



1918

TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOO

KATENDIKONSTRUKTSIOONID RASKE LIIKLUSKOORMUSEGA JA VANALINNA ALADEL

Teadustöö klass 2.8

TEADUSTÖÖ 8031

**KATENDIKONSTRUKTSIOONID RASKE LIIKLUSKOORMUSEGA JA
VANALINNA ALADEL**

LÕPPARUANNE

Tellija: TALLINNA LINN

Lepingu vastutav täitja: prof. ANDRUS AAVIK

12. november 2008.a.

Tallinn 2008

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

KATENDIKONSTRUKTSIOONID RASKE LIIKLUSKOORMUSEGA JA VANALINNA ALADEL

Käesolev teadustöö lõpparuanne on koostatud 16.04.2008.a. Tallinna linna ja TTÜ teedeinstituudi vahel sõlmitud Töövõtulepingu 8031 alusel.

Teadustöö lõpparuande koostasid:

1. Professor Andrus Aavik – lepingu vastutav täitja, põhitäitja
2. Teadur Tiit Metsvahi – ptk. 2. Raskeliiklus Tallinna tänavavõrgul
3. Tehnik Innar Metsala - roopa mõõtmised bussipeatustes, Tondi tn.
ringristmike asfaldiproovide laboratoorsed katsetused

SISUKORD

		LK
	TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE	5
1.	ÜHISSÕIDUKITE PEATUSTE KATENDID	7
1.1.	Sissejuhatus	7
1.2.	Ühissõidukite peatuste vaatlusvõrk	8
1.3.	Ühissõidukite peatuste katendite seisukorra hinnang ja tulemuste analüüs	9
1.4.	Kokkuvõte ühissõidukite peatuste katenditest	22
2.	RASKELIIKLUS TALLINNA TÄNAVAVÕRGUL	23
3.	SOOVITUSED RISTMIKEALADE KATENDIKONSTRUKTSIOONIDE VALIKUKS JA EHITAMISEKS	44
3.1.	Sissejuhatus	44
3.2.	Struktuurse tugevuse tagamine	47
3.2.1.	Olemasoleva katendi seisukorra hinnang	47
3.2.2.	Sobiva remondimeetodi valik	49
3.3.	Materjalide valik	50
3.3.1.	Killustikalused	50
3.3.2.	Asfaltbetoonsevad	53
3.3.3.	Uued materjalid ja tehnoloogiad	55
3.4.	Tehnoloogia järgimine	60
4.	RINGRISTMIKUD	64
4.1.	Tondi tn. ringristmike katted	64
4.2.	Ringristmike kattekonstruktsioonid	72
5.	KIVISILLUTISEGA KATENDIKONSTRUKTSIOONID	80
	KASUTATUD KIRJANDUS	93

TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE

KATENDIKONSTRUKTSIOONID RASKE LIIKLUSKOORMUSEGA JA VANALINNA ALADEL

1. Probleemipüstitus ja teadustöö eesmärgid

2005. aastal oli Tallinna Kommunaalameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel sõlmitud uurimistöö leping „Autobussipeatuste katendid Tallinnas. Pikiroobaste remondiviiside võrdlus“ (leping 5001L). Nimetatud lepingulise töö käigus valiti ühissõidukite peatuste katete vaatlusvõrk Tallinna enimkoormatud tänavatel ja teostati nende seisundi hindamine. Et aga erinevate kattetiüüpide (asfaltbetoon, betoonkivi, confalt) puudusi ja eeliseid esile tuua, ei piisa ühest vaatlusaastast, seejuures silmas pidades, et confalt-katete vanus nimetatud töö teostamise hetkel oli vaid 1-2 aastat.

Ühissõidukite peatustes ja suure ühissõidukite koormusega ristmikel tekkivad katendikonstruktsiooni defektid võivad olla põhjustatud ühissõidukite ülekoormusest. Lähtudes sellest tekib küsimus: milline peaks olema suurim arvutuslik ühissõidukite täitumistase (in/istmetest vaba pinna m^2 -le), mis ei põhjustaks katendi deformatsioone, ja kas ühissõidukite liiklussageduse kasv vähendatud täituvuse normi korral parandaks olukorda nimetatud kriitilistes kohtades või hoopis halvendaks?

Lisaks ühissõidukitele koormavad ristmikke ka ülejäänud linnaliikluse tekitatud nii dünaamilised kui ka staatilised koormused, mis seavad ristmike katendikonstruktsioonide tugevusele muu liiklusalaga võrreldes kõrgendatud nõudmisi.

Teadustöö eesmärk:

1. Määrata erinevate katendikonstruktsioonidega ühissõidukite peatuste tööiga, mis eeldab 2005.a. valitud peatuste vaatlusvõrgul mõõtmiste ja seisukorra hindamise jätkamist järgnevate aastate jooksul;
2. Soovituste koostamine sobivate ühissõidukite peatuste katendikonstruktsioonide valikuks erinevates liiklustingimustes (ühissõidukite taskutes, ühistranspordirajal, üldliiklusrajal);
3. Ühissõidukite täituvuse ja sellest lähtudes nende koormuse mõju uurimine katendikonstruktsiooni seisukorrale.
4. Soovitused ristmikealade katendikonstruktsioonide valikuks ja ehitamiseks.

Viimastel aastatel ehitatud ringristmike (Tondi tn.) katetel on ilmnenud asfaltsegu murenemine liikluskoormuse tekitatud tsentrifugaaljõudude toimet. Sõiduauto liikumiskiiruse mõjutamiseks rajatakse ringristmikele sõltuvalt ristmiku keskmise saare diameetrist sõidutee kitsend lausega 1-2 meetrit, sellel kitsendil kasutatakse muu katendiga võrreldes oluliselt teist konstruktsiooni. See laiend on mõeldud pikkadele sõidukitele suurema pöörderaadiuse võimaldamiseks. Laiend võidakse eraldada muust sõiduteest madala äärekiviga. Seni rajatud katenditest on tsentrifugaaljõu mõjul sageli välja kistud katendis kasutatud kivisid.

Teadustöö eesmärk:

1. Tondi tn. ringristmikel tekkinud murenemise põhjuste väljaselgitamine paigaldatud asfaltsegu omaduste määramisega;

2. *Soovituste koostamine sobiva kattekonstruktsiooni ja sõidutee kitsendi äärekivi tüübi valimiseks ringristmikele.*

Tallinna vanalinna tänavakatendid on valdavalt parkett- või munakivisillutiskattega, mille kandevõime faktiline määramine teedeinstituudi ja AS Teede Tehnokeskuse olemasolevate dünaamiliste seadmetega (FWD) ei ole võimalik. Seetõttu oleks hetkel ainukeseks võimaluseks teostada vanalinna tänavakatete seisukorra visuaalne hinnang koos põik- ja pikiprofiili hindamisega 3 m latiga, mille alusel saaks subjektiivselt hinnata ka nende kandevõimet. Kuid selline lähenemine ei annaks siiski objektiivset hinnangut vanalinna tänavate kandevõimele. Seetõttu osutub otstarbekaks teostada olemasoleva kivisillutisi käsitleva info (kirjandus, internet) analüüs ning koostada soovituslikud kivisillutisega katendikonstruktsioonid, mis vastaksid teatud liikluskoormusele.

Teadustöö eesmärk:

1. *Kivisillutisega katendikonstruktsioone käsitleva olemasoleva info (kirjandus, internet) analüüs;*
2. *Soovituslike, teatud liikluskoormusele vastavate, kivisillutisega katendikonstruktsioonide koostamine.*

2. Teadustöö sisu

2.1. Raske liikluskoormusega alade katendikonstruktsioonid

- 2.1.1. Ühissõidukite peatuste seisukorra hindamine 2005.a. valitud vaatlusvõrgul (pikiroopa sügavus 3 m lati all);
- 2.1.2. Ühissõidukite peatuste seisukorra hindamistulemuste analüüs ja selle alusel esialgsete soovitude koostamine sobivate ühissõidukite peatuste katendikonstruktsioonide valikuks erinevates liiklustingimustes (ühissõidukite taskutes, ühistranspordirajal, üldliiklusrajal);
- 2.1.3. Tondi tn. ringristmikel tekkinud murenemise põhjuste väljaselgitamine paigaldatud asfaltsegu omaduste määramisega;
- 2.1.4. Soovituste koostamine sobiva kattekonstruktsiooni valimiseks ringristmikele;
- 2.1.5. Ühissõidukite täituvuse ja sellest lähtudes nende koormuse mõju uurimine katendikonstruktsiooni seisukorrale;
- 2.1.6. Soovituste koostamine ristmikealade katendikonstruktsioonide valikuks ja ehitamiseks.

2.2. Vanalinna ala kivisillutisega katendikonstruktsioonid

- 2.2.1. Kivisillutisega katendikonstruktsioone käsitleva olemasoleva info (kirjandus, internet) analüüs;
- 2.2.2. Soovituslike, teatud liikluskoormusele vastavate, kivisillutisega katendikonstruktsioonide koostamine eelnimetatud analüüsi alusel.

1. ÜHISSÕIDUKITE PEATUSTE KATENDID

1.1. SISSEJUHATUS

Kuigi individuaalsõidukite arv ühe inimese kohta aastast-aastasse ikka veel kasvab, on Tallinna liiklusskeemis olulise tähtsusega ühistransport, mille eelisarendusega ka linnavalitsus tegeleb („pargi ja reisi“ süsteem, koolibussid jmt.). Ühissõidukite peatuste katendite seisukohalt on ühistranspordist olulisimad bussid ja trollibussid.

Ühissõiduki peatuse asukoha valik sõltub peamiselt tänava liigist (radade arvust), kiiruspiirangutest, üldisest ja ühissõidukite liiklussagedusest, nähtavustingimustest, kinnistupiiridest (nn „punasest ehitusjoonest“) jmt. Lähtudes sellest paigutatakse ühissõiduki peatused reeglina:

- bussitaskusse,
- ühistranspordirajale,
- üldkasutatavale sõidurajale.

Levinumad ühissõidukite peatustes kasutatavad katenditüübid Tallinnas on :

- asfaltbetoonkatted ;
- confalt- või densifaltkatted ;
- betoonkivisillutisega katted ;
- looduskivisillutisega katted.

Bussipeatuste katenditele, sõltumata kasutatud materjalist, esitatakse nõuded haardeteguri (libeduse), kallete (vee äravoolu kindlustamiseks), kulumis- ja külmakindluse osas. Kuid lisaks eelnimetatuile omab märkimisväärset, kui mitte kõige olulisemat tähtsust ehitatud katendikonstruktsioonide vastupidavus püsivate katendideformatsioonide (roobaste) tekkele ja katte lagunemisele.

Tallinna ühissõidukite peatuste katendite uuringuga alustas TTÜ teedeinstituut ins. Vello Mespaki juhtimisel 2006. aastal Tallinna linna ja teedeinstituudi vahel sõlmitud töövõtulepingu 5001L raames, mille lõpparuanne valmis 2006.a. lõpus.

Lepingulise töö nr 5001L esimese vahearuanne käsitles bussipeatuste katendite erinevaid konstruktsioone, nende eelised ning puudused, samuti eesmärgi püstitamist nende katendite pikemaajaliseks uurimiseks. Teine vahearuanne käsitles pikiroobaste tekke ja arenguseaduspärasusi ja nende seost bussipeatuste olukorraga. Lõpparuandes on esitatud Tallinna bussipeatuste vaatlusvõrgu moodustamist ning valitud võrgul teostatud katete roobaste, libisemistakistuse, põikkallete, vihmavee ärajuhtimissüsteemi analüüs. Samuti on lõpparuandes esitatud peatuste katteliikide põhiliste defektiliikide remondivõimalused.

Kuna käesolevas teadustöös jätkatakse 2006. aastal valitud ühissõidukite peatustevõrgu seisukorra hindamist ning peatuse katte libisemistakistus, põikkalded ja vihmavee ärajuhtimissüsteemid üldiselt nii lühikese aja jooksul ei muutu (kui ei ole tehtud põhjalikku

remonti, ümberehitust vmt), siis on käesolevas teadustöös keskendutud peamiselt roobaste arengu analüüsile (seisukord 2008 vs 2006). Analüüsi eesmärgiks on:

- määrata erinevate katendikonstruktsioonidega ühissõidukite peatuste tööiga;
- soovitude koostamine sobivate ühissõidukite peatuste katendikonstruktsioonide valikuks erinevates liiklustingimustes (ühissõidukite taskutes, ühistranspordirajal, üldliiklusrajal).

1.2. ÜHISSÕIDUKITE PEATUSTE VAATLUSVÕRK

Käesolev teadustöö põhineb 2006. aastal ins. Vello Mespaki poolt koostatud ühissõidukite peatuste vaatlusvõrgul (tabel 1.1). Eesmärgiks on haarata kolme põhilist kattetüüpi - asfaltkatteid, kivitkatteid ja confaltkatteid. Vaatlusvõrgu marsruutideks on valitud suurema ühissõidukikoormusega (buss + trollibuss) tänavad.

Tabel 1.1. Ühistranspordi peatuste vaatlusvõrku valitud marsruudid, peatused, katte tüübid ning ühissõidukite läbisõit (2006)

Tänav	Peatus	Linnasuund	Linnast välja	Läbisõit (trollid+bussid), tuh/aastas
Sõle	Sõle	-	k	88,8
	Ädala	k	c	88,8
	Kolde	k	k	88,8
	Nisu	k-	k-	127,3
	Madala	c-	c	74,2
	Lõime	c	c-	74,2
	Maleva	a	c-	74,2
Paldiski	Tehnika	a-	c-	151,7
	Ristiku	co	c	151,7
	Lille	a	a-	184,8
	Hipodroom		a	184,8
	Pirni	co	c-	108,8
	Humala	co	c-	108,8
	Mustjõe	c	c	108,8
	Looga	c	c	108,8
	Zoo	ao	a	108,8
	Haabersti	c-	c	108,8
Sõpruse pst.	Ehitajate	k	k	85,2
	Liivaku	a-	k	211,0
	Vambola	a	a	211,0
	Lepistiku	a	a	215,6
	Siili	a	a	215,6
	Linnu tee	c-	k	207,5
	Tedre	c	c	207,5
	Koskla	c-	a-	197,4
Pärnu mnt.	Nõmme	a-	ao	82,2
	Roheline	a-	a-	28,8
	Rahumäe	a-	a-	28,8
	Kirde	a-	a-	28,8
	Kurni	a-	-	28,8

	Risti	c	a-	113,1
	Järve	c	Virve c	113,1
	Hallivanehe	a	a	113,1
	Kalevi	ao	a	113,1
	Tallinn-Väike	a-	a-	121,2
	Vineeri	a-	ao	121,2
	Kosmos	a	co	121,2

Tähistused:

1. Täht: a - asfaltkate
k - uni-kivikate
c - confaltkate
2. Tähis peale tähte: - peatus üldkasutataval sõidurajal
o peatus ühistranspordirajal
tähistuseta – peatus bussitaskus

Tabelis 1.1 loetletud peatustest jäeti 2006. aastal ins. Vello Mespaki poolt vaatlustest kõrvale Sõpruse puiesteel Ehitajate peatus, kus aastane läbisõitude arv oli 85,2 tuhat, samuti Pärnu maanteel olevad peatused Roheline, Rahumäe, Kirde ja Kurni koormatusega vaid 28,8 tuhat läbisõitu aastas. Seega jäi 2006.a. pidevasse vaatlusvõrku 34 asfaltkattega, 9 kivikattega ja 27 confalt (densifalt) kattega peatust. Nendest 33 asub „taskutes“, 8 ühistranspordile eraldatud rajal ja 27 esimesel üldkasutataval liiklusrajal.

Käesolevas teadustöös on analüüsi kaasatud kõik vaatlusvõrku valitud peatused.

1.3. ÜHISSÕIDUKITE PEATUSTE KATENDITE SEISUKORRA HINNANG JA TULEMUSTE ANALÜÜS

Nagu ptk-s 1.1 sai märgitud, jätkatakse käesolevas teadustöös 2006. aastal valitud ühissõidukite peatustevõrgu seisukorra hindamist, keskendudes peamiselt peatuste kattetel tekkinud roobaste sügavuse mõõtmisele (**tabel 1.2**) ja roobaste arengu analüüsile.

Tabel 1.2. Roopa mõõtmistulemused ühistranspordi peatuste vaatlusvõrku valitud peatustes

Peatus	2006			2008			
	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Seisukord
SÕPRUSE PST.							
<i>Sõpruse pst. linna suund</i>							
Mustamäe	a	18	14,5	a	19	14	
Keemia	a	14,5	19,5	a	17	25	
Ehitajate	k	9	6	k	48	5	auku vajunud kivid
Liivaku	aüld	10	90	c	4	5	uus confalt taskus
Vambola	a	36	34	c	4	7	uus confalt
Lepistiku	a	22	24	c	5,5	7,5	uus confalt
Siili	a	36	25	c	5,5	7	uus confalt
Linnu tee	cüld	2	1	c	29	8	vas.ratas vajunud
Tedre	c	2	5	c	16	20	plastilised deform.
Koskla	cüld	1	3	cüld	5	17	
<i>Sõpruse pst. linnast välja suund</i>							
Koskla	a	10	13	a	42	48	plastilised deform.

Peatus	2006			2008			
	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Seisukord
Tihase	a	5	3	a	40	31	plastilised deform.
Tedre	c	7	5	c	11	9,5	
Linnu 1	k	10	4	k	16,5	7	kaev?
Linnu 2	a	1	1	a	6,5	7,5	
Siili	a	35	33	c	6	5	uus confalt
Lepistiku	a	75/85	36/90	c	13,5	18	plast.deform., serv üleval
Vambola	a	70	75	c	5	4	uus confalt
Liivaku	k	9	4	c	3,5	5,5	uus confalt
Ehitajate	k	10	7	c	12	7	kaevu kõrvalt vajunud
Keemia	a	24/50	18/85	a	30	75	suured plastil.deform
Mustamäe	a	26	100	a	42	64	vajunud
PÄRNU MNT.							
<i>Pärnu mnt. linna suund</i>							
Nõmme	aüld	28	25	aüld	20	25	valuasfalt, uus?
Roheline	aüld	22	21	aüld	37	9	vana asfalt
Rahumäe	aüld	22	10	aüld	23,5	4	vana asfalt
Kirde	aüld	31	24	aüld	30,5	23	vana asfalt
Kurni	aüld	27	27	aüld	23	47	vana asfalt
Risti	c	3	3	c	9	11,5	
Järve	c	5	2	c	7	11	
Hallivanamehe	a	28/28	33/63	a	31	79	vana asfalt
Kalev	aühis	37/40	50/74	aühis	44	80	vana asfalt
Tallinn-Väike	aüld	9	6	aüld	24,5	75	vana asfalt
Vineeri	aüld	40	39	aüld	11,5	13	vana asfalt
Kosmos	aüld	14	18	aüld	24,5	15	vana asfalt
Vabaduse	aüld	6	2	aüld	9,5	16	vana asfalt
Viru	küld	48	28	küld	57	35	vajunud, põikvuugid
<i>Pärnu mnt. linnast välja suund</i>							
Viru	kühis	10	15	kühis	24	27	äärekivi serv asf-ga vuugit.
Vabaduse	küld	6	4	küld	5	2	asfaldivuugid vajunud
Kosmos	cühis	5	7,5	cühis	6	7	
Vineeri	aühis	37	51	aühis	36	69	vana asfalt
Tallinn-Väike	aüld	17,5	7	aüld	25	6	
Kalev	a	25/26	19/40	a	27	40	vuugivaba, asf-ga ühte värvi?
Hallivanamehe	a	42/40	59/30	a	62	70	vana asfalt
Järve	c	7	12	c	17	17	
Virve	c	5	6	c	16	19	
Risti	aüld	36/42	38/80	aüld	27	39	vana asfalt
Kirde	aüld	12	23	aüld	21,5	23	vana asfalt
Rahumäe	aüld	16/18	19	aüld	5	20	vana asfalt
Roheline	aüld	31/35	33	aüld	45	38	vana asfalt
Nõmme	cühis	1	3	cühis	1	1,5	
SÕLE TN.							
<i>Sõle tn. linna suund</i>							
Maleva	a	6	17	a	79	92	suured plastilised deform.
Lõime	c	9	6	c	3	9,5	pikipraad äärtes
Madala	cüld	3	5	cüld	3,5	3,5	betoon pragunenud
Nisu	küld	3	7	küld	22	9	
Kolde	k	4	11	k	6	7	
Ädala	k	38	17	k	53	28	kivi vajunud

Peatus	2006			2008			
	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Kate	Vas.ratas	Par.ratas	Seisukord
Sõle tn. linnast välja suund							
Sõle	k	7	8	k	22,5	26,5	kivi murenenud
Ädala	c	5	13	c	9	6	piki- ja põikpraod
Kolde	k	3	9	k	6	3,5	
Nisu	küld	6,5/10	7	küld	20	13	kulunud tavasõidurea parem jälg
Madala	c	6	4	c	6	4	
Lõime	cüld	7,5	11	cüld	7,5	13,5	pragunenud
Maleva	cüld	8	11	cüld	6	20,5	pragunenud, serv vajunud
PALDISKI MNT.							
Paldiski mnt. linna suund							
Haabersti	cüld	1,5	1	cüld	7	9	kohati murenenud
Zoo	aühis	34	30,5	aühis	76	42	plastilised deform.
Looga	cüld	0,5	3	cüld	4		
Mustjõe	cüld	1	3	cüld	7	6	pikipraod
Humala	cühis	2	2	cühis	7	6	
Pirni	cühis	4	5	cühis	9	6,5	
Lille	aüld	29	21	aüld	24	29	asfalt lagunenu
Ristiku	cühis	5	8	cühis	9	7	vuugi juures pikipragu
Tehnika	aüld	26	17	aüld	40	40	plastilised deform., parem praod
Paldiski mnt. linnast välja suund							
Kelmiküla	kühis	4	3	kühis	10	9,5	kivid vajunud, lagunenu
Ristiku	c	6	6	c	7	9,5	lapitud
Lille	aüld	55	50	aüld	59	54	plastilised deform.
Hipodroomi	a	19	21	a	19	26	asfalt lagunenu
Pirni	cüld	1	1	cüld	4	7,5	põikpraod, 2 kaevu
Humala	cüld	0	3	cüld	5	5,5	põikpraod
Mustjõe	c	3	8	c	8	13	
Looga	c	3	4	c	5	5	
Zoo	a	7	6	a	49	85	plastilised deform.
Haabersti	c	4	7,5	c	5,5	8,5	

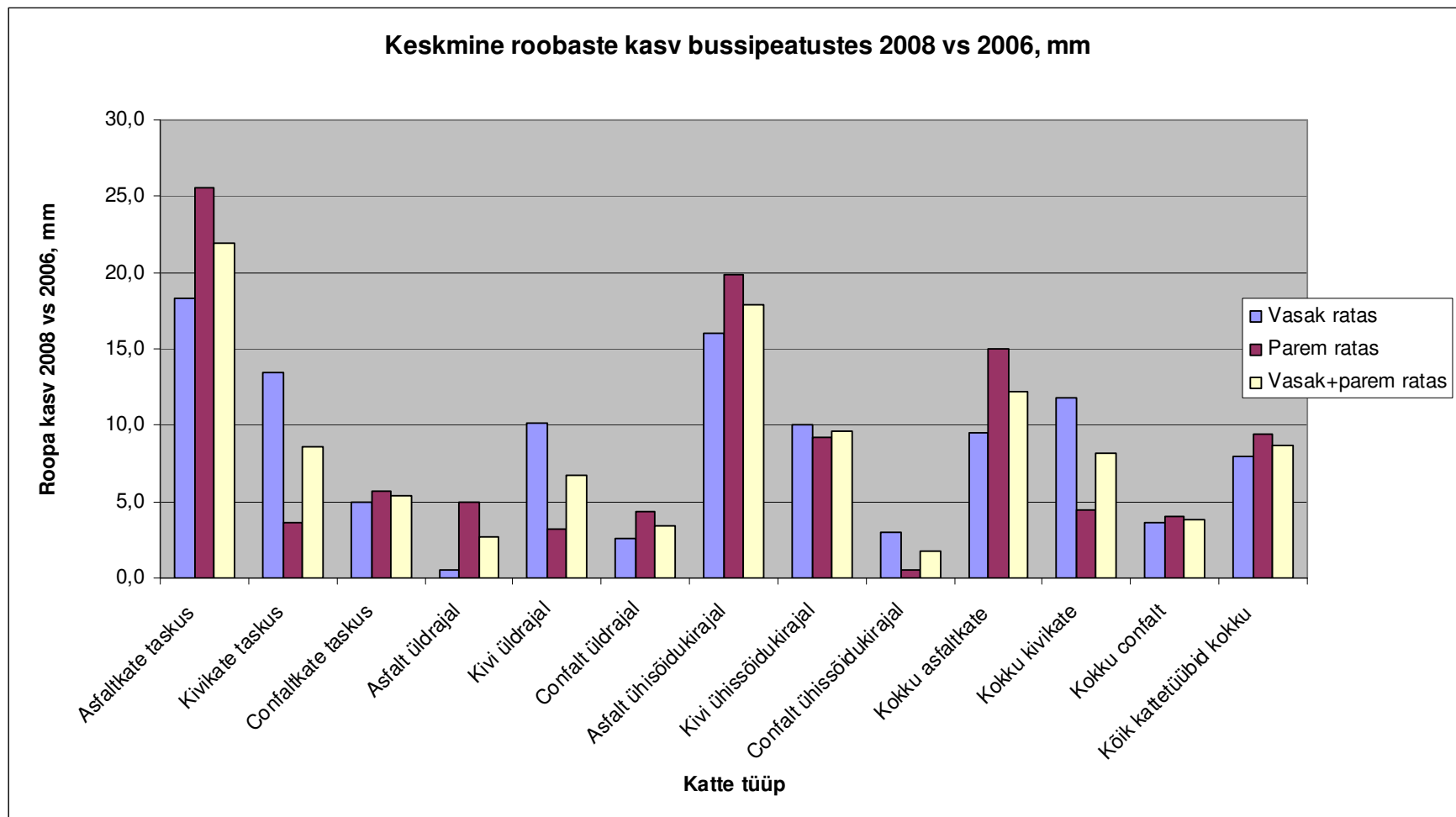
Analüüsiks jagame ühissõidukipeatused gruppidesse vastavalt katte tüübile (asfaltkate, unikivikate, confaltkate) ja peatuse paiknemiskohale (taskus, üldkasutataval sõidurajal, ühissõidukirajal).

