TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

TEEÜLETUSKOHTADE OHUTUSE HINDAMISE METOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE SAFETY OF PEDESTRIAN CROSSINGS

Magistritöö

Üliõpilane: Rauno Rämman
Üliõpilaskood: 242190EALM
Juhendaja: Tanel Jairus, Doktorant-nooremteadur

Tallinn 2026

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

/ kuupäev digiallkirjas /

Autor: Rauno Rämman

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

/ kuupäev digiallkirjas /

Juhendaja: Tanel Jairus

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

/ kuupäev digiallkirjas /

Kaitsmiskomisjoni esimees Jelizaveta Janno

/ allkirjastatud digitaalselt /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS[1]

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rauno Rämman,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Teeületuskohtade ohutuse hindamise metoodika väljatöötamine,
mille juhendaja on Tanel Jairus

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

21.05.2026

---

[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.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

Üliõpilane: Rauno Rämman, 242190ealm

Õppekava, peaeriala: EALM02/24 - Logistika, liikuvuskorraldus

Juhendaja(d): Tanel jairus, Doktorant-nooremteadur, Tanel.jairus@taltech.ee

Lõputöö teema:

Teeületuskohtade ohutuse hindamise metoodika väljatöötamine

Development of a Methodology for Assessing the Safety of Pedestrian Crossings

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua hindamismetoodika riigiteede teeületuskohtade ohutuse hindamiseks.
2. Teha läbi ohutuse hindamine Harjumaa näitel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teema valimine ja kavandi koostamine	15.10.2025
2.	Kavandi kaitsmine	09.12.2025
3.	Teooria kogumine	30.12.2025
4.	Töö valmis	07.05.2026
5.	eelkaitsmine	08.05.2026
6.	Töö esitamine	22.05.2026
7.	Kaitsmine	03.06 ja 05.06

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 22.05.2026

Üliõpilane: Rauno Rämman /kuupäev digiallkirjas/
/allkiri/

Juhendaja: Tanel Jairus /kuupäev digiallkirjas/
/allkiri/

Programmijuht: Jelizaveta Janno /kuupäev digiallkirjas/
/Allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA 7

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU 8

SISSEJUHATUS 10

1. TEOREETILINE TEEMAKÄSITLUS 12

1.1 Liikluskeskkond 12

1.2 Ohutuse hindamine 15

1.2.1 Taristuohutuse juhtimise põhiprotsessid 15

1.2.2 Liiklusohutuse hindamise praktikad Eestis ja välismaal 19

1.3 Teeületuste liiklusohutuse varasem käsitlus Eestis 20

1.3.1 Põhi- ja tugimaanteede ülekäikude tähistamine 20

1.3.2 Töövahend liiklusohutuse hindamiseks 21

1.3.3 Kooliümbruse liikluskeskkonna ohutuse hindamise tööriist 22

1.3.4 Kiirus, peatumisteekond ja kokkupõrke raskusaste 23

1.4 Normidest tulenev määratlus 25

2. METOODIKA 28

2.1 Ülesehitus ja uurimisküsimused 28

2.2 Andmestik ja andmete päritolu 29

2.3 Hindamisparameetrite valik 30

2.3.1 Punktiskoori kujundamise protsess ja korratavus 32

2.3.2 Riskiklasside ja riskiprofiilide kujundamine 34

2.4 Parendusmeetmete loogika riskiprofiilide lõikes 36

3. ANALÜÜS JA TULEMUSED 38

3.1 Andmestiku ülevaade ja eeltöötlus 38

3.1.1 Valim ja objektide jaotus 38

3.1.2 Andmete eeltöötlus 40

3.2 Koondindeksi lõplik kuju 41

3.2.1 Sisendmuutujate teisendamine indeksiteks 41

3.2.2 Kaalude määramine 43

3.2.3 Koondindeksi valem, punktiskoor ja riskiklassid 44

3.2.4 Punktiskoori jaotus 44
3.3 Riskiklasside jaotus Harjumaa valimis 45
3.4 Riskiprofiilid Harjumaa valimis 46
3.5 Parandusmeetmed riskiprofiilide lõikes 48
3.6 Järeldused analüüsist 51
KOKKUVÕTE 53
SUMMARY 56
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU 59

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema sõnastati praktilisest vajadusest luua riigiteedel paiknevate teeületuskohtade ohutuse hindamiseks ühtne ja rakendatav metoodika. Magistritöö aluseks olevad põhiandmed koguti teeregistri väljavõtetest, Transpordiameti andmekogudest ning liiklusõnnetuste andmestikust, keskendudes Harjumaa riigiteedel paiknevatele teeületuskohtadele.

Magistritöö eesmärk oli töötada välja teeületuskohtade ohutuse hindamisraamistik, mis võimaldaks objekte omavahel võrrelda, jaotada need riskiklassidesse ning siduda tulemused sobivate parendusmeetmetega. Selleks koondati teeületuskohtade kohta andmed kiiruse, liiklussageduse, ühes osas ületatava teeosa laiuse, nähtavuse, valgustuse ja õnnetusajaloo kohta ning kujundati nende põhjal koondindeks. Töö tulemusena valmis praktiline metoodika, mida saab kasutada teeületuskohtade riskitaseme hindamiseks ja probleemsemate objektide tuvastamiseks.

Autor avaldab tänu juhendaja Tanel Jairusele sisuliste soovituste, asjakohase tagasiside ja toetuse eest magistritöö koostamisel.

Võtmesõnad: teeületuskoht, liiklusohutus, riskihindamine, koondindeks, magistritöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

AKÖL – aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (sõidukit/ööpäev)

FHWA – USA föderaalne maanteeamet (*Federal Highway Administration*) *(kirjanduses kasutatud allikas)*

KLT – kergliiklustee

LM – liiklusmärk

LS – liiklussagedus (AKÖL; sõidukit/ööpäev) – koondindeksi sisendmuutuja

L – sõidutee / katte laius (m) – koondindeksi sisendmuutuja

LKF**-** Eesti Liikluskindlustuse Fond

lux – valgustuse hinnang (skaalal 0–4; 0 = väga hea, 4 = puudulik/puudub) – koondindeksi sisendmuutuja

M – mõjuindeks (tagajärgede raskuse komponent riskihinnangus)

N – nähtavuse hinnang (skaalal 0–4; 0 = väga hea, 4 = väga halb) – koondindeksi sisendmuutuja

NSR – ohutustaseme määramine (*Network Safety Ranking*)

PIARC – Maailma Teedeliit (*World Road Association*)

R – koondindeks / riskiskoor (valemipõhine punktiskoor)

RIA – liiklusohutusele avalduva mõju hindamine (*Road Safety Impact Assessment*)

RSA – liiklusohutuse auditeerimine (*Road Safety Audit*)

RSI – liiklusohutuse inspekteerimine (*Road Safety Inspection*)

TEN-T – üleeuroopaline transpordivõrk (*Trans-European Transport Network*)

UNECE – ÜRO Euroopa Majanduskomisjon (*United Nations Economic Commission for Europe)*

V – kiirus ületuskoha teelõigul (km/h); eelistatult V_{85}, andmete puudumisel lubatud suurim kiirus – koondindeksi sisendmuutuja

V85 / V_{85}– 85. protsentiilikiirus/kiirus mida ei ületa 85% liiklejaid (km/h)

V*, LS*, L*, N*, lux* – vastava muutuja normaliseeritud väärtus vahemikus 0…1

w_V = kiiruse komponendi kaal

w_LS = liiklussageduse komponendi kaal

w_L = laiuse komponendi kaal

w_N = nähtavuse komponendi kaal

w_lux = valgustuse komponendi kaal

w_Õ = õnnetuskomponendi kaal

SISSEJUHATUS

Teeületuskohad on liiklusohutuse seisukohalt kriitilised taristuelemendid, sest koondavad samasse ruumi vähekaitstud liiklejad (jalakäijad ja jalgratturid) ning suurema massi ja kiirusega mootorsõidukid. Käesolevas magistritöös kasutatakse teeületuskoha koondmõistet reguleerimata samatasandiliste teeületuslahenduste kohta, mille alla kuuluvad ülekäigukohad ja ülekäigurajad. Ülekäiguraja puhul on sõidukijuhil kohustus anda jalakäijale teed, ülekäigukoha puhul jalakäijal eesõigus puudub. Käesolev töö käsitleb neid lahendusi koos, kuna mõlemad moodustavad riigiteedel kasutatavate korraldatud teeületuskohtade põhiosa. Samatasandiline teeületus tekitab paratamatult konfliktiolukorra võimaluse ning õnnetuse korral määrab tagajärgede raskuse suurel määral sõidukiirus. Riigiteedel, eriti asulavälistel teelõikudel, on see probleem teravam kui linnakeskkonnas, kuna kiirusrežiim on kõrgem ning juhil on vähem aega ületuskohta tajuda, olukorda hinnata ja vajadusel pidurdada. Samal ajal on teeületuskohtade olemasolu sageli vältimatu, sest kergliiklejad peavad jõudma elukohtade, bussipeatuste ja teenuste juurde ning teekonnad kujunevad praktikas sageli loogika järgi – ületatakse seal, kus on otstarbekas, isegi juhul kui ametlikult korraldatud ületus puudub või on liiga kaugel.

Eestis on teeületuskohtade käsitlemisel oluline väljakutse see, et otsustamine tugineb tihti üksikutele juhtumitele või pöördumistele, samas kui võrgutasandil otsustamiseks oleks vaja selgeid prioriteete: millised ületuskohad on ohutuse mõttes kõige probleemsemad ja milliste sekkumistega on võimalik saavutada suurim mõju. Õnnetusstatistikast üksi ei piisa, sest paljudel kohtadel võib jalakäijate teeületus olla hõre ning õnnetusi toimub harva, kuid risk võib olla kõrge (nt suur kiirus, lai ristlõige, piiratud nähtavus või puudulik valgustus). Sellistes tingimustes võib üksik konflikt realiseeruda raskete tagajärgedega, mistõttu on vajalik riskipõhine ja ennetav lähenemine, mis arvestab nii konflikti tekkimise tõenäosust kui ka tagajärgede raskust.

Käesoleva magistritöö eesmärk on töötada välja ühtne ja praktiliselt rakendatav metoodika riigiteedel paiknevate teeületuskohtade liiklusohutuse hindamiseks ning rakendada seda Harjumaa näitel. Metoodika eesmärk on võimaldada ületuskohtade võrreldavat hindamist, jaotamist riskiklassidesse ning riskiprofiilidest lähtuvate parendusmeetmete määratlemist. Töö keskendub eeskätt reguleerimata samatasandilistele ületusvõimalustele (ülekäigukohad ja ülekäigurajad), mille puhul ohutus sõltub tugevalt teekeskkonnast.

Töös püstitatakse neli uurimisküsimust. Esiteks uuritakse millised parameetrid on teeületuskoha hindamisel olulised. Teiseks uuritakse kuidas kujundada ühtne punktiskoor nii, et see oleks erinevate hindajate lõikes korratav ja eri objektide vahel

võrreldav. Kolmandaks hinnatakse kuidas jaotuvad teeületuskohad riskiklassidesse ning millised on klasside tüüpilised profiilid. Neljandaks analüüsitakse millised parendusmeetmed on eri riskiprofiilide puhul suurima mõjuga.

Empiirilise analüüsi alus on teeregistri andmetest koostatud väljavõte, mis on koondatud Exceli tabelisse ja sisaldab uuritavate teeületuskohtade loetelu ning neid kirjeldavaid tunnuseid. Metoodika kujundamisel kasutatakse riskipõhist lähenemist, kus koondindeks kombineerib valemipõhiselt ületuskoha ohutust mõjutavad komponendid: kiirus teelõigul (tähis V; eelistatult V85, andmete puudumisel lubatud suurim kiirus), liiklussagedus (tähis LS), sõidutee laius (tähis L), nähtavuse hinnang (tähis N), valgustuse hinnang (tähis lux) ja õnnetusajalugu(tähis Õ). Selline ülesehitus võimaldab ühtlustada eri tüüpi sisendid üheks võrdlusnäitajaks ning toetab ületuskohtade prioriseerimist.

Töö praktiline väärtus seisneb selles, et väljatöötatav metoodika loob aluse teeületuskohtade süsteemseks käsitlemiseks: tulemuseks ei ole üksnes probleemide loetelu, vaid järjestus ja riskiprofiilid, mis võimaldavad siduda iga objekti sobiva sekkumiste paketiga. See aitab suunata piiratud ressursse kohtadesse, kus oodatav ohutusmõju on suurim, ning toetab otsustamist olukordades, kus avalikkuse huvi või korduvad pöördumised vajavad selgelt põhjendatud lahendusi.

1. TEOREETILINE TEEMAKÄSITLUS

Käesolevas peatükis käsitletakse teeületuskohtade ohutuse hindamise teoreetilisi lähtekohti. Peatükis avatakse teeületuskohtade liikluskorralduslik tähendus, ohutust mõjutavad põhitegurid ning liiklusohutuse hindamise peamised põhimõtted. Samuti antakse ülevaade Eestis kasutatud varasematest käsitlustest ja töö seisukohalt olulistest normidest. Peatükk loob aluse magistritöö metoodika ülesehitusele ja tulemuste hilisemale tõlgendamisele.

1.1 Liikluskeskkond

Teedel paiknevate teeületuskohtade ohutuse käsitlemisel on oluline alustada ületuslahenduste liikluskorralduslikust tähendusest. Reguleerimata ületuskohad on liikluskorralduslikult eristatavad kaheks lahenduseks. Ülekäigurajal lasub sõidukijuhil kohustus anda jalakäijale teed, samal ajal kui ülekäigukohal jalakäijal sõidukijuhi suhtes eesõigus puudub. Mõlemal juhul on oluline, et ületus oleks selgelt märgistatud ja liiklejale üheselt mõistetav. Eesti õigusruumis on jalakäija sõidutee ületamise kohad ja põhinõuded sõnastatud liiklusseaduses, kus ületuskohtadena on nimetatud ülekäigurada ja ülekäigukoht ning rõhutatud, et sõiduteed tuleb ületada lühimat võimalikku teed mööda ning ohutussaare olemasolul selle kaudu.[1]

Eesti õigusruumis eristatakse kahte reguleerimata teeületuslahendust, mille puhul jalakäija eesõigus on erinev. Rahvusvahelises võrdluses ei ole selline jaotus siiski täielikult tavapärane. Rootsis eristatakse *Övergångsställe't* ja *Gångpassage'i*: esimesel juhul peab juht andma jalakäijale teed, teisel juhul jalakäijal automaatset eesõigust ei ole. Soomes ja Norras on ametlikes liiklusreeglites keskne märgistatud jalakäijaületus vastavalt *Suojatie* ja *Gangfelt*, mille puhul peab juht andma teed jalakäijale, kes on ületuskohal või sellele astumas. Seega on Eesti ülekäigukoha lahendusele kõige lähedasem Rootsi *Gångpassage*, Soome ja Norra lahendus sarnaneb aga enam Eesti ülekäiguraja loogikaga.[2], [3], [4]

Ületuskoha ohutust ei määra üksnes juriidiline staatus (eesõiguse olemasolu või puudumine), vaid ka see, kas lahendus on liikleja jaoks üheselt tajutav ja kooskõlas ümbritseva liikluskeskkonna loogikaga. Kaasavat elukeskkonda käsitlevas juhendmaterjalis rõhutatakse, et korraldatud ületus peab olema selgelt eristatav ning ületuskohad peaksid olema loogilisel trajektooril, võimalikult lühikesed ja risti sõiduteega, samuti tuleb tagada vajalik nähtavus nii ületajale kui ka lähenevale sõidukijuhile.[5]

Need põhimõtted on eriti kriitilised asulavälistel teedel, kus liikumiskiirused on kõrgemad ning väiksemgi arusaamatus näiteks ületuskoha vähene märgatavus või ootamatu paiknemine võib viia suure mõjuga konfliktini.[6]

Antud magistritöö kontekstis tuleb käsitleda teeületuskoha ohutust kahe teguri koosmõjuna-Konflikti tekkimise tõenäosus(kui sageli tekib olukord, kus kergliikleja ja sõiduk samal ajal konfliktalasse satuvad) ning tagajärgede raskus(sõltub otseselt kiirusest)[7], [8].Kiiruse rolli jalakäijate ohutuses käsitlev *PIARC-i* kongressi ettekande materjal toob kiiruse juhtimise esile kui jalakäijate ohutust tugevalt mõjutava teguri ning koondab rahustavate meetmete rakendamise loogika eelkõige konfliktide ja nende tagajärgede vähendamisele[9]. Sarnast lähenemist toetab liiklusohutuse käsiraamat, mida kasutatakse rahvusvahelises kirjanduses kiiruse ja ohutusmeetmete mõjude kirjeldamisel[10].

Teeületuskoha kavandamisel ja hindamisel on seetõttu keskne küsimus, kuidas kujundada konfliktiala selliselt, et teeületus oleks lühike, loogiline ja hästi märgatav ning, et sõidukijuhi jaoks oleks teeületuskohale lähenemine etteaimatav. Kaasava elukeskkonna põhimõtete järgi ei tohiks teeületusvõimaluse puudumine või halb paiknemine sundida inimest tegema ebaloogilisi kõrvalepõikeid(näiteks asjatult tee poolt vahetama või valima juhuslikku ületuskohta), sest see suurendab liiklusõnnetuse toimumise riski.[5] [11]

Üheks praktiliseks viisiks ületuse tajutava keerukuse vähendamisel on teeületuse jaotamine etappideks. Liiklusseadus rõhutab ohutussaare rolli ületuse trajektooris (ohutussaare olemasolul tuleb ületada selle kaudu), mis toetab lähenemist, kus ületus toimub kahe eraldi otsustusena, mitte "ühe hooga" üle mitme sõiduraja[1]. Samas on see lahendus piiratud ruumiliste ja funktsionaalsete tingimustega (nt tee ristlõige, eraldusriba olemasolu, hooldatavus ja lumetõrje), mistõttu tuleb ohutussaare rakendamist hinnata objekti- ja kontekstipõhiselt.

Lisaks keskmisele kasutajale tuleb ületuskohtade puhul arvesse võtta ka erivajadustega ja erineva suutlikkusega liiklejaid, ületuslahendused peavad olema tajutavad ning loogilised ning ületuse korraldus ei tohi muuta kergliiklejale teekonda ebamõistlikult pikaks, samuti võiksid kõik tihedamalt kasutatavad teeületused olla valgustatud.[5], [12]

Sellest tulenevalt on asjakohane rakendada universaalse disaini loogikat (nt ületuse loetavus, kontrastid ja üheselt mõistetav ruumiline suunamine), sest riigiteedel paiknevad ületused teenindavad sageli ka liikumisraskustega inimesi, eakaid ning lapsi, kelle riskitaju ja liikumiskiirus erinevad oluliselt[5].

Sobiva teeületuse lahenduse valik peab tuginema eelkõige lubatud sõidukiirusele ja liiklussagedusele, sest need mõjutavad nii konfliktiriski kui ka sobiva taristulahenduse valikut[13]. Arvestades, et teetüübi järgi muutub ristlõike laius ja sõiduradade arv, tuleb kergliiklejate liikumisvajaduse tõttu kujundada sõidutee ületamisega seotud konfliktiala võimalikult turvaliseks.

Sõidukite kiirus on üks keskseid tegureid, mis määrab õnnetuse korral vigastuste raskuse: suuremad kiirused toovad kaasa raskemad tagajärjed [10]. Vähekaitstud liiklejate puhul suureneb kokkupõrkes hukkumise risk märgatavalt juba suhteliselt madalatel kiirustel, sh alates ligikaudu 30 km/h, mistõttu on kiiruste juhtimine oluline osa ületuskohtade ohutuse tagamisest [10], [14], [15]. Liiklejate käitumist saab tõhusalt mõjutada taristu ja keskkonna kaudu: kui ruumilahendus on kooskõlas ümbruse funktsiooni ja kasutajate vajadustega, on liiklejal lihtsam mõista, miks ja kus tuleb kiirust vähendada ning ettevaatlik olla[16].

Inimkeskse tänavaruumi kujundamisel täiendavad teineteist ruumikujunduslikud võtted (nt haljastus ja tänavamööbel) ning tehnilised meetmed (nt liikluse rahustamine ja ligipääsetavuse parandamine), mille koostoime aitab vähendada ohuolukordi ja toetada ohutut liiklemist [5], [10], [17]. Kergliikleja vaates peaks ületuskoht paiknema trajektooril, mis on loogiline, hea nähtavusega ning eelistatult võimalikult lühike, et vähendada aega, mil ollakse sõiduteel [1]. Ülekäiguraja rajamisel on oluline arvestada ka selle eeldatava kasutusega: suurema kasutuskoormusega ületuskohtade läheduses võivad liiklusvoo omadused sh kiirused ja vahed muutuda, mis nõuab sõidukijuhtidelt suuremat tähelepanu [10]. Samas toetab ohutust ka see, et juhid harjumuspärasel teelõigul õpivad kogemuse põhjal suure kasutusega ületuste läheduses jalakäijate võimalikku liikumist paremini ette nägema.

Ületuse tajutava keerukuse vähendamiseks on sageli otstarbekas lahendus ohutussaare kasutamine, mis jaotab sõidutee ületamise kaheks etapiks. Nii peab jalakäija korraga jälgima vähem lähenevaid sõidusuundi ning samal ajal väheneb konfliktipiirkond, kus jalakäija ja sõidukite trajektoorid võivad kattuda [10], [16], [18]. Kiiruste vähendamiseks kasutatakse praktikas nii vertikaalseid meetmeid (nt tõstetud ülekäigurajad ja ristmikud) kui ka horisontaalseid lahendusi (nt sõidutee kitsendused, ohutussaared ja suunamuutetakistused) [10].

