

Ringristmike konstruktsioonilised tüüplahendused

2018



Ringristmike konstruktsioonilised tüüplahendused

Tellija	Maanteeamet
Tellija esindaja ja kontaktandmed	Aivo Salum aivo.salum@mnt.ee Teelise 4 10916 Tallinn Tel: 5083994
Lepingu nr	1-9/18/0408-1 01.03.2018
Aruande kuupäev	1. september 2018
Aruande nr	ERC/14/2018
Märksõnad	Ringristmik, katend, defektid, koormussagedus, katendi projekteerimine, KAP
Keywords	Roundabout, pavement, defects, traffic loading, pavement design
Töös osalesid	Luule Kaal <i>konsultant, ERC Konsultatsiooni OÜ</i> Tiit Kaal <i>konsultant, ERC Konsultatsiooni OÜ</i> Ain Kendra <i>konsultant, T-Konsult OÜ</i> Riho Eichfuss <i>insener, T-Konsult OÜ</i> Vesa Vainio <i>konsultant, RC-Infra Oy</i> Juha Vainio <i>konsultant, West Coast Road Masters Oy</i> Kaarel Grünberg <i>konsultant, Geotehnika Inseneribüroo G.I.B. OÜ</i>

ERC Konsultatsiooni OÜ
Väike-Ameerika 15-9
10129 Tallinn, Eesti
e-post: info@ercc.ee
tel: +372526984
www.ercc.ee

SISUKORD

1.	Sissejuhatus	4
2.	Eesti normid ja juhendid	5
2.1.	Maanteede projekteerimisnormid	5
2.2.	Linnatänavate standard	8
2.3.	Elastsete teekatendite projekteerimise juhend	11
2.4.	Eestis tehtud uuringud	12
3.	Teiste riikide normid ja juhendid	14
3.1.	Soome	14
3.2.	Holland.....	16
3.3.	Läti	17
3.4.	Ameerika Ühendriigid	17
3.5.	Austraalia	21
3.6.	Taani	21
3.7.	Kokkuvõte	21
4.	Ringristmike valik	22
5.	Ringristmike seisund	23
5.1.	Puurkehad	23
5.2.	Maaradari mõõtmistulemused	24
5.3.	Defektid	26
5.4.	Haardelised omadused	29
5.5.	Teekonstruktsiooni kandevõime	33
5.6.	Roopa sügavus	37
5.7.	Liiklusloendus ja koormussagedus	40
6.	Katendiarvutus.....	42
7.	Ringristmike konstruktsioonilised lahendusvariandid	49
7.1.	Katendikonstruktsioonid	49
7.2.	Sillutiskivide ühendusmaterjalid	50
8.	Kokkuvõte	54
9.	Kasutatud kirjandus	57
LISA 1.	Uurimistöö ringristmikud	58
LISA 2.	Geotehnilise uuringu tulemused	59

LISA 3. Teekatte makrotekstuuri mõõtmistulemused	60
LISA 4. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemused	61
LISA 5. Maaradari mõõtmistulemused	62
LISA 6. Teekatte defektide inventeerimistulemused	63
LISA 7. Ringristmike liiklusloenduse tulemused	64
LISA 8. Teekatte roopa sügavuse mõõtmistulemused	65
LISA 9. Ringristmike pildid	66
LISA 10. Uurimistöö tehniline kirjeldus	67

1. SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel on Eesti riigimaanteedel ja ka kohalikel teedel ehitatud mitmeid ringristmikke. Ringristmikud parandavad liiklusohutust ning jaotavad hästi erinevatelt suundadelt tulevaid liiklusvoogusid, muutes liikluse sujuvamaks.

Tulenevalt ringristmike eripärast tekivad mõningad tehnoloogilised probleemid:

- vahetult ristmiku ees tekib staatilise koormuse kontsentratsioon;
- kitsaste olude tõttu ei sobi ehitamiseks igasugune tehnoloogia;
- raskeveokite laiendustele paigaldatud klompkivid ei püsi kattes;
- ringi negatiivne kalle võib põhjustada talvise libeduse tõttu ringilt väljasõite;
- ringi laiendused keerulised – pragude risk.

Käesoleva uuring peamine eesmärk on esitada ettepanekud ringristmike konstruktsiooniliste lahendusvariantide kohta. Variandid tuleb koostada erinevate teeklasside kohta sõltuvalt koormussagedusest.

Uuringu raames tehtavad tööd on järgmised:

- ülevaade teemaga seotud kehtivatest normidest ja juhenditest;
- ülevaade teistes riikides kasutatavatest lahendustest;
- ülevaade kümne Eesti ringristmiku seisundist;
 - defektid, erinevad mõõtmised (roobas, haardetegur, FWD, GPR), puurkeha;
 - liiklusloendus, koormussagedus;
 - katendiarvutus, võrdlus geoloogilise puuraugu infoga;
- majanduslik võrdlus koos ehituslike maksumustega.

Töö lähteülesanne on täies mahus toodud Lisas 10.

2. EESTI NORMID JA JUHENDID

Ringristmike konstruktsiooniliste elementidega seonduvat on Eesti normides ja juhendites üsna napilt käsitletud. Järgnevalt on toodud lühiülevaade hetkel kehtivatest normidest, mis teemaga seonduvad.

2.1. Maantee projekteerimisnormid

Maantee projekteerimisnormide¹ (MntPN) neljandas peatükis on käsitletud katendiga seonduvat, millest on allpool toodud valik olulisematest punktidest (väljavõtte normist sinise kirjaga; aruande koostajate valikul on osa tekstist rõhutatud – st paksus kirjas).

4.1. Katendi liigitus

(1) **Katendi konstruktsiooni ja katteliigi valikul** tuleb lähtuda projekteeritava maantee klassist, liikluse nõuetest, ehituse ja korrashoiu majanduslikkusest, **perspektiivsest liiklussagedusest ning liikluskoosseisust**, paikkonna kliima-, pinnase- ja hüdrooloogilistest tingimustest ning keskkonnahoiust.

4.2. Katendite üldnõuded

(1) Katendi üldpaksus ja üksikute kihtide paksused peavad tagama kogu konstruktsiooni tugevuse ja külmakindluse kogu projekteeritava kasutusaja kestel.

(3) **Katendi tugevusarvutusel** tuleb arvutamise aluseks võtta aasta, millel **esineb suurim aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus arvutusliku kasutusaja jooksul**, mis taandatakse koormussageduseks.

(4) Mitmerajalise sõiduteega maantee kõigi sõiduradade katend tuleb dimensioneerida ühesugusele suurimale arvutuslikule koormusele.

4.3. Arvutuslikud koormused

(1) Aasta keskmise ööpäevase koormussageduse arvutamiseks vajaliku raskeliikluse osakaalu leidmise meetodika käesoleva määruse lisa punkti 1.3 kohaselt prognoositud eeldatavast liiklussagedusest määrab tee omanik. Koormussageduse leidmiseks: 1) kasutatakse siirdetegureid tabelist 4.2.

Määruse lisa (normi) p4.2 (3) sisu on vananenud ja tugineb VSN 46-83 põhimõttel, projekteerimisjuhendis on rakendatud kumulatiivse koormuse põhimõtet, mis vastab Vene Föderatsioonis ja SRÜ riikides täna kehtivate normidega (ODN, MODN) 2001. aastast.

Maanteeameti peadirektori 29.03.2017 käskkirjaga nr 0088 on kinnitatud „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi“ uus redaktsioon ning selles juhendis on arvutusveokite teljekoormuse taandamiseks toodud uued siirdetegurid.²

Lisaks on juhendis P10.1 toodud koormuse ümberarvestuse skeem seoses katendi soovitava tööea pikendamisega 20-le aastale, mis arvestab kumulatiivse koormuse põhimõtet, kuid

¹ MTM 05.08.2015. a määrus nr 106 „Tee projekteerimise normid“. Lisa „Maantee projekteerimisnormid“.

² Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. MA 2017-003.

taandab arvutusliku koormussageduse hüpoteetilisele 15-nda aasta koormusele, kuna arvutusprogrammi algoritm juhindub sellest.

Eelpool mainitud uued siirdetegurid töötati välja 2015. aastal tehtud uuringu raames³ ning Maanteeameti peadirektori 06.01.2016 käskkirjaga nr 0005 uued siirdetegurid ka kehtestati.

Ehk siis alates 2016. aasta algusest koostatud projektides peaks olema kasutusel koormussageduse arvutamiseks uued siirdetegurid.

Koormuse jaotus sõiduradade vahel sõltub sõiduradade arvust ning sõidutee laiuusest, kuid MntPN-s pole eraldi käsitletud ringristmike osa.

MntPN tabel 4.3. Koormuse jaotus sõiduradade vahel

Sõiduradade arv ristlõikes	Enimkoormatud sõiduraja rajategur a'	Märkus
1	1	
2	0,55	Sõidutee laius üle 6 m
2	0,6	Sõidutee laius 5-6 m
2	0,8	Sõidutee laius kuni 5 m
2	0,9	Ühesuunaline sõidutee
3	0,5	
4	0,45	
6	0,45	

Katendi vähimad nõutavad arvutuslikud koormussagedused ja elastsusmoodulid on toodud MntPN tabelis 4.10 ning sõltuvat maanteeklassist on **Evaj** püsikatendite puhul vahemikus **180-260 MPa**.

4.6. Elastsed katendid

(7) Eeldatava koormussagedusega üle 225 normtelge ööpäevas tuleb teelõikude ühissõidukite peatuses, ristmiku ja raudteeülesõidukohas arvestada staatilise koormusega. Staatilise koormuse esinemisalaks loetakse raudteeülesõidul 100 meetrit raudtee telgjoonest ja samatasandilisel ristmikul ristmiku tsentrist kõigis suundades kogu ristlõike ulatuses, kus koormussagedus ületab 225 normtelge ööpäevas ning sõidukite kiirus langeb vähemalt poole võrra.

(8) Staatilise koormuse esinemisalal tuleb:

- 1) projekteerida katte kaks ülemist kihti jäigemad, kasutades selleks näiteks vastavaid lisandeid;
- 2) kandevkihi alla näha ette kandevkihiga identne kiht (aluse ülaosa asendatakse asfaltbetooniga), mille paksust võib tehnoloogilistel kaalutlustel muuta.

³ Kendra, A. (2015). Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas.

Staatilise koormusega alade katendi tugevdamise põhimõtte pärineb Soome katendite projekteerimisjuhendist „Tierakenteen suunnittelu“ p3.2.3, mille kohaselt staatilise koormuse aladel asendatakse sidumata aluse ülemine kiht kandevkihi asfaltbetooniga 8 cm ulatuses.⁴

2015. aastal koostatud nihkekindlate katendite uuringus⁵ on toodud, et staatilise koormusega ala võib olla ka pikem (120-150 m), juhul kui eelneva teelõigu sõidukiirus on suurem. Kuid sellegipoolest on soovitusena esitatud, et staatilise koormuse alaks peaks lugema vähemalt 100 m enne stopppoont, samas võib aga selle lõpetada varem, kui MntPN-s toodud (ehk ristmiku piiril ristmikult väljasõidul). Selle uuringu raames mõõdeti roopad ja võeti suurkehad kuuel ringristmikul ning tulemused näitasid, et neil ringristmikel, kus roopad ka olid, viitasid need pigem kulumisele, mitte vajumistele/deformatsioonidele. Tõdeti, et tuginedes mõõdetud roopasügavustele pole alust ringristmikel arvestada asümmeetrilisi koormusi, kuid sellegipoolest tuleks katendi projekteerimisel arvestada enamkoormatud haru koormussagedusega.

Samas uuringus on toodud ka ettepanek MntPN punkti 4.6 (8) sõnastuse muutmiseks:

Staatilise koormuse esinemisalal tuleb:

- 1) projekteerida katte kaks ülemist kihti jäigemad, kasutades selleks vastavaid lisandeid ning tagades terasuuruse ja kihipaksuse valikuga nende skeleti;*
- 2) kandevkihi paksust suurendada sõltuvalt koormussagedusest 2...6 cm võrra, vajadusel paigaldades AC base kahes kihis.*

Jäikade katendite teema on MntPN-s toodud punktis 4.7., kuid kuna üldjuhul ehitatakse meil siiski elastseid katendeid, siis seda osa praegusel juhul eraldi välja ei tooda.

Ristmiku kavandamine on käsitletud MntPN viiendas peatükis.

5.1. Üldised nõuded ristmikele

(7) Ristmiku tüübi esmasel valikul tuleb lähtuda joonisest 5.1. Väikest ringristmiku ei kavandata üleeuroopalise teedevõrgu maanteele ja suure raskeliikluse liiklussagedusega maanteele.

5.2.8. Arvutuslik auto

(1) Ristmiku geomeetriline lahendus peab vastama kõige ebasoodsamat tüüpi sõidukile, mis vaadeldaval ristmikul võib liikuda.

Arutusliku auto vähimad välised (RV) pöörderaadiused sõltuvad pöörde sooritamise kiirusest ning arvutusliku auto tüübist ning nt sadulrõngide puhul jääb pöörderaadius vahemikku 13,5-21,5 m (MntPN tabel 5.4).

⁴ Tierakenteen suunnittelu. Tiehallinto, 2004

⁵ Teadus- ja arendustöö. Ristmikel nihkekindlate katendite väljatöötamine. Töö nr 2015-14. ERC/12/2015.

2.2. Linnatänavate standard

Linnatänavate standardis⁶ on koormustega seonduvat käsitletud viiendas peatükis ning tänava konstruktsiooni kuuendas peatükis.

5.2. Koormused ja tarindiohutus

(3) Tegelik liiklussagedus tuleb määrata liiklusloendusega, mille alusel arvutatakse aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus autotüüpide kaupa. Eeldatava ööpäevane arvutuslik koormussagedus tuleb leida antud tänava liiklusproгноosi alusel enamkoormatud sõiduraja kohta. Koormussagedus tuleb leida kehtiva juhendi kohaselt.

6.4 Tänava konstruktsioon

(3) Katendi dimensioneerimisel tuleb koormuseks lugeda 10-tonnine paarisratastega, 0,6 MPa rehvirõhuga telg (standardtelg). Sellest erinevad koormused taandatakse standardtelgedele läbikuteks kasutades selleks kehtivates normdokumentides fikseeritud siirdetegureid.

(4) **Sõidutee katendi konstruktsioon** ja katteliik tuleb valida lähtudes projekteeritava tänava liigist, **eeldatavast koormusest enamkoormatud sõidurajal**, tõenäolisest sõidukite kiirusest ja ehitamise ning korrashoiu majandusliku hindamise tulemusest. Sõidutee katendi valikul on lubatud tüüpkonstruktsioonide kasutamine. Kui tüüpkonstruktsioone ei kasutata, tuleb dimensioneerimisel kasutada üldtunnustatud katendiarvutuse meetodeid sarnasest kliimavööndist, mis arvestavad linnaliikluse eripäradega. Katendi konstruktsioon peab säilitama nõutava tugevuse kogu kasutusea kestel.

(5) Enamkoormatud raja ja selle koormuse valik peab tuginema uuringute tulemusele. Kui nende sooritamine ei osutu võimalikuks (täiesti uus tee) või kui on teavet liikluskoormuste olulise muutuse kohta, siis tuleb lähtuda kõige tõenäosemast analoogolukorrast.

RJ Projekteerimisel juhendatakse koormussagedusest tulenevast vajalikust elastsusmoodulist. Kui eeldatav koormussagedus osutub väiksemaks antud tänavaliigi vähimast koormussagedusest, lähtutakse viimasest (tabel 6.18).

Vähim vajalik **elastsusmoodul** sõltub arvestuslikust koormussagedusest ja tänavaliigist ning linnatänavate puhul on see vahemikus **200-260 MPa** (EVS 843:2016 tabel 6.18).

(7) Ristmikule suubuvale suunal (peatee-kõrvaltee põhimõttel töötava ristmiku kõrvalharu, foorjuhitav ristmik, **ringristmik**), mille suuna liiklussagedus on vähemalt 3000 AKÖL, tuleb **ristmikueelsele lõigule kavandada jäigema pealiskihiga ja nihkekindlam ning purunemiskindlama kivimaterjaliga aluskihiga katend**, mis tiptunnil eeldatava ootejärjekorra pikkuse ulatuses (**50...100 m**) peab olema vastupidav sealsetele nihkepingetele. **Tugevdatud konstruktsioon** tuleb lisaks ristmikule suubuvale suunale kavandada **ka kogu ristmiku ala ulatuses**. Otstarbekas on kavandada tugevdatud konstruktsioon ka ühissõidukite radadele eriti juhul, kui tegemist on tehniliselt piiratud laiusel radadega (sõidukid kulgevad jälg-jäljes).

(8) Asfaltkatte jäikuse saavutamiseks tuleb ette näha suurema terasuurusega kivimaterjali kasutus ja bituumeni madalam penetratsioon või kasutada polümeerlisandiga bituumenit,

⁶ EVS 843:2016 Linnatänavad

seda eriti kulumiskihi all paiknevas kihis (sidekiht). Nihkekindluse saavutamiseks tuleb piirata filleri- ja bituumenisisaldust. Alternatiivsena võib kasutada komposiitkatendit, kus kulumiskiht on küll asfaltbetoonist, kuid selle all paikneb keerulibetoonist (*Roller-compacted-concrete*) aluskiht.

Ristmiku geomeetria on käsitletud standardi peatükis 7.

7.2.7 Ristmiku plaani projekteerimine

(4) Kui suuremat pöörderaadiust nõudvate sõidukite liiklussagedus on alla 30 a/h, siis võib äärekiivi joone projekteerimisel lähtuda kaheteljelise veoauto (prügiveok) pöördekoridorist, kuid sel juhul tuleb kavandada selline nurgalahendus, mis võimaldab suurematel sõidukitel sellest üle sõita (võimalik näide joonis 7.17).



EVS 843:2016 joonis 7.17 – rasketele sõidukitele rajatud ülesõiduala näide

(7) Ringristmiku jaotusringi mõõtmed ja kogu ristmiku geomeetriline lahendus tuleb kujundada sellisena, et see võimaldaks suuregabariidilistel sõidukitel sooritada kõiki pöördeid, kuid samal ajal vähendaks sõiduautode kiirust ristmikul ja sellele lähenedes.

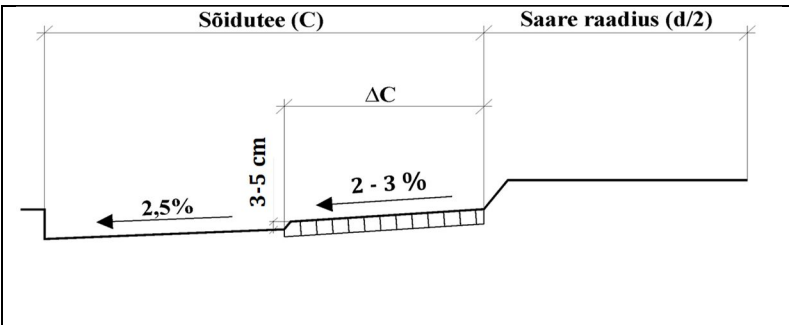
RJ Suure läbilaskvuse ja liikumiskiirust vähendava mõju tõttu võivad ringristmikud osutada sobivateks kõiki liiki tänavatel ja kiirteedel. Ringristmiku jaotusringi läbimõõt seondub tavaliselt tänava klassiga (mida madalam klass, seda väiksem saar). Magistraaltänavatele kavandatavate ringristmike jaotusringi läbimõõt võiks jääda piiridesse 12 m kuni 40 m.

Otsesuunas liikuv või vasakpööret sooritav veoauto või buss kasutab osaliselt või täielikult sõidutee kitsendit. Sõidutee kitsend tuleb rajada kaldu kitsendatud sõidutee poole ja varustada kattega, mis peab vastu veoauto (bussi) ratta koormusele, kuid kitsendust muust teekattest eraldav aste ja ebataasus tõrjuvad eemale sõiduauto kasutajad (tabel 7.12). Kui puuduvad kergliiklejate teeületuskohad, võib ringilt väljasõidu kavandada kiirenevana. Vastasel juhul tuleks ka siin sõiduautode kiirust mõjutada sõidutee parempoolse osa teekitsendi abil.

(8) Ringristmiku jaotusringi läbimõõt, sõidutee ja selle kitsendi laius saare ümber peavad olema kooskõlas liikluskoosseisuga ning vastama tabelis 7.12 esitatud parameetritele. Sisse- ja väljasõiduharu laiuste vähimaid väärtusi tuleb kasutada juhul kui arvutuslikuks autoks on prügiveok (PV), keskmisi väärtusi kui arvutuslikuks autoks on tavabuss (B12) või pikk buss

(B15) ja suurimaid kui arvutuslikuks autoks on autorong (AR). Samas tuleb arvestada ka harude omavahelist geomeetrilist paiknemist ja raskeliikluse vasakpöörde osatähtsust. Kui raskeliikluse osatähtsus on ristmikul üle 5%, siis kitsendi põikkalle ei tohi olla üle 3%.

EVS 843:2016 tabel 7.12 – ringristmike põhielementide mõõtmed



Sõidutee (C)

Saare raadius (d/2)

ΔC

3-5 cm

2,5%

2 - 3 %

d = jaotusringi läbimõõt
C = saare ümber oleva sõidutee laius
 ΔC = sõidutee kitsendi laius

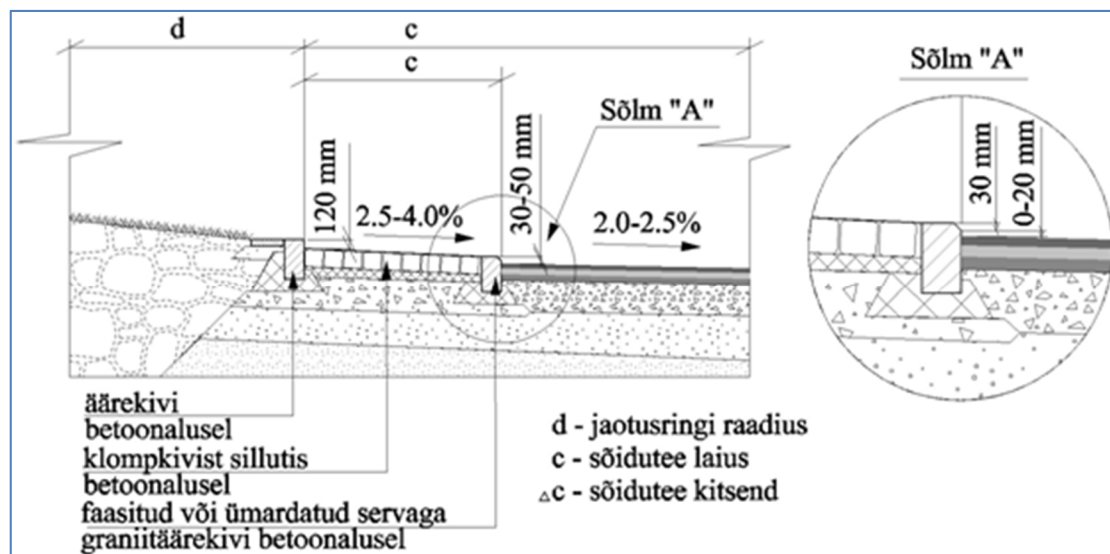
Jaotusringi läbimõõt d (m)	1-rajaline sõidutee		2-rajaline sõidutee C(m)	
	C (m)	ΔC (m)	teekattemärgistusega	teekattemärgistusega
5-12	9	$\leq 2,5$		
12,1-15	8,5	$\leq 2,0$	-	
15,1-20	8	$\leq 2,0$	-	12
20,1-25	7,5	$\leq 2,0$	-	11,5
25,1-30	7	$\leq 1,5$	12	10,5
30,1-40	6,5	$\leq 1,5$	11,5	10
40,1-50	6	1	10,5	9
50,1-60	5,5	0,5	10	8,5

(9) Üherajaliste ringristmike kitsendatud sõidurada peab olema ringikujulise põhiplaaniga.