Esimeses analüüsi etapis leiame igale kattetüübile ja paiknemiskohale vastavad keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed roopasügavuste muutused kaheaastase vaatlusperioodi jooksul (2008 vs 2006) (tabel 1.3, joonised 1.1 ja 1.2).

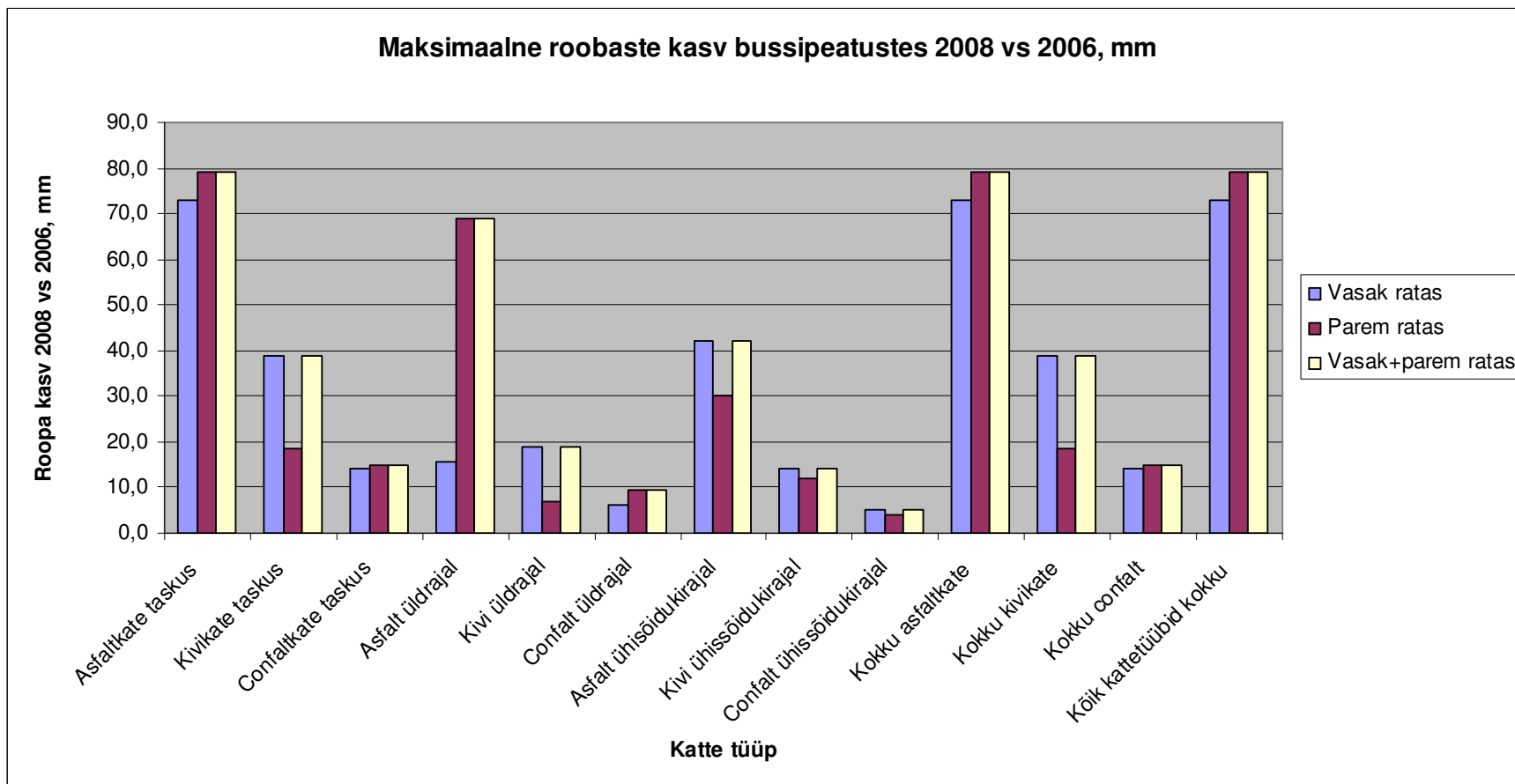
Teises analüüsi etapis seome kahe aasta jooksul tekkinud roobaste kasvu ka ühissõidukite peatusest busside ja trollibusside läbisõidu arvuga (joonised 1.3, ..., 1.6).

Tabel 1.3. Keskmine, minimaalne, ja maksimaalne roobaste kasv erineva kattetüübiga ja paiknevusega ühissõidukite peatustes 2008 vs 2006, mm

Roobaste kasv ühissõidukite peatustes 2008 vs 2006, mm												
Katte tüüp	Vasak ratas				Parem ratas				Vasak + parem ratas kokku			
	keskmine	st.hälve	min	max	keskmine	st.hälve	min	max	keskmine	st.hälve	min	max
Asfaltkate taskus (a)	18,3	21,9	0,0	73,0	25,6	32,5	-36,0	79,0	21,9	27,4	-36,0	79,0
Asfalt üldrajal (aüld)	0,5	12,0	-28,5	15,5	4,9	20,6	-26,0	69,0	2,7	16,7	-28,5	69,0
Asfalt ühissõidukirajal (aühis)	16,0	22,9	-1,0	42,0	19,8	9,4	11,5	30,0	17,9	15,8	-1,0	42,0
Kokku asfaltkate	9,5	19,3	-28,5	73,0	15,0	27,0	-36,0	79,0	12,3	23,4	-36,0	79,0
Kivikate taskus (k)	13,5	13,8	2,0	39,0	3,7	9,4	-4,0	18,5	8,6	12,4	-4,0	39,0
Kivi üldrajal (küld)	10,1	8,5	-1,0	19,0	3,3	4,1	-2,0	7,0	6,7	7,2	-2,0	19,0
Kivi ühissõidukirajal (kühis)	10,0	5,7	6,0	14,0	9,3	3,9	6,5	12,0	9,6	4,0	6,0	14,0
Kokku kivikate	11,8	10,6	-1,0	39,0	4,5	7,1	-4,0	18,5	8,1	9,6	-4,0	39,0
Confaltkate taskus (c)	5,0	6,1	-6,0	14,0	5,7	6,7	-7,0	15,0	5,4	6,2	-7,0	15,0
Confalt üldrajal (cüld)	2,6	2,8	-2,0	6,0	4,4	3,8	-1,5	9,5	3,4	3,3	-2,0	9,5
Confalt ühissõidukirajal (cühis)	3,0	2,4	0,0	5,0	0,5	2,3	-1,5	4,0	1,8	2,5	-1,5	5,0
Kokku confalt	3,7	4,4	-6,0	14,0	4,0	5,3	-7,0	15,0	3,8	4,8	-7,0	15,0
Kõik kattetüübid kokku	7,9	14,5	-28,5	73,0	9,4	19,9	-36,0	79,0	8,7	17,3	-36,0	79,0



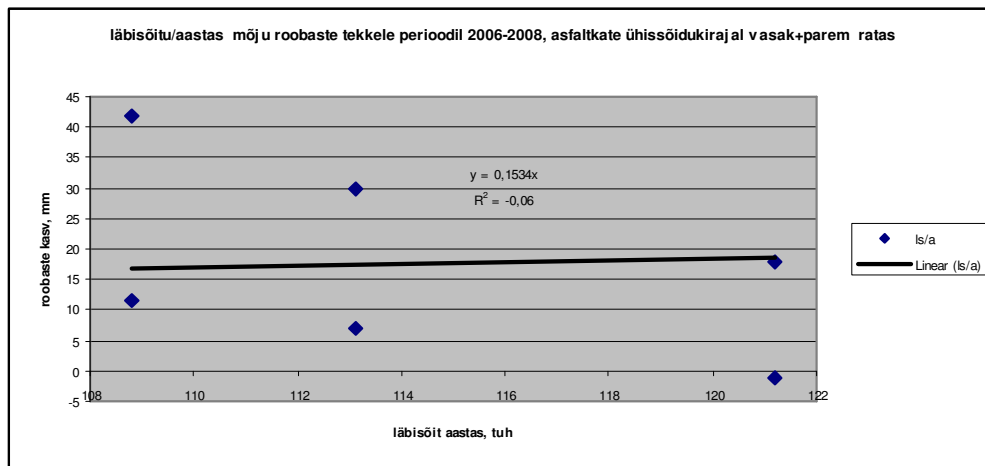
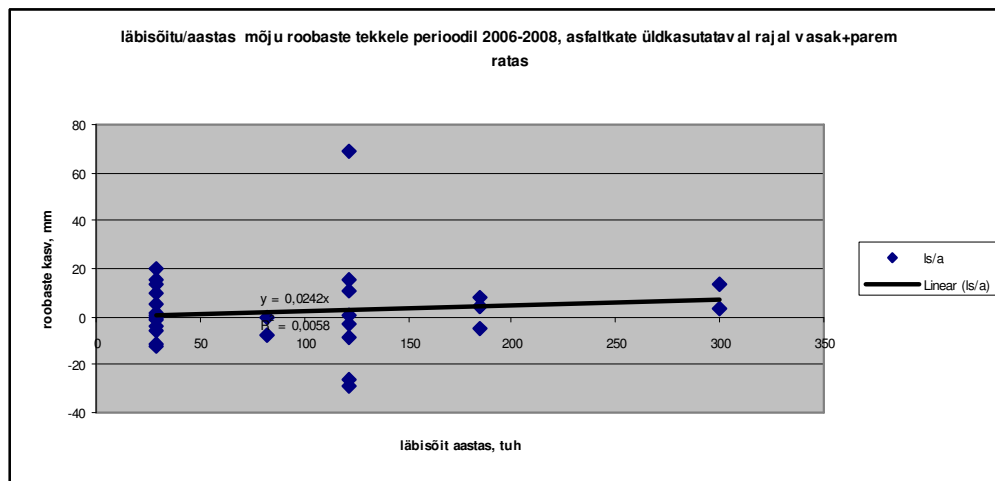
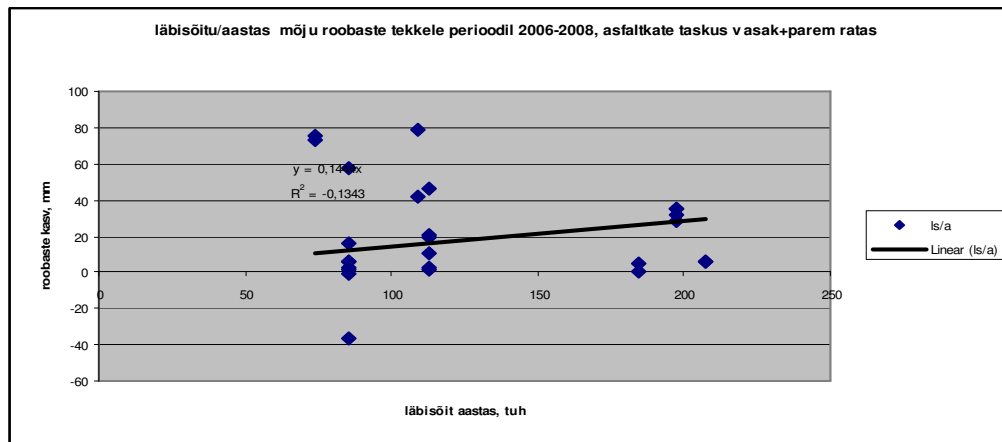
Joonis 1.1. Keskmine roobaste kasv erineva kattetüübiga ja paiknevusega ühissõidukite peatustes 2008 vs 2006, mm



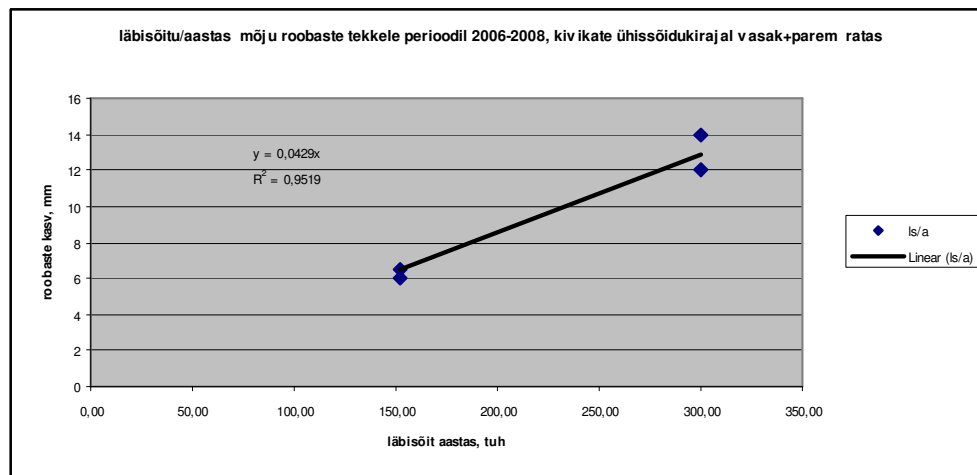
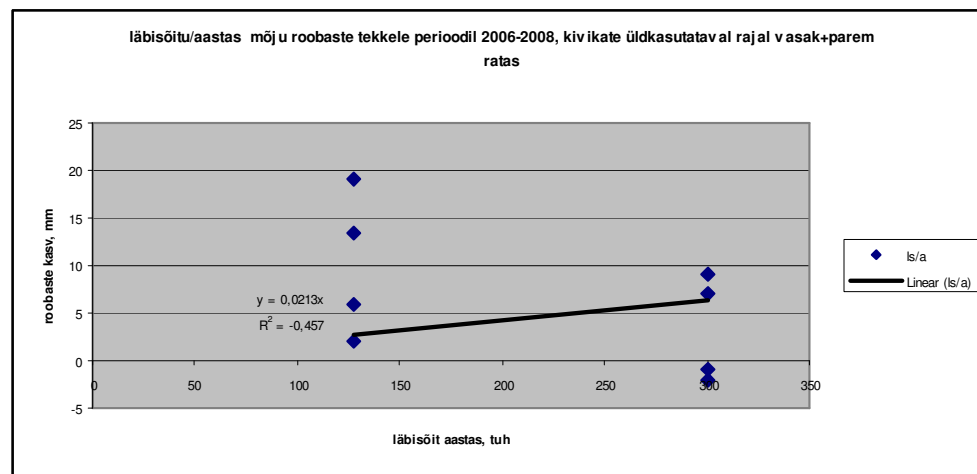
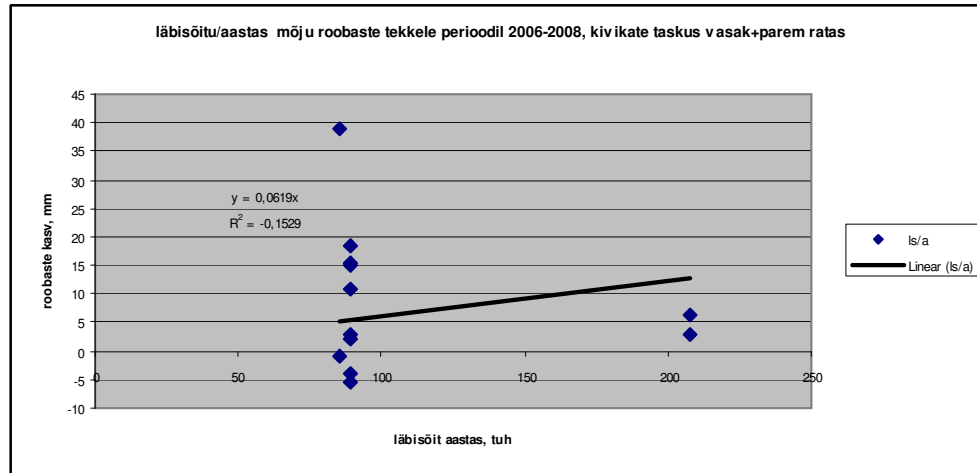
Joonis 1.2. Maksimaalne roobaste kasv erineva kattetüübiga ja paiknevusega ühissõidukite peatustes 2008 vs 2006, mm

Keskmise ja maksimaalse roopa kasvu määranu alusel (tabel 1.3, joonised 1.1 ja 1.2) saame järeldada, et:

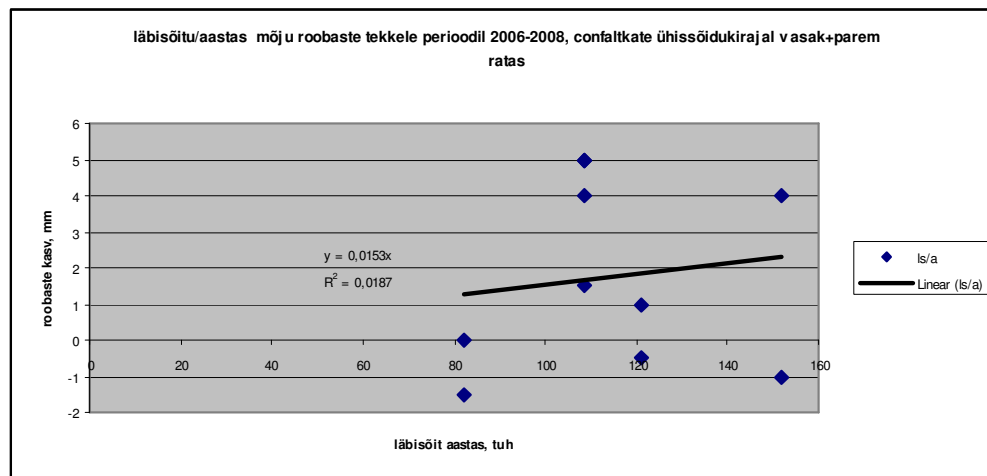
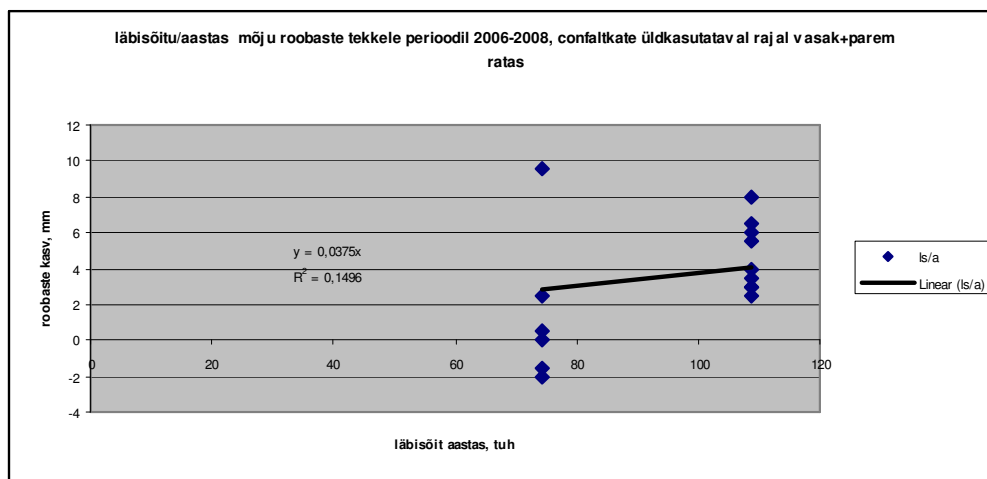
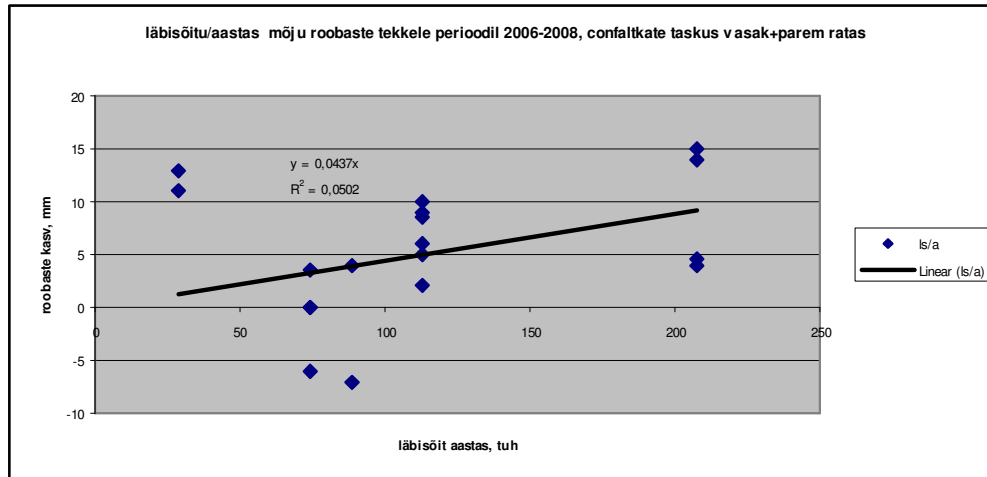
- Maksimaalset keskmist roopa kasvu, võrreldes kivi- ja confalatkatega, omab asfaltkate, talle järgneb kivikate ja minimaalse keskmise roopa kasvuga on confaltekate.
Keskmine roopa kasv kahe aasta jooksul (2008 vs 2006) on:
 - Asfaltkatega peatustes 12,3 mm;
 - Unikivikatega peatustes 8,1 mm;
 - Confalatkatega peatustes 3,8 mm.
- Suurimad keskmised roopa kasvud, võrreldes kivi- ja confalatkatega, esinevad asfaltkatetel ühissõiduki taskutes (21,9 mm) ja ühissõidukiradadel (17,9 mm). Asfaltkatega üldkasutataval sõidurajal on keskmine roobaste kasv peatustes suhteliselt tagasihoidlik (2,7 mm).
Samas maksimaalne roopa kasv üldkasutataval sõidurajal on 69 mm (taskus 79 mm ja ühissõidukirajal 42 mm).
- Maksimaalset roopa kasvu, võrreldes kivi- ja confalatkatega, sõltumata tema paiknevuskohast (taskus, üldkasutataval või ühissõidukirajal) omab asfaltkate, talle järgneb kivikate ja minimaalse maksimaalse roopa kasvuga on confaltekate.
- Suurimad maksimaalsed roopa kasvud kõigi kattetüüpide osas esinevad ühissõiduki taskutes, keskmised üldkasutataval sõidurajal ja minimaalsed ühissõidukirajal.



