



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TEEDEINSTITUUT

2+1 TEEDE TEHNILIS - MAJANDLUSLIKUD JA
LIIKLUSOHUTUSALASED ASPEKTID

TECHNICAL, ECONOMICAL AND TRAFFIC SAFETY ASPECTS OF 2+1
ROADS

ETT 60 LT

Üliõpilane: Marko Toode

Juhendaja: Inna Romandi

Kaasjuhendaja: Tiit Metsvahi

Tallinn 2016

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

.....
(töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 105304 EATI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

.....
(juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud

(kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees

(allkiri)

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TEEDEINSTITUUT

Teetehnika õppetool

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilase kood: 105304 EATI

Transpordiehituse õppesuuna üliõpilane: Marko Toode
(ees- ja perekonnanimi)

Lõputöö kood: ETT 60LT Lõputöö juhendaja: Inna Romandi
Lõputöö kaasjuhendaja: Tiit Metsvahi

1. Lõputöö teema: **2+1 teede tehnilis-majanduslikud ja liiklusohutusalsed aspektid**
2. Lõputöö teema kehtivusaeg: 31.07.2016
3. Lähteandmed:
 - 3.1. Rootsi projekteerimismid Krav för vägars och gators utforming 2012:179, Råd för vägars och gators utforming 2012:180;
 - 3.2. Teemakohased uuringud, artiklid ja muu erialane kirjandus;
 - 3.3. Teeregister.
4. Lõputöö sisu (seletuskiri, graafiline osa):
Seletuskiri:
 - Liiklusõnnetuste problematika ja liiklusohutuse strateegiad;
 - 2+1 ristlõikega ja keskpäirdega teede lahendused ja kogemused Rootsi näitel;
 - 2+1 teede potentsiaal, näidisprojekt ja majanduslik tasuvus Eestis.
Graafiline osa:
 - Liiklusskeemid ja tüüpistprofiilid.

5. Lõputöö konsultandid:

Töö osa nimetus	Konsultandi nimi	Konsultandi allkiri, kuupäev
Tasuvusanalüüs	Peeter Škepast	

6. Lõputöö ülesande väljaandmise kuupäev: 14.09.2015.

Juhendaja: Inna Romandi

(nimi, allkiri)

Ülesande vastu võtnud: Marko Toode

(nimi, allkiri)

Sisukord

Sissejuhatus.....	1
1. Liiklusõnnetuste problemaatika	2
1.1 Liiklusohutuse strateegiad.....	2
1.1.1 Nullvisioon.....	2
1.1.2 Euroopa liidu liiklusohutuse strateegia	3
1.1.3 Liiklusohutusstrateegia Eestis.....	6
1.2 Liiklusõnnetused	9
1.2.1 Liiklusõnnetuste raskusastmed	9
1.2.2 Hydeni püramiid	11
1.3 Liiklusohutust mõjutavad tegurid.....	12
1.3.1 Liiklusõnnetuste peamised põhjused	12
1.3.2 Ristlõike parameetrite mõju liiklusohutusele.....	15
1.3.3 Ristlõike parameetrite mõju keskmisele kiirusele.	17
2 2+1 ristlõikega teed.....	19
2.1 2+1 tee Rootsi Kuningriigis	19
2.1.1 Ajalugu.....	19
2.1.2 Maantee ristlõike valik Rootsi liiklusohutusprogrammi ja nullvisiooni taustal.....	21
2.1.3 Rootsi 2+1 teede liiklusohutustase	22
2.2 2+1 teede iseloomulikud näitajad.....	25
2.2.1 Kiirus.....	25
2.2.2 Liiklussagedus ja läbilaskevõime	29
2.2.3 Teenindustase.....	29
2.3 2+1 teede parameetrid	32
2.3.1 Ristlõige	32
2.3.2 Sõidukite vaheline vaba ruum.....	37
2.3.3 Möödasõidu lõigud	41

2.3.4	Möödasõidu taskud	42
2.3.5	Üleminekutsoonid	44
2.3.6	Ristmikud	45
2.4	Keskpiirded 2+1 teedel	48
2.4.1	Piirete tehnilised parameetrid	51
2.4.2	Ristlõikele sobiv piirde töölaius	52
2.4.3	Erinevate keskpiirete elutsükli maksumused	52
2.5	Teekasutajate rahulolu 2+1 teede osas	55
3	2+1 maantee potentsiaal Eestis maanteedel	58
3.1	Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa maantee soovituslikud möödasõidualad	59
3.2	Maantee klass ja liiklussagedus	60
3.3	Potentsiaalsed 2+1 ristlõikega möödasõidualad Mäo – Tartu vahelisel teelõigul	65
4	Põhimaantee nr 2 Valmaotsa Kärevere lõigu km 160,7 – 168,1 2+1 möödasõidualade ehituse näidisprojekt	70
4.1	Üldosa	70
4.1.1	Projekteerimise nõuded	70
4.1.2	Liiklusproгноos (baasproгноosi meetodil)	70
4.2	Projektlahendus	71
4.2.1	Üldandmed	71
4.2.2	Plaanilahendus	71
4.2.3	Ristlõige	76
4.2.4	Ristmikud	77
4.3	Tasuvusanalüüs	78
4.3.1	Metoodika	78
4.3.2	Kulude ühik hinnad	79
4.3.3	Tulu-kulu analüüsi tulemused	82
4.3.4	Tundlikkusanalüüs	83

Kokkuvõte.....	84
Summary	86
Kasutatud kirjandus	88
Lisad.....	93
LISA 1: Tulu-kulu analüüsi diskonteeritud rahavoogude tabel	93
LISA 2: Põhimaantee nr 2 Valmaotsa Kärevere lõigu km 160,7 – 168,1 2+1 möödasõidulade ehituse näidisprojekti asendiplaani joonised.....	95

JOONISED

Joonis 1.1: Euroopa Liiduliiklusõnnetustes hukkunute arv aastatel 2005 – 2015.....	3
Joonis 1.2: Euroopa liidu liiklusohutuse areng ning eesmärk.....	5
Joonis 1.3: Euroopa Liidu liikmesriikides 2015. aastal liiklusõnnetuses hukkunute arv miljoni elaniku kohta.....	6
Joonis 1.4: Eesti liiklusohutuse taseme areng ja eesmärk aastatel 2000 - 2020	7
Joonis 1.5: Hydeni liiklusohutuse sündmuste püramiid.....	11
Joonis 1.6 Liiklusohutuse sõltuvus kindlustatud teepeenra laiuusest.....	16
Joonis 2.1: 2+1 ristlõikega Rootsi maantee E22.....	19
Joonis 2.2: 13,0 m laiune kaheajaline maantee.	20
Joonis 2.3: Alternatiivne 13,0m laiune maantee	21
Joonis 2.4: Liiklussageduse mõju keskmisele kiirusele 9,0 m, 13,0 m laiustel ja 2+1 ristlõikega maanteel	27
Joonis 2.5: Teehooldustööde ja ilmastiku mõju keskmisele kiirusele 2+1 maanteel.	28
Joonis 2. 6: 13,0 m laiune MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012).....	33
Joonis 2.7: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige(2004)	34
Joonis 2.8: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012)	34
Joonis 2.9: MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004).....	35
Joonis 2.10: MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012).....	36
Joonis 2.11: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012).....	36
Joonis 2.12: II klassi maantee 2+1 ristlõige.....	37

Joonis 2.13: Kriitilise üleminekutsooni põhimõtteline joonis	44
Joonis 2.14: Mitte kriitilise üleminekutsooni põhimõtteline joonis.....	45
Joonis 2.15: Vasakpöörde sooritamine lisaraja abil.....	45
Joonis 2.16: Põhiliiklusest eraldatud vasak- ja tagasipöörde sooritamine läbi silmuse.....	46
Joonis 2. 17: Vasakpöörde sooritamine ilma keskpiirde katkestuseta	46
Joonis 2.18: Põhiteelt vasakpöörde sooritamine	47
Joonis 2.19: Vasakpöörde sooritamine mahasõidult.....	47
Joonis 2.20: Põllutöömashinate ülesõidu põhimõtteline joonis	48
Joonis 2.21: Piirete maksumus kahekümne aastasel perioodil.	55
Joonis 3.1 Tartu maantee km 93,8 – 178,3	59
Joonis 3.2: Liiklusõnnetused perioodil 2013-2015	62
Joonis 3.3: Liiklusõnnetuste ohvrite arv perioodil 2013-2015	63
Joonis 3.4: Tartu maantee km 108,5 – 111,5	65
Joonis 3.5: Tugimaantee nr 49 ja Tartu maantee Paia ristmik.	66
Joonis 3.6: Tartu maantee km 170,2 – 174,0	68
Joonis 4.1: Peedu - Möldri ja Laeva metskonna tee ristmik	73
Joonis 4.2: Aruvälja – Alevi ja Praadimaa – Murru tee ristmik	74
Joonis 4.3: Joosti tee ristmik.....	74
Joonis 4.4: Joosti – Vibulaane tee ristmik	75
Joonis 4.5: Mõlema suunaline silmus.	75
Joonis 4.6: Tartu suunal olev silmus.....	76
Joonis 4.7: Projekteeritav 2+1 ristlõike	76
Joonis 4.8: Projekteeritav 1+1 ristlõige.	77

TABELID

Tabel 1.1: Teenindustase sõltuvalt möödasõiduvõimaluse ootamisest tulenevast ajakulust... 14	14
Tabel 1.2: Kindlustatud teepeenra laiupest tingitud keskmise kiiruse vähenemine..... 18	18
Tabel 1.3: Sõiduraja laiupest tingitud keskmise kiiruse vähenemine 18	18
Tabel 2.1: FSI sagedus MML ja MLV tüüpi maanteedel23	23
Tabel 2. 2: Liiklusohutuse paranemine sõltuvalt piirkiiruse alandamisest 2+1 teedel26	26
Tabel 2.3: Teenindustasemed sõltuvalt ajakuku suhtelisest pikenemisest.....30	30
Tabel 2.4: Teenindustase sõltuvalt kolonni tihedusest31	31
Tabel 2.5: Kolonnide tihedus vastavalt liiklussagedusele nii suvistes kui ka talvistes tingimustes.31	31
Tabel 2.6: Soovituslikud vaba ruumi laiusmõõdmed38	38
Tabel 2.7: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 110 km/h38	38
Tabel 2.8: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 90 km/h39	39
Tabel 2.9: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 70 km/h39	39
Tabel 2.10: Liiklejate omavahelised vabaruumi laiuse nõuded vastavalt projektkiirusele.40	40
Tabel 2.11: Vaba ruumi laiused Eesti 2+1 ristlõikel41	41
Tabel 2.12: Erinevate riikide möödasõidulõikude pikkused.....42	42
Tabel 2. 13: Rootsi möödasõidulõikude pikkused42	42
Tabel 2.14: Aja kokkuhoiu protsent erinevate möödasõidutaskute pikkuste ja liiklussageduse korral43	43
Tabel 2.15: Optimaalseim möödasõidutasku pikkus vastavalt liiklussagedusele.....43	43
Tabel 2.16: Võimsusklassi N2 vastuvõtukatsed (SS-EN 1317-2)51	51
Tabel 2.17: Võimsusklassi H1 vastuvõtukatsed (SS-EN 1317-2)51	51
Tabel 2.18: Piirde klassile vastavad töölaiused52	52
Tabel 2.19: Keskpiirde töölaiusklassid vastavalt ristlõike tüübile.....52	52
Tabel 2. 20: Ühe kilomeetri pikkuse piirde elutsükli maksumus.....53	53
Tabel 2.21: Piirde hooldetöödest tulenev ajakulu ning maksumus.54	54

Tabel 3.1: Maanteede klassidele vastavad liiklussagedused.....	58
Tabel 3.2 Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklussagedus aastatel 2005 - 2015	60
Tabel 3.3: Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklusprognos aastaks 2035.....	61
Tabel 4.1: TTÜ baasprognosi kasvutegurid ja vastavad liiklussagedused.	71
Tabel 4.2: Perioodilise- ja rutiinse hoolde kulud	80
Tabel 4.3: Keskmine sõitjate arv erinevates sõidukites	80
Tabel 4.4: Liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad[57]	81
Tabel 4.5: Liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad erinevate ristlõigetega teedel.....	82
Tabel 4.6: Projekti diskonteeritud tulud ja kulud.....	82
Tabel 4.7: Tulu-kulu analüüsi tulemused.....	82
Tabel 4.8: Tundlikkusanalüüs, investeeringu kallinemine 20%	83

Sissejuhatus

Viimase kümne aasta jooksul on Euroopa Liidus toimunud märgatav liiklusohutuse paranemine, kus liiklusõnnetustes hukkunute arv vähenenud ligikaudu kaks korda. Eestis hukkus 2015. aastal 67 inimest (51 inimest miljoni elaniku kohta), mis asetab Eesti Euroopa Liidu riikide arvestuses üheksandale kohale. Liiklusohutusprogrammi 2016 – 2025 kohaselt on seatud üldeesmärgiks, et aastaks 2025 ei hukuks liikluses enam kui 40 inimest ning raskesti vigastatute arv ei ületaks 330 aastas.

Kuna põhiliseks raskete tagajärgedega liiklusõnnetuse tüübiks on vastutuleva sõidukiga kokkupõrge, oleks üheks liiklusohutuse tõstmise viisiks ja eesmärgi saavutamiseks meetodiks Rootsi Kuningriigis ja mitmetes teistes Euroopa riikides kasutusele võetud keskpiirdega 2+1 maantee, mis koosneb kolmest sõidurajast ja sõidusuundi eraldavast füüsilisest keskpiirdest.

Antud töö eesmärk on uurida täpsemalt 2+1 teede tehnilis-majanduslike ja liiklusohutuslaseid aspekte ja selle potentsiaali Eestis, tuginedes peamiselt Rootsi näidetele ja kogemustele. Lisaks on töös toodud erinevaid uuringuid ja näiteid riikidest, kus on 2+1 ristlõikega teed kasutusel. Töö esimene osa keskendub liiklusõnnetuste problemaatikale, millele järgneb põhjalikum 2+1 teede iseloomulike näitajate analüüs ja võrdlus tavalise kaherajalise maanteega. Lisaks on käsitletud ristlõike parameetreid, möödasõidulade pikkusi, ristumisi, võimalikke keskpiirde lahendusi ja teekasutajate rahulolu, tuginedes Rootsis läbiviidud küsitlustele.

Töö teises pooles on käsitletud 2+1 ristlõikega teede potentsiaali Eesti maanteedel, mille raames on keskendutud Tallinn - Tartu – Võru – Luhamaa km 93,8 - 178,3 detailsemale analüüsile. Lisaks on esitatud põhimaantee nr 2 Valmaotsa – Kärevele teelõigu 2+1 lahendusega näidisprojekt, millele on koostatud ka tulu-kulu analüüs projekti tasuvuse määramiseks.

1. Liiklusõnnetuste problemaatika

1.1 Liiklusohutuse strateegiad

1.1.1 Nullvisioon

Nullvisioon on rahvusvaheline teedeohutusprojekt, mille eesmärk on saavutada liikluses nulltolerants liiklussurmade ja tõsiste õnnetuste suhtes.

Nullvisiooni peamine idee seisneb teeliiklussüsteemi muutmises selliseks, mis välistab maksimaalselt inimlike eksimuste võimalusi ja vähendab liiklusõnnetustega kaasnevaid kahjusid (9). Teisisõnu peab liiklussüsteem olema kavandatud selliselt, mis välistaks tõsiste vigastustega ja hukkunutega lõppevad liiklusõnnetused [8].

Traditsioonilisest käsitlusest erineb nullvisioon õige mitmest aspektist. Kui traditsioonilise käsitluse aluseks on liiklusõnnetused ning teekasutaja personaalne käitumine, siis nullvisiooni põhitähelepanu on suunatud liiklussurmadele ja rasketele vigastustele [9].

Selle asemel, et süüd liiklusõnnetuse tagajärgede eest panna ainuüksi liiklejaile, tuleks see jagada süsteemi ja selle kasutajate vahel. Liiklejad peavad järgima peamisi liikluse reegleid (näit. kiiruspääs ja joobes juhtimine). Süsteemi kavandajad ja elluvijad (teetaristu kavandajad ja haldajad, sõidukite tootjad, jne) vastutavad süsteemi funktsioneerimise eest [9].

Nullvisioon tugineb neljale põhimõttele [9]:

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

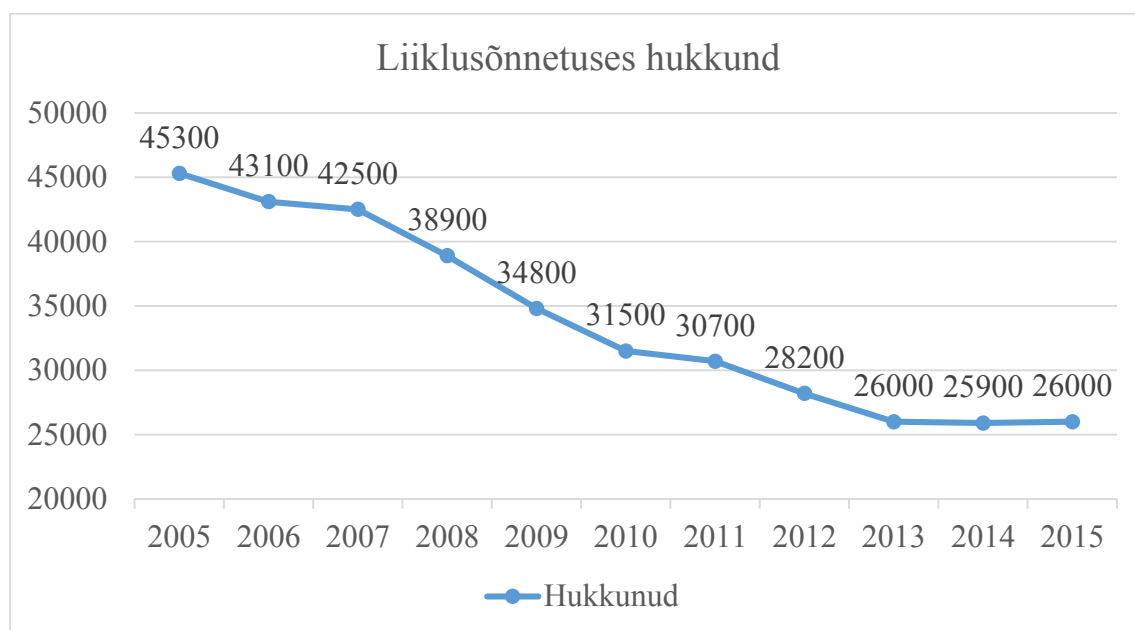
Nullvisiooni kaks eeldust:

- inimesed on ekslikud ja teevad vigu;
- on olemas kriitiline piir, kus elusäästmine ja tervisekahjustuse vältimine on võimalikud.

Seega peab süsteemi kavandamisel ja toimimisel arvestama vigade tekkimise võimalusega, kuid vältima tervisekahjustusi ning inimese kaotamist. Kokkupõrked ja isegi väiksemad vigastused on vältimatud, kuid sündmuste ahel, mis viib inimese kaotuseni, on katkestatav.

1.1.2 Euroopa liidu liiklusohutuse strateegia

Viimase kümne aasta jooksul on Euroopa Liidus toimunud märgatav liiklusohutuse paranemine (joonis 1.1), kus liiklusõnnetustes hukkunute arv vähenenud ligikaudu kaks korda (43%) [1]. Kõige kiirem areng on toimunud perioodil 2005 – 2010, kus kõigest viie aastaga vähenes liikluses hukkunute arv koguni 30%. Alates 2010 aastast on aga liiklusohutuse areng aeglustunud, püsidest aastatel 2013 – 2015 muutumatuna.



Joonis 1.1: Euroopa Liiduliiklusõnnetustes hukkunute arv aastatel 2005 – 2015.

Aeglustumine võib olla tingitud mitmest faktorist nagu näiteks urbaniseerumine, mille tõttu on kasvanud linnade sisesed liiklusõnnetused kergliiklejate ja sõidukite vahel. Samuti ka vananev elanikkond, kelle turvaline juhtimine ja liiklemisvõime säilitamine muutub üha olulisemaks. Välja tasub tuua ka uueks trendiks saanud sagedane nutiseadmete kasutamine liikluses, mis hajutavad nii kergliikleja kui ka sõidukijuhtide tähelepanu [7].

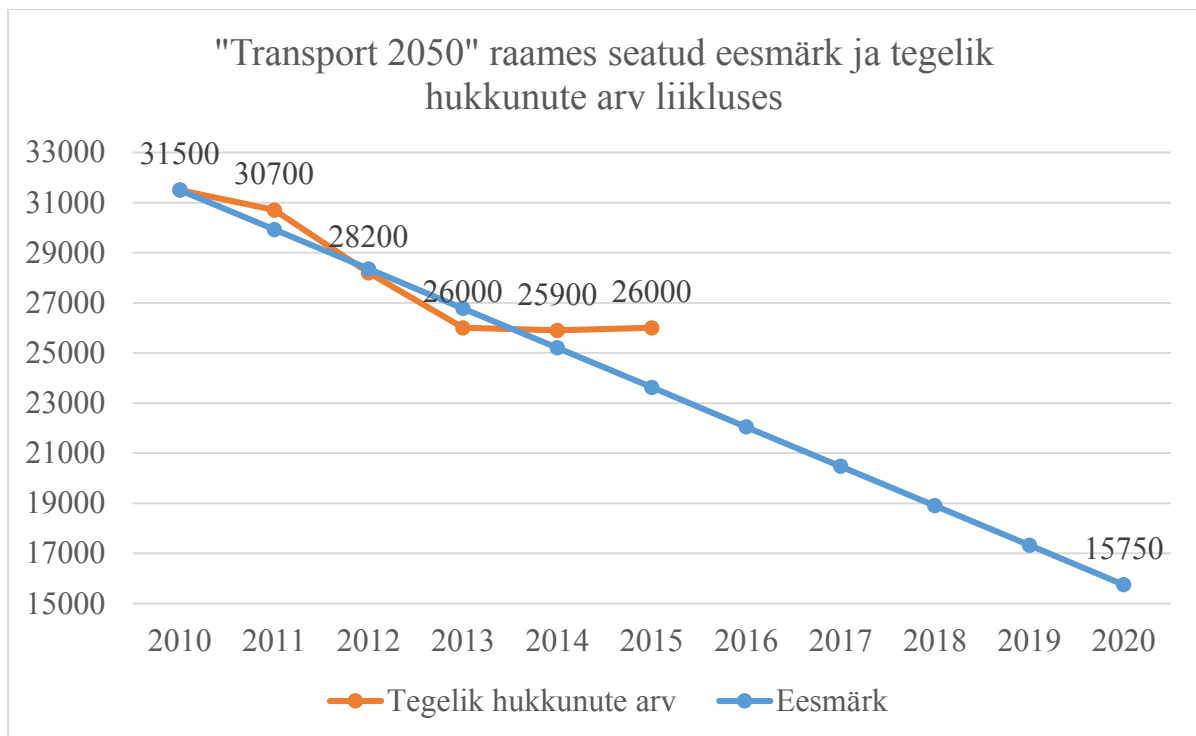
„Transport 2050“

2011. aasta märtsis võttis Euroopa Komisjon vastu ulatusliku strateegia „Transport 2050“, kus mainiti ka esmakordselt nullvisiooni [2]. Liiklusohutuse valdkonnas olid Komisjoni eesmärgid selged – viia maanteeliikluses hukkunute arv 2050. aastaks enam-vähem nullini ja vastavalt sellele eesmärgile vähendada liiklusohvrite arvu 2020. aastaks poole võrra, võrreldes 2010. aastaga [4].

Kavandatavad meetmed liiklusõnnetustes hukkunute nulltaseme saavutamiseks maanteetranspordi turvalisusega on järgmised [3]:

- ühtlustada ja rakendada maanteetranspordi turvalisusega seotud selliseid tehnoloogialahendusi nagu juhiabisüsteemid, (intelligentsed) püsikiirushoidikud, turvavöö kinnitamise meeldetuletus, *eCall* (automaatne hädaabikõne), koostöösüsteemid ning sõiduki ja infrastruktuuri vahelised liidesed, samuti täiustatud tehnoulevaatuseid, mis hõlmaks ka alternatiivsete jõuseadmetega sõidukeid;
- välja töötada liiklusõnnetusi ja hädaabiteenuseid käsitlev üldine strateegia, mis muu hulgas hõlmaks ka vigastuste ja surmajuhtumitega seotud näitajate ühiseid määratlusi ja ühtset liigitust, et võtta vastu vigastatute arvu vähendamise eesmärk;
- pöörata tähelepanu kõikide maanteetranspordikasutajate koolitamisele ja harimisele. Edendada turvaseadmete (turvavööd, kaitseriietus, omavolilist avamist takistavad seadmed) kasutamist;
- pöörata erilist tähelepanu vähem kaitstud liiklejatele, nagu jalakäijad, jalgratturid ja mootorratturid, suurendades muu hulgas infrastruktuuri ja sõidukite turvalisust.

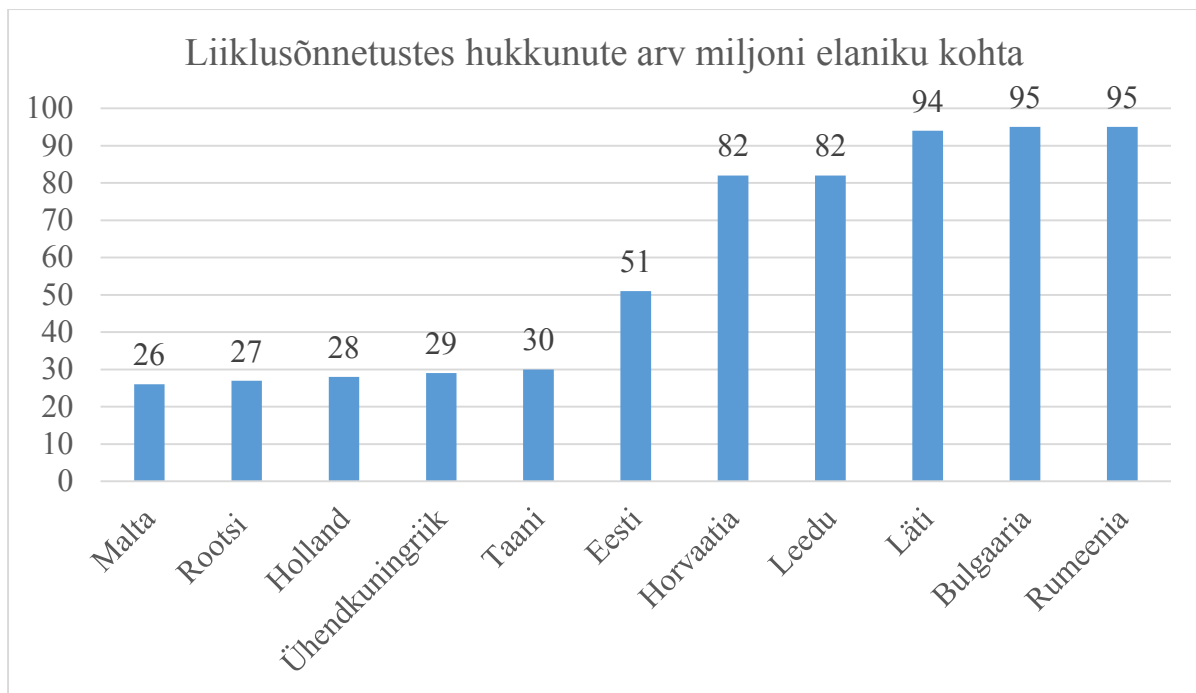
Joonisel 1.2 on illustreeritud Euroopa Liidus perioodil 2010 - 2015.a. hukkunuga lõppenud liiklusõnnetuste statistika ja „Transport 2050“ raames seatud perspektiivne eesmärk aastaks 2020.



Joonis 1.2: Euroopa liidu liiklusohutuse areng ning eesmärk.

2015. aastal toimus Euroopa Liidus 26 000 surmaga lõppenud liiklusõnnetust, mis on võrreldes 2010 aastaga langenud 17% (31 500). Siiski pole viimasel kolmel aastal olukorra paranemist märgata, mille tõttu on aastaks 2020 seatud eesmärgi saavutamine muutumas üha raskemaks.

2015 aasta andmetel hukkus Euroopa Liidu liikmesriikides keskmiselt 51.5 inimest miljoni elaniku kohta. Joonisel 1.3 on toodud 2015 aasta andmetel viie Euroopa Liidu liikmesriikide kõige kõrgema ja madalama hukkunuga lõppenud liiklusõnnetuste arv miljoni elaniku kohta [7]. Kõige madalam hukkunuteiga lõppenud liiklusõnnetuste arv on olnud Maltal (26) ja Rootsis (27) ning kõige kõrgem Bulgaarias (95) ja Bumeenias (95). Eestis hukkus aastal 2015 67 inimest [63] ehk 51 hukkunut miljoni elaniku kohta, mis on madalam kui Euroopa Liidu keskmine asetades Eesti liikmesriikide arvestuses üheksandale kohale[64].



Joonis 1.3: Euroopa Liidu liikmesriikides 2015. aastal liiklusõnnetuses hukkunute arv miljoni elaniku kohta..

1.1.3 Liiklusohutusstrateegia Eestis

Eesti rahvuslik liiklusohutusprogramm (2003-2015)

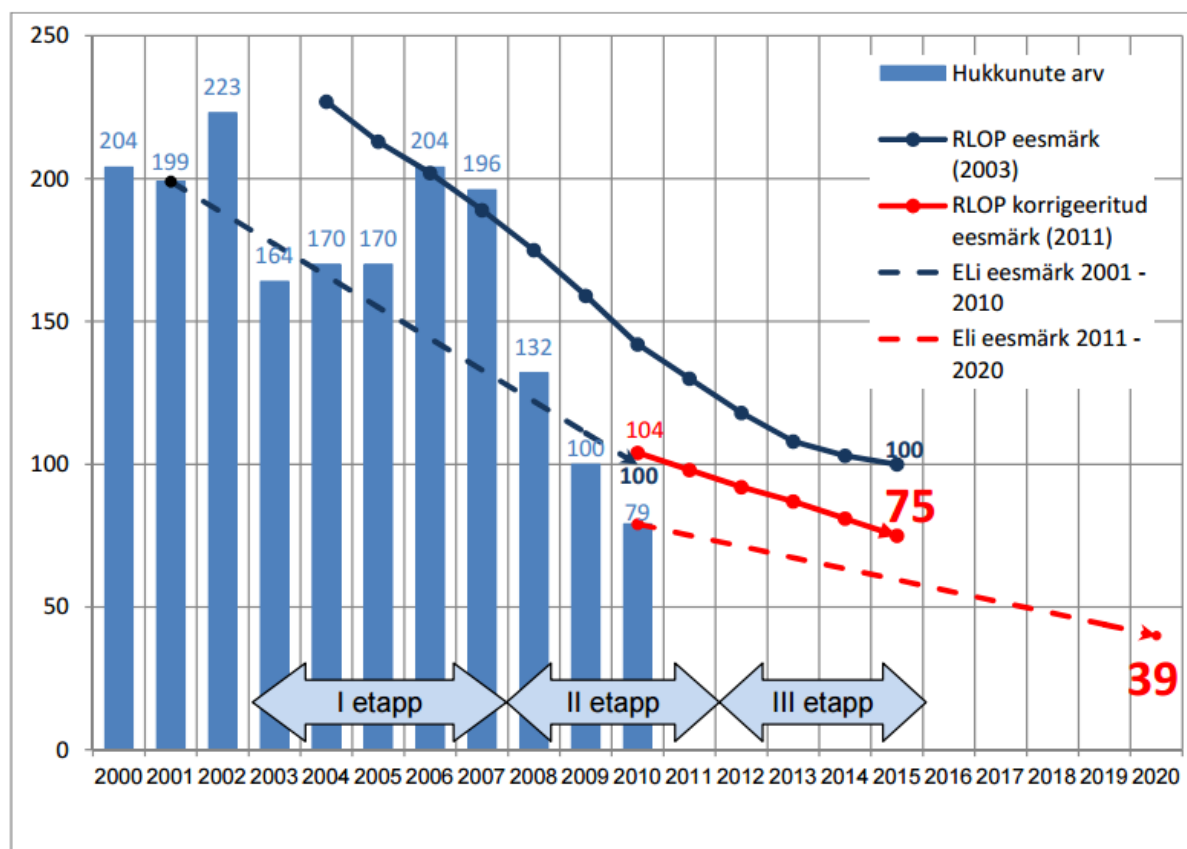
2003. aastal koostati Eesti rahvuslik liiklusohutusprogramm (2003-2015) [5]. Programmi eesmärkide saavutamiseks on kavandatud tegevusülesanded liiklusohutuse parandamiseks. Lähtudes tegevusülesannete rakendamise kiirusest, maksumusest ja tõhususest, on ülesanded jaotatud järgmistesse etappidesse:

- I etapis (aastatel 2003-2006) alustatakse esmatähtsate, kiirelt toimivate ja odavate meetmete rakendamist;
- II etapis (aastatel 2007-2010) jätkatakse I etapi käigus efektiivseks osutunud meetmete elluviimist ja rakendatakse täiendavalt keerukamaid ja suurema maksumusega meetmeid;
- III etapis (aastatel 2011-2015) analüüsitakse kahe esimese etapi tulemusi ja rakendatakse täiendavalt keerukaid, kalleid ja edasilükatud meetmeid.

