadistamisel on arvestatud kahte seisundit: teekattemärgisega ja teekattemärgiseta tee, kusjuures teekattemärgiste olemasolu ei mõjuta liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosust ja teekattemärgiste puudus tõstab 11% võrra liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosust. [13]

Lõpliku liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosuse arvutamiseks kasutati keskmise väärtuse leidmise valemeid $P_{M,kesk}$ ja $P_{A,kesk}$, kusjuurs manatee puhul valem sisaldab 5 tegurit (3.11) ja asula puhul 7 tegurit (3.12).

$$P_{M,kesk}=\frac{(A+B+C+D+E)}{5}, \tag{3.11}$$

kus

A – kiiruse mõju arvestav tegur;

B – teekattemärgistuse olemasolu mõju arvestav tegur;

C – liiklussageduse kasvu või vähnemise mõju arvestav tegur;

D – öise või valge aja mõju arvestav tegur;

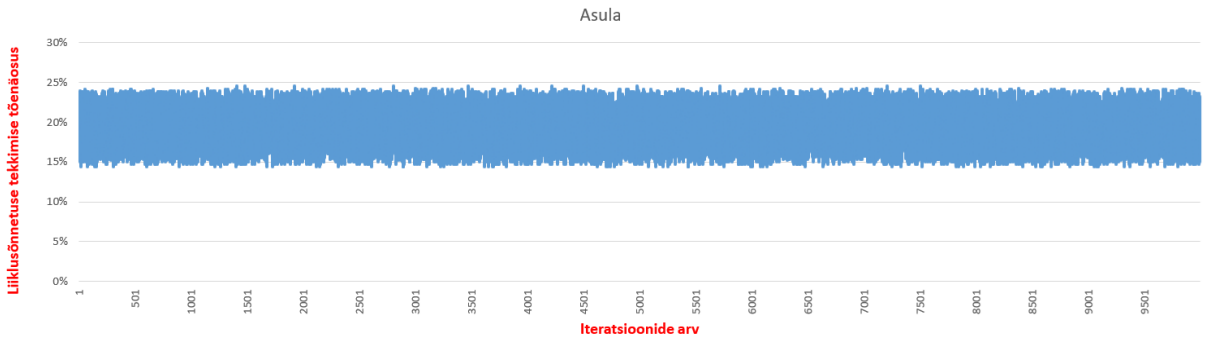
E – sõiduradade arvu mõju arvestav tegur.

$$P_{A,kesk}=\frac{(A+B+C+D+E+F+G)}{7}, \tag{3.12}$$

kus

A – kiiruse mõju arvestav tegur;
B – teekattemärgistuse olemasolu mõju arvestav tegur;
C – liiklussageduse kasvu või vähnemise mõju arvestav tegur;
D – öise või valge aja mõju arvestav tegur;
E – sõiduradade arvu mõju arvestav tegur;
F – jalgrattaraja olemasolu mõju arvestav tegur;
G - ülekäiguraja olemasolu mõju arvestav tegur.

Mudeli seadistamisel autor lähtub eeldusest, et eelloetletud tegurid ei avalda üksteisele märkimisväärset mõju ja/või üksteisest ei sõltu, seega diplomandi arvates antud olukorras kasulikum on kasutada ülalnimetatud seost. Selline valik on tingitud ka sellest, et lõputöö autori arvates mudeli kasutajal peab tekkima esialgne üldine arusaam ohtlikkude ja erilist tähelepanu vajavate kohtade kohta, kuid mudel ei tohi anda lõpliku vastust teekattemärgise kohta ning ei tohi liilalt peensustega arvestada. Seoses sellega, et ohutus on kogu liikluse võtmeaspekt, siis käesoleva lõputöö koostaja arvab, et liiklusohutust mõjutavaid otsusi ei tohi langetada ainult unifitseeritud mudeli alusel. Ülaltoodud tegurid on põhilised, kusjuures tuleb arvestada sellega, et detailide vaatlemisel iga olukord muutub unikaalseks ning tähelepanu vajavate detailide arv muutub suuremaks. Selline lähenemine peab ajendama otsuse langetajat teha täiendavat uurimistööd iga modelleeritava koha kohta, mis autori arvates on ilmtingimata vajalik. Nagu juba varem mainitud sai statistiliselt olulise tulemuse saamise eesmärgil mudel on seadistatud nii, et etteantud andmetega tehakse 10000 iteratsiooni. Kui protseduur on lõpetatud, siis andmed kajastatakse eraldi lehele. Kajastatavateks andmeteks on iteratsiooni number ja selle iteratsiooni käigus saadud hinnanguline liiklusõnnetuse tekkimise risk. Seejärel eeldatakse, et saadud andmed esitatakse näiteks tabeli kujul (vt Joonis 3.1), mille kasutamisel modelleerija saab visualiseeritud andmete analüüsimise võimalust. Eeldatakse, et esialgselt modelleerija teeb nn 0-stsenaariumi, kus on kajastatud liiklusolukord ilma soovitud muudatuseta ja siis teine stsenaarium koos soovitud muudatusega. Kui kõikide soovitud stsenaariumide andmed on saadud, siis mudeli kasutaja saab võimalust neid omavahel võrrelda.



Joonis 3.1 Mudeli andmete visualiseerimise võimalus tabeli kujul

Kogu mudel on koostatud Microsoft Excel failina, mis teeb mudeli kasutamist lihtsamaks, kuna ei nõua eraldi tarkvara ja suurt arvuti võimsust. Lisaks eeltoodud eelistele vajadusel mudel võib olla pädeva isiku poolt täiendatud. Kuna iteratsioonide suurem arv tõstab tulemuse täpsust, siis eeldatakse, et vajadusel selle võib ka muuta. Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et alguses ettenähtust suurem iteratstioonide arv võib avaldada mõju tarkvara toimimiskiirusele. Sellise probleemi tekkimisel lahenduseks võib saada Microsoft Access tarkvara kasutamine andmete analüüsimisel, mis võimaldab töödelda suurt andmete mahtu. Mudel on esitatud eraldi failina, faili nimetuseks on ˝Lõputöö mudel. Sergei Tavstõgin_232270EAXM˝.