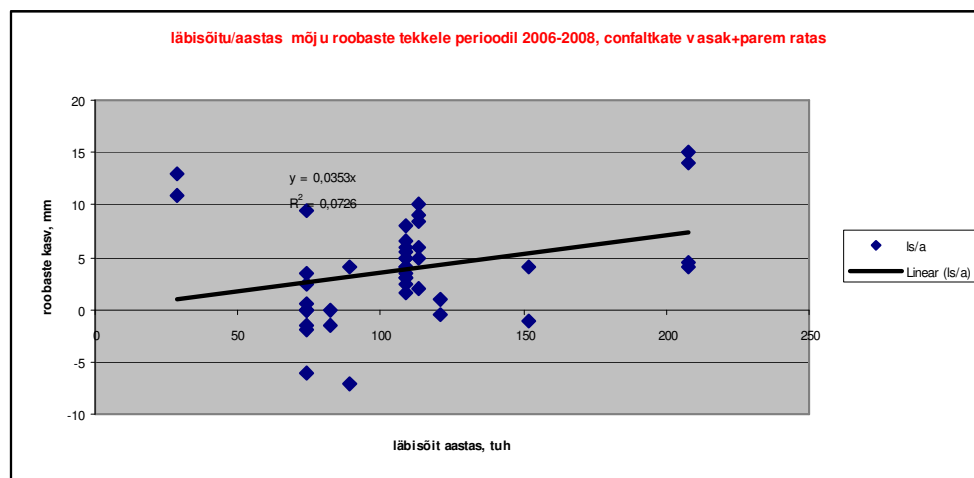
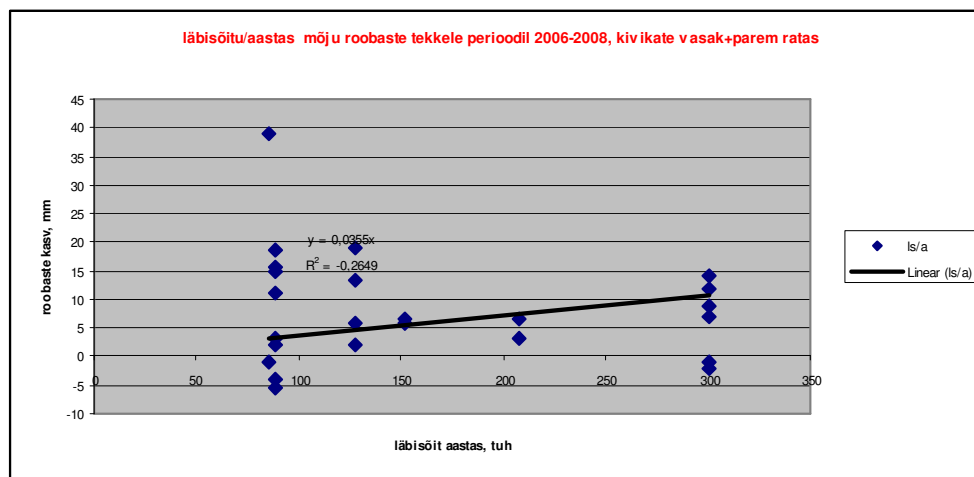
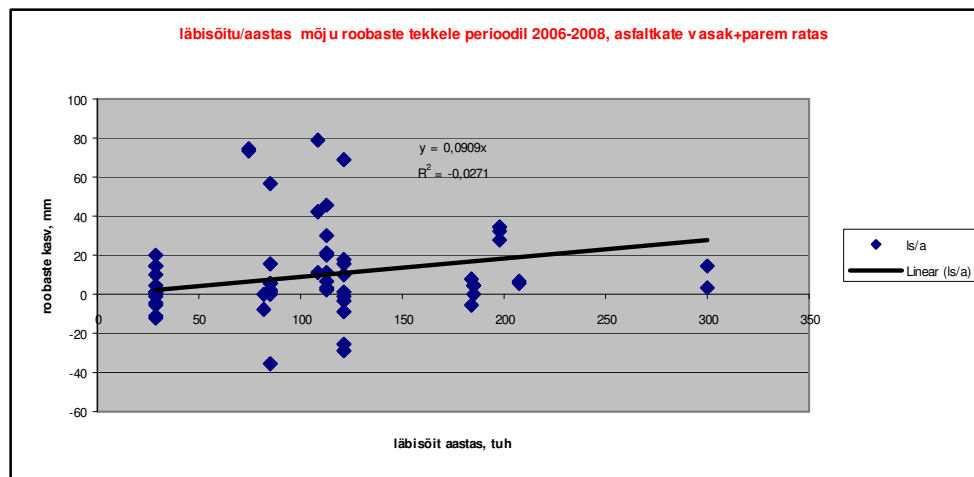
Joonis 1.3. Ühissõidukite läbisõidu arvu mõju roobaste kasvule perioodil 2006-2008 asfaltkattega peatustes



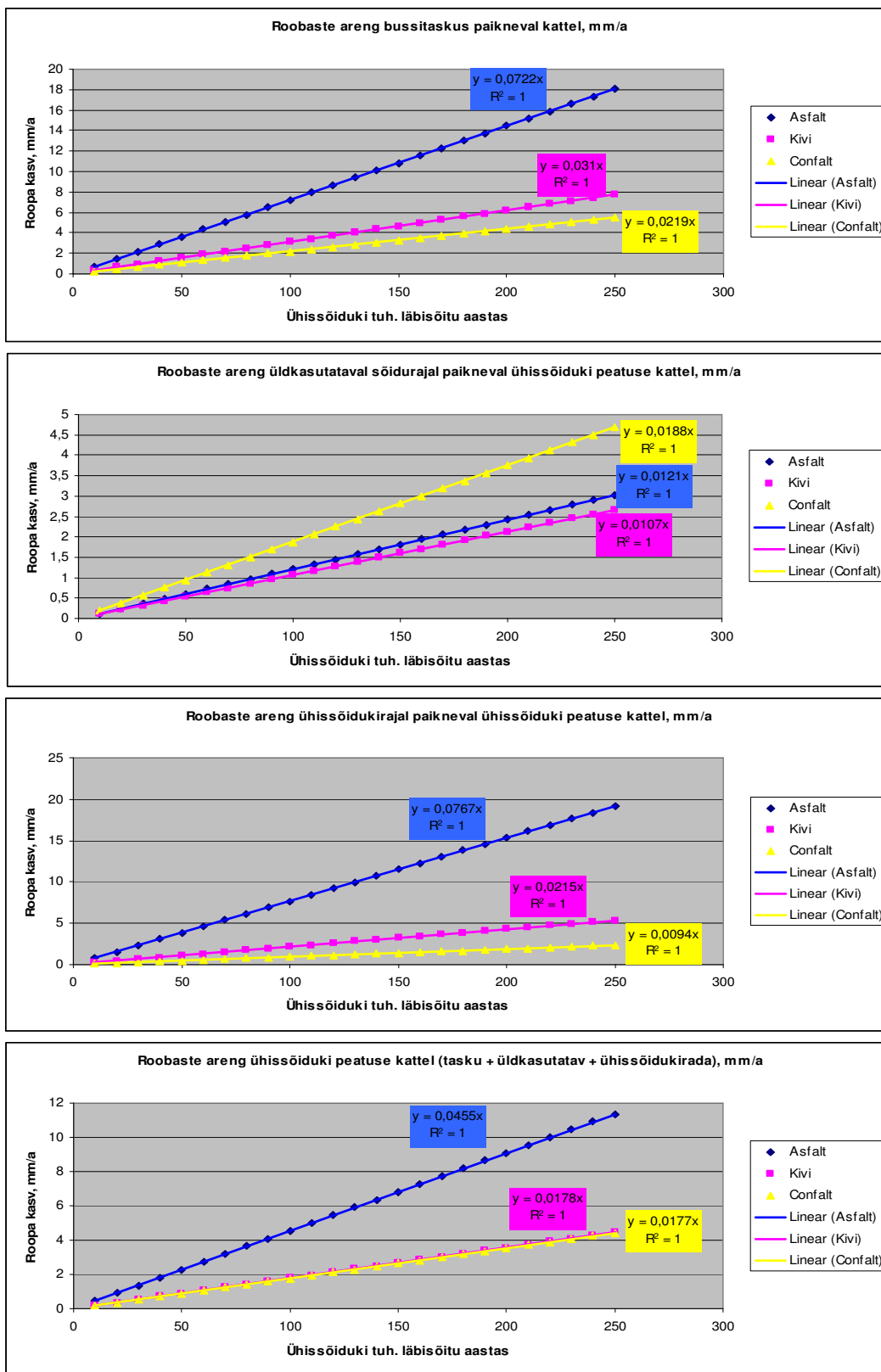
Joonis 1.4. Ühissõidukite lābisõidu arvu mõju roobaste kasvule perioodil 2006-2008 unikivikattega peatustes



Joonis 1.5. Ühissõidukite lābisõidu arvu mõju roobaste kasvule perioodil 2006-2008 confaltekatega peatustes



Joonis 1.6. Ühissõidukite lābisõidu arvu mõju roobaste kasvule perioodil 2006-2008 erineva kattetüübiga peatustes kõigis peatusetüüpides (tasku+üld+ühissõidukirada) kokku



Joonis 1.7. Ühissõidukite peatustest läbisõidu arvu mõju roobaste kasvule (mm/aastas) erineva kattetiübiga peatustes

Nagu selgub [joonistelt 1.3 - 1.6](#), ei ole läbisõitude arvu ja roobaste sügavuse arengu vahel tugevat matemaatilist seost (regressioonikordaja R^2 väärtused on väikesed), kuid üldjuhul on graafiku tendents õige, st. läbisõitude arvu kasvades kasvab ka roopasügavuse kasvu kiirus.

Kasutades [joonistelt 1.3 - 1.6](#) määratud seoseid, saame üldistatult leida seosed ühissõidukite peatustest läbisõidu arvu ja roobaste kasvu (mm/a) vahel erineva kattetüübiga ja erineva paiknemiskohaga (taskus, üldaksutataval sõidurajal, ühissõidukirajal) peatustes ([joonis 1.7](#)).

Nagu selgub [jooniselt 1.7](#), omab confaltkate praktiliselt kõigil juhtudel kõige väiksemat roobaste arengu (mm/a) kiirust, mis on umbes 3 korda väiksem, kui asfaltkattega peatustel ja ka mõningal määral väiksem, kui unikivikattega peatustel. Samas kõigi paiknemiskohtade summeerimisel on uniki- ja confaltkatetel roobaste tekke kiirus praktiliselt võrdne.

Vasatavalt Tee seisundinõuetele (MKmM 17.12.2002/45, 22.11.2005/139) on põhitänavale kehtestatud seisunditase 3, mille maksimaalne lubatud roopasügavus on 20 mm. Lähtudes sellest, kasutades [joonisel 1.7](#) kujutatud seoseid, on võimalik välja arvutada, millise aja jooksul keskmiselt mingit tüüpi kate saavutab maksimaalselt lubatud roopasügavuse ([tabel 1.4](#)).

Tabel 1.4. Aeg (aastat), mis kulub keskmiselt 20 mm roopa tekkeks erinevat tüüpi katetel sõltuvalt ühissõidukite peatusest läbisõitude arvust

Peatusest läbisõitude arv, tuh./aastas	Kõik paiknemiskohad			Bussitaskus			Ühissõidukirajal		
	Asfalt	Kivi	Confalt	Asfalt	Kivi	Confalt	Asfalt	Kivi	Confalt
10	43,96	112,36	112,99	27,70	64,52	91,32	26,08	92,98	212,77
20	21,98	56,18	56,50	13,85	32,26	45,66	13,04	46,49	106,38
30	14,65	37,45	37,66	9,23	21,51	30,44	8,69	30,99	70,92
40	10,99	28,09	28,25	6,93	16,13	22,83	6,52	23,25	53,19
50	8,79	22,47	22,60	5,54	12,90	18,26	5,22	18,60	42,55
60	7,33	18,73	18,83	4,62	10,75	15,22	4,35	15,50	35,46
70	6,28	16,05	16,14	3,96	9,22	13,05	3,73	13,28	30,40
80	5,49	14,04	14,12	3,46	8,06	11,42	3,26	11,62	26,60
90	4,88	12,48	12,55	3,08	7,17	10,15	2,90	10,33	23,64
100	4,40	11,24	11,30	2,77	6,45	9,13	2,61	9,30	21,28
110	4,00	10,21	10,27	2,52	5,87	8,30	2,37	8,45	19,34
120	3,66	9,36	9,42	2,31	5,38	7,61	2,17	7,75	17,73
130	3,38	8,64	8,69	2,13	4,96	7,02	2,01	7,15	16,37
140	3,14	8,03	8,07	1,98	4,61	6,52	1,86	6,64	15,20
150	2,93	7,49	7,53	1,85	4,30	6,09	1,74	6,20	14,18
160	2,75	7,02	7,06	1,73	4,03	5,71	1,63	5,81	13,30
170	2,59	6,61	6,65	1,63	3,80	5,37	1,53	5,47	12,52
180	2,44	6,24	6,28	1,54	3,58	5,07	1,45	5,17	11,82
190	2,31	5,91	5,95	1,46	3,40	4,81	1,37	4,89	11,20
200	2,20	5,62	5,65	1,39	3,23	4,57	1,30	4,65	10,64
210	2,09	5,35	5,38	1,32	3,07	4,35	1,24	4,43	10,13
220	2,00	5,11	5,14	1,26	2,93	4,15	1,19	4,23	9,67
230	1,91	4,89	4,91	1,20	2,81	3,97	1,13	4,04	9,25
240	1,83	4,68	4,71	1,15	2,69	3,81	1,09	3,87	8,87
250	1,76	4,49	4,52	1,11	2,58	3,65	1,04	3,72	8,51

1.4. KOKKUVÕTE ÜHISSÕIDUKITE PEATUSTE KATENDITEST

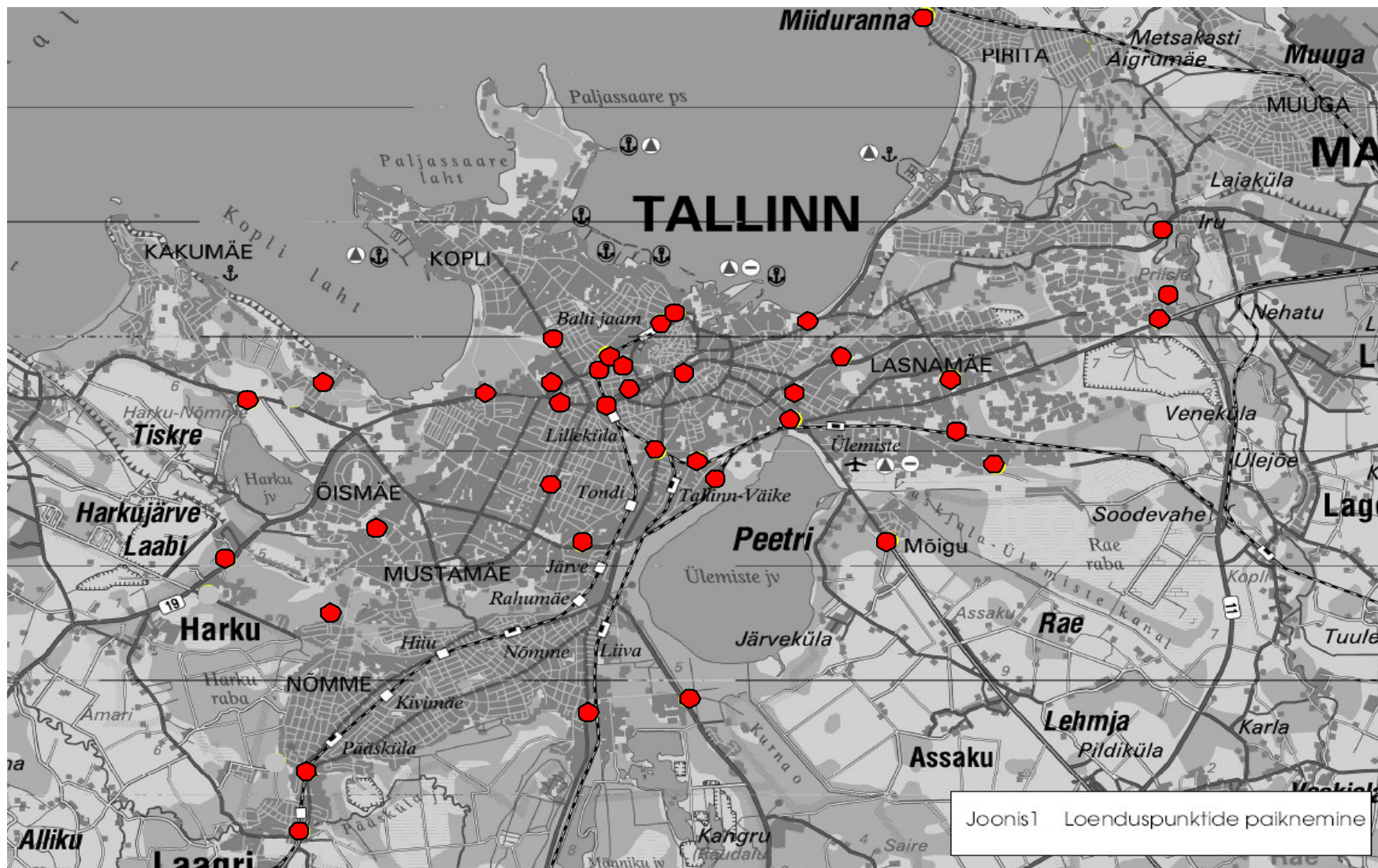
- Maksimaalset roopa kasvu, võrreldes kivi- ja confalatkatega, omab asfaltkate, talle järgneb kividate ja minimaalse keskmise roopa kasvuga on confaltekate.
- Suurimad maksimaalsed roopa kasvud kõigi kattetüüpide osas esinevad ühissõiduki taskutes, keskmised üldkasutataval sõidurajal ja minimaalsed ühissõidukirajal.
- Confaltekate omab praktiliselt kõigil juhtudel kõige väiksemat roobaste arengu (mm/a) kiirust, mis on umbes 3 korda väiksem, kui asfaltkatega peatustel ja ka mõningal määral väiksem, kui unikivikatega peatustel. Samas kõigi paiknemiskohtade roopa arengu andmete summeerimisel on unikivi- ja confaltekatel roobaste tekke kiirus praktiliselt võrdne.
- Ühissõiduki peatuse katendi keskmine tööiga 20 mm sügavuse roopa tekkeks aastates on esitatud tabelis 1.4. Tabelis esitatud tööiga on orienteeruv ja sõltub kindlasti iga peatuse puhul konkreetsetest kohalikest tingimustest.
- Parimaks tehniliseks lahenduseks ühissõiduki peatuse katendis on confalt-tüüpi katte kasutamine.

2. RASKELIIKLUS TALLINNA TÄNAVAVÕRGUL

Raskeliikluse osatähtsust on hinnatud 2007. aastal toimunud liiklusloenduste ja ühissõidukite täituvuse loenduse alusel. Liiklusloenduste andmetest on vaatlusse lülitatud kokku 37 loenduspunkti andmed. Kõik need loenduspunktid paiknevad magistraaltänavatel ja nende asukohad linna plaanis on näidatud [joonisel 2.1](#). Loenduste alusel on leitud arvutuslikud aasta keskmised ööpäevased liiklussagedused ja koormussagedused. Leitud on ka raskeliikluse osatähtsus ja sealhulgas ka bussi- ja trolliliikluse osatähtsus. Tulemused on koondatud [tabelisse 1](#). Koormussageduste määramisel on arvestatud keskmisi siirdetegureid, mida viimase kümnekonna aasta vältel ei ole uuendatud. Sõidukite liigitus ja igale liigile vastavad koormussageduse siirdetegurid on esitatud [tabelis 2.2](#). Veoautode kohta on siirdetegurid määratud 1998 – 2000 aastal Adavere kaalupunkti ühe sõidusuuna sõidukite kaalumise tulemustest lähtuvalt. Linna ühissõidukite puhul on tulemused saadud puht arvutuslikult lähtudes eeldusest, et ühissõidukite täituvus on 40% normatiivsest. Märkida tuleb ka asjaolu, et arvutuste sooritamise perioodil oli normatiivseks täituvuseks 8 inimest sõiduki istmetest vaba pinna ruutmeetri kohta + 100%-liselt hõivatud istekohad. Füüsiliselt olid sõitjate arvud erinevate sõidukite puhul 2 kuni 3 korda kõrgemud, kui täna ülelinnaliselt fikseeritud keskmised näitajad. Üle kahe aasta on Eesti põhimaanteedel neli uut kaalupunkti, neist üks ka Tallinna jaoks kaunis soodsas kohas – Tallinna ringteel Jüri lähistel, kuid seni ei ole erinevatel põhjustel neist punktidest olnud võimalik saada usaldusväärset teavet kaalumistulemuste kohta, mis võimaldaks siirdetegureid korrigeerida. Seniste uuringute põhjal võib küll oletada, et senikasutatud siirdetegurid erinevate veokite puhul on tänastest keskmistest teguritest veidi suuremad, kuid hetkel, ei ole nende muutmiseks piisavat alust. Selgelt on näha, et on kohti, kus erinevatel sõidusuundade siirdetegurid erinevad üksteisest märkimisväärselt. Paraku ei ole seni tehtud ühtegi uuringut veokite koormuste hindamiseks linnas. Puhtal kujul keskmistest siirdeteguritest lähtudes võib teatud tänavaliikide katendeid aladimensioneerida, kuigi ka üledimensioneerimine on võimalik. Üledimensioneerimine ei ole pikemat perspektiivi silmas pidades kuigi problemaatiline, sest sellise tänavaliikide kate peab lihtsalt kavandatust kauem vastu. Paraku nõuab see koheselt suuremaid investeeringuid.

Ühissõidukite täituvuse analüüs näitab, et tänavate erinevatel lõikudel ehk liini pikkusel ühissõidukite koormused muutuvad olulisel määral. Ühissõidukite osas on teabe saamine viimastel aastatel oluliselt paranenud, sest tänu Euroopa Liidu CIVITAS II–SMILE projektile on õnnestunud piisav kogus busse ja trolle varustada sõitjate automaatloenduritega. Tänu sellele on võimalik saada võrdlemisi usaldusväärset teavet sõitjate arvu kohta kogu päeva ja iga üksiku liinilõigu kohta. Kui pilt liini pikkusel on kaunis muutlik, siis pikema perioodi ajateljel ei ole muutused väga kiired. Veoautode osas võib pilt olla, aga hoopis erinev – konkreetse sõiduki koormatus püsib pika marsruudi vältel stabiilne, kui maakasutuse muutusest tingituna võivad toimuda ajateljel ka lühikese perioodi vältel olulised muutused.