RJ Kui mõnes sõidusuunas domineerib raskeliiklus, siis sõiduteed võib sõidutee kitsendi arvel laiendada selliselt, et kitsend võib laieneda kuni 4 meetrini. Selle tulemusena muutub jaotussaar ovaalseks.

(10) Sõidutee kitsendile tuleb rajada betoonalus, et see raskete veokite ülesõidu korral ei deformeeruks ja juhul, kui kattematerjalina kasutatakse kive, siis veoki ratas ei tohi kattest üksikuid kive välja kiskuda.

RJ Sõidutee kitsendi sobiv konstruktiivne lahendus on esitatud joonisel 7.23.



EVS 843:2016 joonis 7.23 – sõidutee kitsendi võimalikke konstruktiivseid lahendusi ringristmikul

2.3. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis⁷ käsitletakse katendite tugevusarvutust üksnes dünaamilisele koormusele ning staatilise koormuse mõju osas on arvestatud täiendavate nõuetega materjalidele ja kihipaksustele staatilise koormuse mõjualas (juhendis viide MntPN punktidele 4.6.(7) ja 4.6.(8)).

Ringristmike katendite projekteerimise kohta pole selles juhendis täpsustavaid suuniseid antud.

Ptk 8. Koormamise viis

Sõidutee katend arvutatakse lühiajalisele korduvkoormusele, kusjuures **üksikkoormamise kestvuseks on 0,1 s** (mis vastab maanteekiirustele).

10.1 Ennustusliku koormussageduse Q määramine

Ennustusliku koormussageduse määramine toimub „Liikluse baasprognoos Eesti riigimaanteedele aastaks 2040“, TTÜ lõpparuanne või uuema järgi, lähtudes keskmisest kasvutrendist ja juhul kui tellija ei ole määranud teisi meetodeid.

...

Ennustusliku koormussageduse määramisel tuleb kasutada matemaatilise prognoosi meetodeid (juhul kui baasprognoosi asemel nõutud).

...

Liiklusloendusrea alusel võib ennustuslikku koormussagedust määrata siis, kui tee haardekonna (mõjuala) majanduses pole ette näha muudatusi, mis võiksid mõjutada loendusrea statsionaarset iseloomu.

⁷ Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. MA 2017-003.

Vastavalt eelpool toodule on koormussageduse prognoosi (eelnevalt siis liiklussageduse prognoosi) koostamiseks mitmeid erinevaid võimalusi, mis annavad sõltuvalt algandmetest ka väga erinevaid tulemusi.

Küsitav on ka nõue kasutada baasprognoosis olevaid keskmise taseme kasvutegureid. Võrreldes baasprognoosis olevaid kasvutegureid ja tegelikke muutusi alates 2006. aastast, on näha, et sõidukiklasside lõikes on läbisõidu ja autostumise taseme muutus toimunud erinevalt ning pigem tuleb kasutada erinevate sõidukiklasside jaoks erinevate tasemete (madal, keskmine, kõrge) kasvutegureid.

Suurem probleem on aga see, et baasprognoos on koostatud üle 10 aasta tagasi (2007. aastal, viimased loendusandmed 2006. aastast) ning praeguseks on palju muutunud. Kuna püsiloenduspunktide seadmeid ja tarkvara uuendati perioodil 2007-2008, siis VAAB klassi sõidukite andmed ei ole enam varasemate aastate omadega võrreldavad, mis tekitab probleemi liiklussageduse loendusrea andmeid analüüsides.

2.4. Eestis tehtud uuringud

2008. aastal TTÜ Teedeinstituudi poolt tehtud Tallinna linna tellitud uuringus⁸ on üks osa ringristmike kattekonstruktsioonidest. Järgnevalt on toodud paar väljavõtet (*kaldkirjas*) sellest uuringust.

Optimaalselt käituva katendikonstruktsiooniga ristmikuala ehituse edukus sõltub siiski arusaamast, et ristmikuala katendikonstruktsioon suure liikluskoormusega aladel peaks olema erinev muu liiklusalade katendikonstruktsioonist. Olemasolevate ristmikealade ja muude raskelt koormatud liiklusalade katendikonstruktsioonide seisukorra analüüs peaks olema põhiliseks aluseks otsustusele, kas on vaja teha mingeid korrekture praegu kasutatavates lahendustes. Kuigi nende alade erilahenduste ehitusmaksumused võivad olla tavalahendustega võrreldes kallimad, kasvab katendikonstruktsiooni tööiga ja sellega saavutatakse nimetamisväärne majanduslik kokkuhoid.

Sõidutee katendi osas on toodud selles uuringus järgmist:

Asfaltkattega ringristmike optimaalse töötamise saavutamiseks suurte liikluskoormuste tingimustes tuleb arvestada mitmete abinõudega. Need abinõud on sarnased suure liikluskoormusega liiklusaladele ja aladele, kus liiklus toimub ühes sõidujäljes (näiteks kitsad sõidurajad). [AAPA]

- *Väikese raadiusega ringristmikel suurenevad pinged katendikonstruktsioonis aeglaselt liikuva koormuse tõttu, mis nõuab suuremat tähelepanu katendi projekteerimisel ja ehitamisel.*

⁸ Aavik, A. Katendikonstruktsioonid raske liikluskoormusega ja vanalinna aladel. Lõpparuanne. TTÜ Teedeinstituut, 2008.

- *Asfaltbetoon peab olema tihe, keskmise teramööduga – 14 mm kivimaterjal deformatsioonikindluse ja murenemise vältimiseks.*
- *Asfaltbetoon peaks olema modifitseeriva lisandiga (näiteks Gilsoniit).*
- *Õhemate asfaltkatete puhul peaks kasutama polümeermodifitseeritud bituumenit baasbituumeniga, mille dünaamiline viskoossus on 170 Pa.s (0.17 m²/s) @ 60°C (AS 2341.2) ja pehmenemistäpp 47°C (AS 2341.18). Polümeerilisand suurendab asfaltbetooni tõmbetugevust ja deformatsioonikindlust.*
- *Kerge liiklusega ja suure raadiusega ringristmikel kasutatakse samu asfaltbetoon-segusid, mida ühendusteedel ja –tänavatel.*

Uuringu kokkuvõte ringristmike kattekonstruktsioonidest:

Meil on üldjuhul kitsendi kattekivid paigaldatud liivalusele, mis aga ei pea vastu suurte sõidukite (veokid/bussid, mis vajavad pöörderaadiuse suurendamiseks sõitu kitsendile) poolt tekitatud dünaamilisele ja staatilisele liikluskoormusele, mille tulemuseks ongi kattekivide katest „välja kiskumine“ ja kitsendiala katte deformeerumine. Muijal maailmas kasutatakse ringristmiku sõidutee kitsendi alusena (ehk alusena, kuhu „istutatakse“ kattekivid) eranditult betooni, mis tagab kitsendi deformatsioonikindluse ning kivikatte püsivuse.

Kivist kitsendi ja asfaltbetoonist sõiduosa üleminekul kasutatakse meil tavalist äärekivi. Tuleks mõelda spetsiaalsele kitsenditel kasutatava äärekivitüübi kasutuselevõtule, mis parandaks sõidetavust ning oleks ka esteetilisem.

Suure liikluskoormusega ringristmike asfaltbetoonkate peaks olema valmistatud keskmise teramööduga kivimaterjalist (max 12-14 mm) kasutades üldjuhul killustikmastiksasfalt tüüpi segu ning sideainena peaks kasutama polümeermodifitseeritud bituumeneid, mis tagaksid asfaltbetoonkatte deformatsiooni-, nihke- ja murenemiskindluse.

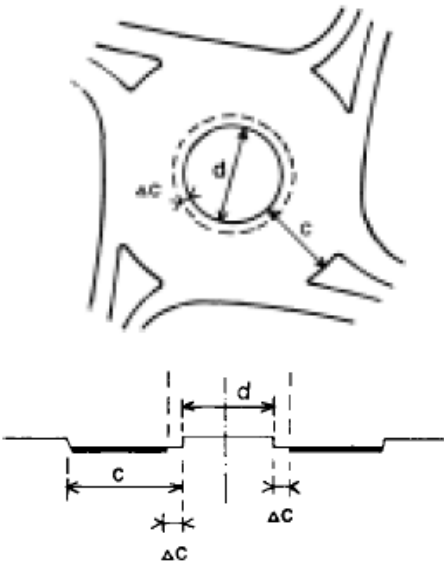
3. TEISTE RIIKIDE NORMID JA JUHENDID

Ringristmike kavandamisel on mitmeid nõudeid, mida jälgima peab – liiklusohutus, läbilaskevõime, geomeetria, nähtavus, piisavalt ruumi raskeliikluse manöövrite jaoks jne. Kui ringristmike geomeetriliste nõuete ja liiklusohutusega seonduva kohta leiab teiste riikide erialasest kirjandusest piisavalt materjali, siis ringristmike konstruktsiooni osas on valik paraku suhteliselt napp.

3.1. Soome

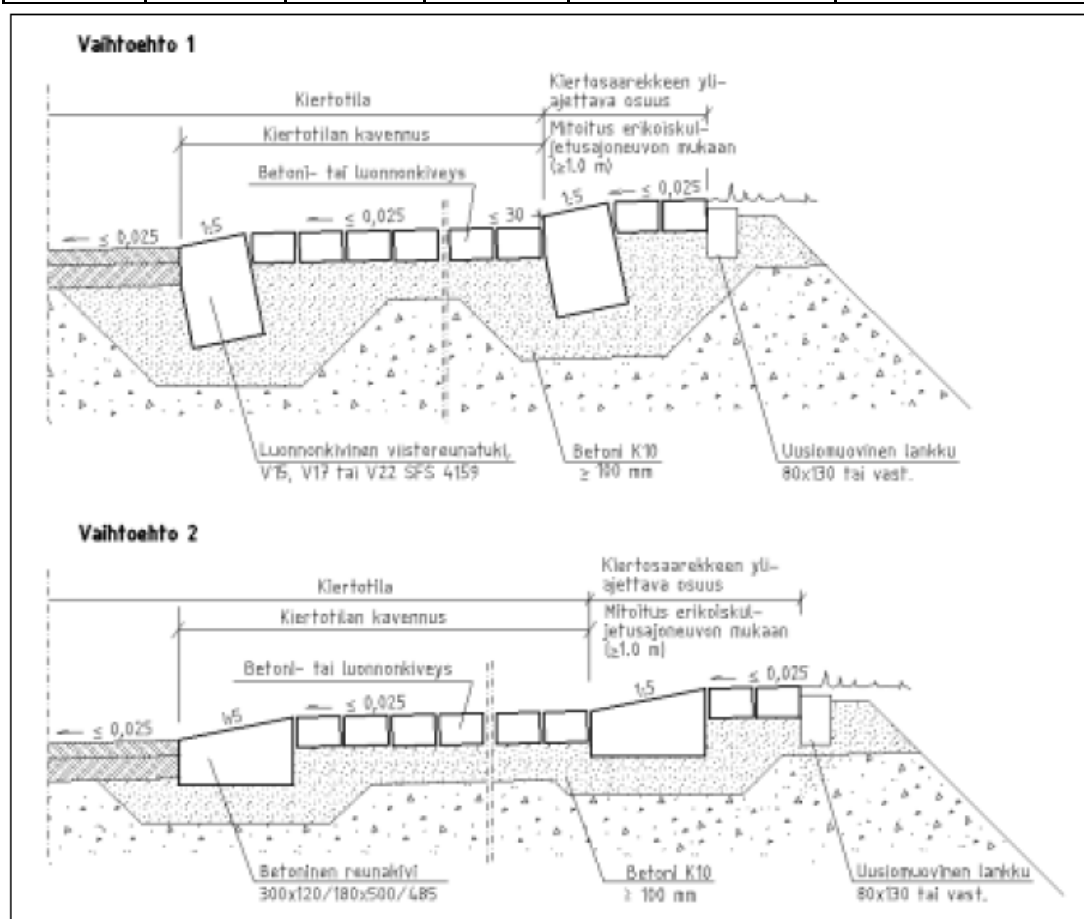
Normaalsuuruste, osade väikeste ($d \geq 9$ m) ja suurte ($d \leq 50$ m) üherajaliste ringristmike sõidutee osa tuleb üldjuhul kitsendada. Ühelt poolt aitab kitsendus (ΔC) vähendada sõiduautode sõidukiirust ristmikul, teiselt poolt toimib see aga ülesõidetava osana nii, et eriveosed ja suuregabariidilised sõidukid pääsevad ristmikust hõlpsamini läbi. Ringi sõidutee kitsend tehakse enamasti kivitatega, arvestades, et see peab raskeliikluse koormusele vastu pidama. Kattematerjalina kasutatakse betoonkive või looduskivi. Sõidutee kitsendi äärekivid tuleb kujundada nii, et need ei lõhuks sõidukite rehve ning ühtlasi ei takistaks neist ülesõitu. Ringi pöördeala kitsenduse ääretugi ei tohiks takistada sõiduki rehvi tõusmist kaldasendis toele (kivisillutisele) talvetingimustes. Sõidutee kitsendi kalle on $\leq 2,5$ %. Ringi erinevate vööndite (sõidutee kitsend, sõidutee) kalle peab olema sarnane, sest suured kaldeerinevused tekitavad probleeme ka nt talihooldel.⁹

Tasoliittymät. Tabel 5.8. Ringristmike põhielementide mõõtmed

	d = jaotusringi läbimõõt C = saare ümber oleva sõidutee laius ΔC = sõidutee kitsendi laius
---	--

⁹ Tasoliittymät. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, 2001.

Ringi tüüp	Jaotusringi läbimõõt d (m)	1-rajaline sõidutee		2-rajaline sõidutee C (m)	
		C (m)	ΔC (m)	teekattemärgistusega	teekattemärgistusega
Mini	< 4	10,0	ülesõidetav		
Väike	4-8	10	ülesõidetav		
	9-12	10,0	$\leq 2,5$		
Normaalne	13-15	9,0	$\leq 2,0$		
	16-20	8,5	$\leq 2,0$		12,0
	21-25	8,0	$\leq 2,0$		11,0
	26-30	7,5	$\leq 1,5$	12,0	10,5
	31-40	7,0	$\leq 1,5$	11,5	10,0
Suur	41-50	6,5	≤ 1	10,5	
	51-60	6,0	0	10,0	



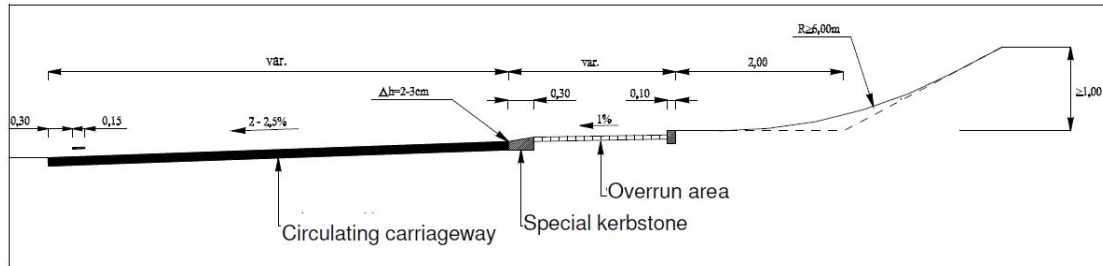
Tasoliittymät. Joonis 5.41. Sõidutee kitsendi konstruktsioonid ringristmikul

Soomes kasutatakse sõidutee kitsendi aluses betooni (tugevusklass K10), mille kihipaksus on vähemalt 10 cm.

InfraRYL kogumikes on täpsustatud, et betoonis peaks olema sideainesisaldus vähemalt 250 kg/m³.

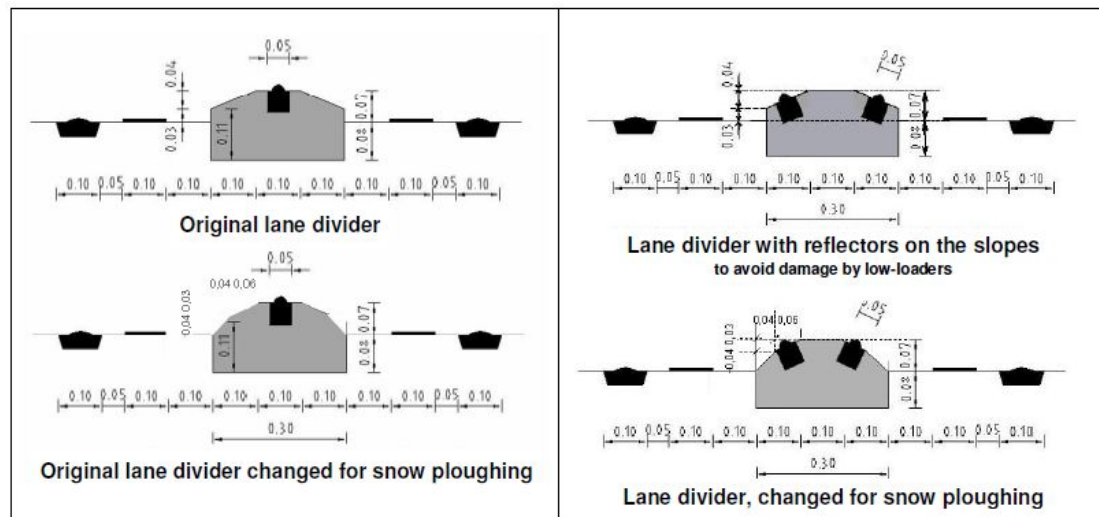
3.2. Holland

Hollandi juhendis soovitatakse sõidutee kitsend teha 1% kaldega ringi välisserva suunas ning sõidutee osa 2-2,5% kaldega.¹⁰



Joonis 3.1. Ringistmiku tüüpiline ristlõige⁹

Turboringidel sõiduradu eraldavate katte kivide osas on kasutusel mitmeid erinevaid variante.



Joonis 3.2. Sõiduradade eraldavate kivide mõõtmed⁹

Vajadusel tehakse raskeliikluse tarbeks ka ringi välisserva ülesõidetav osa.



Joonis 3.3. Ringi välisserva kujundamise näide

¹⁰ Roundabouts – Application and design. A practical manual. Ministry of Transport, Public Works and Water management Partners for Roads. 2009.

3.3. Läti

Konsulteerides Läti kolleegidega, toodi ringristmike osas välja kaks peamist probleemi – nihkepingetest põhjustatud katte pragunemine ning katte murenemine. Mõlemad defektid on põhjustatud raskeliiklusest. Kolmanda probleemina toodi välja ringristmike harudel kandevõime kadu, mis on põhjustatud staatilise ja dünaamilise koormuse koosmõjust ning mille tagajärjel tekib võrkpragu ning roopad. Tavapäraselt projekteeritakse katend kiirusele 80 km/h, kuid ristmike alas võib see osutuda probleemiks.

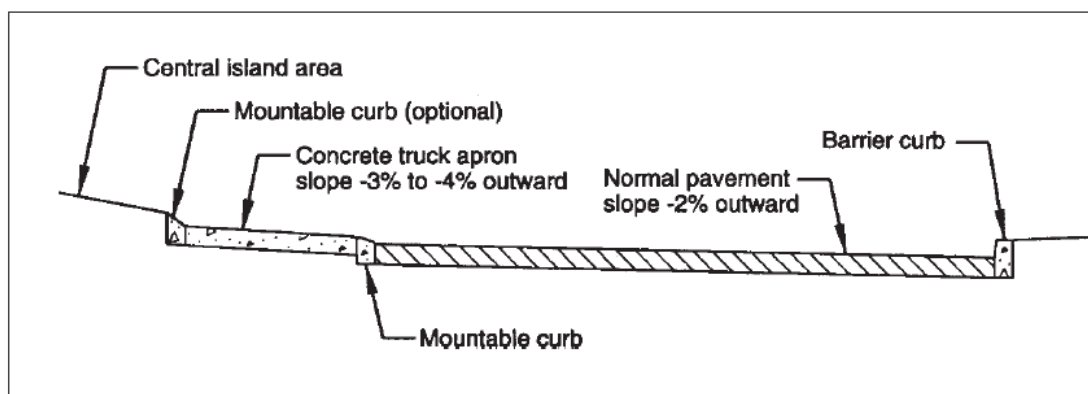
Ringiristmike sõidutee kitsendi osa ehitatakse sarnaselt teiste riikide praktikaga sillutiskividest.

Täpsustavaid uuringuid Lätis tehtud ei ole ning samuti ei ole ka täiendavaid nõudeid ristmikealade katendite projekteerimiseks.

3.4. Ameerika Ühendriigid

Ühe sõidurajaga ringristmikel soovitatakse kalle teha 2% ringi väliskülje suunas.¹¹ Sellel on neli peamist põhjust:

- Sisering on kõrgemal – parendab nähtavust ja suurendab liiklusohutust;
- Sõidukiirused ringil on madalamad;
- Minimeerib ringi põikkalde muutused ringile siseneval ja ringilt väljuval rajal;
- Soodustab sadevee äravoolu ringilt välja.