3.3.3 Teekattemärgiste seisukorra hindamine valguspeegelduvuse mõõtmise vahendusel

Sarnaselt ühe varem pakutud meetodiga antud teekattemärgistuse puudusest tingitud liiklusohu hindamise meetod põhineb teekattemärgiste valguspeegelduvusel. Aastatel 2017-2022 tehti Eesti riigiteedel teekattemärgistuse valguspeegelduvuse mobiilsed mõõtmised (põhi- ja tugimaanteedel vastavalt üle aasta. [6]

Nagu juba varem mainitud sai, on üheks määravaks liiklusohutust mõjutavaks kriteeriumiks teekattemärgistuse puhul valguspeegeldavus. Eeltoodud kriteerium omab tähtsust eelkõige maanteedel, kus üldjuhul tehisvalgustust ei kasutata ja seetõttu pimedal ajal või halva nähtavuse tingimustes liiklejatel on väga oluline liikluskorraldusest selgelt arusaada. [6]

Mõõtmiste käigus saadud valguspeegeldavuse näitajad jagati nelja klassi [6]:

- väga hea (RL > 100 [mcd/m^2/lx]);
- hea (RL = 80 – 100 [mcd/m^2/lx]);
- rahuldav (RL = 60 – 80 [mcd/m^2/lx]);
- halb (RL < 60 [mcd/m^2/lx]). [6]

Iga klass kajastab maanteede telgjoonte ja äärejoonte seisundit. [6]

Lähtudes sellest, et teekattemärgiste kontekstis valguspeegeldavus on olulisemaks ohutuse näitajaks, siis autor arvab, et võib ülaltoodud seisukorra klasse vaadelda liiklusohutuse hindamise skaaladena. Arvatakse, et tehtud skaalade põhjal otsustatakse teekattemärgiste uuendamise kohta, kusjuures pakutakse uuendamise vajadust kaalutleda siis, kui teekattemärgiste klass on halb (RL < 60 [mcd/m2/lx]). [6]

Vastavalt jaotises 2.4.2 ″Teekattemärgistuse mõju sõidukite paiknemisele teel″ kirjeldatud uuringu tulemustele autor pakub antud paragrahvis käsitleva uuringu analüüsimisel ning ohu taseme hindamisel keskenduda telgjoonte seisukorrale, kuna just see teekattemärgise tüüp võimaldab vältida vastassuunalisi kokkupõrkeid, mis on kõige ohtlikumaks liiklusõnnetuse tüübiks. Samuti vastavalt eelmainitud uuringule telgjoonte hooldus on teiste märgiste tüüpidega võrreldes on vähem.

3.4 Minimaalne vajalik teekattemärgiste maht

Seoses ohutu liikluskeskkonna, taristu toimimise, ligipääsetavuse tagamise ning hoolduse teostamise võimaluse tagamise vajadusega järgnevalt on toodud olulisimad teekattemärgiste tüübid, mis peavad alati vastama etteantud nõuetele sõltumatult antud lõputöös kirjeldatud hindamis- ja prognoomismeetodite vahendusel saadud tulemustest:

- ülekäiguradasid, jalgratta- ja jalgteega lõikumisi, fooriga ülekäiguradasid ning rattateega lõikumisi tähistavad teekattemärgised (vastavalt standardis Teemärgised ja nende kasutamine, EVS 614:2022 eeltoodud märgiste numbrid on sellised: 945a, 946d, 947, 948) [3];
- vastassuunaliste sõiduradade eraldamist tähistavad teekatte märgised;
- suunanooled, kaarnooled ning liikumissuuna nooled;
- muutusuunaliiklusega sõiduraja eraldamist tähistav märgis (märgise nr 925);
- mitmerajaliste teede ristmikkudel liikumistrajektoori tähistav teekattemärgistus (märgise nr 923a);
- ühissõidukiraja ja jalgrattaraja tähistavad jooned (märgise nr 923d);
- teeandekoha märgistused sõiduteedel kohtades, kus vales kohas peatunud sõiduk võib takistada teiste sõidukite manööverdamise võimalust (vt Joonis 3.2) ning kõikidel fooriga ristmikkudel (märgiste nr 941, 943, 943a);
- parkimise keeluala tähistav teekattemärgis, mille puudumine võib raskendada hooldus- ja alarmsõidukitel ligipääsu hoonetele, taristu elementidele või muudele pidevat ligipääsu vajavale objektidele;

- puudega inimese sõiduki parkimiskoha ning elektrisõiduki parkimiskoha tähistavad teekattemärgised (märgiste nr 976a, 976b);
- täristi (märgise nr 979a);
- eraldussaari tähistavad teekattemärgised;
- ajutine liikluskorraldus. [3]

Joonis 3.2 Sõle tn – Sitsi tn ristmik, kus vales kohas peatunud sõiduk võib takistada teiste sõidukite manööverdamist (aug. 2024) [33]

3.5 Alternatiivsed märgistamise lahendused

3.5.1 Kleebised

Üldjuhul kasutatakse teekattemärgiste kandmiseks plastikuid, mis tagavad pikaealisust ja hea valguspeegeldavust. Eeldatakse, et võimalikuks alternatiiviks on kleebised, kuid nende kasutamisel tuleb arvestada teatud eripäradega.

Üheks peamiseks nõudeks teekattemärgiste materjalidele on kulumiskindlus, kuna teekattemärgistusele pidevalt avaldab mõju sõidukite rataste poolt tekitatud koormus ning

ilmastikutingimused (nt temperatuuri muutused, sademed, UV-kiirgus). Kleebiste kasutamisel tuleb arvestada sellega, et nende kulumiskindlus võib olla plastikutega võrreldes vähem. Erilist tähelepanu peab pöörama sellele, et mustus, määrdeainete ja kütuste jäägid ka võivad avaldada negatiivset mõju kleebiste kleebisainele, mis omakorda ka toob kaasa kulumiskindluse vähenemist. Eeltoodud põhjused võivad mõjutada ka teekattemärgiste valguspeegeldavust, kuju täpsust ning eredust. Samuti peavad kleebiste tootmisel kasutatavad materjalid vastama tuleohutuse standarditele.

Ehitustehnoloogia osas arvatakse, et kleebiste paigaldamise on plastikutega võrreldes lihtsam, sest mõnevõrra vähenevad ajakulud. Kusjuures kleebiste paigaldamisel on väga oluline jälgida teekatte puhtust, kuna vastasel juhul lahenduse efektiivsus kiiresti väheneb.