Siirdetegurite keskmisi väärtusi kasutades on võimalik saada küll üldise pildi, kuid päris selget hinnangut tegelikule olukorrale konkreetsetes lõigetes ei ole võimalik anda, sest tegelikud siirdetegurid, mis sõltuvad lisaks sõiduki tüübile ka sõiduki koormatuse tasemest. Tänavate erinevatel lõikudel ja ka sõidusuundadel on aga need tasemed erinevad. Lisaks võis eeldada, et seoses tegeliku ühissõidukite täituvuse vähenemisega on siirdetegurid vähenenud. Käesolevas töös on [tabeli 2.1](#) andmete alusel välja valitud bussi- ja trolliliikluse seisukohalt kõige



Joonis 2.1. Loenduspunktide paiknemine

Tabel 2.1. Liikluse ja koormussageduse põhinäitajad 2007. aastal

Tänav	Asukoht	Ööpäevane liiklussagedus a/ööp			Koormussagedus normitelge/ööp				
		Kokku	Raskeliikluse osatähtsus %-des		Kokku	Enamkoormatud suunal		Enamkoormatud sõidurajal	
			kokku	s.h. bussid ja trollid		normitelge /ööp	suund	normitelge /ööp	suund /rada
Endla	Viadukt	80 720	3,6	2,8	3514	1764	V	1446	S/1
Järvevana tee	Veerenni	69 620	7,1	1,3	6737	3468	V	2839	V/1
Tammsaare tee	K-Rautakesko	62 110	5,1	0,6	5339	2669	V	2322	S/1
Pämu mnt	Viadukt	51 420	4,2	3,0	2059	1032	V	969	S/1
Narva mnt	Hiina saatkond	49 910	6,3	3,6	4504	2290	V	2115	S/1
Paldiski mnt	Humala	47 920	5,7	3,7	2664	1341	S	665	V/1
Endla	Mooni	44 362	3,7	2,6	1618	834	V	731	S/1
Tartu mnt	Sikupilli	40 500	4,8	2,3	2583	1341	S	879	V/1
Laagna tee	Võidujooksu	40 390	4,1	2,9	2001	1071	V	492	S/1
Sõpruse pst	Sõpruse ärimaja	38 760	5,7	4,0	2855	1473	V	1284	V/1
Pämu mnt	Linnapiir	38 700	6,1	1,7	3325	1758	S	1253	V/1
Estonia pst	Reaalkool	35 097	9,0	8,7	3698	2037	S	1922	S/1
Sõle	Sünnitusmaja	32 860	6,3	3,1	2459	1244	V	1150	V/1
Endla	Statistika	27 857	6,5	6,4	2188	1223	S	1094	S/1
Paldiski mnt	Viadukt	26 650	7,8	6,6	2609	1750	S	1105	S/1
Peterburi tee	Väo	25 380	11,6	1,1	5414	2827	V	2436	V/1
Põhja pst	Kalaranna	22 930	4,8	0,6	2031	1017	S	1014	V/1
Paldiski mnt	Koidu	22 358	6,9	5,5	1601	1601	S	1227	S/1
Tartu mnt	Linnapiir	22 310	6,2	1,2	2402	1255	S	1255	S/1
Smuuli	Punane-Peterburi tee	20 340	7,5	1,3	2395	1202	S	1120	S/1
Narva mnt	Pirita jõe sild	20 070	5,4	2,6	929	575	V	575	V/1
Rahu tee	Väo	20 030	3,6	1,2	1182	686	S	686	S/1
Paldiski mnt	Linnapiir	19 930	5,5	1,3	1647	938	S	938	S/1
Paldiski mnt	Hipodroom	19 200	7,0	4,9	3145	1641	V	981	V/1
Rannamõisa tee	linnapiir	18 380	3,0	1,3	595	302	V	302	V/1
Ranna tee	linnapiir	18 280	1,6	0,8	505	254	V	254	V/1
Smuuli	viadukt	17 510	11,2	0,3	3370	1877	V	1877	V/1
Viljandi mnt	Linnapiir	17 440	6,8	0,9	1930	969	V	969	V/1
Pämu mnt	Pääsküla rdt ülesõit	16 810	6,1	2,1	1184	602	V	602	V/1
Akadeemia tee pikendus	Säästumarket	13 130	7,6	2,9	1381	750	S	750	S/1
Rohu	viadukt	12 850	2,1	0,9	172	172	V	99	V/1
Lasnamäe	Lubja	11 670	3,5	2,1	229	124	V	124	V/1
Veerenni	raudtee ülesõit	10 260	4,6	1,6	629	343	S	343	S/1
Männiku tee	linnapiir	7 380	3,9	0,7	460	251	S	251	S/1
Suurtüki	raudtee ülesõit	6 930	1,3	0,1	144	99	V	99	V/1
Vabaõhumuuseumi tee	Muuseum	6 860	1,2	0,5	129	83	V	83	V/1
Suur-Sõjamäe tee	Linnapiir	5 940	14,0	0,6	1747	1045	S	1045	S/1

S – suund linna keskusesse

V – suund linnakeskusest välja

Tabel 2.2. Koormussageduse siirdetegurid erinevatele sõidukiliikidele

Jrk. nr.	Sõiduki liik	Teljed	Siirdetegur
1	Sõiduauto	1+1	0,00
2	Väikebuss	1+1	0,02
3	Keskmine buss	1+1	0,05
4	Raske buss	1+1	0,75
5	Liigendbuss	1+1+1	1,70
6	Normaaltroll	1+1	1,40
7	Liigendtroll	1+1+1	1,95
8	Pakiauto	1+1	0,02
9	Väike veoauto	1+1	0,02
10	Keskmine veoauto	1+1	0,11
11	2-teljeline raske veoauto	1+1	0,80
12	3-teljeline raske veoauto	1+2	1,80
13	Auto- ja sadulrong		2,00

koormatumad tänavalõigud ja neil lõikudele on leitud nimetatud ühissõidukite koormussageduse keskmised ja tegelikult fikseeritud suurimad siirdetegurid. Siirdetegurite täpsustamise tarbeks korraldati Tallinna Transpordiameti eestvedamisel kahe enimkasutusel oleva trolli ja ühe normaalbussi kaalumised erinevate sõitjate arvu korral.

Kaalumise tulemused ja sõidukite tehnilised andmed võimaldasid määrata küllaldase täpsusega erinevate täituvuse astmete jaoks sõidukite kogukaalu ja sõiduki erinevatele telgedele langeva koormuse. Need andmed koos ühissõidukite automaatloenduse tulemustega võimaldas sooritada arvutusi, et lõppkokkuvõttes määrata erinevate tänavalõikude jaoks keskmised ja suurimad koormussageduse siirdetegurid ning ööpäevased koormussagedused.

Tabelis 2.1 esitatud andmete alusel on koostatud korrastatud graafikud, kus on esitatud järgmised näitajad:

- Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus – [joonis 2.2](#)
- Raskeliikluse osatähtsus – [joonis 2.3](#)
- Bussi- ja trolliliikluse osatähtsus – [joonis 2.4](#)
- Koormussagedus tänava ristlõikes – [joonis 2.5](#)
- Koormussagedus tänava ristlõike enamkoormatud sõidurajal – [joonis 2.6](#)

Tabelist 2.1 ja **jooniselt 2.2** nähtub, et vaadeldud tänavalõigetes muutub liiklussagedus piirides 5,9 – 80,7 tuhat autot ööpäevas ehk erinevus on ligi 14 kordne. Tallinna linna magistraaltänavatel on fikseeritud veel väiksemaidki liiklussagedusi – näiteks Randvere teel 4330 a/ööp. Selle ja mitme teise suhteliselt tagasihoidliku liiklussagedusega loenduspunkti andmeid käesolevasse analüüsi ei ole lülitatud. Suurim liiklussagedus Tallinnas on väga paljude aastate jooksul olnud Endla tänaval Kristiine keskuse esisel tänavalõigul ja suure tõenäosusega ei loovuta see tänavalõik oma kohta ühelegi teisele tänavalõigule vähemalt lähema viie aasta jooksul. Järvevana tee ja Tammsaare tee liikluse tase on küll väga kiiresti lähenenud Endla tänava nimetatud ristlõike liiklusvoole, kuid piiratud sõiduradade arvu tõttu nende tänavate liiklusvoog ei saa oluliselt kasvada.

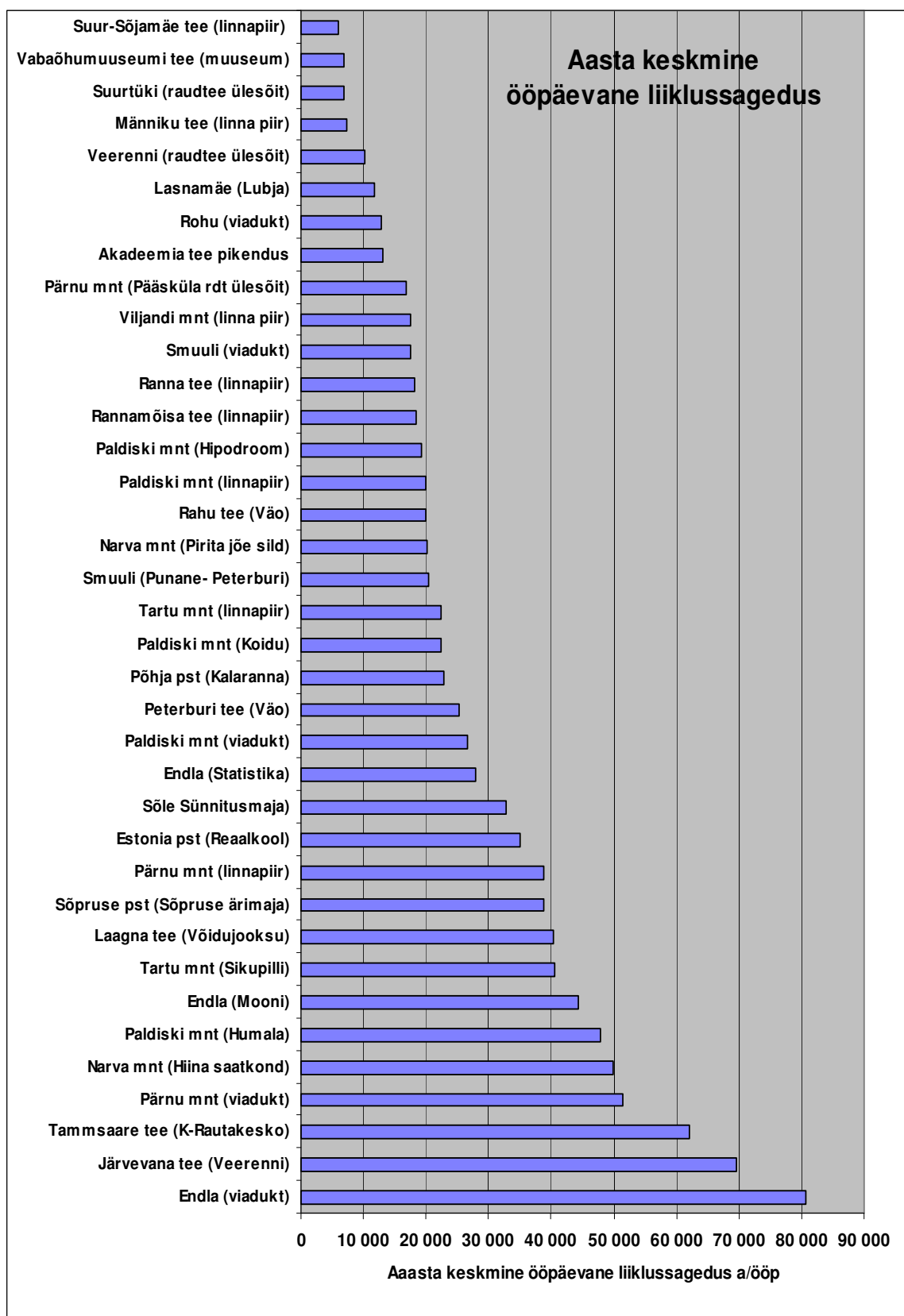
Raskeliikluse osatähtsus vaadeldud tänavatel muutub piirides 1,2 – 14%. Suurim on see näitaja Suur-Sõjamäe teel.

Erinevatel tänavatel põhjustavad suurema koormuse erinevad sõidukid, et seda hinnata on korrastatud graafikuna esitatud kõigil tänavalõikudel ka busside ja trollide osatähtsus liiklusvoos. See näitaja muutub piirides 0,1 – 8,7%. Suurim on see näitaja Estonia puiesteel ja õige tagasihoidlikuks jääb see protsent tänavatel, kus ei kulge ühissõidukite liine.

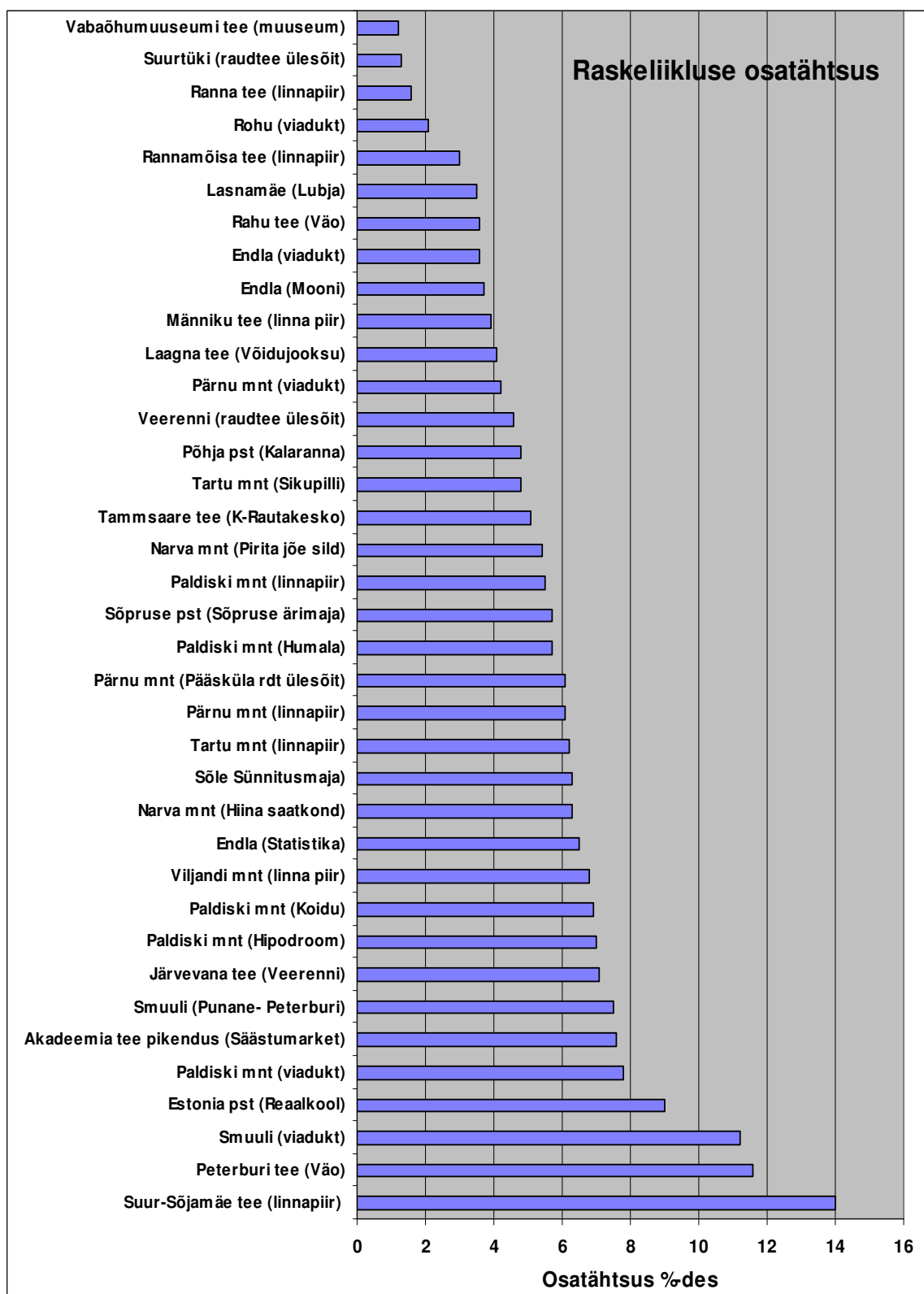
Koormussagedus vaadeldavatel tänavalõikudel muutub piirides 129 kuni 6737 normitelge ööpäevas, seega erinevus on 52 kordne. Suurim on koormussagedus Järvevana teel, sellele järgneb Peterburi tee ja Tammsaare tee.

Koormussagedus enamkoormatud sõidurajal muutub veidi kitsamates piirides, nimelt 83 kuni 2839 normitelge/ööp. Võrreldes kogu koormussageduse järjestusega on järjestus nimestiku alguses ja lõpus sama, kuid vahepealses osas on olulisi erinevusi.

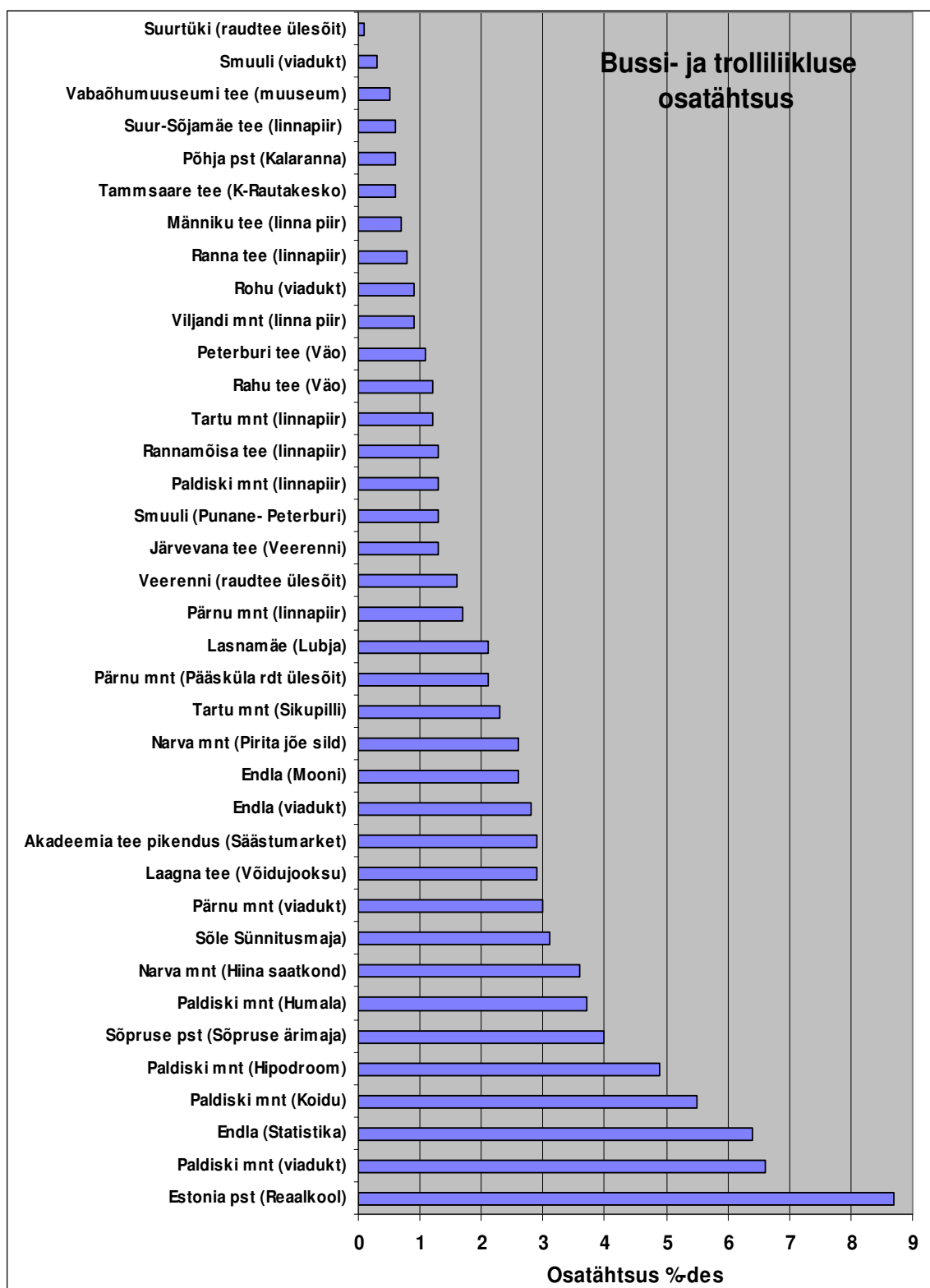
Tabelis 2.2 on eraldi välja toodud tänavalõigud, kus ühistranspordi osatähtsus liiklusvoos on märkimist väärivalt suur.