Strateegilise eesmärgina püstitati Eestis ülesanne, mida nimetati maksimumprogrammiks ehk visioon 100, mis nägi ette, et aastaks 2015 tuleb Eestis saavutada olukord, kus liiklusõnnetustes hukkunute arv aastas ei tohi ületada 100 inimest [5].

Täiendatud Eesti rahvuslik liiklusohutusprogramm 2003-2015

Aastateks 2009 ja 2010 oli Eestis 2015. aastaks seatud liiklusohutuse alased eesmärgid täidetud (joonis 1.4), mistõttu kinnitas Valitsus 2012. aastal täiendatud „Eesti rahvusliku liiklusohutusprogrammi aastateks 2003-2015“ [6].



Joonis 1.4: Eesti liiklusohutuse taseme areng ja eesmärk aastatel 2000 - 2020

Samas seab eelpool mainitud „Transport 2050“ Eestile üsna ambitsioonika eesmärgi, millest lähtuvalt ei tohiks 2020. aastal liikluses hukkuda enam kui 39 inimest. See andis põhjuse 2003. aastal püstitatud eesmärgi korrigeerida ning viia need kooskõlla Eestis toimunud arengutega [6].

Arvestades Eesti seniseid arenguid, korrigeeriti liiklusohutuse strateegilist eesmärki, milleks oli vähendada aastaks 2015 liiklussurmade arvu võrreldes 2008-2010 liiklussurmade keskmise arvuga ja saavutada olukord, kus liikluses ei hukkuks kolme aasta keskmisena enam kui 75 inimest ning aastate 2013-2015 jooksul ei saaks vigastada rohkem kui 1 500 inimest aastas [6].

Siiski juhtus 2015 aastal Eestis 1391 inimkannatanutega liiklusõnnetust, milles hukkus 67 ja sai vigastada 1756 inimest. Aastal 2014 toimus 1431 liiklusõnnetust, kus hukkus 78 ja vigastada sai 1772 inimest. Hukkunute arv on küll pea kümnendiku langenud, kuid

liiklusõnnetuste arv ja vigastatute hulk püsib samal tasemel. Võrdluseks hukkus 2010 aastal liikluses 79 inimest mistõttu ei saa viimase viie aasta jooksul olukorra tegelikust paranemisest rääkida [65].

Eesti transpordi arengukava 2014-2020 eesmärgid liiklusohutustaseme tõstmiseks

Eesti transpordi arengukava 2014-2020 näeb ette, et ühegi inimese hukkumine või rasekelt vigastada saamine liikluses ei ole aktsepteeritav. 2020. aastaks on eesmärk saavutada olukord, kus kolme aasta keskmisena ei hukku Eesti teedel rohkem kui 50 inimest. Eesmärkide saavutamiseks keskendutakse transpordisüsteemi kolmele peamisele liiklusohutust mõjutavale aspektile – liikleja, sõiduk ja liikluskeskkond. Lähtutakse põhimõttest, et transpordisüsteem peaks olema kujundatud selliselt, et selles ei hukkuks ega saaks rasekelt vigastada ükski süsteemi kasutaja ehk liikleja isegi juhul, kui ta liikluses eksib. Vastutust süsteemi ohutuse eest jagatakse nii süsteemi kujundajate kui ka selle kasutajate vahel (nn jagatud vastutuse printsiip) – igaüks on vastutav oma tegevuse või tegevusetuse eest [4]. Eesti transpordi arengukava on kooskõlas Euroopa liidu „Transport 2050“ strateegilise plaani ning nullvisiooni põhimõtetega.

Liiklusohutuse strateegia aastateks 2016 – 2025.

Uue liiklusohutuse strateegia aluseks on võetud nullvisiooni filosoofia, mis on koostatud Transpordi arengukava alamprogrammina kümneks aastaks. Programmi üldeesmärgiks on liiklussurmade ja raskete vigastuste vähendamine poole võrra, et aastaks 2025 ei hukkuks Eesti liikluses enam kui 40 aastas ja raskesti vigastatute arv ei ületaks 330 aastas [65]

Eesmärkide saavutamiseks keskendutakse transpordisüsteemi kolmele peamisele liiklusohutust mõjutavale valdkonnale [65]:

- vastutustundlik ja ohte tajuv liikleja;
- ohutu sõiduk;
- ohutu keskkond.

1.2 Liiklusõnnetused

1.2.1 Liiklusõnnetuste raskusastmed

Enamus liiklusõnnetustega seotud analüüse põhinevad hukkunuga lõppenud liiklusõnnetuste statistikal, mis annab liiklusohutusest üsnagi pealiskaudse ülevaate, kuna kogutakse liiga vähe informatsiooni liiklusõnnetuste raskusastme kohta.

Enamikes riikides eristatakse liiklusõnnetuste tasemeid järgnevalt [11]:

- hukkunuga lõppenud liiklusõnnetus;
- inimvigastusega lõppenud liiklusõnnetus:
 - tõsiselt vigastatud;
 - kergelt vigastatud.

Hukkunuks loetakse vastavalt rahvusvaheliselt IRTAD¹, UNECE² ja WHO³ poolt kokku lepitud definitsioonile [11] inimest, kes suri liiklusõnnetuses saadud vigastuste tagajärjel sündmuskohal või 30 päeva pärast liiklusõnnetust.

Vigastuste raskusastme defineerimiseks puudub ühtne rahvusvaheliselt kokkulepitud meetod. UNECE on välja töötanud vigastuste klassifikatsiooni, mida kasutatakse enamikes IRTAD riikides kus defineeritakse liiklusõnnetuses vigastatuid järgmiselt:

- liiklusõnnetus - juhtum, kus vähemalt ühe sõiduki teel liikumise või teelt väljasõidu tagajärjel saab inimene vigastada või surma [10];
- vigastatu – inimene, kes ei ole hukkunud ega surnud järgneva 30 päeva jooksul pärast liiklusõnnetust [11];
 - tõsiselt vigastatu – inimene kes vajab liiklusõnnetuse tagajärjel haigla ravi pikemalt kui 24 tundi [11];
 - kergelt vigastatu – kõik juhtumid, kus inimene ei hukkunud ega ole tõsiselt vigastatud. Siia alla ei kuulu väiksemad vigastused nagu marrastused, verevalumid ja väiksemad sisselõiked [11].

Vigastuste raskusastme määramine on sageli riigiti erinev ja sisaldab peamiselt järgmisi kriteeriume:

¹ IRTAD – International Road Traffic and Accident Database

² UNECE – United Nations Economic Commission for Europe

³ WHO – World Health Organization

- statsionaarse ravi pikkus – enamikes riikides loetakse pikemalt kui 24 h statsionaarset haiglaravi vajavat kannatanut tõsiselt vigastatud inimeseks;
- vigastuse tüüp – mõnes riigis sõltub vigastuse raskusaste vigastuse tüübist. Näiteks Rootsis on tõsiste vigastustega lõppenud liiklusõnnetuse definitsioon järgmine: iga inimene, kes on liiklusõnnetuse tagajärjel saanud luumurru, muljumise, rebendi, mitmeid sisselõikeid, suuremaid põrutusi või sisemisi verejookse;
- töövõimetus;
- taastumisaeg. Näiteks Ungaris loetakse õnnetust tõsiseks, kui kannatanu vajab järelvalvet pikemalt kui 8 päeva, Jaapanis on antud näitaja koguni 30 päeva;
- halvatus.

Euroopas on ainult kolm riiki, kus liiklusvigastuste raskusastmeid ei eristata – Soome, Itaalia ja Eesti [13]. Eesti Maanteeameti andmebaasis jagatakse liiklusõnnetused vastavalt sellele, kas nad lõppesid surmaga, vigastusega või vigastuseta. Olulisim puudus on see, et seni ei eristata liiklusvigastusi nende raskusastmete alusel.

Probleemiks osutub see liiklusõnnetuste kahjude rahalise väärtuse omistamisel, kuna raskete ja kergete vigastuste kulud on väga erinevas suurusjärgus. Ühtlasi puudub võimalus sisulisemate analüüside koostamiseks, mis võimaldaks liiklusõnnetusi seostada ka sõidukiliigi, õnnetuskoha ja –põhjuste kaupa. Seetõttu on lisaks üldisele teabele raskelt vigastatud isikute kohta vaja teada saada konkreetse raskelt vigastada saanud isiku seos liiklusõnnetusega. Näiteks ei ole võimalik eristada juhtumeid, mis lõppesid verevalumitega juhtumitest, mille tagajärjel inimene püsivalt töövõime kaotas. Samuti loetakse teelõiku, kus toimus näiteks kolm kerge vigastusega lõppenud liiklusõnnetust ohtlikumaks kui lõiku, kus toimus kaks raske vigastusega lõppenud liiklusõnnetust, mistõttu eelistatakse esimest liiklusohtliku koha ümberehitamist teisele.

Selle probleemi lahendamise näeb ette RLOP¹-i 2003–2015 III etapi rakendusplaan aastateks 2012–2015, mille punkti C 1.6 kohaselt peab 2015. aasta lõpuks saama Eestis määrata vigastuste raskusastet. Sellest lähtuvalt tuleb tulevikus korrigeerida ka indikaatorit – liikluses vigastada saanute asemel tuleb kasutada raskelt vigastada saanute arvu [13].

¹ RLOP – Riiklik Liiklusohutus Programm

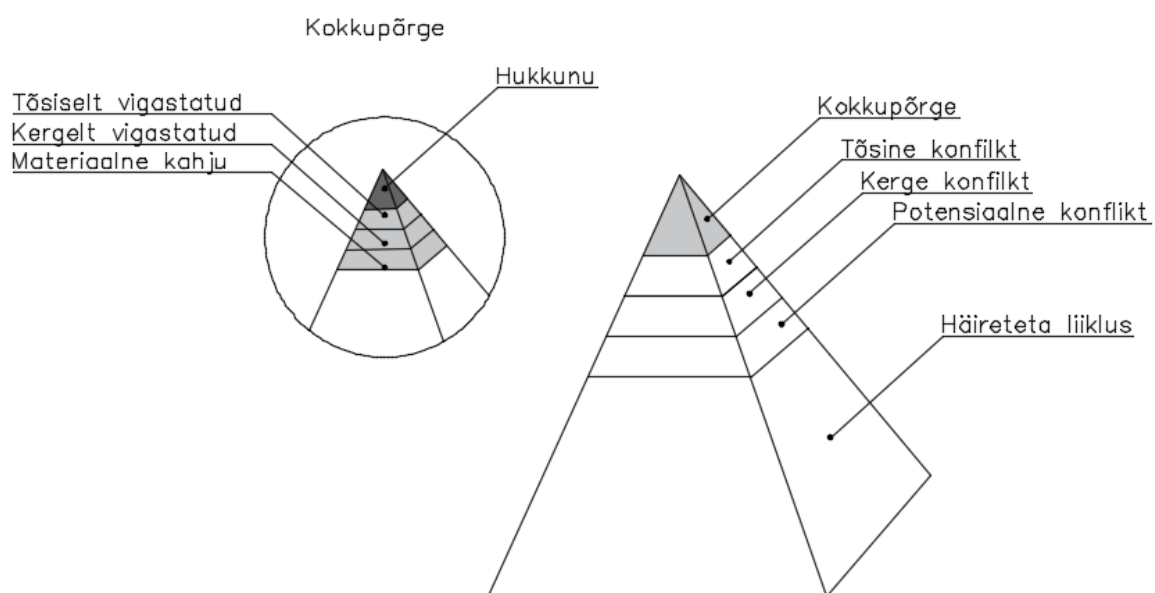
1.2.2 Hydeni püramiid

Traditsiooniliselt analüüsitakse liiklusohtrlike olukordi, kasutades liiklusõnnetuste statistikat mingil lõigul või kohas läbi ajaloo, et tuvastada probleeme ja pakkuda võimalusi nende parandamiseks. Traditsioonilise meetodi miinuseks on esiteks harva esinevad liiklusõnnetused, millest õttu info kogumine on aeganõudev. Teiseks on liiklusõnnetuste põhjal saadud info puudulik, kuna liiklusõnnetuse põhjuse selgitamine ei ole sada protsenti tõene ning statistika kogumise meetod muutub läbi aja.

Traffic conflict technique (TCT) on üks liiklusohtrlike olukordade analüüsimise mudelitest, mis kasutab liiklusohutuse analüüsimiseks sagedamalt toimuvaid sõidukite vahelisi konflikte ja potentsiaalseid konflikte, millest arenevad edasi liiklusõnnetused [14].

1987. aastal esitles Christer Hyden, Rootsis Lund Universitys oma doktori töös „The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Technique“ sõidukite omavahelise koosmõju püramiidi liikluses (joonis 1.5).

Hydeni püramiid põhineb ideel, et liiklejate omavahelist koosmõju võib kirjeldada läbi mitmete elementaarsete sündmuste liikluses, mis on erineva sageduse, tõenäosuse ja raskusastmega [15].



Joonis 1.5: Hydeni liiklusohtrlike sündmuste püramiid

Püramiidi alumise osa moodustab häireteta normaalse liikluse, millele järgnevad potentsiaalsed konfliktid. Neid kutsutakse olukordadeks, kus üks juht peab muutma liiklusõnnetuse vältimiseks oma trajektoori või kiirust tulenevalt teise juhi käitumisest. Püramiidi tipp koosneb

tõsistest liikluskonfliktidest, mis jagunevad omakorda neljaks: materiaalne kahju, kerged vigastused, tõsised vigastused ja hukkunuga lõppev liiklusõnnetus [15].

Vastavalt punktis 1.1.1 toodud nullvisiooni kahele eeldusele - inimesed on ekslikud ning teevad vigu ja on olemas kriitiline piir, kus elusäästmine ja tervisekahjustuse vältimine on võimalik, peab olema teede infrastruktuur kujundatud nii, et liiklusõnnetusest tulenev energia ei ületaks inimese vastupanu tolerantsi. Mistõttu tuleks tõsiste vigastuste vältimiseks rakendada aktiivseid ja passiivseid liiklusohutust parandavaid meetmeid selliselt, mis oleksid suunatud just Hydeni püramiidi tipu ära hoidmiseks, lubades seejuures kergemate õnnetuste tekkimist.

1.3 Liiklusohutust mõjutavad tegurid

1.3.1 Liiklusõnnetuste peamised põhjused

Tavalisel kahe rajalisel maanteel on üheks sagedasemaks surmaga ja tõsiste vigastustega lõppevate liiklusõnnetuste põhjuseks frontaalkokkupõrked, teelt väljasõidud ja kokkupõrked küljelt. Põhjuseid on mitmeid, seal hulgas ka suure liiklussageduse korral tekkivad kolonnid, mis kutsuvad esile riskantseid möödasõite, ebapiisavaid pikkivahesi, ajakulu ning närvilisust.

Frontaalkokkupõrked

Taanis läbiviidud uuringute kohaselt on ligi 50% frontaalkokkupõrke põhjusteks tee eripärade ja ilmastiku oludele ebasobiv kiirus, möödasõidud ning sõiduki kaldumine vastassuunda või kindlustamata teepeenrale, mille tagajärjel võib sõidukijuht sõiduki üle kontrolli kaotada. Samuti alkoholi- ja narkojoobes sõitmine, äkilised manöövrid, tähelepanematus ning väsimus [18].

Uuringu tulemused näitasid, et ligikaudu 90% kõikidest frontaalkokkupõrgetest toimusid sirgetel teelõikudel ning peamiseks põhjusteks olid halvad ilmastikuolud. Möödasõitudest oli põhjustatud ainult 10% kõigist frontaalkokkupõrgetest [18]. Samas pole teada, kui palju on olnud neid liiklusõnnetusi, mis on frontaalkokkupõrke vältimiseks lõppenud teelt väljasõiduga.

2008. aastal toimus Eesti asulavälistel maanteedel kokku 209 liiklusõnnetust, millest 92 (44%) liiklusõnnetuse põhjuseks oli kokkupõrge vastutuleva sõidukiga [39]. Viis aastat hiljem polnud olukord paranenud. 2013. aastal toimus asulavälistel teedel 89 kokkupõrget vastutuleva sõidukiga (2012. aastal 82), milles hukkus 14 ja sai vigastada 183 inimest (2012. aastal hukkus 20 ja sai vigastada 152 inimest) [38]. Põhjuseks võib lugeda lubatust suuremat ning teeoludele mittevastavat kiirust. Kuna kiirust ületava juhi jaoks on lubatud kiirusel eessõitev sõiduk liiga aeglane, suureneb vajadus sooritada möödasõite.

Üheks passiivse ohutuse tagamise meetodiks on Rootsis ja mitmes teises riigis kasutusele võetud keskpäärdega sõidusuundasi eraldav 2+1 lahendus, kus on sõidukite möödasõit reguleeritud ning piirde tõttu vastassuunda kaldumine välistatud.

Möödasõidud ja kolonnid

Möödasõidu võimalus sõltub kahe rajalisel maanteel mitmest asjaolust nagu liiklussagedusest kiiruste erinevusest, tee geomeetriast, nähtavuskaugusest ning mitmetest inimfaktoritest. Piiratud möödasõidu võimaluste tagajärjeks on kolonnide tekkimine, mis toob omakorda kaasa ebapiisavad pikivahed koos riskantsete möödasõitudega.

On tehtud kindlaks, et liiklussageduse kasvades väheneb möödasõitude võimalused, mille tagajärjeks on kolonnid ja teenindustaseme langemine. Möödasõidu sagedus läheneb nullile, kui vastutuleva liikluse sagedus kasvab üle 700 sa/h. Üheks ummistuste vältimise ja möödasõidu võimaluste parandamiseks on lisaraja kasutuselevõtt [36].

HCM - 2000 kasutab üheks kahe rajalise maantee teenindustaseme hindamise kriteeriumiks ajakulu suhtelise pikenemise protsenti mis on tingitud muuhulgas kolonnis sõitmise tõttu. HCM – 2000 defineerib ajakulu protsenti kui keskmist teekonna läbimiseks kuluva aja pikenemist, mis on tingitud kolonnis sõitmisest, kus puudub või on piiratud võimalus möödasõidu sooritamiseks [36].

Tabelis 1.1 on kajastatud TWOPAS mudeli põhjal saadud tulemused, mis näitavad erinevate liiklussageduste korral möödasõiduvõimaluse ootamisest põhjustatud ajakulu pikenemise protsenti kahe rajalisel maanteel. Erinevate liiklusjaotuste korral nagu 60/40 ja 70/30 jäävad TWOPAS simulatsiooni tulemusena ajakulu pikenemise erinevused 1-5% piirde sõltuvalt liiklussagedusest. Kuna teenindustase jääb samaks, on Tabelis 1.1 kajastatud olukord kus liiklus on jaotatud mõlemas suunas võrdselt (50/50) [35].

Tabel 1.1: Teenindustase sõltuvalt möödasõiduvõimaluse ootamisest tulenevast ajakulust.

Liiklussagedus (sa/h)	2-rajaline mnt	
	Ajakulu suhteline pikenemine (%)	Teenindustase
400	38,4	B
800	55,6	C
1200	67,9	D
1600	76	D
2000	81	E
2400	84,5	E
2800	88,1	E

Ühtlasi on mitmed uuringud kinnitanud, et kolonnide tekkimisel kasutavad mitmetes riikides s.h ka Rootsis aeglasemad sõidukid laiu kindlustatud teepeenraid, laskmaks kiirematel mööduda, mille tagajärjel tekivad olukorrad, mis võivad viia konfliktideni. Kanada teadlaste Morrall ja Plighti, uuringus selgus et laiade, ligi 3,0 m teepeenarde korral kasutasid aeglasemad sõidukid „viisakusest“ teepeenraid, laskmaks möödasõitu sooritavatel sõidukitel ohutult mööduda. Suurte liiklussageduste korral kasutati kindlustatud teepeenart ka aeglustus- ja kiirendusrajana põhiteele maha- ja pealesõitude korral. Sama kinnitas ka Rootsis läbiviidud uuring, mille tulemusena kasutas koguni 85% aeglasematest sõidukitest kindlustatud teepeenart lisarajana, mille tõttu ligikaudu 66% kõikidest möödasõitudest sooritati olukorras, kus kõrvuti asetses korraga kolm sõidukit [16]. Tulemusena küll vähenes liiklusõnnetuste arv 10%, kuid suurenesid tõsisemate tagajärgedega liiklusõnnetuste arv [17].

Vasakpöörded

Vasakpöörded asulavälistel maanteedel on üheks sagedaseks ja tihtipeale raskete tagajärgedega liiklusõnnetuste põhjuseks. Põhiteelt vasakpöörde sooritamisel on sõiduk sunnitud peatuma keset teed kas eraldi vasakpöörde rajal või selle puudumisel parempoolsel sõidurajal. Sama ohtlikud on ristmike piirkondades vasakpöörde sooritamised, kus sõiduki juht peab arvestama mõlemasuunalise liiklusega.

Eesti projekteerimisnormis on kirjas, et vasakpöörde lisarada võib vastassuunalisest liiklusest olla eraldatud liiklussaare, eraldusriba või ainult märgistuse abil, eelistatult liiklussaare abil. Juhul kui vähese vasakpöörde tõttu loobutakse vasakpöörde lisarajast, tuleb ette näha sujuv parempoolne sõidutee laiend, võimaldamaks vasakpöörde sooritajast paremalt mööduda [23]. Parempoolse laiendi korral on vasakpööraja sunnitud asetsema vastutulevale liiklusele

ohtlikult lähedal. Samuti on otseliikujad sunnitud muutma oma trajektoori. Alati ei saa ka loota, et vasakpööraja jätab piisavalt ruumi otse liikujatele möödumiseks.

Ameerika ühendriikides läbiviidud uuringute kohaselt vähendab kanaliseeritud vasakpoolne lisarada liiklusõnnetuste arvu asulavälistel teedel 60-70%, teekattemärgistusega tähistatud vasakpöörderaja korral 50%. Siiski mitte kõikides uuringutes ei selgunud, et vasakpöörderada vähendab liiklusõnnetuste arvu. Baueri ja Harwoodi poolt läbiviidud uuringust selgus, et vasakpöörderajad tõstavad liiklusõnnetuste sagedust, mis on tihti seotud mitme sõiduki osalusega [40].

Ühendkuningriikides läbiviidud uuringutes uurisid Hughes, Amis ja Walford 1996 aastal T-kujuliste ristmike liiklusõnnetuste statistikat. Uuringus käsitleti muuhulgas ka mitmerajalist eraldatud sõiduradadega maanteed, kus on kõrvalteelt vasakpöörde sooritamiseks ette nähtud piirdekatkestus või eraldusriba ületuskoht. Tulemustest selgus, et ristmikud, mis võimaldavad vasakpöörde sooritamist mitmerajalistel maanteedel, on seotud kuni 270% kõrgema liiklusõnnetuste arvuga võrreldes ristmikuga, kus vasakpöörde võimalus puudus. Lisaks leiti, et ristuva tee liiklussageduse kasvades 10% võrra suurenes liiklusõnnetuste arv 9% [49].

1.3.2 Ristlõike parameetrite mõju liiklusohutusele

Ristlõike parameetrite valikul on liiklusohutuse seisukohalt kaks põhilist eesmärki:

- tagada sõidukitüübile vajalikud tingimused teel püsimiseks ja liiklusõnnetuste vältimiseks;
- vähendada liiklusõnnetuste tõenäosust ja tõsidust juhul, kui sõiduk oma sõidurajast välja kaldub.

Kindlustatud teepeenar

Kindlustatud teepeenart defineeritakse üldiselt kahte moodi. Üheltpoolt kui üldisest liiklusest teekattemärgistusega eraldatud ja asfalteeritud vaba tsooni, võimaldamaks kergliiklejatel ohutumalt liigelda kui ka tagamaks paremaid manööverdamisvõimalusi ristmike piirkonnas. Samuti võimaldamaks hädaabisõidukitele paremaid ligipääsu tingimusi ning hädapeatunud sõidukitele peatumist väljaspool põhiliiklust.

Kindlustatud teepeenar võimaldab:

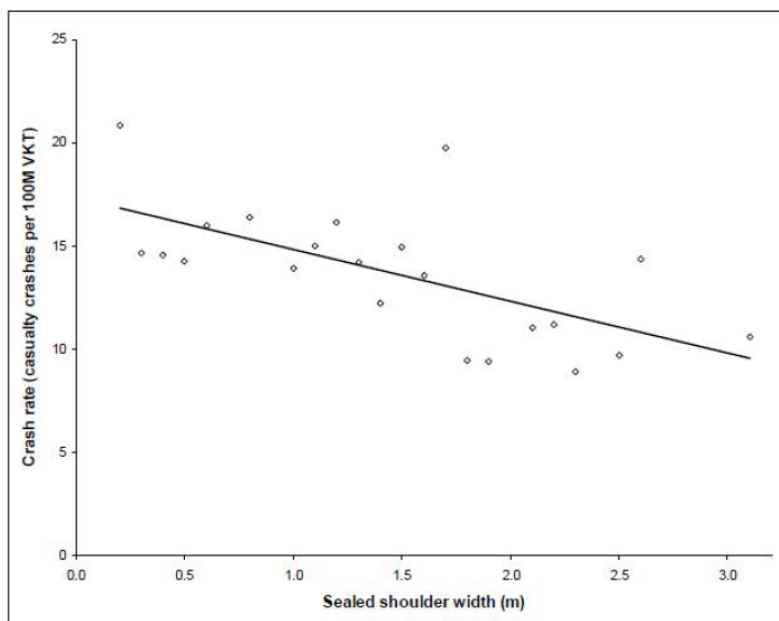
- vasakpöörde sooritamiseks eraldada põhiliiklusest;
- vältida potentsiaalseid konflikte;

- tagada parema nähtavuse möödasõidu sooritamiseks;
- hädapeatumise korral peatuda väljaspool sõidurada;
- suurendada teenindustaset liiklusõnnetuse või teehooldustööde korral;
- tagada ligipääsu operatiivsõidukitele;
- suurendada jalakäijate ja jalgratturite turvalisust.

Erinevate uuringute kohaselt vähendab kindlustatud teepeenra olemasolu liiklusõnnetuste arvu 10% [18], omades kõige paremat efektiivsust sõiduteedel, mille asfaltkatte laius jääb vahemiku 6,0-8,0 m [19]. Prantsusmaal läbiviidud uuringute kohaselt vähendab kindlustatud teepeenarde olemasolu tõsiste tagajärgedega liiklusõnnetuste arvu ligikaudu 65% [18].

Euroopa Liidus ei ole kindlustatud teepeenarde laiust ühtselt määratud. Läbi mitmete uuringute osutub liiklusohutuse seisukohalt kõige optimaalseimaks kindlustatud teepeenra laiuseks 0,3-1,0 m [18], olles kõige efektiivsem vahemikus 0,3 m kuni 0,6 m, vähendades liiklusõnnetuste arvu ligikaudu 19% [19].

2009. aastal uurisid Jurewicz ja Bennet Austraalias kindlustatud peenra laiusest sõltuvat liiklusohutust. Uuringu käigus uuriti asulaväliseid teid kiiruspiiranguga 100 km/h. Tulemused on esitletud joonisel 1.6, kus x-teljel on kindlustatud teepeenra laius ning y-teljel liiklusõnnetuste sagedus 100 milj. a-km kohta.



Joonis 1.6 Liiklusohutuse sõltuvus kindlustatud teepeenra laiusest.

Tulemustest selgus, et 2,5 m laiuse kindlustatud teepeenra korral on liiklusõnnetuste arv 25% madalam kui 0,5 m laiuse teepeenraga lõikudel. Liiklusohutuse tase paranes märgatavalt

lõikudel, kus kindlustatud teepeenra laius on vahemikus 0,5 kuni 1,8 m, Üle 1,8 m laiuste kindlustatud teepeenarde korral püsis liiklusõnnetuste tase samal tasemel [20]. Põhjuseks võib olla sõidukijuhtide ebapiisav tähelepanu sõiduraja piirides püsimiseks, kuna visuaalselt tundub tee lai ja ohutu. Samuti mitte sobiv kindlustatud teepeenra kasutamine ning vähese riskitunnetuse tõttu suuremad keskmised kiirused.

Sõidurada

Mitmed uuringud näitavad, et sõiduraja kitsenemisega suureneb oht sattuda liiklusõnnetusse. Sõiduraja laiusest sõltuv liiklusohutus oleneb mitmest faktorist, kuid kõige enam sõidukijuhi võimekusest hoida oma sõidujoont erinevatel kiirustel, sõltudes seejuures ilmastikust ja liiklusest.

Ameerika ühendriikides ja Saksamaal läbiviidud uuringud tõestasid, et sõiduraja laiendamisega vähenes liiklusõnnetuste arv, pidades kõige optimaalseimaks sõiduraja laiuseks 3,3 m kuni 3,6 m, millest laiemad sõidurajad osutusid ebaefektiivseks. Uuringus käsitleti sõiduteid laiusega 2,7-3,7 m, mille AKÖL oli vahemikus 100-10 000 a/ööp [18].

Sarnasele tulemusele jõudsid ka mitmed teised autorid (Zegeer, 1979/1987/1995, Brannolte et al. 1993, Edholm & Roosmark, 1969), pidades kõige optimaalseimaks sõiduraja laiuseks 3,5 m kuni 3,75 m, millest laiemad sõidurajad ei näidanud liiklusohutuse taseme paranemist [18].

Erinevate uuringute tulemusena peetakse maksimaalseks sõiduraja laiuseks 3,6 m millest laiemad ei näita liiklusohutuse seisukohalt paranemismärke. Seda tõestas ka Brüde ja Larssoni uuring Rootsis, kus alternatiivse 13,0 m laiuse tee ristlõike väljatöötamisel selgus, et laiendades sõiduradade (3,75 m kuni 5,5 m) ja vähendades kindlustatud peenarde laiusi (2,75 kuni 1,0 m) suurenes liiklusõnnetuste raskusaste märgatavalt [17].

1.3.3 Ristlõike parameetrite mõju keskmisele kiirusele.

California ja Missouri osariigi kaherajalistel maanteedel läbiviidud liiklusuuringu käigus analüüsiti erinevate ristlõike parameetrite laiuste ja keskmise kiiruse omavahelist sõltuvust. Andmete regressioonanalüüsist selgus, et 89% keskmise kiiruse muutuse põhjuseks oli kindlustatud teepeenra laiuse muutus. Järgnevates tabelites on esitatud antud uuringus saadud tulemused kindlustatud teepeenra laiuse (tabel 1.2) ja sõiduraja laiuse (tabel 1.3) mõjust keskmisele kiirusele [21].

Tabel 1.2: Kindlustatud teepeenra laiusest tingitud keskmise kiiruse vähenemine

Kindlustatud teepeenra Laius (m)	Keskmise kiiruse vähenemine (km/h)
1,8	0
1,2	2,1
0,6	4,2
0,0	6,8

Tabel 1.3: Sõiduraja laiusest tingitud keskmise kiiruse vähenemine

Sõiduraja laius (m)	Keskmise kiiruse vähenemine (km/h)
3,6	0
3,3	0,7
3,0	1,7
2,7	3,5

Uuringu tulemustest selgub, et kindlustatud teepeenra olemasolu ja laius omab ligikaudu kaks korda suuremat mõju keskmisele kiirusele kui sõiduraja laius.

2 2+1 ristlõikega teed

2+1 teeks nimetatakse 3 rajalist maanteed, kus sõidusuunad on füüsilise keskpiirde abil eraldatud, võimaldamaks perioodilisi möödasõidualasi kummalgil suunal (joonis 2.1).



Joonis 2.1: 2+1 ristlõikega Rootsi maantee E22.

2.1 2+1 tee Rootsi Kuningriigis

2.1.1 Ajalugu

1955. ja 1980. aastatel ehitatud kaherajalised ja eraldusribaga neljarajalised maanteed erinesid omavahel suuresti oma teenindustaseme, ohutuse, hooldusmaksumuse ja maakasutuse poolest, mistõttu hakati ehitama 13,0 m laiusi maanteed, mille ristlõige koosnes kahest 3,75 m laiusest sõidurajast ning 2,75 m laiustest kindlustatud teepeenardest, (joonis 2.2) [16]. Laiade kindlustatud teepeenarde eesmärgiks oli tagada operatiivsõidukitele möödapääs liiklusest ja hädaabi korras peatunud sõidukite ohutus.



Joonis 2.2: 13,0 m laiune kahe rajaline maantee.

Ajapikku hakati kindlustatud teepeenart kasutama lisarajana. Uuringute tulemusena kasutas koguni 85% aeglasematest sõidukitest kindlustatud teepeenart lisarajana, et lasta kiirematel sõidukitel ohutumalt möödasõitu sooritada. Ligikaudu 66% kõikidest möödasõitudest sooritati olukorras, kus ristlõikel asetses korraga kolm sõidukit [16]. Selle tulemusena vähenes liiklusõnnetuste arv küll 10%, võrreldes varasema 9,0 m laiuse maanteega (16, lk1), kuid suurenesid liiklusõnnetuste raskusastmed [17].

1990. aastatel tutvustati kaht alternatiivset lahendust 13,0 m laiusele teele, milledest üks koosnes 5,5 m laiusest sõidurajast koos 1,0 meetri laiuse kindlustatud teepeenraga (joonis 2.3) [17]. Teiseks alternatiiviks oli sõidusuundi eristava teekattemärgistusega tähistatud 2+1 lahendus, kus möödasõitu võimaldav lisarada vahetus 1,0 – 1,25 km tagant [17].