Arvesse tuleb võtta ka majanduslikku aspekti. Seoses sellega, et kleebiste puhul kasutatav ehitustehnoloogia võimaldab muuta protsessi kiiremaks ning vähendada tööjõukulusid, kuid madalama kulumiskindluse tõttu ei ole kleebised pikaealine ja vastupidav lahendus, eeldatakse, et pikaajalises perspektiivis nende kasutamine ei võimalda saavutada märkimisväärset rahaliste vahendite säästu.

3.5.2 Värviliste ja tekstuursete ehitusmatejalide kasutamine

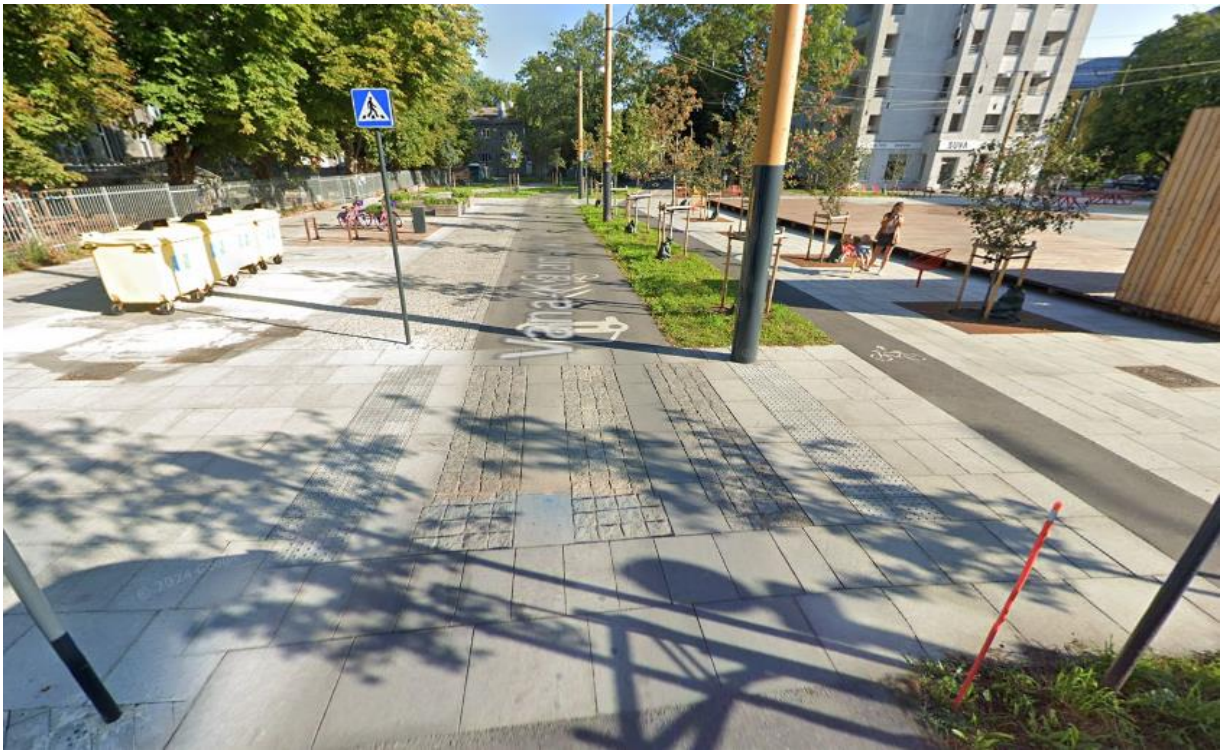
Tee-ehitusmaterjalide erinevat tekstuuri ja värvi võib efektiivselt kasutada teekattemärgiste asendamiseks luues visuaalset indikatsiooni sõidukijuhtidele, kusjuures vajalikku efekti saavutatakse kontrastsete materjalide kombineerimisel.

Üheks tee markeerimise võimaluseks on erineva väviga asfaltkatete kasutamine. Arvatakse, et värvilise katte saamiseks asfaltsegu valmimisel peab lisama värvained. Eeldatakse, et katte värv võib sõltuda teelõigu funktsioonist. Eeltoodud põhimõte on osaliselt rakendatud jargrattateede tähistamiseks Ahtri tänaval (vt Joonis 3.3), kus jalgrattatee katte on punast värvi. Selline meetod annab võimalust erinevate teeosade eristamiseks teekattemärgiseid kasutamata. Teekattemärgistega võrreldes on värvilise katte kasutamine pikas perspektiivis efektiivsem, kuna teekattemärgiste värv kulub kiiremini ja selle hooldamise vajadus tekitab täiendavaid rahalisi ja ajalisi kulusid.

Joonis 3.3 Värviline teekate Ahtri tänaval [34]

Järgmine variant on suuremal määral suunatud sillutatud aladele. Selle variandi idee seisneb selles, et erinevate alade eristamiseks võib kasutada erinevat looduslikku värvi sillutiskivisid ja plaate (vt Joonis 3.4 ja Joonis 3.5). Õigesti valitud värviliste kombinatsioonide ja korraliku paigaldamise puhul on võimalik tekitada selgeid visuaalseid indikaatoreid, mis võib saada teekattemärgiste asenduseks. Selgete ja arusaadavate värviliste kombinatsioonide ning paigaldamisviiside otsimisel võib muuhulgas juhendada näiteks Eesti Pimedate Liidu teemakohastest juhendmaterjalidest. [35]

Joonis 3.4 Ehitusmaterjali värvi abil märgistatud ülekäigurada Soomes Helsingis (Aug. 2024) [33]



Joonis 3.5 Erineva tekstuuriga ehitusmaterjalide kasutamine tee märgistamiseks Vana-Kalamaja tänaval (Aug. 2024) [33]

Suurema koormusega aladel võib ka kasutada värviliste komponentidega betoonplaate. Üldjuhul betoonplaatidel on heledam värvus teiste tee-ehitusmaterjalidega võrreldes. Antud variant on efektiivne lahendus, mis pakub nii kõrget kulumiskindlust kui ka vajalikku visuaalset efekti. Tuleb märkida, et isegi ilma värvainete lisamiseta betooni kasutamine või tekitada paremat esteetilist efekti asfaldiga võrreldes ning avaldab positiivset mõju keskkonnale vähendades soojussaarte efekti.