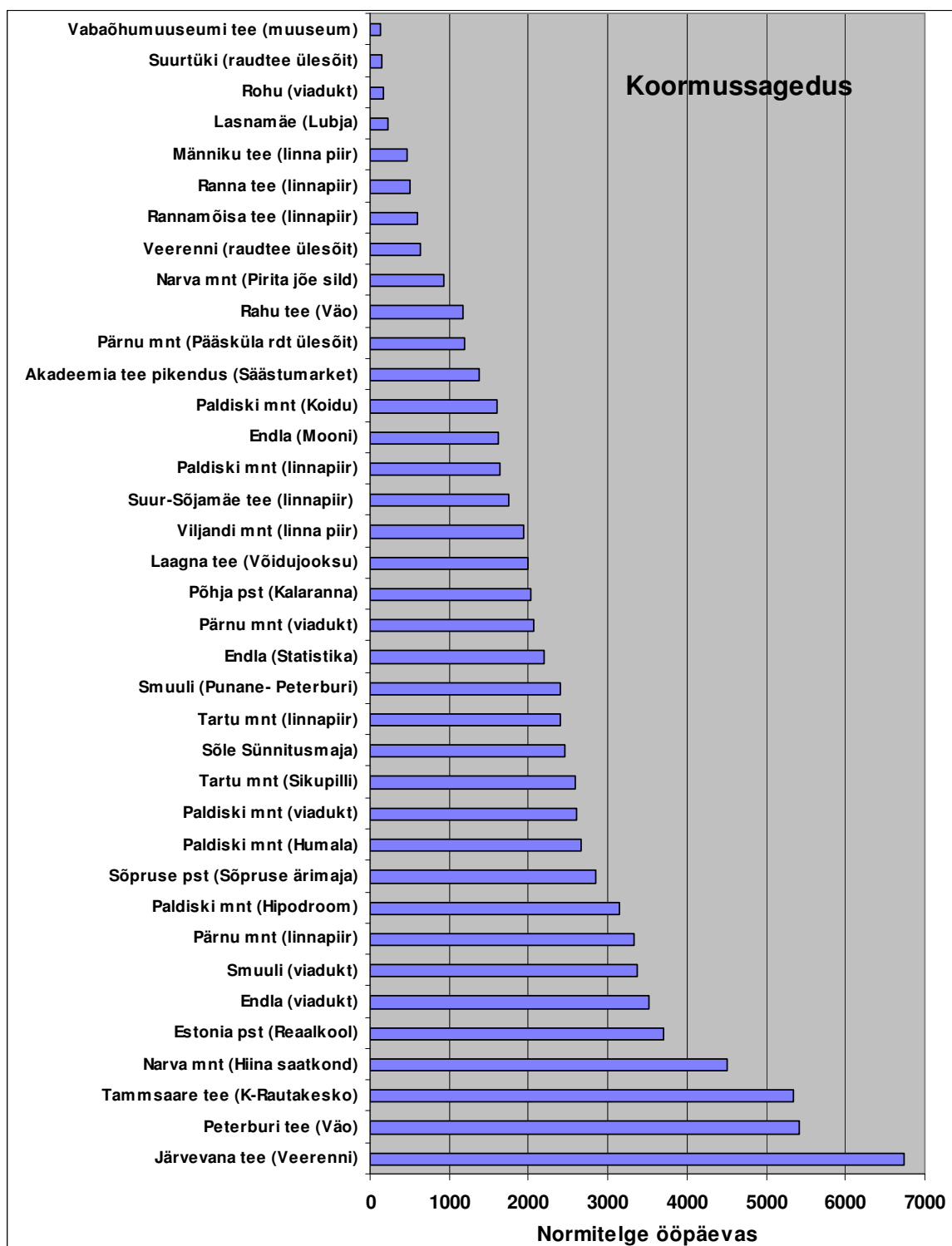
Joonis 2.2. Aasta keskmised ööpäevased arvutuslikud liiklussagedused 2007. aastal



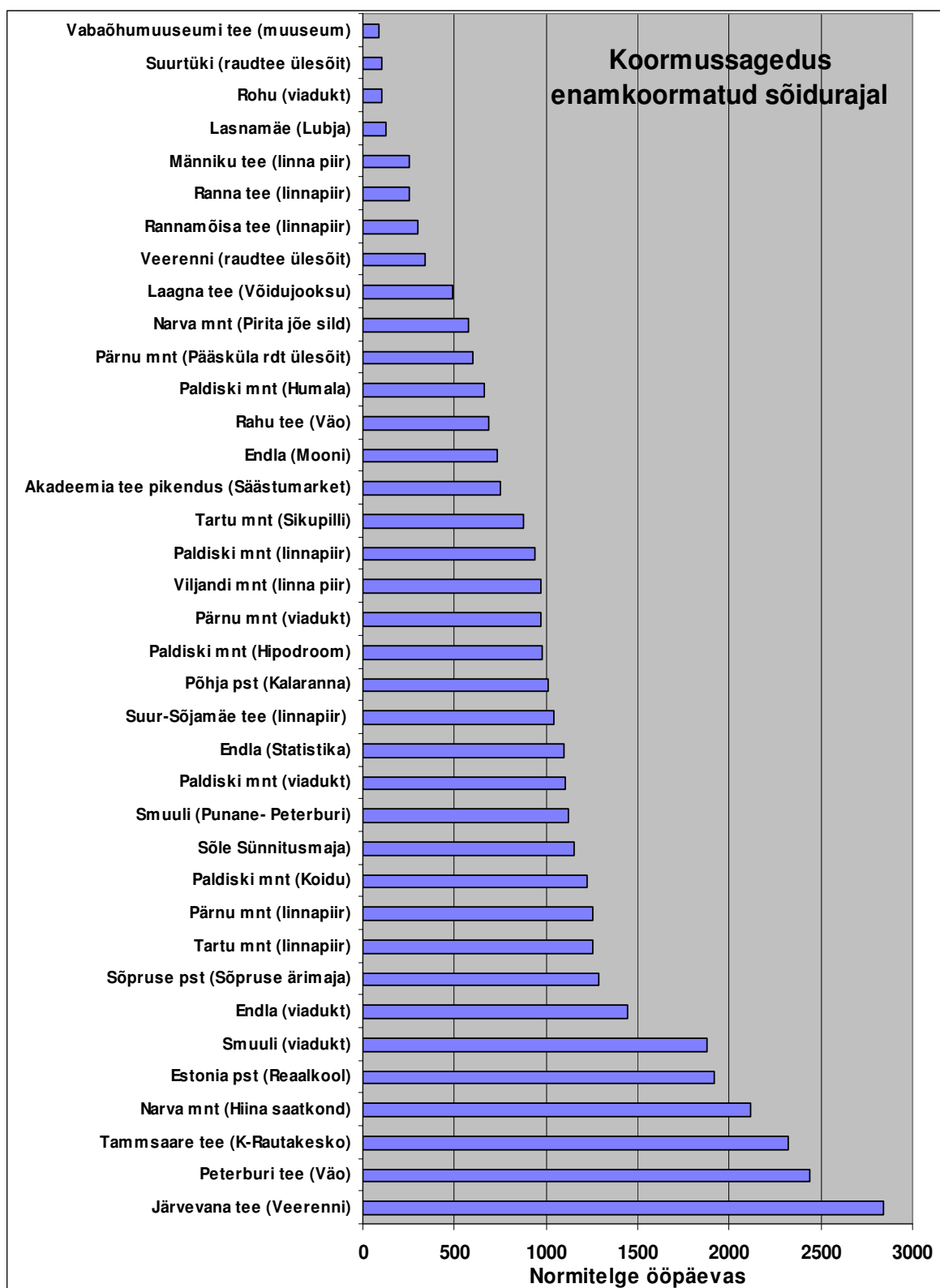
Joonis 2.3. Raskeliikluse osatähtsus 2007. aasta liiklusvoos



Joonis 2.4. Bussi- ja trolliliikluse osatähtsus 2007. aasta liiklusvoos



Joonis 2.5. Koormussagedus 2007. aastal



Joonis 2.6. Koormussagedus enamkoormatud sõiduraja kohta 2007. aastal

Tabel 2.2. Ühissõidukite suhteliselt suure osatähtsusega loenduspunktid

Tänavalõik	Bussi- ja trolliliikluse %
Estonia pst (Reaalkool)	8,7
Paldiski mnt (viadukt)	6,6
Endla (Statistika)	6,4
Paldiski mnt (Koidu)	5,5
Paldiski mnt (Hipodroom)	4,9
Sõpruse pst (Sõpruse ärimaja)	4,0
Paldiski mnt (Humala)	3,7

Tabelis 2.3 on esitatud linna läänepoolse osa suurema käibega ühissõidukipeatused. Idasuunal on suurima käibega peatusteks J. Poska ja Uus-Sadama, kus kesklinna siseneval suunal liigub tööpäeval 906 bussi ja väljuval sõidusuunal kahe võrra vähem. Selgub, et väga suure käibega peatuste arv on kaunis piiratud. Veelgi suurem käive on küll Vabaduse väljaku mõlema sõidusuuna peatusel, kuid see peatus paikneb hajutatult. Esiletõstmist väärivad alljärgnevad peatused: Taksopark (kesklinna suunduv sõidusuunal), Koidu (mõlemad sõidusuunal), Tõnismägi (kesklinnast eemalduval sõidusuunal), Tehnika (kesklinna suunduv suunal), Kelmiküla (kesklinnast eemalduval sõidusuunal). Ülejäänud peatuste käive jääb tagasihoidlikumaks ja ka sõidukite täituvused jäävad ülejäänud peatustes tagasihoidlikumaks, seda tõestavad tabelis 2.4 toodud sõidukite keskmised täituvused peatuste lõikes

Tabel 2.3. Linna läänepoolse osa suurema sõidukite käibega ühissõidukipeatused sõidusuundade lõikes

Peatus	Liinid sõidusuunal kesklinna																		Kokku
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7	TR 9	B 11E	B 16	B 17A	22	B 23	B 23A	32	33	40	59	
Siili		147	154	112				124	28										565
Linnu tee		147	154	112				124											537
Tedre		147	154	112				124											537
Koskla		147	154	112				124											537
Taksopark		147	154			145				93	84		30	36	27				716
Koidu		147	154			145				93	84		30	36					689
Tõnismägi	136	147	154			145													582
Aiandi	136				108					93						73			410
Lõwenruh	136				108					93						73			410
Marja	136				108					93						73			410
Välja	136				108					93						73			410
Lille	136				108		112					32				73			461
Ristiku	136			112	108		112					32							500
Tehnika	136			112	108		112					32					117	23	640
Liinid sõidusuunal kesklinnast välja																			
Tõnismägi E		147	154			145				93	84		30	36					689
Koidu		147	154			145				93	84		30	36					689
Koskla		147	154	112				124											537
Tihase		147	154	112				124											537
Tedre		147	154	112				124											537
Linnu tee		147	154	112				124											537
Siili		147	154	112				124	28										565
Kelmiküla	136			112	108		112					32					117	23	640
Lille	136				108		112					32				73			461
Välja	136				108					93						73			410
Marja	136				108					93						73			410
Lõwenruh	136				108					93						73			410
Aiandi	136				108					93						73			410

Tabel 2.4. Ühissõidukite keskmised täituvused liinide ja peatuste lõikes

Peatus	Liinid sõidusuunal kesklinna																	Keskmine
	TR 1	TR 2	TR 3	TR 4	TR 5	TR 6	TR 7	TR 9	B 11 E	B 16	B 17 A	22	B 23	B 23 A	32	33	40	
Siili		28,6	33,6	21,7				17,4	20,6									25,7
Linnu tee		29,6	35,2	22,5				18,2										27,1
Tedre		30,6	36,0	23,6				18,7										27,9
Koskla		30,4	35,4	22,8				18,1										27,4
Taksopark		30,3	36,5			43,6				31,9	41,0		35,6	38,2	27,0			36,3
Koidu		29,3	36,0			43,0				29,9	42,2		34,7	35,6				35,9
Tõnismägi	27,6	26,5	33,7			40,4												32,1
Aiandi	23,2				20,6					25,0						32,5		24,6
Löwenruh	23,3				20,4					25,7						33,7		24,9
Marja	25,9				21,1					30,5						35,3		27,4
Välja	27,1				20,3					33,0						35,2		28,1
Lille	27,7				20,2		24,6					18,6				38,1		26,2
Ristiku	27,8			25,4	20,1		24,0											24,1
Tehnika	28,4			26,3	20,5		24,1					15,4					41,7	26,7
Liinid sõidusuunal kesklinnast välja																		
Tõnismägi E		24,7	33,9			44,3				33,8	41,7		32,8	35,1				35,1
Koidu		25,7	34,4			45,5				36	40,8		32,9	35,0				35,8
Koskla		26,5	34,1	25,1				25,1										28,1
Tihase		26,9	34,2	25,2				25,4										28,3
Tedre		26,7	34,0	24,6				24,9										27,9
Linnu tee		25,0	31,4	24,9				24,4										26,7
Siili		24,4	27,9	23,0				22,7	18,3									24,4
Kelmiküla	27,6			25,9	19,8		22,9					17,9					47,4	27,3
Lille	25,9				21,7		30,9					27,4				38,9		28,3
Välja	24,9				23,0					32						35,7		27,9
Marja	22,8				21,7					28,3						34,8		25,9
Löwenruh	22,4				22,0					27						35,1		25,6
Aiandi	21,8				21,8					27,3						33,8		25,2

Tabelites 2.5 ja 2.6 on esitatud koormussageduste siirdetegurite leidmiseks vajalikud teljekoormused tühja sõiduki ja lubatud normatiivse teljekoormuse kohta, aga ka seisvate inimeste tihedus, mis vastab lubatud suurimale teljekoormusele. Siit näeme, et erinevad tootjad on erinevatel aegadel lähtunud erinevatest täituvuse tasemetest ja ilmselt ka inimeste erinevast keskmisest kaalust.

Tabel 2.5. Kasutusel olevate busside teljekoormused ja koormussageduse siirdetegurid

Sõiduki mark ja tüüp	Tühikaal kg	Lubatud suurim teljekoormus kg-des				Siirdetegur		Seisukohtade tihedus in/m2
		1-telg	2-telg	3-telg	4-telg	vähim	suurim	
Scania K 270 UB4X2LB	11800	7100	12000			0,51	2,80	7,0
Scania CL94 UA6X2/2LB 300 Omnilink	17730	7100	9500	12000		0,54	3,67	6,3
Volvo B12MA	15810	7500	11500	8000		0,37	2,80	6,1
Scania Hess L94 UB City	10860	6500	11500			0,28	2,26	5,1
Bussirong	17670	7100	12000	6500	6500	0,52	3,11	6,0
Scania Hess L94UB	9800	7100	12000			0,18	2,80	8,2
Scania L113CLB	9740	7100	11200			0,19	2,09	7,7

Tabel 2.6. Kasutusel olevate trollide teljekoormused ja koormussageduse siirdetegurid

Mark ja tüüp	Teljekoormused kg-des						Siirdetegur		Seisukohtade tihedus in/m2
	telg 1		telg 2		telg 3				
	tühi	täis	tühi	täis	tühi	täis	vähim	suurim	
Škoda 14 TR	4400	6000	5600	10080			0,11	1,25	4,7
Škoda 15 TR	4600	6200	5600	9900	5700	9900	0,20	2,23	4,7
JUMZ T-1	4910	6500	6320	10000	6690	11000	0,36	2,97	3,9
Ikarus 280-T	4920	6210	6210	9250	3000	6010	0,18	1,00	3,1
Ikarus 415-T	4530	6700	6100	10950			0,15	1,85	6,1
GA 412 IK	4800	7000	6500	11500			0,20	2,32	6,0
Ganz Solaris T12	4600	7500	6200	11500			0,16	2,40	7,5
Ganz Solaris T18	4700	7000	5600	9500	5700	11500	0,20	3,19	6,2
Solaris Trollino 12	4800	7000	6640	11500			0,21	2,32	7,3
Solaris Trollino 18	4200	7000	5600	9500	5700	11500	0,19	3,19	6,7

Joonisel 2.7 ja 2.8 on esitatud tabelites 2.5 ja 2.6 toodud busside ja trollide fotod.

	
Scania K 270 UB4X2LB	Scania CL94 UA6X2/2LB 300 Omnilink
	
Volvo B12MA	Scania Hess L94 UB City
	
Bussirong	Scania Hess L94UB
	
Scania L113CLB	Mercedes-Benz 0245 Connecto

Joonis 2.7. Tallinna linnaliinidel kasutusel olevad bussitüübid



Škoda 14 TR



Škoda 15 TR



JUMZ T-1



Ikarus 280-T



Ikarus 415-T



GA 412 IK



Ganz Solaris T12



Ganz Solaris T18



Solaris Trollino 12



Solaris Trollino 18

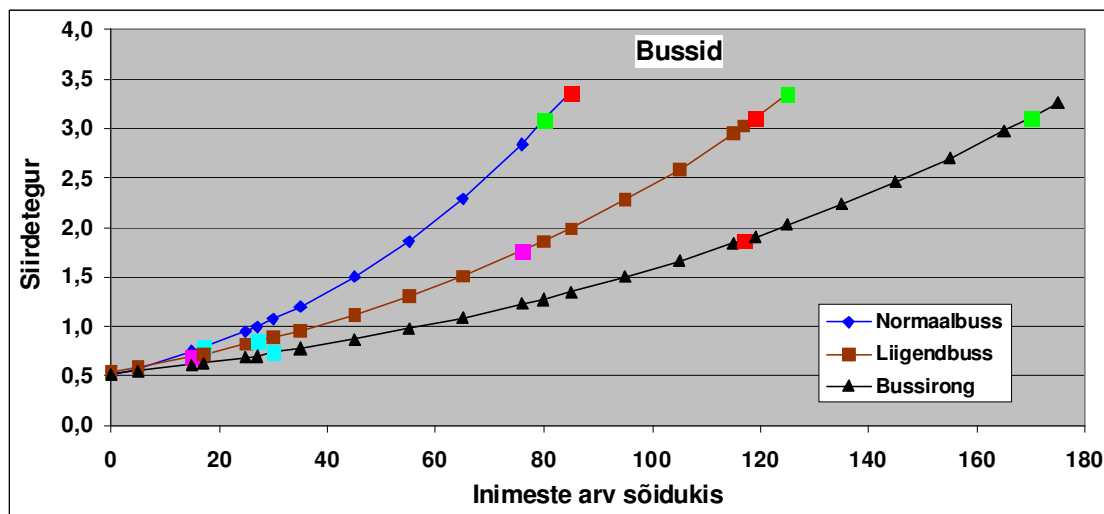
Joonis 2.8. Tallinna linnaliinidel kasutusel olevad trollitüübid

Joonistel 2.9 ja 2.10 on esitatud busside ja trollide koormussageduste siirdetegurid sõltuvalt ühissõidukite liigist ja tüübist ning sõitjate arvust sõidukis. Samadel graafikutel on näidatud ka siirdetegurid, mis vastavad keskmisele täituvusele, ühissõidukite Tallinnas kehtestatud normatiivsele täituvusele (6 inimest sõiduki istmetest vaba pinna m^2 kohta), senistes arvutustes kasutatud siirdetegur ja 2007. aasta suurimale täituvusele vastav siirdetegur. Joonistelt nähtub, et enamikel juhtudel ei ole saavutatud normatiivsele täituvusele vastavat inimeste arvu sõidukis, erandiks on vaid normaalbuss, kui aluseks võtta Scania K 270 UB4X2LB, mis on üks enamlevinud tüüp.

Trollide puhul on olukord halvem, sest tabelist 2.6 nähtub, et täituvuse taseme puhul $6 \text{ in}/m^2$ ületatakse normatiivseid teljekoormusi ja normaaltrolli tegelikult fikseeritud täituvused ületavad selle. Märkimist väärib ka asjaolu, et tühja trolli kontrollkaalumisel ületas selle teljekoormus passis ettenähtuid kummalgi teljel ca 300 kg võrra. Kogu päeva keskmised täituvused on kaunis madalad. Koormussageduste siirdetegurite esinemissagedused nii bussidele kui ka trollidele on esitatud joonistel 2.11 ja 2.12.

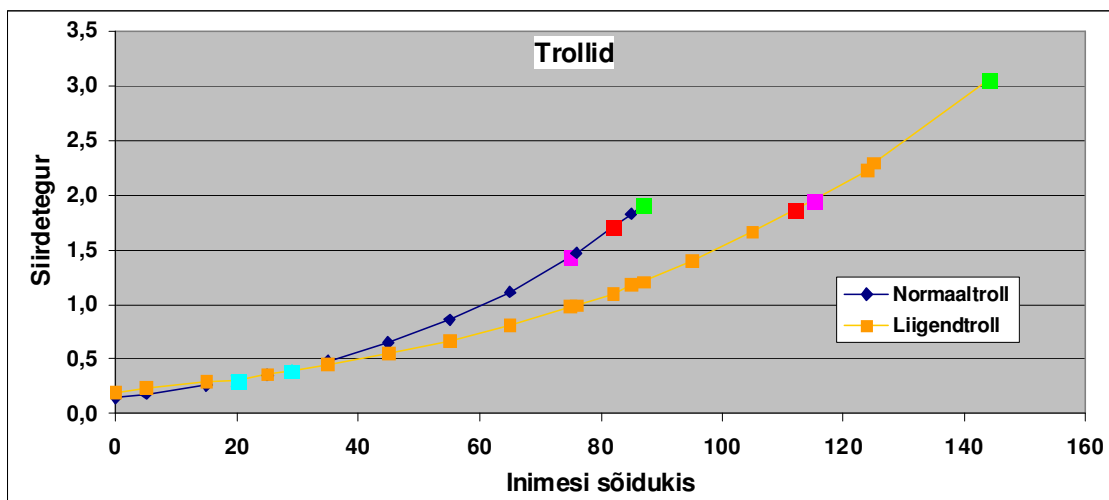
Kesklinnale lähenedes täituvused üldjuhul kasvavad, kuid vahetult kesklinnas uuesti langevad. Tabelites 2.7 kuni 2.13 on välja toodud siirdetegurite keskmised ja suurimad väärtused ning ööpäevased ühissõidukitest tingitud koormussagedused kesklinna lähedastes ühissõidukipeatustes.

Eelneva alusel leitud ühissõidukite korrigeeritud siirdetegurite kasutamise korral muutub tabelis 2.6 esitatud enamkoormatud sõiduradadega tänavalõikude nimistus järjestus. Tahapoole langevad tänavad kus liigub suhteliselt palju trollibusse ja ka liigendbusse, kuid veidi ettepoole nihkuvad need tänavalõigud, kus normaalbusse on suhteliselt rohkem. Selliste arvutuste tulemused enimkoormatud sõiduradade kohta kajastuvad joonisel 2.13.