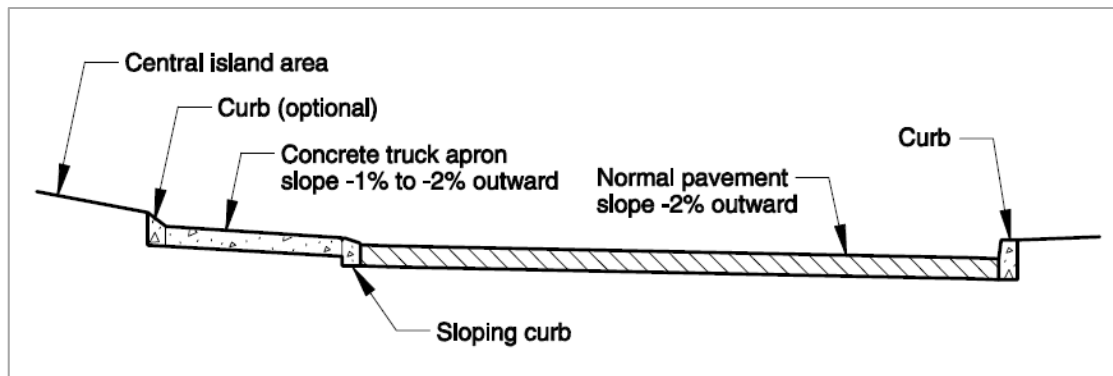
Joonis 3.4. Ringristmiku tüüpiline ristlõige¹⁰

NCHRP ringristmike juhendis¹² on toodud veidi teistsugune ristlõige ning seal on rõhutatud, et sõidutee kitsendi kalle ei tohiks olla suurem kui 2%. Üldjuhul on kalle ringi välisserva poole,

¹¹ Geometric Design. US DoT

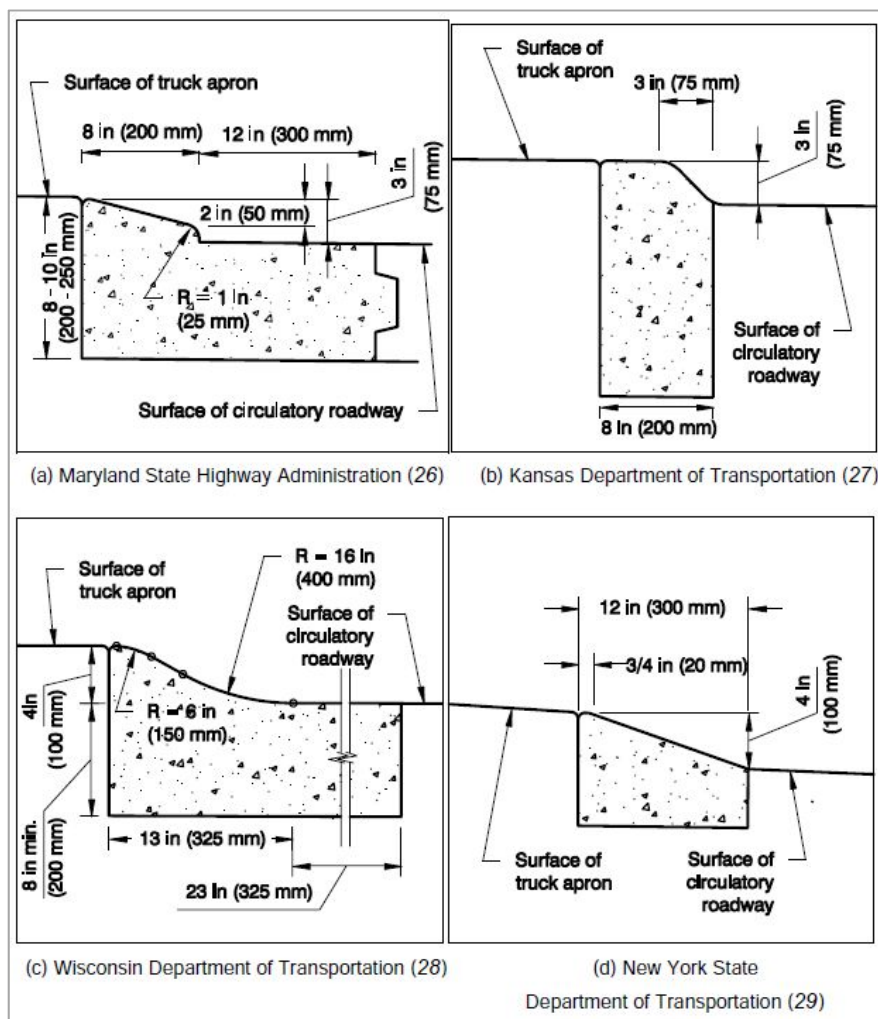
¹² NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide, 2nd ed. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010.

kuid üksikutes kohtades on kasutatud ka jaotusringi poole olevat kallet. Sel puhul on jaotusringil arvestatud ka vee ärajuhtimissüsteemidega.



Joonis 3.5. Ringristmiku tüüpiline ristlõige ¹¹

Sõiduteed ja sõidutee kitsendit eraldava äärekivi osas on USA-s kasutusel mitmeid erinevaid variante (vt joonis 3.6).



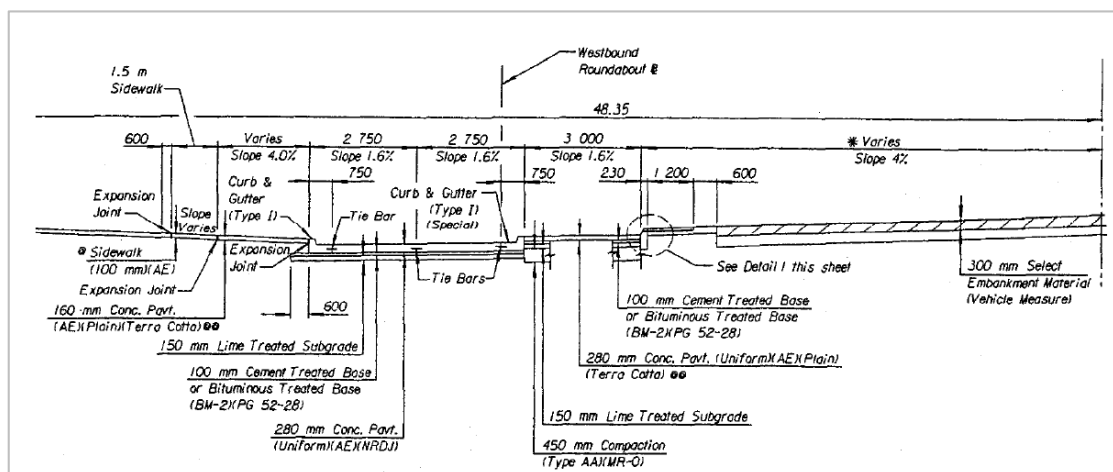
Joonis 3.6. Sõidutee kitsendi äärekivide variandid ¹¹

Ringristmike kattena kasutatakse nii asfalt- kui ka tsementbetooni.¹³ Katte valik sõltub kohalikest eelistustest ning ringi harude teekatte tüübist. Betoonkattel on pikem tööiga ja peab raskele liikluskoormusele paremini vastu, kuid seda on keerulisem paigaldada, kui ristmiku ehitus toimub liikluse all (sel puhul soovitatakse kasutada siis kiirelttarduvat betooni, et minimeerida ristmiku sulgemisaega). Betoonsegede puhul saab kasutada ka erinevaid värvilahendusi, mis rõhutavad liikumistrajektoori kulgemist. Kui kogu ring ehitatakse betoonkattega, siis oluline teema on ka vuukide asukohtade kavandamine.

Asfaltbetoonkatet on liikluse all ehituse puhul lihtsam paigaldada ning nagu Kansase ringristmike juhendis mainitud, tekitab ka parema kontrasti sõidutee ja sõidutee kitsendi vahel, kuna sõidutee kitsend (*truck apron*) tehakse üldjuhul betoonist.

Sõidutee kitsendi kate tehakse USA-s üldjuhul betoonist või siis tsementbetoonalusel oleva kivikattega.

Kansas DoT varasemas ringristmike juhendis¹⁴ on toodud mõningad näidised ka erinevate ringristmike katendikihtidest.

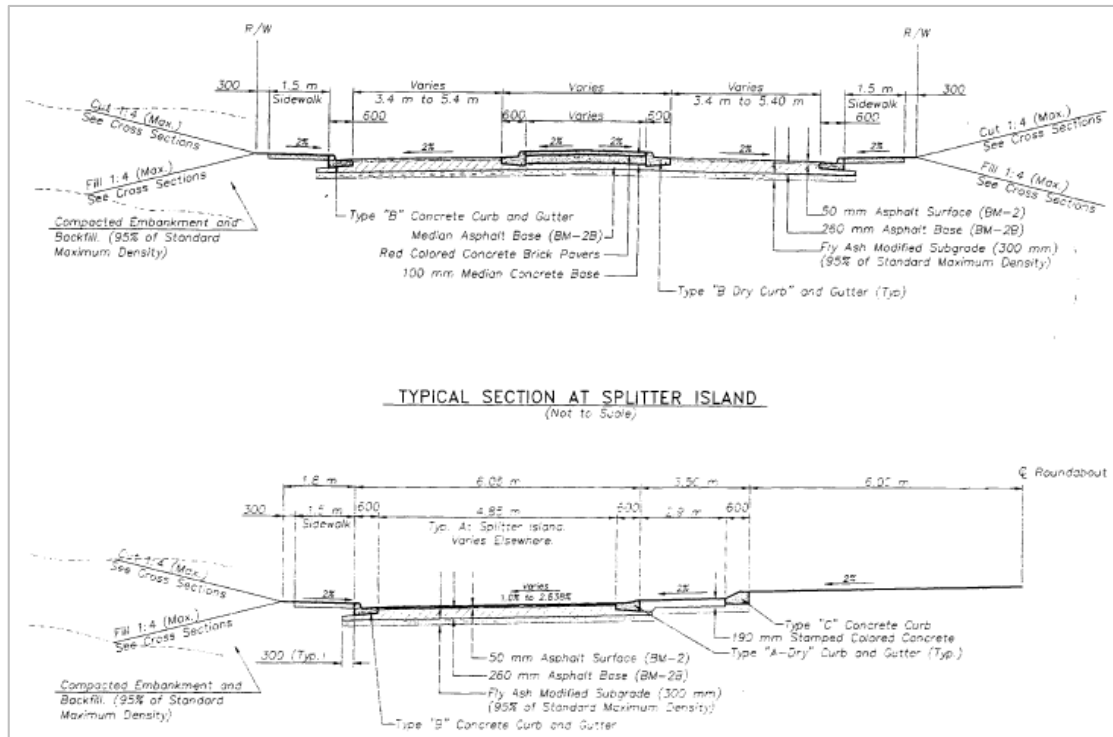


Joonis 3.7. Ringristmiku ristlõige – näidis 1¹²

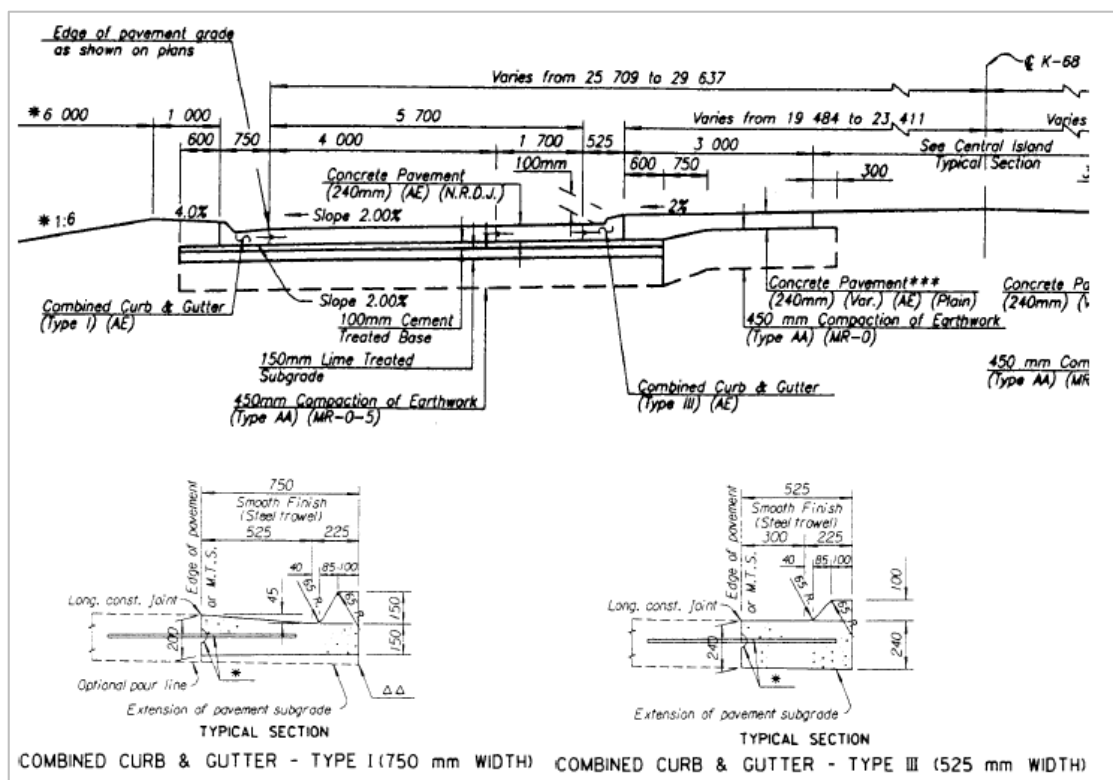
Näidis 1 katend – 150 mm lubjaga stabiliseeritud kiht, 100 mm tsement- või bituumenstabiliseeritud kiht, 280 mm betoonkate.

¹³ Kansas Roundabout Guide. 2nd edition. Kansas DoT, USA, 2014.

¹⁴ Kansas Roundabout Guide. A supplement of FHWA's Roundabouts: An Informational Guide. Kansas DoT, USA, 2003.

Joonis 3.8. Ringristmiku ristlõige – näidis 2 ¹²

Näidis 2 katend – 300 mm tuhaga stabiliseeritud alus, 260 mm asfalt, 50 mm asfaltkate.

Joonis 3.9. Ringristmiku ristlõige – näidis 3 ¹²

Näidis 3 katend – 150 mm lubjaga stabiliseeritud kiht, 100 mm tsementstabiliseeritud kiht, 240 mm betoonkate.

3.5. Austraalia

Ringristmikel ja teistel väikese raadiusega kurvides (ristmike pöördekoriidoridel, rampidel) suureneb liikluskoormuse kahjulik mõju ning selle mõju kompenseerimiseks tuleks arvutuslik koormussagedus korrutada koefitsiendiga 3.¹⁵

Kui Eestis arvestatakse elastsete katendite projekteerimisel lühiajalise korduskoormusega, mis vastab maanteekiirusele, siis Austraalias arvestatakse katendi projektkiirus 10 km/h fooriga ristmikel, ringristmikel ja teelõikudel, kus lubatud sõidukiirus jääb alla 40 km/h.¹⁶

3.6. Taani

Äärekividega piiratud (kanaliseeritud) sõiduradadel kasutatakse täiendavat tegurit koormussagedustele 2,0 ning tavalaiusest (3,75 m) kitsamatel radadel 1,5. Üherajalistel ringristmikel on täiendav tegur koormussagedustele 2,0 ning mitmerajalistel ringidel seda ei kasutata.

Liikluskiirusest sõltuvalt kasutatakse katendiarvutuses asfaltbetooni elastsusmoodulit vastavalt valemile $E_v = E_{60} \cdot (v/60)^{0,37}$, kus E_{60} on elastsusmoodul maanteekiirusel ja E_v elastsusmoodul prognoositud kiirusega konkreetsetel teelõigul. Valemi järgi võib ummikuolukorras asfaldi moodul kahaneda 20% tasemele, mida tuleb arvestada näiteks ka ühissõidukipeatustes.

MMOPP2017 tarkvara uuendustega on tõstetud tsementstabiliseerimise ja madalama survetugevusega betooni kasutust (HBB) teekonstruktsiooni alakihtides (asfaldist kulumiskiht) – vastavalt koormusele valitakse segu sideainesisaldus, kuid kihipaksus on konstantne.

3.7. Kokkuvõte

Ringristmike projekteerimise puhul pannakse rohkem rõhku ristmiku geomeetriaale ja ohutusele, mitte niivõrd katendi konstruktsioonile.

Ringristmiku sõidutee kitsend on soovitatav ehitada betoonalusele.

¹⁵ Austroads Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design. 2012, Austroads.

¹⁶ Selection and Design of Pavements and Surfacing. VicRoads, Australia, 2018.

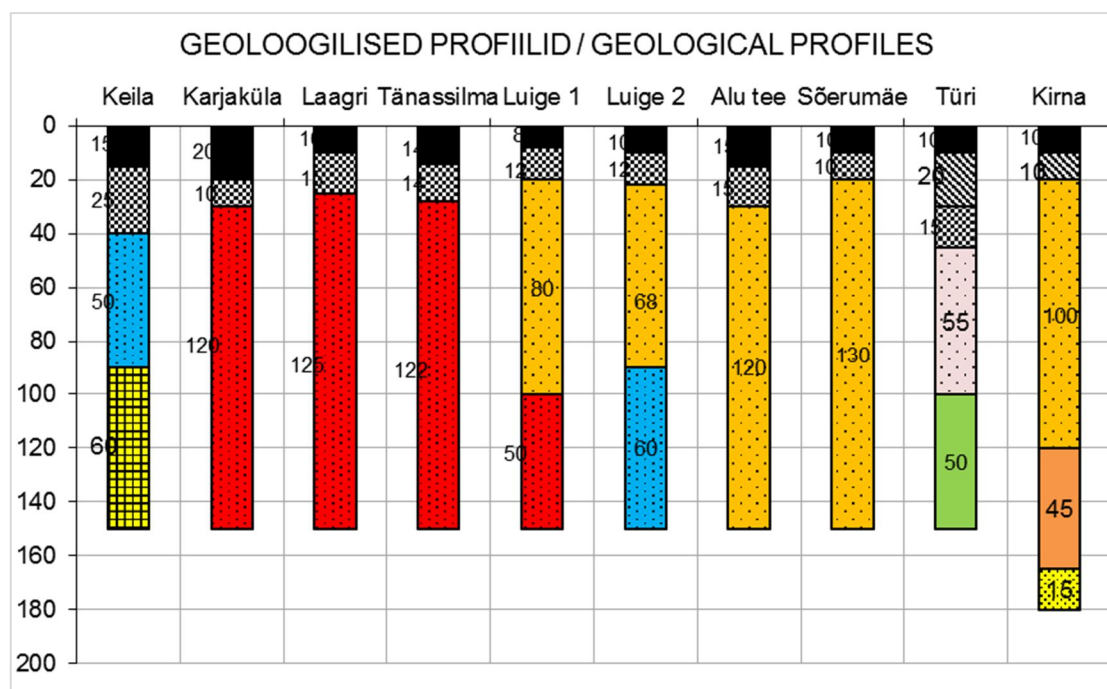
5. RINGRISTMIKE SEISUND

5.1. Puurkehad

Uuringuga hõlmatud ringristmikel on tehtud vastavalt töö tehnilisele kirjeldusele igal ristmikul 1 puurauk vastavalt asendiplaanil toodud kirjeldusele. Puurimised on tehtud ajavahemikul 14. – 15. mai 2018 aastal Geotehnika Inseneribüroo G.I.B. OÜ poolt. Geotehnilise uuringu aruanne on toodud antud aruande Lisas L2-1. Teistes aruande lisades on toodud:

- Lisa L2-2 Puuraukude geoloogilised profiilid
- Lisa L2-3 Puuraukude geotulbad
- Lisa L2-4 Puuraukude fotod
- Lisa L2-5 Puuraukude asendiplaanid

Puuraukude geoloogiliste profiilide koond on toodud joonisel 5.1.



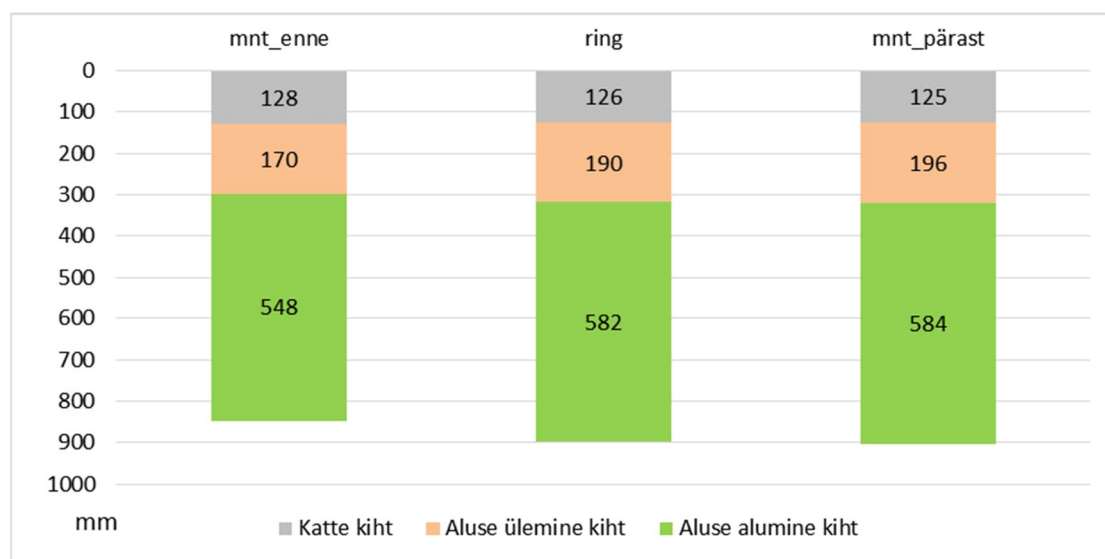
Joonis 5.1. Puuraukude geoloogilised profiilid

5.2. Maaradari mõõtmistulemused

Maaradari mõõtmised teekonstruktsiooni kihtide paksuste määramiseks uuringuga seotud ringristmikel ja nende mõjualal enim koormatud harudel teostas RC-Infra Oy 5. juunil 2018 aastal.

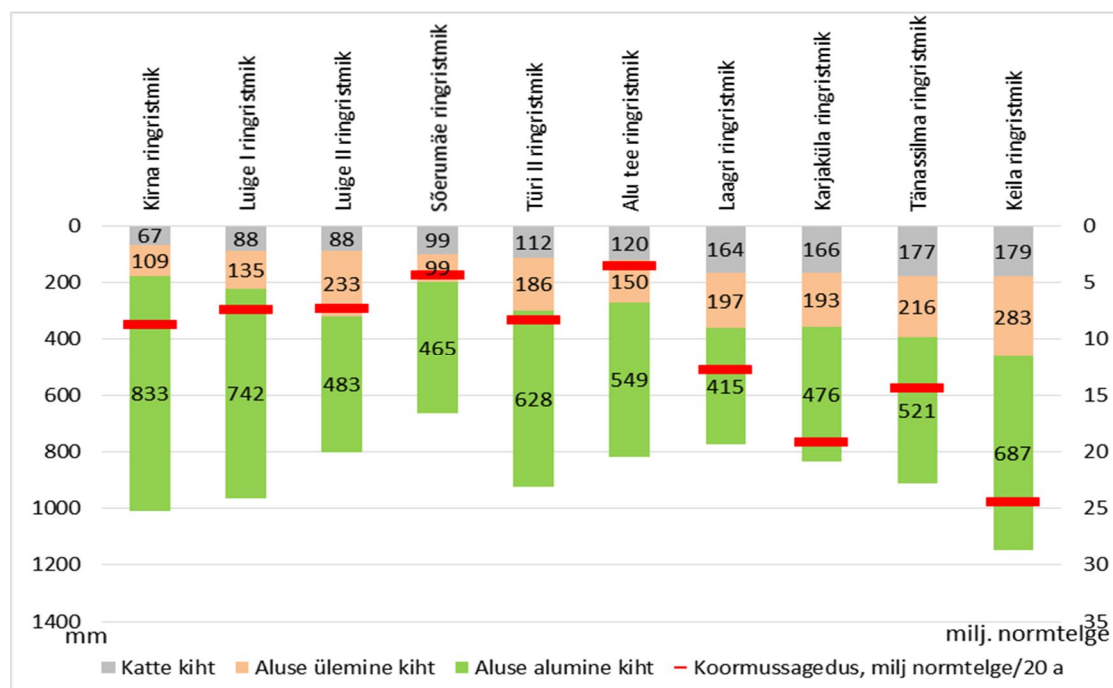
Maaradari mõõtmistulemuste põhjal on määratletud kolme erineva konstruktsiooni kihi, katte kihi, aluse ülemise kihi ja aluse alumise kihi paksused 5 meetrise mõõtmisammuga. Mõõtmis- ja analüüsi tulemused on toodud aruande Lisas 5-1, kus on näidatud ka see kas mõõtmistulemus kuulub teelõigule enne või pärast ringristmikku või ringristmikule. Aruande Lisas 5-2 on toodud iga ringristmiku ja sellel mõõdetud suuna kohta koondgraafikud määratletud konstruktsiooni kihtide keskmiste paksustega. Lisas 5-3 on näidatud maaradari mõõtmise skeemid.