Taristu kavandamisel ei piisa üksnes "keskmise" kasutaja arvestamisest, vaid tuleb hinnata, kuidas lahendus toimib eri vanuses ja erineva võimekusega liiklejatele. Näiteks võib madaldatud äärekivi olla lapsevankriga või jalgrattaga liiklejale pigem mugavus, kuid piiratud liikumisvõimega inimese jaoks võib see olla ületuse tegelik eeldus.

1.2 Ohutuse hindamine

Liikluskeskkonna ohutust ei hinnata üksnes juhtunud õnnetuste põhjal, vaid seda käsitletakse järjest enam tervikliku juhtimisprotsessina, mis hõlmab nii kavandatavaid kui ka kasutuses olevaid teid. Sellise lähenemise eesmärk on märgata ohtusid enne, kui need avalduvad õnnetustena, ning siduda taristuarendus ennetusmeetmetega. Rahvusvahelises praktikas hakati süsteemse taristuohutuse hindamise metoodikaid laiemalt kujundama juba 1980.–1990. aastatel, mil Suurbritannia maakondade volikogude juures tegutsenud töögrupid koondasid liiklusõnnetuste uurimise ja ennetustöö kogemuse metoodikaks ning nõuete kogumikuks. Nende eesmärk oli anda teedevõrgu haldajatele praktilised tööriistad, millega vähendada õnnetuste toimumise tõenäosust. Kui meetmed osutusid olemasoleva taristu hindamisel tulemuslikuks, laiendati sama loogika ka uute teelõikude kavandamise ja projekteerimise faasidesse.[15], [19]

Euroopa Liidu tasandil raamib taristuohutuse korraldamist Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv, mis seob infrastruktuuri ohutuse *TEN-T* võrgu arendamise ja ühenduse liiklusohutuspoliitikaga.[20] Direktiivi kohaldatakse kohustuslikult üleeuroopalisse teedevõrku kuuluvate projekteeritavate, ehitatavate ja kasutuses olevate maanteede suhtes, rõhutades taristu rolli õnnetuste ennetamisel. 2019. aasta novembris direktiivi täiendati: kohaldamisala laiendati nii, et lisaks *TEN-T* teede hindamisele hõlmatakse ka kiirteed ning teised *TEN-T* võrguga seotud põhimaanteed. Uuendatud nõuete rakendamiseks anti liikmesriikidele tähtaeg 2021. aasta detsembri keskpaigani, et kehtestada vajalikud õigus- ja haldusnormid. Ühtlasi on liikmesriikidel võimalus rakendada parimaid tavasid ka *TEN-T* võrku mitte kuuluvatel teedel, kuid seal jääb see üldjuhul vabatahtlikuks. Direktiivi lisad annavad suunised, milliseid ohutusaspekte taristu hindamisel käsitleda, ning määratlevad audiitorite pädevus- ja koolitusnõuded. [15], [20], [21]

1.2.1 Taristuohutuse juhtimise põhiprotsessid

UNECE käsitlustes eristatakse teetaristu ohutuse korraldamisel mitut standardset tegevust, mis erinevad eesmärgi ja rakenduskonteksti poolest. Strateegilisel tasandil kasutatakse liiklusohutusele avalduva mõju hindamist, mille fookus on alternatiivide võrdlemisel ja selle selgitamisel, kuidas uus maantee või olulised võrgumuudatused mõjutavad ohutust tervikuna. Projekti tasandil rakendatakse liiklusohutuse auditeerimist, mis on sõltumatu, süsteemne ja tehniline kontroll infrastruktuuriprojekti lahendusele. Olemasoleva taristu puhul kasutatakse liiklusohutuse inspekteerimist, mis võib olla kas konkreetsele probleemile suunatud kohapealne kontroll või regulaarne perioodiline ülevaatus, millega tuvastatakse hooldus- ja korrigeerimisvajadused.

Võrgutasemel rakendatakse ohutustaseme määramist, mis liigitab teedevõrgu osi objektiivsete mõõtmiste alusel nende „sisseehitatud" ohutuse järgi. Direktiivis kirjeldati eraldi ka suure õnnetuskoormusega lõikude menetlust (*black spot*), kuid 2019. aasta muudatustega ei ole see protseduur enam eraldiseisva elemendina sätestatud. [15], [20], [21]

Rakendamise loogika seisukohalt eristatakse neid tegevusi sageli ennetavateks (proaktiivseteks) ja reaktiivseteks (probleemide ilmnemisel kasutatavateks) sekkumisteks. Inspekteerimist on võimalik kasutada mõlemas rollis, kuid praktikas nähakse seda sageli ennetava töövahendina, sest selle abil saab tuvastada ohtusid enne, kui need väljenduvad õnnetustes.[14], [22], [23]

Käesolevas töös on rõhk eeskätt auditeerimisel ja inspekteerimisel, sest nende tulemusena valmib konkreetse objektiga seotud audit. Liiklusohutuse audit on sõltumatu audiitorirühma koostatud aruanne, mis põhineb taristu (projekteeritava või olemasoleva) liikluslahenduse tehnilisel ja süstemaatilisel kontrollil; aruandes tuuakse välja potentsiaalsed ohutegurid ning antakse soovitused riskide vähendamiseks või puuduste kõrvaldamiseks. Ohutushindamise detailid ja kohaldamispiirid sõltuvad seejuures nii EL-i kui ka riigisisesest regulatsioonist ning neid täiendatakse ajas vastavalt vajadusele.[10], [19], [20], [21]

Auditeerimine on suunatud eelkõige projektile ning seda tehakse mitmes projekteerimis- ja kasutuselevõtufaasis: eelprojekti etapis, põhiprojekti etapis, vahetult enne tee avamist liiklusele ning varases kasutusetapis pärast avamist.[21], [24] Varajane sekkumine on oluline, sest mida varem ohutusriskid tuvastatakse, seda lihtsam ja kuluefektiivsem on lahendusi korrigeerida. [10], [19]

Inspekteerimine keskendub olemasolevale teele või teelõigule ning selle eesmärk on hinnata taristu seisundit ja liikluslahendust ohutuse vaates[20], [21]. Protsess algab taustainfo kogumisega (nt liiklusloendused, skeemid ja joonised, kehtivad piirangud, varasemad õnnetused), kuid sisuliselt kõige olulisem osa on kohapealne kontroll ja vaatlus[14].Kohapeal hinnatakse, kas teekeskkonna kujundus, liikluskorraldus, teedeehituslikud lahendused või valgustustingimused võivad liiklejat eksitada ning seeläbi suurendada õnnetuste või vigastuste riski.[14], [20], [21], [25]

Oluline metoodiline küsimus inspekteerimisel on, millal tutvuda detailsete õnnetusmustritega. Kuna inspekteerimine ei ole olemuselt varasemate õnnetuste põhjuseanalüüs, on võimalik teha kohapealne vaatlus enne õnnetuste täpse jaotuse läbitöötamist, et vältida eelinfo mõju tähelepanekutele ning märgata ka alternatiivseid ohtusid[19], [25]. Samas võib tellija vajadusel soovida just sihistatud kontrolli ning

teatud õnnetusmustrid võivad anda selleks selge suuna. Inspekteerimist kasutatakse nii teelõikude ja ristmike ülevaatusel kui ka rekonstrueerimisobjektidel.[26]

Liiklusohutuse hindamist teostavad audiitorid, kellele on kehtestatud pädevusnõuded: enne auditi või inspekteerimise tegemist tuleb läbida koolitus ning hiljem osaleda regulaarselt täiendkoolitustel; pädevus peab olema tõendatud. Audiitori roll on eeskätt sõltumatu eksperdina hinnata objekti kõrvalseisja pilguga – ta ei tohi olla muul moel seotud hinnatava projektiga[14], [20], [21]. Praktikas on audiitori väärtus seotud kogemuse ja taustteadmistega (insenertehnilised ja liikluskorralduslikud lahendused, liikluskäitumine jm) ning oskusega näha taristut erinevate liiklejagruppide perspektiivist. Kuna hinnang sõltub paratamatult ka eksperdi kogemuste pagasist ja lähenemisest, soovitatakse auditeerimisel ja inspekteerimisel kasutada vähemalt kahe kogenud spetsialisti meeskonda. Mitme eksperdi koostöös on tõenäolisem, et olulised aspektid ei jää tähelepanuta ning arutelud aitavad jõuda sisukamate ja paremini põhjendatud järeldusteni.[19]

Üks levinud töövahend on kontroll-leht, mis koondab aspektid, millele hindamisel süstemaatiliselt tähelepanu pöörata. Erinevate etappide ja objektitüüpide jaoks on loodud spetsiifilised kontroll-lehed, mis aitavad läbivaatust struktureerida. Kontroll-lehe kasutamine ei ole alati kohustuslik, kuid see toetab terviklikku käsitlust. Samal ajal ei ole kontroll-leht kunagi ammendav ning audiitor peab oma kogemusele tuginedes arvestama ka muid ohutust mõjutavaid tegureid. [14], [19]

Hindamise tulemusena koostatakse ametlik aruanne, milles kirjeldatakse objekti, kasutatud lähteandmeid ja tausta ning esitatakse eksperthinnang. Aruande põhiosa moodustab tuvastatud puuduste loetelu ohutuse vaates ning soovitused probleemide vähendamiseks. Vajaduse korral võib aruanne sisaldada ka üldisemaid tähelepanekuid liikluslahenduse kohta; oluline on, et oht või kahtlane lahendus oleks dokumenteeritud, isegi kui iga võimalik parandus ei ole detailselt lahti kirjutatud. [14], [19]

Taristu planeerimisel toetutakse tavaliselt normidele, standarditele ja juhenditele, mis aitavad tagada ohutuse miinimumnõuete täitmise. Samas võib juhtuda, et üksnes minimaalsete kriteeriumite järgimine ei taga alati kasutaja vaates „andestavat" keskkonda: lahendus võib jätta vähese eksimisruumi ning väiksemgi viga võib kaasa tuua märkimisväärsed tagajärjed. Lisaks kirjeldavad standardid sageli tüüpolukordi, mistõttu ebatavaliste või kontekstipõhiste lahenduste hindamine ainult normitekstile toetudes võib olla keerukas. Seetõttu püütakse ohutustaseme hoidmiseks või tõstmiseks standardeid täiendada täiendavate juhendite ja hindamispraktikatega. [19], [22]

Ohutushindamise tellija (enamasti taristu haldaja) ei ole kohustatud kõiki auditis või kontrollis toodud tähelepanekuid ellu viima, kuid sõltumatu eksperdi riskihinnang annab otsustajale olulise vihje, millised puudused võivad olla kõige suurema mõjuga.

Riskihindamise klassikaline käsitlus määratleb riski kui kahe teguri koostoime: tõenäosus (sündmuse juhtumise võimalus või eeldatav sagedus) ja mõju (tagajärgede raskus). Liiklusohutuses on tõenäosust mõistlik tõlgendada ka kui kokkupõrke või ohuolukorra eeldatavat esinemissagedust, mõju aga kirjeldab võimalike tagajärgede tõsidust. [27]

Uurimustes on riskitegureid sageli rühmitatud viide kategooriasse: taristu ja liikluskeskkonna kvaliteet; keskkonnatingimused (ilm, valgustus jne); liiklejate haavatavus (nt jalakäijad ja jalgratturid, vähese kogemusega juhid); ohtlik käitumine ja rikkumised; ning meditsiiniabi kättesaadavus, mis võib olla probleemne hõreasustusega või raskesti ligipääsetavates piirkondades.[10]

Tõenäosuse ja mõju sidumiseks kasutatakse erinevaid meetodeid, kuid praktilise tööriistana on levinud riskihindamise raamistikud, mis aitavad hinnanguid ühtlustada ja muudavad tulemuse otsustajale arusaadavaks. Kasutatava skaala täpne ülesehitus ei ole seejuures sisuliselt määrav. Olulisem on, et riskitasemete vahemikud ja tõlgenduspõhimõtted oleksid selgelt kokku lepitud, et sama tüüpi olukordi hinnatakse järjepidevalt.[27].

Erinevates metoodikates on „väga kõrge", „kõrge" ja teiste riskitasemete piirid erinevad, mistõttu tuleb skaleerimine valida vastavalt ülesande eesmärgile ja andmete kvaliteedile. Sisuliselt on eesmärk kasutada sellist lähenemist, mis annab konkreetses kontekstis võimalikult usaldusväärse ja võrreldava tulemuse. [27]

Käesolevas lõputöös rakendatakse riskihindamise loogikat riigiteedel paiknevate teeületuskohtade ohtlikkuse võrdlevaks hindamiseks. Nendes tingimustes ei pruugi üksnes õnnetuste arv või olemasolu anda ammendavat pilti, sest liiklusmaht, kiirused ja nähtavusolud mõjutavad nii konflikti tekkimise tõenäosust kui ka võimalike tagajärgede raskust. Tõenäosuse ja mõju koosmõju arvestamine võimaldab prioriseerida objektid, kus isegi harva esinev konflikt võib suure kiiruse tõttu tähendada ränki tagajärgi, ning suunata meetmed kõige suurema riskiprofiiliga ületuskohtadele.

1.2.2 Liiklusohutuse hindamise praktikad Eestis ja välismaal

Liiklusohutuse hindamist seostatakse sageli eeskätt õnnetusstatistika ja selle -põhise analüüsiga. Nullvisiooni loogikast lähtudes tähendab see aga pigem tagajärgedele reageerimist. Ennetusmeetmena kasutatakse laialdaselt auditeerimise ja inspekteerimise protseduure, mis on osutunud kasutatavaks aastakümnete vältel ning mida saab kohandada erinevate objektitüüpide ja keskkondade jaoks. Kuna metoodika on üldjoontes universaalne ja modulaarne (osa elemente saab rõhutada sõltuvalt objekti iseloomust), sobib see põhimõtteliselt väga erinevate teeobjektide hindamiseks. [19], [28]

Taristuohutuse hindamisel käsitletakse tavaliselt teemaplokke, mis katavad nii geomeetria kui ka kasutusloogika: tee ja liiklussõlmede ristlõiked (sh teeäärsed alad), kehtiv kiirusrežiim ja parkimiskord, ristmike lahendused ja liikluskorraldusvahendid, nähtavus ja valgustus, katendi seisukord, kergliiklejate ohutus ning ühistranspordi peatuste ja raudteeületuskohtade seisund.[19], [29]

Mitmes riigis on tavapäraseid hindamisvorme täiendatud, et paremini arvestada keskkondade eripära. Näiteks on *PIARC* eristanud eraldi hindamisvorme linnalise ja maakeskkonna ning ristmike jaoks. Samuti on Austraalia, Uus-Meremaa, USA ja Kanada praktikas loodud juhendmaterjale kooliümbruse liiklusohutuse hindamiseks, et pöörata rohkem tähelepanu haridusasutuste lähialadele iseloomulikele riskidele. [15], [25], [30], [31]

Eestis toetub taristu projekteerimisprotsess õigusaktidele ja normidele (sh ehitusseadustik ning selle alusel kehtestatud „Tee projekteerimise normid", 2023). Projekteerimistingimustes suunatakse sageli kasutama standardeid, mis koondavad taristu kavandamisel arvesse võetavad üldised nõuded. Praktikas viidatakse mh standarditele EVS 843:2016 „Linnatänavad", EVS 613:2023 „Liiklusmärgid ja nende kasutamine" ning EVS 614:2022 „Teemärgised ja nende kasutamine". Kuigi standardite kasutamine ei ole toote nõuetele vastavuse seaduse kohaselt üldreeglina kohustuslik, saab standardist juhindumist nõuda juhul, kui see tuleneb õigusaktist või on seatud nõudeks näiteks projekteerimistingimustes. [13], [32], [33]

Liikluskeskkonna hindamisele rakenduvad Eestis euroopa direktiivist 2008/96/EÜ lähtuvad siseriiklikud määrused: 2015. aastal vastu võetud „Liiklusohutusele avalduva mõju hindamise tingimused ja nõuded" ning „Liiklusohutuse auditeerimise tingimused ja nõuded", 2021. aastal jõustunud „Teevõrgu liiklusohutuse hindamise nõuded". [20], [21], [34], [35]

Seadusandlust ja määruseid toetavad praktilised juhendid, mis kirjeldavad auditeerimise ja inspekteerimise läbiviimise loogikat, seovad nõuded kohaliku raamistikuga, esitavad kontroll-lehtede näidiseid ning annavad soovitusi tuvastatud puuduste hindamiseks ohutasemest lähtuvalt.[24]

1.3 Teeületuste liiklusohutuse varasem käsitlus Eestis

1.3.1 Põhi- ja tugimaanteede ülekäikude tähistamine

Eestis on teeületuskohtade liiklusohutust varasemalt käsitletud põhi- ja tugimaanteede ületuskohtade kaardistamise läbi. Transpordiameti tellimusel, ERC konsultatsiooni OÜ analüüsid käsitlevad teeületusi riigiteedel süsteemselt: eesmärgiks on ülekäiguradade ja ülekäigukohtade kaardistamine, nende teekeskkonna ning tähistuse kirjeldamine ja tulemuste põhjal rakendusettepanekute tegemine, et teeületuste tähistamine oleks riigimaanteedel ühetaoline. 2020. aasta töö seab selgeks, et käsitluse keskmes ei ole üksikjuhtumid, vaid teevõrgu põhine ülevaade, kus ületuskohad grupeeritakse ja analüüsitakse ühtses raamistikus, mille tulemusel koostatakse suunised ja tüüplahendused. Eelduseks on, et ületuskohtade lahenduse valik peab olema põhjendatav normidest/standarditest lähtuvate parameetritega (nt kiirus ja liiklussagedus), kuid samal ajal juhitakse tähelepanu, et kergliiklejate liiklussageduse andmestik puudub sageli ning see piirab otsuste tõenduspõhisust. Seetõttu rõhutab töö vajadust koguda süsteemselt infot ka jalakäijate ja ratturite liikumissageduse kohta, et ületuskohti oleks võimalik paremini planeerida ja ületuskoha tüübi valikut põhjendada. Ühtlasi käsitletakse töös teeületuskohtadel kasutatavaid lahendusi, nagu liiklusmärgid, teemärgised, foorid ja ohutussaared, ning seotakse need normatiivsete piirangute ja soovitustega, näiteks fooride kasutamise piirangute või ohutussaare vajadusega suurema tee laiuse või sõiduradade arvu korral. Selline struktuur on otseselt ülekantav käesolevasse magistritöösse, kus riskihindamise sisenditeks on samuti ületuskoha tüüp, teekeskkonna omadused ja rakendatavad meetmed.[36]

ERC koostatud Tugimaanteede töös on eraldi tugevus see, et käsitlusse tuuakse normimuudatuste eelnõu kontekst: ületuste sobivuse hindamisel kasutatakse lisaks varasematele parameetritele ka uuema lähenemise väärtuseid, mis on seotud lõikumisviisi valikuga nii asulavälisel kui asulasisesel teel. Selline lähenemine on käesoleva magistritöö jaoks oluline, sest töö hindab valdavalt asulaväliseid teeületusi, kus kiirusrežiim ja liiklussagedus määravad nii konflikti tekkimise tõenäosust kui ka võimalike tagajärgede raskust.[37]

Mõlemad ERC tööd annavad Eesti riigiteede kontekstis kaks olulist eeldust metoodika loomiseks:

1. ületuskoha käsitlemisel on vajalik ühtne andmestik ja selge klassifikatsioon (ülekäigurada vs ülekäigukoht ning lahenduse alamvariandid), ning
2. võrgupõhise ohutushinnangu aluseks peab olema korratav kirjeldus ületuskoha teekeskkonnast ja tähistusest, mitte ainult üksikute õnnetusjuhtumite tagasivaade.

Need põhimõtted haakuvad otseselt käesoleva töö uurimisküsimustega: koondindeksi korratavus eeldab standardiseeritud sisendtunnuseid; riskiklasside „tüüpilised profiilid" vajavad võrreldavat klassifikatsiooni; ning parendusmeetmete valik sõltub sellest, kuidas ületuskoht on kontekstis lahendatud (tähistus, ohutussaar, kiirusrežiim jne).

1.3.2 Töövahend liiklusohutuse hindamiseks

Teeületuskohtade ohutuse käsitlus ei piirdu Eestis ainult ületuskohtade kaardistamisega. On arendatud ka töövahendipõhist lähenemist, mis aitab taristut hinnata ühtse loogika ja skaaladega. Lembi Sillandi magistritöö keskendub kooliümbruse taristu liiklusohutuse hindamise töövahendi loomisele, kuid selle metoodiline panus on laiem: rõhuasetus on hindamise korratavusel, näitajate selgetel ankrutel ja töövahendi testimisel eri objektidel, et hinnang oleks rakendatav ning erinevate hindajate lõikes võimalikult üheselt mõistetav.