- Keskmine 2007
- Normatiivsele täituvusele $6 \text{ in}/m^2$ vastav
- Seni arvutustes kasutatud siirdetegur
- 2007. aasta suurimale täituvusele vastav

Joonis 2.9. Busside koormussageduse siirdetegurite sõltuvus inimeste arvust sõidukis

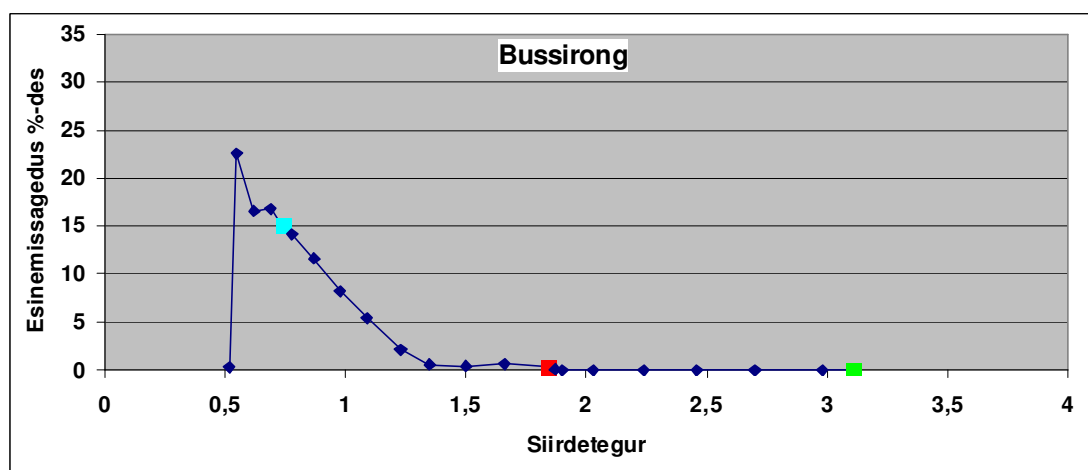
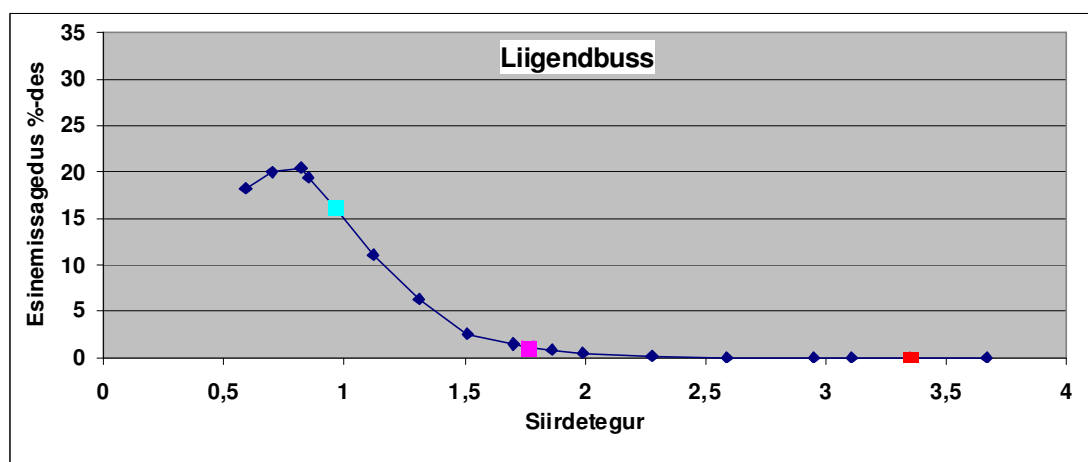
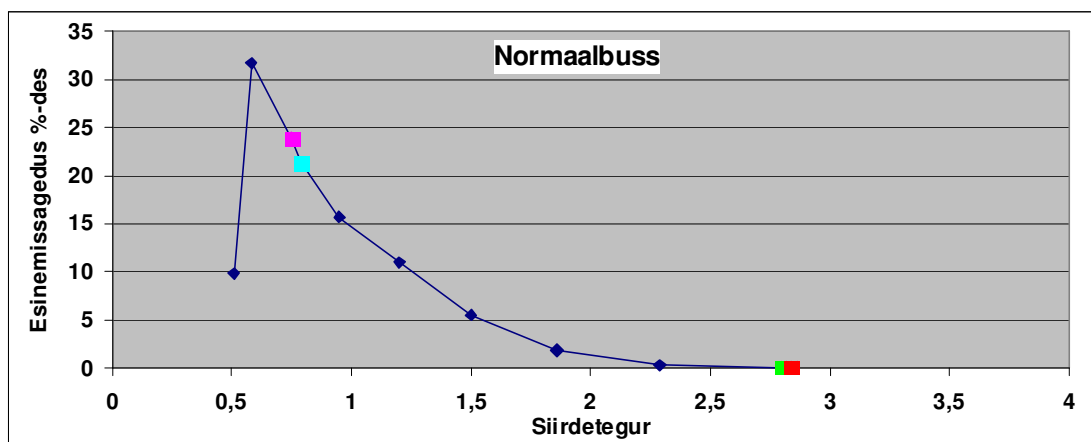


- Keskmine 2007
- Normatiivsele täituvusele 6 in/m² vastav
- Seni arvutustes kasutatud siirdetegur
- 2007. aasta suurimale täituvusele vastav

Joonis 2.10. Trollide koormussageduse siirdetegurite sõltuvus inimeste arvust sõidukis

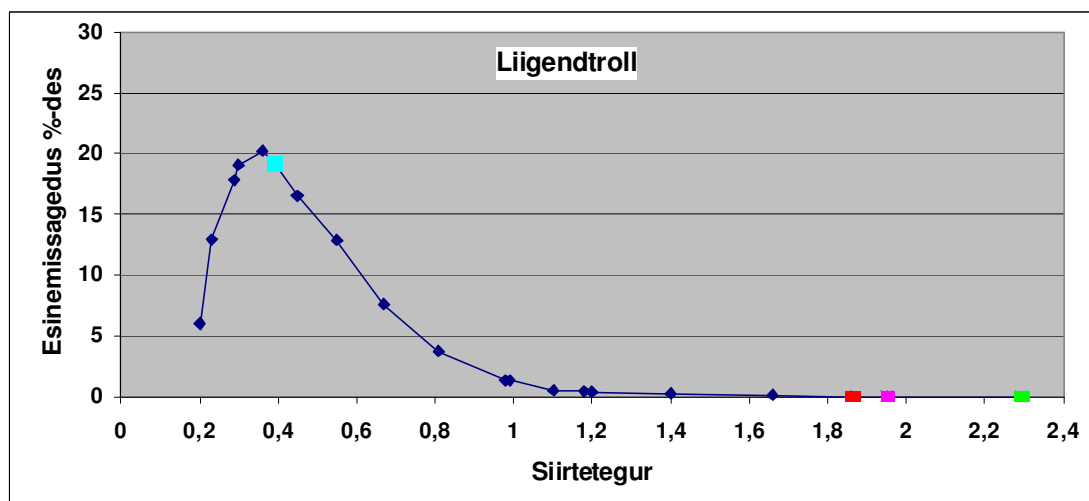
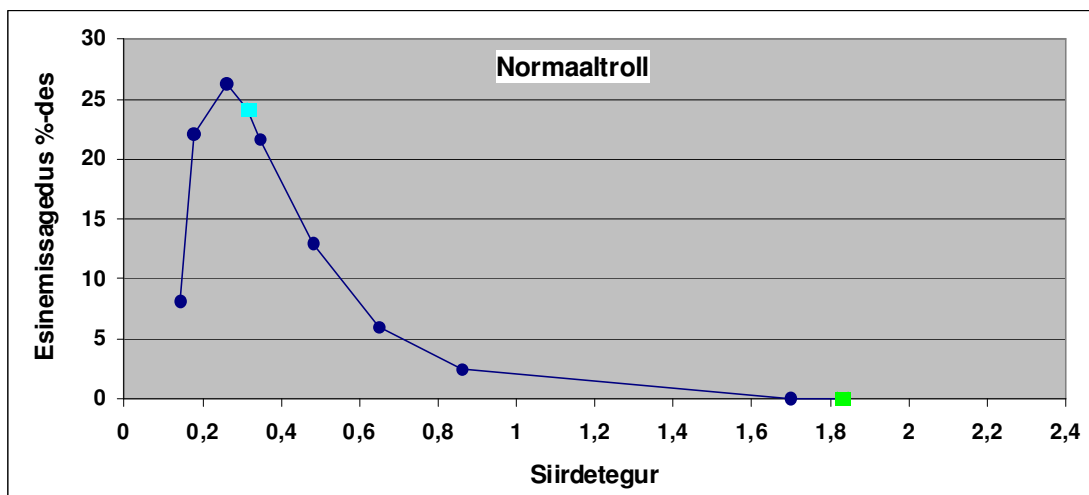
Tabel 2.7. Kesklinna suunal Taksopargi peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			Troll			Üldse kokku
	Normaal	Liigend	Kokku	Normaal	Liigend	Kokku	
Plaaniline arv tööpäeval			270			446	716
Möödetud arv tööpäeval	118	109	227	228	170	398	625
Valimi %			84,1%			89,2%	87,3%
Osatähtsus %	18,9	17,4	36,3	36,5	27,2	63,7	100,0
Keskmine täituvus, inimesi	30,9	41,1	35,8	30,9	43,4	37,6	36,9
Keskmine kogukaal tonnides	14,6	21,1		13,4	19,5		
s.h. telg 1	4,7	4,8		5,6	5,2		
telg 2	9,9	6,9		7,8	7,1		
telg 3		9,4			7,2		
Keskmine siirdetegur normiteljele	1,09	1,07		0,43	0,54		
Suurim tegelik täituvus, inimesi	64	92		71	98		
Seisijaid/m²	4,1	3,6		4,4	3,3		
Liini nr.	16	17A		3	6		
Suurim tegelik kogukaal tonnides	17,4	25,2		16,6	24,0		
s.h. telg 1	5,8	6,1		6,5	5,9		
telg 2	11,6	8,3		10,1	9		
telg 3		10,8			9,1		
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele	2,29	2,16		1,31	1,52		
Koormussagedus normitelge ööpäevas			292			213	505



- Keskmine 2007
- Lubatud teljekoormustele vastav
- Seni arvutustes kasutatud siirdetegur
- 2007. aasta suurimale täituvusele vastav

Joonis 2.11. Busside erinevate siirdetegurite esinemissagedus



- Keskmine 2007
- Lubatud teljekoormustele vastav
- Seni arvutustes kasutatud siirdetegur
- 2007. aasta suurimale täituvusele vastav

Joonis 2.12. Trollide erinevate siirdetegurite esinemissagedus

Tabel 2.8. Kesklinna suunal Koidu peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			Troll			Üldse kokku
	Normaal	Liigend	Kokku	Normaal	Liigend	Kokku	
Plaaniline arv tööpäeval			243			446	689
Möödetud arv tööpäeval	118	109	227	228	170	398	625
Valimi %			93,4%			89,2%	90,7%
Osatähtsus %	18,9	17,4	36,3	36,5	27,2	63,7	100,0
Keskmine täituvus, inimesi	29,3	40,3	34,6	29,8	42,4	35,2	35,0
Keskmine kogukaal tonnides	14,5	20,9		13,2	19,3		
s.h. telg 1	4,7	4,8		5,5	5,2		
telg 2	9,8	6,8		7,7	7,0		
telg 3		9,3			7,1		
Keskmine siirdetegur normiteljele	1,04	1,02		0,41	0,51		
Suurim tegelik täituvus, inimesi	58	84		61	99		
Seisijaid/m2	3,3	3,1		3,4	3,3		
Liini nr.	16	17A		3	6		
Suurim tegelik kogukaal tonnides	16,9	24,6		15,8	24,0		
s.h. telg 1	5,6	5,9		6,3	5,9		
telg 2	11,3	8,1		9,5	9		
telg 3		10,6			9,1		
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele	2,02	1,96		1,00	1,52		
Koormussagedus normitelge ööpäevas			252			202	454

Tabel 2.9. Kesklinnast eemalduval suunal Koidu peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			Troll			Üldse kokku
	Normaal	Liigend	Kokku	Normaal	Liigend	Kokku	
Plaaniline arv tööpäeval			243			446	689
Möödetud arv tööpäeval	117	108	225	228	170	398	623
Valimi %			92,6%			89,2%	90,4%
Osatähtsus %	18,8	17,3	36,1	36,6	27,3	63,9	100,0
Keskmine täituvus, inimesi	33,1	39,5	34,6	27,4	42,8	35,2	35,0
Keskmine kogukaal tonnides	14,8	20,9		13	19,5		
s.h. telg 1	4,8	4,8		5,5	5,2		
telg 2	10,0	6,8		7,5	7,1		
telg 3		9,3			7,2		
Keskminesiirdetegur normiteljele	1,14	1,02		0,37	0,53		
Suurim tegelik täituvus, inimesi	70	114		78	112		
Seisijaid/m2	4,8	5,2		5,2	4,1		
Liini nr.	16	17A		2	6		
Suurim tegelik kogukaal tonnides	17,8	27,1		17,2	25,2		
s.h. telg 1	6	6,6		6,7	6,1		
telg 2	11,8	9,0		10,5	9,5		
telg 3		11,5			9,6		
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele	2,48	2,95		1,56	1,9		
Koormussagedus normitelge ööpäevas			262			196	458

Tabel 2.10. Kesklinna suunal Tehnika peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			Troll			Üldse kokku
	Normaal	Liigend	Kokku	Normaal	Liigend	Kokku	
Plaaniline arv tööpäeval			172			468	640
Mõõdetud arv tööpäeval		65	65	210	66	276	341
Valimi %			37,8%			59,0%	53,3%
Osatähtsus %		19,1	19,1	61,6	19,4	80,9	100,0
Keskmine täituvus, inimesi		38,2	38,2	23,4	33,6	25,8	28,2
Keskmine kogukaal tonnides		20,8		12,7	18,7		
s.h. telg 1		4,7		5,4	5,0		
telg 2		6,8		7,3	6,8		
telg 3		9,3			6,9		
Keskmine siirdetegur normiteljele		1,01		0,33	0,44		
Suurim tegelik täituvus, inimesi		99		71	101		
Seisijaid/m2		4,1		4,4	3,5		
Liini nr.		40		1	1		
Suurim tegelik kogukaal tonnides		25,7		16,6	24,2		
s.h. telg 1		6,2		6,5	5,9		
telg 2		8,5		10,1	9,1		
telg 3		11,0			9,2		
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele		2,36		1,31	1,56		
Koormussagedus normitelge ööpäevas			174			167	341

Tabel 2.11. Kesklinnast eemalduval suunal Kelmiküla peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

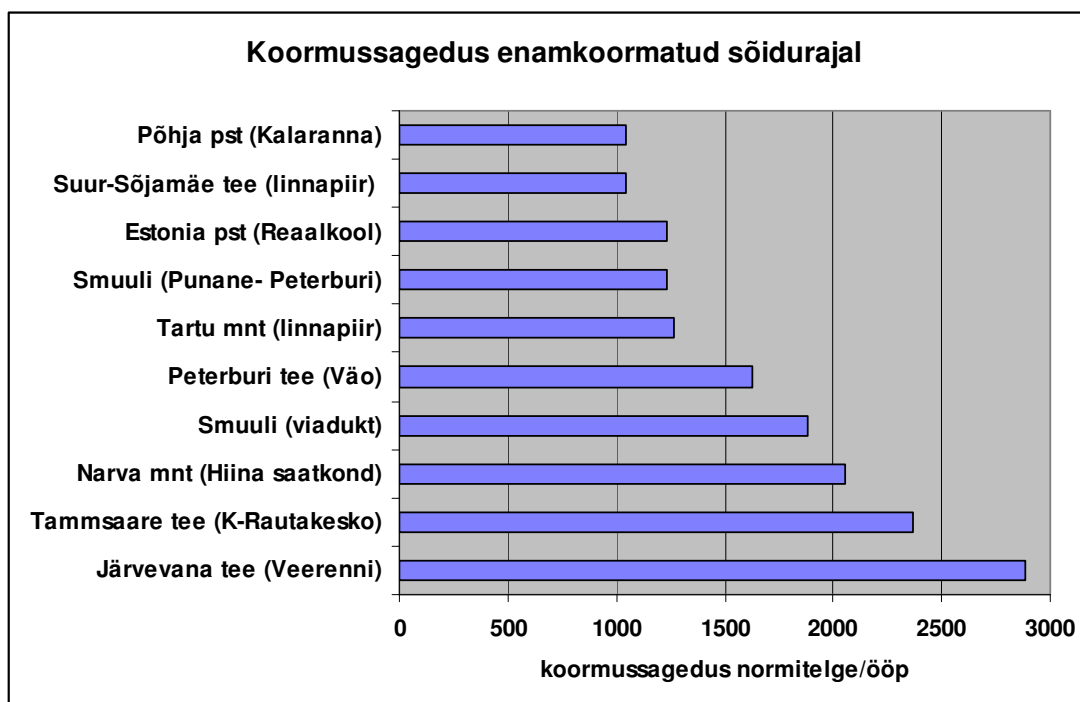
Näitaja	Buss			Troll			Üldse kokku
	Normaal	Liigend	Kokku	Normaal	Liigend	Kokku	
Plaaniline arv tööpäeval			172			468	640
Mõõdetud arv tööpäeval		100	100	208	66	274	374
Valimi %			58,1%			58,5%	58,4%
Osatähtsus %		26,7	26,7	55,6	17,6	73,3	100,0
Keskmine täituvus, inimesi		46,4	46,4	22,2	34,7	25,2	30,9
Keskmine kogukaal tonnides		21,5		12,6	18,8		
s.h. telg 1		4,9		5,3	5,1		
telg 2		7,0		7,3	6,8		
telg 3		9,5			6,9		
Keskmine siirdetegur normiteljele		1,14		0,32	0,45		
Suurim tegelik täituvus, inimesi		97		57	80		
Seisijaid/m2		4,0		3,0	2,2		
Liini nr.		40		1	1		
Suurim tegelik kogukaal tonnides		25,7		15,5	22,5		
s.h. telg 1		6,2		6,2	5,7		
telg 2		8,5		9,3	8,4		
telg 3		11,0			8,5		
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele		2,34		0,9	1,08		
Suurim normitud kogukaalule vastav täituvus, inimesi	89	132		74	123		
Koormussagedus normitelge ööpäevas			302			163	465

Tabel 2.12. Kesklinna suunal J.Poska peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			
	Normaal	Liigend	Bussirong	Kokku
Plaaniline arv tööpäeval				906
Mõõdetud arv tööpäeval	144	301	59	504
Valimi %				55,6%
Osatähtsus %	28,6	59,7	11,7	100,0
Keskmine täituvus, inimesi	13,0	26,1	35,1	23,4
Keskmine kogukaal tonnides	13,1	19,7	20,9	
s.h. telg 1	4,1	4,4	4,4	
telg 2	9,0	6,4	9,1	
telg 3		8,9	3,7	
telg 4			3,7	
Keskmine siirdetegur normiteljele	0,7	0,82	0,77	
Suurim tegelik täituvus, inimesi	39	83	101	
Seisijaid/m2	1,0	3,0	3,2	
Liini nr.	8	60	60	
Suurim tegelik kogukaal tonnides	15,3	24,5	26,3	
s.h. telg 1	5,0	5,8	5,7	
telg 2	10,3	8,1	10,6	
telg 3		10,6	5,0	
telg 4			5,0	
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele	1,31	1,96	1,62	
Koormussagedus normitelge ööpäevas				707

Tabel 2.13. Kesklinnast eemalduval suunal J. Poska peatuse ööpäevane koormussagedus ja selle arvutamiseks vajalikud põhinäitajad

Näitaja	Buss			
	Normaal	Liigend	Bussirong	Kokku
Plaaniline arv tööpäeval				906
Mõõdetud arv tööpäeval	188	301	59	548
Valimi %				60,5%
Osatähtsus %	34,3	54,9	10,8	100,0
Keskmine täituvus, inimesi	15,3	32,4	39,2	23,4
Keskmine kogukaal tonnides	13,3	20,3	21,3	
s.h. telg 1	4,2	4,6	4,5	
telg 2	9,1	6,6	9,2	
telg 3		9,1	3,8	
telg 4			3,8	
Keskmine siirdetegur normiteljele	0,75	0,92	0,82	
Suurim tegelik täituvus, inimesi	68	112	106	
Seisijaid/m2	4,6	5,0	3,4	
Liini nr.	34A	60	60	
Suurim tegelik kogukaal tonnides	17,7	26,5	27,2	
s.h. telg 1	5,9	6,4	5,9	
telg 2	11,8	8,8	10,8	
telg 3		11,2	5,3	
telg 4			5,3	
Suurim tegelik siirdetegur normiteljele	2,43	2,63	1,78	
Koormussagedus normitelge ööpäevas				771



Joonis 2.13. Koormussagedus enamkoormatud sõiduraja kohta 2007. aastal juhul kui rakendada ühissõidukite korregeeritud koormussageduse siirdetegureid

KOKKUVÕTE RASKELIIKLUSEST TALLINNA TÄNAVAVÕRGUL

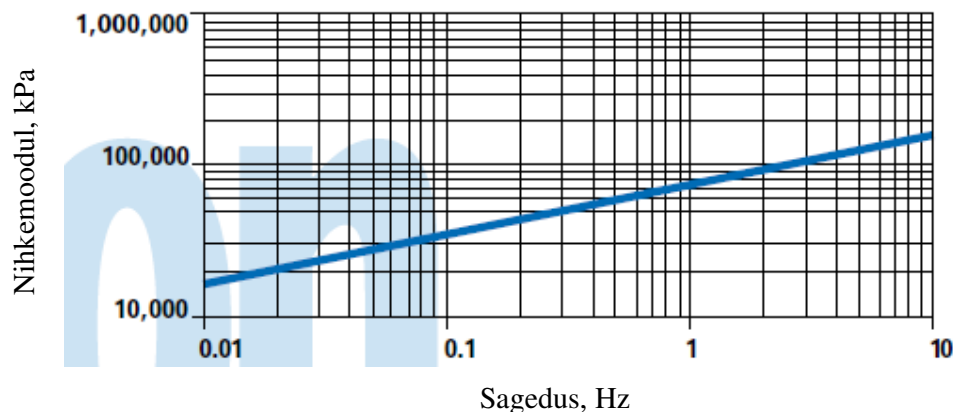
- Suhteliselt hea ülevaade on olemas raskeliikluse osatähtsusest Tallinna kesklinnast väljuvatel tänavatel ja linna piiril ning üksikutes kontrollpunktides, millest enamus paiknevad viimase kümne aasta jooksul rajatud magistraaltänavatel.
- Tänu võimalusele loendada piisava täpsusega ühissõidukite tegelikku täituvust automaatsete loendusseadmete abil on osutunud võimalikuks hinnata ka paremini ühissõidukitest tulenevat koormust sõiduteele – sealhulgas enamasti tänava esimesele sõidurajale
- Varem kasutatud koormussageduse siirdetegurid trollidele ja liigendbussidele olid ülehinnatud ning normaalbussidele olid need alla hinnatud, kuid samal ajal võib väita, et võrreldes varasemate aastatega on ühissõidukite täituvus enamasti vähenenud
- Ühissõidukite täituvuse norm 6 inimest istmetest vaba põrandapinna m² kohta on liialt kõrge ja eeldaks sõiduki telgede ülekoormamist. Tegelikuses selliseid olukordi võib esineda võrdlemisi harva
- Linna tingimustes koormussageduse siirdetegurid veoautodele on hinnangulised, kuna ühtegi uurimist nende määramiseks ei ole seni tehtud ja selliste uuringute tegemine oleks äärmiselt töömahukas ning üldistuste tegemine väga problemaatiline.

3. SOOVITUSED RISTMIKEALADE KATENDIKONSTRUKTSIOONIDE VALIKUKS JA EHTAMISEKS

3.1. SISSEJUHATUS

Asfaltkatted on tavaliselt suhteliselt vastupidavad ja odavad. Nad ei vaja pikka ehitusaega ja neid on kerge hooldada, mistõttu vähenevad ka vajalikud liikluspiirangud. Kuigi asfaltkatete tööea ja maksumuse suhe on tavaliiklusega aladel üldjuhul suurepärane, tuleb nende tööea suurendamiseks ristmikealadel tarvitusele võtta lisaabinõusid. Aeglaselt liikuvad ja seisvad koormused ristmikealadel tekitavad katendis suuremaid pingeid, mis omakorda põhjustavad kattes plastiliste deformatsioonide ja katendi kihtides tekkivate püsivate deformatsioonide tulemusel roobaste teket.

USA teekatete uurimisprogrammi Superpave sideainete ja segude laboratoorsed katsed võimaldavad määrata materjalide materjalide põhiomadusi. Üks Superpave'i asfaltsegu käitumiskatsetest – Frequency Sweep at Constant Height (FSCH) – iseloomustab asfaltsegu jäikuse sõltuvust koormamissagedusest. Joonis 3.1 illustreerib segu jäikuse vähenemist sõltuvalt koormamiskestuse kasvust või koormamissageduse vähenemisest: segu nihkemoodul (jäikuse põhinäitaja) väheneb 10 korda koormamiskestuse kasvades 0,1 sekundilt (10 Hz) 100 sekundini (0,01 Hz). Sama katse sideainele – Dynamic Shear Rheometer (DSR) – näitab samasugust sõltuvust sagedusest. Eeltoodu seletab, miks asfaltsegud tavaliselt omavad head võimet seista vastu roobaste tekkele nendel teelõikudel, kus sõidukite kiirused on suured. Kuid aladel, kus kiirused on väikesed ja staatilised koormused suured, võivad samad segud olla vastuvõtlikud roobaste tekkele. [Walker, D., Buncher, M., 1999]



Joonis 3.1. Segu jäikuse sõltuvus koormuskestusest (-sagedusest) [Walker, D., Buncher, M., 1999]

Väiksema sagedusega koormused ei ole ainukeseks roobaste tekke põhjuseks ristmikealadel. Ristmikel tekkivad pidurdus-, kiirendus- ja pöörded avaldavad kattele täiendavat mõju. Lähtudes sellest vajavad ristmikealade asfaltkatted, võrreldes traditsiooniliste liiklusalade asfaltkatetega, tavapärasest erinevat käsitlust.