Joonis 2.3: Alternatiivne 13,0m laiune maantee

Rootsi teedevõrgustikus on kokku ligikaudu 3 600 km 13,0 m laiusi maanteid, mille AKÖL varieerub vahemikus 4 000-20 000 a/ööp. Neist 2 800 km on laiade peenardega, 800 km laiade sõiduradadega ning 10 km teekattemärgistusega tähistatud 2+1 ristlõikega teid [17].

Põhilisteks liiklusõnnetusteks 13,0 m laiustel teedel olid väljasõidud ja frontaalkokkupõrked, mis moodustasid rohkem kui 66% kõikides hukkunuga lõppenud liiklusõnnetustest. Põhjuseks oli tavaliselt sõiduki üle, teadmata põhjusel, kontrolli kaotamine, mille tagajärjeks oli kokkupõrge teeäärse objekti või vastassuunas liikuva sõidukiga. Ligikaudu 65% liiklusõnnetustest toimus sirgel teelõigul [29].

2.1.2 Maantee ristlõike valik Rootsi liiklusohutusprogrammi ja nullvisiooni taustal.

1990. aastal seadis Rootsi rahvuslik liiklusohutusprogramm eesmärgi et aastal 2000 ei tohiks liikluses hukkuda rohkem kui 600 inimest. 1994 aastal täiendati Rootsi rahvusliku liiklusohutus programmi, mille raames vähendati eesmärki veel 200 hukkunu võrra [30]. Ühtlasi mainiti eelmainitud programmi käigus ka esmakordselt nullvisiooni, kus Claes Tingvalli tegi ettepaneku läheneda liiklusohutusele sarnaselt töö ohutusele [31].

1997. aastal hakati maanteede kavandamisel lähtuma nullvisioonist, mille peamine idee seisnes liiklussüsteemi muutmist selliseks, mis aktsepteerib väiksemaid varalisi kahjustusi, kuid välistab tõsiste tagajärgedega liiklusõnnetuste tekkimist. Nullvisiooni saavutamine eeldas

olemasolevast majanduslikust ja transpordi süsteemi mudelist loobumist, kus lähtuti minimaalsetest kulutustest ja liikleja mobiilsuse võrdsustamisest liiklusohutusega [30].

Olemasolevate 13,0 m laiuste teede rekonstrueerimine oli üheks mitmest nullvisiooni saavutamise meetmest. Eesmärgiks oli suurendada liiklusohutust võimalikult madalate kulutustega. Variante oli esialgu kaks [32]:

- laiendada olemasolevad 13,0 m laiused maanteed eraldusribaga 2+2 kiirteeks, mis oleks olnud liiga kallis;
- olemasolevatel 13,0 m laiustel teedel kitsendada teepeenraid ning tähistada teekattemärgistusega möödasõidualad tee keskel, kuid seda peeti väheste kogemuste tõttu talvistes tingimustes ja puuduliku teehoolduse tõttu ohtlikuks.

Aastal 1994 soovitas Per Kagesson endisele SRA¹ direktorile Per Andersile kasutada kitsast füüsilist piiret kahe sõidusuuna vahel. Neli aastat hiljem, 1998. aastal, avati esimene keskpäirdega eraldatud 2+1 lahendusega maantee E4 [32].

Tänapäevaks on Rootsis kokku ehitatud üle 2 000 km 2+1 ristlõikega maanteid, millest ligikaudu 30% on suurima lubatud kiirusega 110 km/h ning ülejäänud 70% kiirusega 90 km/h, mis hõlmab kokku ligikaudu 10% kogu Rootsi maanteedevõrgustikust [27].

2.1.3 Rootsi 2+1 teede liiklusohutustase

Liiklusohutuse taseme hindamisel rahvusvahelisel tasandil loetakse kõige objektiivsemalt iseloomustavateks näitajateks liiklusõnnetuste suhtarve autode läbisõidu ja teelõigu pikkuse kohta. Rootsis kasutatakse liiklusõnnetuste statistiliseks hindamiseks FSI sagedust ning F ja SC suhtarve (28, lk9):

- FSI sagedus hõlmab nii tõsiselt vigastatute kui ka hukkunute arvu miljoni autokilomeetri kohta, kirjeldamaks liiklusõnnetuste sagedust;
- F-suhtarv hõlmab ainult surmaga lõppevaid liiklusõnnetusi miljoni autokilomeetri kohta.
- SC-suhtarv näitab tõsiselt vigastatud inimeste arvu liiklusõnnetuste kohta.

¹ SRA – Swedish Road Administration

2+1 lahendusega maanteid on Rootsis kahte tüüpi

- MML – Keskpiirde ja 2+1 ristlõikega maantee, kus puuduvad samatasandilised ristmikud . Jalgratturitel ja jalakäijatel on liikumine keelatud;
- MLV – keskpiirde ja 2+1 ristlõikega maantee, kus on lubatud samatasandilised ristmikud, piirdekatekestused ning jalakäijate ja jalgratturite liikumine

Need jagunevad omakorda ristlõike järgi 14,0 m laiusteks uusehitisteks ja 13,0 m laiusteks maanteedeks, mis on saavutatud olemasoleva 13,0 m laiuste kahe rajaliste ja laiade (2,75 m) kindlustatud teepeenardega maanteede ümberehitamisel.

Hukkunuga lõppenud liiklusõnnetuste statistika 2+1 teedel Rootsis

Rootsi 2+1 teedel on keskmiselt 0,0026 hukkunuga lõppenud liiklusõnnetust milj. a-km kohta, mis on 76% madalam kui tavalistel 13,0 m laiuse ristlõikega maanteedel [28].

MLV tüüpi maanteedel on MML tüüpi maanteedega võrreldes hukkunuga lõppenud liiklusõnnetuste arv kaks korda suurem (F- suhtarv vastavalt 0,0028 ja 0,0014), mis võib olla tingitud asjaolust, et MML tüüpi maanteedel puuduvad samatasandilised ristmikud ning kergliiklajatel on liikumine piiratud [28].

Suurima lubatud kiirusega 90 km/h 2+1 teedel on surmaga lõppevate liiklusõnnetuste arv 38% madalam (0,0017) kui 110 km/h lubatud kiirusega lõikudel (0,0027) [28].

Tõsiste vigastustega (sh hukkunuga) liiklusõnnetused

Tõsiste vigastustega liiklusõnnetused on suurima lubatud kiirusega 90 km/h 2+1 teedel vähenenud 62-63% ja 110 km/h lõikudel 39-57%. Tabelis 2.1 on toodud üldine ja ristmik vahelistel lõikudel MML ja MLV tüüpi maanteedel toimunud tõsiste vigastustega liiklusõnnetuste arv miljoni autokilomeetri kohta nii 90 km/h kui ka 110 km/h kiirusega lõikudel. Lisaks tõsiste vigastustega lõppenud liiklusõnnetuste suhtarv (SC) [28].

Tabel 2.1: FSI sagedus MML ja MLV tüüpi maanteedel

Tee tüüp	FSI sagedus		Vähendamine (%)		SC suhtarv
	Üldine	Ristmike vaheline lõik	Üldine	Ristmike vaheline lõik	
MML 110	0,0219	0,0209	57	56	0,25
MML 90	0,0177	0,0146	62	66	0,19
MLV 110	0,0305	0,0238	39	46	0,25
MLV 90	0,0177	0,0104	63	74	0,17

Kõige suurem liiklusohutuse paranemine on toimunud nii MLV kui ka MML tüüpi teedel kiiruspiiranguga 90 km/h, kus surma ja tõsiste vigastustega lõppenud liiklusõnnetuste sagedus on vähenenud 62-63%. MLV tüüpi teedel on ristmikelahendusel lõigul FSI sagedus vähenenud koguni 74%, võrreldes tavalise ilma keskpärdetega kaheajalise maanteega. SC suhtarv on samuti kõige madalam, olles MML ja MLV tüüpi maanteel vastavalt 0,19 ja 0,17.

Suurima lubatud kiirusega 110 km/h teelõikudel osutub MML tüüpi lahendus ohutumaks, võrreldes MLV tüüpi maanteedega. Mõlemat tüüpi teedel on küll SC suhtarv sama, kuid MML tüüpi maanteel on tõsiste vigastuste ja hukkunuga lõppevate liiklusõnnetuste sagedus väiksem, kuna puuduvad samatasandilised ristmikud ning kergliiklejad. MML tüüpi teedel on ühtlasi ka kergliiklejatega toimunud liiklusõnnetuste arv vähenenud 90%, kuna kergliiklejatel on MML tüüpi maanteedel liikumine keelatud.

Keskpiirdega teedel on ligikaudu 60-80% õnnetuste põhjuseks teelt väljasõidud ning tagant otsasõidud [28].

Põhinedes eeltoodud statistikale selgub, et 90 km/h piirkiirusega 2+1 teelõigud osutuvad liiklusohutuse seisukohtalt märkimisväärselt ohutumaks kui 110 km/h piirkiirusega teelõigud. 110 km/h piirkiirusega 2+1 teelõigud on seotud ligikaudu 38% kõrgema hukkunute ja MLV tüüpi maanteel kuni 28% kõrgema FSI – sagedusega kui 90 km/h piirkiirusega 2+1 teelõigud.

Mootorratturite liiklusohutus

2+1 teede arendusprogrammis seati kahtluse alla keskpiirde mõju mootorratturite turvalisusele. Uuringu käigus võrreldi 2+1 teedel toimuvaid õnnetusi võrrelduna üleriiklike maanteevõrgustikuga.

1 170 km kogupikkusega analüüsitavatel 2+1 ristlõigetega teedel on toimunud 6 surmaga ja 17 tõsiste vigastustega lõppenud liiklusõnnetust, millest 1 hukkunuga ja 3 tõsiste vigastustega lõppenud õnnetustest toimus ristmike piirkonnas. See moodustab 7,8% liiklusõnnetustest, mis on madalam kui terves riiklikus maanteevõrgustikust (9,3%) [28].

Analüüsi käigus uuriti ka eeldatavat mootorratturite liiklusõnnetusse sattumist 13,0 m laiusel maanteel, eeldusel et mootorratturite läbisõit on 95% uuritava perioodi läbisõidust. Tulemustest selgus, et FSI sagedus on tänu uuele lahendusele 65-70% madalam [28].

Kokkuvõtvalt on tänu 2+1 lahendusele vähenenud surmaga lõppevate liiklusõnnetuste arv, põhinedes VTI¹ statistikale, ligikaudu 80%. Kõige ohutumaks osutusid 90 km/h piirkiirusega maanteelõigud, kus ristmike vahelisel alal ja MLV tüüpi maantee on FSI sagedus vähenenud koguni 75%. Samuti puuduvad tõendid, et keskkiire suurendaks mootorratturite riski sattuda liiklusõnnetusse.

Kokkupõrge keskkiirdega 2+1 maantee

Põhinedes alltoodud uuringutele, toimub 2+1 teedel keskkiirdega keskmiselt 0,5 kokkupõrget miljoni autokilomeetri kohta, olles kõrgem nii talvistes tingimustes kui ka suurema piirkiiruse ja liiklussageduse korral.

VTI andmetel (2009) toimub 2+1 lahendusega teedel keskmiselt 0,43 keskkiirdega kokkupõrget miljoni autokilomeetri kohta, mis on põhja Rootsis ligikaudu 25% kõrgem kui lõuna pool tingituna ebapiisavalt talvisest teehooldusest. Uuringu tulemustest jõuti veel järeldusele, et suurima lubatud kiirusega 110 km/h teedel on kokkupõrkeid toimunud 15% rohkem kui 90 km/h kiirusega lõikudel. Lisaks leiti, et teelõigud, kus AKÖL ületab 9 000 a/ööp, on seotud ligikaudu 25-30% kõrgema keskkiirdega kokkupõrge sagedusega [28].

NCHRP² (2003) andmetel toimub keskmiselt 2+1 teedel 0,5 kokkupõrget keskkiirdega miljoni autokilomeetri kohta, millest 60% on toimunud üherajalise sõidusuunaga teelõigul ja 8% kriitilistes ülemineku tsoonides. Lisaks leiti, et 55% kõikidest keskkiirdega õnnetustest on toimunud talvisel perioodil [35].

Keskkiirdega kokkupõrgete põhjusteks on liiklusõnnetused, tähelepanematus, väsimus, halb teekatte hooldus talvel, piirde halb nähtavus nii hämaruses kui ka vihmajärgel. Ettepanekuna soovitatakse kasutada üleminekutsoonides helkurposte vähemalt 10,0 m vahedega ning laiemat eraldusriba koos rihveldusega, laiema sisemisi kindlustatud teepeenraid ning laiemat üherajalise sõidusuunda.

2.2 2+1 teede iseloomulikud näitajad

2.2.1 Kiirus

Rootsis on 2+1 maanteed kiirused määratud vastavalt maantee tüübile, kus MML tüüpi maanteedel ilma samatasandiliste ristmike ning kergliiklejateta teedel on lubatud suurim kiirus

¹ VTI – Swedish National Road and Transport Research Institute

²NCHRP - National cooperative highway Research Programmi

110 km/h ning MLV tüüpi maanteedel 90 km/h. Viimasel ajal on hakatud MML tüüpi maanteedel kiiruspiiranguid vähendama 100 km/h peale [47].

Rootsis lähtutakse suurima lubatud kiiruse määramisel ja liikluskeskkonna kujundamisel ohutu kiiruse mõistest, mida käsitlesid esimesena Tingvall ja Haworth (1999). Süsteem juht-sõiduk-tee peaks toimima selliselt, et isegi kokkupõrke korral ei avalduks sõidukis viibijatele ega teistele liiklejatele sellist jõudu, mis põhjustaks tõenäoliselt nende hukkumise (seda printsiipi tuntakse ka nullvisiooni nime all) [34].

Aastal 2008 otsustas Rootsi transpordiamet üle vaadata kiiruspiirangud Rootsi maanteedel. Uurigu eesmärk oli analüüsida piirkiiruse muutuse mõju liiklusohutusele, suurendades või vähendades lubatud piirkiirusi 10 km/h võrra. Lubatud suurimate sõidukiiruste muudatused viidi muuhulgas läbi ka keskpäirdega eraldatud 2+1 maanteedel, kus senise 110 km/h lõikudel vähendati ja 90 km/h lõikudel tõsteti lubatud sõidukiirust. Tabelis 2.2 on kajastatud kergemate ja tõsisemate vigastuste ning hukkunuga lõppenud õnnetuste muutus aastas pärast lubatud sõidukiiruse tõstmist/alandamist. Uuringu periood oli neli aastat enne ja pärast kiiruse muutmist (53, lk20).

Tabel 2. 2: Liiklusohutuse paranemine sõltuvalt piirkiiruse alandamisest 2+1 teedel

Tee tüüp	Lõigu pikkus	Kiirus (km/h)		Kergemad vigastused			Tõsised vigastused			Hukkunud		
		Enne	Pärast	Enne	Pärast	%	Enne	Pärast	%	Enne	Pärast	%
MML	157	110	100	166	277	67	41	39	-5	4	2	-50
MLV	250	110	100	95	189	99	38	37	-3	5	5	0
	666	90	100	388	719	85	64	108	69	4	3	-25

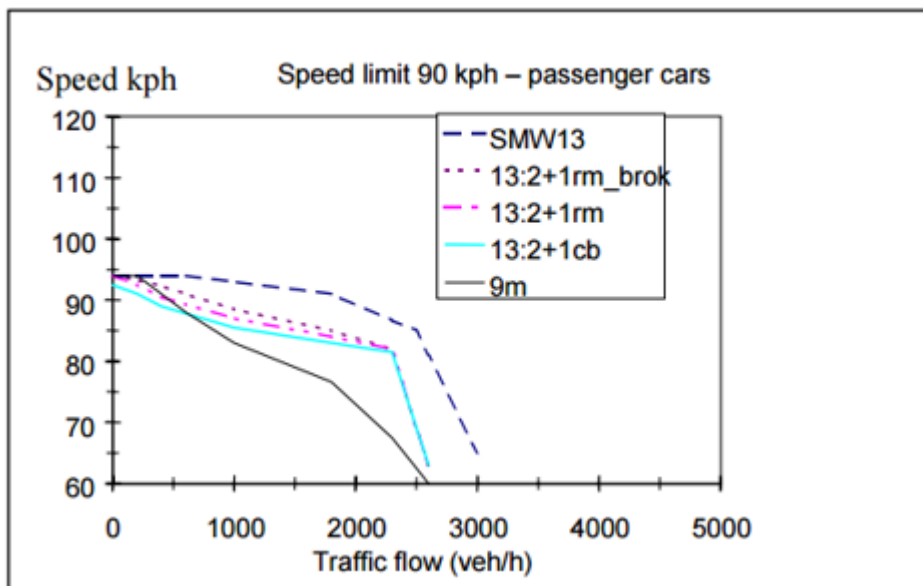
Tuginedes uuringu tulemustele selgub, et piirkiiruse alandamise tõttu on vähenenud hukkunute arv liiklusõnnetustes, kuid kergemate vigastustega liiklusõnnetuste osakaal on tõusnud. Piirkiiruse tõstmisest MLV tüüpi maanteel on samutui hukkunute arv vähenenud, kuid tõusnud kergemate ja tõsiste vigastuste osakaal. Siiski on antud uuringud teostatud väga lühikestel teelõikudel, ning info kogus on ebapiisav, et tabelis 2.2 toodud liiklusohutuse taseme muutust adekvaatseks pidada.

2+1 teede mõju liikluskiirusele

Rootsis 1997 aastal läbiviidud tasuvusuuringu ja simulatsiooni põhjal eeldati 2+1 teedel liiklussageduse kasvades sõidukite keskmise kiiruse vähenemist, mis põhines väitel, et

aeglasemad sõidukid, õnnetused ja eriveosed blokeerivad üherajalisel suunal möödasõidu võimalusi. Simulatsioon viidi läbi tingimustes, kus 2+1 tee üherajalisel suuna liiklussagedus on 13 00 sa/h ning kaheajalisel suunal 3 000 sa/h [17].

Joonisel 2.4 on kajastatud simulatsiooni tulemused, kus võrreldi 13,0 m (SMW13) ja 9,0 m laiuseid keskpäirdeta kaheajalisi maanteid koos piirdekatekestusega 2+1 (13:2+1rm_brok) ja teekatemärgistusega 2+1 (13:2+1_rm) ristlõikega maanteid ning pideva keskpäirdega 2+1 (13:2+1cb) maanteid [17].



Joonis 2.4: Liiklussageduse mõju keskmisele kiirusele 9,0 m, 13,0 m laiustel ja 2+1 ristlõikega maanteel

Simulatsiooni tulemustest selgub et nii 13,0m laiusel keskpäirdeta kaheajalisel maanteel, kui ka erinevatel 2+1 lahendustel langeb keskmine kiirus lineaarselt kuni liiklussageduseni ~ 2500 sa/h, pärast mida järgneb järsk keskmise kiiruse langemine. Simulatsiooni tulemustest selgus, et 2+1 ristlõikega maanteedel on keskmine kiirus kõrgem kui 9,0 m laiusel maanteel, kuid umbes 15% madalam kui 13,0 m laiusel maanteel.

Keskised ja hetkkiirused

2+1 ristlõikega teede mõju kiirusele on uuritud kahel MML tüüpi maanteel – E4 ja E18 ja ühel MLV tüüpi maanteel – E22. Uuringul keskenduti sõidukite hetkkiirusele, mida võrreldi lisaks ka teekatemärgistusega tähistatud 2+1 maanteedega.

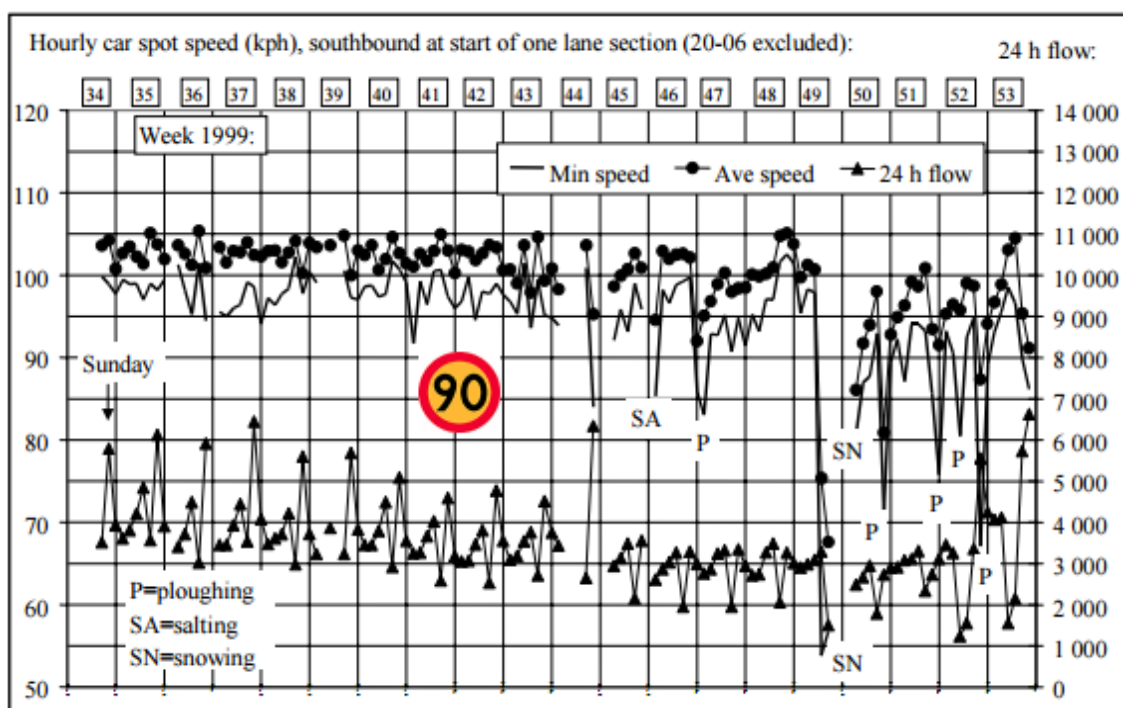
Tulemustest selgus, et suurima lubatud sõidukiirusega 90 km/h teedel tõusis keskmine kiirus keskpäirda olemasolul ligikaudu 2 km/h ning teekatemärgistusega tähistatud 2+1 maanteel 4

km/h. 110 km/h piirkiirusega lõikudel on kiirus sama. MLV tüüpi maanteel (E22) tõusis keskmine kiirus ainult 1 km/h, võrreldes varasema 13,0 m laiuse maanteega [28]. Keskmine hetkkiirus 90 km/h lubatud sõidukiirusega teel oli 101 km/h ja 110 km/h kiirusega lõikudel 107 km/h [35].

Üherajalise sõidusuuna alguses, lubatud sõidukiirusega 90 km/h, jäävad hetkkiirused vahemiku 93-100 km/h sõltuvalt liiklussagedusest ning kaheajalise suuna möödasõidurajal 110-120 km/h. Üldiselt erinevad ühe- ja kaheajalise sõidusuuna keskmised kiirused 5 km/h [35].

Lisaks leiti, et suurema liiklussageduse kui 500 sa/h korral hakkab keskmine kiirus üherajalisel lõigul langema (28, lk16).

Teehooldustööde ja ilmastiku mõju keskmisele kiirusele on kajastatud joonisel 2.5. Uuring on läbi viidu nädalatel 34-53 üherajalise sõidusuuna alguses, kus suurimaks lubatud sõidukiirusekd on 90 km/h. Joonisel 2.5 oleva graafiku ülemine kõver näitab sõidukite minimaalseid ja keskmise kiiruse väärtusi erinevate talviste teehooldustööde ajal nagu lume sahkamise (P), soolamise (SA) ning lisaks lumesaju (SN) korral [17]. Graafiku alumine kõver kirjeldab keskmise ööpäevase liiklussageduse muutust uuringu perioodil.



Joonis 2.5: Teehooldustööde ja ilmastiku mõju keskmisele kiirusele 2+1 maanteel.

Graafikult selgub, et 90 km/h piirkiirusega üherajalisel teelõigul on keskmine kiirus üle 100 km/h, kuid ligikaudu pooltest detsembrikuu päevadest on keskmine kiirus olnud alla

90 km/h. Lumetõrje ja libedustõrje ajal on keskmine kiirus langenud vastavalt 65 km/h ja 85 km/h piirile. Lumesaju korral (49 nädal) langenud kiirus kuni 57 kilomeetrini tunnis.

2.2.2 Liiklussagedus ja läbilaskevõime

Euroopas olevate 2+1 teede aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus jääb vahemikku 4 000 – 30 000 a/ööp, ning läbilaskevõime 1 200 -1 900 sa/h. HCM¹ 2010 kohaselt on tavalise kahe rajalise maantee läbilaskevõime ühel suunal ideaaltingimustes kuni 1 700 a/h ning kahe suuna peale kokku 3 200 a/h.

Saksamaa 2+1 lahendusega teedel varieerub AKÖL vahemikus 15 000 – 25 000 a/ööp, tõustes kohati kuni 30 000 a/ööp. Soome 2+1 teedel on AKÖL keskmiselt 14 000 a/ööp, tõustes nädalavahetuse ti kuni 20 000 – 25 000 a/ööp ning Rootsis 4 000 -20 000 a/ööp. Taanis jäävad kolmel uuritud objektil liiklussagedused vahemiku 7 000 – 16 000 a/ööp [35].

Rootsis peeti eeldatavaks läbilaskevõimeks suurima lubatud sõidukiirusega 90 km/h lõikudel 1 550 sa/h ning 110 km/h lõikudel ligikaudu 1 500 sa/h ehk umbes 400-450 sa/h vähem kui tavalistel 13,0 m laiustel maanteedel (29, lk 17). Rootslaste hinnangul jääb 2+1 tee läbilaskevõime vahemikku 1 200 – 1 400 sa/h [29].

Soomes on läbilaskevõimeks mõõdetud koguni 1 900 sa/h 15 minutilisel perioodil, kuid keskmiselt 1 200 -1 400 sa/h, mille korral hakkavad kriitilistes üleminekutsoonides tekkima ummistused ja kolonnid [35].

2.2.3 Teenindustase

Teenindustase on liikluse kvaliteedi näitaja, mida iseloomustatakse konkreetse liikleja liikumistingimustega ja mis väljendub liiklusvoo tiheduse, kiiruse, ooteaja ja manööverdamisvabaduse kaudu. Teenindustaseme põhinäitajaks kahe rajalisel maanteel on ajakulu suhteline pikenemine (%), keskmine kiirus (km/h) ning kiirteel ja I klassimaanteel ka liiklusvoo tihedus (sa/km) [49].

Ajakulu suhteline pikenemine

Ameerika ühendriikides on läbiviidud ajakulu suhtelise pikenemisest tingitud teenindustaseme uuring erinevatele möödasõidu võimalusi pakkuvatele lahendustele. Võrdlus on koostatud TWOPAS² mudeli põhjal, kus on võrreldud teenindustasemeid erinevate liiklusvoogude ja erineva liiklusjaotuse korral 11,0 km pikkusel teelõigul. Mudeli koostamisel on arvestatud 7 %

¹ HCM – Highway Capacity Manual

² TWOPAS mudel – Kahe rajalise maantee liiklussüsteemi simulatsiooni mudel

raskeliikluse osakaaluga kogu liiklusest ning liiklussagedusega vahemikus 400 -2 800 sa/h mõlemas suunas [35].

Tabelis 2.3 on toodud tavalise kahe rajalise maantee ning 2+1 maantee ajakulu suhtelise pikenemise võrdlus erinevate liiklussageduste korral ning neile vastav teenindustase. Mudelis on käsitletud kolme erinevat liiklusjaotuse olukorda ning neile vastav ajakulu suhteline pikenemine on arvutatud mõlema sõidusuuna peale kokku.

Tabel 2.3: Teenindustasemed sõltuvalt ajakulu suhtelisest pikenemisest.

Liikluse jaotus	Liiklussagedus (sa/h)	2-rajaline mnt		2+1 mnt	
		Ajakulu suhteline pikenemine (%)	Teenindustase	Ajakulu suhteline pikenemine (%)	Teenindustase
50/50	400	38,4	B	23,6	A
	800	55,6	C	37,0	B
	1200	67,9	D	44,0	B
	1600	76,0	D	49,0	B
	2000	81,0	E	53,3	C
	2400	84,5	E	56,5	C
	2800	88,1	E	60,0	C
60/40	400	38,4	B	24,3	A
	800	53,3	C	35,6	B
	1200	67,4	D	44,6	B
	1600	75,5	D	49,7	B
	2000	80,9	E	53,6	C
	2400	85,3	E	57,5	C
	2800	-	-	-	-
70/30	400	37,1	B	26,1	A
	800	52,5	C	36,9	B
	1200	66,1	D	45,3	B
	1600	75,1	D	51,0	C
	2000	81,5	E	55,3	C
	2400	-	-	-	-
	2800	-	-	-	-

*liiklusjaotus 60/40 tähendab, et 60% kogu liiklusvoost on põhisuunas ja 40% vastassuunas.

*Teenindustasemed 2000 Highway Capacity Manualis esitatud definitsiooni põhjal.

Võrdlusest on näha, et sagedamaste möödasõiduvõimalustega teedel suureneb teenindustase, mis töötab kõige paremini juhul, kui liiklus on jaotatud mõlemas suunas võrdselt. 2+1 lahenduse korral on kuni liiklus sageduseni 1 600 sa/h tagatud teenindustase B.

Teenindustase sõltuvalt kolonnide tihedusest.

Jaapani kõige põhjapoolsemal saarel Hokkaidos on läbi viidud 2+1 teede teenindustaseme analüüs, põhinedes ühel sõidusuunal kolonnis sõitvate sõidukite arvule [48]. Võrreldud on omavahel kahe rajalist ja 2+1 ristlõikega maanteed nii kuivades kui ka talvistes tingimustes. Analüüs on läbi viidud, kasutades SIM-R- liiklusvoo micro-simulatsiooni. Teenindustaseme määramiseks on võetud tabelis 2.4 olevad kolonnide tiheduse väärtused, mis näitab teenindustaseme vastavust kolonnis liikuvate sõidukite arvu kohta ühel kilomeetril.

Tabel 2.4: Teenindustase sõltuvalt kolonni tihedusest

LOS	Kolonni tihendus (sa/km)
A	≤ 3
B	≤ 6
C	≤ 10
D	≤ 15
E	≤ 20
F	> 20

Simulatsiooni tulemused on esitatud tabelis 2.5, mis näitab kolonnide tihedused vastavalt ühesuunalisele liiklussagedusele nii talvistes kui ja suvistes tingimustes. Võrreldus on toodud nii tavalise kahe rajalise maantee kui ka 2+1 ristlõikega maantee vahel, kus möödasõidu võimalused on kolme kilomeetrise intervallidega.

Tabel 2.5: Kolonnide tihedus vastavalt liiklussagedusele nii suvistes kui ka talvistes tingimustes.

Liiklussagedus (sa/h)	Suvistel tingimustel (sa/km)		Talvistel tingimustel (sa/km)	
	2-rajaline mnt.	2+1 mnt.	2-rajaline mnt.	2+1 mnt.
100	1,1	0,7	1,5	0,9
200	2,7	1,8	3,8	2,5
300	4,5	2,8	6,3	4,1
400	6,3	4,2	8,7	5,7
500	8,2	5,4	11,2	7,6
600	10,3	7,1	13,7	9,9
700	12,2	8,3	16,4	11,8
800	14,5	9,9	19,1	14
900	16,5	11	21,4	15,4
1000	18,6	12,8	23,8	17,5

Tulemustest selgus, et juhul kui möödaskõiguvõimalused on tagatud 3,0 km intervalliga, kus möödaskõiguala pikkus on 1,5, siis suvistes tingimustes on 2+1 ristlõikega teedel kuni liikluskõigeduseni 500 sa/h ja talvistes tingimustes kuni liikluskõigeduseni 400 sa/h tagatud teenindustase B. Kaheajalistel maanteedel on sama tase tagatud suvistel tingimustel kuni 300 sa/h ning talvistel 200 sa/h. Kokkuvõtvalt väheneb antud tingimustes 2+1 ristlõikega maanteel kolonnis sõitvate sõidukite arv 30-33%. Erinevus on suurem liikluskõigedusel 100-400 sa/h (30-40%) ning väiksem vahemikus 400-1 000 sa/h (26-30%).

2.3 2+1 teede parameetrid

2.3.1 Ristlõike

Ristlõike valiku tingimused

Tüüplõike valik ja tee laius sõltub eelkõige järgnevatest tingimustest [22]:

- kas 2+1-lahendus tuleb sisse viia olemasoleval 13 m teel või on tegemist uuehitusprojektiga;
- jalakäijate, jalgratturite ja aeglaselt sõitva liikluse esinemisest teelõigul;
- eriveoste edasipääsemise võimalusest;
- takistusteta laiupest tunnelites.

Ristlõike tüübid

Rootslastel sõltub ristlõike valik eelkõige maantee tüübist, mis jagunevad sõltuvalt kergliiklejate olemasolust ja ristumiste viisist kaheks [22]:

- MML – Keskpõirde ja 2+1 ristlõikega maantee, kus puuduvad samatasandilised ristmikud. Jalgratturitel ja jalakäijatel on liikumine keelatud;
- MLV – keskpõirde ja 2+1 ristlõikega maantee, kus on lubatud samatasandilised ristmikud, põirdekõigekõigedused ning jalakäijate ja jalgratturite liikumine.