Kõigi ringristmike konstruktsioonikihtide paksuste võrdluses ringi enda katendi konstruktsiooni kihtide paksus ei erine oluliselt enne või pärast ringi olevate harude konstruktsiooni kihtide paksusest (joonis 5.2.). Eraldi üksikute ringristmike lõikes esineb juhtumeid, kus ringi katendi konstruktsioon on paksem kui harudel (Laagri ringristmik), samas leidub ka vastupidiseid juhtumeid. Mingit kindlat trendi uuritud ringristmike osas ei olnud võimalik välja tuua.



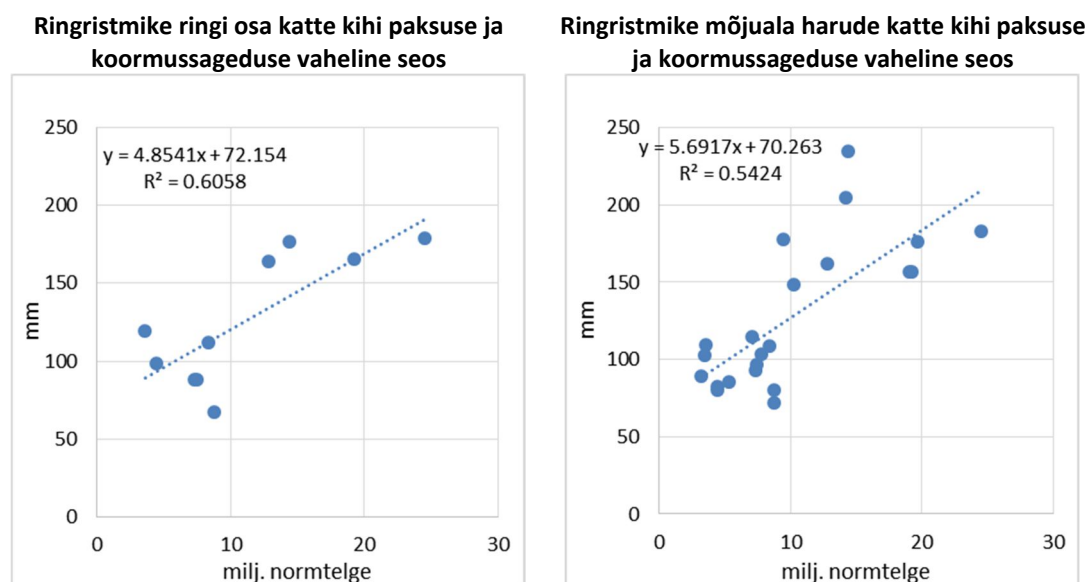
Joonis 5.2. Ringristmike ja nende mõjuala katendi konstruktsiooni paksuste kokkuvõte

Eraldi on võrreldud katendi konstruktsiooni kihtide paksust ja kumulatiivset (20 a.) prognoositud koormussagedust korrigeerituna rajateguriga (0,55) (joonis 5.3).



Joonis 5.3. Ringristmike ringi osa katendi konstruksioonid ja prognoositud koormussagedused

Uuritud ringristmikel on seos katte kihi paksuse ja prognoositud koormussageduse vahel olemas, aga see on suhteliselt nõrk, $R^2=0,61$ (joonis 5.4.). Ristmike mõjualas olevate harude puhul on see seos veelgi nõrgem, $R^2=0,54$. Mida kiht sügavamale, seda juhuslikumaks seosed muutuvad. Samas tuleb arvestada ka sellega, et sügavamal olevate kihtide tulemuste tõlgendamisel maaradari mõõtmistulemustest kasvab ka vigade tekkimise võimalus.



Joonis 5.4. Ringristmike ringi osa katendi konstruksioonid ja prognoositud koormussagedused

5.3. Defektid

Uuritud ringristmikel ja nende lähiala esinevate teekatte defektide osas on tehtud võrdlus ühelt poolt teeregistris olevate andmete ja eraldi ringristmike ülevaatusel kogutud defektide andmete vahel. Teeregistris on toodud teekatte defektid summeeritud 100 m pikkusele teelõigule, mitte iga defekt eraldi. Ka ei ole võimalik teeregistris registreeritud teekatte defektide andmetest eraldada ainult ringristmiku alas esinevaid defekte. Kokkuvõtte ringristmike teekatte defektide võrdlusest on toodud tabelis 5.1.

Tabel 5.1. Ringristmike teekatte defektide koondvõrdlus

Haru	Teekatte defektid		Kokkuvõte
	Teeregistri andmetel	2018 juuli täiendav ülevaatus	
Keila ringristmik RR_1			
H_1	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	Ringristmiku harude ja ringi teekate on heas seisukorras ja defekte ei esine
H_2	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	
H_3	ei ole inventeeritud	ei ole inventeeritud	
H_4	Defekte ei esine (2017)	Defekte ei esine	
R		Defekte ei esine	
Karjaküla ringristmik RR_2			
H_1	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	Ringristmiku nn põhitee ja ringi teekate on heas seisukorras ja defekte ei esine. Ristuväljal kõrvalteel ja kohalikul teel esineb vähesel määral defekte
H_2	7m kitsast vuugipragu (2017)	30m vuugipragu; 1 põikpragu	
H_3	Defekte ei esine (2018)	2 põikpragu	
H_4	ei ole inventeeritud	25m vuugipragu; 1 põikpragu	
R		Defekte ei esine	
Laagri ringristmik RR_3			
H_1	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	Ringristmiku harude ja ringi teekate on heas seisukorras ja defekte ei esine. Erandiks on kohalik tee, kus on täheldatav kohati puudusi teekonstruktsiooni tugevuses
H_2	ei ole inventeeritud	2 m² võrkpragu	
H_3	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	
H_4	1 pikipragu (2017)	Defekte ei esine	
R		Defekte ei esine	
Tänassilma ringristmik RR_4			
H_1	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	Ringristmiku 3-e haru ja ringi teekate on heas seisukorras ja defekte ei esine. Harul 2 on täiendava ülevaatus käigus registreeritud mitmeid defekte, mis mingil põhjusel teeregistris ei kajastu. Kindlasti ei ole need defektid tekkinud paari kuuga.
H_2	Defekte ei esine (2018)	3 m² murenemist; 2 m pikipragu 2 põikpragu 1 auk 20 m vuugipragu	
H_3	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	
H_4	Defekte ei esine (2018)	Defekte ei esine	
R		Defekte ei esine	
Luige I ringristmik RR_5			
H_1	Defektid 2018 1 põikpragu; 2 m pikipragu; 9 m vuugipragu; 9 m² võrkpragu; 3 m² murenemist	2 põikpragu; 1 m pikipragu; 55 m vuugipragu; 12 m² võrkpragu 22 m² lapitud defekte	Võrreldes kevadel 2018 aastal tehtud defektide inventeerimise tulemustega on defekte lisandunud, samas on septembriks 2018 mitmed defektid lapitud, lappide ala ulatus xxx m²-ni. Võrreldes teiste
H_2	Defektid 2018	2 põikpragu;	

Haru	Teekatte defektid		Kokkuvõte
	Teeregistri andmetel	2018 juuli täiendav ülevaatus	
	3 põikpragu; 20 m pikipragu; 14 m² võrkpragu; 4 m² murenemist	172 m² lapitud defekte	analüüsitud ringristmikega esines antud ristmikul suhteliselt palju defekte, eriti tundus olevat probleemiks ringil vuukpragu (foto 5.1.), mida oli ka suures mahus inventeerimise ajaks lapitud.
H_3	ei ole inventeeritud	ei ole inventeeritud	
R		4 m pikipragu; 10 m vuugipragu; 12 m² lapitud vuugipragu	
Luige II ringristmik RR_6			
H_1	Defektid 2018 1 m pikipragu; 49 m vuugipragu; 5 m laia vuugipragu; 8 m² võrkpragu; 4 m² murenemist	1 põikpragu; 76 m² lapitud defekte	Ringristmikul ja selle lähialal on võrreldes teiste analüüsitud ringristmikega suhteliselt palju erinevaid defekte, samas valdavaks probleemiks on sarnaselt Luige I ringristmikule vuugipraad (foto 5.2.).
H_2	ei ole inventeeritud	1 põikpragu; 1 pikipragu 204 m² lapitud defekte	
H_3	Defektid 2018 26 m pikipragu; 8 m² võrkpragu;	64 m² lapitud defekte	
H_4	4 m vuugipragu (2017)	Defekte ei esine	
R		32 m vuugipragu; 6 m pikipragu; 4 m² võrkpragu; 34 m² lapitud defekte	
Alu tee ringristmik RR_7			
H_1	2 m pikipragu (2018)	117 m vuugipragu	Ringristmiku kõigil harudel esineb suures mahus vuugipragu, mis küll ei kajastu 2018 kevadel tehtud defektide inventeerimise tulemustes. Samas ringi enda teekate on heas seisukorras.
H_2	82 m vuugipragu (2017)	126 m vuugipragu; 1 põikpragu	
H_3	Defekte ei esine (2018)	124 m vuugipragu	
R		Defekte ei esine	
Sõerumäe ringristmik RR_8			
H_1	2 m vuugipragu (2018) 1 m² murenemine (2018)	5 m pikipragu Pindamine higestab	Ringristmiku harudele 2 ja 4 on tehtud värske (2018?) pindamine ja nendel harudel teekattel defekte ei olnud (erinevalt teeregistris toodud andmetele). Harudel 1 ja 3 ning ringil endal on teekatte defekte suhteliselt vähe.
H_2	2 põikpragu (2016) 9 m pikipragu (2016)	Defekte ei esine	
H_3	1 põikpragu (2018) 1 m pikipragu (2018)	1 põikpragu; 2 m laia vuugipragu	
H_4	5 põikpragu (2016) 30 m pikipragu (2016) 22 m vuugipragu (2016)	Defekte ei esine	
R		Defekte ei esine	
Türi II ringristmik RR_9			
H_1	2 m pikipragu	1 m² murenemist	Ringristmiku harude (va haru 3-kohalik tee) ja ringi enda teekattes esineb ainult üksikuid juhuslikke teekatte defekte.
H_2	Defekte ei esine (2018)	1 auk	
H_3	ei ole inventeeritud	1 põikpragu; 38 m pikipragu; 4 m² murenemist; 12 m² võrkpragu	

Haru	Teekatte defektid		Kokkuvõte	
	Teeregistri andmetel	2018 juuli täiendav ülevaatus		
	H_4	Defekte ei esine (2018)		Defekte ei esine
	R			2 põikpragu
Kirna ringristmik RR_10				
H_1	5 m vuugipragu (2018)	1 põikpragu	Ringristmiku harude ja ringi enda teekattes esineb ainult üksikuid juhuslikke teekatte defekte.	
H_2	3 m vuugipragu (2018)	Defekte ei esine		
H_3	11 m pikipragu (2018) 10 m vuugipragu (2018)	1 põikpragu; 1 põikvuuk; 2 m pikipragu		
H_4	9 m pikipragu (2018)	Defekte ei esine		
R		Defekte ei esine		



Foto 5.1. Iseloomulikud vuugipraad ja nende lapid Luige I ringristmikul



Foto 5.2. Iseloomulikud vuugipraad ja nende lapid Luige II ringristmikul

5.4. Haardelised omadused

Lähtudes uurimistöö tehnilises kirjelduses toodust oli ringistmikel vaja lisaks muudele seisukorra parameetritele teha ka teekatte haardeteguri mõõtmised. Arvestades ringristmike geomeetriat ja sellest tingitud väga ebaühtlast ning tulenevalt haardeteguri mõõtmismeetodist ka ilmselt mitte piisavat sõidukiirust, on antud uurimistöös teekatte haardeteguri asemel teostatud teekatte haardeliste omaduste määratlemiseks makrotekstuuri MPD mõõtmised. Teine variant oleks olnud teha teekatte haardeteguri mõõtmised käsiseadmega, kuid see oleks liiklust katkestamata olnud liiga ohtlik.

Erinevate rahvusvaheliste ja ka Eestis tehtud uurimistööde¹⁷ järeldustes on toodud, et teekatte makrotekstuuri MPD kirjeldab teekatte haardelisi omadusi. Makrotekstuur ei näita küll otseselt teekatte haardeteguri väärtust, aga kirjeldab väga hästi kas teekatte haardelised omadused on piisavad või võib selles osas esineda probleeme.

Makrotekstuuri MPD väärtustele ei ole otseselt seatud piirväärtusi, kuid arvestades rahvusvahelise ja Eestis tehtud mõõtmiste kogemusega on antud uuringus kasutatud teekatte makrotekstuuri kriitilise piirina väärtust 0,45 mm ja hoiatuspiirina väärtust 0,55 mm.

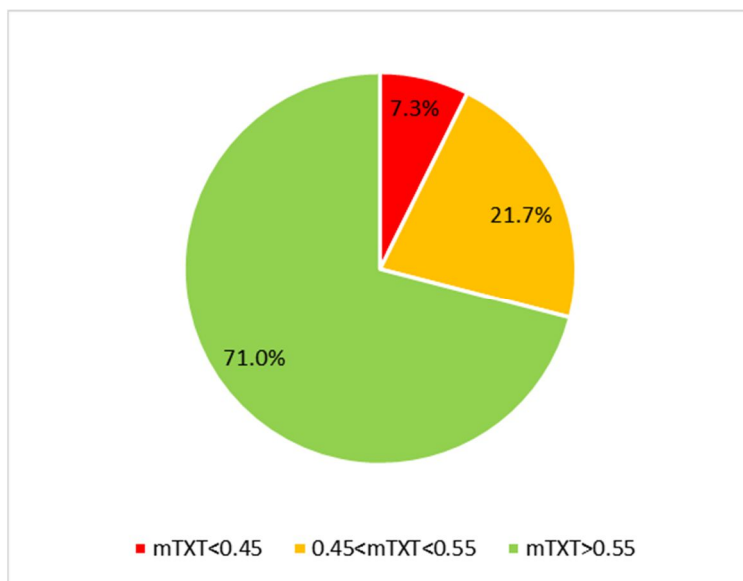
Detailsed teekatte makrotekstuuri MPD mõõtmistulemused on toodud aruande Lisas 3-1. Mõõtmistulemuste põhjal koostatud koondgraafikud iga ringristmiku kohta on toodud Lisas 3-2 ja teekatte makrotekstuuri mõõtmis skeemid on esitatud Lisas 3-3.

Teekatte makrotekstuuri MPD mõõtmistulemused on väljastatud 5 meetrise mõõtmisammuga ringristmiku ja iga haru kohta ning tulemustes on eraldi näidatud teelõigud ringristmikule lähenedes (mnt_enne ringi), ringristmik ise (ring) ja ringristmikult väljudes (mnt_pärast ringi).

Teostatud teekatte makrotekstuuri MPD mõõtmistulemused näitasid (joonis 5.5), et 7,3% mõõtmistulemustest oli MPD väärtus alla makrotekstuuri kriitilise piiri. Mõnevõrra rohkem esines probleemseid löike ringristmikult väljuvatel suundadel (joonis 5.6).

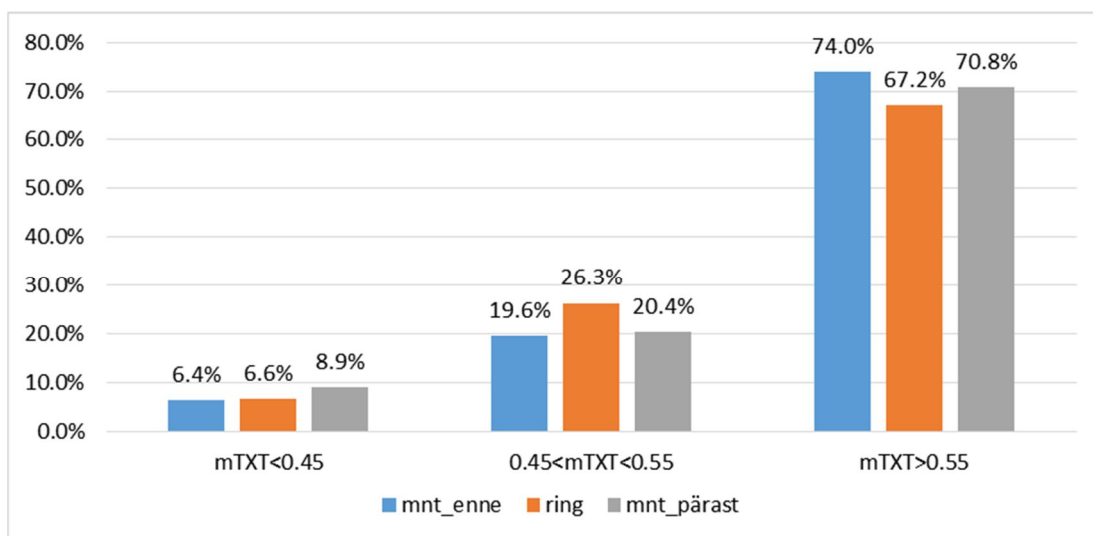
¹⁷ „Teekatte tekstuuri mõõtmisandmete kasutamise meetodid ja andmete piirväärtused“ Tallinn 2012, AS Teede Tehnokeskus / ERC Konsultatsiooni OÜ

„Teekatte haardeliste omaduste võrdlusuuring“ Tallinn 2014, ERC Konsultatsiooni OÜ



Joonis 5.5. Teekatte haardelisi omadusi kirjeldava makrotekstuuri väärtuste jagunemine

Hoiatustsoonis ($0,45 < \text{MPD} < 0,55$) oli 21,7% mõõtmistulemustest ja siin oli selgelt rohkem probleeme, võrreldes ringile suunduvate ja sealt väljuvate teelõikudega, ringi enda teekattel. Kokkuvõttes oli ringile suunduvatest teelõikudest teekatte makrotekstuuri MPD alla hoiatuspiiri 26,4%. Ringilt väljuvatel suundadel oli see väärtus 29% ja ringide teekattest oli makrotekstuuri MPD alla hoiatuspiiri 32,8%, ehk praktiliselt kolmandikul juhtudel.



Joonis 5.6. Teekatte haardelisi omadusi kirjeldava makrotekstuuri väärtuste jagunemine

Samas on olukord teekatte haardeliste omaduste osas ringristmikel väga erinev (tabel 5.2). On ringristmikke, kus nii ringristmiku harude kui ka ringristmiku enda teekatte haardelised omadused vastavad nõuetele (näiteks Keila ringristmikul oli ainult 1 mõõtmistulemus alla hoiatuspiiri) või on probleemid selles osas väga marginaalsed (näiteks Karjaküla ringristmik). Esines ristmikke, kus teekatte makrotekstuuri osas esines probleeme ringile suunduval ja sealt väljuvate suundadel, mitte aga ringristmikul endal (Laagri ringristmik ja Tännassilma

ringristmik). Või vastupidi, ehk ringi teekatte makrotekstuuri probleemid olid selgelt suuremad kui ringile suunduvatel ja väljuvatel suundadel (Luige I ringristmik).

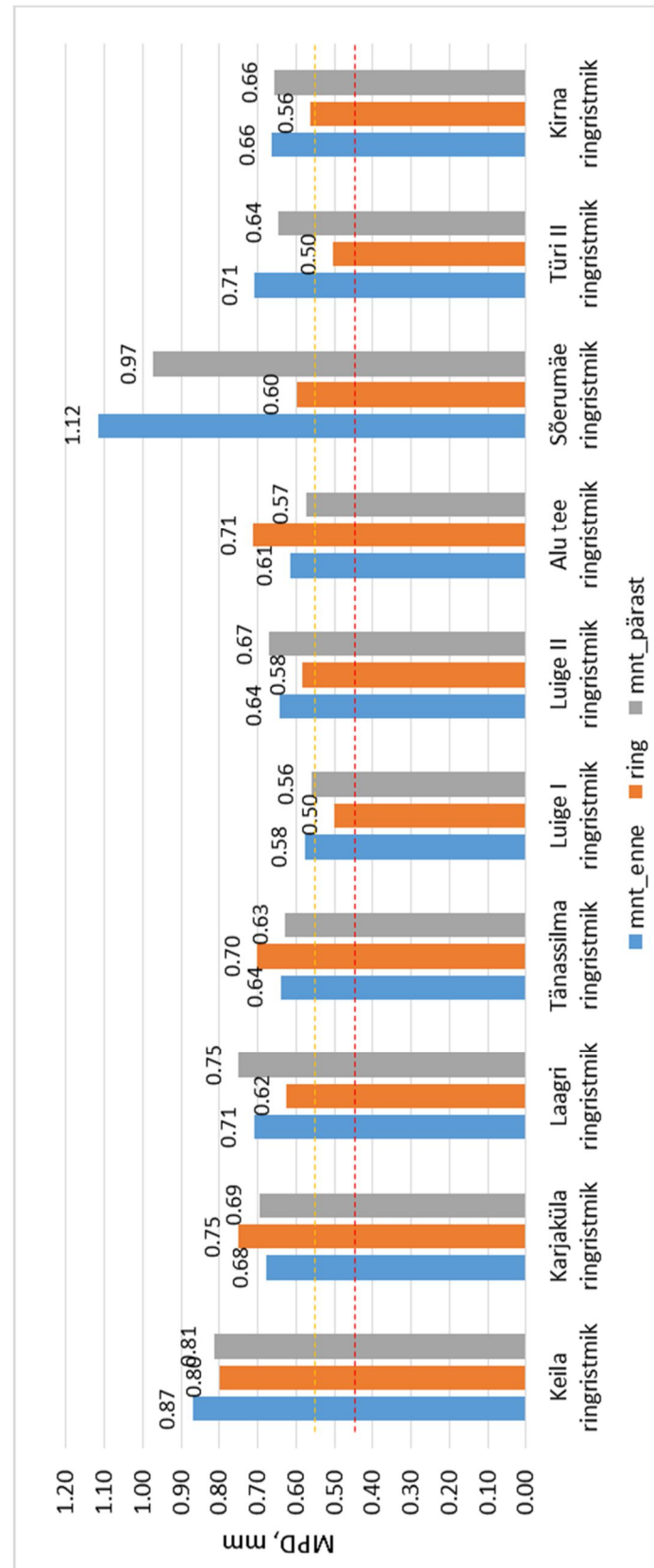
Tabel 5.2. Teekatte haardelisi omadusi kirjeldava teekatte makrotekstuuri (mTXT) väärtuste jagunemine analüüsitud ringristmikel

Ringristmik	RR kood	Makrotekstuuri (mTXT) väärtuste jagunemine, tk/%								
		mTXT<0.45			0.45<mTXT<0.55			mTXT>0.55		
		mnt enne	ring	mnt pärast	mnt enne	ring	mnt pärast	mnt enne	ring	mnt pärast
Keila ringristmik	RR_1	0	0	0	0	1	0	178	119	153
		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	100.0%	99.2%	100.0%
Karjaküla ringristmik	RR_2	2	0	0	9	0	6	97	68	108
		1.9%	0.0%	0.0%	8.3%	0.0%	5.3%	89.8%	100.0%	94.7%
Laagri ringristmik	RR_3	32	4	28	18	15	10	61	68	78
		28.8%	4.6%	24.1%	16.2%	17.2%	8.6%	55.0%	78.2%	67.2%
Tänassilma ringristmik	RR_4	4	1	11	40	8	26	75	79	83
		3.4%	1.1%	9.2%	33.6%	9.1%	21.7%	63.0%	89.8%	69.2%
Luige I ringristmik	RR_5	2	14	4	23	36	48	63	10	33
		2.3%	23.3%	4.7%	26.1%	60.0%	56.5%	71.6%	16.7%	38.8%
Luige II ringristmik	RR_6	0	0	0	28	47	20	135	71	145
		0.0%	0.0%	0.0%	17.2%	39.8%	12.1%	82.8%	60.2%	87.9%
Alu tee ringristmik	RR_7	8	1	3	47	9	50	57	67	62
		7.1%	1.3%	2.6%	42.0%	11.7%	43.5%	50.9%	87.0%	53.9%
Sõerumäe ringristmik	RR_8	0	3	2	17	51	26	103	50	92
		0.0%	2.9%	1.7%	14.2%	49.0%	21.7%	85.8%	48.1%	76.7%
Türi II ringristmik	RR_9	7	26	34	35	28	40	77	26	46
		5.9%	32.5%	28.3%	29.4%	35.0%	33.3%	64.7%	32.5%	38.3%
Kirna ringristmik	RR_10	24	11	27	25	45	24	67	56	69
		20.7%	9.8%	22.5%	21.6%	40.2%	20.0%	57.8%	50.0%	57.5%

Ehk siis kokkuvõttes ei saa uuritud ringristmike ja nende harude osas välja tuua ühte kindlat trendi, mis kirjeldaks ringristmikel teekatte haardelisi omadusi. Selgelt on näha (joonis 5.7.), et iga juhtum erineb teistest mingis osas.