Ristmikuala optimaalse katendi valiku strateegia koosneb järgnevatest astmetest:

- Struktuurse tugevuse tagamine:
 - Selleks, et hästi vastu pidada koormuse mõjule, peab ristmikuala katend kõigepealt omama piisavat paksust. Uute katendite puhul peab katendikihtide paksuste määramine põhinema liikluse koosseisul, võttes arvesse aluspinnase omadused. Olemasolevate katendite puhul tuleb hinnata nende erinevate konstruktiivsete kihtide seisukorda. Kui olemasoleval kattel on tekkinud roopad, tuleb nende tekkepõhjus kindlaks määrata ja kõrvaldada. Vastasel juhul, lihtsa ülekatte paigaldamisel, on roobaste taasteke ülekattel tõenäoline.
- Materjalide valik ja kontroll:
 - Tänapäevane materjalivalik võimaldab projekteerijal leida materjalid, mis tagaksid ristmikuala katendikonstruktsioonile esitatavad kõrgendatud nõudmised. Üks olulisemaid on kivimaterjali ja sideaine kombinatsiooni valikuid optimaalse katte töötamise tagamiseks. Soovituslik on kasutada ristmikealadel muu liiklusala võrreldes sitkema polümeermodifitseeritud bituumeneid. Nii nagu bituumensideaine valik, on oluline ka ristmikealadel kasutatava mineraalmaterjali valik. Kivimaterjal peab moodustama nihkekindla karkassi, mis peab olema võimeline kandma liikluskoormust. Oluline on kivimaterjali terastikuline koostis (sõelkõver), tugevus kulumisele ja külmakindlus, terakuju, tera pinnatekstuur jmt. Nii peen kui ka jäme mineraalmaterjal peaksid soovituslikult omama nurgelist kuju, et tagada nõutav nihkekindlus. See välistab kohaliku loodusliku purustamata materjali kasutamise ristmikualadel.
 - Lisaks materjalide valikule on oluline ka asfaltsegu projekteerimisprotsess, mille peamiseks eesmärgiks on sobiva sideainesisalduse määramine mineraalmaterjali karkassile, mis suudaks kanda liikluskoormust ja vastu seista roobaste tekkele. Güraatortihendamisel valmistatud proovikehad vastavad enam katte tihendamise tegelikule olukorrale, kui Marshalli proovikehad, mistõttu tuleks eelistada esimest. Killustikmastiksasfalt (KMA) on näidanud oma võimet vastu seista roobaste tekkele.
 - Uuringud on näidanud, et oluline näitaja on segu skeletipoorsus. Väikese skeletipoorsusega segud on tundlikud ka väikesele bituumeni-, niiskuse- ja fillerisisalduse muutusele – nende väike sisalduse kasv segus võib põhjustada kattes roobaste teket. Samas suure jäävpoorsusega segud (vähe peenmaterjali) tingivad suhteliselt paksu bituumenikihi jämedamal materjalil, mis võib hakata tööle määrdena ja võimaldab materjali ümberpaiknemist liikluskoormuse all, põhjustades plastseid deformatsioone või ka katte higistamist.
 - Peale materjalide valikut ja segu projekteerimist peab ettevõtja suutma toota projekteeritud omadustega segu ning transportima selle objektile. Segu kvaliteedikontroll on oluline. Segu sideainesisaldus ja mineraalmaterjali sõelanalüüs on olulised näitajad, mis tuleks minimaalselt määrata objektile paigaldataval segul. Kuna ristmikud vajavad segu suhteliselt väikestes kogustes, siis on segu koostises vajalike korrektuuride tegemiseks väga vähe aega. Ettevõtja toodangu kvaliteedikontrollisüsteem peab seetõttu olema äärmiselt operatiivne.
- Õigete ehitusvõtete kasutamine:
 - Järgmiseks astmeks ristmikuala katendi optimaalse töötamise tagamiseks on ehitusfaas. Ristmikualadel ehitamisel on oluline järgida juba praktikas välja kujunenud ja hästi töötavaid tavasid ja pöörata tähelepanu detailidele. Näiteks:

- Freesitud alad tuleb põhjalikult puhastada. Tolmu ja freesipuru kõrvaldamine freesitud ala servadelt on äärmiselt oluline.
 - Piki- ja põikvuukide korralik ehitus on tähtis, et takistada vee pääsu katendikonstruktsiooni. Mida jäigem ja jämedam segu, seda rohkem tähelepanu tuleb pöörata ühendusvuukidele.
 - Segu segregeerumise vältimine transpordil ja paigaldamisel on samuti oluline. Liikluskoormuse kandmiseks peab segu olema homogeenne, st ta peab olema ühtlase tiheduse ja tekstuuriga.
 - Nõutud tiheduse saavutamine on katte optimaalse funktsioneerimise seisukohalt äärmiselt oluline.
 - Ka teiste üldiste põhimõtete järgimine, nagu segu mitte üle kuumutamine, veoki kasti mitte diisliga üle pihustamine segu nakkumise vältimiseks jne on oluline.
- Valed ehitusvõtted võivad muuta nulliks kogu töö, mis on tehtud materjalide valikul ja segu projekteerimisel.
- Projekti teostamine:
 - Ristmikuala ehituse/remondi teostamisel on vaja otsustada, kui kaugele tavalisse liiklusalasse peaks ristmikuala erinev katendilahendus ulatuma. See otsustus sõltub mitmest tegurist.
 - Üheks takistuseks ristmikualale erineva lahenduse valikuks on põhjus, et ristmikuala ehitusmahud ei ole eriti suured. Seetõttu ei ole projekteerijad eriti huvitatud nägema suuremat vaeva ristmikealadele, võrreldes tavalise liiklusalaga, erinevate katendikonstruktsiooni lahenduste väljatöötamisest ja ehitaja ei ole huvitatud väikesemahulise projektist, mis sageli nõuab, võrreldes kogu ülejäänud projektiga, ka erinevate materjalide kasutamist.
 - Probleemi lahenduseks ettevõtjale võib olla väikesemahuliste ristmikuprojektide liitmine üheks suuremaks projektiks, kus kasutatakse samasid materjale/segusid.
 - Mitme üksteisele järgneva ristmiku puhul võib osutuda optimaalseks kasutada ka ristmikevahelisel liiklusalal ristmike katendikonstruktsiooniga sarnast lahendust. Ehitusmaksumus kujuneks küll esialgu ilmselt kallimaks, kuid arvatavasti ka katendi tööiga tavalisel liiklusalal kujuneb pikemaks traditsioonilise lahendusega võrreldes, mis peaks kokkuvõttes muutma projekti kasumlikuks.

Optimaalselt käituvat 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.

3.2. STRUKTUURSE TUGEVUSE TAGAMINE

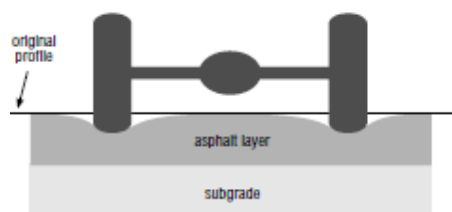
3.2.1. Olemasoleva katendi seisukorra hinnang

Ristmikuala optimaalse remondimeetodi valik eeldab sellel esinevate roobaste tekkepõhjuste analüüsi. Roopad on ristmikealadel kõige sagedamini esinev asfaltkatte defektitüüp. Roobaste teke võib olla ja mitte olla seotud kogu katendikonstruktsiooni struktuurse tugevusega. Roobaste tekkepõhjuse väljaselgitamine võimaldab valida ristmikualale majanduslikult kõige optimaalsema ja sobivaima remondimeetodi.

Esineb neli põhilist roopatüüpi, millel on erinevad tekkepõhjused. Ainult üks neist roopatüüpidest on seotud katendikonstruktsiooni ebapiisava struktuurse tugevusega ega nõrga alusega – see on mehhaaniline deformatsioon. [Rosenberg, C., Buncher, M., 1999]

1. Järeltihenemine

Järeltihenemine tekib, kui katte ehitamisel ei ole tihendamisel saavutatud kihi piisavat/nõutavat tihedust. Ebapiisava tihedusega poorne segu on allutatud liikluskoormusele, mille tulemusena ta järeltiheneb. Eriti ilmneb see soojade ilmade ajal ja ristmikealadel, kus koormused on aeglaselt liikuvad või staatilised. Järeltihenemisel tekivad roopad rattajäljes ilma, et segu surutaks välja rattajälje külgedele (joonis 3.2).



Joonis 3.2. Järeltihenemisest või kulumisest tekkinud roobas [Rosenberg, C., Buncher, M., 1999]

2. Katte kulumine

Katte kulumine on tavaliselt põhjustatud naastrehvide kasutamisest. Tekkivate roobaste kuju on sarnane järeltihenemisest tekkiva roopa kujuga, kuid kulumisest tekkinud roobas võib olla veidi järsemate servadega ratta jälje äärealadel.

3. Plastiline deformatsioon

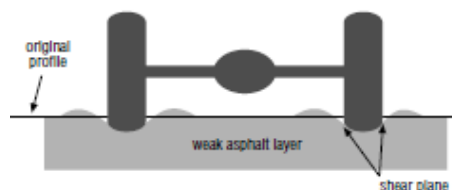
Plastilised deformatsioonid tekivad asfaltbetoonkattes, kui segu on mittestabiilne. Peamisteks plastiliste deformatsioonide tekkepõhjusteks on:

- sideaine üleküllus segus koos liiga väikese segu jäävpoorsusega;
- segus kasutatud mineraalmaterjali osakeste ebaõige kuju – liiga palju looduslikku purustamata ümarat materjali;
- peenmaterjali üleküllus segus.

Plastiliste deformatsioonide teke on tavaliselt seotud katte ülemise kihi segu omadustega, kuid võib olla põhjustatud ka katte alumise kihi segu omadustest.

Katte plastilised deformatsioonid on ristmikualadel eriti levinud defektitüüp ja on põhjustatud aeglaselt liikuvast või seisvast staatilisest koormusest.

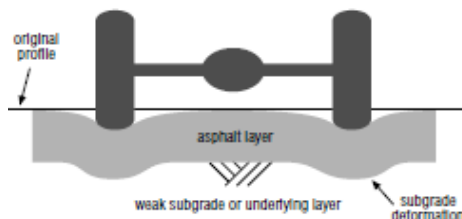
Plastilised deformatsioonid ilmnevad kattel pikiroobastena koos roopast välja surutud materjalivallidega rattajälje külgedel (joonis 3.3).



Joonis 3.3. Plastilisest deformatsioonist tekkinud roobas [Rosenberg, C., Buncher, M., 1999]

4. Mehhaaniline deformatsioon

Mehhaanilise deformatsiooni tekkepõhjuseks on katendikonstruktsiooni ebapiisav struktuurne tugevus ehk kandevõime. Katendikihtide tugevused ja paksused on liiga väikesed, et tagada liikluskõormusele vastav katendi piisav kandevõime olemasoleva aluspinnasel (joonis 3.4).



Joonis 3.4. Nõrgast katendikonstruktsioonist tekkinud roobas [Rosenberg, C., Buncher, M., 1999]

Mehhaaniline deformatsioon tekitab lisaks roopale ka katte pargunemise kas roopa põhjas tekkiva pikiragunemisena või võrkpraona, kuna katte deformatsioon põhjustab roopa põhjas tõmbepingete tekke.

Lisaks ristmikualal roobaste sügavuse mõõtmisele 3-meetrise latiga ja nende tekkepõhjuste visuaalsele hinnangule on võimalik teostada ka ristmikuala katendikonstruktsiooni põhjalikumaid uuringuid kas puurproovide võtmise või šurfi- ehk vaatlusaukude või - süvendkraavide kaevamisega. Piisava sügavusega vaatluskraav võimaldab kindlaks määrata, kas ka katendi alumised kihid on koormuse all deformeerunud, st kas katendi kandevõime on piisav. Lisaks kihtide visuaalsele vaatlusele süvendkraavides on võimalik kraavi süvistamise ajal ka erinevatest katendi kihtidest võtta materjaliproovid ning need laboratoorselt katsetada, et määrata kindlaks, kas nendes kihtides kasutatud materjal on veel piisavate omadustega katendi koormuskindluse tagamiseks või vajab ristmiku remondi käigus väljavahetamist.

Dünaamiline koormusseade (FWD) võimaldab hinnata olemasoleva katendi üldist kandevõimet ning määrata kindlaks ka katendikonstruktsiooni kihi, mille tugevus ei ole piisav katendi koormuskindluse tagamiseks.

Lisaks ristmikuala füüsilisele hindamisele on vajalik teostada ka ristmikuala katendikonstruktsiooni dimensioneerimine lähtudes Elastsete tänavakatendite projekteerimise juhendist [Vaimel, A., 2003], Elastsete teekatendite projekteerimise juhendist 2001-52 [Maanteeamet, 2001] või muust tellija poolt aktsepteeritavast katendi dimensioneerimismetoodikast.

Ristmikuala liikluskoormuse määramisel, mis on aluseks katendi dimensioneerimisel, tuleb arvestada kõigilt ristmiku harudelt ristmikualale suubuva liikluskoormusega, kuna kogu see liiklus läbib teatud hetkel ristmiku ühisala.

3.2.2. Sobiva remondimeetodi valik

Kui ristmikuala katendi seisukorrahinnang on tehtud, tuleb valida sobiv remondialternatiiv. Iga alltoodud juhtum omab erinevat sobivat remondimeetodit.

1. Roopad puuduvad või roopad on põhjustatud järeltihenemisest/kulumisest

Sobivaimaks ristmikuala remondimeetodiks juhul, kui roopad puuduvad või nad on põhjustatud katte järeltihenemisest/kulumisest, on olemasoleva katte ülekate sobivat tüüpi asfaltbetooneguga.

Üldjuhul seda katet ei ole vaja freesida. Freesimisvajadus võib olla tingitud äärekivi väikesest kõrgusest, sadevee äravoolu tagamise vajadusest, altläbisõidugabariidi säilitamise vajadusest vmt. Teiseks freesispõhjuseks võib olla katte mittestruktuursete defektide, nagu näiteks murenemine, higistamine vmt., kõrvaldamisvajadus. Kolmandaks freesispõhjuseks võib olla järeltihenemisest/kulumisest põhjustatud roobaste sügavus. Kuna ainult ülekattega on võimatu sügavaid roopaid kõrvaldada, sest nad peegelduvad ikkagi mingil määral ülekatte pinnal, siis võib osutuda vajalikuks teostada kattele õige põikprofiili andmiseks enne ülekatte paigaldamist nende freesimine.

Peale freesimist, või kui freesimine ei ole vajalik, tuleb teostada ülekatte alla jääva pinna kruntimine. Enne kruntimist peavad olema vanal kattel esinevad praod täidetud ning löökaugud remonditud. Vajadusel, kui roopad järeltihenemisest või kulumisest on sügavad ja neid ei freesita, tuleks enne ülekatte paigaldamist ette näha roobaste täitmine või tasanduskihi paigaldamine.

2. Roopad on põhjustatud katteseгу plastilistest deformatsioonidest

Plastilistest deformatsioonidest põhjustatud roobaste puhul on oluline määrata kindlaks deformatsioonide ulatus soovitavalt vaatlussüvisega, et teha kindlaks, millistesse katte kihtidesse plastilised deformatsioonid ulatuvad. Need kihid, kus esineb plastilisi deformatsioone, tuleb freesimisega eemaldada. Vastasel juhul on plastiliste roobaste teke uuel ülekattel kindlustatud. Kui deformeerunud kihtide freesimise käigus paljastub sideainega töötlemata aluse kiht, tuleb see enne uue asfaltkatte paigaldamist uuesti tihendada.

3. Roopad on põhjustatud mehhaanilistest deformatsioonidest ehk katendi madalast kandevõimest

Kõik defektne ja pargunenud asfaltkate tuleb eemaldada. Võrkpragunenud asfaltkattele ülekatte paigaldamine ei kõrvalda defekti põhjust ehk ei paranda katendi alumiste kihtide kandevõimet ja võrkpragunemine tekib aja jooksul ka uuel ülekattel.

Kui katte all asetsevad sidumata mineraalmaterjali kihid on omavahel segunenud (liiv tunginud killustikukihti, aluspinnas segunenud liiva või killustikuga, vmt) tuleb ka need segunenud kihid eemaldada. Uues katendikonstruktsioonis tuleks kasutada peenmaterjali või –pinnase jämedamasse materjali (killustiku) tungimise vältimiseks geotekstiilist vahekihte.

Katendikonstruktsiooni kandevõime kaotus on sageli seotud liigse vee kogunemisega katendikonstruktsiooni ehk halva vete ärajuhtimisega katendikonstruktsioonist. Seetõttu tuleks nendel aladel, kus esineb katendi kandevõime kaotust, hinnata ka vete ärajuhtimissüsteemide (äravooludrenaaž, drenkiht jmt) seisukorda. Ning kui see osutub ebapiisavaks, tuleb projekteerimise käigus lahendada uuesti ka vete ärajuhtimise küsimused.

Peale kõigi ebasobivate kihtide eemaldamist tuleb uued projekteeritud kihid paigaldada aluspinnasele või vana katendi allesjäänud konstruktiivsele kihile, mis on eelnevat uuesti tihendatud.

Peale ristmikuala olemasoleva seisukorra hindamist ja sellel põhineva sobiva remondimeetodi valikut saame olla kindlad, et ristmikuala omab peale remonti piisavat struktuurset tugevust/kandevõimet, mis tagab katendikonstruktsioonile ette nähtud tööea.

3.3. MATERJALIDE VALIK

Ristmikealade katendikonstruktsioonide ehitusmaterjalidest rääkides võime me eristada aluse- ja katematerjale ehk rääkida meil peamiselt kasutatavatest killustikalustest ning neile peale ehitatavatest asfaltbetoonkatetest. Viimaste juures on olulised nii mineraalmaterjali kui ka bituumensideaaine omadused, mis lõppkokkuvõttes määravad kihi töötamisvõime liikluskoormuse all.

3.3.1. Killustikalused

Teekatendi aluse kihtide püsivust mõjutab eelkõige raskeliikluse koormus. Liikluse mõju suurendavad katendisse ülevalt või alt pääsenud vesi ja talihooldusel kasutatav sool ning temperatuuri muutused.

Raskeliikluse toimetel tekivad killustikuterade kokkupuute kohtades pinged, mille suurus sõltub koormusest ja killustikukihi asukohast (kaugusest katendi pinnast) ka killustikuterade kokkupuutekohtade hulgast. Seega, mida suurem on killustikaluse poorsus seda suuremad on pinged killustikuterades. Eestis projekteeritakse ja ehitatakse killustikalused enamasti kiilumismeetodil (st. fraktsioneeritud jämedast killustikust kihile ja puistatakse peenemat killustikku, mis rullitakse jämeda killustiku pealmiste terade vahele). Saadud killustikalus sisaldab kuni 30 % tühemikke ja pinged terade kokkupuute kohtades on suured. On üldine reegel, et kivimaterjali purunemine katendikihis vähendab selles pooride mahtu ja ühtlasi ka kihi paksust. Mida suurem on koormussagedus muudel võrdsetel tingimustel seda kiiremini

poorsus väheneb. Siit järeldub, et sõidutee jälgedel kahaneb kihi paksus kiiremini, kui jälgede vahel ja tekkivad roopad. Nii võib põhjustada 20 cm paksuse killustikaluse poorsuse vähenemine 10...15 % võrra 2...3 cm sügavuse roopa tekkimise. Tavaliselt seletatakse roobaste teket katendi pealiskihi kulumise või asfaltkihtide plastsete deformatsioonidega. Ka need muidugi esinevad, kuid ka alusel on oluline osa.

Killustikuterade purunemise vältimiseks tuleb kasutada purunemiskindlamat killustikku või vähendada katendikihi poorsust sobiva terastiku valikuga. Killustiku purunemist vähendab ka kivimaterjali bituumeniga töötlemine (näiteks must killustik).

Kahjuks spetsiaalselt linnatingimustele vastavaid mineraalmaterjali nõudeid Eestis kehtestatud ei ole ja linnatingimustesse sobivate mineraalmaterjalide (sh killustikaluste materjalide) valikul peab juhinduma vastavatest maanteealastest normdokumentidest.

Alates 2000. aastast on killustikaluste projekteerimisel ametlikuks aluseks Eestis Maanteeade projekteerimismid (Teede ja sideministri 28.septembri 1999,a määrus nr, 55), milles on arvestatud omaaegsete GOST-i nõuetega. Viimaseid ei kasutata enam alates Eesti Asfaldiliidu Asfaldinormide AL ST 1-02 kasutuselevõtmisest 2002. aastal. 2003. aastal koostati TTÜ teedeinstituudis Maanteeameti tellimisel Maanteeade projekteerimismid eelnõu, mis arvestas selleks ajaks kehtestatud kivimaterjalide EN nõudeid ja koostamisel olevaid EN soovitusi. 2005. aastal viidi sisse eelnõu parandused, mille järel Maanteeameti kodulehel olev eelnõu on soovituslikult kasutusel. Paraku on vahepeal võetud kasutusele EVS-EN standardid, mis Maanteeade projekteerimismid eelnõu koostamise ajal olid standardite eelnõud. Seega oleme praegu olukorras, kus ametlikult kehtivad teematerjalide EVS-EN standardid, kuid rakendusdokumendid nendega ei arvesta.

Probleemi lahendamiseks reguleeris Maanteeameti peadirektor oma käskkirjaga nr. 133 27.06.2006 lubjakivi- ja kruuskillustiku kasutamist. Nimetatud käskkirja punkti 5 kohaselt tuleb „ühekihiliste aluste ja aluste pealmiste kihtide ehitamisel teedel, mille liiklussagedus on suurem kui 8000 autot ööpäevas kasutada tardkivikillustikku LA 25. Killustiku ülejäänud omadused peavad vastama Asfaldinormide AL ST 1-02 tabel L2.2 järgi vähemalt II klassi nõuetele“.

Kiilumismeetodil ehitatavates killustikalustes kasutatava killustiku tugevuse ja külmakindluse nõuded on antud Maanteeade projekteerimismid eelnõu tabelis 4.11 (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Kiilumismeetodi puhul aluskihtides kasutatava kivimaterjalile esitatavad nõuded (Maanteeade projekteerimismid eelnõu tabel 4.11)

Kivimaterjali omadused	Maantee klass	
	Kiirtee, I	II-III
Purunemiskindlus Los Angelese katsel, % (EVS-EN 1097-2:2001) ja klass	≤25, LA ₂₅	≤30, LA ₃₀
Külmakindlus: - vahetul külmutamisel (EVS-EN 1367-1:2000) -magneesiumsulfaadi katsel (EVS-EN 1367-1:2000)	≤2, F ₂ ≤25, MS ₂₅	≤4, F ₄ ≤35, MS ₃₅

Sama nõue on ka Maanteeameti peadirektori ülalnimetatud käskkirja punktis 5.

Võrreldes naaberriikide omadega (vt. tabel 3.2) on meie nõuded nende omadest isegi rangemad (va. Islandi omad [Nordisk Vejteknisk Forbund]). Los Angelesi purunemiskindlus määratakse kuiva killustikuga. Eesti lubja- ja dolokivi on kihilise ehitusega, sisaldades õhukesti savikihte. Seepärast on meie killustiku tolmu- ja lihtsisaldus oluliselt suurem (eriti üheastmelise purustamise korral) tardkivikillustiku omast. Vahekihtide omadused muutuvad veega kokkupuutel oluliselt, mistõttu killustiku tugevus väheneb.

Lubjakivikillustiku kulumiskindlus Nordic katsel (killustikku kulutatakse vees) on üle 30, mis jääb väljapoole kulumiskindluse kategooriaid (EVS-EN 13043:2004). Samuti on lubja- ja dolokivi külmakindlus tardkivi omast tunduvalt madalam. Tagajärjeks on killustikaluste suur tolmu sisaldus (puurimisandmetel läbib sõela 0,063 mm keskmisel kuni 17 %, üksikutes proovides kuni 24 %), mis eelkõige halvendab killustikkihi filtratsiooni omadusi. Seega peavadki lubja- ja dolokivile esitatavad purunemiskindluse nõuded olema tardkivi omadest mõnevõrra rangemad.