Eeltoodud variantidel on nii eelised kui ka puudused. Eelisteks on suurem vastupidavus ja kulumiskindlus mehhanilisele mõjule ning ilmastikukindlusele võrreldes traditsiooniliste plastikust teekattemärgistega. Samuti paremate kulumiskindluse näitajate arvelt väheneb keskkonna kahju, sest lagunenud teekattemärgsite plastik enam ei säästa loodust. Kasuks tuleb ka see, et selliste katete puhul vähenevad hoolduskulud. Puudusteks on materjalide kõrgem hind, suuremad ajakulud ning teekattemärgistega võrreldes keerulisem ehitustehnoloogia.

3.5.3 E-katend

Autor arvab, et veel üheks võimalikuks alternatiiviks võib olla e-katendi kontseptsiooni rakendamine. Aastal 2017 tehtud Nordic e-pavement teadus- ja arendusprojekti raames pakuti võimalus kasutada vähemõõdulisi päikesepaneele tee katendi konstruktsioonis. Idee üldine põhimõte seisneb selles, et katendisse sisseehitatud elektritootvat elemendid koguvad valgel ajal saadud päikese energiat akudess ja seejärel öisel ajal seda energiat kasutatakse taristu elektriseadmete toiteks. [36]

Üks võimalus, mida eelnimetatud uuringus kaalutletakse seisneb sellest, et elementide katendisisese kasutamise puhul nad võiksid saada plastiku või värvi vahendusel tehtavate teekattemärgiste asenduseks. Eeldatakse, et katendisse paigaldatud valgusdioodide abil võib tekitada erineva kujuga maatrikseid, mis võivad immiteerida erinevaid teekattemärgiste jooni või kujutisi. Uuringu aruande koostajad arvavad, et lisaks ülaltoodud võimalusele erineva värviga dioodide abil on võimalik ka valgusfooride signaalide dubleerimine kergliiklusteedel, ülekäiguradadel ning ohutussaartel (vt Joonis 3.6). Vaatamata sellele, et teekattemärgiste asendamise kontekstis põhirõhk oli tehtud kergliiklusele, käesoleva lõputöö autor arvab, et tuleb kaalutleda antud tehnoloogia kasutamist ja arenguvõimalust ka sõidutee teekattemärgiste asendamiseks. [36]

Kui tegemist on tehnoloogia katendivälise kasutamisega, siis sellisel juhul tööpõhimõte seisneb valgusdioodide ribade paigaldamisega äärekividesse või tee ääres nii, et valgus

oleks suunatud teepoolses suunas. Uuringu tegijad eeldavad, et seda tüüpi lahendust võib kasutada tee äärte markeerimiseks, siis kui liiklusolukorra ohutuse aspekt annab sellise võimaluse. [36]

Joonis 3.6 E-katendi kasutamise näidis [34]

Antud lahenduse eelised on selge ja paindlik visuaalne indikatsioon liiklejatele, mis toob endaga kaasa ohutuse taseme tõusmist ning parandab puudega inimeste liikumisvõimalusi ja elukvaliteeti; võimalus osaliseks elektrienergiale lähevatele kulude katmiseks päikese energia arvelt; suurem kulumiskindlus võrreldes asfaldsegudega. [36]

Lahendusega kaasnevad ka järgmised puudused: uuringu koostajad mainivad aruandes, et antud hetkel energia tootmiseks teedel kasutatava materjali optilise läbipaistvuse saavutamine osutus võimatuks; ilmastikutingimuste mõju võib avaldada negatiivset mõju süsteemi tööle, sest seadme kontaktid peavad olema väga hästi isoleeritud niiskuse eest; Eesti kliimatingimustes päikese energia vähesuse pärast süsteemi toimetulek ja energia kulude katmine on küsitav eriti talvisel ajal; liigsete valgustusallikate olemasolu võib avaldada negatiivset mõju ööeluviisiga loomadele; suured paigaldamis- ja hoolduskulud. [36]

3.5.4 Hologrammid

Teekattemärgiste alternatiiviks võiks olla hologrammide kasutamine. Uuringus ″Examining the Effects of a Signless Roadway: Holographic Traffic Control Devices and their Potential for Replacing Traditional Post-Mounted Traffic Control Devices″ kirjeldatakse võimalus, kus liikluskorraldusvahendeid asendatakse elektrooniliste seadmetega. Seadmed edastavad

sõidukile infot teelõigul kehtiva liikluskorralduse kohta ja sõiduk hologrammide abil armatuurlaual näitab juhile kiiruspiiranguid, teekattemärgiseid jms. Arvatakse, et tulevikus selline tehnoloogia annab võimaluse loobuda klassikaliste liikluskorraldusvahendite kasutamisest. [37]

Käesoleva lõputöö autor arvab, et teekattemärgiste asendamiseks võib kasutada lihtsustatud tehnoloogiat. Mõte seisneb selles, et teel teatud sammuga paigaldatakse spetsiaalsed seadmed (nt projektorid vms), mis vastavalt teelõigul kehtivale liikluskorraldusele kuvab tee kattele teekattemärgiseid või muud asjakohast infot (vt Joonis 3.7). Eeldatakse, et sellisel juhul teekattemärgised ei pea olema kuvatud täies mahus, vaid piisaks ka näiteks jaotises 3.4 ″Minimaalne vajalik teekattemärgiste maht″ kirjeldatud mahust. Asulates seadmeid võib paigaldada näiteks valgustuspostidele, portaalidele, konsoolidele või muudele selleks sobivatele rajatistele. Väljaspool asulaid võib kasutada tähisposte ning muid selleks sobivaid rajatisi. Tõenäoliselt sellise süsteemi kasutusele võtmine tekitab eeldusi uuele eraldi taristu elementide liigi loomiseks, mis tagab võimalust süsteemi rakendamiseks kogu taristu ulatuses, mitte ainult teatud lõikudel. [37]

Joonis 3.7 Tee märgistamine hologrammide abil [38]

Antud süsteemi eelisteks on adaptiivsus, interaktiivsus ning hea nähtavus. Hologrammide puhul adaptiivsus tähendab seda, et seadmete poolt kuvatud info võib olla igal ajal muudetud vastavalt aktuaalsele liiklusolukorrale, mis on eriti oluline muutuvates ilmastikutingimustes, mis omakorda avaldab mõju tee kattele (nt libeduse oht vms). Interaktiivsus annab võimalust dünaamiliste teekattemärgiste või teadete kuvamiseks, mis võimaldab informeerida liiklejaid mingisugustest muudatustest liiklusolukorras: liiklusõnnetused, remonditööd vms. Kuna tehnoloogia kasutab valgust, siis erksad ja selged teekattemärgiste kujutised võivad olla nähtavad suurtelt kaugustelt. [37]