Lisaks sõltub ristlõike valik asjaolust, kas 2+1 lahendusega maantee ehitatakse olemasoleva 13,0 m laiuse maantee ümberehitamisel või 14,0 m laiuse uuehitisena [21].

- 13,0 m laiuse maantee ümberehitamisel 2+1 ristlõikega maanteeks on lähtutud põhiliselt majanduslikest ja liiklusohutuslikest aspektidest, suurendamaks liiklusohutust võimalikult väheste kuludega.

- 14,0 m laiuste uusehitiste põhiliseks eesmärgiks on sõidumugavuse ja teenindustaseme tõstmine, tagamaks kergliiklejatele ohutumad tingimused liikumiseks.

Ristlõike parameetrid

Vastavalt Rootsi teede ja tänavate projekteerimis nõuetele ja soovitudele tuleb ristlõike parameetrite määramisel silmas pidada, et minimaalne laius pörkepiirete vahel peab olema vähemalt 5,1 m, mis on määratud, võttes arvesse muuhulgas kergliiklust, operatiivsõidukite ligipääsuvõimalust, ekspluatatsiooni ja hooldusaspekte ning erilubadega sõidukeid. Laius alla 5,1 m on lubatav üksnes hooldaja heakskiidul. Lisaks suure raskeveokite osakaalu tõttu vältida sõiduradade laiust alla 3,5 m [25].

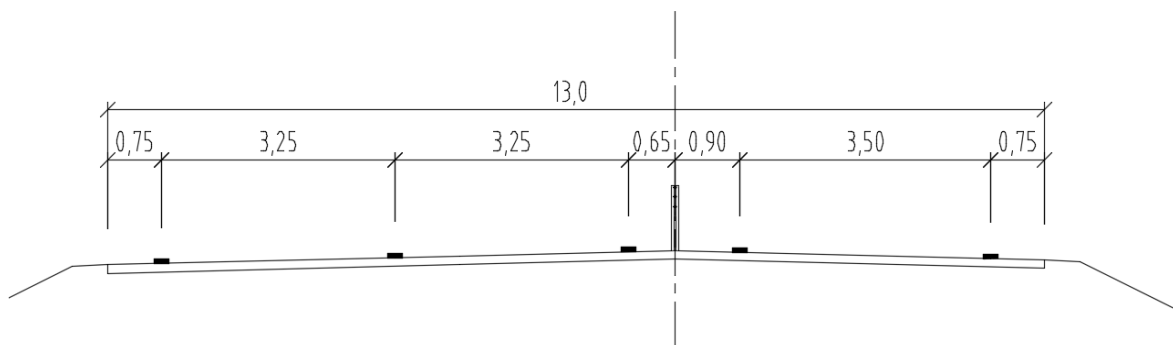
Järgnevalt on toodud nii 2004. aasta kui ka 2012. aasta Rootsi teede ja tänavate projekteerimisnõuetes [22,25] esitatud 2+1 maantee ristlõiked vastavalt 13,0 m ja 14,0 m laiuste MML ja MLV tüüpi maantee ristlõiked.

13,0 m laiune 2+1 ristlõige

13,0 m laiuste maantee ümberehitamise põhiliseks eeliseks on liiklusohutuse tõstmine majanduslikult kõige soodsamal viisil ning lühike ehituse kestvus võrreldes 14,0 m laiuse maanteega [26].

MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012)

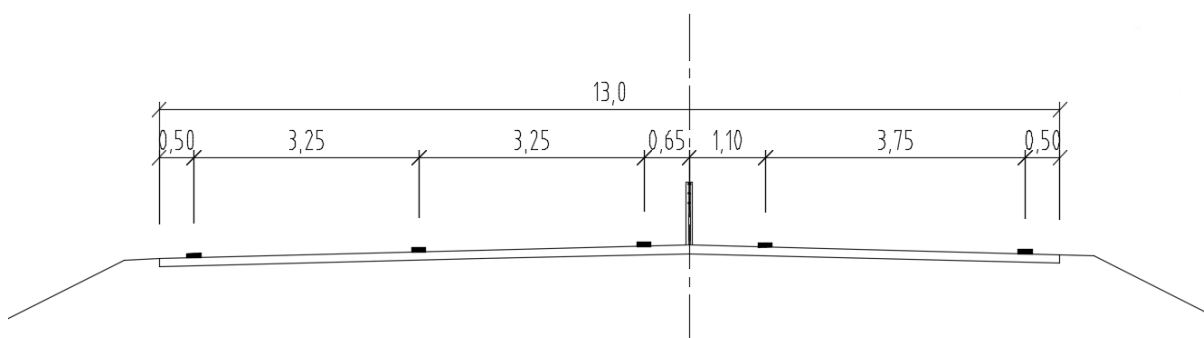
MLV tüüpi 2+1 maantee puhul on lähtutud minimaalsest jalakäijate ja jalgratturitele mõeldud kindlustatud teepeenra laiusest, mis on kummalgil suunal 0,75 m [22]. Sõiduradade laiused on kaheajalisel sõidusuunal 3,25 m ja üheajalisel 3,5 m. Sisemise ohutusriba laiusteks on kaheajalisel sõidusuunal 0,65 m ja üheajalisel suunal 0,9 m, mis annab kogu eraldusriba laiuseks 1,55 m, kuhu sisse on ka arvestatud keskpäiirde laius.



Joonis 2. 6: 13,0 m laiune MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012)

MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004)

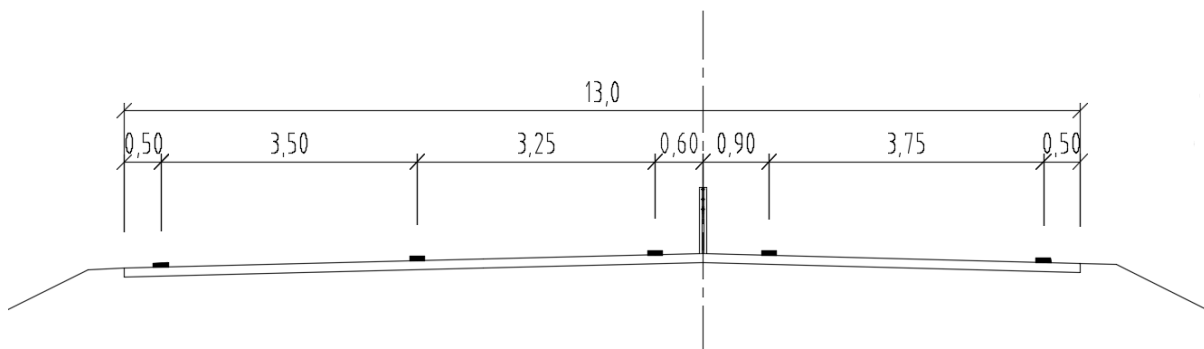
Jalakäijate ja jalgratturite liiklemise keelu tõttu piisava sõidumugavuse ja teenindustaseme tagamiseks on valitud minimaalne kindlustatud teepeenra laius 0,5 m [22], mille arvelt on laiendatud üherajalise suuna sõiduraja ja sisemist ohutusriba. Kaherajalisel sõidusuunal on mõlema sõiduraja laius 3,25 m ja üherajalisel 3,75 m. Ohutusriba laiused on kaherajalisel 0,65 m ja üherajalisel 1,10 m, mis annab kogu eraldusriba laiuseks 1,75 m, kuhu sisse on ka arvestatud keskpäirde laius.



Joonis 2.7: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige(2004)

MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012)

2012. aasta projekteerimisnõuannetes esitatud MML tüüpi ristlõikel on erinevalt 2004. aasta versioonist kitsam üherajalise sõidusuuna ohutusriba, mille arvelt on laiendatud kaherajalise sõidusuuna parempoolse sõiduraja laiust. Üherajalisel sõidusuunal on 3,75 m laiune sõidurada, 0,5 m laiune kindlustatud teepeenar ja 0,9 m laiune ohutusriba. Kaherajalisel sõidusuunal on 3,5 m laiune põhirada ja 3,25 m laiune möödasõidurada. Kindlustatud teepeenar 0,5 m ja ohutusriba 0,6 m. Eraldusriba kogulaiuseks on 1,5 m, mille sisse on ka arvestatud keskpäirde laius 0,3 m.



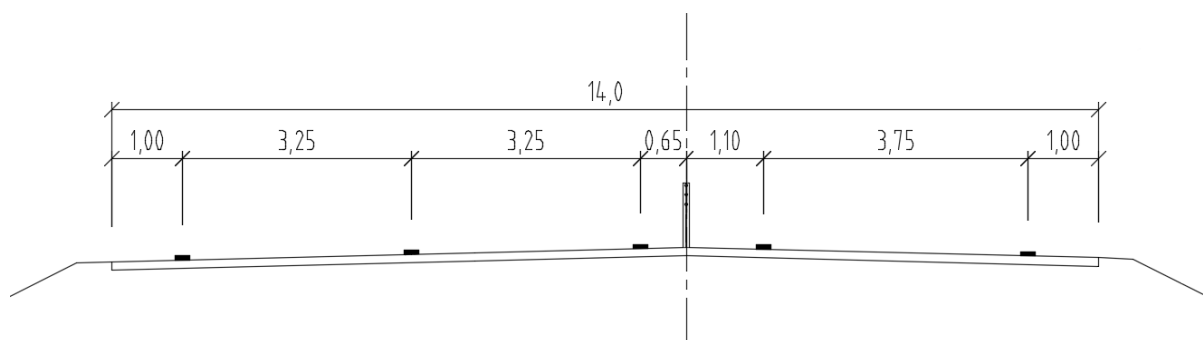
Joonis 2.8: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012)

14,0 m laiune 2+1 ristlõige

14,0 m laiuse ristlõike valimise motiiviks on tagada MLV tüüpi maanteedel paremad tingimused jalakäijatele ja jalgratturitele. Samuti võimaldab laiem ristlõige möödasõitu aeglasematest sõidukitest üherajalisel sõidusuunal ning vältida avariide poolt tekitatud ummistusi ja liikluse ümbersuunamist hooldus ning remonditööde korral [26].

MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004)

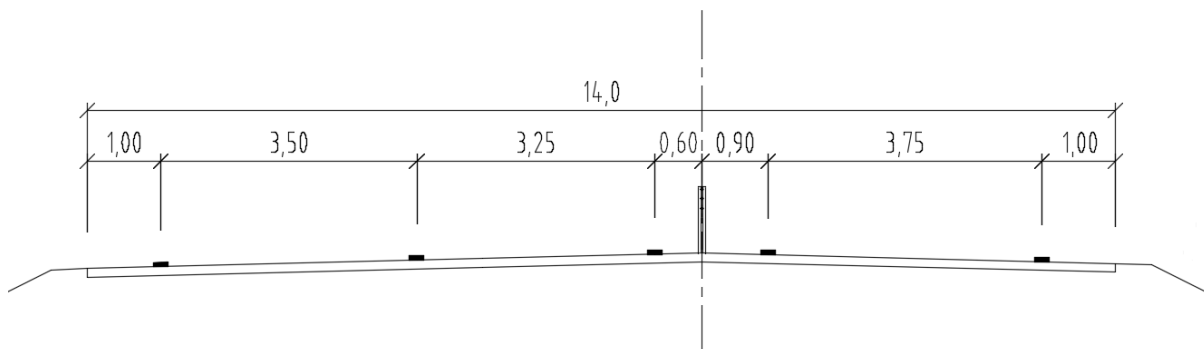
14,0 m laiusel MLV tüüpi maanteel on jalakäijate ja jalgratturite ohutumaks liiklemiseks kindlustatud teepeenrad 1,0 m laiusega. Sõiduradade laiused on kaherajalisel suunal 3,25 m ja üherajalisel suunal 3,75m. Ohutusriba laius on üherajalisel 1,10 m ja kaherajalisel suunal 0,65 m, mis annab kogu eraldusriba laiuseks 1,75 m, kuhu sisse on ka arvestatud keskpiirde laius.



Joonis 2.9: MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004)

MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012)

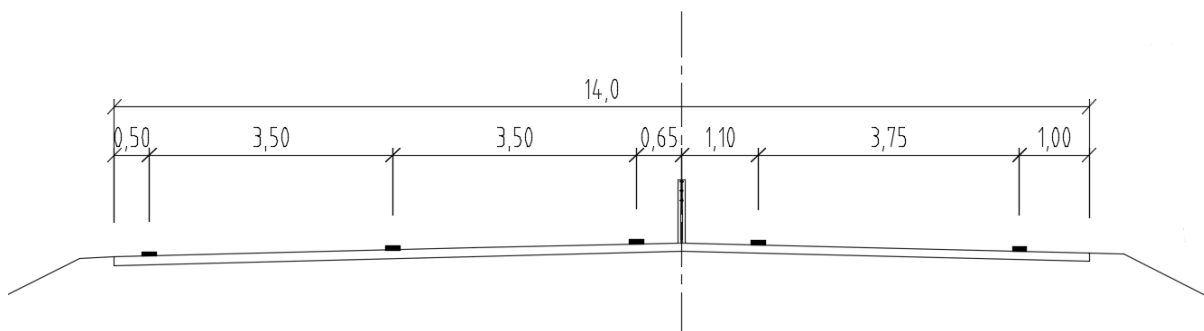
2012. aasta projekteerimisnõuetes esitatud MLV tüüpi ristlõikel on erinevalt varasemast versioonist kitsam üherajalise sõidusuuna ohutusriba laius, mille arvelt on laiendatud kaherajalise sõidusuuna parempoolse sõiduraja laiust. Üherajalisel sõidusuunal on 3,75 m laiune sõidurada, 1,0 m laiune kindlustatud teepeenar ja 0,9 m laiune ohutusriba. Kaherajalise sõidusuunal on 3,5 m laiune põhirada ja 3,25 m laiune möödasõidurada. Kindlustatud teepeenar on 1,0 m ja ohutusriba 0,6 m. Eraldusriba kogulaiuseks on 1,5 m, mille sisse on ka arvestatud keskpiirde laius 0,3 m.



Joonis 2.10: MLV tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2012)

MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012)

14,0 meetri laiusel MML tüüpi maantee ristlõike parameetrite valikul on keskendutud sõidumugavusele ja vaba ruumi laiusele, mistõttu on kaheajalise sõidusuuna mõlema sõiduraja laius 3,5 m ja üherajalise sõidusuuna sõiduraja laius on 3,75 m. Ohutusriba laius on kaheajalisel sõidusuunal 0,65 m ja üherajalisel suunal 1,10 m, mis annab kogu eraldusriba laiuseks 1,75 m, kuhu sisse on ka arvestatud keskpäirde laius.

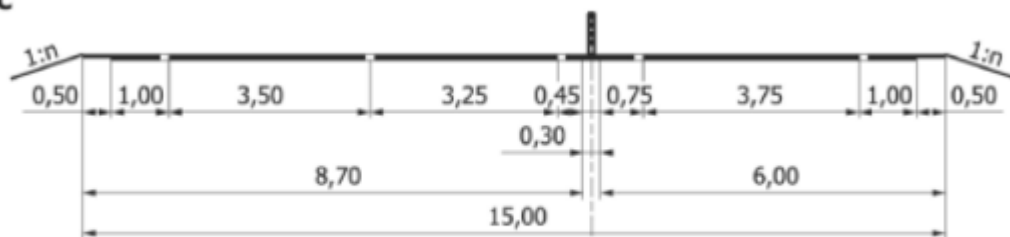


Joonis 2.11: MML tüüpi maantee 2+1 ristlõige (2004/2012)

Eesti 2+1 ristlõige

2015. aasta suvel „Tee projekteerimise normis“ määrusega nr 106 [23] vastuvõetud muudatustes on esitatud alternatiivne keskpäirdega 2+1 lahendus II klassi teele. Ristlõige sarnaneb oma parameetrite poolest Rootsis kasutusel oleva 14,0 m laiuse MLV tüüpi maantee ristlõikele. (joonis 2.12).

II c



Joonis 2.12. II klassi maantee ristprofiil

Joonis 2.12: II klassi maantee 2+1 ristlõige

2.3.2 Sõidukite vaheline vaba ruum.

Vaba ruum on vähim sõidukite omavaheline ruum, mis on nõutav selleks, et oleks võimalik tee ohutu ja efektiivne kasutamine sõidukiliikluse jaoks, näiteks sõidutee autoliikluse või jalakäija- ja jalgrattaliikluse jaoks. Vaba ruum määratakse nõuetega vabale laiusele ja vabale pikkusele [26].

Maanteedel peab olema tagatud kõigi arvutuslike autode vaba ja liiklusseadusele vastav liikumine, seetõttu tuleb arvestada antud elemendi jaoks suurimat liikumisruumi vajava arvutusliku autoga [23].

Erinevate liiklussituatsioonid nõuavad erinevaid liiklusruumi nõudeid. Liiklusruumi vajadus sõltub sellest, millist hooldustaset, turvalisust ja mugavust liiklejatele pakutakse erinevates liiklussituatsioonides. Projekteeritava tee ristlõike parameetrite valikul pööratakse tähelepanu sellele, kui tihti teatud situatsiooni liikluses esineb, näiteks kahe veoauto ja jalgratturi vaheline kohtumine [26].

Rootsi ristlõike vastavus ruumiklassile

Ruumiklass kirjeldab liiklejate liiklus- ja vaba liiklusruumi ning mugavust erinevates liiklussituatsioonides, nagu kohtumine ja möödasõit.

Ruumiklassid [26]:

- A – Sõidukijuhtidel puudub vajadus muuta oma trajektoori teiste liiklejate tõttu;
- B – Sõidukijuhid võivad tunda vajadust muuta oma trajektoori sõiduraja piirides;
- C – Sõidukijuhid peavad muutma oma trajektoori ja kiirust või väljuma oma sõidurajast, tagamaks ohutuse teiste liiklejate suhtes.

Soovituslik vaba ruum sõidukite vahel

Tabelis 2.6 on toodud teekasutajate vahelised soovituslikud vaba ruumi mõõtmed erinevates liiklejate vahelistes situatsioonides vastavalt lubatud suurimale kiirusele ning ruumiklassile [26].

Tabel 2.6: Soovituslikud vaba ruumi laiusmõõtmed

Sõiduki tüübid	Lubatud suurim kiirus					
	110 km/h		90km/h		70km/h	
	Ruumiplass					
	A	B	A	B	A	B
	Sõidukite vaheline vaba ruum (m)					
VA - VA	1,50	1,30	1,50	1,30	1,30	1,00
SA - SA**	1,50	1,30	1,30	1,00	1,00	0,70
SA – KL*	1,00	0,90	1,00	0,90	0,80	0,60
VA - KL	1,50	1,30	1,50	1,30	1,30	1,00

VA – raskeveok, SA – sõiduauto, KL - kergliikleja (26, lk16)

* Kergliiklejate alla kuuluvad nii jalgratturid, jalakäijad kui ka ratastoolis liiklejad

** Sõiduautode omavahelist vaba ruumi loetakse võrdseks sõiduauto ja raskeveoki vaheline vaba ruumiga.

Alljärgnevatel tabelitel (tabel 2.7...2.9) on arvatatud erinevate sõidukite omavahelised vaba ruumi laiused punktis 2.4.1 toodud Rootsi MML ja MLV tüüpi ristlõigetel nii 110 km/h, 90 km/h kui ka 70 km/h piirkiirusega lõikudel. Tabelite koostamisel on arvestatud arvutusliku veoauto, sõiduauto ja kergliikleja mõõtmetega erinevates omavahelistes liiklussituatsioonides.

Tabel 2.7: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 110 km/h

Kaks rada					Üks rada	
Mnt. Tüüp (aasta)	VA - VA	SA - SA	SA - KL	VA - KL	SA - KL	VA - KL*
13,0 m					13,0 m	
MLV (04/12)	C (0,7m)	A (1,5m)	C (0,7m)	C (0,3m)	B (0,9m)	C (0,5m)
MML (2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	-	-	-	-
MML (2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	-	-	-	-
14,0m					14,0m	
MLV (2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	C (0,8m)	C (0,5m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MLV (2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	A (1,0m)	C (0,6m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MML(04/12)	C (1,0m)	A (1,7m)	-	-	-	-

Tabel 2.8: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 90 km/h

Kaks rada					Üks rada	
Mnt. Tüüp (aasta)	VA - VA	SA - SA	SA - KL	VA - KL	SA - KL	VA - KL*
13,0 m					13,0 m	
MLV (04/12)	C (0,7m)	A (1,5m)	C (0,7m)	C (0,3m)	B (0,9m)	C (0,5m)
MML (2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	-	-	-	-
MML (2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	-	-	-	-
14,0m					14,0m	
MLV(2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	C (0,8m)	C (0,5m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MLV(2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	A (1,0m)	C (0,6m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MML(04/12)	C (1,0m)	A (1,7m)	-	-	-	-

Tabel 2.9: Erinevate sõidukite omavahelised ruumiklassid vastavalt tee tüübile piirkiirusel 70 km/h

Kaks rada					Üks rada	
Mnt. Tüüp (aasta)	VA - VA	SA - SA	SA - KL	VA - KL	SA - KL	VA - KL*
13,0 m					13,0 m	
MLV (04/12)	C (0,7m)	A (1,5m)	B (0,7m)	C (0,3m)	A (0,9m)	C (0,5m)
MML (2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	-	-	-	-
MML (2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	-	-	-	-
14,0m					14,0m	
MLV(2004)	C (0,7m)	A (1,5m)	A (0,8m)	C (0,5m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MLV(2012)	C (0,8m)	A (1,6m)	A (1,0m)	C (0,6m)	A (1,1m)	C (0,70m)
MML(04/12)	B (1,0m)	A (1,7m)	-	-	-	-

Tulemustest selgub, et 2012. aasta projekteerimisnõuetes esitatud ristlõike muudatustes on parandatud oluliselt vabaruumi laiusi erinevates sõidukite ja kergliiklejate vahelistes situatsioonides. Kuna põhiline muudatus on kaheajalisel sõidusuunal parempoolse sõiduraja laiendamine, on nii 13,0 m kui ka 14,0 m laiustel MML ja MLV tüüpi maanteedel vaba ruumi laiused suurenenud 0,1 m võrra kõikide liiklejate vahelistes olukordades.

Kuna maanteel on tõenäoliselt kõige sagedasemaks olukorraks sõiduautode omavaheline ning sõiduauto ja veoauto vaheline situatsioon, selgub ka ruumiklasside analüüsist, et seda tüüpi olukordadel on nii MML kui ka MLV tüüpi maanteedel tagatud ruumiklass tasemele A, tagades MLV tüüpi maanteedel sõidukite vaheliseks vabaks ruumiks 1,5 m ja MML tüüpi maanteel 1,7 m. Harvemini esineva raskeveokite omavaheline möödumise ruumiklass on tasemel C, kus vaba ruum varieerub nii MML ja MLV tüüpi maanteedel vahemikus 0,7 – 1,0 m.

Kergliiklejatele on kõige soodsamad tingimused tagatud 14,0 m laiusel MLV (2012) tüüpi ristlõike korral, kus nii ühe- kui ka kaheajalisel suunal on sõiduautode ja kergliiklejate vaheline ruumiklass tagatud 110 km/h piirkiirusega lõikudel tasemel A (1,0 m). Kõige kesisemad tingimused on 13,0 m laiusel MLV (04/12) tüüpi maanteel, kus tuleks suure kergliiklejate liiklemise tõenäosuse korral vähendada piirkiirust 70 km/h-ni, mis annab ruumiklassi tasemeks B (0,7 m). Veoauto ja kergliikleja kohtumisel ja möödumisel jäävad ruumiklassid piirkiirusest sõltumata nii ühe- kui ka kaheajalistel lõikudel tasemele C.

Eesti ristlõike vaba ruum

Eesti maanteede projekteerimismisnormide kohaselt peab olema tagatud kõigi arvutuslike autode vaba ja liiklusseadusele vastav liikumine, seetõttu tuleb neil arvestada antud elemendi jaoks suurimat liikumisruumi vajava arvutusliku autoga (23).

Erinevalt Rootsi soovituslikele vabaruumi laiustele, on Eesti maanteede projekteerimismisnormis esitatud vabaruumi laiused rangemad. Tabeli 2.10 on toodud liiklejate vahelised vaba ruumi nõuded vastavalt projektkiirustele (23).

Tabel 2.10: Liiklejate omavahelised vabaruumi laiuse nõuded vastavalt projektkiirusele.

Sõiduki tüübid	Projektkiirus(km/h)		
	120	100	80
	Vaba ruum (m)		
VA-VA	1,55	1,55	0,65
SA- VA	1,85	1,55	0,95
SA-SA	2,10	1,80	1,20
SA -JK/JR	1,50/1,60	1,30/1,40	0,90/1,00
VA-JK/JR	1,25/1,35	1,00/1,20	0,53/0,63

* VA-raskeveok, SA-Sõiduauto, JK-jalakäija, JR- jalgrattur

Tabelis 2.11 on arvutatud liiklejate vahelised vaba ruumi laiused vastavalt punktis 2.3.1 toodud Eesti 2+1 ristlõike parameetritele. Tabeli 2.11 koostamisel on kasutanud Eesti maanteede projekteerimismisnormides antud arvutuslike autode mõõtmeid ning vaba ruumi arvutuses

sõiduvaru ja ohutusriba mõõtmeid. Sõiduki ja kergliikleja vahelises olukorras on kasutatud vastava sõiduki sõiduvaru ja ohutusriba koos kergliikleja sõiduvarega. Arvutused on tehtud kaheajalisel sõidusuunal ning eeldatud, et kõik sõidukid asetsevad oma sõiduraja keskel.

Tabel 2.11: Vaba ruumi laiused Eesti 2+1 ristlõikel

Vaba ruum (m)				
VA-VA	SA - SA	SA - VA	SA- JK/JR	VA-JK/JR
0,83	1,6	1,20	1,1/1,0	0,70/1,0

Tulemustest selgub, et sarnaselt Rootsile on ka Eesti maateede projekteerimismõõtmistega esitatud ristlõikel tagatud piisav vaba ruum sõiduautode omavahelisel möödumisel. Raskeveokite omavaheline vaba ruumi laius on ainult 0.83m, mistõttu tuleks teelõikudel, kus on suur raskeveokite osakaal, kaaluda kaheajalisel sõidusuunal laiemat möödasõidurada. Lisaks tuleks jalakäijate ja jalgratturite liikumise tõenäosuse korral kaaluda piirkiiruse vähendamist 70 km/h-ni.

2.3.3 Möödasõidu lõigud

Möödasõidu lõigu pikkuse valikul tuleb arvestada, et pikem möödasõidulõik tähendab ka pikemat üherajalise suuna pikkust. Kuna pikemad möödasõidulõigud vähendavad kolonnide pikkust ning tõstavad keskmist kiirust, soodustab samal ajal pikk üherajaline lõik kolonnide tekkimist, mille tulemusena väheneb keskmine kiirust. Kõige optimaalseimaks peetakse 1,0 km - 2,0 km pikkuseid möödasõidulõike võimaldades kõige efektiivsemalt vähendada kolonnide pikkusi. Pikemad möödasõidulõigud kui 2,0 km ei pruugi enam oma eesmärki täita. Lisaks tuleks möödasõidulõigu pikkusel arvestada ka liiklussagedust ning raskeveokite osakaalu [47].

Durth (1995) poolt läbiviidud uuringust [47] selgus, et liiklussagedusel kuni 1 000 s/h mõlemas suunas, kus raskeveokite osakaal on 15%, on kõige optimaalseimaks möödasõidulõigu pikkuseks 1 000-1 400 m. Sazgala (2005) käsitles oma uuringutes 600-2 000 m pikkusi möödasõidulõike, kus liiklussagedus varieerus vahemikus 250 – 1 500 s/h. Tulemusena selgus, et sõltumata liiklussagedusest on kõige optimaalseimaks möödasõidulõigu pikkuseks 1 000 – 2 000 m. Liiklusohutuse kohapealt leiab Irzik (2010) [47], et lühemad kui 1 000 m pikkused möödasõidulõigud on seotud suurema liiklusõnnetuste arvuga.

Tabelis 2.12 on toodud erinevate riikide möödasõidulõikude pikkused, mis varieeruvad vahemikus 0,35 km (Taani) kuni 3,0 km (Iirimaa) [58]. Keskmiseks möödasõidulõigu pikkuseks on 1,35 km.

Tabel 2.12: Erinevate riikide möödasõidulõikude pikkused

Riik	Möödasõidulõikude pikkused		
	keskmine (km)	minimaalne (km)	maksimaalne (km)
Ühendkuningriik	0,8 - 1,5	0,6	2
Iirimaa	1,0 - 2,0	0,8	3
Saksamaa	1,0 - 1,4	1	1,4
Soome	1,5	-	-
Rootsi	1,0 - 2,5	1	2,5
Austria (ettepanek)	1,2 - 1,8	1	2
Taani	0,35 - 1,55	-	-
Lõuna - Korea (ettepanek)	1,0 - 1,5	-	-

*pikkused ei sisalda ülemineku kiilude pikkusi.

Rootsi teede ja tänavate projekteerimise nõuannetele (2012:179) peavad möödasõidu lõigud olema vähemalt 1 km ja maksimaalselt 2,5 km pikad. Möödasõidutaskute pikkused sõltuvad keskmisest ööpäevasest liiklussagedusest ning ka vajalikust möödasõitu võimaldavate lõikude pikkuse protsenti kogu teelõigu pikkusest. Tabel kirjeldab optimaalset pikkuste vahemikku eelnevalt kindlaks määratud möödasõidetava osa pikkusele ja liiklussagedusele.

Tabel 2. 13: Rootsi möödasõidulõikude pikkused

Osa (%)	AKÖL (a/ööp)	Möödasõidulõikude pikkus (m)
15	≤10 000	1 200
20	≤10 000	1 200
30	≤10 000	2 000
30	≤15 000	2 000
40	≤15 000	2 000

*Osa (%) – möödasõitu võimaldavate lõikude pikkus kogu uuritava teelõigu pikkusest

2.3.4 Möödasõidu taskud

Möödasõidutaskuks (*passing lane*) nimetatakse parempoolset lisarada, võimaldamaks aeglasematel sõidukitel eralduda põhiliiklusest, mille eeliseks on parandada üldist liiklusolukorda kaheajalistel maanteedel, tõstmaks keskmist kiirust ning vähendada kolonnide pikkusi.

AASHTO¹ kohaselt on minimaalseks möödasõidutasku pikkuseks 300 m (va kiilud), võimaldamaks kolonnis liikuvatel sõidukitel vähemalt ühe möödasõidu sooritada. Kõige optimaalsemaks möödasõidu tasku pikkuseks on 0,8 kuni 3,5 km (AASHTO). Enberg ja Pursula (1997) [54] koostatud simulatsiooni tulemusena on liiklusvoo 500 sa/h korral optimaalseimaks möödasõidu lõigu pikkuseks 1,0 km, 1 000 sa/h korral 1,5 km ja 2 000 sa/h korral 2,0 km.

Optimaalseima möödasõidutasku pikkus sõltub lisaks ka tasuvusanalüüsist, mille üheks kriteeriumiks on teekasutaja ajakokkukuhoid [37]. Hartwood on välja töötanud TWOPAS simulatsiooni põhjal optimaalseimad möödasõiduradade pikkused. Allolevas tabelis 2.14 on kajastatud aja kokkuhoiu protsent vastavalt möödasõiduraja pikkusele 8 km pikkusel lõigul.

Tabel 2.14: Aja kokkuhoiu protsent erinevate möödasõidutaskute pikkuste ja liiklussageduse korral

Liiklussagedus ühel sõidusuunal (sa/h)	Möödasõidutasku pikkus (km)					
	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2
	Aja kokkuhoiu protsent (%)					
100	2,8	8,2	8,1	8,1	6,8	6,2
200	11,1	13,1	14	11,7	10,6	9,5
400	2,8	8,2	13,1	9,0	8,1	9,5
700	2,8	8,2	8,1	9,0	8,7	9

*Möödasõidutaskute pikkused sisaldavad 50 m pikkuseid kiile alguses ja lõpus.

Põhinedes tabelis 2.14 toodud väärtustele osutub ajalisel kokkuhoiul kõige optimaalseimaks möödasõidutaskute pikkusteks tabelis 2.15 kajastatud väärtused.

Tabel 2.15: Optimaalseim möödasõidutasku pikkus vastavalt liiklussagedusele

Liiklussagedus ühel suunal (sa/h)	Möödasõidutasku pikkus (km)
100	0,8
200	0,8 - 1,2
400	1,2 - 1,6
700	1,6 - 3,2

¹ AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

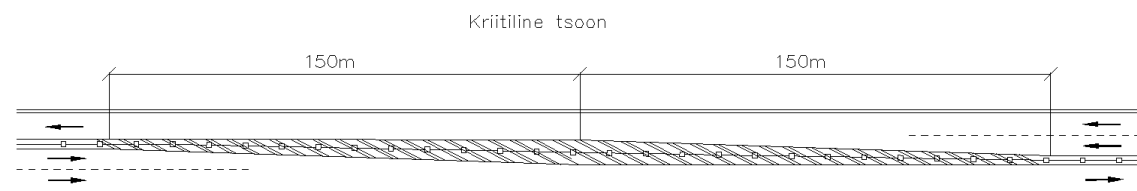
Tulemustest selgub, et madalama liiklussageduse kui 200 sa/h korral on kõige optimaalseimaks möödasisõidutasku pikkuseks 0,8-1,2 km. Liiklussageduse kasvades suureneb ka vajaliku möödasisõidu tasku pikkus. 400 sa/h korral 1,2-1,6 km ja väga suure sageduse korral 700 sa/h korral on vajalik möödasisõidutasku pikkus 1,6-3,2 km.