Töö teoreetilises osas käsitletakse jalakäijate ja jalgratturite vaates kriitilisi konfliktiolukordi – sh ristmikud ja sõidutee ületuskohad – ning rõhutatakse, et ületuskohtade ohutus sõltub eelkõige lahenduse arusaadavusest, nähtavusest ja sellest, kuidas taristu suunab liikleja käitumist. Samuti tuuakse välja kiiruse roll vigastuste raskusastmes ning vajadus kujundada konfliktiala võimalikult ohutuks, eriti kui ületus toimub samatasandiliselt. [15]

Kuigi Sillandi töö fookus on kooliümbrus, on selle lähenemine ülekantav käesoleva magistritöö riigiteede ületuskohtade konteksti kolmel põhjusel:

- Hindamise struktuur: töövahendi loogika eeldab üheselt kirjeldatavaid tunnuseid ja skaalasid, mis toetab käesoleva töö eesmärki kujundada koondindeks (punktiskoor), mis oleks hindajate lõikes korratav.
- Kasutajagruppide perspektiiv: rõhuasetus vähekaitstud liiklejatele ja nende tajukoormusele on oluline ka asulavälistel ületustel, kus kiirusrežiim on kõrgem ja eksimuse hind suurem.

- Praktiline rakendatavus: töövahendi testimine eri objektidel ja tulemuste kokkuvõtlik esitamine loob hea eeskuju, kuidas hiljem riskiklasside „profiile" kirjeldada (nt millised kombinatsioonid korduvad kõrgema riskiga kohtades).

1.3.3 Kooliümbruse liikluskeskkonna ohutuse hindamise tööriist

Eesti praktikas ei piirdu liiklusohutuse hindamise töövahendite kasutus üksnes akadeemiliste käsitlustega. Transpordiamet on koostanud kooli liikluskeskkonna ohutuse hindamise juhendi ja hindamislehed, mille eesmärk on luua erineva taustaga kasutajale arusaadav, universaalne ning liiklusohutuse olulisi tegureid arvestav riskide võrdlust võimaldav hindamisvahend. Juhendis käsitletakse ohutu liikluskeskkonna kujundamise põhimõtteid, hindamise lähteandmeid, hindamismeetodit, ohutegureid, ohtu vähendavaid tegureid ning hindamise tulemust. [38]

Hindamisvahend eristab kooli territooriumi ja juurdepääsuteede liikluskeskkonna hindamist ning kooli lähiümbruses paiknevate sõidutee ületuskohtade hindamist. Juhendi järgi hinnatakse koondtulemuse saamiseks eraldi kooli territooriumi koos sinna viivate ühendusteedega ning vajaduse korral sellega külgnevat liiklusruumi, st sõiduteede ületuskohti. Üldise riskihinnangu määramisel lähtutakse kõrgemast saadud riskiväärtusest. Hindamislehed näitavad, et kooli lähiümbruse risk ning ületuskoha risk arvutatakse märgitud tegurite korrutisena vastava arvutusmudeli järgi. [38]

Käesoleva magistritöö seisukohalt on see tööriist oluline kahel põhjusel. Esiteks kinnitab see, et Eesti liiklusohutuse praktikas kasutatakse juba struktureeritud hindamisloogikat, kus objekti ohutust kirjeldatakse süstemaatiliselt kogutavate tunnuste abil. Teiseks näitab eraldi sõidutee ületuskohtade hindamisosa olemasolu, et teeületuskohtade käsitlemine eraldiseisva riskikohana on Eesti praktikas põhjendatud. Seejuures on tööriistas eraldi käsitletud nii reguleerimata ületuskohti, sealhulgas liiklusseaduse mõistes ülekäigukohti, kui ka reguleeritavaid ülekäiguradasid.

Võrreldes käesoleva magistritööga on Transpordiameti tööriista fookus kitsam ja seotud eeskätt kooliümbruse liikluskeskkonnaga. Käesolev töö aga laiendab sama põhimõtet riigiteedel paiknevatele teeületuskohtadele, kus hinnangu keskmesse tõusevad eriti kiirusrežiim, liiklussagedus, nähtavus, valgustus, ühes osas ületatava teeosa laius ning õnnetusajalugu. Seetõttu võib Transpordiameti kooli liikluskeskkonna ohutuse hindamise vahendit käsitada ühe olulise praktilise Eesti tööriistana, mis toetab struktureeritud ja võrreldava hindamisraamistiku kasutamist liiklusohutuse valdkonnas.

1.3.4 Kiirus, peatumisteekond ja kokkupõrke raskusaste

Teeületuskohtade ohutuse hindamisel on sõidukite liikumiskiirus üks kesksemaid lähteparameetreid, sest see mõjutab samaaegselt nii konflikti tekkimise tõenäosust (kas juhil ja ületajal jääb üldse „ruumi" üksteist märgata ja reageerida) kui ka võimalike tagajärgede raskust (kui suur on kokkupõrkeenergia ja milline on vigastuste oodatav raskus). Kiiruse ja õnnetusriskide seost käsitletakse rahvusvaheliselt süsteemselt: Euroopa Komisjoni liiklusohutuse ülevaadetes rõhutatakse, et kiiruse kasvades suureneb õnnetuste risk mittelineaarselt mistõttu iga lisanduv kiirusühik suurendab riski eriti just kõrgemate algkiiruste juures.[11], [39]

Teeületuskoha kontekstis on peatumisteekond praktiline näitaja, mis kirjeldab, kui pika maa vajab sõidukijuht selleks, et ohuolukorda märgata, otsustada ja pidurdada sõiduk seisma enne konfliktalasse jõudmist. Peatumisteekond koosneb kahest osast:

taju- ja reaktsiooniteekond – vahemaa, mis läbitakse ajavahemikus, mil juht tajub ohtu ja alustab pidurdamist;

pidurdusteekond – vahemaa, mis kulub kiiruse viimiseks nulli pärast pidurdamise algust.

FHWA (USA föderaalne maanteeamet) toob esile, et kiiruse kasvades suureneb pidurdusmaa eelkõige seetõttu, et kineetiline energia (ja seega pidurdamisel „maha võetav" energia) sõltub kiiruse ruudust.[40] See sama ruutsõltuvus tähendab, et näiteks kiiruse kasv 70 km/h-lt 90 km/h-ni ei ole „lineaarne" muutus – nii pidurdusmaa kui ka kokkupõrkeenergia kasvavad märgatavalt.

Peatumisteekonna üldkuju (valem 1.1) saab esitada valemina (kasutades SI-ühikuid):

$$SSD = v \cdot t_r + \frac{v^2}{2a} \qquad \text{valem 1.1}$$

kus

V on sõiduki kiirus (m/s),

tr on taju–reaktsiooniaeg (s),

a on pidurduskiirendus ehk aeglustus (m/s²).

Praktikas kasutatakse projekteerimisel konservatiivseid (ohutuse poole kaldu) eeldusi reaktsiooniaja ja aeglustuse osas, sest reaalsed tingimused varieeruvad (märg tee, libedus, nähtavus, pidurite/rehvide seisukord, raskeliikluse osakaal, teekalle). USA kiirusjuhtimise juhendmaterjalides on näidatud, et peatumisteekonna kriteeriumid

sõltuvad projekteerimiskiirusest ning võivad reaalses liikluses olla suuremad ebasoodsate tingimuste korral (nt märg teekate).

Seos teeületuskohtadega seisneb selles, et kui ületuskoht paikneb või toimib viisil, kus jalakäija/ ratturi ilmumine konfliktalasse on juhile „hiline" (nähtavus puudulik, ootamatu trajektoor, varjestus, pimedus), siis tegelik vajaminev peatumisteekond võib ületada olemasoleva nähtavusvaru. Sellisel juhul ei ole ohu realiseerumine enam pelgalt käitumuslik küsimus, vaid füüsikast tulenev piirang: isegi korrektse reaktsiooni korral ei pruugi sõiduk enam peatuda enne ületajaga kokkupõrget.[11], [12]

Kiirus ja kokkupõrke raskus: miks väike kiiruse muutus annab suure efekti

Kokkupõrke tagajärgede raskus on tugevalt seotud energiaga, mis kokkupõrkel üle kandub. Kineetiline energia on kujul(valem 1.2):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$ Valem 1.2

Seega kiiruse suurenemisel kasvab energia ruutsõltuvuses, mis aitab selgitada, miks suurematel kiirustel on samalaadne konflikt (nt „hiline märkamine") oluliselt tõsisemate tagajärgedega. Füüsikalise loogika ja raskusastme seoseid käsitlevad nii *FHWA* ülevaated kui ka teadusartiklid, mis rõhutavad kiiruse juhtimise tähtsust vigastuste vähendamisel. [40], [41]

Jalakäijate ohutuse seisukohast on oluline just löögikiirus (impact speed), mis sõltub algkiirusest ja sellest, kas juhil õnnestub enne kokkupõrget pidurdada. Empiirilised uuringud jalakäijate hukkumisriski kohta näitavad, et risk kasvab järsult koos löögikiiruse suurenemisega. Roseni töö koondab varasemaid hinnanguid ning esitab hukkumisriski väärtusi eri kiirustel; näiteks on kirjanduses esitatud, et 30 km/h juures on risk madal, 50 km/h juures oluliselt kõrgem ning 70 km/h juures väga kõrge.[42]

Sama järeldust kinnitavad ka hilisemad ülevaated. Iirimaa liiklusohutusameti (*RSA*) 2023. aasta tõendusmaterjali kokkuvõttes käsitletakse löögikiiruse ja jalakäija hukkumisriski seost ning tuuakse välja, et ligikaudu 30 km/h juures on risk veel suhteliselt väike, kuid suureneb märgatavalt juba 40–50 km/h vahemikus.[43]

Kuigi käesolev magistritöö keskendub suurel määral riigiteede asulavälistele teeületuskohtadele, kehtib sama põhiloogika ka siin: kui lubatud sõidukiirus jääb vahemikku 70–110 km/h, on nii peatumisteekond kui ka võimalik löögikiirus oluliselt suurem ning vähekaitstud liiklejate vigastuste raskus suureneb järsult. Seetõttu muutub hindamisel keskseks küsimuseks, kas olemasolev teeületuslahendus aitab vähendada võimalikku löögikiirust, näiteks kiiruse alandamise, füüsilise rahustamise või ületuse

etapiliseks muutmise kaudu, ning kas teeületaja ilmumine konfliktialasse on juhile piisavalt vara tajutav. Viimane sõltub eeskätt nähtavusest, valgustusest ja lahenduse üldisest loetavusest.

Kiirus ja peatumisteekond annavad teeületuskohtade riskihindamisele kaks otsest sisendit. Esiteks mõjutavad need võimalike tagajärgede raskust: mida kõrgem on kiirusrežiim ja sellest tulenev võimalik löögikiirus, seda raskemad on tõenäolised tagajärjed. Seda põhjendab nii kineetilise energia ruutsõltuvus kiirusest kui ka jalakäija hukkumisriski empiiriline kasv koos löögikiiruse suurenemisega.[40], [42]

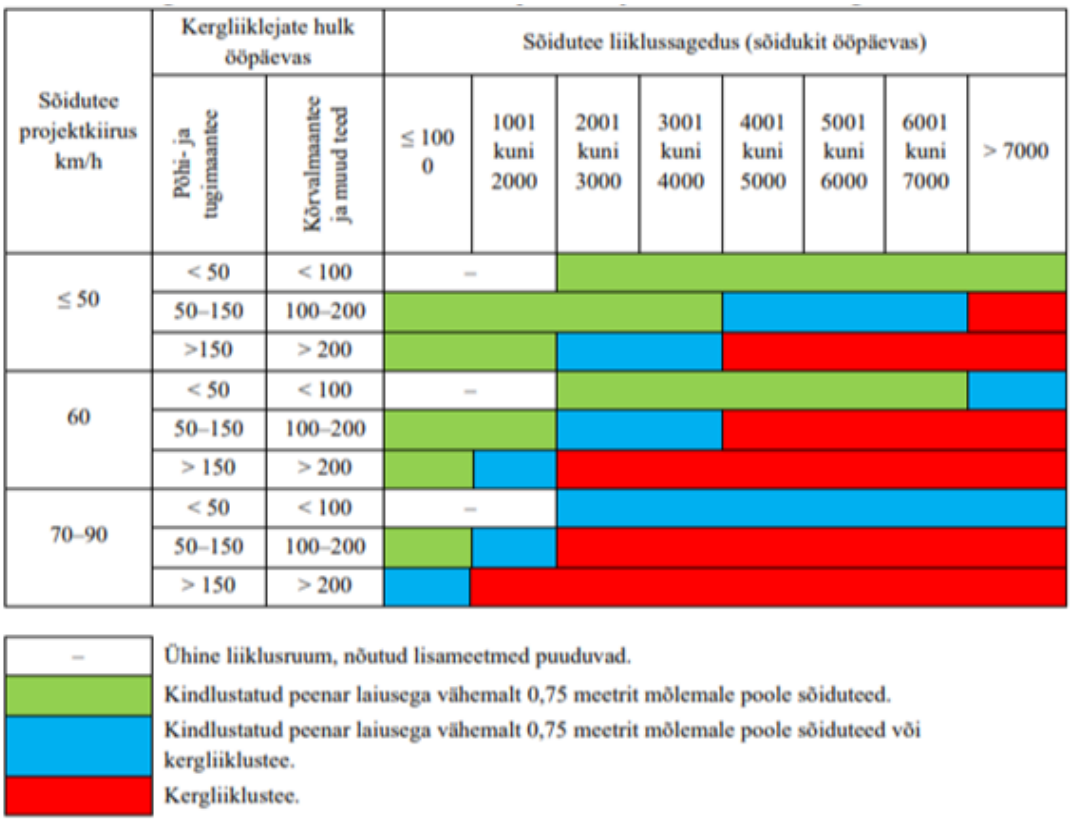
Teiseks mõjutavad kiirus ja peatumisteekond konflikti tekkimise tõenäosust. Kui nähtavus, valgustus, ületuse loogika või teeületaja trajektoor vähendavad juhi võimalust olukorda varakult tajuda, suureneb nende juhtumite osakaal, kus pidurdamine algab liiga hilja.[39]

Peatumisteekonna kontseptsioon võimaldab seega tuua riskihindamisse selge ja praktiliselt arusaadava loogika: kui teeületuskoht eeldab, et juht peab reageerima viimasel hetkel, on see kõrgemate kiiruste keskkonnas süsteemselt ebaturvaline ka siis, kui liiklusreegleid üldjoontes järgitakse. Seetõttu on kiiruse juhtimine ning taristulised meetmed, nagu kiiruse alandamine, nähtavuse parandamine, lahenduse selguse suurendamine ja ületuse etappideks jagamine, teeületuskohtade ohutuse kujundamisel keskse tähtsusega.

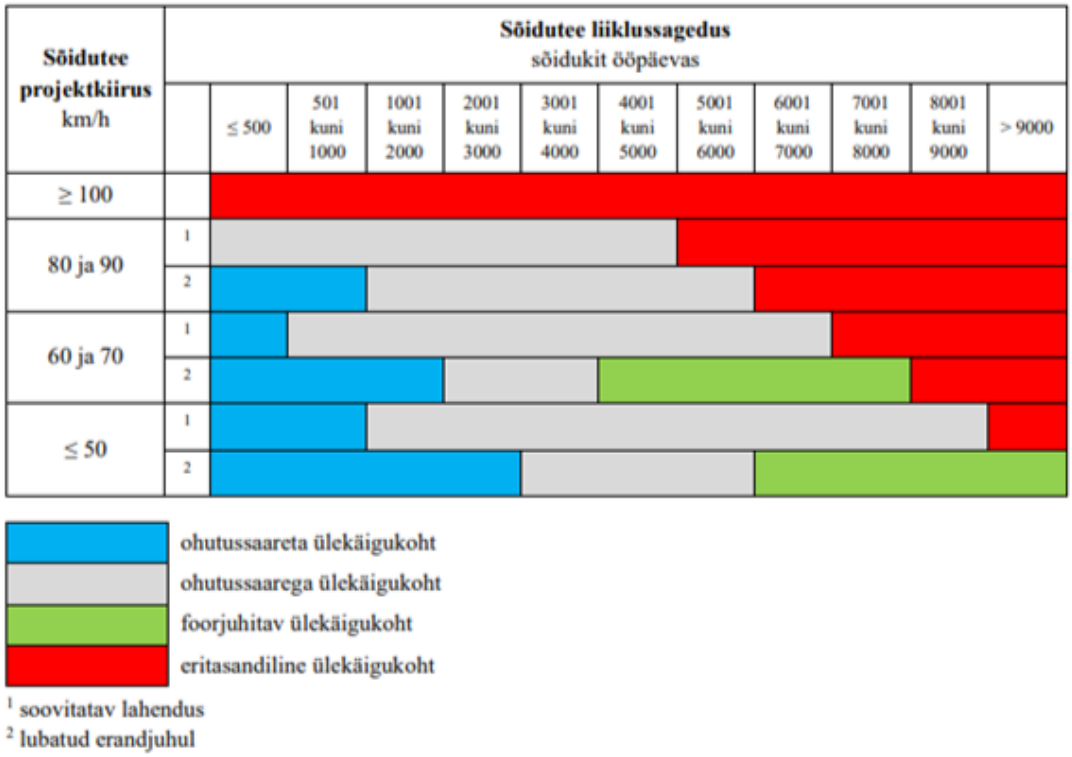
1.4 Normidest tulenev määratlus

Teeületuskohtade ohutuse hindamisel ei saa lähtuda üksnes üldisest riskiloogikast, vaid arvestada tuleb ka kehtivatest normidest tulenevaid põhimõtteid, mis määravad, millal ja millistes tingimustes tuleb kergliiklejate liikumine sõidukiliiklusest eraldada ning kuidas kujundada tee ja kergliiklusteekonna lõikumine. Käesoleva töö kontekstis on selleks oluliseks lähtedokumendiks „Tee projekteerimise normid", milles esitatud tabelid annavad normatiivse raamistiku sobiva lahenduse valikuks.[44]

Tabel 1 tabel kirjeldab, millistel juhtudel on eri funktsiooniga teedel vajalik kergliiklustee või lai kindlustatud peenar. Sellega määratletakse põhimõtteliselt, millistel teedel võib kergliiklejate liikumine toimuda sõidutee vahetus läheduses ning millal tuleb see ohutuse tagamiseks sõidukiliiklusest selgemalt eraldada. Tabel 2 käsitleb tee ja läbiva kergliiklusteekonna marsruudi lõikumisviisi ning aitab määrata, milline ületuslahendus on erinevates liiklus- ja teekeskkonna tingimustes sobiv. Tabel 3 Kirjeldab ohutussaare, ülekäigukoha ja ülekäiguraja mõõtmete nõudeid.



Joonis 1 Kergliiklustee või laia kindlustatud peenra vajadus eri funktsiooniga teel



Joonis 2 Tee ja läbiva kergliiklustee marsruudi lõikumisviisid

	Soovitatav vähim laius	Lubatud erandjuhul
	Ohutussaare laius A	
Ülekäigurada	2,0	1,5[1]
Ülekäigukoht	2,5	2,0
	Pikkus piki sõiduteed B	
	3,0	2,0
	Ülekäiguraja laius C	
Ülekäigurada	3,5	2,5
Ülekäigukoht	4,0	3,0

[1] On lubatud rakendada üksnes rahustatud liikluse keskkonnas.

Joonis 3 Kergliiklejale kavandatava ohutussaare, ülekäigukoha ja ülekäiguraja mõõtmed meetrites

2. METOODIKA

Käesolevas peatükis kirjeldatakse magistritöö metoodilist ülesehitust ning põhjendatakse, kuidas kujundati teeületuskohtade ohutuse hindamise raamistik. Esmalt esitatakse töö ülesehitus ja uurimisküsimused, seejärel antakse ülevaade kasutatud andmestikust ning andmete päritolust. Pärast seda selgitatakse hindamisparameetrite valikut, punktiskoori ja riskiklasside kujundamise põhimõtteid ning riskiprofiilide alusel määratud parendusmeetmete loogikat.

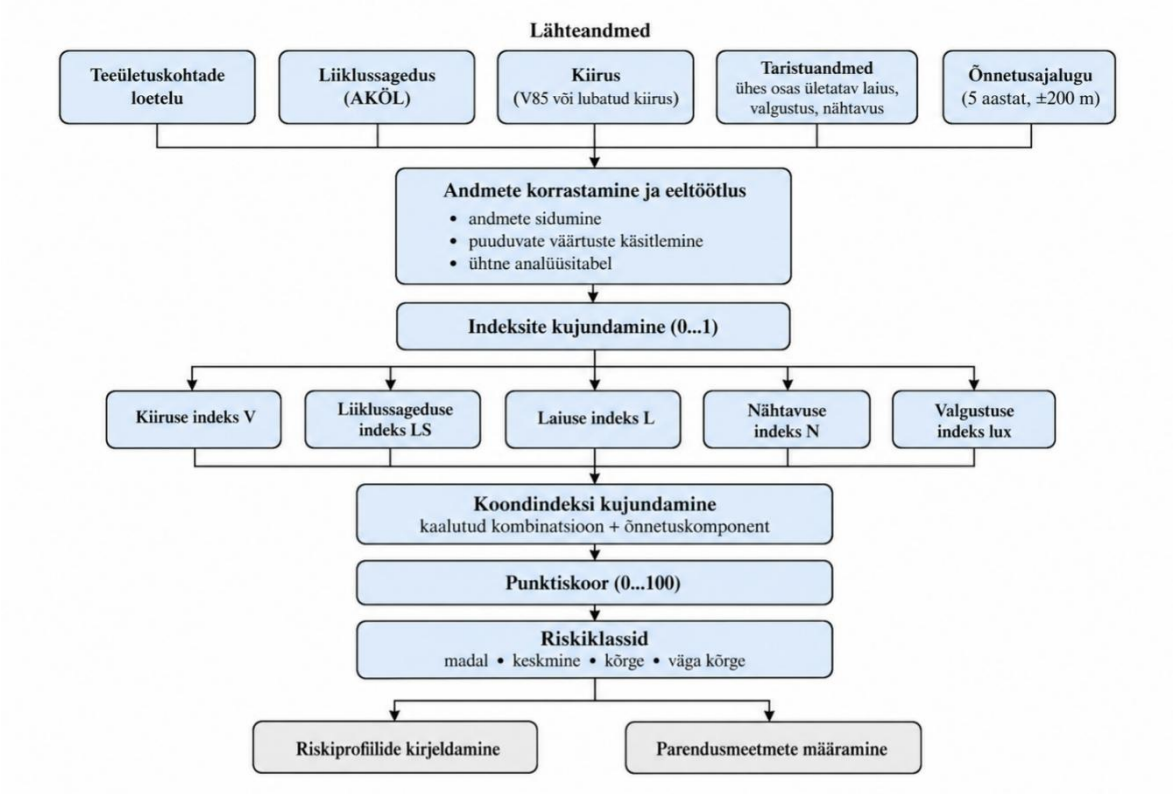
2.1 Ülesehitus ja uurimisküsimused

Käesolev magistritöö on metoodika väljatöötamisele suunatud rakendusuuring, mille eesmärk on luua riigiteedel paiknevate teeületuskohtade liiklusohutuse hindamiseks ühtne ja korratav hindamisraamistik ning rakendada seda Harjumaa riigiteede näitel. Hindamine on kvantitatiivne ja riskipõhine: teeületuskoha ohutus kujuneb konflikti tekkimise tõenäosuse ja võimalike tagajärgede raskuse koosmõjus. Metoodika peab võimaldama objektiivse võrdluse suure hulga objektide vahel ning toetama parendusmeetmete järjestamist.