Võimalikeks puudusteks on tootmis-, paigaldus ja hoolduskulud ning vajalike tehnovõrkude loomise vajadus. Kirjeldatava tehnoloogia kasutusele võtmisega kaasnevad ka suured kulud, milleks on seadmete tootmine, nende paigaldus ning paigaldus koha kohandamine (juhul kui paigaldamiseks kasutatakse olemasolevat taristu) ja hooldus. Samuti tuleb pöörata tähelepanu sellele, et asulavälisel kasutamisel tekib vajadus vastavate tehnovõrkude loomiseks, mis omakorda võib muutuda väga keeruliseks ja kulukaks ülesandeks. [37]

3.5.5 Muud võimalused

Teekattemärgiste alternatiiviks või ajutiseks asenduseks võiksid mingil määral olla ajutised hoiatustõkked või barjäärid, kollase vilkuva tulega foorid ja ohutuslambid, püstmärgised.

Ajutised hoiatustõkked, barjäärid ning eraldusliistud. Hoiatustõkkeid võib kasutada sõiduradade lõppemise tähistamisel ″Riigiteede ajutine liikluskorraldus″ juhendis ettenähtud korras. Samuti hoiatustõkete abil võib ka märgistada füüsilisi takistusi teel näiteks sillatoed; ohutussaared jms. Autor arvab, et barjääre ja eraldusliiste võib kasutada liiklusvoogude suunamisel nendes kohtades, kus trajektoori rõhutamine on vajalik ning liiklusvoogude kanaliseerimiseks. [39]

Kollase vilkuva tulega foorid ja ohutuslambid. Takistuste esiletoomiseks või erilist tähelepanu vajavate kohtade tähistamiseks teekattemärgiste asemel võib kasutada eeltoodud liikluskorraldusvahendeid. Ohutuslampide kasutamisel tuleb lähtuda juhendist ″Riigiteede ajutine liikluskorraldus″ ning määrusest ″Nõuded ajutisele liikluskorraldusele″. Sarnaselt hoiatustõketega ohutuslampe võib kasutada näiteks sõiduradade lõpu tähistamiseks erinevate kujutiste abil, takistuse tähistamiseks või muudel asjakohastes olukordades. Kollase vilkuva tulega foorid sobiksid ohtlike kohtade tähistamiseks nt ülekäigurajad, erinevad ristumised ja muud kohad, mis võivad vajada liikleja erilist tähelepanu. [39], [40], [41]

Püstmärgised. Teekattemärgiste puudmisel muutub eriliti oluliseks püstmärgiste roll. Püstmärgistega tähistatakse tee äärt või muid takistusi, mis tõstab ohutuse taset eriti väljaspool asulat pimedal ajal. Tähispostid pannakse kõikidele teedele, kus liiklussagedus on suurem kui 1000 sõidukit ööpäevas. Tingimustes, kus tee äärt tähistav teekattemärgistus on ära kulunud või jäi kandmata, võib tähispost jääda ainsaks orientiiriks. Nende kasutamisega kaasneb mitmeid eeliseid: võrreldes lampide ja fooridega ei vaja elektritoidet; ei vaja keerulist või kallist hooldust; odav; lihtne ja kiire paigaldada või asendada; aktiivselt kasutatakse teedevõrgus ja ei ole vajadust uute meetodite läbitöötamiseks; liiklejad ei pea harjuma liikluskorraldusvahendite ebahariliku kasutamisviidega. Lähtudes eelloetletud punktidest, arvab autor, et peamiseks teekattemärgiste asenduseks eriti maanteedel võib olla tähispost või muu sarnane püstmärgis. Ohutuse ja taristu toimetuleku tagamiseks teekattemärgiste puudumise tingimustes tuleb pöörata rohkem tähelepanu püstmärgiste kontrollimisele ja hooldusele. Püstmärgiste kasutamisel tuleb arvestada sellega, et oleksid tagatud juhiabisüsteemide (nt LDW ja LKA) töötamiseks vajalikud tingimused. Teadaolevalt eelnimetatud süsteemide toimimiseks piisab isegi ühe külje tuvastamisest, kusjuures tuvastamiseks piisab asfaldi ja teeserva (nt muru, muld, äärekivi) vahelise piiri olemasolust. Vaatamata eeltoodud nüanssile tuleb rõhutada, et korrektse süsteemi toimimiseks kõige parim variant on tuvastatava teekattemärgise joone olemasolu. Kuna antud lõputöö raames püstmärgiseid pakutakse kasutadada tee ääre tähistavate märgiste asendamiseks ja eeldatakse, et tee telgjoont tähistatav märgis säilib, siis arvatakse, et jubiabisüsteemide toimimiseks vajalikud eeldused on täidetud. [3], [40], [42]

3.6 Alternatiivse lahenduse valik

Teekattemärgiste puudumine põhjustab väga erineva iseloomuga probleemide hulka. See omakorda tähendab seda, et probleemi lahendamisviisid sõltuvad konkreetse probleemi iseloomust. Jaotises 3.2 ″Liiklusohu määratlemine ja klassifitseerimine″ said potentsiaalsed probleemsed kohad esmalt struktureeritud ning neid jagati kolmeks grupiks ohuallikate järgi: füüsiline ohuallikas; liiklustehniline ohuallikas; psühholoogiline ohuallikas.

Lõputöö autor arvab füüsilise iseloomuga probleemsete kohtade ohu vähendamiseks sobiksid sellised alternatiivsed lahendused nagu ajutised hoiatustõkked, barjäärid, eraldusliistud, ohutuslambid, kleebised või hologrammid. Sellised juhul staatilise iseloomuga ohtusid võib tähistada hoiatustõkete, ohutuslampide või hologrammidega ning liikluse suunamist võib korraldada barjääride, eraldusliistide, hologrammide või kleebiste abil. Diplomand arvab, et dünaamilise iseloomuga ohtusid võib tähistada hologrammidega.