2.3.5 Üleminekutsoonid

Üleminekud peaksid toimuima ristmike piirkondades. Üleminekud, mis jäävad ristmike vahelisele lõigule, tuleb planeerida selliselt, et kogu üleminek oleks juhile selgesti nähtav ja tajutav, mistõttu tuleks vältida üleminekute sattumist kurvidesse ning väikese raadiusega vertikaalkõverikele (AASHTO). Kriitilise tsoonil peab olema nähtavus tagatud vähemalt 1,5 kordsele peatumisnähtavusele [24].

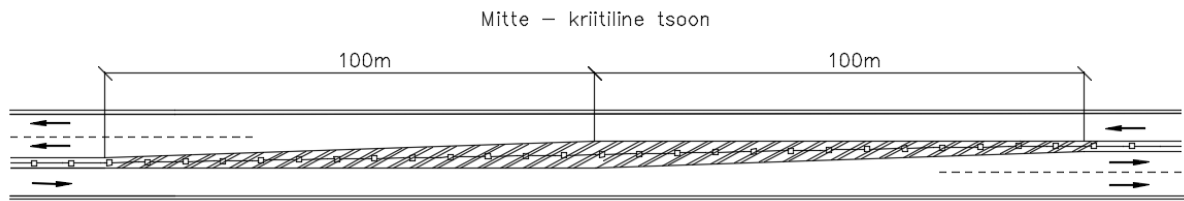
Üleminekutsoone, kus sõidukid liiguvad üksteise suunas, nimetatakse kriitiliselt tsooniks ning vastasel juhul mitte kriitiliseks tsooniks. Üleminekutel tuleb kiilud projekteerida piisavalt pikalt, et tagada ohutu ja efektiivne ümberreastumine. Kiilu pikkusi saab arvutada MUTCD¹ valemiga, kus kriitilise tsooni kiilu pikkus on arvutatud valemiga $L=WS/1,6$ (L =kiilu pikkus (m), W =sõiduraja laius (m), S =kiirus (km/h)) ja mitte kriitilise tsoonil $L=WS/2,7$ (AASHTO). Seega peaks näiteks 90 km/h ja 3,5 m laiuse tee korral olema kriitilise tsooni kiilu pikkus ~200 m ja mittekriitilises tsoonis ~120 m.

Vastavalt Rootsis 2012. aastal kehtestatud teede projekteerimis nõuetele peab kriitilise tsooni pikkus olema vähemalt 300 meetrit (joonis 2.13), mis koosneb mõlemas suunas olevast 150 m pikkusest kiilust ja mittekriitilise üleminekutsooni pikkus vähemalt 200m, mis koosneb kahest 100 m pikkusest kiilust (joonis 2.14). Kriitilisel tsoonil on soovitatav kasutada ka kahe kiilu vahelist vähemalt 100 m pikkust paralleelosa [25].



Joonis 2.13: Kriitilise üleminekutsooni põhimõtteline joonis

¹ MUTCD – Manual on Uniform Traffic Control Device

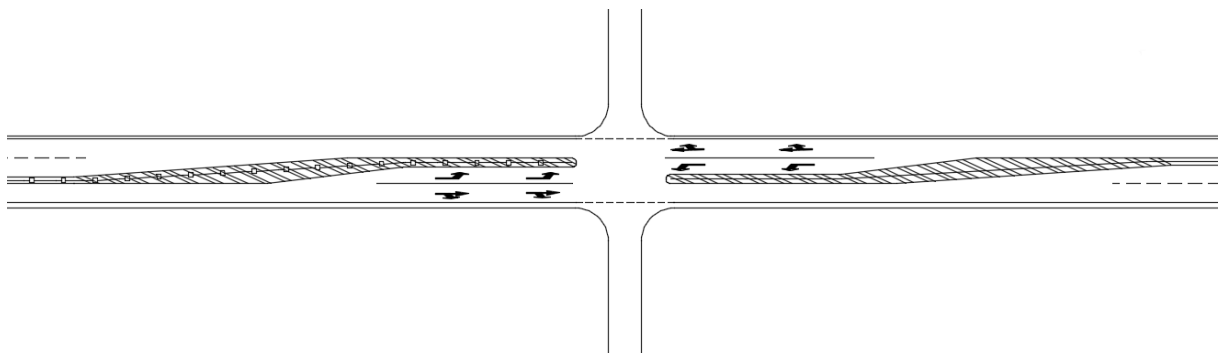


Joonis 2.14: Mitte kriitilise üleminekutsooni põhimõtteline joonis

2.3.6 Ristmikud

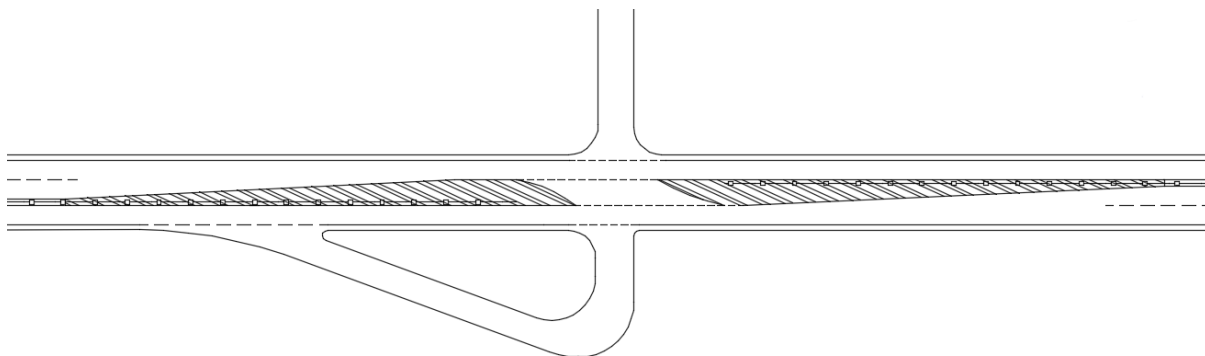
2+1 ristlõikega maantee kavandamisel tuleks lähtuda suurematest ristmikest, mida ühendavad möödasõidu võimalusi pakkuvad lõigud. Ristmikutel, kus ristuva tee keskmine liiklussagedus on madalam kui 100 sa/ööp, tuleks vältida vasakpöörde võimalust ja piirde katkestust. Suuremate ristmike puhul tuleks kaaluda piirkiiruse vähendamist 50-70 km/h –ni.

Ristmike soovituslik asukoht on mitte-kriitiline tsoon, mille eeliseks on ohutus, kuna liiklus on suunatud ristmikust eemale. Samuti on ristmikud vähesema ruumivajadusega, võimaldades vasakpöörderaja kavandamist ilma ristlõiget laiendamata joonis. Olemaslevate teede ümberehitamisel 2+1 ristlõikega teedeks tuleks ristmikud kujundada nii, et mõlema suuna põhiraja suund on muutumatu ning on selgesti eristatav vasakpöörde rajast, vältimaks tagant otsasõidu võimalust. Joonis 2.15 näitab põhimõttelist vasakpöörde lahendust neljajarulisel ristmikul.



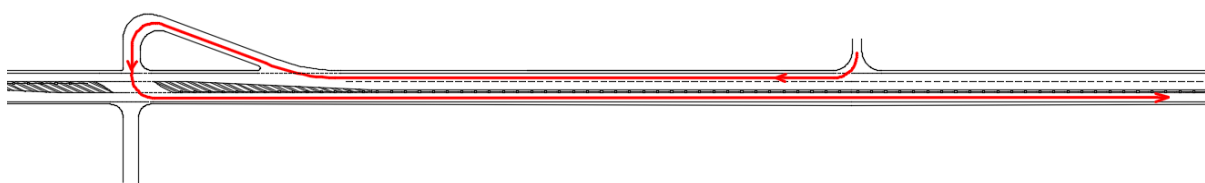
Joonis 2.15: Vasakpöörde sooritamine lisaraja abil

Võimaluse korral tuleks kaaluda vasak-ja tagasipöörde sooritamiseks silmust, mis on parempoolne põhiliiklusest eraldatud ehitus, mille eeliseks on sõidukite eraldamine põhiliiklusest ning risti asetsemine põhiteega. Lahendus sobib juhtudel, kui pöörded ei ületa 100 sõiduautot ööpäevas [35]. Silmust võib ühendada ka ristuva sõiduteega, võimaldamaks parempöört sooritada põhiliiklusest eraldatuna.



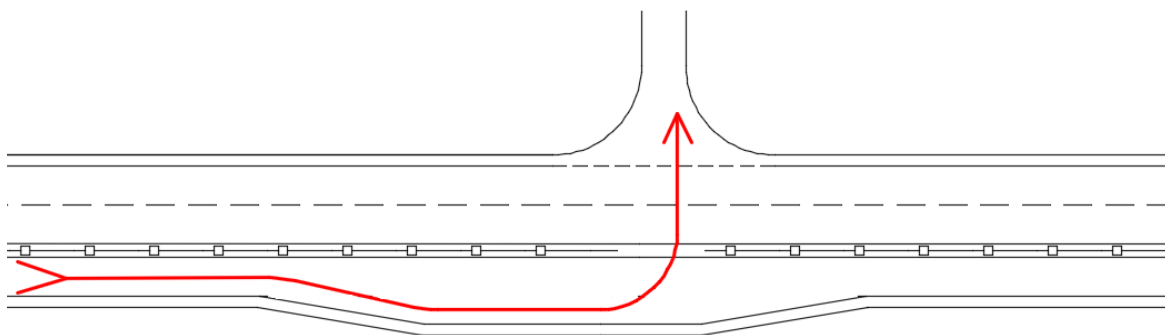
Joonis 2.16: Põhiliiklusest eraldatud vasak- ja tagasipöörde sooritamine läbi silmuse

Vältimaks vasakpöördeid kõrvalteedelt ja mahasõitudel tuleks enamus väiksemaid mahasõite ja ristumisi planeerida ainult parempöördega, tagades tagasipöörde võimaluse läbi silmuse nagu näidatud joonisel 2.17. Arvestada tuleb, et teekond sihtkohta ei pikeneks rohkem kui 3,0 km [25].



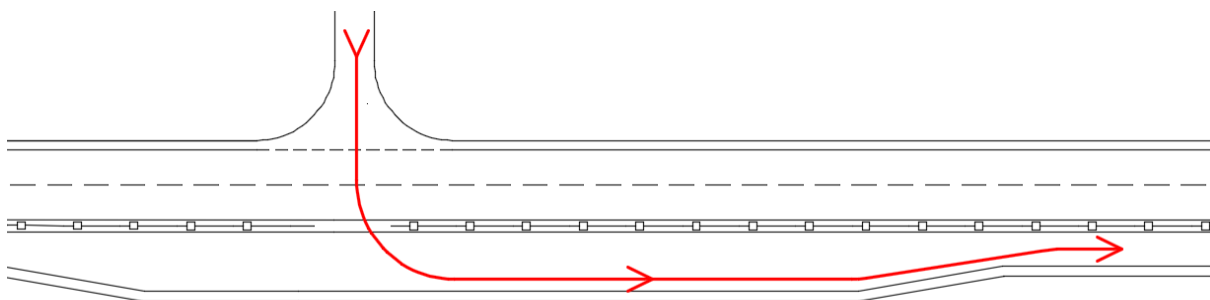
Joonis 2. 17: Vasakpöörde sooritamine ilma keskpiirde katkestuseta.

Teatud juhtudel võib vasakpöörde sooritamiseks aktsepteerida keskpiirde katkestust tee keskel koos parempoolse ootetaskuga, mille laius peab olema vähemalt 2,5 m (joonis 2.18). Keskpiirde katkestuse kui ka ootetasku pikkuse peab valima vastavalt sõiduki tüübi vajadusele. Ootetaskuga vasakpöõret on soovitatav kasutada koos bussipeatusega. Taolise keskpiirde katkestusega vasakpöördeid ei ole tarvilik tähistada liikluskorraldusvahenditega.



Joonis 2.18: Põhiteelt vasakpöörde sooritamine

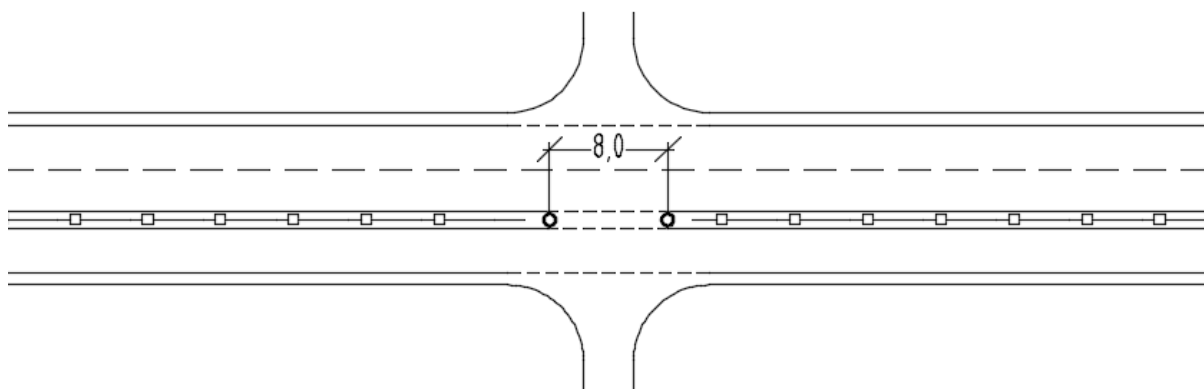
Taolise piirdekatkestuse korral tuleb arvestada, et tõenäoliselt kasutatakse piirdekatkestust ka kõrvalteelt vasakpöörde sooritamiseks põhiteele, mistõttu on Rootsis kasutusel ka parempoolne kiirendusrada nagu näidatud joonisel 2.19.



Joonis 2.19: Vasakpöörde sooritamine mahasõidult

Põhinedes punktis 1.3.1 toodud uuringule, et vasakpöörde võimaldamine piirdekatkestuse korral oli seotud koguni 270% liiklusõnnetuste kasvuga, tuleks vasakpöörde sooritamist põhiteelt ja mahasõidult piirata ning suunata liiklus selleks ettenähtud kohtadesse nagu näidatud joonisel 2.17.

Teatud juhtudel on otstarbekas teha keskpäärde katkestus põllutöömashinate ülesõiduks (joonis 2.20). Keskpäärde katkestuse pikkus tuleb teha vastavalt sõiduki vajadusele ning ei tähistata liikluskorraldusvahenditega.



Joonis 2.20: Põllutöömasinate ülesõidu põhimõtteline joonis

2.4 Keskpiirded 2+1 teedel

Keskpiirde paigaldatakse sõidusuundasi eraldavale eraldusribale, mille eesmärgiks on vältida sõidukite kaldumist vastassuunda. Keskpiiret tuleks kasutada lõikudel, kus on läbi ajaloo toimunud tavaliselt rohkem liiklusõnnetusi vastassuunas liikuvate sõidukitega. Keskpiire väldib küll tõsiste tagajärgedega toimuvaid liiklusõnnetusi, kuid kergemad õnnetused üldiselt kasvavad. Keskpiirde maksimaalne läbipaine ei tohiks ulatuda vastassuuna sõidurajale ning peab suunama piirdesse sõitnud sõiduki tagasi tee peale (AASHTO).

Trosspiire

Trosspiire on n-ö elastne piire, kus kokkupõrke tagajärjel trossi tugipostid purunevad, mis võimaldab trossil venida piisavalt, et sõiduki massist ja kiirusest tulenev kineetiline energia jõuaks neelduda vältimaks tõsiseid inimvigastusi ja varalist kahju. Trosspiire koosneb kolmest või neljast terastrossist, mis on kinnitatud H-kujulisele posti külge. Postid on tavaliselt pinnasesse kas betoneeritud või süvistatud. Teine viis on paigaldada asfaltkatesse betoonist või metallist pesa, mille abil on purunenud trosspiirde postide vahetamine kiirem ning soodsam. Trosspiirde töölaius sõltub postide vahekaugusest, mis on enamasti 2,5 – 3,0 m, kus töölaius jääb vahemiku 1.3 (W4) – 1,7 m (W5) [58].

Trosspiirde eeliseks on odav paigaldus, mis on erinevatel andmetel 26-45 €/m. Ameerika ühendriikide kogemuste põhjal kulub aastas trosspiirde hooldamisele keskmiselt 1 600 \$/km

ning hoolduseks kuluv aeg ligikaudu 30% vähem kui tavalisel W-ristlõikega piirdel [42]. Trosspiirde on ka ohutum, võrreldes mitte elastse betoonpiirdega, kuna oma elastsuse tõttu neeldub enamus sõiduki kineetilise energiast. Siiski liialt laia töölaiuse korral võib toimuda konflikt vastassuunas liikuvate sõidukitega. Ligikaudu 94% trosspiirdega kokkupõrke tagajärjel toimunud liiklusõnnetused on lõppenud ainult varalise kahjuga, kus enamus sõidukeid on pärast kokkupõrget võimelised edasi sõitma [41]. Trosspiirde eeliseks on ka vähene nähtavuse piiratus, mis võib kõrvalteelt põhiteele vasakpöõret sooritades takistavaks faktoriks olla. Võrreldes betoonpiirdega tuleb nii trosspiiret kui ka teisi metallpiirdeid kokkupõrke tagajärjel taastada. Lõpuks tuleb trosspiiret periooditi pingestada ja kontrollida vastavust nõuetele. Erinevate skeptikute hinnangul avaldab trosspiire suuremat ohtu mootorratturitele, kuid Rootsi kogemuste põhjal ei pea need eeldused paika (vt punkt.2.1.3).

Trosspiirde valikul tuleb silmas pidada ka tee geomeetria tulenevaid eripärasusi, kuna plaanikõverikul oleva pingestatud trosspiirde töölaius on sõltuv kurvi pöördenukust. Pingestatud trossil tekib plaanikõveriku raadiusest ja oma elastsusest tingitud horisontaalne jõu komponent mis on raadiuse tsentri (sisekurvi) suunaline. Sellest lähtuvalt osutub see probleemiks, kui keskipiirdega kokkupõrge toimub väliskurvis, mille tulemusena on sõiduki kineetilise energiast tulenev jõud ja eelpoolmainitud jõud samasuunalised. Alberson koostatud arvutuste korral võib töölaiuse erinevus 4 ° pöördenuka korral olla kuni kahekordne võrreldes sirge teelõiguga[66]. Lahendusena tuleks teostada sagedasemalt trosspiirde ankurdust või kaaluda alternatiivseid keskipiirde tüüpe.

Rootsis on 2+1 ristlõikega maanteedel kasutusel CEN N2 trosspiire, mis koosneb 3-4 trossist kahe sõidusuuna vahel. Vastavalt Rootsi teede ja tänavate projekteerimisnõuetele peab trosspiirde klass vastama SS-EN-1317 kokkupõrke testile ning kitsama kui 1,5 m laiuse eraldusriba korral peab piirde tüüp vastama klassile N2W4. Suurema võimsusklassiga piirete puhul on lubatav suurem töölaius, näiteks H1W5. Suurema kui 1,5 m laiuse eraldusriba korral peab sõidusuundasi eraldava piirde klass olema vähemalt N2W5, suurema võimsusklassiga põrkepiirete puhul on lubatav suurem töölaius, näiteks H1W6 [25].

Betoonpiire

Suure liiklussagedusega teedel on betoonpiirdel mõningaid eeliseid trosspiirde ees. Kuna kokkupõrked toimuvad enamasti väikese nurga all, suunab betoonpiire oma jäikuse tõttu sõiduki tagasi teepeale avaldamata vastassuunale mingit mõju. Samuti ei vaja betoonpiirded oma elutsükli jooksul märkimisväärseid remondi- ja hooldustöid. Betoonpiire sobib hästi lõikudele, kus on mitmeid eritasandilisi ristmike ning ruumi puuduse tõttu pole võimalik tagada piisavalt laia eraldusriba sõidusuundade vahel. Betoonpiirde projekteerimisel tuleb tähelepanu pöörata minimaalsele piirde kõrgusele, mis oleks madalam kui kõige ebasobivamat tüüpi sõiduki raskuskese, vältimaks kokkupõrke korral üle piirde paiskumist.

Betoonpiire on liiklusõnnetuse korral oma jäikuse tõttu liiklejale ohtlikumad, kuna erinevalt trosspiirdest ei anna betoonpiire järele, mis võimaldaks kineetilisel energial neelduda. Samuti on betoonpiirde paigaldamine kallim ning võimalike hooldustööde korral on liiklus tugevalt häiritud. Betoonpiiret ei ole soovitatav kasutada ristmike piirkonnas, kuna nähtavus on piiratud, samuti tuisuhtlikel teelõikudek. Sirgetel lõikudel aitab betoonpiire mõningal määral ka vastutulevate sõidukite poolt pimestamise vastu.

Avatud karppiire

Avatud karppiire on ruudu-kujulise ristlõikega metalltoru, keskmiselt 15 cm lai ja valmistatud 4,75-5,0 mm paksust terasest. Avatud karppiire on tavaliselt jäigem kui W-ristlõikega pörkepiirded. Karppiirde eelisteks on väiksem ruumivajadus kui W ristlõikega ja betoonpiirdel. Karppiirde põhiliseks miinuseks võib pidada nähtavuse piiratust, mis võib keskkiirde puhul määratavaks saada. Üheltpoolt karppiire küll varjab vastutulevate sõidukite tulesid, kuid vasakpöörde või tee ületuse korral piirab nähtavust paremalt poolt tulevale liiklusele. Seda eriti juhtudel, kui ristmik peaks asetsema vertikaalkumeriku peal või kui ristuv tee või mahasõit on liialt järsu kaldega [59]

Soovitused keskkiirdele

- piire ei tohi takistada sademevee äravoolu, eriti asulates;
- keskkiire tuleks piiratud kandevõimega sildadel ja viaduktidel kavandada selliselt, et neid oleks võimalik ajutiselt koos tugipostidega eemaldada, eesmärgiga tagada ülekaalulistel sõidukitel silla ületamine mööda tee telge;
- tuleks vältida piirdeid, mis kokkupõrke korral võivad sõiduki kütusepaaki kahjustada;

- katkestused iga 3-5 km tagant, tagamaks hädaabisõidukitele tagasipööramise võimalused;
- keskkiire peab olema avatav igas punktis või teatud regulaarsete vahemade tagant, mis on kohandatud muuhulgas tee hoolduse vajaduste järgi (25);
- üleminekutsoonides on soovitatav tähistada keskkiire helkurpostidega 10,0 m vahemaa tagant;
- kasutada rihveldust koos eraldusriba teekattemärgistusega.

2.4.1 Piirete tehnilised parameetrid

Ohjeldamise tase

Piirde võimsusklassi valikul tuleks lähtuda raskeveokite osakaalust kogu liiklusest, kus suurema raskeveokite liiklussageduse tõttu tuleks kaaluda H1 võimsusklassi, mille vastuvõtu katsetes on arvestatud raskeveoki ja piirde kokkupõrkega. Võimsusklassid on määratud vastuvõtukatsetega [45] (tabel 2,16, tabel 2,17), mida kirjeldatud piire peab taluma. Iga uut süsteemi testitakse vähemalt kaks korda – ühel juhul tavalise sõiduga, et määrata löögi tugevust ja mõju sõiduga juhile ning teisel korral raskeveokiga, et määrata maksimaalne löögienergia, mida testitav piirdesüsteem vastu suudab vastu võtta [44].

Tabel 2.16: Võimsusklassi N2 vastuvõtukatsed (SS-EN 1317-2)

Katse	Kokkupõrke kiirus (km/h)	Kokkupõrke nurk	Kogumass (kg)	Sõiduki tüüp
TB11	100	20	900	sõiduga
TB32	110	20	1500	sõiduga

Sõiduki kokkupõrkekatse kirjeldused (SS-EN 1317-2)

Tabel 2.17: Võimsusklassi H1 vastuvõtukatsed (SS-EN 1317-2)

Katse	Kokkupõrke kiirus (km/h)	Kokkupõrke nurk	Kogumass (kg)	Sõiduki tüüp
TB11	100	20	900	sõiduga
TB42	70	15	10000	raskeveok

Põrkepiirde avatav osa pikkusega üle 40 m peab omama võimsusklassi, mis on maksimaalselt ühe klassi võrra madalam kui avatava osaga seotud põrkepiirde võimsusklass, kuid minimaalselt N1, eeldusel, et töölaiause klass on põrkepiiretel sama [25].

Põrkepiirde töölaius

Põrkepiirde töölaius W näitab piirde maksimaalset läbipainet, mille väärtused on esitatud alljärgnevas tabelis.

Tabel 2.18: Piirde klassile vastavad töölaiused

Klass	Töölaius (m)
W4	<1,3
W5	<1,7
W6	<2,1

2.4.2 Ristlõikele sobiv piirde töölaius

Tabelis 2.19 on arvatud vajalikud piirde töölaiused vastavalt Rootsi ja Eesti maanteede projekteerimismäärustes esitatud ristlõigetele. Kuna kaheajalise sõidusuuna sisemise kindlustatud teepeenra laius on kõikidel uuritavatel ristlõigetel kitsam, on tabeli 2.19 koostamisel määratud sobivad piirde töölaiused lähtudes möödasisidurajal liikuva sõiduki ohutusest, kus L on möödasisidurajal liikuva raskeveoki (2,55 m) ja keskipiirde vaheline kaugus.

Tabel 2.19: Keskipiirde töölaiusklassid vastavalt ristlõike tüübile.

Ristlõike tüüp	L (m)	Sobiv piirde töölaius
13,0 m		
MLV (2004/2012)	1,38	W3
MML (2004)	1,7	W5
MML (2012)	1,5	W4
14,0 m		
MLV (2004)	1,7	W5
MLV (2012)	1,5	W4
MML (2004/2012)	1,7	W5
Eesti 2+1	1,5	W4

2.4.3 Erinevate keskipiirete elutsükli maksumused

Ühendkuningriigi maanteeameti poolt on 2007. aastal läbiviidud erinevate mitmerealiste maanteede keskipiirete elutsükli tasuvusanalüüs [43]. Keskipiirde elutsükli maksumuse kujundamisel on arvesse võetud järgnevaid aspekte:

- piirete paigaldamise maksumus;
- rtuuiinsed kui ka liiklusõnnetusejärgsed hooldus- ja remonditööd;
- liiklusõnnetuste maksumust ning liikluskorraldusega seonduvad kulud;

- liikluse piiramisest tulenevat ajakulu;
- lisaks on metallpiiretel arvestatud ka piirete väljavahetamist 25 aasta tagant ning sellega seonduvaid lisakulutusi.

Uuringus on käsitletud üheksat tüüpi piirdeid, millest on välja toodud kuus:

- WRSF – trosspiire, postide vahe 2,4 m;
- D/S TCB – kahepoolne W-ristlõikega pörkepiire, postide vahe 3,2 m;
- D/S OBB – kahepoolne avatud karpipiire, postide vahe 2,4 m;
- VCP - monoliitne betoonpiire;
- HVCB – monoliitne kõrge betoonpiire;
- „Dutch Step“ piire – betoonpiire.

Tabelis 2.20 on toodud eelnevalt loetletud piirete 1 km pikkuse lõigu elutsükli (50 aastat) maksumus juhul, kui pole toimunud kokkupõrkeid piirdega. Võrdluses on kolme tüüpi metallpiirdeid ning kolme tüüpi betoonpiirdeid. Maksumuse arvutamisel on arvestatud metallpiirete väljavahetamist 25 aasta tagant, ehk hind sisaldab kahekordset paigaldamise ning eemaldamisega seotud kulusid.

Tabel 2. 20: Ühe kilomeetri pikkuse piirde elutsükli maksumus.

Piirde tüüp	Maksumus (€)
WRSF	305 232
D/S TCB	289 844
D/S OBB	304 567
VCB	265 708
HVCB	423 239
"Dutch Step" piire	244 768

*hinnad on konverteeritud eurodesse 2007. aasta £/€ kursiga.

Tulemustest selgub, et kõige kallimaks osutub kõrge betoonpiire (HVCP), kuid nii „dutch step“ kui ka monoliitse betoonpiirde (VCP) elutsükli maksumus on odavam kui metallpiiretel. Põhjuseks on metallpiirete kahekordne paigaldus ja eemaldamine ning liikluskorraldusest ja liikluse takistamisest tulenev kulu. Siiski võib järeldada, et 25 aasta peale on metallpiire soodsam lahendus kui betoonpiire. Tuleb arvesse võtta, et hinnad ei võta arvesse betoonpiirde asukoha muudatust, mis võib tuleneda liiklussageduse kasvust ning tee klassi muutusest, sel juhul kujuneks betoonpiire kallimaks.

Metallpiiretest osutub kõige soodsamaks kahepoolne W-ristlõikega piire (D/S TCB), mis on 50 aasta peale ligikaudu 10 000 eurot soodsam kui trosspiire (WRSF) või avatud karppiire (D/S OBB). Avatud karppiirde ja trosspiirde maksumuse erinevus jääb alla 0,2%.

Tabelis 2.21 on toodud eelpool nimetatud piiretega seonduvad hooldustööde keskmised ajakulud ning maksumused sõiduki ja keskkiirde kokkupõrke korral [43].

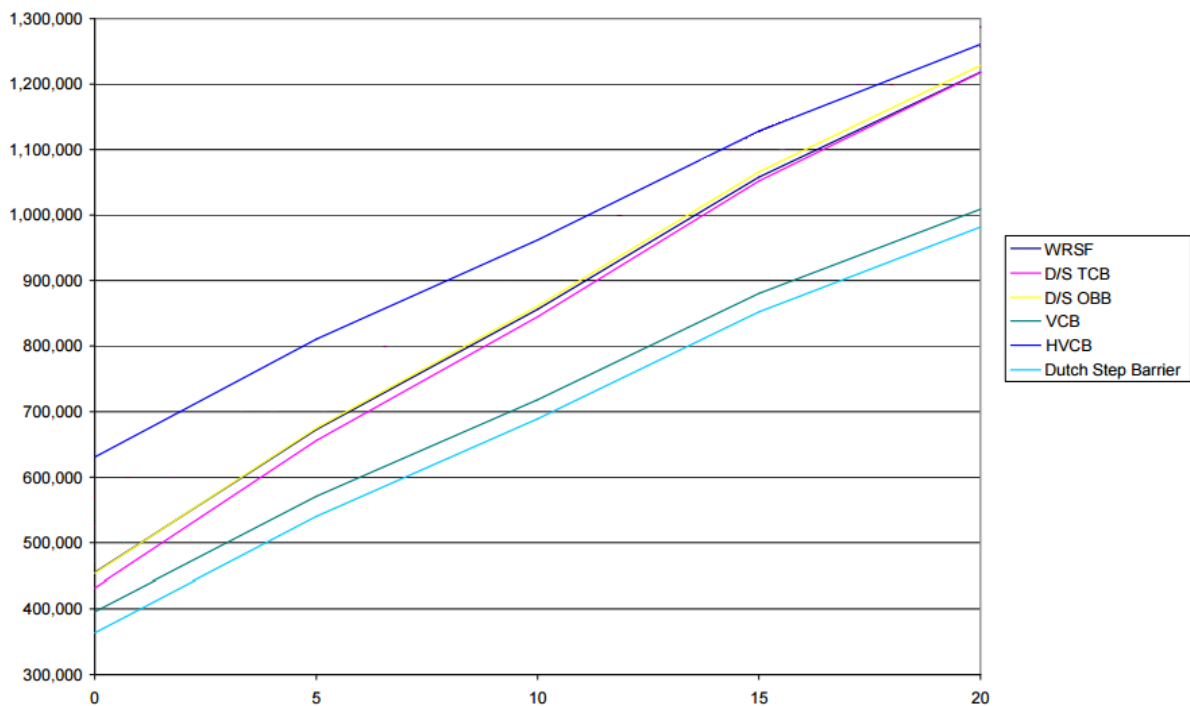
Tabel 2.21: Piirde hooldetöödest tulenev ajakulu ning maksumus.

Piirde tüüp	Keskmine ajakulu (h)	Vahetatavate osade maksumus
WRSF	0,4669	148
D/S TCB	3,5347	827
D/S OBB	3,3439	795
VCB	0,0184	278
HVCB	0,0274	1 545
"Dutch Step" piire	0,0184	278

Sõiduki ja piirde kokkupõrke osutuvad kõige aeganõudvamateks kahepoolse W-ristlõikega piirde (WRSF) ning avatud karppiirde (D/S TCB) hooldustööd, mille keskmine ajakulu on 3,5 h ning välja vahetatavate osade keskmine hind 800 €. Trosspiirde parandamiseks kulub metallpiiretest kõige vähem aega ning koguni 8,5 korda vähem kui W-ristlõikega ja karppiirdel. Samuti on väljavahetatavate osade maksumus mitmeid kordi odavam.

Uuringu perioodil pole ükski betoonpiire sõiduki ja betoonpiirde kokkupõrke tagajärjel vajanud hooldust, mistõttu on vaja hooldustöid teha kogu elutsükli peale üsna harva.