Töös püstitatakse järgmised uurimisküsimused:

1. Millised parameetrid on teeületuskoha hindamisel olulised?
2. Kuidas kujundada ühtne punktiskoor nii, et see oleks erinevate hindajate lõikes korratav ja eri objektide vahel võrreldav?
3. Kuidas jaotuvad teeületuskohad riskiklassidesse ning millised on klasside tüüpilised profiilid?
4. Millised parandusmeetmed on eri riskiprofiilide puhul suurima mõjuga?

Uurimisküsimused on järjestatud metoodika kujundamise loogika järgi: esmalt määratakse hindamisparameetrid, seejärel kujundatakse punktide andmise ja võrreldavuse põhimõtted, seejärel moodustatakse riskiklassid ning lõpuks seotakse riskiprofiilid meetmepakettidega.



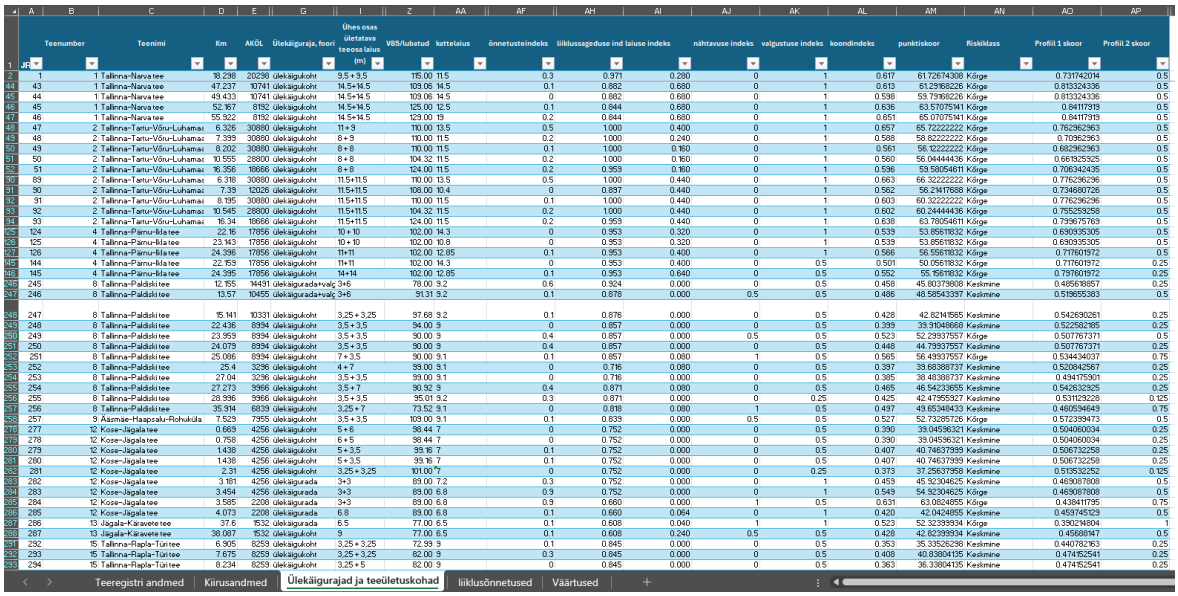
Joonis 4 Teeületuskohtade ohutuse hindamise metoodika skeem (autori koostatud)

2.2 Andmestik ja andmete päritolu

Töö empiiriliseks aluseks on Exceli kujul koondatud andmestik(joonis 5), mis ühendab teeületuskohtade asukoha- ja liigitusinfo ning ohutust mõjutavad sisendnäitajad. Andmestiku alus on teeregistrist koostatud väljavõte Harjumaa riigiteede teeületuskohtade kohta. Väljavõte sisaldab teeületuskohtade loetelu ja nende põhitunnuseid ning moodustab hindamise valimi.

Andmestikku on täiendatud järgnevate sisendandmetega:

- liiklussagedus (AKÖL; töös tähis LS);
- kiirused (eelistatult mõõdetud V85; töös tähis V) juhul kui mõõdetud V85 puudub, kasutatakse sisendina teelõigu lubatud suurimat kiirust;
- ühes osas ületatav teekatte laius (L);
- nähtavuse hinnang (N);
- valgustuse hinnang (Lux);
- liiklusõnnetused (viimased 5 aastat, ruumiline seos ±200 m).



JR	Teenumber	Teenimi	Km	AKÖL	Ülekäigukoht	Ühes osas ületatava teeosa laius (m)	V85/lubatud	kattelaius	õnnetusteindeks	liiklussagedus ind laiuse indeks	nähtavuse indeks	valgustuse indeks	koondindeks	punktiskoor	Riskiklass	Profiil 1 skoor	Profiil 2 skoor
1	1	1 Tallinna-Narva tee	18.298	20298	ülekäigukoht	9.5 + 3.5	115.00	11.5	0.3	0.371	0.280	0	1	0.617	61.72674308	Kõrge	0.73742014	0.5
43	43	1 Tallinna-Narva tee	47.237	10741	ülekäigukoht	14.5+14.5	109.06	14.5	0.1	0.882	0.680	0	1	0.613	61.23168226	Kõrge	0.813324336	0.5
44	44	1 Tallinna-Narva tee	49.433	10741	ülekäigukoht	14.5+14.5	109.06	14.5	0	0.882	0.680	0	1	0.598	59.73168226	Kõrge	0.813324336	0.5
45	45	1 Tallinna-Narva tee	52.167	8132	ülekäigukoht	14.5+14.5	125.00	12.5	0.1	0.844	0.680	0	1	0.636	63.57075141	Kõrge	0.84117919	0.5
46	46	1 Tallinna-Narva tee	55.922	8132	ülekäigukoht	14.5+14.5	129.00	19	0.2	0.844	0.680	0	1	0.651	65.07075141	Kõrge	0.84117919	0.5
47	47	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	6.326	30880	ülekäigukoht	11 + 9	110.00	13.5	0.5	1.000	0.400	0	1	0.657	65.72222222	Kõrge	0.762962963	0.5
48	48	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	7.395	30880	ülekäigukoht	8 + 9	110.00	11.5	0.2	1.000	0.240	0	1	0.588	58.82222222	Kõrge	0.70962963	0.5
49	49	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	8.202	30880	ülekäigukoht	8 + 8	110.00	11.5	0.1	1.000	0.160	0	1	0.561	56.12222222	Kõrge	0.682962963	0.5
50	50	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	10.555	28800	ülekäigukoht	8 + 8	104.32	11.5	0.2	1.000	0.160	0	1	0.560	56.04444436	Kõrge	0.661925925	0.5
51	51	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	16.356	19866	ülekäigukoht	8 + 8	124.00	11.5	0.2	0.959	0.160	0	1	0.536	53.58054611	Kõrge	0.706342435	0.5
89	89	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	6.316	30880	ülekäigukoht	11.5+11.5	110.00	13.5	0.5	1.000	0.440	0	1	0.663	66.32222222	Kõrge	0.776296296	0.5
90	90	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	7.39	12028	ülekäigukoht	11.5+11.5	108.00	10.4	0	0.897	0.440	0	1	0.562	56.21417688	Kõrge	0.734680726	0.5
91	91	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	8.195	30880	ülekäigukoht	11.5+11.5	110.00	11.5	0.1	1.000	0.440	0	1	0.603	60.32222222	Kõrge	0.776296296	0.5
92	92	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	10.545	28800	ülekäigukoht	11.5+11.5	104.32	11.5	0.2	1.000	0.440	0	1	0.602	60.24444436	Kõrge	0.755253258	0.5
93	93	2 Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa	16.34	19866	ülekäigukoht	11.5+11.5	124.00	11.5	0.2	0.959	0.440	0	1	0.638	63.79054611	Kõrge	0.739675763	0.5
124	124	4 Tallinna-Pärnu-Viljandi tee	22.16	17856	ülekäigukoht	10 + 10	102.00	14.3	0	0.953	0.320	0	1	0.539	53.85611832	Kõrge	0.690935305	0.5
125	125	4 Tallinna-Pärnu-Viljandi tee	23.143	17856	ülekäigukoht	10 + 10	102.00	10.8	0	0.953	0.320	0	1	0.539	53.85611832	Kõrge	0.690935305	0.5
126	126	4 Tallinna-Pärnu-Viljandi tee	24.396	17856	ülekäigukoht	11+11	102.00	12.85	0.1	0.953	0.400	0	1	0.566	56.55611832	Kõrge	0.717601972	0.5
144	144	4 Tallinna-Pärnu-Viljandi tee	22.159	17856	ülekäigukoht	11+11	102.00	14.3	0	0.953	0.400	0	0.5	0.501	50.05611832	Kõrge	0.717601972	0.25
145	145	4 Tallinna-Pärnu-Viljandi tee	24.395	17856	ülekäigukoht	14+14	102.00	12.85	0.1	0.953	0.640	0	0.5	0.552	55.1561832	Kõrge	0.797601972	0.25
245	245	8 Tallinna-Paldiski tee	12.155	14491	ülekäigurada+valg	3+6	78.00	9.2	0.6	0.924	0.000	0	0.5	0.458	45.80379808	Keskmine	0.485619857	0.25
246	246	8 Tallinna-Paldiski tee	13.57	10455	ülekäigurada+valg	3+6	91.91	9.2	0.1	0.878	0.000	0.5	0.5	0.486	48.58543397	Keskmine	0.519655383	0.5
247	247	8 Tallinna-Paldiski tee	15.141	10331	ülekäigukoht	3,25 + 3,25	97.68	9.2	0.1	0.876	0.000	0	0.5	0.428	42.82141565	Keskmine	0.542630261	0.25
248	248	8 Tallinna-Paldiski tee	22.436	8994	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	94.00	9	0	0.857	0.000	0	0.5	0.399	39.91048668	Keskmine	0.522582185	0.25
249	249	8 Tallinna-Paldiski tee	23.959	8994	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	90.00	9	0.4	0.857	0.000	0.5	0.5	0.523	52.23937557	Keskmine	0.507767371	0.5
250	250	8 Tallinna-Paldiski tee	24.079	8994	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	90.00	9	0.4	0.857	0.000	0	0.5	0.448	44.73937557	Keskmine	0.507767371	0.25
251	251	8 Tallinna-Paldiski tee	25.086	8994	ülekäigukoht	7 + 3,5	90.00	9.1	0.1	0.857	0.080	1	0.5	0.565	56.49337557	Kõrge	0.534434037	0.75
252	252	8 Tallinna-Paldiski tee	25.4	3296	ülekäigukoht	4 + 7	99.00	9.1	0	0.716	0.080	0	0.5	0.397	39.68388737	Keskmine	0.520842567	0.25
253	253	8 Tallinna-Paldiski tee	27.04	3296	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	99.00	9.1	0	0.716	0.000	0	0.5	0.385	38.48388737	Keskmine	0.494175901	0.25
254	254	8 Tallinna-Paldiski tee	27.273	9966	ülekäigukoht	3,5 + 7	90.92	9	0.4	0.871	0.080	0	0.5	0.465	46.54233655	Keskmine	0.542632925	0.25
255	255	8 Tallinna-Paldiski tee	28.936	9966	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	95.01	9.2	0.3	0.871	0.000	0	0.25	0.425	42.47955927	Keskmine	0.53123228	0.125
256	256	8 Tallinna-Paldiski tee	35.914	6839	ülekäigukoht	3,25 + 7	73.52	9.1	0	0.818	0.080	1	0.5	0.497	49.65348433	Keskmine	0.460594649	0.75
257	257	9 Aiamäe-Haapsalu-Rohukula	7.523	7955	ülekäigukoht	3,5 + 3,5	103.00	9.1	0.1	0.839	0.000	0.5	0.5	0.527	52.73285726	Kõrge	0.572339473	0.5
277	12	Kose–Jägala tee	0.663	4256	ülekäigukoht	5 + 6	98.44	7	0	0.752	0.000	0	0.5	0.390	39.04596321	Keskmine	0.504060034	0.25
278	12	Kose–Jägala tee	0.758	4256	ülekäigukoht	6 + 5	98.44	7	0	0.752	0.000	0	0.5	0.390	39.04596321	Keskmine	0.504060034	0.25
279	12	Kose–Jägala tee	1.438	4256	ülekäigukoht	5 + 3,5	99.16	7	0.1	0.752	0.000	0	0.5	0.407	40.74637999	Keskmine	0.506732258	0.25
280	12	Kose–Jägala tee	1.438	4256	ülekäigukoht	5 + 3,5	99.16	7	0.1	0.752	0.000	0	0.5	0.407	40.74637999	Keskmine	0.506732258	0.25
281	12	Kose–Jägala tee	2.31	4256	ülekäigukoht	3,25 + 3,25	101.00	7	0	0.752	0.000	0	0.25	0.373	37.25637958	Keskmine	0.513532252	0.125
282	12	Kose–Jägala tee	3.181	4256	ülekäigurada	3+3	89.00	7.2	0.3	0.752	0.000	0	1	0.459	45.92304625	Keskmine	0.469087808	0.5
283	12	Kose–Jägala tee	3.454	4256	ülekäigurada	3+3	89.00	6.8	0.3	0.752	0.000	0	1	0.549	54.92304625	Kõrge	0.469087808	0.5
284	12	Kose–Jägala tee	3.585	2208	ülekäigurada	3+3	89.00	6.8	0.3	0.660	0.000	1	0.5	0.631	63.0624655	Kõrge	0.438411795	0.75
285	12	Kose–Jägala tee	4.073	2208	ülekäigurada	6.8	89.00	6.8	0.1	0.660	0.064	0	1	0.420	42.0424655	Keskmine	0.459745123	0.5
286	13	Jägala–Käravete tee	37.6	1532	ülekäigurada	6.5	77.00	6.5	0.1	0.608	0.040	1	1	0.523	52.32399934	Kõrge	0.390214804	1
287	13	Jägala–Käravete tee	38.087	1532	ülekäigukoht	9	77.00	6.5	0.1	0.608	0.240	0.5	0.5	0.428	42.82399934	Keskmine	0.45688147	0.5
292	15	Tallinna–Rapla–Türi tee	6.905	8259	ülekäigukoht	3,25 + 3,25	72.89	9	0.1	0.845	0.000	0	0.5	0.353	35.33526296	Keskmine	0.440782163	0.25
293	15	Tallinna–Rapla–Türi tee	7.675	8259	ülekäigukoht	3,25 + 3,25	82.00	9	0.3	0.845	0.000	0	0.5	0.408	40.83804135	Keskmine	0.474152541	0.25
294	15	Tallinna–Rapla–Türi tee	8.234	8259	ülekäigukoht	3,25 + 5	82.00	9	0	0.845	0.000	0	0.5	0.363	36.33804135	Keskmine	0.474152541	0.25

Teeregistri andmed | Kiirusandmed | Ülekäigurajad ja teeületuskohad | liiklusõnnetused | Väärtused

Joonis 5 Väljavõtte analüüsitabelist

Andmestiku koostamise eesmärk on koondada ühte tabelisse tunnused, mida on vaja punktiskoori ja riskiklasside kujundamiseks. Andmete ühendamine toimub ületuskoha järjekorra numbri alusel, kasutades kõiki Excelisse koondatud andmeid.

Kui V85 puudub, kasutatakse kiirusmuutujana V väärtusena lubatud suurimat kiirust.

Liiklusõnnetused seotakse teeületuskohaga viimase 5 aasta jooksul ning ruumilises aknas ±200 m teeületuskoha asukohast. Selline seos võimaldab kirjeldada riski realiseerumist ületuskoha lähiümbruses ning kasutada õnnetusinfot riskihinnangu täiendava komponendina või riskiklassi korrigeeriva reeglina.

2.3 Hindamisparameetrite valik

Teeületuskohtade ohutuse hindamise metoodika sisendparameetrid valiti kahe põhimõtte alusel: esiteks pidid need olema teoreetiliselt seotud kas konflikti tekkimise tõenäosuse või võimalike tagajärgede raskusega ning teiseks pidid need olema kogu valimi ulatuses mõõdetavad või üheselt hinnatavad. Sellest lähtudes valiti metoodika põhiparameetriteks kiirus ületuskoha teelõigul, liiklussagedus, ühes osas ületatava teeosa laius, nähtavus, valgustus ning õnnetusajalugu. Valik tugineb varasemates käsitlustes rõhutatud riskiteguritele, mille kohaselt mõjutavad teeületuskoha ohutust eelkõige sõidukiirus, konfliktiala ulatus, nähtavus- ja valgustustingimused ning liiklusvoo omadused. [10], [11], [12], [39], [40]

Kiirus valiti sisendparameetriks, kuna see mõjutab samaaegselt nii juhi reageerimisvõimalust kui ka kokkupõrke võimalikke tagajärgi. Kõrgema kiiruse korral pikeneb peatumisteekond ning suureneb löögienergia, mistõttu kasvab ka vähekaitstud liiklejate vigastuste raskus. Seetõttu kasutatakse metoodikas kiirust kui tagajärgede raskuse keskset kirjeldajat. Eelistatult kasutatakse mõõdetud 85. protsentiilikiirust (V85), selle puudumisel teelõigu lubatud suurimat kiirust.[39], [40], [42], [43]

Liiklussagedus (AKÖL) valiti parameetriks, sest see kirjeldab konfliktivõimaluse sagedust. Mida suurem on sõidukite voog, seda sagedamini tekivad olukorrad, kus teeületaja ja sõiduk võivad samaaegselt konfliktialasse sattuda. Samal põhjusel on liiklussagedus üks keskseid võrgutasemel kasutatavaid ohutust kirjeldavaid näitajaid. [10], [20], [21]

Laiuse parameetrina ei kasutata käesolevas töös kogu teekatte laiust, vaid ühes osas ületatava teeosa laiust. Selline valik on sisuliselt põhjendatud, sest etapilise ületuse korral ei pea teeületaja kogu ristlõiget korraga ületama. Seetõttu kirjeldab riski täpsemalt just ühe etapina läbitav laius. Kui andmestikus oli etapiline ületus esitatud kujul „9,5+9,5" või „13+11", teisendati see arvväärtuseks, võttes aluseks suurema ühe etapi laiuse. Selline lähenemine on konservatiivne ja arvestab halvema ületusetapi mõju riskile.[5], [10], [18]

Nähtavus valiti parameetriks, sest see mõjutab otseselt juhi ja teeületaja võimalust teineteist õigeaegselt märgata. Nähtavuse tähendus suureneb eriti kõrgemate kiiruste juures, kus ohu tajumiseks ja reageerimiseks vajalik aeg on lühem. Käesolevas töös seotakse nähtavuse hinnang kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega, et hinnata, kas olemasolev nähtavus on konkreetse kiirusrežiimi juures piisav.[11], [12], [40]

Valgustus lisati eraldi parameetrina, kuna pimedal ajal mõjutab see ületuskoha märgatavust ja juhi võimalust teeületajat tajuda. Puudulik valgustus ei pruugi üksinda määrata kõrget riski, kuid koos kõrgema kiiruse, suure liiklussageduse või halva nähtavusega võib selle mõju olla märkimisväärne. [5], [12]

Õnnetusajalugu lisati metoodikasse täiendava komponendina, sest see kirjeldab riski tegelikku realiseerumist teeületuskoha mõjualas. Käesolevas töös ei eristata õnnetusi liigiti, vaid kasutatakse teeületuskoha lähiümbruses toimunud liiklusõnnetuste koguarvu. Selline valik lihtsustab metoodika rakendamist ja tagab, et sama loogikat saab kasutada kogu valimi ulatuses. Õnnetusajaloo roll ei ole asendada proaktiivset riskihinnangut, vaid täiendada seda reaalselt toimunud sündmuste infoga.

2.3.1 Punktiskoori kujundamise protsess ja korratavus

Punktiskoori kujundamise eesmärk on teisendada erineva ühiku ja sisuga sisendnäitajad ühtsele võrreldavale skaalale ning koondada need üheks riskiskooriks. Selleks kujundati arvutusprotsess etapiviisiliselt: esmalt määrati iga teeületuskoha sisendparameetrid, seejärel teisendati need normaliseeritud indeksiteks vahemikus 0…1 ning lõpuks arvutati kaalutud koondindeks, millest tuletati punktiskoor ja riskiklass.