Liiklustehnilisest aspektist tingitud ohtude vähendamine on seotud mõningate nüanssidega. Kui tegemist on üksikute riketega (nt foor ei tööta, puudub liiklusmärk) ning liiklejatel ei ole võimalust juhenduda teekattemärgistest, siis eeldatakse, et nende kompenseerimiseks piisab näiteks kollase vilkuva tulega foori ja ohutuslampi kasutamisest, et pöörata liikleja tähelepanu kõrgema ohutasemega kohale. Kui tegemist on näiteks lühiajalise elektrivõrgu katkestusega, siis tekib risk, et kõik elektritoitega liikluskorraldusvahendid muutuvad ebaefektiivseteks. Antud juhul võimalikuks alternatiiviks võib olla e-katend, mis valgel ajal kogub energiat ja pimedal aja kasutab seda valgusdioodide toiteks. Kasuks tulevad ka näiteks mobiilse akuga ohutuslambid.

Psühholoogiliste ohuallikate puhul oluliseks muutub liikleja väsimuse vähendamine, pikaajaline keskendumisvõime kõrgel tasemel hoidmine ning kiire reageerimisaeg. Kuna piisava reageerimisaja varu tagamine ning keskendumisvõime optimaalsel tasemel hoidmine on seotud liiklejate õigeaegse etteteatamisega, siis eeldatakse, et teekattemärgiste puudusest tekkinud psühholoogiliste ohuallikate mõju vähendamiseks tuleb kasutada neid liikluskorraldusvahendid, mis saavad tagada vajalik interaktiivsust. Autor arvab, et sellisel juhul sobilikuks variandiks on hologrammid ja e-katend. Alternatiivide rakendamisel tuleb arvestada sellega, et liiklejate infoväli ei oleks ülekoormatud, mis omakorda võib tekitada veel suuremat psühholoogilist pinget. Eeldatavasti, mõistlikuma infokoormusega teekattemärgiste variandiks on värviliste või tekstuursete ehitusmaterjalide kasutamine, mille abil saab liiklejale harjumuspärasemal kujul tekitada visuaalseid orientiire.

Tuleb arvestada sellega, et alternatiivsete lahenduste ning nende kombinatsioonide rakendamine vajab eelnevat põhjalikku analüüsi, kaalutlemist ning vajadusel katsete läbiviimist. Seoses sellega, et eelloetletud alternatiivide kasutamisega kaasnevad suuremad klassikalise teekattemärgisega võrreldes paigaldamis-, hooldus- ja tootmiskulud, siis ei osutu käesoleva lõputöö autori arvates alternatiivide kasutamine majanduslikult soodsamaks. Diplomandi hinnangul võrdväärsete kulude saavutamine on tõenäoliselt võimalik kleebiste kasutamisel ning antud lõputöös kirjeldatud juhtudel nende rakendamine on aktsepteeritav, kuid tuleb arvestada, et ainult kleebistega ei ole võimalik adekvaatselt märgistada kogu liiklusohtude spektrit.

3.7 Hariduse ja teadlikkuse tõstmine

Liiklejate oskuste ja teadlikkuse tase mängib olulist rolli liiklusohutuses, eriti olukordades, kus puudub teekattemärgistus, mis näitab liiklejate teelõigul kehtivat liikluskorraldust.

Eeldatakse, et liikluskorralduse põhimõtetest ja liiklusseaduses määratud reeglite põhjustest teadlikud liiklejad suudavad kiiresti uute tingimustega kohaneda.

Teadlikkude ja oskuste taseme tõstmine ja kõrgel tasemel hoidmine tähendab seda, et kui liiklejad on teadlikud liikluses rakendatavate reeglite põhjustest, siis tõenäoliselt oskavad nad otsuste langetamisel uutes tingimustes arvestada rohkem aspekte ja nüansse tagades seeläbi ohutu liiklus. Praktiliste oskuste arendamine omakorda annab liiklejatele arusaama teoreetiliste teadmiste õigest rakendamisest ning õigeteset käitumisstiilides liikluses, mis omakorda ka tõstab liikluse sujuvust ootamatutes olukordades, vähendab liiklejate streesi taset ning võimaldab vältida surmaohtlikke vigasid.

Autor arvab, et teadlikkuse taseme tõstmiseks tuleb rakendada erinevaid võtteid, milleks on näiteks autokoolide õppeprogrammide täiendamine vastavate moodulitega, erinevate liiklusohutuskampaaniate korraldamine ning ohutu sõidustiili aktiivne propageerimine massmeediumis.

KOKKUVÕTE

Antud lõputööl on kolm ülesannet. Esimene ülesanne on teekattemärgistuse puudumisest tuleneva liiklusohu taseme uurimine ja hindamine järgmistes aspektides: tee geomeetria visuaalne tajumine, sõidukiiruse valik, sõidukite paiknemine teel, jalakäijate ja jalgratturite liikumine mootorsõidukitega samal teeosal. Teine ülesanne on liiklusõnnetuse tekkimise riski prognoosimismeetodi leidmine. Kolmandaks ülesandeks on alternatiivsete lahendusete leidmine teekattemärgiste puudusest tulenevate riskide kompenseerimiseks.

Eelnimetatud ülesannete lahendamiseks käesoleva lõputöö autoril oli vaja uurida vaadeldavate aspektide teoreetilist ja ajaloolist tausta, uurida valdkonna teemakohast teaduskirjandust, koguda ja analüüsida saadud andmed, tekitada liiklusohtude määratlemise ja klassifitseerimise süsteemi, leida ja välja töötada meetodeid liiklusohu taseme hindamiseks ning liiklusriskide prognoosimiseks erinevas liikluskeskkonnas ning uurida võimalikud alternatiivsed lahendused.

Uurimistöö tulemuseks liiklusohu taseme hindamise osas on kolm meetodit: kontrollpiirkondade meetod; modelleerimise meetod; teekattemärgiste seisukorra hindamine valguspeegeldavuse mõõtmise vahendusel.

Kontrollpiirkondade meetodi põhiline sisu seisneb selles, et teekattemärgiste osas tehtavate muudatuste mõju ohutusele hinnatakse ja kontrollitakse statistiliste andmete alusel. Andmed saadakse teatud kohtades, mida nimetatakse kontrollpiirkondadeks, kus teatud aja jooksul rakendatakse soovitud muudatus.