Teekatte haardelised omadused mõjutavad väga oluliselt liiklemise ohutust, samas on reeglina visuaalsel vaatlemisel üsna keeruline määrata teelõike, kus haardeliste omadustega võib esineda probleeme. Seetõttu ei oska reeglina ka liiklejad haardeliste omaduste järskude muutustega alati arvestada. Ringristmike puhul on lisafaktoriks veel suured sõidukiiruse muutused, mida on vaja teha ringristmikule lähenedes ja sealt väljudes.

Eelpool toodu kokkuvõtteks saab välja tuua, et Eesti teedevõrgul olevad ringristmikud ja nende mõjualade teelõigud vajavad teekatte haardeliste omaduste osas kontrollimist, et oleks tagatud ohutu ja turvaline liiklemine.



Joonis 5.7. Teekatte haardelisi omadusi kirjeldava makrotekstuuri MPD keskmised väärtused ringristmikel

5.5. Teekonstruktsiooni kandevõime

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised uuringuga seotud ringristmikel ja nende mõjualal enim koormatud ristmiku harudel teostas West Coast Road Masters Oy 5. juunil 2018 aastal.

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmiste tulemused koos mõõtmiskeemi ja mõõtmistulemuste koondgraafikutega iga analüüsitud ringristmiku ja selle mõjuala harude kohta on toodud aruande Lisa 4-1 kuni 4-10.

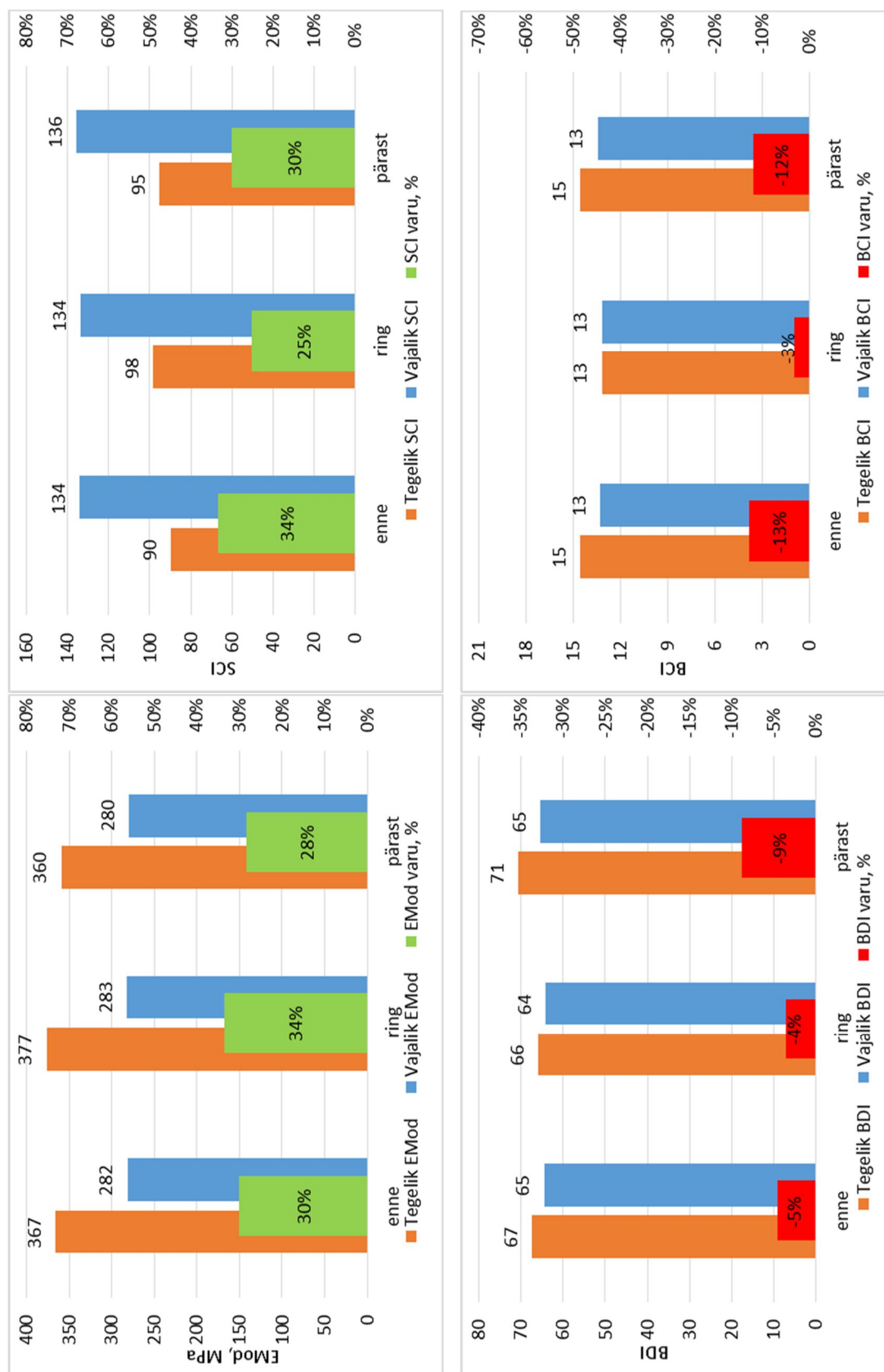
Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemuste koondtulemuste põhjal (joonis 5.8.) on näha, et üldisel tasemel on ringristmikel ja selle harudel nõutav teekonstruktsiooni tugevus tagatud. Üldine elastsusmooduli väärtus ületab nõutavat piisava varuga (ca 30%), kusjuures ringi konstruktsioon tundub olevat veidi tugevam kui selle harudel.

Kui vaadata teekonstruktsiooni erinevate kihtide seisukorda vastavate indeksite kaudu, siis pinna kõverusteguri, ehk SCI (*Surface Curvature Index*) osas, mis iseloomustab katendi pealmise kihi tugevust, on olukord sarnaselt üldisele elastsusmoodulile korras. Vajalik tugevus on tagatud koos ca 30% varuga. Samas on SCI osas ringi konstruktsioon veidi nõrgem võrreldes selle harudega. Harude puhul on SCI varu 30-34%, samas ringil 25%.

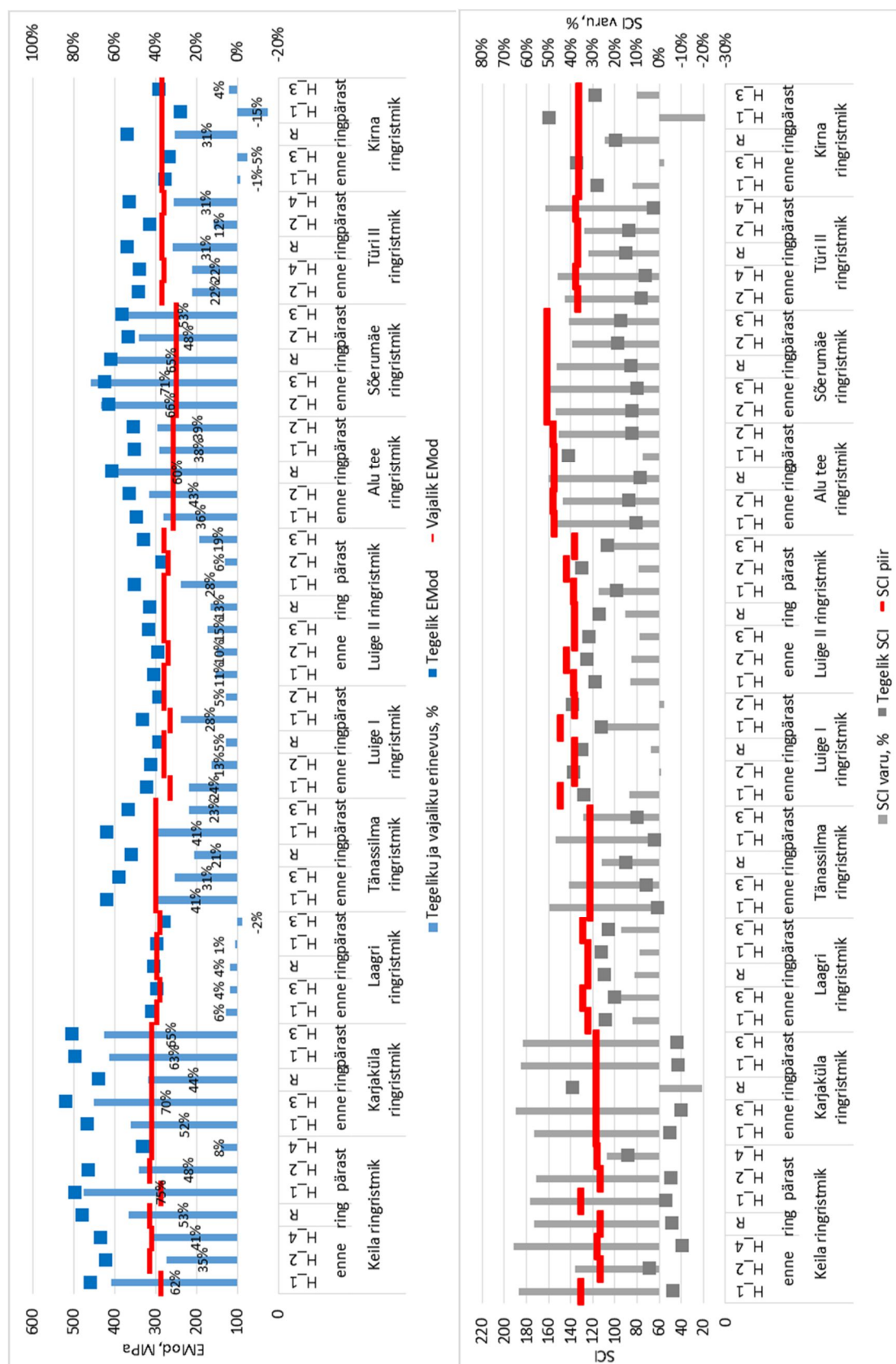
Olukord on aga kardinaalselt erinev teekonstruktsiooni alumiste kihtide osas. Aluse vigastuse tegur, ehk BDI (*Base Damage Index*) iseloomustab katendi alumiste kihtide tugevust. Koondtulemustest (joonis 5.8.) on näha, et selle kihi tugevuse osas esineb puudujääk, mitte küll suur, kuid siiski (ca 4% ringil ja 5-10% harudel).

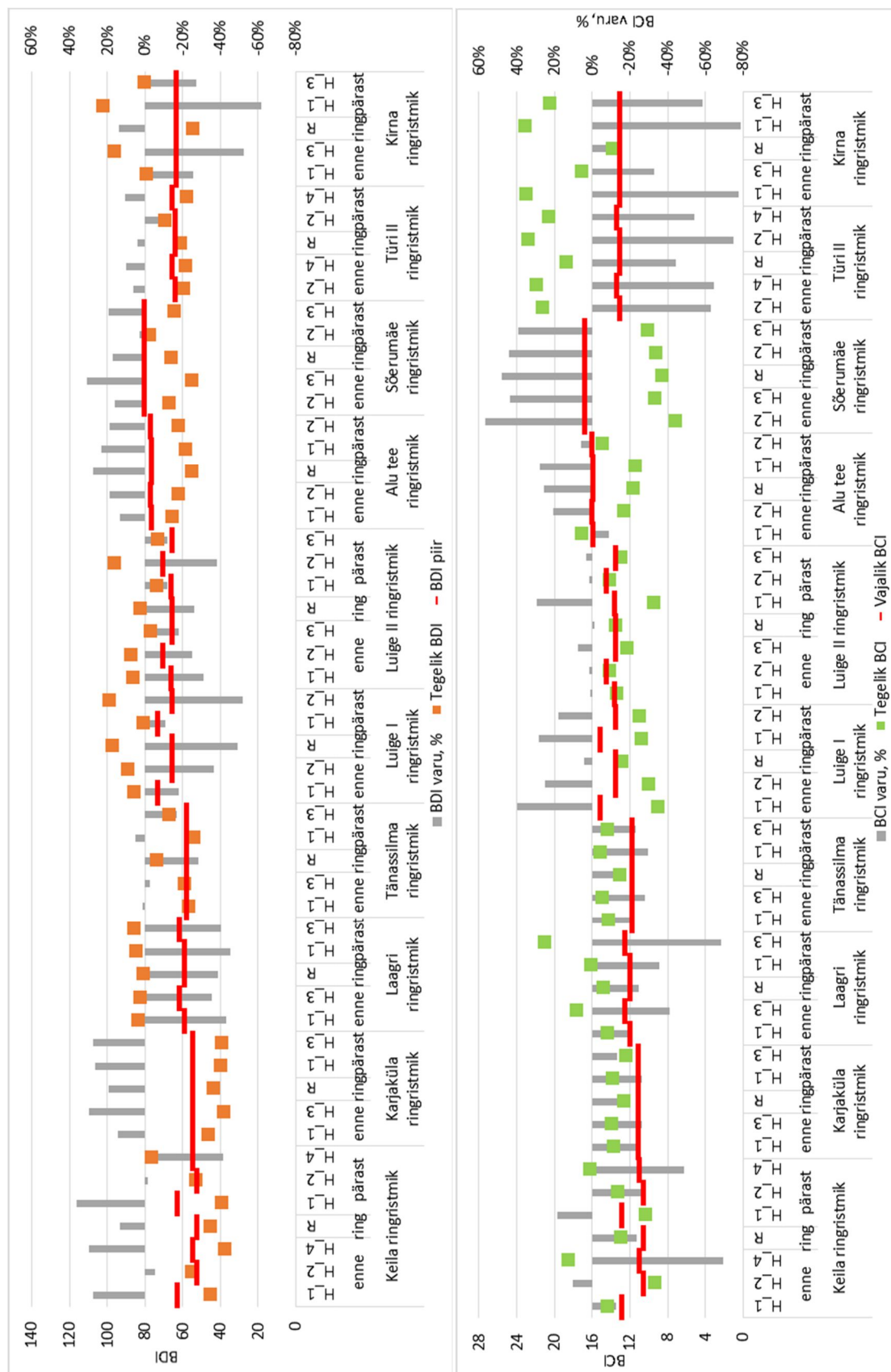
Ka aluskihtide tugevuse osas ei ole uuritud ringristmikel üldisel tasemel nõutav tugevus tagatud. Selle kihi tugevusomadusi iseloomustab aluse kõverustegur BCI (*Base Curvature Index*). Ringi konstruktsiooni osas on puudujääk ca 3,5% ja harude puhul ca 13%.

Vaadates teekonstruktsiooni tugevust eraldi iga ringristmiku ja selle haru kaupa on näha, et olukord on väga ebahühtlane. Ringristmikke, kus konstruktsiooni üldine tugevus (EMod) ja ka erinevate kihtide tugevus vastab nõuetele on ainult 3 ja need on Alu tee, Karjaküla ja Sõerumäe. Kõigil teistel ringristmikel esineb kas mingil harul või mingis kihis tugevusega probleeme.



Joonis 5.8. Uuritud ringristmike konstruksioonide tugevust kirjeldavate erinevate parameetrite (EMod, SCI, BDI, BCI) koond





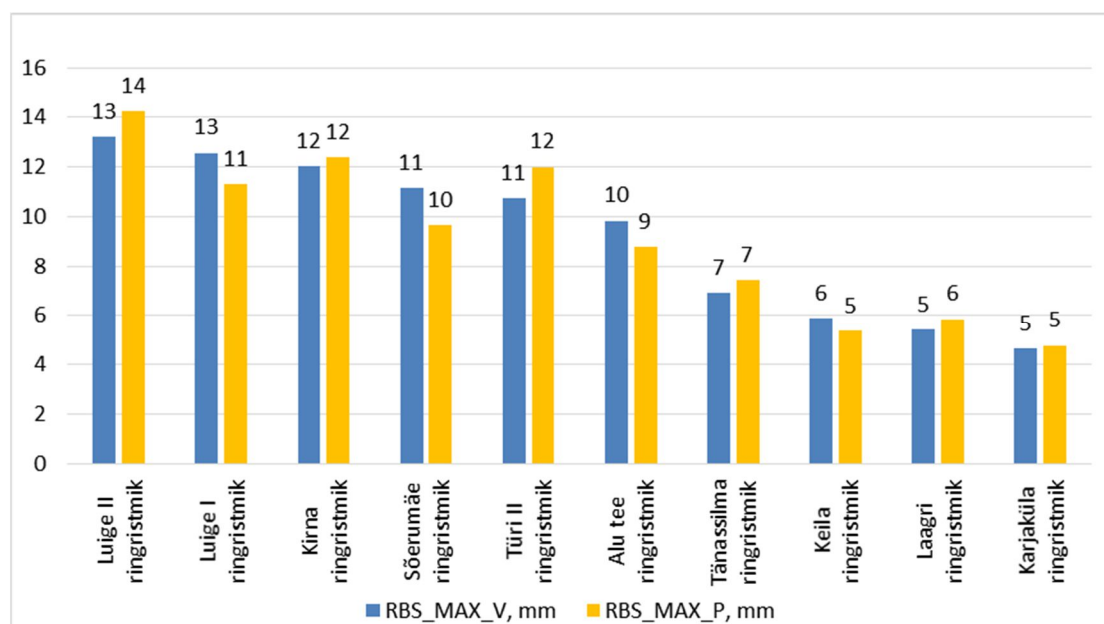
Joonis 5.10. Uuritud ringristmike konstruksioonide tugevust kirjeldavate parameetrite EMod ja SCI tulemused

5.6. Roopa sügavus

Ringristmikel ja nende lähialadel teekattes esineva roopa sügavuse andmed põhinevad 2018 aasta kevadel teedevõrgul tehtud mõõtmistulemustel. Teeregistris on roopa sügavuse andmed esitatud 100 m mõõtmisammuga. Antud uuringu jaoks on roopa sügavuse mõõtmistulemused uuesti arvatud 10 m mõõtmisammuga. Nendel teelõikudel kus roopa sügavus mõõtmistulemused 2018 aasta kohta puudusid on kasutatud teeregistris olevaid 2017 aasta mõõtmistulemusi. Kui ka need puudusid, siis vanemaid mõõtmisandmeid analüüsis kasutatud ei ole.

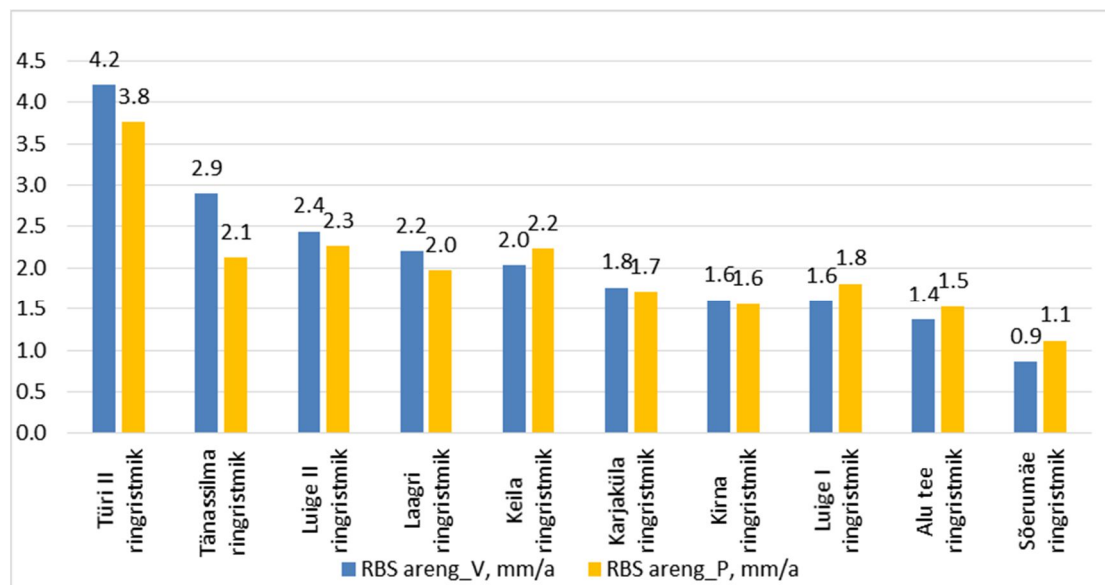
Roopa sügavuse detailsed tulemused iga analüüsitud ringristmiku ja selle haru kohta on toodud aruande Lisas 8-1. Lisas 8-2 on esitatud iga analüüsitud ringristmiku mõjualalt (ca 200m ulatuses) iga haru (eeldusel, et roopa sügavus on mõõdetud) vasaku ja parema sõiduraja maksimaalse roopa sügavuse keskmine väärtus ja roopa sügavuse arengu kiirus (mm/a) vastaval sõidurajal. Roopa sügavuse arengukiiruse leidmisel on lähtutud teeregistris olevast teekatte ehituse aastast ja roopa sügavuse mõõtmise kuupäevast.