Teeületuskohtade ohutuse hindamisel kasutatakse erineva ühiku, suurusjärgu ja sisuga sisendnäitajaid. Selleks, et kiirust, liiklussagedust, ühes osas ületatava teeosa laiust, nähtavust, valgustust ja õnnetusajalugu oleks võimalik ühe koondhinnangu sees võrrelda, tuleb need teisendada ühtsele võrreldavale skaalale. Käesolevas töös kasutatakse selleks normaliseeritud indeksväärtusi vahemikus 0…1, kus väiksem väärtus tähistab ohutuse seisukohalt soodsamat olukorda ning suurem väärtus ebasoodsamat olukorda.

Kiiruse komponendi puhul lähtutakse põhimõttest, et kõrgem kiirus suurendab nii peatumisteekonda kui ka võimalike tagajärgede raskust. Seetõttu teisendatakse kiiruse sisendmuutuja võrreldavale skaalale selliselt, et suurem kiirus annab kõrgema indeksväärtuse. Kiiruse sisendina kasutatakse eelistatult mõõdetud 85. protsentiilikiirust (V85), selle puudumisel teelõigu lubatud suurimat kiirust. [10], [14], [39], [40], [42], [43]

Liiklussageduse puhul lähtutakse põhimõttest, et suurem sõidukite voog suurendab konfliktivõimaluse sagedust. Samas tuleb vältida olukorda, kus väga suured liiklussagedused hakkavad tulemust ebaproportsionaalselt domineerima. Seetõttu teisendatakse liiklussagedus võrreldavale skaalale nii, et väga suured väärtused ei mõjutaks tulemust ülemäära ning näitaja jääks kogu valimi ulatuses võrreldavaks.[10]

Laiuse komponendi puhul ei lähtuta kogu katte laiusest, vaid ühes osas ületatava teeosa laiusest. Selline lähenemine on vajalik, sest etapilise ületuse korral ei pea teeületaja kogu ristlõiget korraga ületama. Seetõttu kirjeldab riski täpsemalt just ühe konfliktietapi ulatus. Laiem ühes osas ületatav teeosa tähendab pikemat viibimist konfliktialas ning seetõttu suuremat kokkupuutevõimalust liiklusvooga. [5], [10], [18]

Nähtavuse komponendi kujundamisel võrreldakse olemasolevat nähtavust kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega. Nähtavuse hinnang põhineb piiravamal ehk väiksemal nähtavusväärtusel kahest sõidusuunast. Selline lähenemine on konservatiivne ning tagab, et hinnang ei põhine soodsamal, vaid teeületuskoha seisukohalt määravamal olukorral.[11], [12], [40]

Valgustuse komponent teisendatakse kategooriliseks indeksiks. Selle puhul lähtutakse põhimõttest, et parem valgustatus toetab teeületuskoha märgatavust ja loetavust ning annab väiksema indeksväärtuse, puudulik või puuduv valgustus aga suurema indeksväärtuse.[5], [12]

Õnnetusajalugu käsitletakse korrigeeriva komponendina, mis kirjeldab riski realiseerumist teeületuskoha mõjualas. Õnnetuste arv teisendatakse võrreldavale skaalale nii, et komponent säilitaks eristavuse, kuid ei hakkaks üksikute suurte väärtuste tõttu kogu koondhinnangut ebaproportsionaalselt määrama.[10], [19]

Koondindeksi komponentide kaalud kujundati riskiloogika põhjal, lähtudes sellest, millised parameetrid mõjutavad teeületuskoha ohutust kõige otsesemalt. Kaalude määramisel lähtuti põhimõttest, et kõik komponendid ei panusta koondindeksisse võrdselt, sest nende mõju konflikti tekkimise tõenäosusele ja võimalike tagajärgede raskusele on erinev. Suurem kaal omistati kiirusele ja liiklussagedusele. Kiirus mõjutab eeskätt võimalike tagajärgede raskust, liiklussagedus aga konflikti tekkimise tõenäosust. Seetõttu käsitleti neid koondindeksi põhikomponentidena. [10], [39], [40], [42], [43]

Laiuse, nähtavuse ja valgustuse komponendid kujundati mõõdukama kaaluga, sest nende mõju avaldub sageli koos kiiruse ja liiklussagedusega. Need komponendid ei määra riski tavaliselt üksinda, kuid võivad koos teiste ebasoodsate tingimustega riskitaset märkimisväärselt suurendada.[5], [10], [11], [12], [18]

Punktiskoori kujundamisel lähtutakse põhimõttest, et väiksem indeks väljendab soodsamat olukorda ja suurem indeks ebasoodsamat olukorda. Koondindeksi arvutamise järel teisendatakse tulemus punktiskooriks, mille alusel saab objekte järjestada, jaotada riskiklassidesse ning kirjeldada nende tüüpilisi riskiprofiile. Punktiskoori eesmärk ei ole asendada detailset kohapõhist eksperthinnangut, vaid luua võrgutasandil rakendatav võrdlusvahend, mis aitab esile tõsta prioriteetsed objektid.

Punktiskoori praktiline väärtus seisneb selles, et see võimaldab siduda riskihinnangu parendusmeetmete loogikaga. Kõrgema punktiskooriga objektide puhul eeldatakse suuremat sekkumisvajadust, kuid meetme tüüp sõltub siiski sellest, milliste komponentide koosmõjul konkreetne tulemus kujunes. Seetõttu kasutatakse punktiskoori koos riskiprofiilide kirjeldusega, mitte isoleeritud näitajana.

Kuna käesoleva töö eesmärk on metoodika väljatöötamine, fikseeriti koondindeksi lõplik kaalude kombinatsioon, matemaatiline teisendus, rakendatud valemid jms pärast andmestiku piloteerimist ning esmase tulemuste loogilisuse kontrolli. Seetõttu esitatakse lõplikud andmed analüüs ja tulemused peatükis.

Metoodika üheks põhinõudeks on korratavus, et sama teeületuskoha hindamisel peaksid erinevad hindajad jõudma samade või vähemalt väga sarnaste tulemusteni. Korratavuse tagamiseks kujundatakse hindamisraamistik selliselt, et võimalikult suur osa sisenditest tugineks mõõdetavatele andmetele ning hinnanguliste komponentide puhul kasutati selgelt määratletud reegleid. [15], [19], [24]

Kiirus, liiklussagedus, ühes osas ületatava teeosa laius ja õnnetusajalugu põhinevad registri- või mõõteandmetel. See vähendab subjektiivsust ning võimaldab sama loogikat rakendada kogu valimi ulatuses ühtselt. Hinnangulisteks komponentideks jääb eeskätt nähtavus ja valgustus, kuid ka nende puhul vähendatakse tõlgendusruumi, sidudes nähtavuse kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega ning määrates valgustuse jaoks kindlad kategooriad.[11], [12], [40]

Korratavust toetab ka asjaolu, et kõik komponendid teisendatakse samale 0…1 skaalale. See võimaldab vältida olukorda, kus ühe komponendi ühik või väärtusvahemik hakkaks tulemust mõjutama üksnes oma suurusjärgu tõttu. Ühtne teisendamine võimaldab hinnata ka seda, kas konkreetne riskiskoor kujunes ühe tugeva riskiteguri või mitme mõõduka komponendi koosmõjul.[15], [19]

Nähtavuse hinnang määratakse mõlema sõidusuuna nähtavuskauguste põhjal, võttes aluseks väiksema ehk piiravama nähtavuse. Valgustuse hinnang määratakse etteantud kategooriate alusel, kus halvim ja parim olukord oli üheselt defineeritud. Selline lähenemine vähendab hindaja otsustusruumi ning toetab tulemuste võrreldavust.[14], [19], [24]

Praktilise rakendatavuse kontrollimiseks rakendatakse metoodikat kogu valimile ning võrreldakse saadud tulemusi objektide sisulise loogikaga. Kui kõrgema kiiruse, suurema liiklussageduse, pikema ühes etapis ületatava teeosa ja kehvema nähtavusega objektid koonduvad kõrgematesse riskiklassidesse, võib metoodikat pidada sisuliselt järjepidevaks. Selline kontroll toetab metoodika kasutatavust mitte ainult üksikjuhtumite hindamisel, vaid ka võrgutasandil prioriteetide seadmisel.

2.3.2 Riskiklasside ja riskiprofiilide kujundamine

Riskiklasside eesmärk on muuta arvutatud koondindeks otsustusprotsessi jaoks lihtsamini tõlgendatavaks. Punktiskoor võimaldab objekte järjestada, kuid praktiliseks kasutamiseks on vajalik koondada teeületuskohad ka sisuliselt arusaadavatesse rühmadesse. Selleks jaotatakse kõik objektid nelja riskiklassi: madal, keskmine, kõrge ja väga kõrge risk. Selline jaotus toetab nii valimi kirjeldamist kui ka hilisemat prioriseerimist.[10], [19]

Riskiklasside moodustamisel lähtutakse punktiskoori vahemikest, mille alusel on võimalik eristada objektide vahelisi ohutuse erinevusi. Madala riskiga objektide puhul on riskitegurite koosmõju väike ning olemasolevat ületuslahendust võib pidada üldjoontes sobivaks. Keskmise riskiga objektidel esineb üksikuid ebasoodsaid tunnuseid või mõõdukaid puudusi, kuid need ei moodusta veel tugevat kõrge riski profiili. Kõrge riskiga objektide puhul esineb tavaliselt mitu ebasoodsat tegurit korraga, näiteks kõrgem kiirus, suurem liiklussagedus, pikem ühes etapis ületatav teeosa või puudulik valgustus. Väga kõrge riskiga objektid koondavad seevastu mitu tugevat riskitegurit ning nende puhul on põhjendatud käsitleda sekkumist prioriteetsena.[10], [22], [23], [27], [28]

Riskiprofiilide moodustamiseks ei piisa ainult punktiskoori järjestusest, vaid tuleb analüüsida ka seda, milliste komponentide koosmõjul vastav tulemus kujunes(joonis 6). Käesolevas töös kirjeldatakse riskiprofiile komponentide V, LS, L, N, lux ja Õ alusel. Selle tulemusena on võimalik eristada näiteks profiile, kus domineerivad kõrge kiirus ja pikk ühes etapis ületatav teeosa, profiile, kus määravad kehv nähtavus ja puudulik valgustus, ning profiile, kus proaktiivsetele riskiteguritele lisandub ka õnnetusajalugu.[10], [11], [12], [27], [28]

Z	AA	AF	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
V85/lubatud	kattelaius	õnnetusteindeks	liiklussageduse indeks	laiuse indeks	nähtavuse indeks	valgustuse indeks	koondindeks	punktiskoor	Riskiklass	Profiil 1 skoor	Profiil 2 skoor	Profiil 3 skoor	Domineeriv riskiprofiil
115.00	11.5	0.3	0.971	0.280	0	1	0.617	61.73	Kõrge	0.731742014	0.5	0.65	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
104.32	11.5	0.2	1.000	0.440	0	1	0.602	60.24	Kõrge	0.755259258	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
124.00	11.5	0.2	0.959	0.440	0	1	0.638	63.78	Kõrge	0.739675769	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
102.00	14.3	0	0.953	0.320	0	1	0.539	53.86	Kõrge	0.690935305	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
102.00	10.8	0	0.953	0.320	0	1	0.539	53.86	Kõrge	0.690935305	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
102.00	12.65	0.1	0.953	0.400	0	1	0.566	56.56	Kõrge	0.717601972	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
102.00	14.3	0	0.953	0.400	0	0.5	0.501	50.06	Kõrge	0.717601972	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
102.00	12.65	0.1	0.953	0.640	0	0.5	0.552	55.16	Kõrge	0.737601972	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
78.00	9.2	0.6	0.924	0.000	0	0.5	0.458	45.80	Keskmine	0.485618857	0.25	0.761761619	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
91.31	9.2	0.1	0.878	0.000	0.5	0.5	0.486	48.53	Keskmine	0.519655383	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
97.68	9.2	0.1	0.876	0.000	0	0.5	0.428	42.82	Keskmine	0.542690261	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
94.00	9	0	0.857	0.000	0	0.5	0.399	39.91	Keskmine	0.522582185	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
90.00	9	0.4	0.857	0.000	0.5	0.5	0.523	52.30	Kõrge	0.507767371	0.5	0.628317723	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
90.00	9	0.4	0.857	0.000	0	0.5	0.448	44.80	Keskmine	0.507767371	0.25	0.628317723	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
90.00	9.1	0.1	0.857	0.080	1	0.5	0.565	56.50	Kõrge	0.534434037	0.75	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
99.00	9.1	0	0.716	0.080	0	0.5	0.397	39.68	Keskmine	0.520842567	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
99.00	9.1	0	0.716	0.000	0	0.5	0.385	38.48	Keskmine	0.494175901	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
90.32	9	0.4	0.871	0.080	0	0.5	0.465	46.54	Keskmine	0.542632925	0.25	0.635513282	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
95.01	9.2	0.3	0.871	0.000	0	0.25	0.425	42.48	Keskmine	0.531129228	0.125	0.585513282	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
73.52	9.1	0	0.818	0.080	1	0.5	0.497	49.65	Keskmine	0.460594649	0.75	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
109.00	9.1	0.1	0.839	0.000	0.5	0.5	0.527	52.73	Kõrge	0.572399473	0.5	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
98.44	7	0	0.752	0.000	0	0.5	0.390	39.05	Keskmine	0.504060034	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
98.44	7	0	0.752	0.000	0	0.5	0.390	39.05	Keskmine	0.504060034	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
93.16	7	0.1	0.752	0.000	0	0.5	0.407	40.75	Keskmine	0.506732258	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
93.16	7	0.1	0.752	0.000	0	0.5	0.407	40.75	Keskmine	0.506732258	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
101.00	7	0	0.752	0.000	0	0.25	0.373	37.26	Keskmine	0.513532252	0.125	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
89.00	7.2	0.3	0.752	0.000	0	1	0.459	45.92	Keskmine	0.463087808	0.5	0.65	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
89.00	6.8	0.9	0.752	0.000	0	1	0.549	54.92	Kõrge	0.463087808	0.5	0.95	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
89.00	6.8	0.9	0.660	0.000	1	0.5	0.631	63.08	Kõrge	0.438411795	0.75	0.95	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
89.00	6.8	0.1	0.660	0.064	0	1	0.420	42.04	Keskmine	0.459745123	0.5	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
77.00	6.5	0.1	0.608	0.040	1	1	0.523	52.32	Kõrge	0.390214804	1	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
77.00	6.5	0.1	0.608	0.240	0.5	0.5	0.428	42.82	Keskmine	0.45668147	0.5	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
72.99	9	0.1	0.845	0.000	0	0.5	0.353	35.34	Keskmine	0.440782163	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
82.00	9	0.3	0.845	0.000	0	0.5	0.408	40.84	Keskmine	0.474152541	0.25	0.572339323	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
82.00	9	0	0.845	0.000	0	0.5	0.363	36.34	Keskmine	0.474152541	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
76.00	9	0.1	0.845	0.000	0	0.5	0.362	36.17	Keskmine	0.451930319	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
96.44	9	0.1	0.880	0.280	0	0.5	0.468	46.75	Keskmine	0.632634282	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
99.00	12.5	0.1	0.769	0.000	0	0.5	0.410	41.04	Keskmine	0.511815733	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
94.00	8.8	0.1	0.786	0.000	0	0.25	0.375	37.49	Keskmine	0.498316287	0.125	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
97.31	8	0	0.781	0.000	1	0.25	0.518	51.81	Kõrge	0.509480963	0.625	0	2. Loetavuse/märgatavuse probleemid
97.00	7	0.1	0.765	0.080	0	0.5	0.416	41.61	Keskmine	0.529803412	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
92.52	7	0.1	0.765	0.080	0	0.5	0.404	40.37	Keskmine	0.513210907	0.25	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
98.20	8	0	0.613	0.080	0	0.25	0.349	34.91	Keskmine	0.483700767	0.125	0	1. Suur kiirus + liiklussagedus + laius
54.00	7.5	1	0.743	0.120	0	0.5	0.433	43.32	Keskmine	0.376523267	0.25	0.871451567	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
54.00	7.5	1	0.743	0.120	0	0.5	0.433	43.32	Keskmine	0.376523267	0.25	0.871451567	3. Õnnetusajalugu + muud riskid
55.00	7.5	1	0.743	0.120	0	0.5	0.436	43.60	Keskmine	0.38022697	0.25	0.871451567	3. Õnnetusajalugu + muud riskid

Joonis 6 Väljavõtte analüüsitabelist

Riskiprofiilide kujundamist toetab ka kattuvuse analüüs, mille abil hinnatakse, millised riskitegurid esinevad valimis sagedamini koos. See võimaldab kirjeldada mitte ainult üksikute objektide, vaid ka kogu valimi tasandil välja joonistuvaid riskimustreid. Seetõttu ei käsitleta riskiklassi ainult järjestusena, vaid seotakse see tüüpiliste tunnuste

kombinatsioonidega, mis loovad aluse meetmepakettide kujundamiseks järgmises alapeatükis.

2.4 Parendusmeetmete loogika riskiprofiilide lõikes

Parendusmeetmete valik seotakse riskiprofiiliga, et iga teeületuskoha puhul oleks võimalik põhjendada, milline sekkumissuunis on kõige asjakohasem. Meetmete valikul lähtutakse põhimõttest, et sekkumised peaksid vähendama kas konflikti tekkimise tõenäosust, võimalike tagajärgede raskust või mõlemat korraga. Selline jaotus võimaldab siduda koondindeksi praktilise sekkumisloogikaga. [9], [10], [18], [44]

Kui riskiprofiili kujundavad eeskätt kõrge kiirus ja õnnetusajalugu, on meetmete keskmes kiiruse ohjamine ning konfliktiala mõju vähendamine. Sellisel juhul võivad sobivateks lahendusteks olla kiirusrežiimi muutmine, füüsilised rahustavad elemendid seal, kus need on ruumiliselt ja funktsionaalselt võimalikud, või teeületuse etapilisuse loomine ohutussaare abil. [9], [10], [18], [44]

Kui profiili määravad peamiselt puudulik nähtavus ja halb valgustus, on otstarbekas keskenduda teeületuskoha loetavuse parandamisele, nähtavust piiravate takistuste eemaldamisele ning valgustuse täiendamisele. Kui profiili keskmes on suur ühes etapis ületatav laius, tuleb hinnata võimalusi ületuse lühendamiseks või etapiliseks muutmiseks. [5], [11], [12], [18]

Metoodikas eristatakse kahte peamist meetmerühma. Esimese rühma moodustavad kiired ja madalama kuluga sekkumised, nagu nähtavust piiravate takistuste eemaldamine, valgustuse parandamine, teeületuskoha märgatavuse tõstmine ja väiksemad liikluskorralduslikud täiendused. Teise rühma moodustavad suuremahulised investeeringud, näiteks ohutussaare rajamine, ristlõike ümberkujundamine, püsivad kiiruse alandamise lahendused või teeületuslahenduse oluline muutmine(eritasand). [9], [18], [44]

Riskiprofiilide põhjal kujundatud parendusmeetmete loogika eesmärk ei ole anda igale objektile lõplikku projekteerimislahendust, vaid määrata põhjendatud sekkumissuunad. Selline lähenemine võimaldab siduda riskihinnangu praktilise otsustamisega ning kujundada prioriteetide järjestuse nii madalama kuluga kiirete meetmete kui ka suuremahuliste investeeringute tasandil.

Õnnetusinfo kirjeldab riski realiseerumist ning see lisatakse hindamisraamistikku eraldi komponendina, et täiendada proaktiivset riskihinnangut, mis põhineb taristu- ja liiklusoludel. Liiklusõnnetused seotakse iga teeületuskohaga viimase viie aasta jooksul

ruumilises aknas ±200 m ületuskoha asukohast. Käesolevas töös ei eristata õnnetusi liigiti, vaid kasutatakse teeületuskoha mõjualas toimunud liiklusõnnetuste koguarvu. Selline lähenemine lihtsustab metoodika rakendamist ning võimaldab kasutada sama loogikat kogu valimi ulatuses. [10], [19]

Õnnetuskomponendi eesmärk ei ole asendada taristu- ja liiklusoludel põhinevat proaktiivset hindamist, vaid täiendada seda infoga selle kohta, kas risk on vastavas kohas juba liiklusõnnetusena realiseerunud. Seetõttu käsitletakse õnnetusajalugu koondindeksis korrigeeriva komponendina, mitte eraldiseisva põhikriteeriumina.[10], [19], [20]

Et õnnetusajalugu ei hakkaks üksikute äärmuslike väärtuste tõttu kogu tulemust domineerima, teisendatakse õnnetuste arv normaliseeritud kujule vahemikus 0…1. Selleks kasutatakse teisendust, mille korral lisanduvate õnnetuste mõju kasvab alguses kiiremini, kuid suuremate väärtuste juures tasandub. Nii säilib õnnetuskomponendi informatiivsus, kuid välditakse olukorda, kus üksik suurem väärtus määraks kogu riskihinnangu ebaproportsionaalselt.

Õnnetuskomponendi kaasamine võimaldab eristada objekte, mille puhul proaktiivsed riskitegurid on küll sarnased, kuid mille mõjualas on risk juba praktiliselt avaldunud. See muudab lõpliku riskiskoori otsustusprotsessi jaoks sisulisemaks ning toetab prioriteetide seadmist.