Modelleerimise meetod põhined liiklusõnnetuse tekkimise tõenäosuse välja arvutamisel. Antud meetod võimaldab esialgselt hinnata liiklusriski arvestades erinevate tegurite mõju (sh teekattemärgiste olemasolu) ilma päris elus muudatuste rakendamata moodustades statistiliselt tähtsat liiklusriski andmete hulka. Eeldatakse, et tulevikus antud tööriista võib arendada sügavamalt.

Kolmanda meetodi aluseks on eelnevalt läbiviidud olemasolevate teekattemärgiste valguspeegelduvuse mõõtmised Eesti põhi- ja tugimaanteedel. Selle meetodi juures eeldatakse, et ohutuse hindamisskaalna võib kasutada eelnimetatud teede teekattemärgiste valguspeedeldavuse näitajat, mille alusel otsustatakse teekattemärgiste uuendamise vajaduse kohta.

Samuti diplomand määrab minimaalset vajalikku teekattemärgiste mahtu, mis peavad alati vastama etteantud nõuetele sõltumatult ülaltoodud meetodite kasutamisel saadud tulemustest.

Teekattemärgiste puudusest tulenevate riskide kompenseerimiseks pakutakse järgmised võimalused: kleebised, värviliste ja tekstuursete ehitusmaterjalide kasutamine, e-katend, hologrammid, ajutise liikluse korraldamisel kasutatavad liikluskorraldusvahendid, eelloetletud elementide kombinatsioonid.

Käesoleva lõputöö raames tehtud uurimine näitab, et teekattemärgiste eelmaldamisega ilmtingimata kaasneb liiklusohu taseme kasv ning arvatakse, et alternatiivsete lahenduste rakendamine teekattemärgiste asendamiseks majanduslikult soodsamaks ei osutu. Lähtudes eeltoodud järeldusest, autor ei soovita vähendada teekattemärgiste mahtu.

SUMMARY

This thesis has three tasks. The first task is to investigate and assess the level of traffic risk arising from the lack of road markings in the following aspects: visual perception of road geometry, choice of driving speed, location of vehicles on the road, movement of pedestrians and cyclists on the same road section as motor vehicles. The second task is to find a method for predicting the risk of a traffic accident. The third task is to find alternative solutions to compensate for the risks arising from the lack of road markings.

To solve the above tasks, the author of this thesis needed to study the theoretical and historical background of the observed aspects, study the scientific literature on the subject in the field, collect and analyze the data obtained, create a system for defining and classifying traffic risks, find and develop methods for assessing the level of traffic risk and predicting traffic risks in different traffic environments, and study possible alternative solutions.

The research results in terms of assessing the level of traffic risk are three methods: the control area method; the modeling method; assessing the condition of road markings by measuring light reflectance.

The main content of the control area method is that the impact of changes to road markings on safety is assessed and verified based on statistical data. Data is obtained in certain places, called control areas, where the desired change is implemented over a certain period of time.

The modeling method is based on calculating the probability of a traffic accident. This method allows for a preliminary assessment of traffic risk, taking into account the influence of various factors (including the presence of road markings) without implementing changes in real life, thereby forming a statistically significant set of traffic risk data. It is expected that this tool can be developed more deeply in the future.

The third method is based on previously conducted light reflectance measurements of existing road markings on Estonian main and secondary roads. This method assumes that the light reflectance indicator of the aforementioned road markings can be used as a safety assessment scale, on the basis of which decisions are made about the need to renew road markings.

The diploma holder also determines the minimum required volume of road markings, which must always meet the specified requirements regardless of the results obtained using the above methods.

The following options are offered to compensate for the risks arising from the lack of road markings: stickers, the use of colored and textured building materials, e-pavement, holograms, traffic management devices used for temporary traffic management, combinations of the above-listed elements.

The research conducted within the framework of this thesis shows that the pre-burial of road markings necessarily entails an increase in the level of traffic danger and it is believed that the implementation of alternative solutions to replace road markings will not be economically more advantageous. Based on the above conclusion, the author does not recommend reducing the volume of road markings.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] Riigikogu. (2010, Juun. 17). *Liiklusseadus.* [Online.] Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/131122024008?leiaKehtiv.

[2] Majandus- ja taristuminister. (2011, Veeb. 22). *Liiklusmärkide ja teemärgiste tähendused ning nõuded fooridele.* [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/103032011006?leiaKehtiv.

[3] *Teemärgised ja nende kasutamine*, EVS 614:2022, MTÜ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, Tallinn, Eesti, Apr. 2022.

[4] Transpordiamet (end. Maanteeamet). *Riigiteede teekattemärgistus. Riigiteede teekattemärgistuse valiku, paigaldamise, kontrollimise ja eemaldamise juhend. 2016-3.* (2016). [Online]. Available: https://www.transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2022-01/riigiteede_teekattemargistuse_juhend.pdf.

[5] *Teemärgistusmaterjalid. Pealepuistematerjalid. Klaaskuulid, libisemisvastased materjalid ja nende kahe segud,* EVS-EN 1423:2012, MTÜ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, Tallinn, Eesti, Mär. 2013.

[6] T. Kaal, T. Kaal, J. Turley, F. Kenny, M. Brogan, and L. Kaal,˝Teekattemärgistuse valgustpeegelduvuse mobiilne mõõtmine riigi tugimaanteedel,˝ ERC Konsultatsiooni OÜ, Tallinn, Eesti, ERC/14/2022, 2022.

[7] *Road marking materials – Road marking performance for road users and test methods,* EVS-EN 1436:2018, MTÜ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, Tallinn, Eesti, Veeb. 2018.

[8] D. Babic, D. Babic, M. Fiolic, and M. Ferko,˝Road Markings and Signs in Road Safety,˝ *Encyclopedia*, vol. 2, 2022, pp. 1738-1752, doi: https://doi.org/10.3390/encyclopedia2040119.

[9] Federal Highway Administration. *11th Edition of the Manual on Uniform Traffic Controll Devices*. (2023). [Online]. Available: https://mutcd.fhwa.dot.gov/kno_11th_Edition.htm.

[10] N. Meena,˝A Review of Literature on Geometric Design of Highway,˝ *Neuroquantology*, vol. 20, 2022, pp. 4429-4436, doi: 10.48047/nq.2022.20.22.nq10443.

[11] M. Cickovic,˝Influence of human behaviour on geometric road design,˝ *Transportation Research Procedia*, vol. 16, 2016, pp. 4364-4373, doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.358.