Joonisel 5.11 on reastatud analüüsitud ringristmikud keskmise maksimaalse roopa sügavuse väärtuse alusel. Suurima roopa sügavusega on Luige I ja II ringristmikud, väikseim on roopa sügavus Laagri ja Karjaküla ringristmikel.



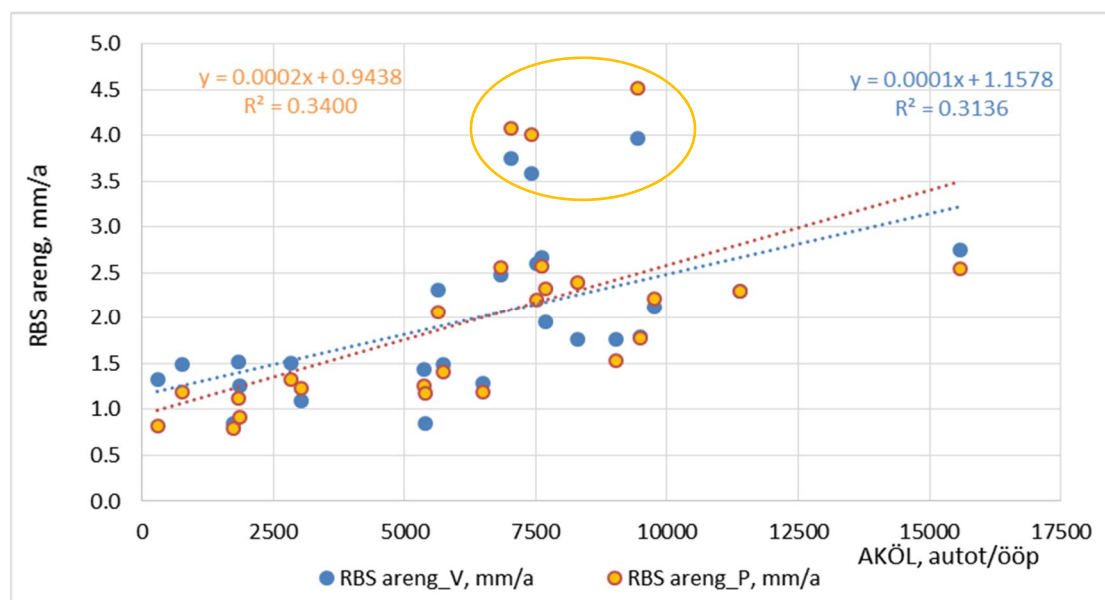
Joonis 5.11. Teekatte maksimaalne roopa sügavus analüüsitud ringristmikel

Roopa sügavuse arengukiirus (joonis 5.12) on selgelt teistest kiirem Türi II ringristmikul, kus see on harude ja sõiduradade keskmisena 4,0 mm/a. Joonisel 5.14 toodud andmetest on näha, et roopa sügavuse arengukiirus on ühtlaselt kõrge kõigil Türi II ringristmiku harudel. Teiste ringristmike keskmine roopa sügavuse arengukiirus on üsna täpselt kaks korda aeglasem, ehk 2,0 mm/a.

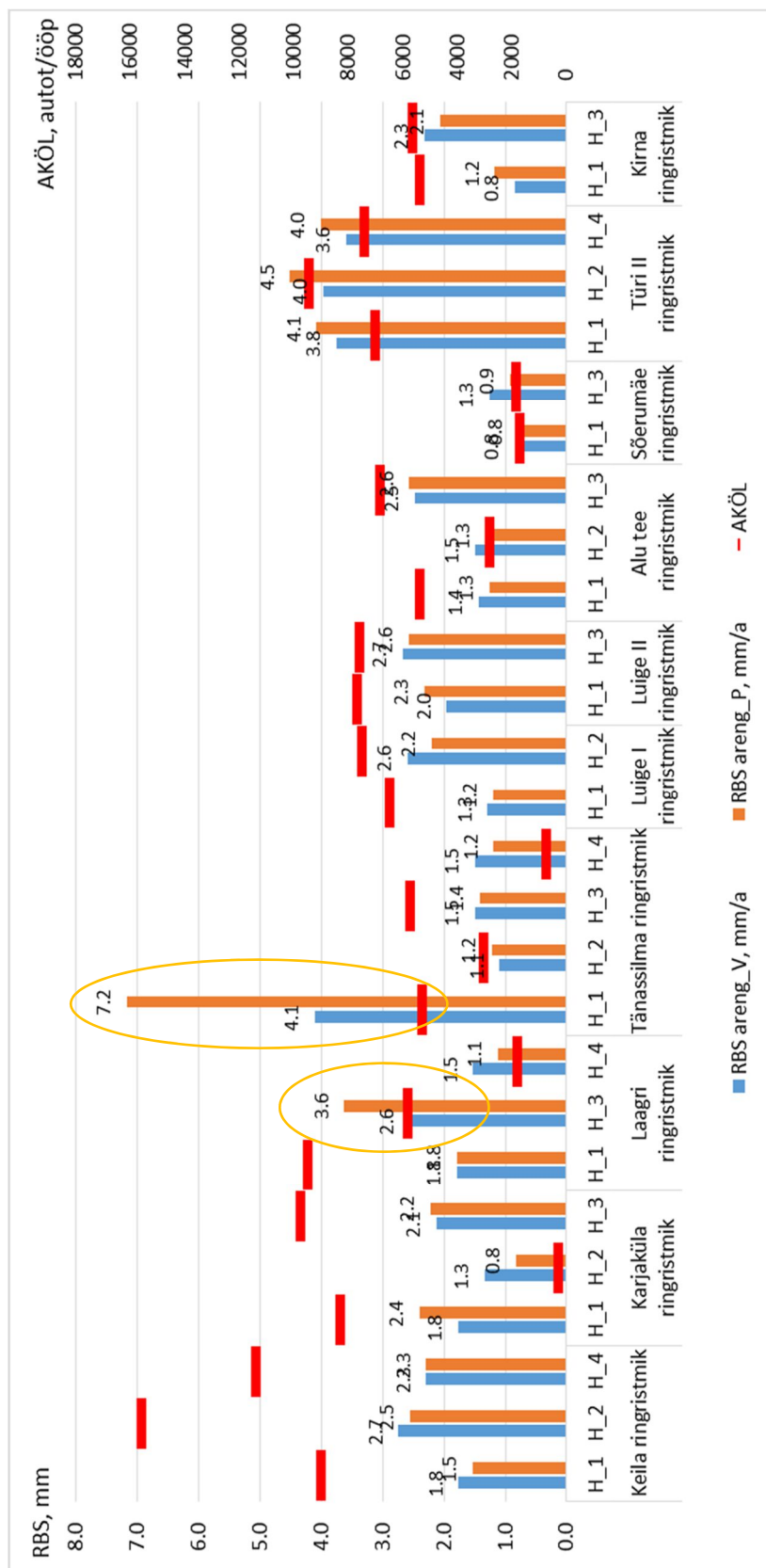


Joonis 5.12. Teekatte maksimaalne roopa sügavuse arengukiirus analüüsitud ringristmikel

Oluline komponent, mis mõjutab teekatte roopa sügavuse arengut, on liiklussagedus. Kui võrrelda roopa sügavuse arengukiirust erinevatel ringristmike harudel ja nende liiklussagedust (AKÖL), siis tuleb andmetest välja selge trend ja seos, mis sobib enamike analüüsitud ringristmike puhul (joonis 5.13). Erandiks on siingi Türi II ringristmik (andmed tähistatud joonisel 5.13 kollase ringiga), kus roopa sügavuse areng ja liiklussagedus ei taha klappida üldise trendiga. Selle põhjused vajavad põhjalikumat ja täpsemat uurimist. Ilmsed variandid on kas teekatte pealmise kihina 2015 aastal ehitatud tihe asfaltbetoon AC12 surf/ TAB 12 lihtsalt ei pea liiklussagedusele vastu või erineb Türi kesklinnas liikluse iseloom niivõrd palju sellest, mida on AKÖL väärtuse arvutamisel eeldatud ja tegelik AKÖL on tunduvalt kõrgem.



Joonis 5.13. Teekatte roopa sügavuse arengukiiruse seos liiklussagedusega (AKÖL)



Joonis 5.14. Teekatte roopa sügavuse arengukiirus (mm/a) ja liiklussagedus vastaval ristmiku harul (AKÖL, autot ööp)

Kui vaadata teekatte roopa sügavuse arengut ja selle kiirust ringristmike harude kaupa (joonis 5.14) on näha, et üldisest trendist erineb olukord Tännassilma ringristmiku harul 1 (H_1) ja Laagri ringristmiku harul 3 (H_3), tähistatud joonisel kollase joonega. Mõlemal juhul on tegemist üsna hiljuti ehitatud uue teelõiguga ja üsna tõenäoliselt ei ole antud juhtudel tegemist klassikalise kulumisroopaga, vaid pigem erinevate teekonstruktsioonikihtide järelvajumisest tingitud vajumisroopaga, mis viitab eelkõige probleemidele mitte niivõrd konstruktsioonis endas kuivõrd ehituskvaliteedi osas.

Kokkuvõttena analüüsitud ringristmike ja nende mõjupiirkonna teelõikude teekatte roopa sügavuse osas saab järeldada seda, et kui mitte arvestada Türi II ringristmiku harusid ning Tännassilma ringristmiku haru 1 ja Laagri ringristmiku haru 3, siis teiste ringristmike puhul ei ole täheldatav üldisest trendist erinevat teekatte seisukorra muutust roopa sügavuse osas. Kiirem roopa sügavuse areng on reeglina seotud suurema liiklussagedusega, mis on eeldatav ja paratamatu. Kuni liiklussageduse AKÖL väärtuseni 2500 autot/ööpäevas jääb teekatte roopa sügavuse arengukiirus üldiselt alla 1,5 mm/a. Liiklussageduse AKÖL väärtuse jõudes 15000 autoni/ööpäevas kasvab roopa sügavuse arengukiirus väärtuseni 2,5 mm/a.

5.7. Liiklusloendus ja koormussagedus

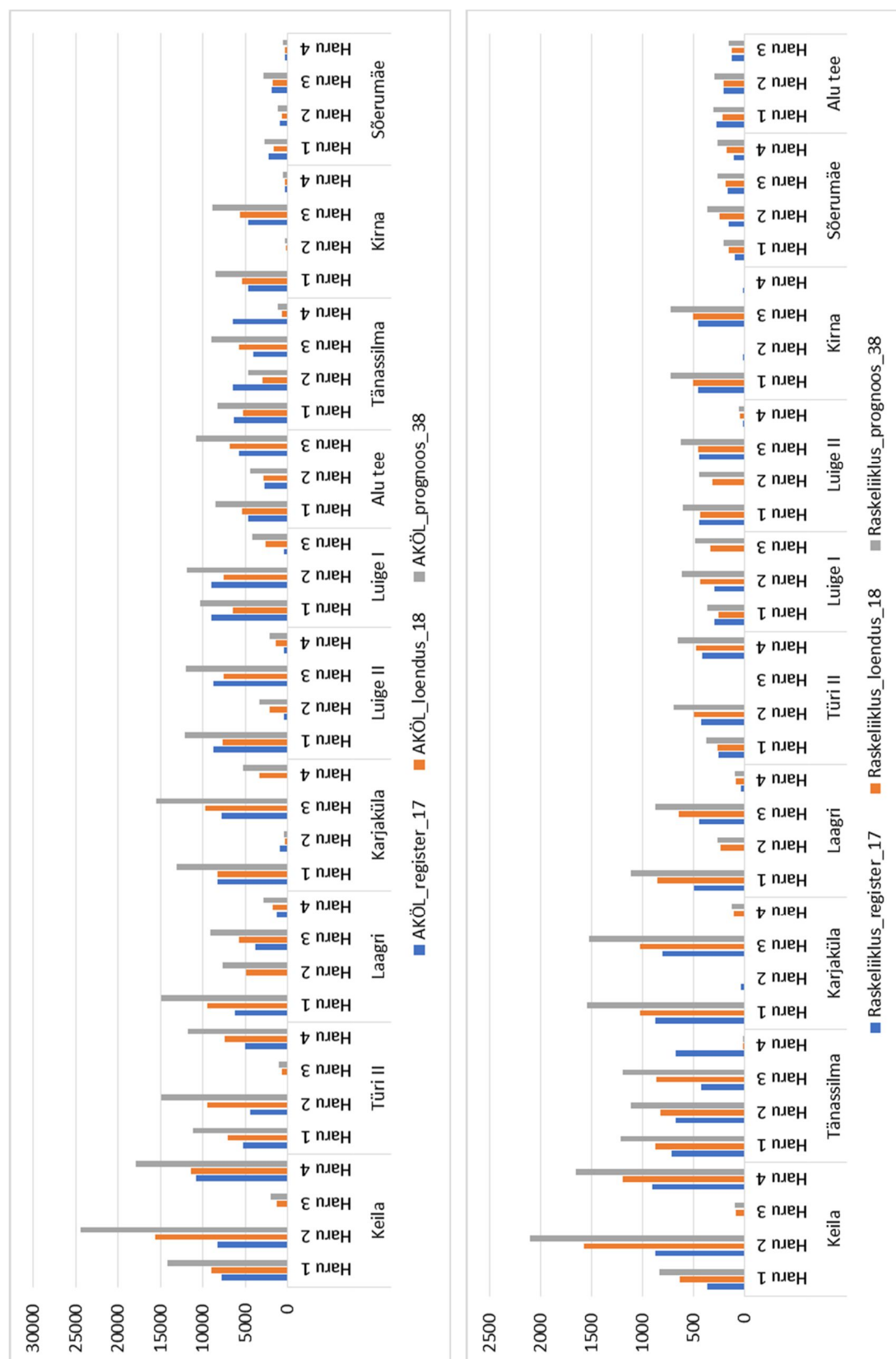
Igal ringristmikul on tehtud lühiajaline liiklusloendus. Loendustulemused on tunni/nädalapäeva/nädala koefitsientide alusel teisendatud AKÖL-ks. Liiklusprognoos on koostatud aastaks 2038 ning see on tehtud võrdlusena kasutades teeregistris olevaid 2007. a loendusandmeid ja 2018. a lühiajalise loendustulemuse abil saadud AKÖL väärtuseid.

Liiklusprognoos on koostatud baasprognoosis toodud metoodika järgi.¹⁸ MntPN-s toodud metoodika kasutamine võib anda liialt erinevaid tulemusi sõltuvalt alg/lõpp-aastast ning sisuliselt pole seda võimalik kasutada sõidukiklasside lõikes (kõrvalmaanteede puhul enne 2009.aastat liiklussageduse andmeid sõidukiklasside lõikes üldjuhul polnudki).

Koormussageduse prognoos on koostatud samuti kahes versioonis – üks teeregistri andmetele põhinevalt ja teine lühiajalise loenduse abil saadud andmetele põhinevalt.

Liiklusloenduse ja koormussageduse tulemused on kokkuvõtvalt toodud Lisas 7.

¹⁸ Liikluse baasprognoos Eesti riigimaanteedel aastaks 2040. TTÜ Teedeinstituut. Tallinn, 2007



Joonis 5.15. Ringristmike harude aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (AKÖL) ja raskeliiklus teeregistri (2017 a) andmetel, uuringu raames tehtud loenduse (2018) põhjal ja prognoos aastaks 2038

6. KATENDIARVUTUS

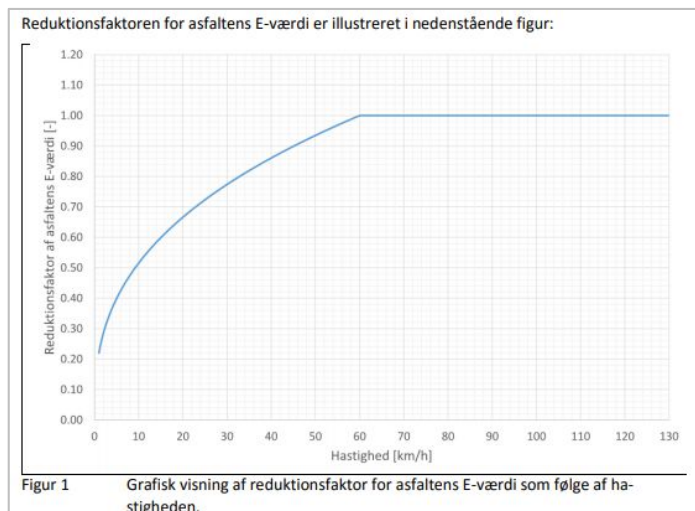
Ringistmiku katendi töörežiim on erinev tavapärase teelõigu katendi töörežiimist.

1. Ringile lähenemise alal on tegemist intensiivse vertikaalsuunalise koormusega reeglina pidurdusjõududest ning staatilise koormusega ootealadel. Võimalikud meetmed asfaltkatte nihkekindluse tõstmiseks ja staatilise koormuse vastuvõtmiseks. Taani rakenduses kasutatakse asfaltbetooni elastsusmooduli parandustegurit, mis sõltub kiirusest.
2. Väikese raadiusega ringikõveratel on tegemist asümmeetrilise koormusega, kus külgiirenduse tõttu on sisekurvis väiksem koormus ja väliskurvis suurem koormus. Võimalikud vastumeetmed kas katendi asümmeetrilise konstruktsiooniga (välimisele rattajäljele tugevam konstruktsioon) või pigem tuleb katend dimensioneerida oluliselt suuremale koormusele. Järgnevalt analüüsist selgub, et maksimaalne arvutuslik koormus võiks olla kuni 13 normkoormust 10-tonnisele teljele.
3. Liiklus- ja koormussagedus ringi erinevates segmentides. Kui tegemist on üherajalise ringiga, siis liigub ringi segmendis harude võrdse koormuse juures kaks korda rohkem sõidukeid, kui sirgel lõigul. See vastab ka Taani juhises kasutatavale parandustegurile. Mitmerajalise ringi puhul sõltub koormuse jaotus pöörde-diagrammist ja on võimalik täpsustada pöördediagrammi tuletisena. Kontrollarvutused näiteks Luige sõlme lõunapoolse ringi (turbo) juures (Stratumi liiklusloendus) näitasid, et rajateguriks tuleks kasutada 0,55 asemel 0,85. Siit tulenevalt on otstarbekas nii tavalise üherajalise kui turboristmiku puhul summeerida ringile saabuv koormus kõigist suundadest ja mitte kasutada rajategurit. Lihtsam lahendus on ringidel kasutada just kahekordset enamkoormatud suuna koormussagedust.

Staatika. Ringristmiku eel on märk „anna teed“ ning enne ristmikule väljasõitu tuleb kiirust kahandada või peatuda stoppjoonel. Ooteajad on reeglina väiksemad kui foorreguleeritud ristmikel, kuid korduv pidurdamine ja ühe-kahe auto kaupa edasiliikumine tavaline. Seetõttu saame rääkida staatilisest koormusest ristmikueelsel alal. Taani katendiarvutuses võetakse staatiline koormus arvesse asfaldi elastsusmooduli kahandamise teel¹⁹, alljärgneva graafiku järgi:

19

<http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fv1%2fNavigation%2fTillidsmandssystemer%2fVejregler%2fAnlaegsplanlaegning%2fVejkonstruktioner%2f&docId=vd20170126-full> (graafik: lk 26)



Joonis 6.1. Asfaldi elastsusmooduli sõltuvus kiirusest

Selle järgi kiirusel 30-35 km/h on asfaldi elastsusmoodul 80% tavapärasest ning kiirusel 10 km/h 50%. Stoppjoonel ootamise ehk puhta staatilise koormuse korral koguni 20%. Siin tuleks arvestada siiski reaalse tiipturnil esineva keskmise kiirusega antud lõigus. Siit tulenevalt teostame võrdleva kandevõimearvutuse kiirusele 30 km/h ja kiirusele 10 km/h. Maanteetingimustes on ringristmike eel keskmine ooteaeg suhteliselt tagasihoidlik, pigem võib esineda pikisuunaliste pidurdusjõudude tõttu ristmikuesise ala treppisõitmine, mis tuleneb asfaldi ülakehtide vähesest nihkepingekindlusest (peenemateriline asfalt, kõrge bituumenisisaldus ja minimaalne poorsus). Lahendus on hüdraulilise sideaine aktiivsemas kasutamises ning bituumeniga kihtide paksuse minimeerimises, püüdes samas tagada asfaldi poorsust selle lubatud ülapiiri lähedal.

Sõidujälg. Ristmikualadel hajub koormus reeglina ristlõikes oluliselt ühtlasemalt, kui väljaspool. Kõverjooneline trajektoor tagab selle, et mitmeteljelise sõiduki sõidujäljed ei kattu. Probleemi moodustavad siiski mitmeteljelised telikud, kus sõidujälg kattub täielikult sirgjoonelisel liikumisel ja suures osas kõverjoonelisel liikumisel. Lisaks on mitmeteljeliste telikute puhul kõveral liikumisel mängus külgsuunalised haardejõud ja teliku äärmised teljed liiguvad ristsuunas sõidu ajal. Kui tegemist on ringil kõrgendatud markeeringuga (kivid), siis on suurem ka jälg-jäljes liikumise osakaal – analoogiliselt tavaliklusest füüsiliselt eraldatud ühissõidukirajaga. Ingliskeelses kirjanduses kasutatakse terminit *lateral wander*, et kirjeldada põiksuunalist jälje hälvet. Sõidujälje hälbimine ringil leevendab teistest teguritest tulenevat suuremat koormust, kuid selle ulatust on raske hinnata, see sõltub raja laiusest ja eralduse liigist (kas värviga markeeritud või füüsiliselt eraldatud sõidurajad).

Ristmiku geomeetria ja kiirus. Ringristmikud projekteeritakse nii, et kiirus ringil ei tohiks ületada 35 km/h. Raskesõidukite kiirus on reeglina sellest oluliselt väiksem. Siin ei saa rääkida otseselt staatilisest koormusest, kuid asfaldi elastsusmoodul sõltub toimeajast ehk kiirusest ja ka 30 km/h on asfaldi moodul väiksem kui tavakiirustel. Sõidukite kiirused sõltuvad tegelikult ristmiku geomeetriast (ringi diameetrist) ja liiklussagedusest. Väikese ja keskmise diameetriga ringidel tuleks arvestada raskesõidukite kiirusega mitte üle 10 km/h, sest koormatud ajal reeglina tuleb peatuda stoppjoonel ja sõiduk ei suuda kiirust üles koguda piisavalt kiiresti. Suurema ringidiameetri korral on raskesõidukite kiirus ringil ka suurem.