3. ANALÜÜS JA TULEMUSED

Käesolevas peatükis rakendatakse 2. peatükis kirjeldatud hindamisraamistikku Harjumaa riigiteede teeületuskohtade andmestikule. Esmalt kirjeldatakse valimit ja sisendandmete eeltöötlust. Seejärel esitatakse koondindeksi lõplik kuju koos rakendatud kaaludega ning arvutatakse punktiskoorid ja riskiklassid. Pärast seda analüüsitakse riskiklasside jaotust ning kirjeldatakse valimis välja joonistuvaid riskiprofiile. Lõpuks seotakse riskiprofiilid parendusmeetmete loogikaga.

3.1 Andmestiku ülevaade ja eeltöötlus

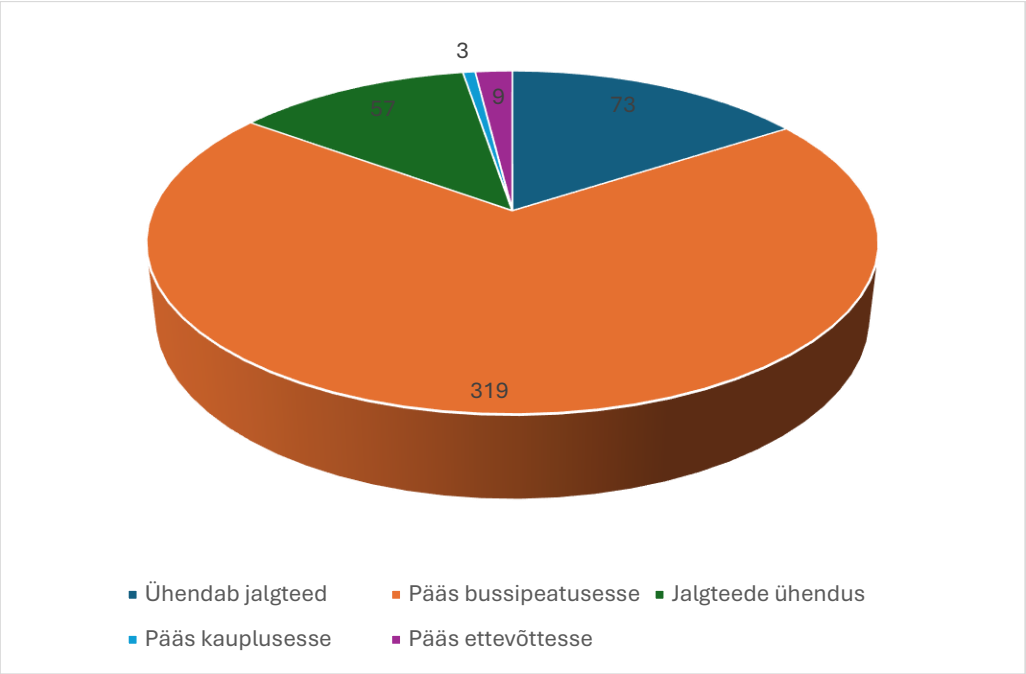
3.1.1 Valim ja objektide jaotus

Analüüsi valimi moodustasid Harjumaa riigiteedel paiknevad teeületuskohad, mille kohta oli koondatud ühtsesse Exceli andmestikku teeületuskoha asukoht, tüüp, liiklussagedus, kiirus, ühes osas ületatava teeosa laius, nähtavus, valgustus ja õnnetusajalugu. Harjumaa valimi maht oli 467 teeületuskohta.

Valimis domineerisid ülekäigukohad. Ülekäigukohti oli 289 ning ülekäiguradu 149. Lisaks esines väiksemas mahus ülekäiguradasid koos künnisega, valgusfooriga lahendusi ning üksikuid ülekäigukohti koos künnisega. Selline jaotus näitab, et valimis on esindatud nii lihtsamad reguleerimata teeületused kui ka tehniliselt täiendatud lahendused.

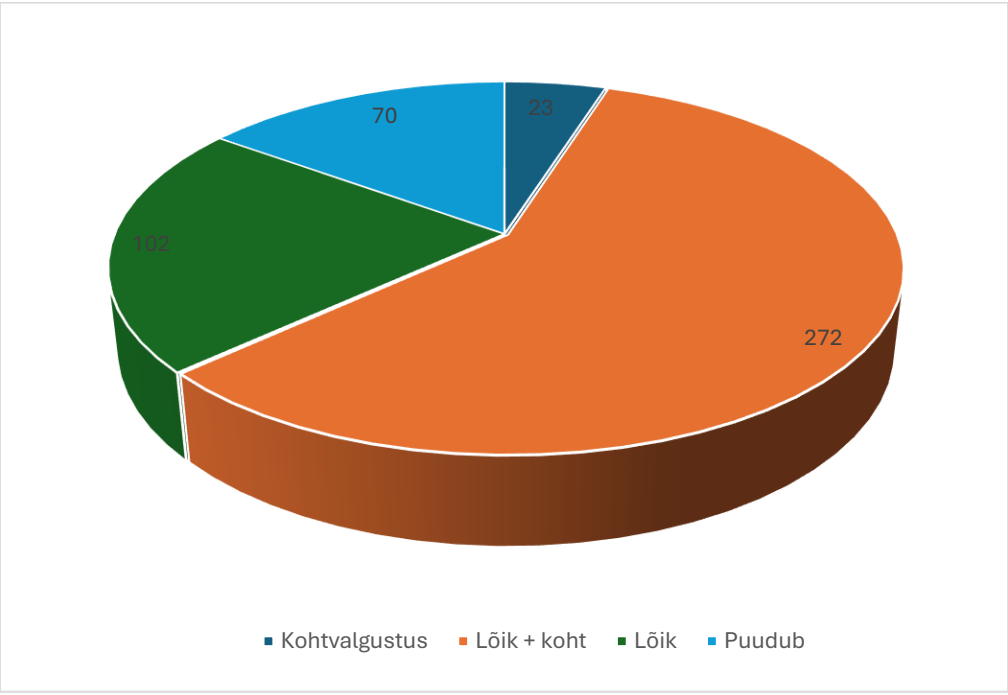
Asukohatunnuste põhjal paiknes 273 objekti asulavälisel teelõigul ja 194 objekti asulasisesel teelõigul. See kinnitab, et valim ei kirjelda ainult linnalist keskkonda, vaid hõlmab olulisel määral ka asulaväliseid teeületusi, mille puhul on kõrgem kiirusrežiim ja pikemad nähtavusnõuded ohutuse hindamisel keskse tähtsusega.

Teeületuskohtade funktsionaalse jaotuse põhjal(joonis2) oli valimis kõige sagedasemaks funktsiooniks pääs bussipeatusesse, mida esines 319 objektil. Lisaks esines 73 juhul jalgteid ühendav ning 57 juhul jalgteede ühendust tagav teeületuskoht. Oluliselt väiksema osakaaluga olid esindatud pääs ettevõttesse ja pääs kauplusesse. Selline jaotus viitab, et Harjumaa riigiteede teeületuskohad on valdavalt seotud igapäevase liikumisvajadusega, eeskätt ühistranspordile juurdepääsu ja jalgteevõrgu toimivuse tagamisega.



Joonis 7 Teeületuste funktsioon

Valgustuse jaotuses(joonis3) kõige sagedasemaks lahenduseks valgustatud teelõik, mida esines 272 objektil. Lõik- ja kohtvalgustuse kombinatsioon esines 102 juhul, valgustuse puudumine 70 juhul ning üksnes kohtvalgustus 23 juhul. Selline jaotus viitab, et kuigi enamikul objektidest oli mingi valgustuslahendus olemas, esines valimis siiski märkimisväärne hulk kohti, kus valgustus puudus täielikult või oli piiratud ulatusega.



Joonis 8 Teeületuste valgustus (autori koostatud)

Kirjeldavate tunnuste põhjal varieerus liiklussagedus Harjumaa valimis 20 kuni 30 880 sõidukini ööpäevas, mediaaniga 4256 sõidukit ööpäevas. Kiiruse sisendmuutuja väärtused varieerusid ligikaudu 40 kuni 129 km/h, mediaaniga 79,4 km/h. Ühes osas ületatava teeosa laius jäi vahemikku 3,0 kuni 18,5 m ning mediaanväärtuseks kujunes 5,5 m. Õnnetuste arv teeületuskoha mõjualas varieerus 0 kuni 25 juhtumini, mediaaniga 2. Need näitajad kinnitavad, et valim hõlmab nii väikese liikluskoormuse ja lühikese ületusega objekte kui ka suure liikluskoormuse, kõrgema kiiruse ja ulatuslikuma konfliktialaga teeületuskohti.

3.1.2 Andmete eeltöötlus

Enne koondindeksi arvutamist tuli osa sisendandmeid ühtlustada ja teisendada. Laiuse parameetri puhul ei kasutatud kogu katte laiust, vaid ühes osas ületatava teeosa laiust. See tähendas, et etapilise ületuse korral, kus algandmetes oli laius esitatud kujul „9,5 + 9,5" või „13 + 11", teisendati see arvväärtuseks, võttes aluseks suurema ühe etapi laiuse. Nii kirjeldas laiuse komponent mitte kogu ristlõiget, vaid tegelikku ühe konfliktietapi ulatust.

Nähtavuse komponendi kujundamisel kasutati mõlema sõidusuuna nähtavuskaugust ning arvutustes võeti aluseks kahest väärtusest väiksem ehk piiravam nähtavus. Seejärel võrreldi saadud nähtavuskaugust kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega.

Valgustuse komponent teisendati kategoorilisest tunnusest indeksiks nii, et parem valgustus andis väiksema ja halvem valgustus suurema indeksväärtuse. Õnnetuskomponent arvutati teeületuskoha mõjualas toimunud liiklusõnnetuste koguarvu põhjal ning teisendati normaliseeritud kujule, et see täiendaks koondindeksit, kuid ei hakkaks üksikute suurte väärtuste tõttu tulemust ebaproportsionaalselt domineerima.

3.2 Koondindeksi lõplik kuju

3.2.1 Sisendmuutujate teisendamine indeksiteks

Harjumaa riigiteede teeületuskohtade andmestiku rakendamisel teisendati kõik sisendmuutujad võrreldavale skaalale vahemikus 0…1. Selle eesmärk oli võimaldada erineva ühiku ja suurusjärguga tunnuste koondamist üheks riskihinnanguks. Väiksem indeksväärtus tähistas ohutuse seisukohalt soodsamat olukorda ning suurem indeksväärtus ebasoodsamat olukorda.

Kiiruse sisendmuutuja V määrati reegliga, et eelistatult kasutati mõõdetud V85 väärtust ning selle puudumisel teelõigu lubatud suurimat kiirust. Kiiruse indeks V* arvutati järgmiselt:

$$V^* = \frac{V-30}{120-30} \qquad \text{Valem 1.3}$$

kus alumiseks piiriks valiti 30 km/h ning ülemiseks 120 km/h. Selline teisendus väljendab põhimõtet, et kõrgema kiiruse korral suureneb nii peatumisteekond kui ka võimalike tagajärgede raskus.[10], [39], [40], [42], [43]

Liiklussageduse indeks LS*(valem1.4) arvutati selliselt, et väga suured AKÖL väärtused ei mõjutaks tulemust ebaproportsionaalselt. Selleks kasutati järgmist valemit:

$$LS^* = \frac{\ln(LS)-\ln(20)}{\ln(25000)-\ln(20)} \qquad \text{Valem 1.4}$$

kus LS on aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus. Alumiseks võrdluspiiriks valiti 20 sõidukit ööpäevas ning ülemiseks 25 000 sõidukit ööpäevas.

Laiuse indeks L* arvutati ühes osas ületatava teeosa laiuse põhjal. Kui ületus oli ühe-etapiline, kasutati vastavat laiust otse. Kui ületus oli etapiline ning andmestikus esitati laius näiteks kujul „9,5+9,5" või „13+11", võeti arvutuse aluseks suurem ühe etapi laius. Laiuse indeks arvutati valemiga 1.5:

$$L^* = \frac{L-6}{18{,}5-6} \qquad \text{Valem 1.5}$$

kus L on ühes osas ületatava teeosa laius meetrites. Alumiseks piiriks valiti 6 m ning ülemiseks 18,5 m. [5], [10], [18]

Nähtavuse komponendi kujundamisel kasutati nähtavuse andmeid mõlemas sõidusuunas. Kui nähtavust piirava kauguse väärtuseks oli 0, tõlgendati seda kui nähtavust üle 2000 m ning arvutustes asendati see väärtusega 2000, kuna tabelis väärtus 0 tähendab, et nähtavust piirav takistus silmapiiril puudub. Teeületuskoha nähtavust kirjeldas kahest suunast väiksem ehk piiravam nähtavuskaugus:

$$N_{tegelik} = \min(N_1, N_2) \qquad \text{Valem 1.6}$$

Saadud tegelikku nähtavuskaugust võrreldi kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega.[11], [42]

Rakendatud klassid olid järgmised:

kuni 50 km/h – 120 m;

kuni 70 km/h – 165 m;

kuni 90 km/h – 215 m;

üle 90 km/h – 260 m.

Nähtavuse indeks N^*määrati kolmeastmelise reegli alusel:

$N^* = 0$, kui tegelik nähtavus oli vähemalt sama suur kui vajalik nähtavuskaugus;

$N^* = 0{,}5$, kui tegelik nähtavus oli vähemalt 75% vajalikust nähtavuskaugusest;

$N^* = 1$, kui tegelik nähtavus jäi alla 75% vajalikust nähtavuskaugusest.

Valgustuse indeks lux^*määrati kategooriliselt järgmiselt:

lõik + kohtvalgustus = 0;

kohtvalgustus = 0,25;

valgustatud teelõik = 0,5;

valgustus puudub = 1.

Selline jaotus väljendas põhimõtet, et parem valgustatus annab väiksema ning puudulik valgustus suurema indeksväärtuse. [5], [12]

Õnnetusindeks Õ*arvutati teeületuskoha mõjualas toimunud liiklusõnnetuste koguarvu põhjal valemiga:

$$\tilde{O}^* = \min\left(\frac{\tilde{O}}{10}, 1\right) \qquad \text{Valem 1.7}$$

kus Õ on viimase viie aasta jooksul ruumilises aknas ±200 m toimunud liiklusõnnetuste arv. Selline teisendus tagas, et õnnetuskomponent mõjutas koondindeksit, kuid ei hakanud seda suurte väärtuste korral piiramatult domineerima.

3.2.2 Kaalude määramine

Kaalude lõplikud arvväärtused määrati piloteerimise käigus, lähtudes kahest põhimõttest. Esiteks pidid kaalud säilitama teoreetilise riskiloogika, mille kohaselt mõjutavad kiirus ja liiklussagedus teeületuskoha riski kõige otsesemalt. Teiseks võrreldi esmase kaalude kombinatsiooni tulemusi valimi sisulise loogikaga, hinnates, kas kõrgema kiiruse, suurema liiklussageduse, pikema ühes osas ületatava teeosa ning piiratud nähtavusega objektid koonduvad tulemustes ootuspäraselt kõrgematesse riskiklassidesse. Rakendatud kaalude jaotus osutus sellise piloteerimise käigus kõige paremini eristavaks ja sisuliselt loogiliseks. Metoodika piloteerimise tulemusena rakendati koondindeksi arvutamisel järgmisi kaale: kiiruse komponendi kaaluks määrati 0,25, liiklussageduse kaaluks 0,20, laiuse kaaluks 0,15, nähtavuse kaaluks 0,15, valgustuse kaaluks 0,10 ning õnnetuskomponendi kaaluks 0,15. Selline jaotus väljendas põhimõtet, et suurim mõju omistati kiirusele ja liiklussagedusele, kuna need mõjutavad vastavalt tagajärgede raskust ja konflikti tekkimise tõenäosust kõige otsesemalt.

Laiuse, nähtavuse ja valgustuse kaalud kujundati mõõdukama mõjuga komponentidena. See tähendas, et need ei määranud tulemust üksinda, vaid mõjutasid riskitaset koos kiiruse ja liiklussagedusega. Õnnetuskomponendile anti sama suur kaal kui laiusele ja nähtavusele, sest seda käsitleti korrigeeriva sisendina, mis täiendas proaktiivset riskihinnangut reaalselt avaldunud riskiga.[10], [19], [27]

Rakendatud kaalude summa(valem1.8) oli:

$$w_V + w_{LS} + w_L + w_N + w_{lux} + w_{\tilde{O}} = 1 \qquad \text{Valem 1.8}$$

kus w tähistab vastava komponendi kaalu koondindeksi kujunemisel.

3.2.3 Koondindeksi valem, punktiskoor ja riskiklassid

Rakendatud koondindeks arvutati valem 1.9 alusel:

$$R = 0{,}25V^* + 0{,}20LS^* + 0{,}15L^* + 0{,}15N^* + 0{,}10lux^* + 0{,}15\tilde{O}^* \quad \text{Valem 1.9}$$

kus V^*on kiiruse indeks, LS^*liiklussageduse indeks, L^*laiuse indeks, N^*nähtavuse indeks, lux^*valgustuse indeks ning $\tilde{O}^*$õnnetusindeks. Kõik komponendid olid eelnevalt teisendatud vahemikku 0…1.

Koondindeksi põhjal arvutati punktiskoor 0–100 skaalal valemiga 2.0:

$$P = 100 \cdot R \quad \text{Valem 2.0}$$

Saadud punktiskooride alusel jaotati objektid nelja riskiklassi:

0–25 punkti: madal risk;

25–50 punkti: keskmine risk;

50–75 punkti: kõrge risk;

75–100 punkti: väga kõrge risk.

Selline jaotus võimaldas koondindeksit kasutada nii objektide järjestamiseks kui ka riskiklasside moodustamiseks. Punktiskoori teisendamine 100-pallisele skaalale muutis tulemuse otsustustöös lihtsamini tõlgendatavaks ning võimaldas kirjeldada ka objektide tüüpilisi riskiprofiile.[10], [19], [27]

3.2.4 Punktiskoori jaotus

Harjumaa valimis jäi punktiskoor vahemikku 15,6 kuni 76,9 punkti. Keskmiseks punktiskooriks kujunes 39,5 ning mediaaniks 38,1 punkti. See näitab, et valimi keskosa koondus pigem keskmise riskitaseme piirkonda, kuid samal ajal esines ka objekte, mis ulatusid kõrge ja väga kõrge riskini.

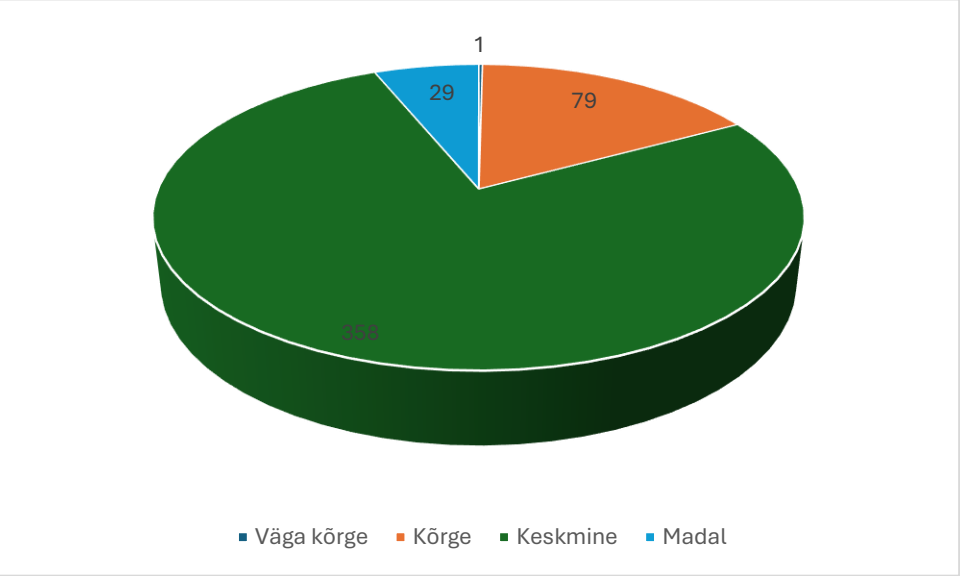
Tulemus kinnitab, et koondindeks eristas valimis nii suhteliselt soodsa riskiprofiiliga teeületuskohti kui ka objekte, mille puhul kuhjusid mitu ebasoodsat tegurit korraga. Seetõttu osutus punktiskoor sobivaks aluseks nii objektide järjestamiseks kui ka riskiklasside moodustamiseks.

3.3 Riskiklasside jaotus Harjumaa valimis

Riskiklasside jaotus (joonis 4) näitas, et Harjumaa valimis kuulus enamik teeületuskohti keskmise riskiga klassi. Keskmise riskiga objekte oli 358 ehk 76,7% valimist. Kõrge riskiga objekte oli 79 ehk 16,9%, madala riskiga objekte 29 ehk 6,2% ning väga kõrge riskiga klassi kuulus 1 objekt ehk 0,2% valimist.

Selline jaotus viitab, et valimis domineerivad teeületuskohad, millel ei kuhju äärmuslikud riskitegurid, kuid mille puhul esineb siiski üks või mitu mõõdukat puudust. Samal ajal moodustab kõrge riskiga objektide osakaal märgatava osa valimist, mis näitab, et probleemsemate teeületuskohtade hulk ei ole väike ning nende järjestamine ja käsitlemine metoodika rakendamisel on põhjendatud.