[12] C. Blumentrath and M. S. Tveit,˝Visual characteristics of roads: A literature review of people's perception and Norwegian design practice,˝ *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 59, 2014, pp. 58-71, doi: https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.10.024.

[13] D. Babic, M. Fiolic, D. Babic, and T. Gates,"Road Markings and Their Impact on Driver Behaviour and Road Safety: A Systematic Review of Current Findings," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2020, 2020, pp. 1-19, doi: https://doi.org/10.1155/2020/7843743.

[14] C. Jurewicz, A. Sobhani, J. Woolley, J. Dutschke, and B. Corben,"Exploration of Vehicle Impact Speed – Injury Severity Relationships for Application in Safer Road Design," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, 2016, pp. 4247-4256, doi: https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.396.

[15] Victoria Walks, "Safe speed." victoriawalks.org.au. Accessed: Feb. 7, 2025. [Online]. Available: https://www.victoriawalks.org.au/safe_speed/.

[16] *Linnatänavad*, EVS 843:2016, MTÜ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, Tallinn, Eesti, Apr. 2016.

[17] Majandus- ja taristuminister. (2023, Nov. 17). *Tee projekteerimise normid.* [Online.] Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/122112023009.

[18] The Department for Transport of UK. Traffic Signs Manual. Chapter 5. Road Markings. (2018). [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5c4ace6ded915d38a0611abc/traffic-signs-manual-chapter-05.pdf.

[19] L. Vyskocilova, K. Bucsuhazy, R. Zuvala, R. Striegler, and J. Ambros,"What influences lateral position in horizontal curves?," *Results in Engineering,* vol. 18, 2023, pp. 1-7, doi: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101146.

[20] Transpordiamet, "Nullvisioon." transpordiamet.ee. Accessed: Veeb. 3, 2025. [Online]. Available: https://www.transpordiamet.ee/nullvisioon#:~:text=Nullvisioon%20on%20eelk%C3%B5ige%20strateegiline%20raamistik,hukku%20ega%20saa%20raskelt%20vigastada.

[21] Google Scholar, scholar.google.com. Accessed: Veeb-Aprill, 2025. [Online]. Available: https://scholar.google.com/.

[22] The Health and Safety Executive, "Introduction to human factors." hse.gov.uk. Accessed: 4 Märts, 2025. [Online]. Available: https://www.hse.gov.uk/humanfactors/introduction.htm.

[23] A. Smiley and C. Rudin-Brown,"Human Factors in Transportation," *International Encyclopedia of Transportation*, vol. 2, 2021, pp. 331-345, doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10148-4.

[24] European Union Road Federation. *Marking the way towards a safer future.* (2013). [Online]. Available: https://erf.be/publications/marking-the-way-towards-a-safer-future/.

[25] S. R. Geedipally, P. Songchitruksa, and A. M. Pike,"Quantifying the Effectiveness of Performance-Based Pavement Marking Maintenance Contracts," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2482, 2015, pp. 23-31, doi: 10.3141/2482-04.

[26] A. Pike, P.Songchitruksa, S. Geedipally, D. Kang, and Ivan Damnjanovic, ″Evaluating the effectiveness of performance based pavement marking maintenance contracts in texas,″ Texas A&M Transportation Institute, Texas, USA, FHWA/TX-14/0-6705-1, 2014.

[27] A. Vadeby *et al*.,″Speed and Crash Risk,″ The International Transport Forum, Pariis, Prantsusmaa, 2018.

[28] A. E. Retallack and B. Ostendorf,″Relationship Between Traffic Volume and Accident Frequency at Intersections,″ *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, 2020, pp. 1-22, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph17041393.

[29] A. B. Parsa,″Pavement Condition and Traffic Safety: A Comprehensive Review of the Literature,″ University of Illinois at Chicago, Illinois, USA, 2020.

[30] National Road Safety Partnership Program, ″NRSPP Quick Fact: Dangers Of Driving At Night.″ nrspp.org.au. Accessed: 10 Märts, 2025. [Online]. Available: https://www.nrspp.org.au/resources/nrspp-quick-fact-dangers-of-driving-at-night/#:~:text=Crashes%20are%20very%20common%20at,likely%20to%20crash%20at%20night.

[31] H. Younes *et al*.,″The Traffic Calming Effect of Delineated Bicycle Lanes,″ *Journal of Urban Mobility*, vol. 5, 2024, pp. 1-10, doi: https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2024.100071.

[32] M. Gharibi and J.P. Clarke,″On the number of freeway lanes and its positive or negative effect on safety,″ The University of Texas at Austin, Texas, USA, 2024.

[33] Google Maps, google.com/streetview/. Accessed: Märts-Aprill, 2025. [Online]. Available: https://www.google.com/streetview/.

[34] S. Tavstõgin, Foto erakogust, 2025.

[35] Eesti Pimedate Liit, ″Joonised.″ pimedateliit.ee. Accessed: 16 Märts, 2025. [Online]. Available: https://pimedateliit.ee/joonised/.

[36] A. Lahi *et al*.,″Nordic e-pavement teadus- ja arendusprojekt,″ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna Tehnikakõrgkool, AS Teede Tehnokeskus, Tallinn, Eesti, 2017.

[37] J. Markosian and D. A. Noyce,″Examining the Effects of a Signless Roadway: Holographic Traffic Control Devices and their Potential for Replacing Traditional Post Mounted Traffic Control Devices,″ University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, USA, 2016.

[38] Destia Oy, destia.fi. Accessed: Aprill, 2025. [Online]. Available: https://www.destia.fi/en/.

[39] Transpordiamet (end. Maanteeamet). *Riigiteede ajutine liikluskorraldus. Juhend liikluse korraldamiseks riigiteede ehitus- ja korrashoiutöödel*. *MA 2018-009.* (2018). [Online]. Available: https://www.transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-10/riigiteede_ajutise_liikluskorralduse_juhend_ma_2018-009%20%281%29.pdf.

[40] *Foorid ja nende kasutamine*, EVS 615:2021, MTÜ Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, Tallinn, Eesti, Sep. 2021.

[41] Majandus- ja taristuminister. (2018, Juul. 13). *Nõuded ajutisele liikluskorraldusele.* [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/119072018012.

[42] Toyota Motor Europe NV/SA, Omaniku käsiraamat. Corolla Sedan. Brüssel, Belgia, 2021.