- Projektiga kaasatud ringristmikud (möödetud sõiduraja telje piirkonnas, peaks kajastama hinnanguliselt reaalselt pöörderaadiust):
 - Karjaküla – R15
 - Türi – R17
 - Luige (põhjapoolne) - R17,5
 - Alu, Keila, Laagri, Luige (lõunapoolne), Tännassilma – R20
 - Sõerumäe, Kirna – R25
 - LISA: Kuressaare ringtee (Tallinna mnt) – R50
 - LISA: Jüri ring (Karu muna, kaheajaline) – R200

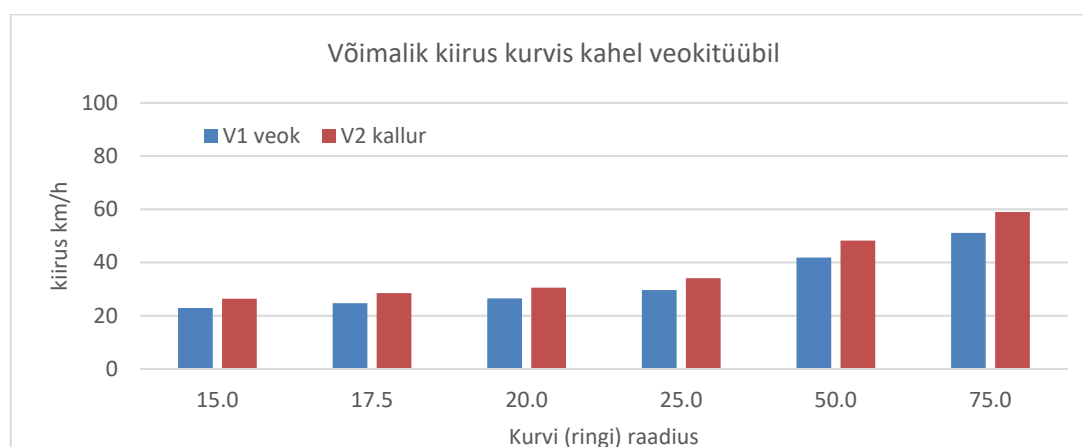
Siit tulenevalt, analüüsime sõidukite mõju katendile pöörderaadiustel R15; R17,5; R20; R25; R50; R200.

- Raskesõiduki liikumisel kõveral trajektooriga on koormus parema ja vasaku ratta vahel jagatud erinevalt – sõltuvalt trajektoori kõverusraadiusest ja kõvera läbimise kiirusest. Arvestades, et kõige probleemsemaks on kurvides puiste- ja metsamaterjalide vedajad, tühja masina (15 tonni) raskuskese on hinnanguliselt 1 meetri kõrgusel, koorma paigutus on ca 1,2...3,2 keskmiselt 2,2 meetri kõrgusel, koorma kaal ca 25 tonni – järelkult taandub sõiduki raskuskese $(15 \cdot 1 + 25 \cdot 2,2) / 40 = 1,75$. Rambi raadius võib olla 50 meetrit – arvutame, millise koormuserisuse saavutab veok erinevatel pöörderaadiustel. Raadiuseks arvestame sõiduki telje trajektoori, koormusearvestus näitab standardtelje viietonnise paarisratta poolt avaldatavat mõju katendile ja enamkoormatud ratta ekvivalentkoormust standardtelgedes (standardtelje astendajaks 4,4 vastavalt projekteerimismõõdetud toodud valemile).
- Muuga kaalupunkti andmeanalüüs näitas, et autorongide paarisrataste tsentrite vaheline kaugus on keskmiselt 179 cm ja *super-single* ehk üksikrataste vaheline kaugus 201 cm. Arvestades tühja sõiduki raskuskeskme kõrguseks 1 meetri, siis metsaveokil, mis veab 4 meetri kõrgust koormat, on koorma raskuskese $(1,20 + 4,00) / 2 = 2,60$ m. Sama kõrgusega võib arvestada ka täiskõrguses koormaga näiteks puitmaterjali vedajaga kuigi sellel on tavapärasel *super-single* rattad laiem baasiga. Puistematerjali veol on kasti serva kõrgus veidi madalam, raskuskese $H = (1,20 + 3,20) / 2 = 2,20$ m. Seega võib väita, et metsavedajad on kurvis isegi halvemates tingimustes, kuna koorem on kõrgem ja rataste tsentrite vahe väiksem, puistematerjalide puhul koorem veidi madalam ja tsentrite vahe suurem (üksikrattad, *super-single*). Lisaks juhul, kui täismass ja teljekoormused on lubatud piires, on puistematerjali veol telg 8 tonni (kolmeteljeline poolhaagis 24 tonni). Siit tulenevalt valime kontrolliks 10-tonnise telje paarisratastega (standardtelg), paarisratta tsentri kaugus sõiduki teljest $B = 0,9$ m, raskuskeskme kõrgus 2,60 m, raskuskiirendus $g = 9,81$ m/s². Arvestades momentide valemit, saame $F_{\text{vasak}} = 5 \cdot (1 - V^2 \cdot H / R \cdot B \cdot g)$. Fparem on vastavalt $5 \cdot (1 + V^2 \cdot H / R \cdot B)$ V on kiirus (m/s) ja R kurviraadius. Teiseks teeme analoogse arvutuse kui $H = 2,2$ ja $B = 1,005$ (poolhaagis-kallur, *super-single* rehvidega). Piirsituatsiooniks oletame olukorra, kus vähemkoormatud ratta kaaluks on 5 tonni staatilise koormuse asemel 1 tonn (seega enamkoormatud ratas 9 tonni). Sellele

vastab siirdetegur 13,3 ehk üks selliselt asümmeetriliselt koormatud telg mõjutab katendit 13,3 standardteljega võrdselt.

15-meetrise raadiusega ring on läbitav seega veakil kiirusega 22,9 ja kalluril 26,4 km/h. Käesolevas uuringus haaratud ristmike raadiused ulatuvad 25 meetrini ja sel juhul on kiirused vastavalt 29,6 ja 34,1 km/h. Arvestades rambi raadiuseks 50 m, on rambi läbimise võimalikud kiirused 41,8 või 48,2 km/h ning Jüri ringil (R200) vastavalt 83,7 ja 96,4 km/h. Tuleb siiski juhtida tähelepanu, konkreetset Jüri ringi puhul, võimalikule raadiusele ringile sisenemisel (ringilt väljumisel on tegemist praktiliselt ringi raadiusega). Näiteks sisenemisel Kurna suunalt teisel rajal on raadius ca 75 m (veok - 51,1 km/h) mis vastab ka kehtestatud piirkiirusele (kallur – 59 km/h). Käesolevas arvutuses ei ole võetud arvesse teekatte põikkallet (2,5% ringist välja) mis vähendab veelgi ringi läbimise võimalikku kiirust.

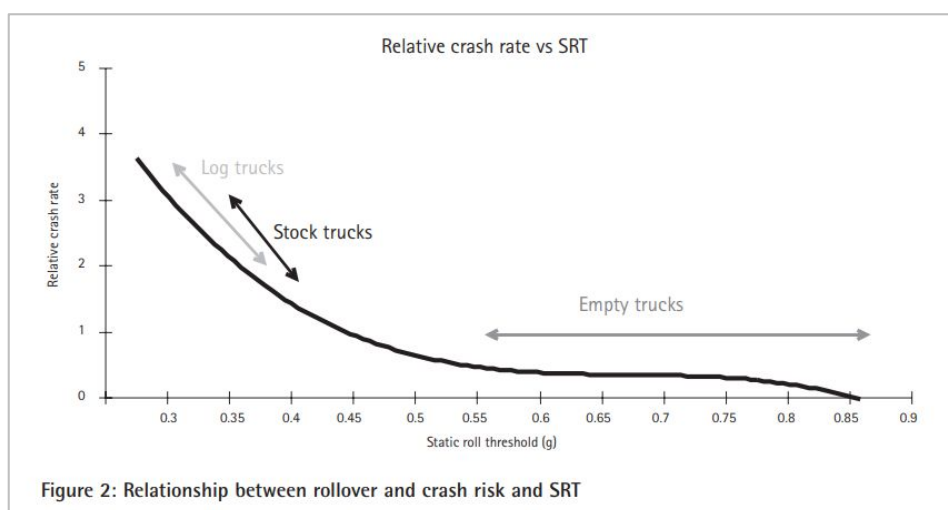
Kõverusraadius, m	15,00	17,50	20,00	25,00	50,00	75,00
Kõrge raskuskeskmega sõiduk (metsavedu, täislaadungiga transiidifurgoon/haagis)						
Raskuskese, m	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
Rattatelje kaugus tsentrist, m	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Kiirus km/h	22,90	24,70	26,50	29,60	41,85	51,10
Kiirus m/s	6,36	6,86	7,36	8,22	11,63	14,19
külgiirendus, g	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,27
Parem ratas, t	8,99	8,98	9,01	9,00	9,00	8,98
Vasak ratas, t	1,01	1,02	0,99	1,00	1,00	1,02
koormusekvivalent - normtelg	13,24	13,17	13,35	13,31	13,29	13,14
Madalama raskuskeskmega sõiduk (puistematerjali vedu)						
Raskuskese	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
Rattatelje kaugus tsentrist	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Kiirus km/h	26,40	28,50	30,50	34,10	48,20	59,00
Kõverusraadius	15,00	17,50	20,00	25,00	50,00	75,00
külgiirendus	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Parem ratas	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
Vasak ratas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
koormusekvivalent	13,28	13,25	13,31	13,31	13,28	13,25



Joonis 6.2. Võimalik kiirus kurvis kahel veokitüübil

Kirjeldatud piirilukorras (vähemkoormatud rattale jääb 20% tavakoormusest (5 tonni asemel 1), mõjutab normkoormusega telg katendit 13,3 standardteljega võrdsest. Kui tavaolukorras sõidukid ei liigu ringil (kõveral) jälg-jäljes, siis kitsendatud radade korral või füüsiliste eraldajate kasutamisel on jälgede hajuvus (*lateral wander*) oluliselt väiksem. Nii võib ka mõista olukorda näiteks Luige sõlme lõunaringil, kus otsesed koormuskahjustused on ilmnunud rampidel (enamkoormatud ratas sattus vuugikohale, kuna sõidukid läbivad kurve võimalikult sisekurvi lõikamisega). Otseselt ringil ilmnevad kahjustused on seonduvad samuti vuukidega kuid erinevalt rampidest, ei kulge vuuk üldjuhul paralleelselt sõiduki liikumissuunaga.

Sama kinnitavad ka välismaa uuringud ja juhised. Uus-Meremaa juhendis²⁰ on analüüsitud eri veokitüüpide riskitaset ja leitud suurim palgiveol.



Joonis 6.3. Erinevate veokitüüpide liiklusõnnetuste riskitase

Juhis „Vehicle Dimensions and Mass Rule“ nõuab, et veokitel arvestataks külgiirendusega 0,35g. Eeltoodud graafikutes (võimalik kiirus) on selgunud, et arvestatud kõrge raskuskeskmega sõidukil (palgiveok, raskuskese 2,60) on kriitiline piir külgiirendusel 0,28g ja madalama raskuskeskme (2,20) korral 0,37g.

AASHTO poliitika lubab maantee projekterimisel külgiirendust kuni 0,17g.

Katendikonstruktsioonid ringristmikele ja ka väikese raadiusega rampidele tuleb arvestada suuremale koormusele. Konkreetne koormuskordaja on siiski kokkuleppeline. Taani juhise järgi tuleks kasutada koormussagedusele kordajat 2 ning lisaks arvestada ringil (raskesõidukite) keskmiseks kiiruseks sõltuvalt ringi diameetrist 10 km/h kuni 50 km/h ja sellele vastavalt arvestada asfaltbetooni elastsusmooduli kahanemisega.

²⁰ <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/heavy-vehicle-stability-guide/docs/heavy-vehicle-stability-guide.pdf>

Erinevatest katendikonstruktsiooni variantidest võivad kõne alla tulla:

- Traditsiooniline konstruktsioon (asfaltkate killustikalusel või kompleksstabiliseeritud alusel). Sõltuvalt ringi diameetrist esinevad tehnoloogilised raskused ning praktiline kogemus Luige sõlmes näitab, et kriitiliseks kujunevad tehnoloogilised vahekohad paanide vahel.
- Confalt/Densifalt tüüpi poolelastse ülakihiga on võimalik saavutada kõrge nihkekindlus, see sobiks staatilise koormuse alasse enne ristmikku. Samuti on materjal sobilik väiksema diameetriga ringidel, kus probleemiks on raskesõidukite mitmeteljeliste telikute puhul esinevad külgsuunalised jõud, mis võivad asfaldikihti venitada praod või väänata asfaldist välja kivimaterjali terasid. Hüdraulilise sideainega pinnakihi on paraku ka negatiivne efekt – madalam haardetegur, mis võib suurendada libisemise riski.
- Kohapealsegatud stabiliseeritud materjalist alus (Wirtgen või analoogiline segisti) ja asfaltbetoonist kattekiht – tegemist on suhteliselt pika tehnoloogilise lülga (segisti ja sellega ühendatud vee ning bituumenemulsiooni paagid), mida on raske piisavalt hästi pöörata. Meetod sobib suure raadiusega ringidele (50 meetrit või enam).
- Tehases segatud stabiliseeritud materjalist alus koos asfaltbetoonist kattekihiga. Võimalik kasutada ka väiksemate pöörderaadiuste korral, võimalik materjali laotamine asfaldilaoturiga, greideriga või ka väikeste tõstukitega. Tihendamine tavaliste vibrorullidega. Ühekihiline asfaldist kulumiskiit.
- RCC – väiksema veesisaldusega betoon, mis paigaldatakse asfaldilaoturiga ja tihendatakse vibrorullidega. Ühekihiline asfaldist kulumiskiit.
- Kivisillutis. Sobilik linnakeskkonnas väikese liiklussageduse ja kiirusega. Kivisillutist tuleb kasutada ristmike tsentriaal ülesõidetavas piirkonnas.

Väliskirjanduses reklaamitakse laialdaselt ka betoonkattega²¹ ringristmikke. Nende ehitusaeg on pikem, eeldatakse armeerimist. Võimalikud on nii tüüblite ja vuukidega lahendid kui jätkuvaba pidevarmeeritud lahend. Sellise lahenduse vajalikkus ilmneb väga raskelt koormatud ringidel (raskeliiklus). Meie tingimustes, kuni on naastrehvid lubatud, tuleks eelistada madalama tugevusega hüdraulilise sideainega alakihti, kus tugevustaseme järgi ei ole veel vuukide rajamine nõutav/vajalik (pikaajaline survetugevus mitte üle 12 MPa) ning kasutada ühekihilist asfaltbetoonist kulumiskihti, mille saab asendada siis, kui kulumisroobas ületab normeeritud suuruse või kaob nake alakih ja kulumiskih vahel.

Betoonkattega ringristmike kohta pakutakse (ACPA 2005²²) tüüblitega konstruktsioone, tulenevalt raskeliikluse sagedusest (edasi-tagasi). Kuni 100 raskesõidukit ööpäevas ei ole vaja armeerida. Betoonkatendit soovitatakse ka väga väikese sagedusega teedele. ACPA 2017²³ on juhust täpsustatud.

²¹ <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/eupave-concrete-roundabouts.pdf>

²² <http://1204075.sites.myregisteredsite.com/downloads/RT/RT6.03.pdf>

²³ <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2017/11/Joints-1-6-ACPA%E2%80%99s-Step-by-Step-Joint-Layout-Methods-for-Different-Pavement-Applications-v2.pdf>

Klass	AKÖL	Raskesõidukid	Betooni paksus (tollides)
Kerge kõrvaltänav	<200	2-4	4-5
Kõrvaltänav	200-1,000	10-50	5-6
Kogujätänav	1,000-8,000	50-500	5,5-8
Äritänav	11,000-17,000	400-700	6-8
Veotänav	2,000-4,000	300-800	6,5-9,5
Magistraal	4,000-15,000	300-600	6,5-9,5
Põhimagistraal	4,000-30,000	700-1,500	7-10

Arvo Tinni on ringristmike lahenduseks soovitanud betoonkatendit²⁴ (2009), eelistades materjalina kiudbetooni (SFRC) sõltuvalt raadiusest. PCP (armeermata betoon) ja JRCP (vuukidega armeeritud betoon) sobivad vaid suure raadiusega ringidele kui plaadi nurk ei ole teravam kui 84 kraadi. CRCP (pidev armeeritud betoon) on ebasobiv, SFRC on enamlevinud. Valdavalt kasutatakse lahjast betoonist alakihti (LMC), siinjuures võiks kaaluda ka tsementstabiliseeritud alakihti. Koormusest tulenev ohutustegur betoonkatendi paksuse arvutuses peab arvestama ringi eripära (tavategurist ca 30% suurem). Ääredreenid on igal juhul vajalikud, võimalik et ka seespool (ringi tsentri poolel). SFRC survetugevus on vähemalt 5,5 MPa ja võimaldab õhemat konstruktsiooni mis tuleneb mitte terasest vaid kõrgemast tsemendisisaldusest. Austraalia minimaalne katte paksus 19 cm.

Arvo Tinni hinnangul on ringil välistatud pindamine ja õhuke asfaltkate. Külgsuunaliste jõudude tõttu soovib Tinni kasutada väga jäika asfalti (5000 MPa 30C juures) – Eesti tingimustes vastab sellele nõudele vaid poolelastne katend, Confalt/Densifalt.

Austraalia²⁵ soovib ringidel ja teistel väikese raadiusega kurvidel (pöördekoridorid ristmikul, rambid) kasutada arvestuslikku kolmekordset koormussagedust.

Kompleksstabiliseerimine vs tsementstabiliseerimine. Praktilised mõõtmised KS (Tallinna Ringtee) ja TS (Tammsaare ristmik, tehases segatud segu) objektidel näitavad 24 tunni järel vastavalt 270 MPa ja 400 MPa tugevust, eeldades järelkivinemist TS segul suuremas ulatuses, peaks TS arvutuslik elastsusmoodul olema oluliselt parem kui KS. Hetkel puudub siiski piisav lisainfo ja stabiliseerimise kvaliteedikontrollimetoodika vajab lisauuringut.

RCC (*roller-compacted-concrete*) on lähedane Tammsaare ristmikul kasutatud tsementstabiliseerimisega, eripära seisneb laotamise tehnoloogias asfaldilaoturiga, kui TS puhul kallati tehases valmistatud segu kallurilt suurde vaalu ja see tasandati greideriga. Praktilised kogemused RCC puhul Eestis puuduvad, kuid on olemas Lätis.

²⁴ <http://www.betoonteed.ee/wp-content/uploads/2014/08/Paving-Notes-32-Notes-on-Roundabouts.pdf>

²⁵

<https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Engineering%20Road%20Note%209%20May%202013%20-%20Internet%20Link.RCN-D13%5E23175755.PDF>

7. RINGRISTMIKE KONSTRUKTSIOONILISED LAHENDUSVARIANDID

7.1. Katendikonstruktsioonid

Analüüsiks on valitud 9 erinevat teekonstruktsiooni. Ülevaatlíkuna on need esitatud tabelis 7.1.

Tabel 7.1. Analüüsiks valitud teekonstruktsioonid

Variandi nr	Teekonstruktsioon	Konstruktsiooni kiht					Maantee klass
		1	2	3	4	5	
1	SMA-bin-base-kild	4 SMA 16	5 bin 20	7 base 32	20 kild	20 liiv	1, 2, 3, 4
2	surf-base-kild	4 surf 16		7 base 32	20 kild	20 liiv	3, 4, 5
3	surf-kild	6 surf 16			20 kild	20 liiv	4, 5
4	BET-pidev	24 bet		20 TS 32	25 kild	20 liiv	1, 2
5	BET-tüüblid	24 bet		18 TS 32	25 kild	20 liiv	1, 2
6	C/D-bin-TS-kild	5 base+C/D	6 bin 20		20 kild	20 liiv	2, 3, 4
7	surf-bin-TS-kild	4 SMA 16	6 bin 20	20 TS 32	20 kild	20 liiv	2, 3, 4
8	surf-TS	6 surf 16		20 TS 32	20 kild	20 liiv	3, 4
9	surf-RCC	4 surf 16		20 RCC	20 kild	20 liiv	2, 3, 4, 5

Konstruktsioonid on üldjuhul arvestatud uuel muldkehal A-grupi aluspinnasel, välja arvatud kolme viimase variandiga, kus aluseks on arvestatud kruuspinnasena olemasoleva tee muldkeha.

Lähteülesandes on soovitud, et analüüs kataks betoonkatted. Konsultant on seisukohal, et Eesti tingimustes ringristmike betoonkatend võib olla otstarbekas vaid linnatingimustes uusehitustel. Uurimistöös on pakutud välja kaks betoonkonstruktsiooni, millest esimene on vuugivaba pidevarmeeringuga ja teine tüüpne betoonteelahendus, mis sobib siiski suhteliselt sirgete teelõikude ehitamiseks, võimalik ka suure raadiusega ringidele. Eesti tingimustes peaks paremini õigustama tsementstabiliseeritud aluse kasutamine ja teerullibetoon, mõlemal juhul on võimalik konstruktsioon ilma armatuurita ning hoides hüdraulilise sideainega kihi survetugevuse mõõdukal tasemel (max 8 MPa), puudub vajadus ka vuukide rajamiseks.

Erinevalt konstruktsioonidest, mis nõuavad vuuke või normikohaselt paksu mitmekihilist asfaltkatet, et vältida vuugipragude peegeldumist ülakihti, piisab madalama survetugevusega materjali korral ka ühekihilisest asfaltkattest, mis paigaldatakse hästi puhastatud ja bituumenemulsiooniga krunditud alusele. Vajadusel tuleb kasutada asfaldist tasanduskihti, kui stabiliseeritud kihi tase ei ole piisav asfaldist kulumiskihi paigaldamiseks. Senine kogemus annab veendumuse, et ka ühekihilise asfaldi puhul on võimalik saavutada hea nake hüdraulilise sideainega kihiga (RCC, TS, KS).

7.2. Sillutiskivide ühendusmaterjalid

Briti standardis BS 7533-12:2006²⁶ on toodud nõuded sillutiskivide ühendusmaterjalidele.

Vastavalt standardile peavad ühendusmaterjalid sillutiskivide sidumiseks vastama vähemalt tabelis toodud väärtustele kivistunud olekus.

Tabel 7.2. Nõuded sillutiskivide ühendusmaterjalidele

Minimaalne survetugevus ^A	40 N/mm ²
Minimaalne nakketugevus ^B	1.5 N/mm ²
Minimaalne paindetugevus ^A	6 N/mm ²
Elastsusmoodul ^C	(20 000 ± 4 000) N/mm ²
Minimaalne mahumass ^A	2 000 kg/m ³
Maksimaalne mahukahanemine ^D	0.15 %

^A Mõõdetud vastavalt BS 1015-11

^B Mõõdetult vastavalt BS EN 1015-12

^C Mõõdetud vastavalt DIN 18555-6

^D Mõõdetud vastavalt BS EN 445

Eelpool toodud nõuetele vastab näiteks toode *Ultrascape Flowpoint* (Instarmac Group Plc).