Väga kõrge riskiga objektide vähene arv osutab, et metoodika ei jaga objekte äärmuslikesse klassidesse liiga kergesti. See on oluline, sest väga kõrge risk peaks tähistama üksnes neid kohti, kus mitu tugevat riskitegurit kuhjuvad samaaegselt ning kus sekkumisvajadus on kõige selgemalt esile tõusnud.



Joonis 9 Riskiklasside jaotud Harjumaa valimis (autori koostatud)

3.4 Riskiprofiilid Harjumaa valimis

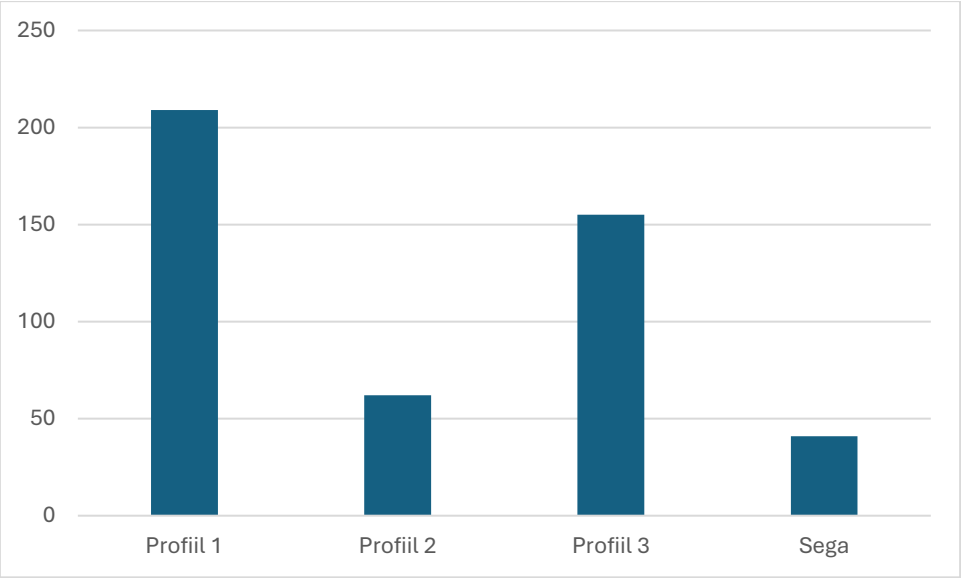
Riskiklasside jaotuse kõrval on oluline hinnata ka seda, milliste tunnuste koosmõjul kõrgema riskiga teeületuskohad kujunevad. Selleks analüüsiti komponentide kattuvust, et selgitada välja, millised riskitegurid esinevad valimis sagedamini koos. Kattuvuse analüüs näitas, et kõrgem risk ei kujune enamasti ühe üksiku puuduse tõttu, vaid pigem mitme ebasoodsa tunnuse koosesinemisel.

Riskitegurite kattuvuse maatriksist ilmnes, et kõige suurem kattuvus esines laiuse ja nähtavusega seotud riskitegurite vahel. See osutab, et laiem ühes osas ületatav teeosa kattus valimis sageli piiratud nähtavusega. Samuti joonistus selgelt välja liiklussageduse sage koosesinemine laiuse ja valgustusega seotud riskiteguritega. Võrreldes teiste paaridega esines suhteliselt sageli ka kõrgema kiiruse koosesinemine liiklussageduse, valgustuse ja õnnetusajalooga. Selline tulemus viitab, et probleemsemad teeületuskohad koonduvad eeskätt nendele teelõikudele, kus suurem liiklusvoog, pikem ühes osas ületatav teeosa ning teeületuskoha piiratud loetavus esinevad samaaegselt.

	Kiirus	LS	Laius	Nähtavus	Valgustus	Õnnetused
Kiirus	81	57	5	1	47	40
LS	57	475	134	6	99	56
Laius	5	134	5	270	42	3
Nähtavus	1	6	270	72	1	7
Valgustus	47	99	42	1	173	38
Õnnetused	40	56	3	7	38	348

Joonis 10 Riskitegurite kattuvusmaatriks (autori koostatud)

Saadud tulemuste põhjal võib Harjumaa valimis eristada kolme peamist riskiprofiili(joonis). Esimesse profiili liigitus 209 teeületuskohta, teise profiili 62 ning kolmandasse profiili 155 teeületuskohta. Lisaks esines 41 objekti, mille puhul ei domineerinud ükski riskiprofiil selgelt ning mis liigitati segaprofiili rühma.



Joonis 11 Riskiprofiilide jaotus (autori koostatud)

Esimesse rühma kuuluvad teeületuskohad, kus domineerivad kõrgem kiirus, suurem liiklussagedus ja pikem ühes osas ületatav teeosa. Tegemist on profiiliga, kus konfliktivõimalus on sage ning võimalike tagajärgede raskus suur. Sellised objektid paiknevad tõenäolisemalt laiematel ja suurema liikluskoormusega teelõikudel, kus teeületaja viibib konfliktialas kauem ning juhil on suurema kiiruse tõttu vähem reageerimisruumi.[10], [39], [40]

Teise profiili moodustavad teeületuskohad, kus risk kujuneb eeskätt loetavuse ja märgatavuse puudujääkidest, st määravaks osutuvad nähtavus- ja valgustusprobleemid. Sellistel objektidel ei pruugi liiklussagedus või kiirus üksinda olla valimi kõige äärmuslikumad, kuid puudulik nähtavus või vähene valgustus vähendab juhi ja teeületaja võimalust teineteist õigeaegselt märgata. Eriti oluline on see kõrgemate kiiruste juures, kus peatumisteekond ja reageerimiseks vajalik nähtavuskaugus on suuremad.[11], [12], [40]

Kolmanda profiili moodustavad objektid, mille puhul proaktiivsetele riskiteguritele lisandub õnnetusajalugu. Sellisel juhul ei viita kõrgenenud risk üksnes taristu- ja liiklusoludele, vaid ka sellele, et risk on vastavas mõjualas juba realiseerunud. Sellised objektid väärivad järjestamisel kõrgemat tähelepanu, sest teoreetiline riskitasand ja empiiriliselt avaldunud probleem langevad kokku. [10], [19]

Segaprofiili rühma kuuluvad teeületuskohad, mille puhul ükski riskiprofiil ei domineeri selgelt. Nende objektide puhul kujuneb risk pigem mitme mõõduka teguri koosmõjul ning neid ei ole otstarbekas siduda ainult ühe domineeriva probleemiloogikaga. Seetõttu käsitletakse segaprofiili täiendava rühmana, mis osutab vajadusele hinnata selliseid objekte detailsemalt üksikjuhtumi tasandil.

Riskiprofiilide kirjeldamine võimaldab punktiskoori tulemust sisuliselt paremini tõlgendada. Ühesuguse või sarnase punktiskooriga objektid ei pruugi vajada samu sekkumisi, sest risk võib olla kujunenud erinevate komponentide koosmõjul. Seetõttu ei piirduta tulemuste peatükis ainult objektide järjestamisega, vaid hinnatakse ka seda, milline riskiloogika konkreetse klassi või objekti taga domineerib.

3.5 Parandusmeetmed riskiprofiilide lõikes

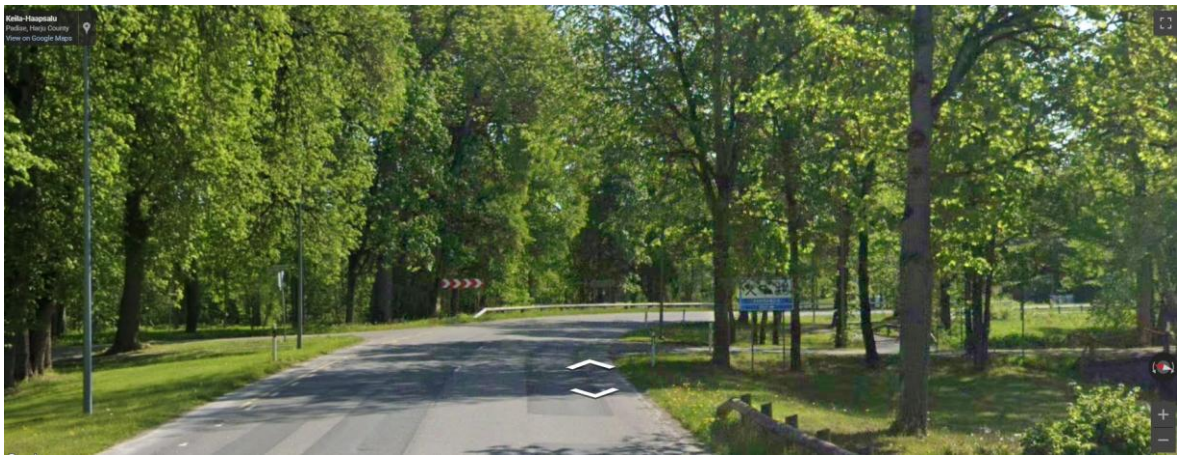
Riskiprofiilide analüüs võimaldab siduda punktiskoori praktilise sekkumisloogikaga. Parendusmeetmete määramisel lähtutakse põhimõttest, et sekkumine peab olema suunatud sellele riskikomponendile või komponentide kombinatsioonile, mis konkreetse objekti puhul tulemust kõige enam kujundab. Seetõttu ei käsitleta kõiki kõrgema punktiskooriga teeületuskohti ühtemoodi, vaid meetmete valik seotakse domineeriva riskiprofiiliga. Selline lähenemine võimaldab eristada olukordi, kus piisab kiiretest ja väiksema kuluga sekkumistest, ning olukordi, kus ohutuse parandamiseks on vajalik ulatuslikum investeering.

Esimese riskiprofiili moodustavad teeületuskohad, kus domineerivad kõrgem kiirus, suurem liiklussagedus ja pikem ühes osas ületatav teeosa. Sellise profiili puhul on põhiküsimuseks see, et konfliktivõimalus on sage ning võimalike tagajärgede raskus suur. Seetõttu tuleb meetmete valikul keskenduda eeskätt kokkupõrke raskuse vähendamisele ja teeületaja konfliktialas viibimise aja lühendamisele. Sobivateks lahendusteks võivad olla teeületuse etapiliseks muutmine ohutussaare abil, ühes osas ületatava laiuse vähendamine. Kui teelõigu funktsioon ja keskkond seda võimaldavad, võib suurt mõju anda ka lubatud kiiruse alandamine või füüsiliste rahustavate elementide kasutamine. [9], [10], [18], [44]



Joonis 12 Näide profiil 1

Teise riskiprofiili moodustavad teeületuskohad, kus risk kujuneb eeskätt loetavuse ja märgatavuse puudujääkidest, st määravaks osutuvad nähtavus- ja valgustusprobleemid. Sellisel juhul ei pruugi liiklussagedus või kiirus üksinda olla valimi kõige äärmuslikumad, kuid juht ja teeületaja ei pruugi teineteist piisavalt vara märgata. Seetõttu tuleb meetmete valikul keskenduda eeskätt nähtavuse parandamisele ja teeületuskoha ruumilise selguse suurendamisele. Sobivateks sekkumisteks on nähtavust piiravate takistuste eemaldamine, teeületuskoha valgustuse täiendamine või korrastamine, märgatavuse parandamine ning ületuskoha loetavam ruumiline kujundus. Vajaduse korral võib kaaluda ka ületuskoha lühendamist või selle asukoha ülevaatamist, kui probleem tuleneb ebasoodsast paiknemisest teelõigu suhtes. [5], [11], [12]



Joonis 13 Näide profiil 2

Kolmanda riskiprofiili moodustavad objektid, mille puhul proaktiivsetele riskiteguritele lisandub õnnetusajalugu. Sellisel juhul ei viita kõrgenenud risk üksnes taristu- ja liiklusoludele, vaid ka sellele, et risk on vastavas mõjualas juba realiseerunud. Sellised objektid vajavad seetõttu kõrgemat tähelepanu ning nende puhul ei pruugi väiksematest korrigeerimistest piisata. Kui õnnetusajalugu langeb kokku kõrgema kiiruse, suurema liiklussageduse või piiratud nähtavusega, on põhjendatud kaaluda tugevama mõjuga lahendusi, nagu teeületuse ümberkujundamine, püsivam kiiruse ohjamine või teeületuse tüübi muutmine. [10], [18], [19]



Joonis 14 Näide profiil 3

Segaprofiili rühma kuuluvad teeületuskohad, mille puhul ükski riskiprofiil ei domineeri selgelt. Nende objektide puhul kujuneb risk pigem mitme mõõduka teguri koosmõjul ning seetõttu ei ole otstarbekas siduda neid ainult ühe domineeriva probleemiloogikaga. Selliste objektide puhul on põhjendatud alustada väiksemahuliste ja kiiremate meetmetega, mis parandavad teeületuskoha üldist loetavust ja kasutusmugavust, ning vajaduse korral hinnata objekti detailsemalt kohapealse vaatluse või täiendava eksperthinnangu alusel.

Praktilise rakendamise seisukohalt võib meetmed jagada kaheks põhirühmaks. Esimese rühma moodustavad kiired ja madalama kuluga sekkumised, nagu nähtavust piiravate takistuste eemaldamine, valgustuse parandamine, märgatavuse suurendamine ja väiksemad liikluskorralduslikud täiendused. Need sobivad eeskätt teise riskiprofiili ja osaliselt ka segaprofiili puhul. Teise rühma moodustavad suuremahulised investeeringud, nagu ohutussaare rajamine, ristlõike ümberkujundamine, püsivad kiiruse alandamise lahendused või teeületuse korralduse olulisem muutmine. Need sobivad eeskätt esimese ja kolmanda riskiprofiili puhul, kus risk on seotud kas kõrge kiiruse ja suure liiklusvooga või juba realiseerunud õnnetusajalooga.[9], [10], [18]

Riskiprofiilide ja meetmete sidumine võimaldab muuta punktiskoori praktiliselt kasutatavaks otsustustööriistaks. Selle asemel, et käsitleda kõiki kõrgema punktiskooriga objekte ühtemoodi, võimaldab selline lähenemine eristada, millise probleemi lahendamisele tuleks konkreetse objekti puhul keskenduda. Nii toetab metoodika mitte ainult objektide järjestamist, vaid ka põhjendatud ja sisuliselt loogiliste sekkumisvalikute tegemist.

3.6 Järeldused analüüsist

Analüüsi tulemused näitasid, et Harjumaa riigiteede teeületuskohtade ohutust ei kujunda enamasti üksik riskitegur, vaid mitme ebasoodsa komponendi koosmõju. Väljatöötatud koondindeks võimaldas ühises hindamisraamistikus arvestada nii konflikti tekkimise tõenäosust kui ka võimalike tagajärgede raskust ning eristada selle põhjal erineva riskitasemega teeületuskohti. Saadud tulemused kinnitasid, et teeületuskohtade võrdlevaks hindamiseks ei ole piisav keskenduda ainult üksikutele näitajatele, näiteks kiirusele või õnnetusajaloole, vaid vajalik on mitmest komponendist koosnev koondhinnang.

Analüüsi põhjal selgus esmalt, et teeületuskoha ohutuse hindamisel on oluliseks sisendiks kiirus, liiklussagedus, ühes osas ületatava teeosa laius, nähtavus, valgustus ja õnnetusajalugu. Nendest avaldasid suurimat mõju eeskätt kiirus ja liiklussagedus, mis kirjeldavad vastavalt võimalike tagajärgede raskust ja konflikti tekkimise sagedust. Samal ajal ilmnes, et riski kirjeldab paremini ühes osas ületatava teeosa laius kui kogu katte laius, sest etapilise ületuse korral ei pea teeületaja kogu ristlõiget korraga läbima. Nähtavuse ja valgustuse mõju osutus eriti oluliseks koos kõrgema kiiruse ja suurema liiklussagedusega, samas kui õnnetusajalugu täiendas riskihinnangut infoga selle kohta, kas risk on teeületuskoha mõjualas juba realiseerunud.

Punktiskoori kujundamise seisukohalt näitas analüüs, et ühtne ja korratav hindamistulemus on saavutatav juhul, kui erineva ühiku ja sisuga sisendnäitajad teisendatakse ühtsele skaalale ning koondatakse kaalutud summana üheks koondindeksiks. Rakendatud lahenduses teisendati kõik komponendid vahemikku 0…1 ning koondindeksi lõplik kuju määrati piloteerimise tulemusena. Selline lähenemine võimaldas võrrelda eri objektide ohutust ühises raamistikus ning teisendada tulemuse 100-pallisele skaalale, mida oli lihtne kasutada nii objektide järjestamiseks kui ka riskiklassidesse jaotamiseks. Seega kinnitas analüüs, et punktiskoori korratavus sõltub eeskätt mõõdetavate sisendite kasutamisest, hinnanguliste komponentidele selgete reeglite seadmisest ning kaalude sisulisest põhjendatusest.

Riskiklasside jaotuse põhjal selgus, et Harjumaa valimis domineerisid keskmise riskitasemega teeületuskohad. Keskmise riskiga objekte oli 358 ehk 76,7% valimist, kõrge riskiga objekte 79 ehk 16,9%, madala riskiga objekte 29 ehk 6,2% ning väga kõrge riskiga klassi kuulus 1 objekt ehk 0,2% valimist. Selline jaotus osutab, et enamik teeületuskohti ei koonda äärmuslikke riskitegureid, kuid samal ajal moodustavad kõrgema riskiga objektid siiski märkimisväärse osa valimist. Riskiprofiilide analüüs võimaldas tulemusi seejuures sisuliselt täpsemalt tõlgendada. Harjumaa valimis eristus kolm peamist riskiprofiili ning lisaks väiksem segaprofiili rühm: esimesse riskiprofiili

kuulus 209 teeületuskohta, teise 62, kolmandasse 155 ning segaprofiili 41 objekti. See näitab, et valimis domineerivad eeskätt need teeületuskohad, mille puhul risk kujuneb suure kiiruse, suurema liiklussageduse ja pikema ületusetapi koosmõjul, kuid märkimisväärne osa objektidest seostub ka õnnetusajalooga või loetavuse ja märgatavuse puudujääkidega.

Kattuvuse analüüs kinnitas ühtlasi, et kõrgem risk ei kujune tavaliselt üheainsa puuduse tõttu. Kõige suurem kattuvus esines laiuse ja nähtavusega seotud riskitegurite vahel, samuti ilmnes liiklussageduse sage koosesinemine laiuse ja valgustusega seotud teguritega. Võrreldes teiste kombinatsioonidega esines suhteliselt sageli ka kõrgema kiiruse koosesinemine liiklussageduse, valgustuse ja õnnetusajalooga. Sellest võib järeldada, et probleemsemad teeületuskohad koonduvad eeskätt nendele teelõikudele, kus suurem liiklusvoog, pikem ühes osas ületatav teeosa ning teeületuskoha piiratud nähtavus esinevad samaaegselt. Seega näitas analüüs, et riskiklassid kirjeldavad objektide üldist riskitaset, kuid riskiprofiilid aitavad mõista, milliste komponentide koosmõjul konkreetne tulemus kujunes.

Praktilise rakendamise seisukohalt ilmnes, et eri riskiprofiilide puhul on kõige mõjusamad erinevad parandusmeetmed. Esimese riskiprofiili puhul, kus domineerivad kõrgem kiirus, suurem liiklussagedus ja pikem ühes osas ületatav teeosa, osutusid kõige põhjendatumaks lahendused, mis vähendavad kokkupõrke raskust ja teeületaja konfliktialas viibimise aega, näiteks teeületuse etapiliseks muutmine ohutussaare abil, ületuse lühendamine ning vajaduse korral ka kiiruse alandamine või kiirust rahustavad lahendused. Teise riskiprofiili puhul on põhjendatud keskenduda nähtavuse, valgustuse ja teeületuskoha loetavuse parandamisele. Kolmanda riskiprofiili puhul, kus proaktiivsetele riskiteguritele lisandub õnnetusajalugu, on põhjendatud käsitleda sekkumisvajadust suurema tähelepanuga ning vajaduse korral kaaluda tugevama mõjuga ümberkujundusi. Segaprofiili puhul on otstarbekas alustada väiksemahuliste ja kiiremate meetmetega ning vajaduse korral hinnata objekti detailsemalt üksikjuhtumi tasandil.

Kokkuvõttes võib järeldada, et väljatöötatud metoodika on Harjumaa riigiteede teeületuskohtade valimil rakendatav ning sobib võrgutasandil objektide võrdlemiseks, järjestamiseks ja rühmitamiseks. Metoodika tugevuseks on see, et see ühendab samasse raamistikku nii kiirusest, liiklusvoost ja taristust tuleneva proaktiivse riskihinnangu kui ka õnnetusajaloo põhise korrigeeriva info. See loob aluse mitte ainult probleemsete kohtade väljaselgitamiseks, vaid ka nende sisuliseks tõlgendamiseks ja sobivate sekkumissuundade määratlemiseks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärk oli välja töötada metoodika riigiteedel paiknevate teeületuskohtade ohutuse hindamiseks ning rakendada seda Harjumaa näitel. Töö lähtekohaks oli probleem, et teeületuskohtade käsitlemisel ei piisa sageli üksikjuhtumite või ainult õnnetusajaloo põhjal tehtud hinnangutest, sest risk võib olla kõrge ka seal, kus õnnetusi on toimunud vähe või ei ole neid vaadeldud perioodil registreeritud. Sellest tulenevalt seati eesmärgiks luua ühtne, võrreldav ja praktiliselt rakendatav hindamisraamistik, mis võimaldaks teeületuskohti järjestada, jaotada riskiklassidesse ning siduda tulemused sobivate parendusmeetmetega. Töö ülesehitus vastas sellele loogikale: metoodika peatükis määratleti hindamisparameetrid ja punktiskoori kujundamise põhimõtted ning analüüsi peatükis rakendati väljatöötatud raamistikku Harjumaa andmestikule.