Joonisel 2.21 on näidatud kuue erineva keskkiirde elutsükli maksumus (£) esimesel 20 aastal, mis on kõige madalam monoliitsel (VCB) ja „dutch step“ betoonpiirdel [43]. Põhjuseks on vähese rutiinse hoolduse vajadus ning pikem eluiga võrreldes metallpiiretega. Samuti on üheks mõjuvaks faktoriks betoonpiirde jäikus, mis põhjustab küll rohkem tõsiseid ja surmaga lõppevaid liiklusõnnetusi, kuid piirab sõiduki sattumist vastassuuna võõndisse. Metallpiirete elutsükli maksumus on 20 aasta peale üldiselt sama, olles kahepoolse W-ristlõikega piirdel madalam esimese 10 aasta jooksul.



Joonis 2.21: Piirete maksumus kahekümne aastasel perioodil.

Kokkuvõtvalt tuleks keskpäärde valikul lähtuda nii tee geomeetriast kui ka keskeraldussaare laiusest. Ristmike piirdkonnas tuleks vältida nähtavust piiravaid piirdeid, eriti juhul, kui ristmik asub kumera vertikaalkõveriku peal. Plaanikõverikel tuleks seevastu vältida trosspiiret, tuleks vältida nähtavust piiravaid be

2.5 Teekasutajate rahulolu 2+1 teede osas

Järgnev teekasutajate rahulolu kokkuvõte on koostatud tuginedes 2+1 „Roads with Cable Barriers--A Swedish Success Story“ [60] ning Johanna Abrahamssoni ja Cecilia Olssoni ühisele uurimustööle „Brukaraspekter på mötesfriavägar“ (*Keskpiirdega maanteed üldised aspektid*) [61].

1998. aasta juunis avati esimene 2+1 maantee E4 Rootsi lõunaosas. Sama aasta sügisel viidi läbi küsitlus teekasutajate rahulolu uuringuks. Küsitluse tulemusena selgus, et enamus sõidukijuhte eelistasid teekattemärgistusega 2+1 lahendus tavalisele kahe rajalisele teele. Vähem kui 1% küsitlenutest pidasid keskpäärdega 2+1 ristlõiget paremaks lahenduseks.

Aasta aja pärast 1999. aasta sügisel viidi läbi sarnane küsitlus. Tulemused olid märgatavalt paremad. Keskpäärdega 2+1 lahenduse pooldajaid oli 40%. 30% kasutajatest pidas endiselt teekattemärgistusega lahendust paremaks. Keskpäärde vastaseid oli kõige rohkem kohalike seas, kelle teekond sihtpunkti pikenes vasakpöörde keelu tõttu.

2005 aastal viidi sarnane küsitlus läbi E23 maantee 2+1 lõigu äärsete krundiomanike ning teekasutajate vahel, mille käigus uuriti positiivseid ja negatiivseid aspekte 13,0 m laiuse E23 ümberehitamisest keskpäärdega 2+1 maanteeks.

62% vastanutes pidas 2+1 lahendust paremaks, võrreldes varasema 13,0 m laiuse maanteega, tuues välja reguleeritud ja turvalisemad möödasõidud. 81% vastanutest leidis, et üldine turvalisus on paranenud. 26% vastanutest leiab et olukord on halvenenud. Suurimaks probleemiks on keskpäärde tõttu takistatud vasakpöörde, mille tõttu pikenes mõningatel krundiomanikel teekond. Siiski leiti et teekonna pikenemine kuni 2 km on vastuvõetav. Kuna paljud teeäärased elanikud liiguvad igapäevaselt jala või jalgrattaga, leiti et kitsaste kindlustatud peenarde tõttu on turvalisus märgatavalt vähenenud (8%). 2+1 teel liiklemist peetakse üldiselt rahulikumaks ja stressivabamaks, mis on tingitud reguleeritud möödasõitudest ja füüsilisest piirdest kahe sõidusuuna vahel. 9 % raskeveoki juhtidest pidas uut lahendust halvemaks. Nii üherajaliste kui ka kaheajaliste lõikude pikkusi peetakse piisavaks. Siiski 25% vastanutest leiab et nii üherajalise sõidusuuna, kui ka möödasõidutasku sõidurada on liiga kitsas. Vanemad sõidukijuhid pooldavad rohkem 13 m laiust kaheajalis ristlõiget, kuna hämaruses ja vihma käes on keskpääre raskesti eristatav. Krundiomanikud, kelle mahasõidule oli ettenähtud keskpäärde katkestus, kasutasid seda sagedasti vasakpöörde sooritamiseks, kuid probleemiks peeti piirde tõttu nähtavuse piiratust. Sama probleem esines ka ristumise ja silmuse abil vasakpöörde korral.

Üherajalistel suundadel on suurimaks probleemiks aeglasemad sõidukid, kellest möödumine on kitsaste olude tõttu tihtipeale võimatu. Samuti tunnevad põllutöömashinade, aeglasemate sõidukite ja raskeveokite juhid tihtipeale stressi ja survestatust kuna puudub võimalus kiiremate ja operatiivsõidukite mööda laskmiseks. Välja toodi ka vähesed hädapeatumistaskud, mis võimaldaks aeglasematel sõidukitel põhiliiklusest kõrvale tõmmata või hädapeatumise korral peatuda. Lahenduseks oleks sagedasemad puhketaskud, laiemad teepeenrad või paralleelsed kruusateed aeglasemate sõidukite jaoks.

Kaheajalisel sõidurajal toodi suurimaks miinuseks möödasõiduraja ebapiisav laius, mille tõttu tundsid osad liiklejad tihti raskeveokist möödasõidu korral klaustrofoobiat ning ohtu piirdega kokku puutuda. Raskeveokijuhid väldivad talvistel oludel möödasõidu sooritamist ebapiisava tehhoolduse tõttu.

Operatiivsõidukite eelistati üldiselt seas tavalist 13,0 m ja 9,0 m laiust maanteed 2+1 lahendusele, kuna 2+1 lahenduse tõttu peetakse õnnetuspaigale jõudmist keerulisemaks ja

teekonda pikemaks võrreldes tavalise 13,0 m ja 9,0 m laiuse maanteega, mille tõttu pikeneb teekond õnnetuspaigale keskmiselt 5-6 km. Õnnetuse korral, mis on toimunud üherajalisel lõigul, on tihtipeale kogu liiklus ühel suunal blokeeritud. Samuti ka ligipääs õnnetuspaigale, kuna sõidukid peatuvad üksteise järel keset sõidurada, mistõttu on olnud olukordi, kus meedikud on pidanud jala õnnetuspaigale minema või peatuma vastassuunas ning keskpäirde katki lõikama.

Politseinike arvates on raskenenud liiklusjärelvalve. Üherajalisel sõidusuunal puudub võimalus sõidukite kinni pidamiseks. Samuti takistab keskpäire vastassuunas liikuvate sõidukite peatamist ja hädaabi kutsungi korral aeglasematest sõidukitest möödumist.

Operatiivsõidukijuhtide ettepanekud:

- eelistada keskpäirdega 2+2 lahendust 2+1-le;
- alternatiivne rada aeglasemate sõidukite ja operatiivsõidukite jaoks;
- sagedasemad hädaabipeatumis taskud;
- laiendada üherajalist sõidurada;
- sagedamat viitamist ümberpööramis kohtadele;
- kasutada teist tüüpi piiret, et hädaabiõotajad ei vajaks lisaseadmeid;
- koolitada autojuhte liiklusõnnetuste järgsel käitumisel;
- koolitada hädaabi töötajaid.

3 2+1 maanteede potentsiaal Eestis maanteedel

Vastavalt Eesti maanteede projekteerimismormidele (05.05.2015. a määrus nr 106) tuleb tee ehitamisel määrata maantee klass, arvestades eeldatavat liiklussagedust, piirkonna arenguvajadusi ja rahvusvahelist liiklust, regionaalpoliitilisi eesmärke ja majanduslikke võimalusi [23].

Maantee projekteerimine peab tuginema eeldatava liiklussageduse prognoosile [23]. Eeldatava liiklussageduse prognoosimisel lähtutakse maantee või eraldi teelõigu omaniku poolt kavandatud valmimisaastast. Maanteede klassidele vastavad liiklussagedused on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1: Maanteede klassidele vastavad liiklussagedused.

Maantee klass	Eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus	
	Füüsiline	Taandatud sõiduautole
	Liiklussagedus a/ööp	Liiklussagedus a/ööp
Kiirtee	Üle 40 000	Üle 45 000
I	Üle 14 500	Üle 18 500
II	6 000-14 500	7 200 - 18 500
III	3 000 - 6 000	3 500 - 7 200
IV	500 - 3 000	1 000 - 3 500
V	50 - 500	100 - 1 000
VI	kuni 50	kuni 100

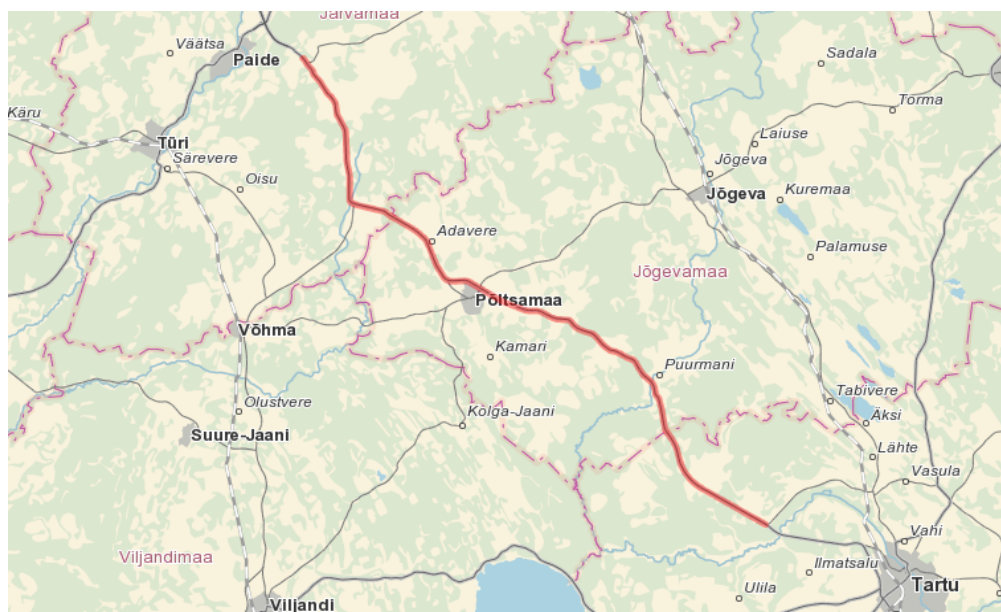
Kuna vastavalt Eesti maanteede projekteerimismormidele kuulub 2+1 ristlõige II klassi maanteede alla, tuleb arvestada, et eeldatav aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus jääks vahemiku 6 000 – 14 500 a/ööp.

Euroopas olevate 2+1 teede aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus jääb vahemiku 4 000 – 30 000 a/ööp. Saksamaa teekattemärgistusega 2+1 lahendusga teedel varieerub AKÖL vahemikus 15 000 – 30 000 a/ööp, Soomes keskmiselt 14 000 a/ööp, tõustes nädalavahetuseti kuni 20 000 – 25 000 a/ööp ning Rootsis 4 000 -20 000 a/ööp. Taanis jäävad kolmel uuritud objektile liiklussagedused vahemiku 7 000 – 16 000 a/ööp.

3.1 Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa maantee soovituslikud möödasõidualad

Uuritavaks maanteeks on valitud Tallinn – Tartu – Võru - Luhamaa maantee nr 2 (edaspidi Tartu maantee) , mis on üks suurima liiklussagedusega põhimaantee Eestis. Sõiduautode ja raskeliikluse koosseksisteerimise tõttu tekib sellel lõigul palju möödasõiduolukordi ning sellise liiklussageduse juures on möödasõiduvõimaluse leidmine raskendatud. Lisaks on olemasolev maantee telg looklev ning nii mõnedki plaani- ja püstkõverate raadiused ei taga vajalikku möödasõidunähtavust. Samuti ristmike kohad, kus möödasõiduvõimalused on loomulikult keelatud. Selline olukord tekitab omakorda autode kolonne, mis omakorda suurendab möödasõitude arvu. Tulemuseks on kõrgendatud oht laupkokkupõrgeteks, mida näitab ka liiklusõnnetuste statistika.

Täna on Tartu maantee kuni km 39,8 ja Mäo ümbersõit välja ehitatud 2+2 ristlõikega I klassi maanteeks. Lisaks on Vabariigi Valitsuse 9. märtsi 1999.a korraldusega nr 313-k Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa riigimaantee Kose-Võõbu ja Võõbu-Mäo teelõigule valitud uus trassi koridor. E263 Tallinn–Tartu–Võru-Luhamaa maantee Kose-Mäo teelõigu rajamise eelnõu kavandab rajada olemasoleva teelõigu Kose-Võõbu (km 40,0-68,0) ja Võõbu-Mäo (km 68,0-85,0) asemele uue asukohaga maantee. Olemasolev maantee jääb toimima kõrvalmaanteena. [51]. Seetõttu on uuritavaks teelõiguks antud maanteel valitud Mäo – Tartu vaheline lõik km 93,8 – 178,3 (joonis 3.1).



Joonis 3.1 Tartu maantee km 93,8 – 178,3

3.2 Maantee klass ja liiklussagedus.

Tabelis 3.2 on toodud põhimaantee nr 2 Mäo – Tartu (km 93,8 – 178,3) vahelise teelõigu viimase kümne aasta keskmised ööpäevased liiklussagedused (AKÖL), ptuginedes Teede Tehnokeskuse poolt aastatel 2005-2015 läbiviidud liiklusloenduse tulemustele.

Tabel 3.2 Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklussagedus aastatel 2005 - 2015

Aasta	Lõigu algus/lõpp (km)								
	93,8 - 109,9	109,9 - 114,5	114,5 - 118,5	118,5 - 123,2	123,2 - 126,9	126,9 - 147,2	147,2 - 153,4	153,4 - 168,3	168,3 - 178,3
2005	5780	4740	4740	5180	4790	4710	5530	5530	5530
2006	6245	5130	5130	6020	5390	5300	5920	5920	5920
2007	7940	6772	6772	6430	6830	6003	6920	6920	7503
2008	7902	6666	6666	6343	6955	6305	6498	6498	7045
2009	7015	5655	5655	5965	5963	5500	6192	6192	5297
2010	6524	5288	5388	5818	5717	5264	5983	5983	5339
2011	6979	5476	5476	6149	6072	5800	6181	6181	6763
2012	6858	5921	6093	6163	6060	5922	6284	6284	6153
2013	7144	6108	6352	5867	5867	6000	6362	6362	6229
2014	7300	6440	6400	6621	6261	6221	6252	6562	6281
2015	7833	6439	6439	7090	6348	6516	6904	6904	6574

*Kuni aastani 2009 kehtis vana kilometraaž. Alates aastast 2010 uus, tingituna Mäo möödaskõigust ja Puurmani eritasandilisest ristmikust.

Täna seisuga on Mäo – Tartu vaheline teelõik välja ehitatud III klassi maantee parameetritega. 2015. aasta seisuga tuleks liiklussageduse põhjal kogu põhimaantee nr 2 Mäo – Tartu vahelist teelõiku käsitleda II klassi maanteena.

Prognoositav liiklussagedus

Liiklusprognoosi tulemused uuritava teelõigul on esitatud tabelis 3.2, mis on koostatud vastavalt projekteerimise normides toodud kirjeldusele, põhinedes aasta keskmise ööpäevase liiklussageduse andmetel, kus on võrreldud 10 aasta tagust liiklussagedust tänasega ja selle põhjal leitud liiklussagedus 20 aasta pärast.

Tabel 3.3: Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklusproгноos aastaks 2035.

Aasta	Lõigu algus/lõpp (km)								
	93,8	109,9	114,5	118,5	123,2	126,9	147,2	153,4	168,3
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	109,9	114,5	118,5	123,2	126,9	147,2	153,4	168,3	178,3
Liiklussageduse kasv (%)	35,5	35,8	35,8	36,9	32,5	38,3	24,8	24,8	18,9
Proгноositav AKÖL (a/ööp)	10615	8747	8747	9704	8413	9014	8619	8619	7815

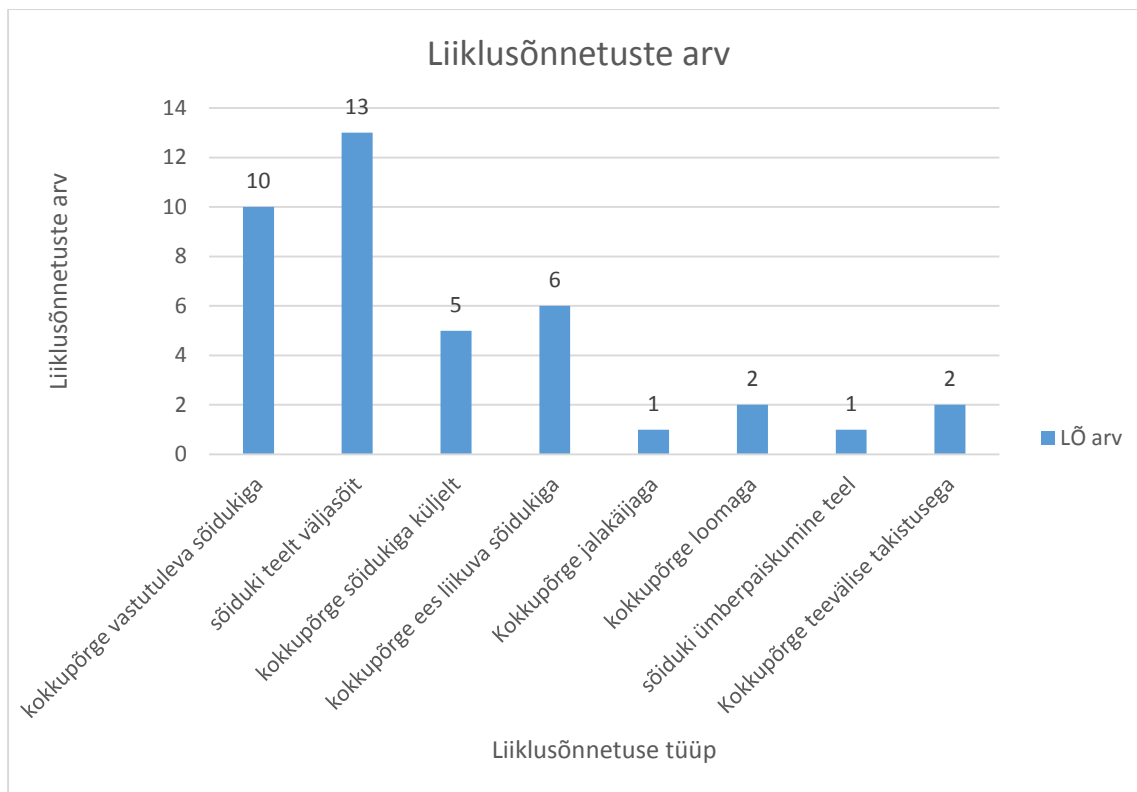
Siinkohal tuleb meele pidada, et projekteerimisnormide kohane liiklusproгноos ei pruugi anda kõige täpsemat proгноosi järgnevas kahekümneks aastaks just seetõttu, et nagu näha algreast (tabel 3.2), on majandusbuumi aastatel 2007-2008 liiklussagedused antud lõikudel suuremad kui 2015. aastal. Mistõttu täpsema proгноosi tarbeks tuleks arvestada ka järgnevaid tegureid:

- elanike arv ning selle muutus;
- autode arv või autostumise tase ja selle muutus;
- sisemajanduse koguprodukt (SKP) ühe elaniku kohta ja selle muutus.

Proгноosi tulemusena võib järeldada, et uuritaval objektil vastab teelõik ka 20. aasta pärast II klassi maantee nõuetele. Võttes arvesse tee geomeetriast tulenevaid ebapiisavaid plaani- ja vertikaalkõverike raadiusi ning ebapiisavaid nähtavuskaugusi, vajaks nende korrigeerimine tasemele hea (H) või rahuldav (R) lisavõõrandamisi ja suuri kulutusi. Juhul kui jätta viimatimainitu realiseerimata, oleks üheks alternatiiviks 2+1 möödasõidualade lisamine antud lõigule tõenäoliselt üheks liiklusohutust tõstvaks meetmeks.

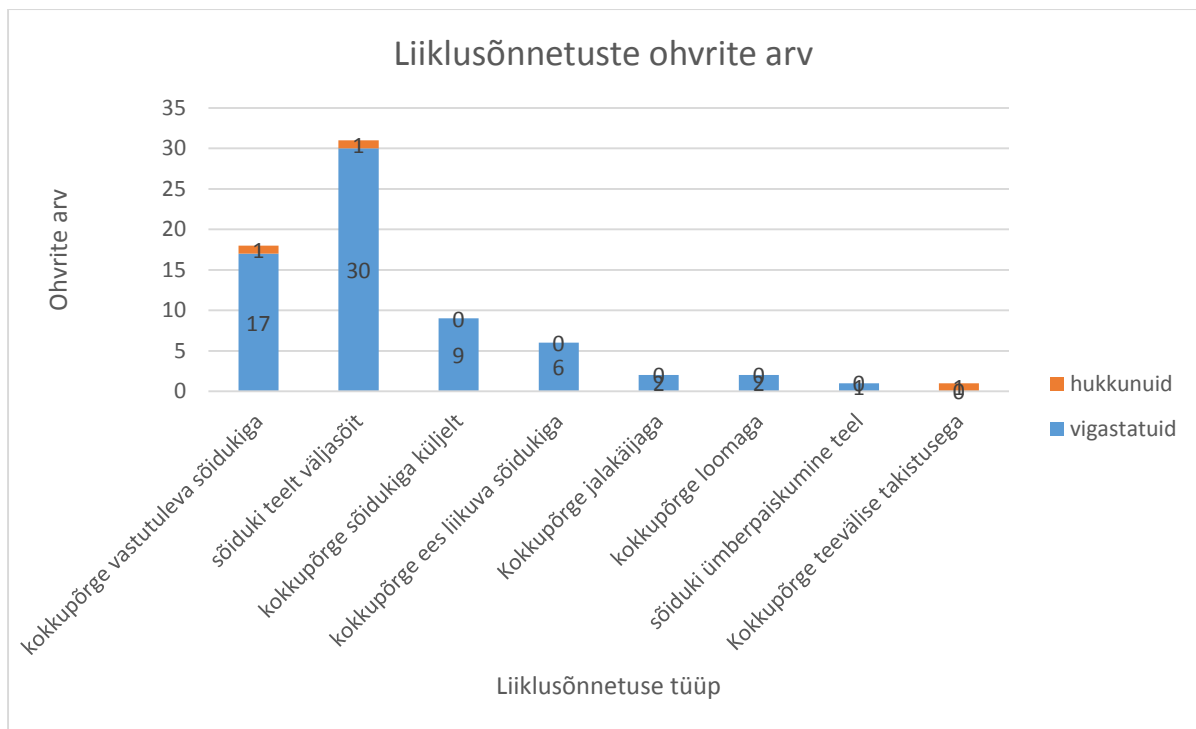
Liiklusõnnetused

Antud teelõigul on viimase kolme aasta (2013-2015) jooksul toimunud 40 liiklusõnnetust, milles on kokku osalenud 64 sõidukit, hukkunud 3 ja vigastada saanud 67 inimest. Alloleva joonisel 3.2 on näidatud vaadeldaval lõigul toimunud erinevaid liiklusõnnetusi vastavalt liiklusõnnetuse tüübile, millest kõige sagedasemaks osutus sõiduki teelt väljasõit (13) ja kokkupõrge vastutuleva sõidukiga (10).



Joonis 3.2: Liiklusõnnetused perioodil 2013-2015

Kõige ohvriterohkeimaks liiklusõnnetuse põhjuseks kujunes sõiduki teelt väljasõit, mille tulemusena hukkus üks ja vigastada sai 30 inimest. Teiseks ohvriterohkeimaks liiklusõnnetuste põhjuseks on olnud kokkupõrge vastutuleva sõidukiga, kus hukkus samuti üks ja viga sai 17 inimest. Järgneb kokkupõrke sõidukiga küljelt, kus sai vigastada 9 inimest. Joonisel 3.3 on näidatud hukkunud ja vigastada saanud inimeste arv vastavalt liiklusõnnetuse tüübile perioodil 2013 -2015.



Joonis 3.3: Liiklusõnnetuste ohvrite arv perioodil 2013-2015

Kõige raskemate tagajärgedega liiklusõnnetuste tüübiks võib pidada kokkupõrkeid vastutuleva sõidukiga, sõiduki teelt väljasõit ja kokkupõrge sõidukiga küljelt. Lisaks ka kokkupõrge jalakäijaga, millega kaasnevad tõsisemas vigastused või lõppevad tihtipeale ka surmaga.

Liiklusohhtlikud teelõigud ja kohad

Põhimaantee nr 2 Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklusohhtlikud lõigud ja kohad on defineeritud vastavalt aastal 2013 Inseneribüroo Stratum poolt koostatud „Liiklusõnnetuste koondumiskohtade väljaselgitamise“ juhendile [50]:

- liiklusohhtlik koht (OK) – kuni 100 meetri pikkune teelõik, kus kolme aasta jooksul on toimunud kolm või enam inimkannatanuga liiklusõnnetust;
- eriti liiklusohhtlik teelõik (EOL) – üldjuhul kuni 500 meetri pikkune teelõik, kus kolme aasta jooksul on toimunud kolm või enam inimkannatanuga liiklusõnnetust, seda teelõiku pikendatakse nii ette kui ka tahapoole, kuni kohani, kus algab 500 meetri pikkune teelõik, kus kolme aasta jooksul ei ole toimunud ühtegi inimkannatanuga liiklusõnnetust;
- liiklusohhtlik teelõik (OL) - üldjuhul kuni 1 kilomeetri pikkune teelõik, kus kolme aasta jooksul on toimunud kolm või enam inimkannatanuga liiklusõnnetust, seda teelõiku pikendatakse nii ette kui ka tahapoole, kuni kohani, kus algab 500 meetri pikkune

teelõik, kus kolme aasta jooksul ei ole toimunud ühtegi inimkannatanuga liiklusõnnetust.

Eriti ohtlik teelõik km 105,0 – 105,3

Antud lõik asub põhimaantee nr 2 ja kõrvalmaantee nr 15167 ristumisel, mida võib nimetada eriti ohtlikuks teelõiguks, kuna 280 m pikkusel teelõigul on viimase kolme aasta jooksul toimunud 3 liiklusõnnetust, milles sai vigastada kokku 5 inimest. Liiklusõnnetuste põhjuseks oli kahel juhul sõiduki teelt väljasõit ning ühel juhul sõiduki ümberpaiskumine teel.

Liiklusohhtlik teelõik km 108,5 – 110,0

Kõige ohvriterohkeimaks teelõiguks uuritaval objektil kujunes põhimaantee nr 2 ja tugimaantee nr 49 ristumisele eelnev 1,5 km pikkune teelõik, kus viimase kolme aasta jooksul on toimunud 6 liiklusõnnetust, milles hukkus üks ja vigastada sai 8 inimest. Põhilisteks liiklusõnnetuste tüüpideks oli sõiduki teelt väljasõit (3), kokkupõrge vastutuleva sõidukiga (2) ning kokkupõrge teevälise objektiga (1). Liiklusõnnetuste põhjuseks võib lugeda liiga väikese raadiusega plaanikõverikku ning ebapiisvat nähtavuskaugust.

Liiklusohhtlik koht km 126,9

Km 126,9 asub Puhu-Rist, kus ristuvad põhimaantee nr 2 ja tugimaantee nr 37. Antud ristmikku võib liigitada liiklusohhtlikus kohaks, kuna ristmikul on koguni ühe aasta jooksul toimunud kolm liiklusõnnetust, milles on vigastada saanud 3 inimest. Liiklusõnnetuste põhjuseks on olnud kokkupõrge vastutuleva sõidukiga (2) ja kokkupõrge sõidukiga küljelt. Ristmiku piirkonnas on ka 2015 aastal kehtestatud kiiruse piirang 50km/h.

Liiklusohhtlik teelõik km 166,4 – 167,8

Teelõigul on aastatel 2013- 2015 toimunud 3 liiklusõnnetust, milles on vigastada saanud 5 inimest. Liiklusõnnetuste põhjusteks oli kokkupõrge ees liikuva sõidukiga, sõiduki teelt väljasõit ning kokkupõrge loomaga.

Liiklusohhtlik teelõik km 170,2 – 170,8

Antud lõigul asub uuritava objekti teine ohvriterohkeim liiklusohhtlik teelõik, kus kolmes liiklusõnnetuses on viga saanud 8 inimest. Liiklusõnnetuste põhjusteks oli kahel korral kokkupõrge vastutuleva sõidukiga ning ühel korral sõiduki teelt väljasõit.

3.3 Potentsiaalsed 2+1 ristlõikega möödasõidualad Mäo – Tartu vahelisel teelõigul

2+1 ristlõikega maantee põhiliseks eeliseks on see, et välistatud on kokkupõrked vastutuleva sõidukiga ning samuti vasakpöördest tingitud võimalikud kokkupõrked küljelt. Soovituslikud 2+1ristlõikega teede asukohtadeks on antud teelõigud, kus loetletud liiklusõnnetuste tüüpe esineb kõige enam. Samuti ka eelnevas punktis (peatükk 3.2) välja toodud liiklusohtlikest lõikudest ja olemasoleva tee geomeetria eripärasusest tingitud lõigud. Lisaks on lõigu pikkuse määramisel arvestatud, et kummaski suunas oleks vähemalt üks 1,0 km pikkune möödasõiduala koos üleminekutsoonidega.

Paia ristmik km 108,5 – 111,5

Asukoht

Lõik asub Tartu maantee nr 2 ja Viljandi maantee nr 49 ristmikul (joonis 3.4). Täna on uuritava lõigu aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus 6 439 a/ööp ning projekteerimismuutustele kohane prognoositav liiklussagedus 8 747 a/ööp, mistõttu tuleks nii täna kui ka 20 aasta pärast käsitleda antud teelõiku II klassi maanteena. Lisaks asub Paia ristmikul kummalgi sõidusuunal Paia bussipeatus, mille tõttu esineb seal piirkonnas jalakäijaid. Uuritavale lõigule on iseloomulik küllalt pika ja järsu kurvi tõttu piiratud nähtavus, mis teeb kogu lõigu ohtlikumaks. Lisaks annab liiklusele tooni raskeveokid, mis teenindavad Imavere puidutööstust.



Joonis 3.4: Tartu maantee km 108,5 – 111,5

Uuritaval lõigul on viimase kolme aasta jooksul toimunud 6 liiklusõnnetust, milles on hukkunud üks ja vigastada saanud 8 inimest. Põhilisteks liiklusõnnetuste tüüpideks on olnud sõiduki teelt väljasõit (3), kokkupõrge vastutuleva sõidukiga (2) ning kokkupõrge teevälise takistusega.

Vastavalt projekteerimisnormidele on II klassi maantee projektikiirus 120 km/h. Plaanikõverike vähimad normikohased raadiused projektikiirusel 120 km/h ja 4%-lise viraaži korral on tasemel H (hea) $R=1430$ m, tasemel R (rahuldav) $R=1130$ m ja tasemel E (erandlik) $R=870$ m (23, tabel 2,8). Põhimaantee nr 2 ja tugimaantee nr 49 ristumisele eelneva plaanikõveriku raadius on Maa-ameti kaardirakenduse pealt mõõdetuna ~500m, mis vastab 4%-lise viraažikalde korral III klassi maantee taseme E (erandlik) parameetritele ($R=510$ m).

Teiseks liiklusohhtlikuks kohaks on põhimaantee nr 2 ja tugimaantee nr 49 Paia ristmik, kus on kõik pöörded lubatud. Põhiteel puudub vasakpöörde sooritamiseks lisarada, mistõttu on põhiliikluse möödalaskmiseks kavandatud sujuv teekatete laiendus ühendatuna bussipeatusega (Joonis 3.3).



Joonis 3.5: Tugimaantee nr 49 ja Tartu maantee Paia ristmik.

Kolmandaks ohtlikuks kohaks antud lõigul on km 111,0 asuv tee geomeetriast tulenev ebapiisava pikkusega kumer püstkõverik, kus Maa-ameti kaardirakenduse andmetel erinevad 400 m pikkusel lõigul kõrgused 2,0 m. Antud kohas on ka aastal 2000 ja 2005 toimunud kaks kokkupõrget vastutuleva sõidukiga, milles hukkunud üks ja vigastada saanud 7 inimest. Kuna

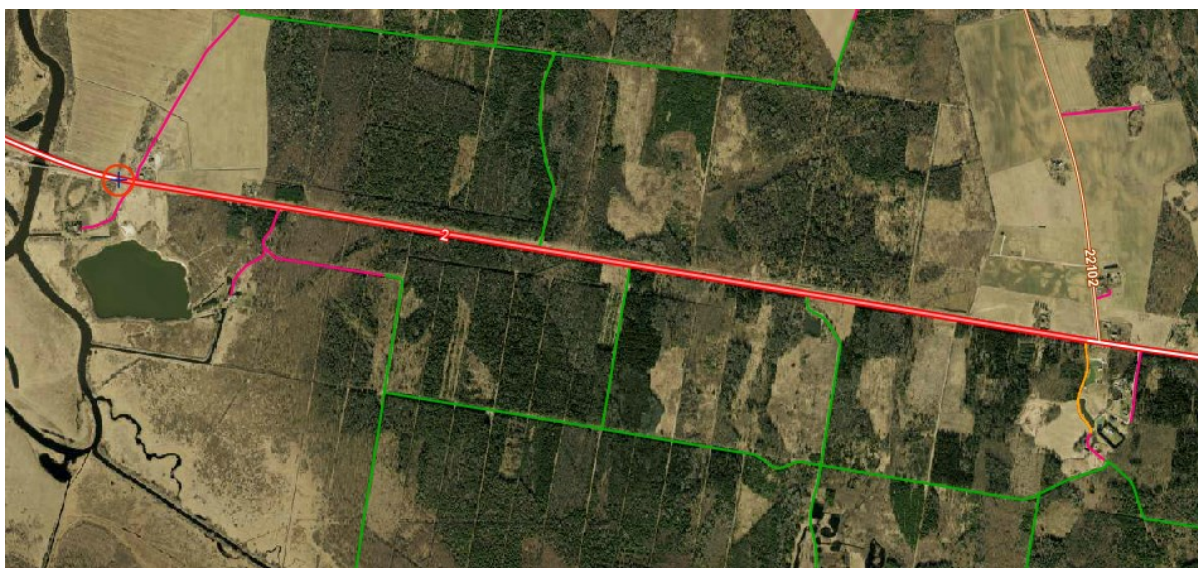
viimase 15 aasta jooksul pole uuritava teelõigu plaanilahendus muutunud, võib pidada antud kohta endiselt ohtlikuks.