Eestis on sellele standardile toetudes projekteeritud Tallinnas Viru tn, kus on kõige all dreniiv betoon, siis sängitusbetoon kividest, ning kivide vahel ka betoonsegu.²⁷

Mnt nr 11 Tallinna ringtee km 24,1-29,6 teelõigu ringristmikel on täringukivide vahed täidetud kolme erineva vuugiseguga – Flowpoint, Planol ja Rompox, mis senini on hästi vastu pidanud.²⁸

InfraRYL²⁹ näeb ette munakivide puhul P214324 raames reeglina 10-15 cm kividest sillutise ehitamise. Kui see kavandatakse ülesõidetavale alale, tuleb sillutis paigaldada vähemalt 50% kivi kõrgusest muldniiske betooni sisse (250 kg tsementi m³ kohta, 0/8 kivimaterjal). Ehitusprotsessis tuleb arvestada, et betoon säilitab paigalduseks vajaliku konditsiooni lühikest aega, seega on töö tsükliline.

Kui kasutatakse kuubikujulisi saetud või murtud servadega looduskive (*noppakivi* ehk täringukivi), siis reguleeritakse see InfraRYL P214322 järgi, võib kasutada sidumata alust, sängitusliiva ja vuugitäiteks samuti liiva. Kivid paigutatakse tihkelt, ilma spetsiaalselt vuugi jaoks ruumi jätmata ning sillutis tihendatakse nii, et kivid ei anna teineteise suhtes üldse liikuma. Sel juhul kaitseb kivi kõrguses kontakt kivide vahel ka sillutist koormusolukorras.

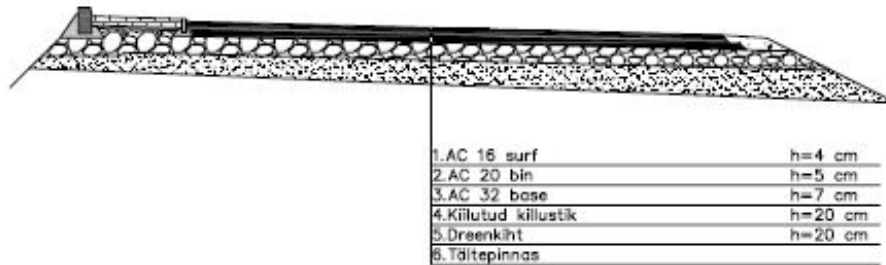
²⁶ BS 7533-12:2006. Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 12: Guide to the structural design of trafficked pavements constructed on a bound base using concrete paving flags and natural stone slabs.

²⁷ E-mail Timo Vares, Roadservice OÜ, 08.10.2018

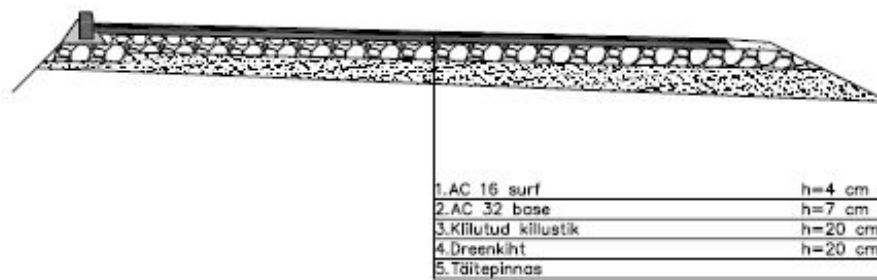
²⁸ E-mail Janar Tükk, Maanteeamet, 18.09.2018

²⁹ InfraRYL. Päälyls- ja pintarakenteet. Rakennustieto Oy, Helsinki, 2017

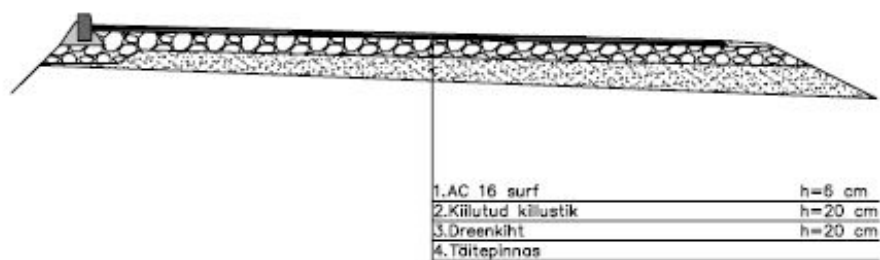
AC surf + AC bin + AC base



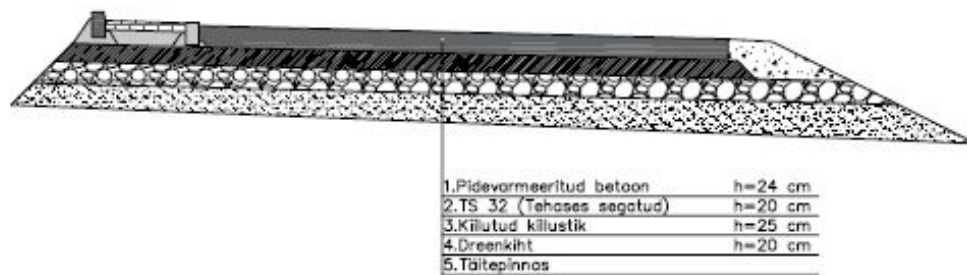
AC surf + AC base



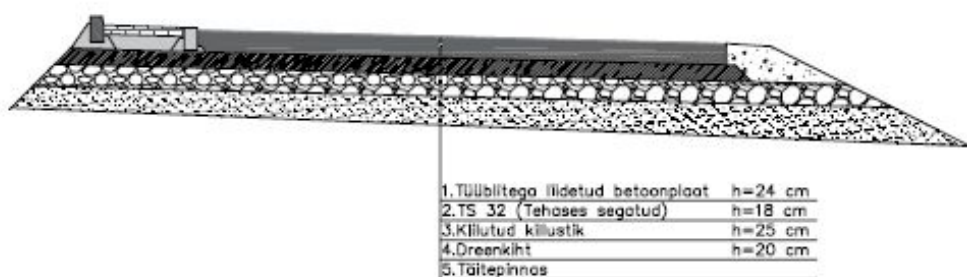
AC surf + kild



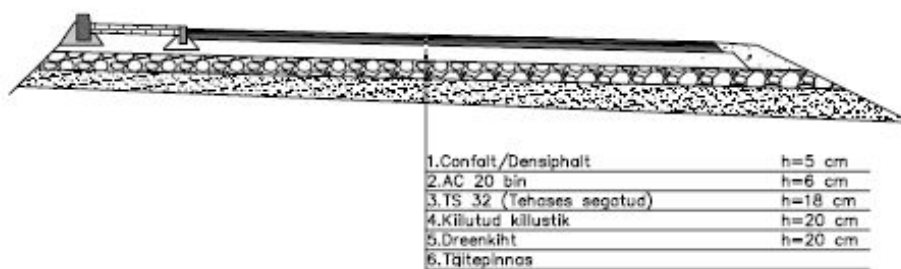
Beton pidevarmeeringuga



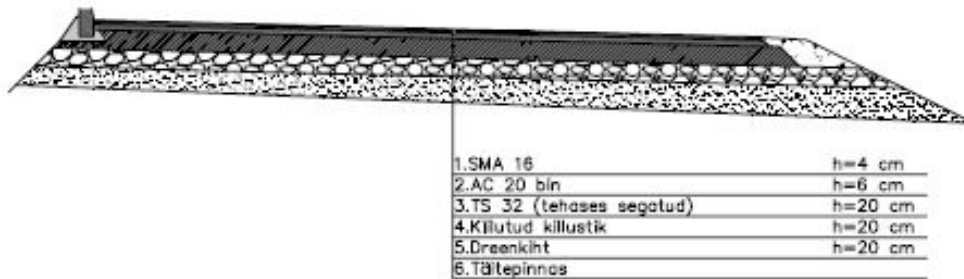
Beton tüüblitega deformatsioonivuukides



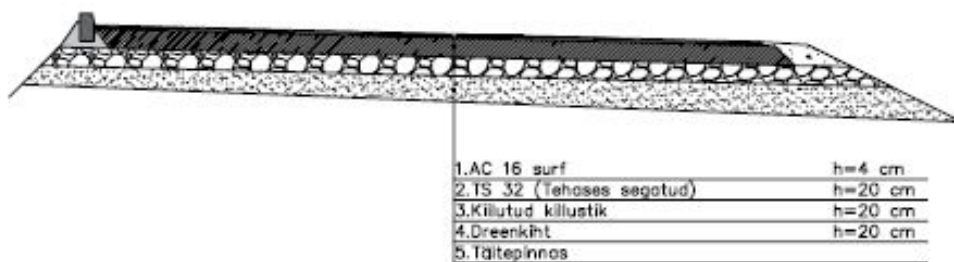
Confalt/Densiphalt + AC bin + TS



SMA + AC + TS



AC surf + TS



AC surf + RCC



8. KOKKUVÕTE

- Hüdraulilise sideainega kihtide kasutus ringristmikel
 - Betoonkatend on mõeldav vaid uue ristmiku korral seetõttu, et betoon vajab tardumiseks aega ja see on võimalik vaid juhul, kui esineb võimalus liikluse möödajuhtimiseks teise tee kaudu.
 - Seni on loetud tsemendi kasutamise riskiks põikpragude teke ja seetõttu on ka normides nõutud üsna paks asfaldikiht stabiliseeritud alusel, mis peaks vältima pragude peegeldumise ülakihtidesse. Tänapäevaste teadmiste valguses tuleks rakendada pigem kaht meetet – ühelt poolt, tagada stabiilne segu koostis võimalikult madala sideainesisalduse juures ja teiselt poolt kasutada tsemendilisandeid, mis suurendavad materjali elastsust ning vähendavad pragude tekke riski. Stabiilse koostise jaoks tuleks eelistada tehases segamise meetodit.
 - Hüdraulilise sideainega alusena saab käsitleda nii traditsioonilist tsementstabiliseerimist (TS32), tsementstabiliseerimist tsemendilisandiga (Stabilroad või analoogid), teerullibetooni (RCC – *roller compacted concrete*) kui ka lahjat betooni. Ainult suure raadiusega ringidel on seejuures võimalik kasutada teel stabiliseerimise meetodit. Parema segamiskvaliteedi huvides tuleks eelistada tehases valmistatud segusid. RCC puhul nähakse reeglina ette materjali laotamine asfaldilaoturiga 20 cm kihipaksusega.
 - Tsemendiga kihtide puhul on väiksema raadiusega kihtidel praktikas välistatud stabiliseerimisrongi (Wirtgen külmstabiliseerimine) kasutamine, võimalik on tehases valmistatud TS-segu, mis laotatakse greideri abil, kasutamine. Samuti on välistatud betoonkatte paigaldus tehnoloogilise rongiga – see piirab esitatud tsementbetoonkatendilahenduste kasutusvaldkonda oluliselt.
 - Ülakihi tsementbetooniga kihi kasutamine, nii puhtakujulise betoonkattena kui ka poolelastse kulumiskihina (Confalt/Densifalt) võib endaga kaasa tuua oluliselt siledama pinna mille nõuetekohast haardetegurit on raske tagada, seda enam väikese raadiusega kurvis võib see oluliselt tõsta külglibisemise riske. Siit tulenevalt saab soovitada tsemendiga tugevdatud kihtide kasutust ringristmikel vaid konstruktsiooni alakihtides. Hoides tsemendiga kihi survetugevuse mõõdukates piirides (3,5-7 MPa), on risk pragude tekkeks, mis võiksid peegelduda katte ülakihti, väike ja see võimaldab piirduda ühe-kahe asfaltbetoonist ülakihiga. Suurema survetugevuse korral on vajalik vuukide saagimine värskesse aluskihti, kuid spetsiaalsete vuugitihendite kasutamine pole vajalik.
 - RCC ja ka suhteliselt jäiga tehasesegatud stabiliseeritava materjali korral on võimalik asfaldi paigaldamine sisuliselt 24 h pärast hüdraulilise sideainega kihi tihendamist, mis vähendab ristmikuala liikluspiiranguid.

- Nii ringi alal kui ringile saabuval alal esineb staatiline koormus, ringilt lahkumisel on see vaid juhul, kui lahkuval niidil on ülekäigurada. Staatilise koormusega aladel tuleks eelistada hüdraulilise sideainega alust ja suhteliselt õhukest asfaltkatet.
 - Ristmikule lähenemise ala ca 100 meetrit, suurema kiiruse (maanteeolukord) puhul võib ala olla pikem (150-200 m), katend vajab tugevdamist pidurdusjõudude (pidurdusala) ja staatilise koormuse (ooteala) tõttu. Pidurdusalas aitab ainult ülakihtide jäigem (nihkekindlam) bituumen. Staatilise koormuse alas on olulised mõlemad, nii nihkekindlad tiheda asfaldi kihid kui kandevõime ehk täiendav poorse asfaldi kiht või tsementstabiliseeritud alus.
 - Staatilise koormuse kontekstis on mõistlik kasutada õhukest asfaltkatet hüdraulilise sideainega alusel (tehases segatud segud). See vähendab oluliselt riske roobaste tekkeks. Oluline on seejuures enne asfalteerimist aluspinna puhastamine ja kruntimine. et tagada hea nake asfaldiga. Otstarbekas on teha katselõike, et veenduda asfaltkatte nihkekindluses ja nake tagamises.
 - Üldiselt (ja ka Soome juhendi järgi) on staatilise koormuse meetmed jäigema bituumeni kasutamises (PMB, 50/70 või koguni 35/50) ja täiendava asfaldikihi lisamises (killustikaluse kahandamise arvel). Reeglina loetakse nihkepingete suhtes eriti tundlikuks teine asfaldikiht (sidekiht AC bin), sest ülakiht tehakse võimalikult õhuke ja see asendatakse vastavalt kulumisele (Soome ekspertide viide – me ei ole nii rikkad, et naastrehvide kulumise tõttu lühema aja jooksul asendatav kiht ehitada kallimast materjalist, PMB hinnaavahe ei anna sellekohast eksploatatsioonaja kasvu). Eriti kuuma suvega täheldatakse esmalt ülakihi AC surf asfaldi voolavust, kuid ka siin võib osaliselt põhjus olla paksemas kihis (miinimumpaksus 1,8-2,0D mille puhul ei moodustu üldjuhul ka nihkedeformatsioonide korral sügavamad roobast kui nõuded lubavad).
- Asümmeetriline koormus
 - Ringi ala osas ei järgi raskesõidukite järgnevad rattad (tridem-telik) sama jälge ja seetõttu ei avaldu vahetult ringil staatilise koormuse mõju sellisel kujul, nagu ristmikule lähenemisel. Ringi ala ohud on rohkem vuugi ebapiisavas ühenduses ja asümmeetrilises koormuses.
 - Asümmeetrilise koormusega tuleb arvestada väikese raadiusega teelõikudel – see esineb nii ringil kui rampidel. Eriti ohtlik on laiema rambi puhul see, kui raskesõidukitel, mis valivad optimaalse trajektoori (lõikavad kurvi), väliskurvi rattad sattuvad vuugi asukohta.
 - Luige sõlme rampidel ilmnenu defektide tõttu tuleks välistada üherajaliste rampide katte ehitus mitme paaniga. On loogiline, et liiklejad kasutavad kurvides siseala, lõigates kurvi. Et rambil on sõidurada laiem, satubki sellisel lahendusel enamkoormatud välisratas vuugi kohale ja sel juhul ei ole viga enam katendi dimensioneerimises, sest vuugid on alati nõrgemad. Seetõttu on mõistlik ka suure raskeliiklusega rampide projekteerimisel juhendada ringristmike eripärast eritasandiliste liiklussõlmede rampide ehitusel, sest koormuse iseloom rambil on analoogne.

- Ringi ala ülakihi materjali valik sõltub ringi geomeetriast. Ühtlase ja suure diameetriga ringi puhul on võimalik paigaldus praktiliselt kogu ulatuses asfaldilaoturiga ja sel juhul sobib SMA. Keerulisema konfiguratsiooni ja väiksema diameetri puhul tuleb osa ristmikualast katta asfaldiga käsitsi ning sel juhul tuleks eelistada AC surf (SMA ei ole piisavalt töödeldav käsitsi meetodil ja vibrolatiga eeltihendamise puudumisel on raske saavutada nõutavat kvaliteeti).
- Üleminekud erinevate konstruktsioonide vahel (tavakonstruktsioon vs tugevdatud konstruktsioon) tuleb teha siirdekiiludega või vuukidega, välistades seejuures vuukide kattumise (erinevate kihtide vuukide vahekaugus põiksuunas vähemalt 20 cm, pikisuunas vähemalt meeter) ja samuti välistades pikivuugi sattumise rattajälge. Kuna muudatus tehakse asfaldi alakihis ja killustikus, tuleks kavandada asfaldivõrgu kasutus AC bin ja AC base vahepinnal (st kahe asfaldikihi all), seda siis vuukide ulatuses ja ca meeter kummalgi pool.
- Teiste riikide praktikast on suhteliselt vähe üle võtta põhjusel, et üldjuhul tehakse katendiarvutus pigem teelõigule, mitte niivõrd üksikelemendile (nt ringristmik).
- Ringristmiku sõidutee kitsendil olevate kivide lahti tulemise vältimiseks on soovitatav paigaldada need betoonalusele, mitte liivalusele.
- Uuritud ringristmike katete seisukord ei ole üldjuhul halb ning defekte on suhteliselt vähe. On üksikud erandid (nt Luige ristmikud, mis praeguseks on juba lapitud) ning puurkehade järgi on näha, et katte kiht on nendel ristmikel uuritud ristmikest selgelt kõige õhem.
 - Tõenäolised põhjused Luige ringidel – aluspinnas vale valitud (ühtlaseteraline), tee klass vale (varutegurid), asfaltkihid liiga õhukesed (sobis madala klassi tee).
 - Katte defektid ja lagunemine valdavalt selle tõttu, et koormus satub vuugi kohale.
- Liiklusprognoosi (ja seejärel koormussageduse prognoos) koostamise meetodika on vananenud. Mida aasta edasi, seda väiksemaks jääb baasprognoosi järgi arvutatav liiklussageduse kasv. Oluline muutus on toimunud ka sõidukiklasside osas. Kui koormussagedus prognoosida suhteliselt madalaid kasvutrende arvestades, siis pole imestada, kui katendil ilmuvad defektid oodatust varasemalt.
 - Lisaks liiklussageduse baasprognoosi uuendamisele on soovitatav koostada „Liiklusuuringu koostamise meetodiline juhend“, kus on kajastatud ka ringristmikel lühiajalise liiklusloenduse tegemise meetodika (ringidel tuleb loendus teha sektorite kaupa ehk täisdiagrammiga, millest on lihtne sektorikoormused tuletada, koormussageduse arvutamisel kasutada suurima sektori väärtust jne).
- Koormussageduse leidmisel kasutatav rajategur – ristmiku alas ei saa arvestada tavapärase koormuse jaotusega sõiduradade vahel (nt ristlõikes oleva kahe sõiduraja korral on enimkoormatud sõiduraja rajategur 0,55), sest osades sektorites võib tegelik liiklus olla suurem.
 - Ringristmikku planeerides on soovitatav teha põhjalik liiklusuuring (pöördeliiklus), koormuse jaotusel sõiduradade vahel võtta rajategur vähemalt $a'=1,0$. Lõplikul katendiarvutusel tuleb arvestada kõige suuremat koormuse väärtust.

9. KASUTATUD KIRJANDUS

- MTM 05.08.2015. a määrus nr 106 „Tee projekteerimise normid“. Lisa „Maantee de projekteerimismid“
- Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. MA 2017-003
- Kendra, A. (2015). Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas
- Teadus- ja arendustöö. Ristmikel nihkekindlate katendite väljatöötamine. Töö nr 2015-14. ERC/12/2015
- EVS 843:2016 Linnatänavad
- Aavik, A. (2008). Katendikonstruktsioonid raske liikluskoormusega ja vanalinna aladel. Lõpparuanne. TTÜ Teedelinstituut
- Tasoliittymät. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Tiehallinto, 2001
- Roundabouts – Application and design. A practical manual. Ministry of Transport, Public Works and Water management Partners for Roads. 2009
- Geometric Design. US DoT
- NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide, 2nd ed. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010
- Kansas Roundabout Guide. 2nd edition. Kansas DoT, USA, 2014
- Kansas Roundabout Guide. A supplement ot FHWA’s Roundabouts: An Informational Guide. Kansas DoT, USA, 2003
- Austroads Guide to Pavement Technology Part 2: Pavement Structural Design. 2012, Austroads
- Selection and Design of Pavements and Surfacing. VicRoads, Australia, 2018
- BS 7533-12:2006. Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Part 12: Guide to the structural design of trafficked pavements constructed on a bound base using concrete paving flags and natural stone slabs
- InfraRYL. Päällys- ja pintarakenteet. Rakennustieto Oy, Helsinki, 2017
- <http://vejregler.lovportaler.dk/ShowDoc.aspx?t=%2fv1%2fNavigation%2fTillidsmandssytemer%2fVejregler%2fAnlaegsplanlaegning%2fVejkonstruktioner%2f&docId=vd20170126-full> (graafik: lk 26)
- <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/heavy-vehicle-stability-guide/docs/heavy-vehicle-stability-guide.pdf>
- <https://www.eupave.eu/wp-content/uploads/eupave-concrete-roundabouts.pdf>
- <http://1204075.sites.myregisteredsite.com/downloads/RT/RT6.03.pdf>
- <http://www.acpa.org/wp-content/uploads/2017/11/Joints-1-6-ACPA%E2%80%99s-Step-by-Step-Joint-Layout-Methods-for-Different-Pavement-Applications-v2.pdf>
- <http://www.betoonteed.ee/wp-content/uploads/2014/08/Paving-Notes-32-Notes-on-Roundabouts.pdf>
- <https://www.mainroads.wa.gov.au/Documents/Engineering%20Road%20Note%209%20May%202013%20-%20Internet%20Link.RCN-D13%5E23175755.PDF>

LISA 1. UURIMISTÖÖ RINGRISTMIKUD

LISA 2. GEOTEHNILISE UURINGU TULEMUSED

LISA 3. TEEKATTE MAKROTEKSTUURI MÕÕTMISTULEMUSED

LISA 4. TEEKONSTRUKTSIOONI KANDEVÕIME MÕÕTMISTULEMUSED

LISA 5. MAARADARI MÕÕTMISTULEMUSED

LISA 6. TEEKATTE DEFJEKTIDE INVENTEERIMISTULEMUSED

LISA 7. RINGRISTMIKE LIIKLUSLOENDUSE TULEMUSED

LISA 8. TEEKATTE ROOPA SÜGAVUSE MÕÕTMISTULEMUSED

LISA 9. RINGRISTMIKE PILDID

LISA 10. UURIMISTÖÖ TEHNILINE KIRJELDUS