Töö teoreetilises osas käsitleti teeületuskohtade ohutust liikluskeskkonna, taristuohutuse juhtimise ja riskihindamise vaates. Varasemate käsitluste põhjal järeldati, et teeületuskoha ohutust mõjutavad eeskätt sõidukiirus, liiklussagedus, konfliktiala ulatus, nähtavus, valgustus ning õnnetusajalugu. Eraldi rõhutati kiiruse mõju peatumisteekonnale ja kokkupõrke raskusastmele ning toodi välja, et etapiline teeületus, piisav nähtavus ja hea valgustus võivad vähendada samatasandilise ületuse riski. Teooria põhjal valiti metoodika põhiparameetriteks kiirus, liiklussagedus, ühes osas ületatava teeosa laius, nähtavus, valgustus ja õnnetusajalugu.

Metoodika kujundamisel võeti aluseks Harjumaa riigiteede teeületuskohtade andmestik, mida täiendati kiiruse, liiklussageduse, laiuse, nähtavuse, valgustuse ja õnnetuste andmetega. Erineva ühiku ja sisuga sisendid teisendati ühtsele 0…1 skaalale. Kiiruse sisendmuutujana kasutati eelistatult mõõdetud V85 väärtust ning selle puudumisel lubatud suurimat kiirust. Liiklussagedus teisendati viisil, mis vähendas väga suurte AKÖL väärtuste liigset mõju koondindeksile. Laiuse komponendi puhul lähtuti kogu katte laiuse asemel ühes osas ületatava teeosa laiusest, mis võimaldas etapilisi teeületusi sisuliselt täpsemalt hinnata. Nähtavuse komponendi kujundamisel võeti aluseks piiravam sõidusuund ning seda võrreldi kiirusest sõltuva vajaliku nähtavuskaugusega. Valgustus teisendati kategooriliseks indeksiks ning õnnetusajalugu lisati koondindeksisse korrigeeriva komponendina.

Metoodika rakendamisel kujundati koondindeks, mis ühendas kõik eelkirjeldatud komponendid kaalutud summana. Kaalude määramisel lähtuti põhimõttest, et kiirus ja liiklussagedus mõjutavad teeületuskoha ohutust kõige otsesemalt, samas kui laius, nähtavus ja valgustus avalduvad sageli koos nende komponentidega. Õnnetuskomponenti käsitleti täiendava sisendina, mis võimaldas proaktiivset

riskihinnangut täiendada reaalselt avaldunud riskiga. Koondindeksi põhjal arvutati punktiskoor 0–100 skaalal ning objektid jaotati riskiklassidesse. Selline lähenemine võimaldas teeületuskohti mitte ainult järjestada, vaid ka kirjeldada nende tüüpilisi riskiprofiile.

Analüüsi tulemusel hinnati 467 Harjumaa riigiteedel paiknevat teeületuskohta. Riskiklasside jaotus näitas, et valimis domineerisid keskmise riskiga objektid: sellesse klassi kuulus 358 teeületuskohta ehk 76,7% valimist. Kõrge riskiga objekte oli 79 ehk 16,9%, madala riskiga objekte 29 ehk 6,2% ning väga kõrge riskiga klassi kuulus 1 objekt ehk 0,2% valimist. Selline jaotus osutas, et enamik teeületuskohti ei koonda äärmuslikke riskitegureid, kuid samal ajal moodustavad kõrgema riskiga objektid siiski märkimisväärse osa valimist. See kinnitas, et metoodika võimaldab probleemsemad teeületuskohad võrgutasandil selgelt esile tõsta.

Kattuvuse analüüs näitas, et risk ei kujune enamasti ühe üksiku puuduse tõttu, vaid mitme ebasoodsa tunnuse koosesinemisel. Kõige suurem kattuvus esines laiuse ja nähtavusega seotud riskitegurite vahel. Samuti ilmnes liiklussageduse sage koosesinemine laiuse ja valgustusega seotud teguritega ning kõrgema kiiruse koosesinemine liiklussageduse, valgustuse ja õnnetusajalooga. Sellest järeldati, et probleemsemad teeületuskohad koonduvad eeskätt nendele teelõikudele, kus suurem liiklusvoog, pikem ühes osas ületatav teeosa ning teeületuskoha piiratud loetavus esinevad samaaegselt.

Riskiprofiilide analüüs võimaldas tulemusi täpsemalt tõlgendada. Harjumaa valimis eristus kolm peamist riskiprofiili ning lisaks väiksem segaprofiili rühm. Esimesse riskiprofiili kuulus 209 teeületuskohta, teise 62 ja kolmandasse 155 teeületuskohta; 41 objekti liigitati segaprofiili rühma. Esimese profiili puhul domineerisid kõrgem kiirus, suurem liiklussagedus ja pikem ühes osas ületatav teeosa. Teise profiili puhul kujunes risk eeskätt loetavuse ja märgatavuse puudujääkidest, st nähtavus- ja valgustusprobleemidest. Kolmanda profiili puhul lisandus proaktiivsetele riskiteguritele õnnetusajalugu. Selline jaotus näitas, et sarnase punktiskooriga objektid ei pruugi vajada samu meetmeid, sest risk võib olla kujunenud erinevate komponentide kombinatsioonidest.

Analüüsi üks oluline järeldus oli, et riski kirjeldab paremini ühes osas ületatava teeosa laius kui kogu katte laius. Etapilise teeületuse korral ei pea teeületaja kogu ristlõiget korraga ületama ning seetõttu on riski seisukohalt määravam ühe konfliktietapi ulatus. Samuti ilmnes, et nähtavuse ja valgustuse mõju avaldub eriti selgelt koos kõrgema kiiruse ja suurema liiklussagedusega. Õnnetuskomponendi lisamine koondindeksisse osutus põhjendatuks, sest see võimaldas eristada objekte, mille puhul proaktiivne

riskihinnang ja tegelikult avaldunud risk langesid kokku, kuid ei muutunud samas koondhinnangut domineerivaks teguriks.

Töö praktiliseks tulemuseks oli hindamisraamistik, mida on võimalik kasutada teeületuskohtade võrdlemiseks, järjestamiseks ja sekkumissuundade määramiseks. Esimese riskiprofiili puhul osutusid oluliseks lahendused, mis vähendavad kokkupõrke raskust ja teeületaja konfliktialas viibimise aega, näiteks kiiruse ohjamine, ohutussaar või ületuse etapiliseks muutmine. Teise riskiprofiili puhul on põhjendatud keskenduda nähtavuse, valgustuse ja teeületuskoha loetavuse parandamisele. Kolmanda riskiprofiili puhul, kus riskile lisandub õnnetusajalugu, on põhjendatud käsitleda sekkumisvajadust suurema tähelepanuga ning vajaduse korral kaaluda tugevama mõjuga ümberkujundusi. Nii võimaldab metoodika siduda riskihinnangu praktilise otsustamisega.

Töö tulemuste põhjal võib järeldada, et püstitatud eesmärk saavutati. Välja töötati ühtne riskipõhine metoodika, mis võimaldas Harjumaa riigiteede teeületuskohti süstemaatiliselt hinnata, järjestada ja kirjeldada. Samuti ilmnes, et metoodika on võrgutasandil rakendatav ning sobib kasutamiseks objektide järjestamisel ja sekkumisvajaduse põhjendamisel. Töö piiranguks on see, et hinnang põhineb olemasolevatel registri- ja andmeväljavõtetel ega hõlma kõiki võimalikke kohapealseid käitumuslikke või hooajalisi tegureid. Edasises arenduses võiks metoodikat täiendada näiteks kergliiklejate liiklussagedusega, detailsema konfliktivaatluse või suurema valimiga kalibreerimise kaudu. Sellest hoolimata loob töö aluse teeületuskohtade ohutuse süsteemsemaks käsitlemiseks ning toetab otsustamist olukordades, kus piiratud ressursid tuleb suunata suurima ohutusmõjuga objektidele.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to develop a methodology for assessing the safety of pedestrian crossings located on state roads and to apply it to the case of Harju County. The study was motivated by the need for a unified and practical assessment framework, as the safety of pedestrian crossings cannot be evaluated sufficiently on the basis of individual cases or crash history alone. Risk may also be high at locations where few or no crashes have been recorded, particularly on higher-speed road sections where the consequences of a conflict may be severe. Therefore, the objective was to create a comparable and risk-based framework that would allow pedestrian crossings to be assessed systematically, divided into risk classes, and linked to suitable improvement measures.

The theoretical part of the thesis examined pedestrian crossing safety from the perspectives of the traffic environment, road infrastructure safety management and risk assessment. Based on previous studies, guidance materials and Estonian practice, it was concluded that the safety of a pedestrian crossing is mainly influenced by vehicle speed, traffic volume, the extent of the conflict area, visibility, lighting and crash history. Special emphasis was placed on the effect of speed on stopping distance and crash severity, as well as on the importance of a short, readable and well-visible crossing layout. On this basis, the main assessment parameters of the methodology were selected as speed, traffic volume, the width of the road section crossed in one stage, visibility, lighting and crash history.

The empirical part of the thesis was based on a dataset of pedestrian crossings located on state roads in Harju County. The dataset was compiled from the Estonian road register and supplemented with data on speed, traffic volume, crossing width, visibility, lighting and crashes. The methodology was designed as a quantitative and risk-based framework in which all input variables were transformed onto a common 0–1 scale. Speed was represented preferably by measured V85 values and, where unavailable, by the posted speed limit. Traffic volume was transformed in a way that reduced the disproportionate influence of very high AADT values. Instead of the total pavement width, the methodology used the width of the section crossed in one stage, which made it possible to assess staged crossings more accurately. Visibility was evaluated on the basis of the more restrictive approach direction and compared with the required sight distance corresponding to the speed regime. Lighting was transformed into a categorical index, and crash history was included as a corrective component in the composite index.

The final composite index combined all of the above components by means of a weighted sum. The weighting logic assumed that speed and traffic volume affect pedestrian

crossing safety most directly, while width, visibility and lighting often act together with these components. Crash history was treated as an additional input that complemented the proactive assessment of risk with evidence of risk already realised in practice. Based on the composite index, a 0–100 point score was calculated, and the crossings were divided into four risk classes. This made it possible not only to rank the crossings but also to describe their typical risk profiles.

The methodology was applied to a sample of 467 pedestrian crossings on state roads in Harju County. The results showed that most crossings belonged to the medium-risk class: 358 crossings, or 76.7% of the sample. High-risk crossings accounted for 79 objects, or 16.9%, low-risk crossings for 29 objects, or 6.2%, and only one crossing, or 0.2%, was classified as very high risk. This indicates that most crossings did not combine extreme risk factors, while at the same time a considerable share of the sample consisted of more problematic locations requiring additional attention.

The overlap analysis showed that risk usually does not arise from a single isolated deficiency but rather from the co-occurrence of several unfavourable factors. The strongest overlap was found between crossing width and visibility-related risk factors. Frequent overlap also appeared between traffic volume and width, as well as between traffic volume and lighting-related deficiencies. In addition, higher speed was often associated with traffic volume, lighting and crash history. These findings suggest that the most problematic crossings tend to be located on road sections where higher traffic volume, a longer one-stage crossing distance and limited readability of the crossing occur simultaneously.

The analysis of risk profiles made it possible to interpret the results in greater detail. Three main risk profiles and one smaller mixed-profile group were identified in the Harju County sample. The first risk profile included 209 crossings and was characterised by higher speed, higher traffic volume and a longer width crossed in one stage. The second profile included 62 crossings and was mainly associated with deficiencies in visibility, lighting and overall readability. The third profile included 155 crossings and consisted of locations where proactive risk factors were accompanied by crash history. In addition, 41 crossings were classified as belonging to a mixed-profile group, where no single profile dominated clearly. This showed that crossings with similar point scores may still require different types of intervention because the risk may have developed through different combinations of factors.

One important conclusion of the study was that risk is described more accurately by the width of the road section crossed in one stage than by the total pavement width. In staged crossings, a refuge island or another intermediate stopping opportunity reduces

the size of the conflict area that must be crossed at once. The analysis also confirmed that the influence of visibility and lighting becomes particularly significant when combined with higher speed and greater traffic volume. The inclusion of crash history in the composite index proved justified, as it helped distinguish locations where proactive risk assessment and already realised risk coincided, while still preventing crash history from becoming a disproportionately dominant factor.

The practical outcome of the thesis was an assessment framework that can be used to compare, rank and interpret pedestrian crossings and to support the selection of suitable intervention directions. For the first risk profile, the most relevant measures are those that reduce crash severity and shorten the time spent in the conflict area, such as speed management, refuge islands and staged crossing solutions. For the second profile, the most appropriate measures are improving visibility, lighting and the overall readability of the crossing. For the third profile, where crash history is present in addition to proactive risk factors, a stronger level of attention is justified and more substantial redesign measures may be necessary. In this way, the methodology links risk assessment with practical decision-making.

Based on the results, it can be concluded that the objective of the thesis was achieved. A unified risk-based methodology was developed that made it possible to assess, rank and describe pedestrian crossings on state roads in Harju County in a systematic manner. The methodology proved applicable at network level and suitable for supporting the ranking of crossings and the justification of intervention needs. The main limitation of the study is that the assessment is based on available registry extracts and datasets and does not include all possible site-specific behavioural or seasonal factors. In future development, the methodology could be improved by incorporating pedestrian and cyclist flow data, more detailed conflict observations or calibration on a larger sample. Nevertheless, the thesis provides a basis for a more systematic treatment of pedestrian crossing safety and supports decision-making in situations where limited resources need to be directed to locations with the greatest expected safety benefit.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

[1] "Liiklusseadus–Riigi Teataja." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/122122023004?leiaKehtiv

[2] "Övergångställe eller gångpassage - vad är skillnaden? | Frågor och svar - Frågor och svar." Accessed: May 12, 2026. [Online]. Available: https://faq.trafikverket.se/guide/overgangstalle-eller-gangpassage-vad-ar-skillnaden

[3] "Forskrift om kjørende og gående trafikk (trafikkregler) - Lovdata." Accessed: May 12, 2026. [Online]. Available: https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/1986-03-21-747

[4] "Road Traffic Act | 729/2018 | Legislation | Finlex." Accessed: May 12, 2026. [Online]. Available: https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/2018/729

[5] "Kõiki kaasava elukeskkonna kavandamine & loomine".

[6] L. F. Miranda-Moreno, P. Morency, and A. M. El-Geneidy, "The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 43, no. 5, pp. 1624–1634, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.aap.2011.02.005.

[7] N. M. Zafri, R. Sultana, Md. R. H. Himal, and T. Tabassum, "Factors influencing pedestrians' decision to cross the road by risky rolling gap crossing strategy at intersections in Dhaka, Bangladesh," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 142, p. 105564, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.aap.2020.105564.

[8] N. M. Zafri, T. Tabassum, M. R. H. Himal, R. Sultana, and A. K. Debnath, "Effect of pedestrian characteristics and their road crossing behaviors on driver yielding behavior at controlled intersections," *J. Safety Res.*, vol. 81, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1016/j.jsr.2022.01.001.

[9] B. Turner, "IMPROVING THE SAFETY OF PEDESTRIANS THROUGH EFFECTIVE MANAGEMENT OF SPEED ON URBAN ARTERIAL ROADS".

[10] T. V. Rune Elvik, *The Handbook of Road Safety Measures: Second Edition*, 2nd ed. Bingley: Emerald Publishing Limited, 2009.

[11] X. Zhuang, T. Zhang, W. Chen, R. Jiang, and G. Ma, "Pedestrian estimation of their crossing time on multi-lane roads," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 143, p. 105581, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.aap.2020.105581.

[12] R. L. Sanders, R. J. Schneider, and F. R. Proulx, "Pedestrian fatalities in darkness: What do we know, and what can be done?," *Transp. Policy*, vol. 120, pp. 23–39, 2022, doi: 10.1016/j.tranpol.2022.02.010.

[13] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, "EVS 843:2016 Linnatänavad." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.evs.ee/Download/ViewBrowsingServiceSubscription?productId=56078&language=EstonianLanguage

[14] United, Nations, *Road Safety Performance Review - Georgia: From Reforming to Performing*. UN, 2019. doi: 10.18356/f9ae5e6f-en.

[15] L. Sillandi and D. Antov, "Töövahend kooliümbruse taristu liiklusohutuse hindamiseks," Jun. 2021, Accessed: Dec. 01, 2025. [Online]. Available: https://digikogu.taltech.ee/et/item/dc149265-f736-4803-a58a-d371cf591e0b

[16] "Human factors in road design.Review of design standards in nine countries." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.piarc.org/ressources/publications/7/19938,2012R36-EN.pdf

[17] M. Jüssi, *Säästev transpordipoliitika: juhendmaterjal arengukavade ja planeeringute koostajatele*. Tartu]: Eesti Roheline Liikumine, 2004. Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.digar.ee/id/nlib-digar:7653

[18] "Erinevate teeületusvõimaluste rakendamise võimalikkuse uuring." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/erinevate_tee_letusv_imaluste_rakendamine_aruanne.pdf

[19] A. Drummond and Austroads, Eds., *Road safety audit*, 2. ed. Sydney: Austroads, 2002.

[20] "Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2008/96/EÜ,19. november 2008, teetaristu ohutuse korraldamise kohta." Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0096-20191216
[21] "EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV (EL) 2019/1936, 23. oktoober 2019, millega muudetakse direktiivi 2008/96/EÜ teetaristu ohutuse korraldamise kohta." [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1936
[22] D. Hussain *et al.*, "Assessing Road Safety of the Peshawar-Rawalpindi Section of National Highway (N-5) in Pakistan Using iRAP," *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 53, no. 4, pp. 371–380, Jul. 2025, doi: 10.3311/PPtr.39957.
[23] M. Crispino, K. Camozzi, M. Ketabdari, A. Antoniazzi, and E. Toraldo, "Safety Impact Prediction of Redesigning National Roads Crossing Residential Areas: An Italian Case Study," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 12, p. 4984, Jan. 2024, doi: 10.3390/app14124984.
[24] "Liiklusohutusauditi teostamise juhend." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/loa_juhend_2008.pdf
[25] "Detail of a publication | Virtual Library of PIARC | Human factors in road design. Review of design standards in nine countries." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.piarc.org/en/order-library/19929-en-Human factors in road design. Review of design standards in nine countries
[26] "Liiklusohutuse inspekteerimise teostamise juhend." Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/loi_juhend_2008.pdf
[27] P. Curtis and M. Carey, "Risk Assessement in Practice. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission."
[28] R. Almodfer, S. Xiong, Z. Fang, X. Kong, and S. Zheng, "Quantitative analysis of lane-based pedestrian-vehicle conflict at a non-signalized marked crosswalk," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 42, pp. 468–478, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.trf.2015.07.004.
[29] N. United, "Road Safety Audit and Road Safety Inspection on the TEM network."
[30] Metropolis & Associates, "ROAD SAFETY AROUND SCHOOLS." Dec. 14, 2002.
[31] Delaware Valley Regional Planning Commission (DVRPC), "Planning for Safe Routes to School, Pedestrian Road Safety Audit." 2008.
[32] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, "EVS 613:2023 Liiklusmärgid ja nende kasutamine."
[33] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, "EVS 614:2022 Teemärgised ja nende kasutamine."
[34] Majandus- ja taristuminister, "Liiklusohutuse auditeerimise nõuded."
[35] "Liiklusohutusele avalduva mõju hindamise nõuded."
[36] "ulekaikude_tahistamine_erc-12-2020_0_0.pdf." Accessed: Dec. 01, 2025. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-10/ulekaikude_tahistamine_erc-12-2020_0_0.pdf
[37] "Tugimnt_ylekaikude_tahistamine_ERC-24-2021.pdf." Accessed: Dec. 01, 2025. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-10/Tugimnt_ylekaikude_tahistamine_ERC-24-2021.pdf
[38] "Projektid | Transpordiamet." Accessed: May 12, 2026. [Online]. Available: https://transpordiamet.ee/projektid
[39] "Speed and accident risk - Mobility & Transport - Road Safety." Accessed: Apr. 03, 2026. [Online]. Available: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/eu-road-safety-policy/priorities/safe-road-use/safe-speed/archive/speeding/speed-central-issue-road-safety/speed-and-accident-risk_en
[40] "Chapter 2. Relationship Between Speed and Safety - Self-Enforcing Roadways: A Guidance Report , January 2018 - FHWA-HRT-17-098." Accessed: Apr. 03, 2026. [Online]. Available: https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/17098/003.cfm?

[41] D. Khorasani-Zavareh, M. Bigdeli, S. Saadat, and R. Mohammadi, "Kinetic energy management in road traffic injury prevention: a call for action," *J. Inj. Violence Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 36–37, Jan. 2015, doi: 10.5249/jivr.v7i1.458.
[42] E. Rosén and U. Sander, "Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 41, no. 3, pp. 536–542, May 2009, doi: 10.1016/j.aap.2009.02.002.
[39] "PDF." Accessed: Apr. 03, 2026. [Online]. Available: https://www.rsa.ie/docs/default-source/road-safety/r4.1-research-reports/safe-speeds/vehicle-speed-and-pedestrian-fatalities-2023.pdf?sfvrsn=fe133b1c_3&utm
[44] "Tee projekteerimise normid–Riigi Teataja." Accessed: Apr. 05, 2026. [Online]. Available: https://www.riigiteataja.ee/akt/122112023009