Loetletud probleemsete kohtade korrigeerimiseks oleks antud lõigule otstarbekas kavandada kaks 2+1 möödasõiduala (üks kummaski suunas), kus sõidusuunad on terve lõigu ulatuses eraldatud keskpäärdega. Tallinna poolt on kahe rajalist lõikude soovituslikud pikkused 1,25 km (suunaga Tallinna poole) ja 1,25 km (suunaga Tartu poole). Lõikude jaotuse motiiviks on põhimaantee nr 2 ja tugimaantee nr 49 ristmiku ohutumaks muutumine, tagades ristmiku piirkonnas mitte-kriitilise üleminekutsoon (vt Punkt 2.4.5). 2+1 ristlõige võimaldab ka oma teekatte laiuse tõttu ristmikku tõstetud eraldussarte abil kanaliseerida, mis tagab samal ajal ohutuma teeületuse bussipeatuste vahel liikuvatele jalakäijatele. Lisaks välistab keskpäire eelpool mainitud liiklusohutlikes kohtades võimalike vastutulevate sõidukite kokkupõrkeid ning ka kokkupõrkeid külje pealt, kuna nii mahasõidult kui ka põhiteelt on vasakpöörde sooritamise piiratud.

Möödasõidulõikude algusesse ja lõppu tuleks kavandada silmused, mis võimaldavad Paia ristmikul sooritada põhiliiklusest eraldatud vasak- ja tagasipööret tugimaanteele ning ligipääsu ümberkaudsetele kruntidele ning metsavaheteedele.

Km 170,2 – 174,0

Vaadeldav lõik asub Kärevere silla bussipeatuse ja kõrvalmaantee nr 22102 (Vorbuse – Kardla) ristmiku vahelisel lõigul km 170,2 – 174,0 (joonis 3.6). Täna on antul teelõigul AKÖL 6574 a/ööp ning perspektiivseks liiklussageduseks aastal 2035 on 7851 a/ööp. Tuginedes liiklussagedusele, tuleks nii täna kui ka tulevikus antud teelõiku käsitleda II klassi maanteena. Antud 3,8 km pikkusel lõigul on 8 mahasõitu, millest 6 on kohalikud metsavaheteed ning kaks mahasõitu teeäärsetele elamutele.



Joonis 3.6: Tartu maantee km 170,2 – 174,0

Lõigu põhiliseks valiku motiiviks on vähesed põhiteega ristuvad kõrvalteed ja mahasõidud, mis tagab 2+1 ristlõikega teel sujuvama ning ohutuma liikluse. Lisaks on kõik metsavaheteed omavahel põhiteega paralleelse kõrvalteega ühendatud, mis võimaldab üleliigseid mahasõite sulgeda, pikendamata seejuures oluliselt teekonnapiikkust sihtpunkti.

Lõigul on viimase kolme aasta jooksul toimunud liiklusõnnetust: kokkupõrge vastutuleva sõidukiga, eesliikva sõidukiga ning kahel korral ka teelt väljasõit. Kokku on vigastada saanud 9 inimest.

Lõigule on iseloomulik pikk sirge teelõik. Tuginedes peatükis 1.3.1 toodud Taani uuringu tulemustele, on ligikaudu 90% kõikidest frontaalkokkupõrgetest toimunud sirgel teelõigul. Mistõttu võib antud teelõigul liiklusõnnetuste põhjuseks olla pika sirge teelõigu tõttu vastutuleva sõiduki vale kiiruse ja kauguse hindamine. Samuti ka väsimus ja tähelepanu hajumine monotoonse sõiduviisi tõttu. Lisaks asub km 170,2 teeäärne elamu, mis piirab Tartu poolt tulijate nähtavust sirgele järgnevale plaanikõverikule.

Soovituslik 2+1 ristlõikega tee näeks ette kahe möödasõidutasku rajamist, kus sõidusuunad on terve lõigu ulatuses keskipiirdega eraldatud. Lõigule on võimalik kavandada kaks enam-vähem võrdse pikkusega 1,5 km pikkust möödasõidutaskut kummaski sõidusuunas. Lõikude jaotuse eesmärgiks on tagada mõlemal suunal liikuvatele sõidukitele möödasõiduvõimalus esimesel võimalusel, mis teoorias peaks vältima möödasõitude sooritamist 2+1 lõigule eelnevatel lõikudel. Antud jaotuse korral tekiks möödasõidualade üleminekule kriitiline üleminekutsoon,

kuid kuna ülemineku asukoht ei satu ristmiku piirkonda ning nähtavuskaugus on piisav, ei vähenda kriitiline üleminekutsoon liiklusohutust võrrelduna mitte-kriitilise üleminekutsooniga.

Möödasõidulade üleminekutsooni algusesse ja lõppu tuleks nii Tallinna kui ka Tartu suunal liiklejatele kavandada silmused, tagamaks ligipääsu ümberkaudsetele kruntidele ning metsavaheteele.

4 Põhimaantee nr 2 Valmaotsa Kärevere lõigu km 160,7 – 168,1 2+1 möödasõidualade ehituse näidisprojekt

4.1 Üldosa.

Antud peatükk käsitleb näitena 2+1 lahendust Tartu mnt Valmotsa-Kärevere lõigul.

Tänase seisuga on antud teelõigu puhul tegemist III klassi maantee parameetritele vastava teega, katte laiuseks antud lõigul on 9,0- 9,1 m. AKÖL 2015 andmetel on vaadeldaval lõigul 6 904 a/ööp.

4.1.1 Projekteerimise nõuded

Maanteeamet on eelnevalt väljastanud tehnilise projekt koostamise nõuded, mille põhilised näitajad on järgmised:

- projekteerimise lähtetase rahuldav;
- maantee klass III;
- projektkiirus 2+1 lõigul 110 km/h, ilma trosspiirdeta lõikudel 100km/h;
- katendi tüüp püsikatend;

4.1.2 Liiklusprognoos (baasprognoosi meetodil)

Käesoleva töö liiklusprognoos on koostatud lähtuvalt TTÜ baasprognoosi meetodist. Tabeli 4.1 koostamisel on lähtutud Tartu maakonna põhimaantee keskmise arengutsenaariumist kasutades aasta keskmise muutuse kasvutegureid antud perioodil [52]. Tabeli 4.1 ülemises osas on toodud perioodile vastavad aasta keskmised kasvutegurite muutused ja alumises osas prognoositavad liiklussagedused lähtuvalt 2015. aasta liiklussagedusest. Eeldusel, et objekti ekspluatsooni aasta on 2018, on liiklussagedused prognoositud aastani 2038. Lisaks 2043. aastaks, kuna tasuvusanalüüsi koostamisel on referentsperioodiks 25 aastat. 2043 aasta liiklussageduse arvutamiseks on kasutatud samasi kasvutegureid mis perioodil 2035-2040.

Tabel 4.1: TTÜ baasprognoosi kasvutegurid ja vastavad liiklussagedused.

	Kasvutegurid	2010-2020	2020-2030	2030-2035	2035-2040	
	SAPA	1,031	1,017	1,011	1,005	
	AB	1,02	1,012	1,007	1,003	
	VAAR	1,026	1,013	1,007	1,003	
2015	Prognoos	2020	2030	2035	2038	2043
5772	SAPA	6724	7958	8406	8533	8748
249	VAAB	275	310	321	324	329
883	AR	1004	1142	1183	1194	1212
6904	AKÖL	8003	9411	9910	10050	10288

4.2 Projektlahendus

4.2.1 Üldandmed

Käesolev projekt käsitleb E263 maantee lõiku km 160,8-168,1 Valmotsa-Kärevere. Projektiga on antud lõigule ette nähtud rajada neli 2+1 möödasõiduala ja üks 1+1 ristlõikega keskipiirdega teelõik ning vajalikud tagasipöörete lahendused juurdepääsu tagamiseks keskipiirdega eraldatud aladele.

Vastavalt lähteülesandele on projekteerimise aluseks võetud III klassi põhimaanteele vastavad rahuldavad parameetrid. Projektkiiruseks on 110 km/h. Projekti koostamisel on lähtutud tee olemasolevast asukohast, võimalusel on suletud dubleerivaid mahasõite.

Piketaaži alguspunktiks on teeregistri järgne Puhu ristmik, kus ristuva tee nr 37 ja tee nr 2 telgede ristumise kilomeeter on 126,916. Märkida tuleb, et täna reaalselt Põltsamaa-Tartu vahel olevad kilomeetripostid ei arvesta sellega, vaid on pärit nn Mäo õgvenduse eelsest ajast.

4.2.2 Plaanilahendus

Maantee plaanilahenduse projekteerimisel on lähtutud olemasolevast tee geomeetriast, et võimalikult palju ära kasutada olemasolevat mullet. Tee telg on projekteeritud nii, et olemasoleva teekatte haripunkt ühtiks projekteeritava tee haripunktiga ja projekteeritava tee välimine serv kattuks võimalusel olemasoleva tee välimise servaga.

Lõigul on ka kolm bussipeatust kummalgi sõidusuunal: km 160,8 Laeva metskond, km 162,8 Aruvälja, km 164,7 Joosti, mille asukohad on jäetud samaks. Bussipeatused on nii omavahel kui ka kohalike teedega ühendatud kõnnitee abil.

Kõikidele ühesuunalistele keskpäärdega eraldatud teelõikudele, mis on pikemad kui 1,0 km on ette nähtud avatud hädapeatumistaskud. Võimalusel on suletud ka üleliigseid mahasõite, mis on ühendatud silmusega kogujatee abil. Enamus väiksemaid mahasõite on projekteeritud vastavalt tüübile (tüüp I). Suuremad metsateede mahasõidud on tüübita, tagamaks raskeveokitele paremad tingimused manööverdamiseks.

Möödasõidulõigud ja ristmikud

Möödasõidulõikude kavandamisel on lähtutud tingimusest, et 2+1 lõigud oleksid vähemalt 1,0 – 2,0km pikad. Sealjuures on arvestatud ka kohalike teede võrgustikuga, mis teenindavad ümberkaudseid elanike ning metsa- ja põllutöömehi. Ühtlasi on ka võetud eesmärgiks et teekasutajate teekond sihtpunkti ei pikeneks rohkem kui 3,0km. Neist tingimustest lähtuvalt on kõik üleminekutsoonid koos silmustega paigutatud võimalusel kohalike teede ja põhimaantee ristumistele. Lahenduse eeliseks on võimaldada silmuste abil sooritada kohalikele teedele põhimaantee liiklusest eraldatud vasakpöördeid. Ühtlasi võimaldab kohaliku teega ühendatud silmus sooritada ka ohutumat parempööret, kus saab silmust kasutada kui aeglustusrada.

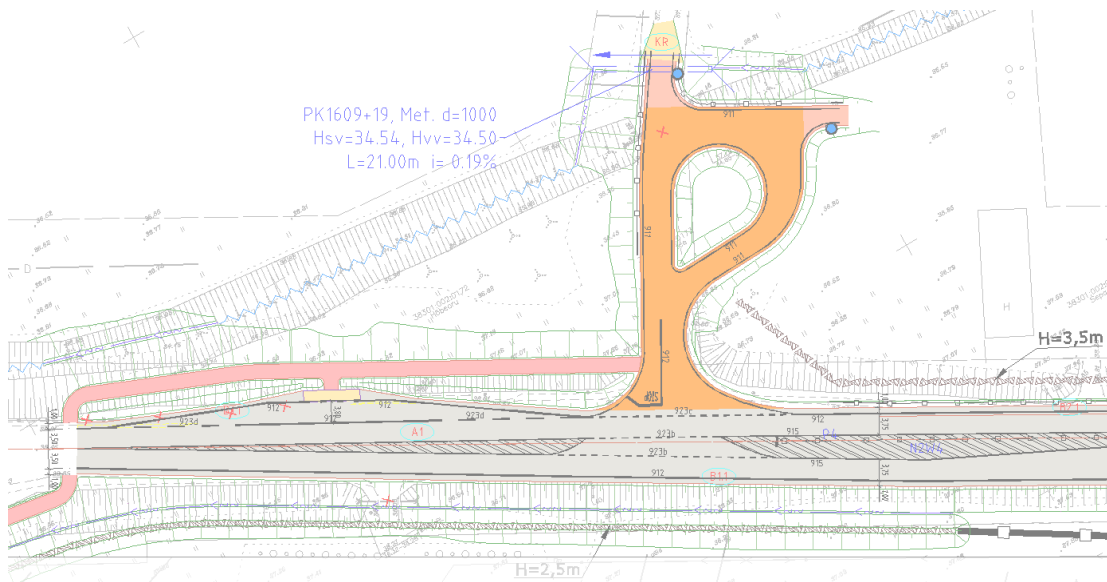
Lõigule on kavandatud neli 2+1 ristlõikega lõiku ja üks keskpäärdega 1+1 teelõik.

1. Lõik nr 11a: 1600 m pikkune 2+1 sõidurajaga lõik (2 sõidurada Tartu suunas);
2. Lõik nr 11b: 1100 m pikkune 1+2 sõidurajaga lõik (2 sõidurada Tallinna suunas);
3. 1+1 rajaline keskpäärdega teelõik pikkusega 950 m;
4. Lõik nr 12a: 1000 m pikkune 2+1 sõidurajaga lõik (2 sõidurada Tartu suunas);
5. Lõik nr 12b: 1100 m pikkune 1+2 sõidurajaga lõik (2 sõidurada Tallinna suunas).

Lõigule on projekteeritud kuus ristmikku:

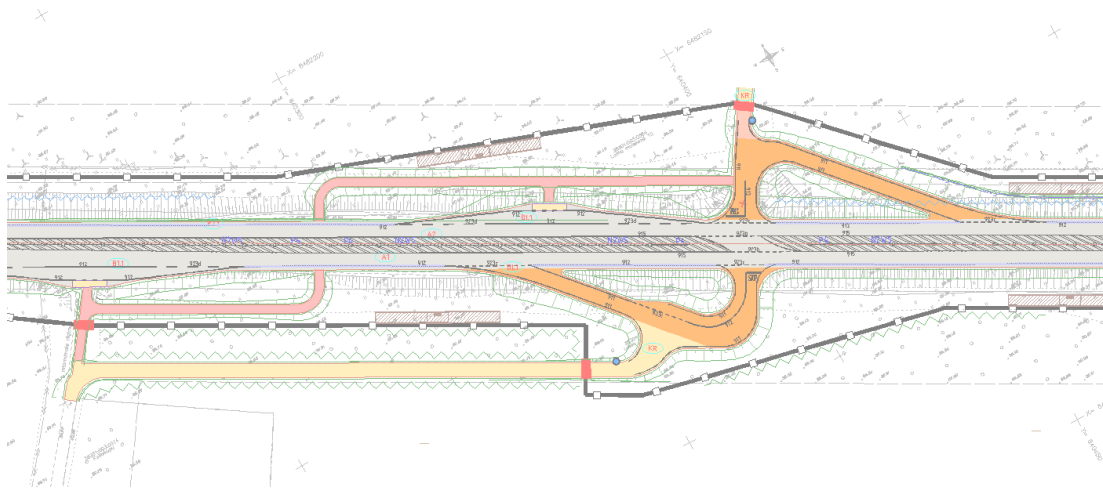
- 1) PK 1609+10 asub lõik nr 11a alguses Tallinna poolses otsas Peedu - Möldri ja Laeva metskonna tee ristmik(joonis 4.1). Ristmik on planeeritud silmusega, mis asetseb risti põhimaanteeaga. Silmus on ühendatud Peedu - Möldri - Laeva metskond tee ning Sepa krundiga, kuna olemasolev Sepa krundi mahasõit on ette nähtud sulgeda. Silmuse eesmärgiks on tagada teelõigu ääres elavate elanikele tagasipööramis võimalus. Silmus on kavandatud erinevalt teisest silmustest põhiteega rist, mille põhjuseks on vähene ruumipuudus teeäärse Sepa krundil oleva elamu ja bussipeatuse tõttu. Lahenduse

puuduseks on aeglustusraja puudumine, mille tõttu peavad parempööret sooritavad sõidukid põhiteel kiirust alandama, kus on ka keskpäirde tõttu otse liikujatel möödumine takistatud.



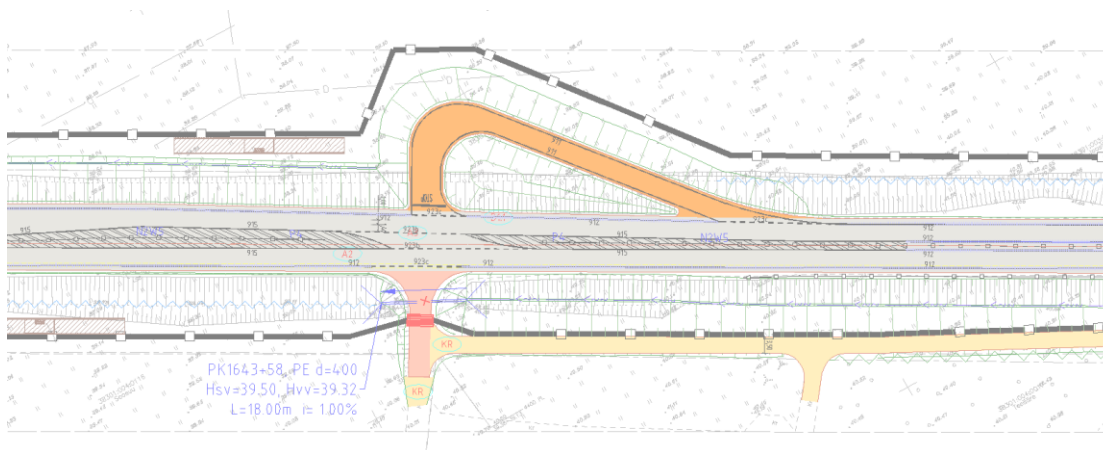
Joonis 4.1: Peedu - Möldri ja Laeva metskonna tee ristmik

- 2) Lõikude L11a ja L11b kriitilises üleminekutsioonis asub Aruvälja – Alevi ja Praadimaa – Murru tee ristmik (joonis 4.2). Ristmikule on kavandatud kaks vastastikust silmust kummalgi sõidusuunal, võimaldamaks eraldatud sõidusuundade tõttu ümberkautsete elanike kruntidele ning kohalikele teedele ligipääsu. Lisaks on olemasolev Aruvälja – Alevitee mahasõit ette nähtud sulgeda ning on ühendatud Tartu suunalise silmusega. Lahenduse eeliseks on minimaliseerida piirde katkestust põhimaanteel. Seetõttu on mõlemad silmused kavandatud vastamisi mis tagab ühtlasi ka mõlema kohaliku tee omavahelise liiklemise, avaldamata seejuures mõju põhitee liiklusele. Ristmikul asub kummalgil sõidusuunal Aruvälja bussipeatus, mis on ühendatud kõnnitee abil mõlema kohaliku teega. Kergliiklejate ohutumaks ületamiseks on üleminekutsoonile ette nähtud pikem paralleelosa. Piisava eraldusriba laiuse ja väheste kergliiklejate tõttu on loobutud füüsiliselt tõstetud kergliiklejatele mõeldud ohutussaarest.



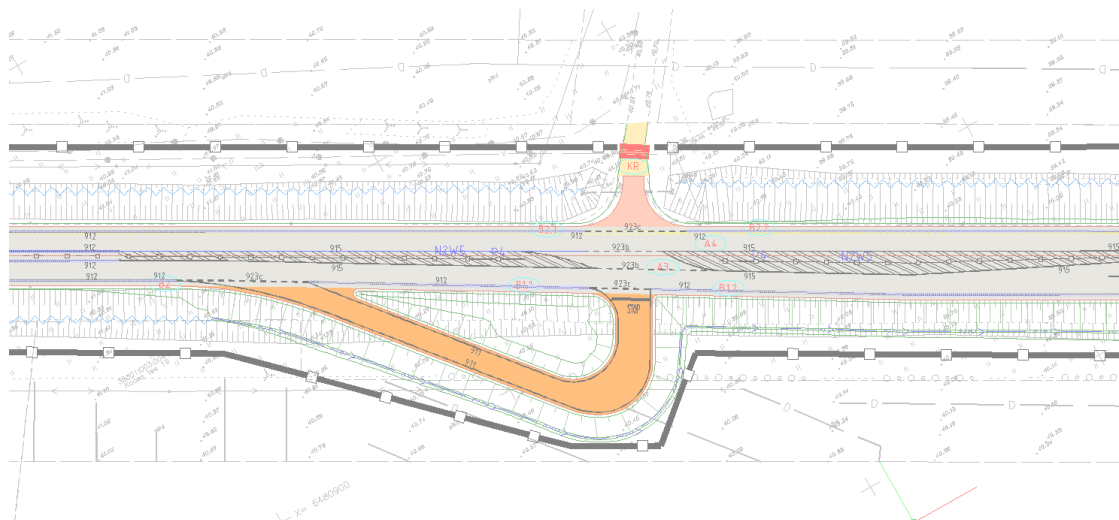
Joonis 4.2: Aruvälja – Alevi ja Praadimaa – Murru tee ristmik

- 3) L11b lõpus ja keskipiirdega 1+1 teelõigu alguses asub Joosti tee ristmik koos silmusega (joonis 4.3). Ristmiku eesmärk on võimaldada Tartu poolt tulijatel sooritada vasakpöört Joosti teele ja tagasipööret teeäärsetele kruntidele vahemikus 1646+00 – 1650+50. Lisaks on mürakaitseekraani tõttu suletud kaks mahasõitu, mille ligipääsuks on kavandatud kruusast kogujatee.



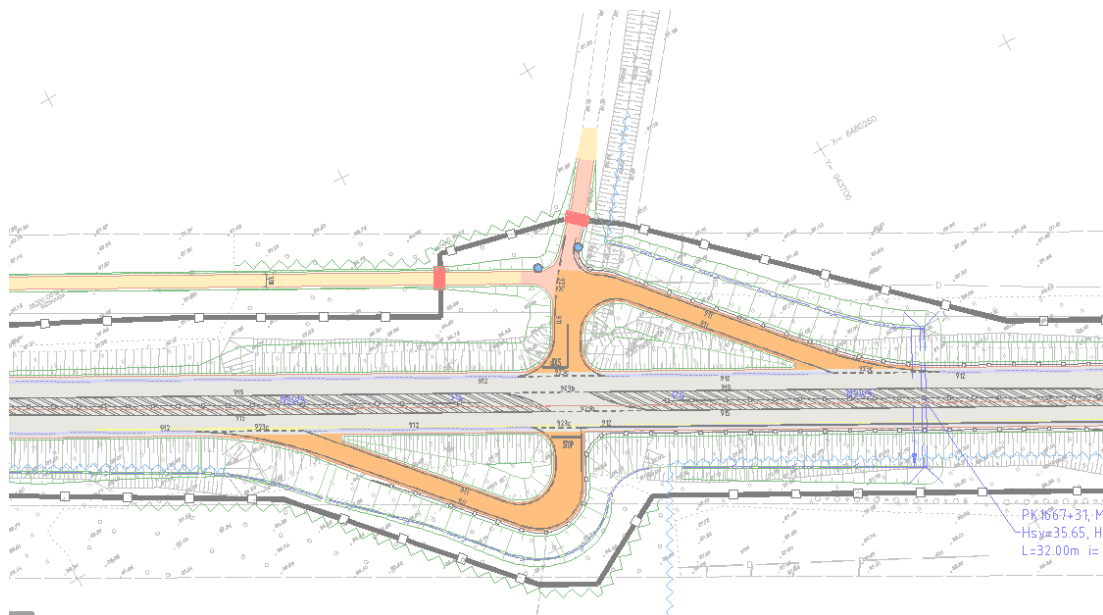
Joonis 4.3: Joosti tee ristmik

- 4) Keskipiirdega 1+1 lõpus ja L12a alguses asub Joosti – Vibulaane tee ristmik koos silmusega (joonis 4.4). Ristmiku eesmärk on Tallinna poolt tulijatel sooritada vasak- ja tagasipööre võimaldamaks ligipääsu teeäärsetele kruntidele vahemikus PK 1646+00 – 1650+50.



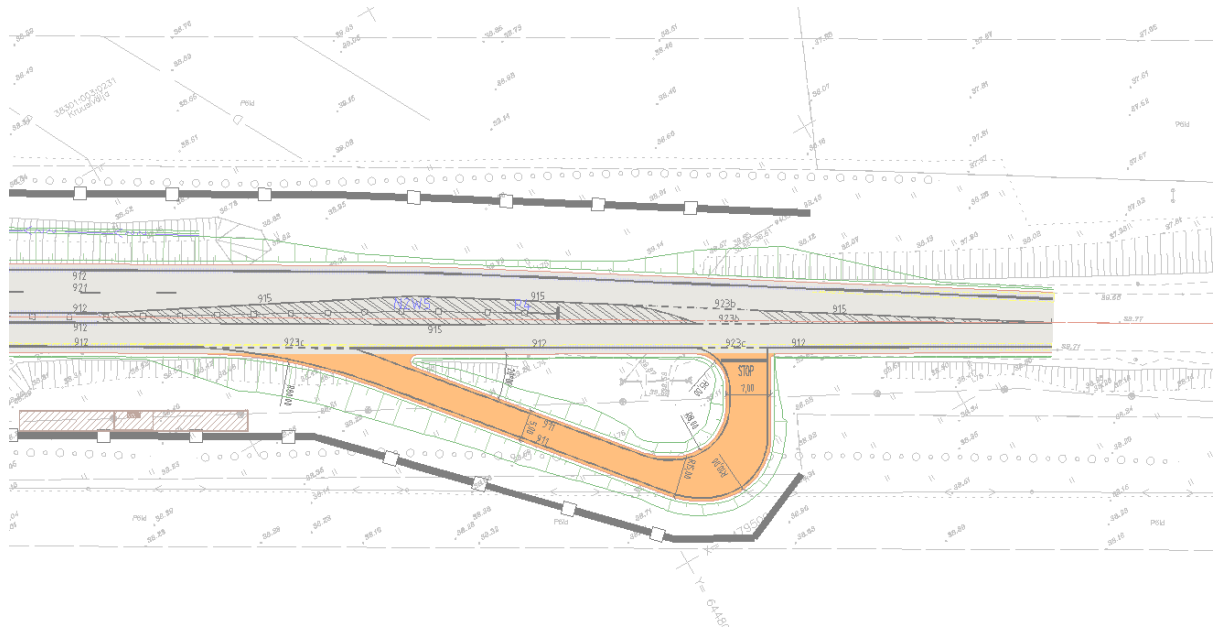
Joonis 4.4: Joosti – Vibulaane tee ristmik

- 5) L12a ja L12b kriitilises üleminekutsoonis asub mõlemal suunal silmus, millest parempoolne on ühendatud metsavahe ja juurdepääsuteega (joonis 4.5). Kuna sõidusuunad on eraldatud, on see vajalik ümberkaudsete elanikele ja kohalikele teedele juurdepääsu tagamiseks.



Joonis 4.5: Mõlema suunaline silmus.

- 6) 8) PK 1680+45 asub lõigu viimane silmus (joonis 4.6), mis tagab eraldatud sõidusuundade tõttu juurdepääsu teeäärsetele kruntidele ja kohalikele teedele.

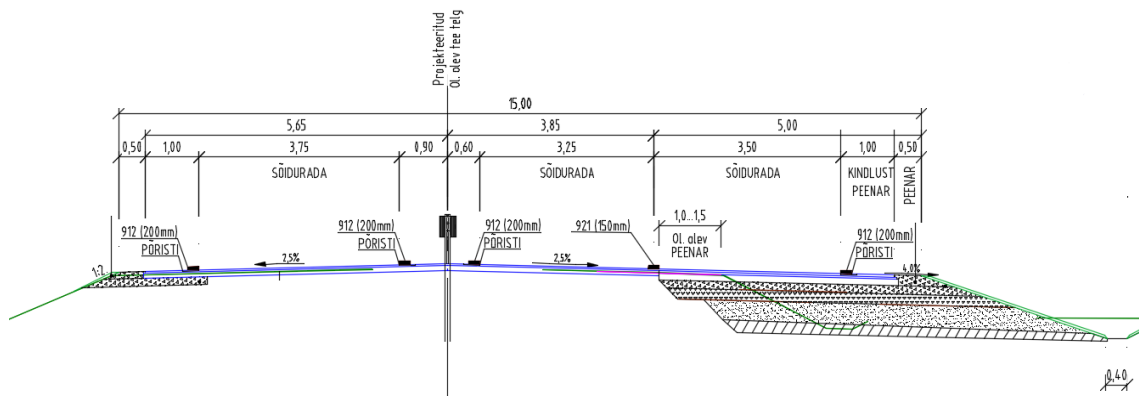


Joonis 4.6: Tartu suunal olev silmus.

4.2.3 Ristlõige

2+1 ristlõige

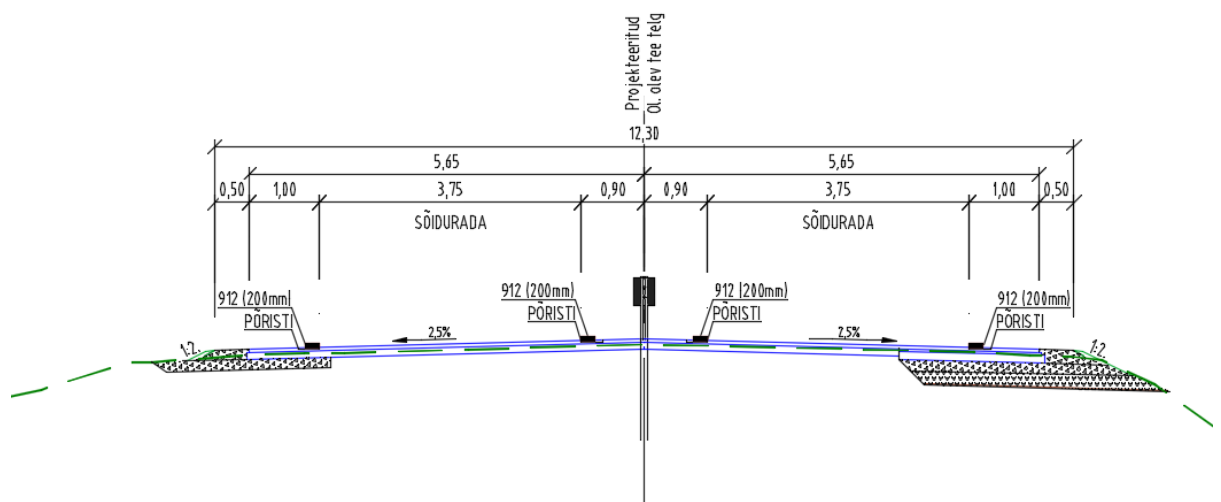
2+1 ristlõike parameetrite valimisel on lähtutud Eesti maanteed projektierimismäärde esitatud ning käesolevas töös punktis 2.3.1 käsitletud ristlõikest. Projektieritava teelõigu ristlõike on esitatud joonisel 4.7. Piirdeks on valitud terasest karpprofiiliga piire, mis vastab ohjeldustasemele N2, töölaiauseks on arvestatud W4 (suurim lubatud läbipaine 1,3 m)



Joonis 4.7: Projekteeritav 2+1 ristlõike

1+1 ristlõige

Erinevalt Eesti maantee projekteerimisnormidest on antud lõigul 1+1 ristlõikesse sisse viidud mõningad muudatused. Peamine erinevus seisneb nii ohutusriba kui ka välimiste kindlustatud teepeenara laiendamises, andes kogu asfaltkatte laiuseks 10,0 m asemel 12,3 m (joonis 4.8). Ristlõike mõlema suuna laius parameetrid on põhimõtteliselt samad mis 2+1 ristlõike üherajalisel sõidusuunal. Mille eesmärgiks on sõidusuundi eraldava eraldusriba laiendamine pörkepiirde töölaiusest tingituna. Piirdeks on valitud terasest karpprofiiliga piire, mis vastab ohjeldustasemele N2, töölaiuseks on arvestatud W4.



Joonis 4.8: Projekteeritav 1+1 ristlõige.

4.2.4 Ristmikud

Liikluskorraldus ja ohutusvahendid

Liikluskorraldusvahendite paigutus on näidatud lisa 2 joonistel. Arvestatud on kõigi olemasolevate liiklusmärkide ja viitade asendamisega.

Uute liiklusmärkidenä on kasutusele võetud joonisel 4.8 toodud kaherajalise ja üherajalise sõidusuuna märgid koos .

Piirde süsteemid

Liikluskorralduslikult on lõigul sõidusuunad terves ulatuses eraldatud piirdega. Piirdeks on valitud terasest karpprofiiliga piire, mis vastab ohjeldustasemele N2, töölaiuseks on arvestatud W4 2+1 lõikude L11a algusesse PK 1609+26 ja lõik 12b lõppu PK 1680+15 on ettenähtud lõõgisummutid. Lisaks on PK 1647+58 - 1648+90 ette nähtud mõlemale poole teele betoonpiire koos mürakaitseekraaniga, kuna elumajad asuvad maanteele liiga lähedal.

Teekatemärgistus ja tähispostid

Põhitee teekatemärgistus on projekteeritud kogu mahus termoplastikust.

Põhimaantee on tähistatud tähispostidega, tähisposti helkuri värv on toodud liikluskorralduse joonistel. Mahasõitudele mis asuvad PK 1618+37, PK 1643+48, PK 1648+93, PK 1650+59, PK 1652+80, PK 1656+34 ja PK 1660+27 tuleb tähistada kuue kollase tähispostiga, ülejäänud mahasõitudele on ette nähtud sinised tähispostid.

Põristid

Lõigule on mõlemas sõidusuunas sõiduradade välimistesse servadesse markeeringu 912 alla ettenähtud freesitud põristid, mis on ette nähtud freesida vastavalt teetööde tehnilisele kirjeldusele mõõtudega laius 300 mm, pikkus 150 mm, sügavus 10 mm. Kohtades, kus elamud on teele ligemal kui 100 m pole põristit ette nähtud.

4.3 Tasuvusanalüüs

4.3.1 Metoodika

Tulu-kulu analüüsi metoodiliseks aluseks on Euroopa Komisjoni juhend. Analüüsi vaatlusperioodiks on 25 aastat (soovituslik vaatlusperiood tee infrastruktuuriprojektidel on 25-30 aastat) [46], diskontomääraks on võetud 4% [33] ja investeeringu jääkväärtuseks vaatlusperioodi lõpuks on 30% (konsultandi eksperthinnang).

Projekti sisendina on kasutatud alljärgnevaid muutujaid:

- investeeringu maksumus;
- perioodiline hoolde maksumus
- rutiinse hoolde maksumus;
- teekasutaja ajakulu;
- liiklusõnnetuste kulu.

Tulu-kulu analüüsis võrreldakse lisandkulude meetodil kahte alternatiivi:

0-alternatiiv

0-alternatiiviks on olemasoleva olukorra jätkumine. Lõigul tehakse vajaminevaid remonttöid (tasandusfreesimine ja ülekate) ehk perioodilist hoolet 7-aastase intervalliga. Aastaringselt teostatakse rutiinset hoolet.

Projekti alternatiivi liiklusvoo keskmiseks kiiruseks tulu-kulu analüüsi arvutustes on võetud 80 km/h.

Projekti alternatiiv

Projekti alternatiivi kohaselt valmib aastal 2018 E263 maantee km 160,8-168,1 Valmotsa-Kärevere teelõik. Ehitusajaks on üks aasta. Teelõigu tehnilist lahendust on kirjeldatud käesoleva töö peatükis 4. Lõigul tehakse vajaminevaid remonttöid (tasandusfreesimine ja ülekate) ehk perioodilist hoolet 7-aastase intervalliga. Aastaringselt teostatakse rutiinset hoolet.

Projekti alternatiivi liiklusvoo keskmiseks kiiruseks tulu-kulu analüüsi arvutustes on võetud 90km/h.

4.3.2 Kulude ühikhinnad

Projekti alternatiivi ehitusmaksumus

Projekti alternatiivi ehitusmaksumuseks on statistiliste ehitusmaksumuste alusel eeldatud 4 130 873 €. Ehitusmaksumus on arvestatud ilma käibemaksu ja ettenägemata kuludeta.

Perioodilise- ja rutiinse hoolde kulud

Analüüsis on kasutatud perioodilise- ja rutiinse hoolde kulude ühikhinnas on toodud tabelis 4.2.

Tabel 4.2: Perioodilise- ja rutiinse hoolde kulud

Tee ristlõige	Ühikmaksumus	Ühik	Allikas
Perioodiline hoole, kulu aastas			
	16	€/m ²	MA
1+1 tee	144 000	€/km	MA
2+1 tee	192 000	€/km	MA
2+2 tee	288 000	€/km	MA
Rutiinne hoole, kulu aastas			
1+1 tee	4 400	€/km	MA
2+1 tee	6 000	€/km	konsultandi hinnang
2+2 tee	6 600	€/km	MA

Teekasutaja ajakulud

Teekasutaja ajakulude aluseks on keskmine brutopalk Eestis. 2014. aasta IV kvartalis oli Statistikaameti andmetel Eesti keskmiseks brutopalgaks 1 039 €/kuus [55]. Ühe kuu keskmine töötundide arv on 168. Keskmiseks brutotunnipalgaks on seega 6,2 €.

Tallinna Tehnikaülikooli uurimistöö kohaselt on maanteedel keskmiselt 45,8% töösõite ja 54,2% vabaajasõite [56]. Kuna Eestis ei ole seniajani vahet tehtud töösõitude ja vabaajasõitude maksumuste vahel, siis on soovituslikult ajakuludeks kasutatud 35% keskmisest brutopalgast ehk 2,2 €/h.

Keskmiseks sõitjate arvuks erinevates sõidukites on analüüsis kasutatud eelpool mainitud Tallinna Tehnikaülikooli uurimistöö andmeid, vt tabel 4.3.

Tabel 4.3: Keskmine sõitjate arv erinevates sõidukites

Sõiduki liik	Keskmine sõitjate arv
Sõiduauto (maanteel)	1,5
Buss	20
Veoauto	1

Liiklusõnnetuste kulud

Käesolevaga ei registreerita Eestis liiklusõnnetuste tagajärjel tõsiselt vigastada saanud inimeste arvu. Euroopa Liidu määratluse alusel on raskelt vigastatu see, kes peab haiglasse jääma kauemaks kui 24 tundi. Sellest määratlusest tulenevalt on riigis tervikuna raskelt vigastatuid ca 28% kõigist vigastatuist. Analüüsis on arvestatud eeldusega, et vigastatute koguarvust moodustavad 20% invaliidistunud inimesed. Liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad on toodud tabelis 4.4.

Tabel 4.4: Liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad[57]

	Ühikkulu	Kuluühik
Liiklusõnnetuses hukkunu	1 995 458	€/hukkunu
Liiklusõnnetuses invaliidistunu (20% vigastatutest)	674 248	€/invaliidistunu
Liiklusõnnetuses vigastatu	26 078	€/vigastatu
Keskmine invaliidistunu+vigastatu hind	155 712	€/vigastatu

Liiklusõnnetuste kulude säästu arvutamiseks on kasutatud lähteandmetena Tallinn-Narva mnt; Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa mnt ja Tallinn-Pärnu-Ikla mnt liiklusõnnetuste andmeid. Nimetatud lähteandmetest on leitud õnnetuste tasemed 2+2 ja 1+1 ristlõigetele miljoni autokilomeetri kohta. 2+1 ristlõike prognoositav õnnetuste tase miljoni autokilomeetri kohta on leitud kasutades eelnimetatud Eesti 2+2 maanteede lähteandmeid ja Rootsi 2+2 ja 2+1 teede liiklusõnnetuste tasemete suhtarve erinevate ristlõikega teetüüpidel. Analüüsis kasutatud liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad erinevate ristlõigetega teedel on toodud tabelis 4.5

Tabel 4.5: Liiklusõnnetuste kulude ühikhinnad erinevate ristlõigetega teedel

Tee tüüp	Hukkunud	Inimvigastustega kokku (milj. a-km kohta)	Tõsiselt vigastatud (milj. a-km kohta)	Kergelt vigastatuid (milj. a-km kohta)	LÕ kulu 1 milj. a-km kohta
1+1	0,027	0,211	0,0422	0,1688	86733
2+1 ja 1+1 keskpäärdega	0,013	0,092	0,0184	0,0736	40266
2+2	0,01	0,092	0,0184	0,0736	9821

4.3.3 Tulu-kulu analüüsi tulemused

Tulu-kulu analüüsi diskonteeritud rahavoogude tabel on esitatud lisa 1-

Projekti diskonteeritud kulud ja tulud on toodud tabelis 4.6.

Tabel 4.6: Projekti diskonteeritud tulud ja kulud

Projekti kulud ja tulud	Summa
Investeering	-4 130 873 €
Jääkväärtus	464 868 €
Remont	641 957 €
Rutiinne hoole	-127 658 €
Ajakulu	1 878 589 €
LÕ kulu	2 438 727 €
Kokku	1 165 611 €

Projekti tulu-kulu analüüs kokkuvõtlikud tulemused on esitatud tabelis 4.7

Tabel 4.7: Tulu-kulu analüüsi tulemused

Majanduslik näitaja	Väärtus
Majanduslik ajaldatud puhasväärtus	1 165 611,40 €
Sisemine tasuvusmäär	6,79%
Tulu-kulu suhe	1,32

Projekti majanduslikud näitajad ületavad etteantud tasuvuse piirväärtusi:

- Projekti majanduslik ajaldatud puhasväärtus > 0 € (projekti diskonteeritud tulude ja kulude summa on positiivne);
- Sisemine tasuvusmäär > 4% (projekti majanduslik tasuvusmäär ületab diskontomäära);

- Tulu-kulu suhe > 0 (projekti diskonteeritud tulud ületavad diskonteeritud kulusid).

Projekt on sotsiaalmajanduslikult tasuv.

4.3.4 Tundlikkusanalüüs

Tundlikkusanalüüs käsitleb projekti sisendnäitajate muutustest mõju projekti majanduslikule tasuvusele.

Kuna olulisemad tulu-kulu analüüsi sisendnäitaja on investeering, siis on valitud tundlikkusanalüüsi sisendiks investeeringu (ehitustööde) kallinemine 20%.

Tundlikkusanalüüsi tulemused on esitatud tabelis 4.8.

Tabel 4.8: Tundlikkusanalüüs, investeeringu kallinemine 20%

Majanduslik näitaja	Väärtus
Majanduslik ajaldatud puhasväärtus	432 410,39 €
Sisemine tasuvusmäär	4,85%
Tulu-kulu suhe	1,1

Ehitustööde kallinemisel 20% võrra on projekt endiselt sotsiaalmajanduslikult tasuv.

Kokkuvõte

Käesoleva töö käigus on uuritud 2+1 teedega seonduvaid tehnilis-majanduslike ja liiklusohutusalaseid aspekte, ning ühtlasi analüüsida selle võimalikku rakendamist Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa maanteel. Järgnev kokkuvõte annab ülevaate uurimustöös saadud tulemustest.

Eesti uue liiklusohutusprogrammi 2016 – 2025 kohaselt on seatud üldeesmärgiks, et aastaks 2025 ei hukuks liikluses rohkem kui 40 inimest ning vigastatute arv ei ületaks 330 aastas. Kuna tavalisel kahe rajalisel maanteel on üheks põhiliseks tõsiste tagajärgedega liiklusõnnetuste tüübiks kokkupõrge vastutuleva sõidukiga, on selle vältimiseks Rootsi Kuningriigis ja mitmetes teistes riikides kasutusele võetud 2+1 ristlõikega maantee, mis koosneb kolmest sõidurajast ning sõidusuundasi eraldavast füüsilisest keskpäirdest.

2+1 ristlõikega teed paistavad eelkõige silma oma kõrgema liiklusohutustaseme, keskmise kiiruse ning teenindustaseme poolest. Erinevate statistikate ja uuringute kohaselt on Rootsis tänu 2+1 lahendusele vähenenud surmaga ja tõsiste vigastustega lõppevate liiklusõnnetuste arv rohkem kui poole võrra. Liiklusohutuse seisukohalt mängib olulist rolli ka piirkiirus tagades 90 km/h lõikudel märkimisväärselt kõrgema liiklusohutustaseme kui 110 km/h piirkiirusega teelõikudel. Lisaks omab 2+1 tee tänu reguleeritud möödasõitudele paremat teenindustaset kui tavaline kahe rajaline maantee, vähendades kolonnis sõitvate sõidukite arvu ja möödasõidu võimaluse puudumisest tulenevat ajakulu.

Läbi aastate on Rootsi 2+1 teede kavandamisel kasutatud erinevaid ristlõikeid sõltuvalt tee tüübist ja laiusest. Analüüsides erinevate ristlõike vaba ruumi laiust, kujunes kõige optimaalseimaks lahenduseks 2012. aasta projekteerimismäärde esitatud 14,0 m laiune ristlõige, kus on teekasutajatele tagatud kõige paremad tingimused liiklemiseks. Samade parameetritega ristlõige on esitatud ka Eesti maanteed projekteerimismäärde. Siiski tuleks erinevatel objektidel ristlõike laiusparameetrite määramisel arvestada raskeveokite osakaaluga, kuna antud ristlõikel pole raskeveokite omavaheline vaba ruumi laius piisav.

Möödasõiduradade pikkuste määramisel lähtuda liiklussagedusest ja raskeveokite osakaalust. Põhinedes erinevate uuringutele osutub kõige optimaalseimaks möödasõidulõigu pikkuseks 1,0 – 2,0 km tagamaks parima teenindustaseme nii ühe kui ka kahe rajalisel sõidusuunal. Keskpäirde valikul tuleb silmas pidada tee geomeetria tulenevaid eripärasusi, et keskpäire ei piiraks ristmike piirkonnas nähtavust, samuti ei tohiks plaanikõverikel kasutada pingestatud trosspiiret. Arvestama peab ka eraldusriba laiusega ja sellest lähtuvalt valida sobiva töölaiuse

ja jäikusega piirde tüübi. Elutsüklimaksumuse poolest osutub kõige soodsamaks “Dutch Step”, betoonpiirded tänu oma vähestele hoolekuludele. Metallpiiretes osutus kõige soodsamaks W-ristlõikega metallpiire.

Teekasutajate rahulolu uuringus selgus, et üle poolte teekasutajates peab uut 2+1 lahendust paremaks võrreldes varasema 13,0 m laiuse maanteeaga. Positiivsena toodi välja üldise liiklusohutuse ja turvalisuse paranemist ning põnevamat ja huvitavamat liiklemist. Negatiivseks peeti keskpiirde tõttu vasakpöörde piiramist, ebapiisavat nähtavuskaugust ristmikel, liiga kitsast üherajalist sõidusuunda ning ebapiisavaid hädapeatusmitaskuid. Operatiivsõiduki juhtide arvates on 2+1 lahenduse tõttu õnnetuspaigale jõudmise teekond pikem ning keerulisem.

Käesoleva töö koostamise raames läbiviidud analüüsi tulemusena leidis autor, et 2+1 ristlõikega teelõigud on üheks võimalikuks põhimaantee nr 2 Mäo – Tartu vahelise teelõigu liiklusohutuse ja teenindustaseme tõstmise meetmeks. Antud maantee on üks suurima liiklussagedusega põhimaantee Eestis, kus põhilisteks liiklusõnnetuste tüüpideks on teelt väljasõidud ning kokkupõrged vastutuleva sõidukiga. Lähtuvalt liiklusohutlikest teelõikudest ja kohtadest on leitud kaks potentsiaalselt teelõiku rakendamaks 2+1 ristlõikega lahendust. Majandusliku tasuvuse määramiseks on Valmaotsa - Kärevere teelõigu 2+1 näidisprojektile koostatud tasuvusanalüüs, mille kohaselt ületab projekti majanduslik tasuvusmäär diskontomäära ning diskonteeritud tulud ületavad diskonteeritud kulusid.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli analüüsida ja välja selgitada 2+1 ristlõikega maantee tehnilis-majanduslikud ja liiklusohutuselased aspektid, mille alusel saab eeldada, et 2+1 lahenduse rakendamine on üheks võimalikkus Eesti maanteede liiklusohutust tõstvaks meetmeks majanduslikult tasuval viisil. Siiski pole erinevate liikluskultuuride tõttu otstarbekas tuua paralleele Rootsi ja perspektiivse Eesti 2+1 teede liiklusohutustasemete vahel

Summary

The aim of this thesis was to analyse technical, economical and traffic safety aspects of 2+1 road and possible ways of its implementation in Estonian road transport system as one of the potential methods for improving Estonian traffic safety. The following summary presented below outlines the main findings and results the Author of this thesis has reached to.

According to „Estonian National Road Safety Programme“ Estonian Road Administration has set an ambitious target to halve the number of road deaths by year 2025. Since the main approach to safer roads, Sweden has implemented 2+1 roads which has a continuous three-lane cross section with alternating passing lane separated with a physical barrier.

2+1 roads which has been implemented in Sweden and in many other countries has been proven to improve traffic operational level of service, safety and rise average speed. In terms of safety effect according to different statistics and analysts the implementation of 2+1 roads have resulted in about 76% lower number of road deaths compared to ordinary two-lane highway. Additionally the number of serious injuries have decreased up to 39-63% depending on speed limit. As reported by The Swedish National Road and Transport Research Institute the overall road accidents have decreased almost 80%. Furthermore it has been found that 2+1 roads serve higher average speed than regular two-lane highway. Mean speed for passenger cars at 90 km/h has increased to 101 km/h and roads with speed limit 110km/h have mean speed about 107 km/h. Speed difference between one-and two-lane segments is about 5 km/h.

Comparing two-lane roadway with 2+1 road it has been found that the addition of passing lane improves the level on service in many cases. The comparison shows that at medium and high volumes, 2+1 roadways provide about 14% - 27% lower time spent following granting level of service B up to 1600 veh/h two-way volume. In addition according to Japan traffic flow micro-simulation 2+1 roads with 3km interval reduce follower density 30-33% providing level of service B on dry road with one-way volume of 500 veh/h and 400 veh/h on compacted snow road. According to different countries 2+1 roads accommodate average daily traffic volumes between 4000 – 30 000 veh/day and the capacity in one direction about 1200 – 1900 veh/h.

Analysing free traffic space on different 2+1 cross sections given in Sweden road design standard, it has been found that 14,0 m wide cross sections given in year 2012 Sweden road design standard provide the best free space conditions for road users. 2+1 road cross-section given in Estonian Road design guidelines and rules has the same parameters as Sweden 14,0 m wide MLV type of road. Despite rigid requirements for free traffic space the given cross-

section still provides sufficient free space condition between passenger cars at design speed of 100 km/h. However it does not provide sufficient free space between heavy vehicles and pedestrians. Therefore while designing a 2+1 roadway the possibility of higher heavy vehicle volume and pedestrians must be taken account.

Passing lane lengths in different countries where 2+1 roads have implemented vary between 0,35 (Denmark) to 3,0 km (Ireland) having average about 1,35 km. According to different analysis the optimum length of passing lane should be 1,0 to 2,0 km. Lengths below 1,0km should not be used as they are not effective in reducing vehicle platooning and over 2,0km passing lanes may be underused.

The main purpose for middle barrier is to improve safety performance on 2+1 roads by avoiding head-on crashes, although middle barriers may lead to an increase of minor crashes. Choosing the right type of middle barrier the roadway geometrical design and median strip width must be considered among the other factors to avoid blocking sight distance. In terms of economical aspects Dutch step concrete barrier and W-shape steel barrier turned out to be the most reasonable choice.

According to different driver surveys a great number of road users found new 2+1 design better than old 13,0m wide road. Almost 80 % on road users admit that overall safety has improved. It has also been mentioned that driving on 2+1 road is more exciting and eventful. The survey also highlighted number of negative aspects that road users felt required attention like prohibition of left turns due to median barrier, inadequate sight distance at intersections and too narrow one-lane segment. In addition police and emergency drivers found that due to middle barrier the distance to scene is complicated.

Possibilities for implementing 2+1 road for Estonian traffic infrastructure is analysed based on example of road section located between Mäo and Tartu at Tallinn-Tartu – Võru – Luhamaa roadway. The above mentioned road section is known as one of the highest traffic volume roadway with high number of road accidents therefore two potential 2+1 road sections have been suggested based on traffic volume and accident concentration sections. In addition cost-benefit analysis has been made for demonstration project. As a result internal rate of return is 6,79% which higher than discount rate (4%) and cost-income ratio is 1.32. In addition rising total project investment by 20% the cost-income ratio still exceeds 1,0. Therefore 2+1 roads are economically viable and could be one way to improve traffic safety and operational level of service on Estonian road system.

Kasutatud kirjandus

1. Road safety evolution in EU. European Commission. CARE. 2016.
2. White paper on Transport 2050. European Commission. Brüssel. 2011.
3. VALGE RAAMAT. Euroopa ühtse transpordipiirkonna tegevuskava – Konkurentsivõimelise ja ressursitõhusa transpordisüsteemi suunas. European Commission. Brüssel. 2011
4. Transpordi arengukava 2014-2020. Majandus ja Kommunikatsiooniministeerium. Eesti Vabariik 2013.
5. Eesti Rahvuslik Liiklusohutusprogramm aastateks 2003 – 2015. Vabariigi Valitsus. Tallinn. 2013.
6. Eesti Rahvuslik Liiklusohutusprogramm aastateks 2003 – 2015 täiendatud terviktekst. Vabariigi Valitsus. Tallinn. 2012.
7. 2015 road safety statistics: What is behind the figures?. European Commission. Brüssel. 2016
8. **Dago Antov**. Ekspert: liiklussüsteemi tuleb planeerida nullvisiooni põhimõttel - *Postimees*, 2016, 3. mai, 2016
9. Liiklusohutusprogramm 2016-2025. Maanteeamet.
<http://www.mnt.ee/index.php?id=28286>. 3. aprill. 2016
10. Kasutatud mõisted. Maanteeamet.
11. **Stephen Perkins**. Better Reporting on Serious Injuries for Better Policy-making. Joint Transport Research Centre. International Transport Forum.
12. Liiklusõnnetustest ühiskonnale põhjustatud kahjude määramise meetodika täiustamine, kahjude suuruse hindamine ja prognoosimine. Tehnika Ülikooli Logistikainsituut. Tallinn. 2012.
13. Vigastuste ja vigastussurmade ennetamise poliitika kooridneerimise rakkerühm. Riigikantselei. Eesti Vabariik. 2014
14. **Mohammad Essa**. Calibration and validation of traffic microsimulation models for safety evaluation using automated video-based conflict analysis. The university of British Columbia. Vancouver. 2015.
15. **Christer Hyden**. The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique Lund Institute of Technology. Rootsi 1987.

16. **Trosten Bergh, Arne Carlsson.** Design criteria and traffic performance research in new Swedish guidelines on rural highways, National Swedish Road Administration (NSRA), Swedish Road and Traffic Research Institute (VTI).
17. **Trosten Bergh, Arne Carlsson,** 2+1 Roads With and Without Cable Barriers: Speed Performance, , National Swedish Road Administration (NSRA), Swedish Road and Traffic Research Institute (VTI) 2000.
18. Safety Standards for Road Design and Redesign. SAFESTAR. Institute for Road Safety Research, Leidschendam, Holland, 2012
19. Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads. RISER consortium. Chalmers University of Technology. Rootsi. 2005.
20. Paved Shoulder Width. iRAP – Road Attribute Risk Factors. 2013.
21. **Douglas W. Harwood, Adolf D. May, Ingrid B. Anderson, Lannon Leiman, ja A. Ricardo Archilla,** Capacity and quality of service of two-lane highways, Midwest Research Institute University of California-Berkeley. 1999.
22. Vägverket; Svenska Kommunförbundet, Vägar och gators utformning, Sektion landsbygd – vägrum 2004:80 , Rootsi, 2004
23. Maantee Projektteerimisnormid, Majandus-ja taristuministri 5. augusti 2015.a määrus 106. Eesti Vabariik. 2015.
24. Trafikverket, Sveriges Kommuner och Landsting, Råd för vägars och gators utforming 2012:180;Rootsi 2012
25. Trafikverket, Sveriges Kommuner och Landsting, Krav för vägars och gators utforming 2012:179, Rootsi 2012
26. Vägverket; Svenska Kommunförbundet, Vägar och gators utformning, Sektion tätort gaturum2004:80 , Rootsi, 2004
27. **Torsten Bergh,** Country report Sweden, Swedish Road Administration (SRA). Rootsi.
28. **Arne Carlsson.** Evaluation of 2+1-roads with cable barrier. VTI rapport 636A. Rootsi. 2009.
29. **Magnus Larsson, Nimmi Candappa, Bruce Corben.** Flexible Barrier Systems Along High-Speed Roads: A Lifesaving Opportunity. MONASH University Accident Research Centre. Australia. 2003.
30. **John Whitelegg, Gary Haq.** Vision Zero: Adopting a Target of Zero for Road Traffic Fatalities and Serious Injuries. Stockholm Environment Institute. Rootsi. 2006.

31. **Haraldur Sigbórsson, Rögnvaldur Jónsson, Stefán Einarsson, Valdimar Briem.** Vision Zero and Traffic Safety, thoughts on implementation in Iceland, Icelandic Road Administration, Reykjavik University. Iirimaa. 2013.
32. Ulf Brüde. "Dödens väg" som blev lika "dödssäker" som motorväg. www.mittitrafiken.se. Rootsi. 2015.
33. Rahandusministri 11. detsembri 2003. a määrus nr 105. Riigihalduse minister. Eesti Vabariik. 2015.
34. Raul Rom. Ohutu sõidukiirus säästab elusid. Maanteeamet
35. **B. RAY DERR**, Application of European 2+1 Roadway Designs, 2003
36. **Mark D. Wooldridge, Carroll J. Messer, Barry D. Heard, Selvam Raghupathy, Angelia H. Parham, Marcus A. Brewer, Sangsoo Lee.** Design guidelines for passing lanes on two-lane roadways. Texas Transportation Institute, 2001
37. **Douglas W. Harwood.** Passing Lane Effectiveness on Two-Lane Roads, Midwest Research Institute. Kansas City. Ameerika Ühendriigid. 1987.
38. Piirkiirusel on põhjus! Maanteeamet. <http://www.mnt.ee/index.php?id=16207>. 27.detsember. 2015
39. Liikuvate mootorsõidukite omavahelised kokkupõrked. Maanteeamet. <http://www.mnt.ee/failid/lk31.pdf>. 14. märts. 2016
40. **D.W . Harwood, K.M . Bauer, I.B. Potts, D .J. Torbic, K.R. Richa rd, E.R. Kohlman R abbani, E. Hauer, and L. Elefteriadou.** Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes. Midwest Research Institute. Kansas City. Ameerika Ühendriigid. 2002.
41. **Chris Warren.** High Tension Cable Barrier (HTCB). Alberta Transportation. <https://www.transportation.alberta.ca/5479.htm>. 3. märts. 2016.
42. **Carlos Torres.** Cable Barrier for Emergency First Responders. Michigan Department of Transportation Ameerika Ühendriigid. 2011.
43. **G L Villiams.** Whole Life Cost-Benefit Analysis for Median Safety Barriers. Transport Research Laboratory. Ühendkuningriik. 2007
44. Ohjeldamise tase, Inten. <http://www.inten.ee/porkepiirde-abc/ohjeldamise-tase/>. 15. märts 2016.
45. Vägutformning 94 Version S-2. Publikation 2002:125, Rootsi. 2002. lk 15-18
46. Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. European Commission. Brüssel. 2014.

47. **P Kirby, B Wilmshurst.** Operating characteristics and economic evaluation of 2+1 lanes with or without intelligent transport systems assisted merging. University of Canterbury. Uus Meremaa. 2014
48. **Kazunori Munehiro, Hiroyuki Kageyama, Tateki Ishida.** Performance Evaluation of “2+1 Lane” Highway in Hokkaido. Jaapan. 2014.
49. **Tom Hummel.** Safety standards for express roads. SWOV Institute for Road Safety Research. Holland. 1999.
50. Liiklusõnnetuste koondumiskohtade väljaselgitamine. Inseneribüroo Stratum. Tallinn 2013
51. Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa riigimaantee trassi koridori valik. Eesti Vabariigi Valitsus. Tallinn. 1999.
52. **Tiit Metsvahi.** Liikluse baasproгноos Eesti riigimaanteedele aastaks 2040. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn. 2007.
53. **Anna Vadeby, Urban Björketun.** Utvärdering av ändrade hastighetsgränser Långtidseffekter på trafiksäkerhet. VTI rapport 860. Linköping. 2015
54. **J.L Gattis, Ranijt Bhawe, Lynette K. Duncan.** Alternating Passing Lane Lengths.
55. Eesti Statistika, <https://www.stat.ee/90768>, 1. mai 2016
56. **Maano Koppel.** HDM-IV ehitamiseks vajalike liikluskulude arvutamise lähteandmete panga koostamine. Lõpparuanne. Tehnikaülikooli Teedeinstituut. Tallinn. 2003.
57. Liiklusõnnetustest ühiskonnale põhjustatud kahjude määramise meetodika täiustamine, kahjude suuruse hindamine ja prognoosimine. TTÜ Logistikainsituut, Tallinn. 2012.
58. **Suk Ki Lee, Young Rok Kim, Jae Pil Moon, Jai sung Choi, Tae Ho Kim.** Operational Analysis of 2+1 Roadway and its Use in Developing Geometric Design Standards in S Korea. Korea. 2010.
59. Road restraint system – Safety barrier SAFENCE C and SAFENCE according to NE 1317-5:2007/A1:2008. Safefence. 2011.
60. Roadside design. New York state Department of Transportation. 2002
61. **Trosten Bergh, Arne Carlsson, Jan Moberg.** 2+1 Roads with Cable Barriers--A Swedish Success Story. Washington, DC 2001. 2005
62. **Johanna Abrahamsson, Cecilia Olsson.** Brukaraspekter på mötesfriavägar, Lunds Tekniska Högskola Institutionen för Teknikochsamhälle. Rootsi. 2005.

63. Liiklusolukorra paranemisest ei saa rääkida. <http://mnt.ee/index.php?id=29500>.
Maanteeamet. 13. mai. 2016
64. Road Safety: new statistics call for fresh efforts to save lives on EU roads. European Commission. Brüssel 2016.
65. Liiklusohutusprogramm 2016 – 2025. <http://www.mnt.ee/index.php?id=28286>.
Maanteeamet. 15. mai 2016
66. Dhafer Marzougui, Umashankar Mahadevaiah, Fadi Tahan, Cing Dao (Steve) Kan
.Guidance for the Selection, Use, and Maintenance of Cable Barrier Systems.
National Cooperative Highway Research Program, Report 711, Washington, D.C.
2012.

Lisad

LISA 1: Tulu-kulu analüüsi diskonteeritud rahavoogude tabel

KULU-TULU ANAÜÜS

0-ALT miinus PROJ-ALT, DISKONTEERITUD

Diskontomäär	Investeering	Jääkväärtus	Remont	Rutiinne hoole	Ajakulu	LÕ kulu	KOKKU
1,0000	- 4 130 873	-	1 051 200	- 7 680	-	-	- 3 087 353
0,9615	-	-	-	- 7 385	98 749	129 903	221 268
0,9246	-	-	-	- 7 101	97 799	128 653	219 351
0,8890	-	-	-	- 6 827	95 572	124 338	213 083
0,8548	-	-	-	- 6 565	93 397	121 508	208 340
0,8219	-	-	-	- 6 312	91 272	118 743	203 702
0,7903	-	-	-	- 6 070	89 195	116 041	199 166
0,7599	-	-	- 175 085	- 5 836	87 165	113 401	19 645
0,7307	-	-	-	- 5 612	85 182	110 821	190 391
0,7026	-	-	-	- 5 396	83 244	108 300	186 148
0,6756	-	-	-	- 5 188	81 350	105 837	181 999
0,6496	-	-	-	- 4 989	79 500	103 430	177 941
0,6246	-	-	-	- 4 797	77 692	101 078	173 973
0,6006	-	-	-	- 4 612	75 480	97 712	168 579
0,5775	-	-	- 133 050	- 4 435	73 330	94 929	30 774
0,5553	-	-	-	- 4 264	71 242	92 227	159 204
0,5339	-	-	-	- 4 100	69 214	89 601	154 714
0,5134	-	-	-	- 3 943	67 243	87 050	150 351
0,4936	-	-	-	- 3 791	64 961	83 690	144 859
0,4746	-	-	-	- 3 645	62 756	80 849	139 959

Diskontomäär	Investeering	Jääkväärtus	Remont	Rutiinne hoole	Ajakulu	LÕ kulu	KOKKU
0,4564	-	-	-	- 3 505	60 625	78 105	135 225
0,4388	-	-	- 101 107	- 3 370	58 567	75 454	29 544
0,4220	-	-	-	- 3 241	56 579	72 892	126 231
0,4057	-	-	-	- 3 116	54 659	70 418	121 961
0,3901	-	-	-	- 2 996	52 804	68 028	117 836
0,3751	-	464 868	-	- 2 881	51 011	65 719	578 718
KOKKU	- 4 130 873	464 868	641 957	- 127 658	1 878 589	2 438 727	1 165 611
							ENPV
						BCR	1,32

LISA 2: Põhimaantee nr 2 Valmaotsa Kärevere lõigu km 160,7 – 168,1 2+1
möödasõidulade ehituse näidisprojekti asendiplaani joonised