Teiseks kasutatakse nendes riikides suure liiklusega teedel killustikaluse peal paksemaid seotud kihte kui meil (meil kuni 15 cm). Tabelist 3.2 on näha, et nõrgema purunemiskindlusega killustikaluse puhul on killustikaluse peal kasutusel paksemad seotud kihid.

Tabel 3.2. Nõuded killustiku Los Angelese purunemiskindlusele ja katendi seotud kihtide paksus killustikalusel [Nordisk Vejteknisk Forbund]

Riik	Liiklussagedus autot ööpäevas	Purunemiskindlus	Seotud kihtide paksus, cm
Norra	<5000	≤35 LA	17
	>5000	≤30 LA	24
Soome	määratlemata	≤30 LA	17
Taani	määratlemata	määratlemata	Kuni 17,5
		≤15 LA KMA kulumiskihi korral	
Island	>6000	≤20 LA	10,5
Rootsi	määratlemata	<23 Nordic	24
Saksamaa	määratlemata	<26 SZ löögikindlus	26

Täpsustused:

1. Saksamaal kasutatava löögikindluse ja Eestis kasutatava Los Angelesi teguri vahel on ligikaudne sõltuvus $SZ=3,5LA^{0,564}$. Ligikaudu võib SZ_{26} vastata LA_{35} või teistel andmetel LA_{30} .
2. 26 cm paksused seotud kihid vastavad koormussagedusele 10...32 miljonit 10 tonnise telje läbikule (ligikaudu meie oludes 8000 autot ööpäevas).

Eeltoodust võib järeldada, et üheks killustikkihi koormuse vähendamise võimaluseks on suurendada seotud kihtide paksust killustikaluse peal või ehitada killustikalus kahekihilise-na-pealpool ilmastiku- ja purunemiskindel killustik (tardkivikillustik) ja allpool nõrgem (paekivikillustik).

Eestist läänepoolsetes riikides ei kasutata killustikaluste ehitamist kiilumismeetodil. Ka EVS-EN 13285:2007 - Sidumata segud. Spetsifikatsioon - pakub teede ja lennuväljade ehituseks 8 erinevat rohkem või vähem tihedat killustiku terakoostist. Ilmselt on ka Eestis aeg loobuda kiilumismeetodil ehitatavatest killustikalustest.

Eestis on killustikaluste ehitus hoogsalt arenenud viimasel aastakümnel. On nii õnnestumisi kui ka ebaõnnestumisi. Kohalike kivimaterjalide käitumise kohta killustikalustes pole tehtud läbimõeldud kavaga uuringuid. Ebaõnnestumiste korral on küll analüüsitud tulemust, kuid lähteandmete puudumise tõttu saab teha vaid oletusi ebaõnnestumiste põhjuste kohta. Ilmselt oleks vaja uurida erinevate kohalike killustike kasutustingimusi.

Kokkuvõte

1. Lubja-ja dolokivist killustikaluste kulumine on reaalne probleem, mis vajab lahendust.
2. Ükski lahendus ei likvideeri kulumist täielikult ja igaveseks,
3. Võimalikud lahendused on:
 - 3.1. Suurendada killustikaluse peal olevate seotud kihtide paksust 5...10 cm võrra.
 - 3.2. Ehitada killustikalused kahekihilisena, pealmises 10...12 cm paksuses kihis kasutada kulumis ja külmakindlat killustikku.
 - 3.3. Loobuda kiilumismeetodil killustikaluste ehitamisest.
4. Loetletud kolm võimalust on kasutatavad eraldi või ka koos sõltuvalt konkreetsest olukorrast. Valiku kriteeriumiks peaks olema majanduslik otstarbekus.
5. Graniitkillustiku kasutamine killustikaluse ülemises kihis on üks teekatete vastupidavuse suurendamise võimalus. Lahtiseks jääb, kas see on otstarbekas alates liiklussagedusest 8000 autot ööpäevas või mõnest teisest sagedusest. Kuigi ka teistes riikides lähtutakse enamasti liiklussageduse kriteeriumist, tundub loogilisem lähtuda koormussagedusest või katendi nõutavast elastsusmoodulist.

3.3.2. Asfaltbetoonsegud

Elastsete tänavakatendite projekteerimise juhendis [Vaimel, A., 2003] on esitatud soovitusel asfaltsegude valikuks nii ülemisse kui ka alumisse katte kihti erinevatele tänavaliikidele (tabel 3.3). Kahjuks ei ole siin eraldi välja toodud ristmikealadele soovitatavaid asfaltsegusid ega ka ristmikelade katendi projekteerimise erisusi.

Kuni Euronormidel baseeruvate Eesti tingimustesse sobivate asfaltsegude soovitusel valmimiseni (2009) on meil kasutatavate asfaltsegude valiku aluseks ikkagi Eesti Asfaldiliidu standard Asfaldinormid AL ST 1-02. Vastavalt sellele on soovitatav ristmikualadel kasutada kolme liiki segusid:

- Killustikmastiksfalt KMA 16;
- Killustikmastiksfalt KMA 12;
- Tihe asfaltbetoon TAB 20 I.

Kõigi nende segude puhul näeb AL ST 1-02 ette kasutada ristmikualadel I klassi killustikku. I klassi killustiku purunemiskindluse nõue Los Angelesi katsel on ≤ 20 %. Tallinna ühissõidukipeatustes on katte pealmises kihis kasutatava killustiku LA purunemiskindluse nõue ≤ 15 % ja alumises kihis ≤ 25 % ehk II klassi killustikku (st nii pealmises kui ka alumises katte kihis kasutatakse peamiselt tardkivikillustikku). Otstarbekas oleks ühissõidukipeatustega sarnaseid killustike purunemiskindluse nõudeid rakendada ka ristmikualadel.

KMA sobib katete ehitamiseks tavaliselt ja raskelt koormatud teedel ja tänavatel, mille liiklussagedused on vastavalt üle 3000 ja üle 1500 auto ööpäevas.

Tabel 3.3. Asfaltsegude kasutamine linnatänavate kattes [Vaimel, A., 2003]

Tänavaliik	Katte kiht	
	Ülemine	Alumine
Kiirtee, põhitänav	Tiheda asfaltbetooni (TAB) I margi segud. Killustikmastiksfalt (KMA).*	Tiheda asfaltbetooni I ja II margi segud. Poorse asfaltbetooni (PAB) kuumad segud.
Jaotustänav	Tiheda asfaltbetooni (TAB) I margi segud. Killustikmastiksfalt (KMA).*	Tiheda asfaltbetooni II margi segud. Porne asfaltbetoon (PAB). Kergasfaltbetoon (KAB).
Kõrvaltänav, Veotänav	Tiheda asfaltbetooni I ja II margi segud. Kergasfaltbetoon (KAB).	Porne asfaltbetoon (PAB). Kergasfaltbetoon (KAB). Seguris segatud mustsegud (MSE). Bituumenmakadam (MUK).
Kvartalitänav	Tiheda asfaltbetooni II margi segud. Kergasfaltbetoon (KAB). Mustsegud (MSE).	Mustsegud (MSE). Bituumenmakadam (MUK).
Jalgtänav	Kergasfaltbetoon (KAB). Mustsegud (MSE). Bituumenmakadam (MUK). Pindamine	

Vastavalt AL ST 1-02 –le paigaldatakse KMA kate sideainetega töödeldud (TAB, KAB, PAB) alustele. Juba aastaid on spekulieritud teemadel, et KMA, tänu oma katkevate terastikulisele koostisele, laseb läbi vett. Seetõttu tuleks KMA paigaldada tihedast asfaltbetoonist (TAB) alusele, et takistada vee imbumist katendikonstruktsiooni ning ka vältida talvel libedustõrjeks kasutatavate kloriidide katest läbi imbumist ja ning keemilist mõju lubjakivikillustikust alusele. Seega ka KMA all asetasev TAB-kiht peaks sisaldama ainult tardkivikillustikku.

Samas on KMA-segude suurem veeläbilaskuvus võrreldes TAB-segudega katsetega tõestamata. Nii KMA kui ka TAB segude jäävpoorsus on vahemikus 1,5-5 %, mis eeldab ka ühesugust veeläbilaskvust ja selle põhjal ei ole nagu otsest põhjust KMA all tiheda tardkivikillustikust segu kasutamiseks.

Selleks, et teha majanduslikult otstarbekamaid otsuseid, tuleks kindlasti teostada uurimistöö KMA ja TAB segude veeläbilaskvuse määramiseks ja võrdlemiseks.

KMA ja TAB kate kihipaksused olenevad segu margist (terasuurusest), olles vähemalt 2D KMA puhul ja 1,67D TAB puhul.

Soome ASTO-uuringute põhjal mõjutab kate kulumise suurust peamiselt kivimaterjali liik ja omadused, siis kate nihkekindlust (plastiliste deformatsioonide teket) kivimaterjalid praktiliselt ei mõjuta. Nihkekindlus sõltub suuresti sideaine omadustest (bituumenist 30 %, lisanditest 40 %).

KMA sideainena kasutatakse sitkeid (eelistatult modifitseeritud) naftabituumeneid, mille nõutavad omadused on esitatud AL ST 1-02 tabelites L3.a Sitked naftabituumenid või L3.d Polümeermodifitseeritud naftabituumenid. Tihedate asfaltbetoonsegude sideainena

kasutatakse sitkeid või pehmeid naftabituumeneid (viimased ei ole sobivad kasutamiseks ristmikualadel), mille viskoossus, temperatuuritundlikkus ja ilmastikupüsivus võimaldavad saavutada tihedatele asfaltbetoonidele kehtestatud nõudeid.

Tabel 3.4. Bituumenite soovitatav penetratsioon [AL ST 1-02]

Segu liik	Liikluse iseloom	
	Tavaline	Raske
KMA 16	60-80	50-60
KMA 12	80-100	60-80
TAB 20 I	70-120	

Väiksema penetratsiooniga bituumeneid kasutatakse suuremate liiklussageduste puhul

Tallinna linnas on ühissõidukipaetustes kasutatavate bituumenite penetratsiooninõudeid võrreldes AL ST 1-02-ga mõnevõrra tõstetud: kulumiskihis nõutakse sideainet penetratsiooniga 50-65, sidekihis penetratsiooniga 50-95. Samu nõudeid võiks rakendada ka ristmikualadel kasutatavatele sideainetele.

Ristmikualade katte deformatsioonikindluse tõstmiseks tuleks segule lisada looduslikke bituumeneid või polümeere. Kui asfaltbetoonsegu ei ole piisavalt veepüsiv, tuleb kasutada naket parendavaid lisandeid. Naftabituumenite nakke parendamiseks happelise kivimiga võidakse lisada amiine. Muude lisandite (gilsoniit, kummipuru, polümeerid jm.) kasutamine eeldab spetsiaalset seguretsepti ja see lepitakse tellija ja töövõtja vahel kokku igal konkreetsel juhul.

3.3.3. Uued materjalid ja tehnoloogiad

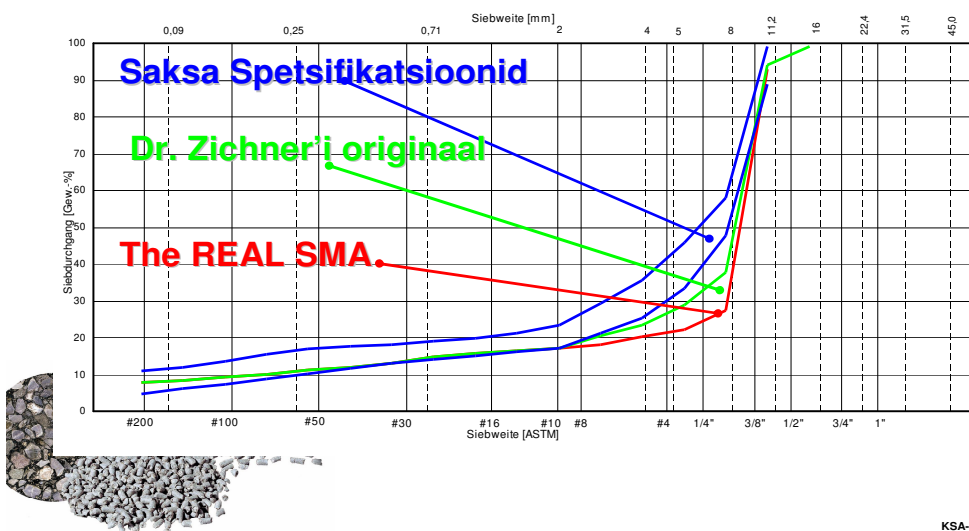
Tegelik KMA (The Real SMA)

Saksamaal on viimastel aastatel pühendatud suurt tähelepanu nihkekindlale KMA ehk nn „tegeliku KMA“ segu arendamisele. Võrreldes traditsioonilise (Saksa spetsifikatsioonile vastava) KMA seguga sisaldab uus arendatav segu veelgi vähem keskmiseid (2, 5, 8 mm) sõelamõõte läbivaid mineraalmaterjali fraktsioone (tabel 3.5, joonis 3.5).

Tabel 3.5. Saksa spetsifikatsioonidele vastava ja nn tegeliku KMA (the Real SMA 0/11) sõelkõverate võrdlus + Eesti Asafaldiliidu AL ST 1-02 KMA 12

Killustikmastiksfalt max teramõõduga 11 mm – SMA 0/11	Kõrge kvaliteetne purustatud killustik, purustatud liiv, filler		AL ST 1-02 KMA 12	
	Läbib sõela, massi-%			
Sõela ava, mm	The Real SMA	Saksa spetsifikatsioon	Sõela ava, mm	Läbib sõela, massi-%
0,09	8-10	9-13	0,063	8-12
2	19-23	20-25	2	18-27
5	27-30	20-38	4	24-35
8	33-37	40-60	8	40-65
11,2	95	90	12,5	85-100
16	100	100	16	100

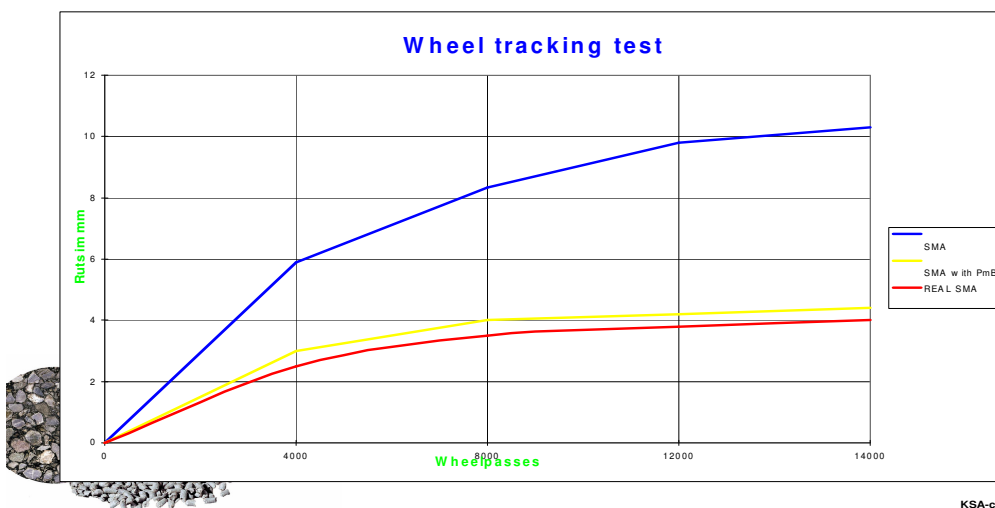
KMA 0/11



KSA-consultancy

Joonis 3.5. Saksa spetsifikatsioonidele vastava ja nn tegeliku KMA (the Real SMA) sõelkõverate võrdlus

Stabiilsuse võrdlus



KSA-consultancy

Joonis 3.6. Saksa spetsifikatsioonidele vastava (sinine), polümeermodifitseeritud bituumeniga (kollane) ja nn tegeliku KMA (punane) vastupidavus roobaste tekkele

Tabel 3.6. Saksa spetsifikatsioonidele vastava ja nn tegeliku KMA (the Real SMA 0/11) näitajate võrdlus + Eesti Asafaldiliidu AL ST 1-02 KMA 12

Killustikmastiksfalt max teramõõduga 11 mm – SMA 0/11	The Real SMA	Saksa spetsifikatsioon	AL ST 1-02 KMA 12
Bituumen	B 65 / B 80 6,9-7,1 %	B 65 / PmB 45 min 6,5 %, keskm 6,8 %	B 50/70 .. B70/100 6,5-7,0 % PMB50/100-75 6,5-7,2 %
Tselluloosikiud VIATOP 66	0,45 %	0,45 %	0,3-1,0 %
Jäävpoorsus	2-4 %	3-4 %	2-5 %

Rullitud tsementbetoonkatted

Rullitud tsementbetoonkate (Roller-compacted concrete – RCC) on saanud nime oma ehitusmeetodi järgi – tsementbetoon laotatakse tavalise asfaltbetoonilaoturiga ja tihendamine toimub rullidega (joonis 3.7).

Rullitud tsementbetoonkatte lähtematerjalid on samad, mis tavalisel betoonil: tsement, vesi ja kivimaterjalid (kruus või killustik).

Võrreldes tavalise betooniseguga on rullitavate tsementbetoonkatete ehitamisel kasutatav segu kuivem, olles piisavalt jäik selleks, et tema tihendamiseks saaks kasutada vibrorulle.

Tavaliselt ehitatakse rullitud tsementbetoonkate ilma vuukideta, ta ei vaja ehitamisel vorme või raketisi ja ta ei sisalda tüübleid ega armatuuri – seetõttu on rullitud tsementbetoonkatte ehitamine lihtne, kiire ja odav.

Rullitud tsementbetoonkatteid kasutatakse tööstuslikes oludes (laoplatsid, sadamad, sõjaväeobjektid jmt), tänavatel, ristmikel ja aeglase liiklusega teedel.

Rullitud tsementbetoonkatted omavad tavalise betoonkatte tugevust ja vastupidavust ja asfaltkatte ehitamise ökonoomsust ja lihtsust.

Pikk tööiga ja väikesed hooldekulud koos väikeste ehituskukudega suurendavad rullitud betoonkatete ökonoomsust.

Rullitud tsementbetoonkatete suur tugevus elimineerib asfaltbetoonkatete traditsioonilised puudused:

- Ei teki plastset roobast,
- Moodustab lokaalse pehme aluse kohale “silla”,
- Ei deformeeru raske koondatud koormuse all,
- Ei lagune kütuse ja lahustite mõjul,
- Ei pehmene kõrgetel temperatuuridel.



Joonis 3.7. Rullitud tsementbetoonkatted - Roller-Compacted Concrete – RCC

Tavaliselt segatakse segu pidevtoimega segistites ehitusobjekti lähedal. Segurid peavad olema võimelised segama segu küllaltki väikese veesisalduse juures (see nõuab suuremat võimsust).

Kallurid veavad segu ja laadivad selle asfaldilaoturisse, mis paigaldab selle paksusega kuni 25 cm ja laiussega kuni 13 m.

Tihendamine on katte ehitamise kõige olulisem etapp, mis tagab tiheduse, tugevuse, tasasuse ja pinnatekstuuri. Tihendamine algab koheselt peale betooni paigaldamist ja jätkub kuni kate täidab tihedusnõuded.

Katte hooldus kivinemise ajal tagab tugeva ja vastupidava katte – katte pinna kastmine, niiskuse hoidmine (kile vmt.).

Hea väljanägemise tagamiseks võib kattesse lõigata vuugid, et kontrollida pragude tekke asukohti. Majandusliku kokkuhoiu mõttes võib lasta pragudel tekkida suvalistes kohtades.

Tabel 3.7. Rullitud tsementbetoonkatte (RCC) omadused ja neist tingitud efekt

RCC omadused	Effekt
Suur elastsusmoodul (3,5-7,0 Mpa)	Võtab vastu suurt korduvat koormust ilma defektide tekketa ja moodustab plaadi aluse lokaalsetele pehmetele kohtadele, mille tulemusena vähenevad hoolduskulud ja pikeneb katte tööiga.
Suur survetugevus (28-69 Mpa)	Võtab vastu suurt koondatud koormust ja dünaamilist koormust.
Suur nihketugevus	Ei teki roopaid.
Suur tihedus, väike veejuhtivus	Kindlustab suure vastupidavuse isegi külmumis/sulamistingimustes, ei lase vett alusesse.
Väike veesisaldus, madal vesitsementtegur	Suurendab tugevust, vähendab veeläbilaskvust ja suurendab vastupidavust keemilistele mõjudele (autokütus, õlid jmt).
Mineraalmaterjali lukustunud karkass	Tagab suure nihkekindluse ning ei lase tekkida vertikaalsetel paigutustel kontrollimatute pragude kohal.
Puudub armatuur	Kiirendab ja lihtsustab ehitamist, vähendab maksumust.
Puudub betoonivaluvormide ja pinnaviimistluse vajadus	Kiirendab ehitamist, vähendab maksumust ja tööjõu vajadust.
Puuduvad vuugid	Kiirendab ehitamist, vähendab maksumust (pragude kontrollimatu tekke ja hea väljanägemise tagamiseks võib kattesse siiski vuugid lõigata).
Tugev, vastupidav, heledapinnaline kate	Hea kulumiskindlusega, puudub kulumiskihi vajadus, vähendab maksumust. Hele pind vähendab valgustuse vajadust parklates ja laotaladel.

 ► Pave Widths: 2.5m to 8m ► Laydown Rate: up to 600 tonnes/h	 ► Pave Widths: 2.5m to 10m ► Laydown Rate: up to 600 tonnes/h
Vögele Super 1600-1	Vögele Super 1800-1
 ► Pave Widths: 2.5m to 9m ► Laydown Rate: up to 700 tonnes/h	 ► Pave Widths: 3m to 16m ► Laydown Rate: up to 1100 tonnes/h
	Vögele Super 2500

Joonis 3.8. Asfaldilaoturid rullitud tsementbetoonkatete ehitamiseks

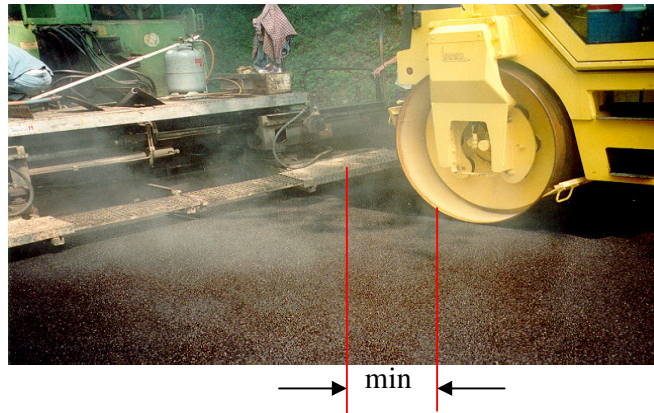
3.4. TEHNOLOOGIA JÄRGIMINE

Lisaks õigele materjalivalikule ja segu projekteerimisele mõjutab oluliselt katte ehitustulemust ja katte tulevast tööiga ka ette nähtud ehitustehnoloogia järgimine.

Kõige sagedamini esineb ette nähtud tehnoloogiast kõrvalekaldumist just killustikmastiksasfaldi (KMA) paigaldamisel, mistõttu toome järgnevalt ära olulisemad aspektid, mida tuleks KMA-katete ehitamisel järgida:

- Õige segu temperatuur objektil 160° C - 175° C.
- Minimaalne õhutemperatuur KMA paigaldamisel on 10° C.
- Alusta puhta veokiga, kasti pritsi segu nakkumise vältimiseks vedela seebiga (mitte diisliga).
- Kata segu jahtumise vältimiseks transpordil.
- Kindlusta laoturi peatusteta töö. Selleks taga vajalik veokite arv.

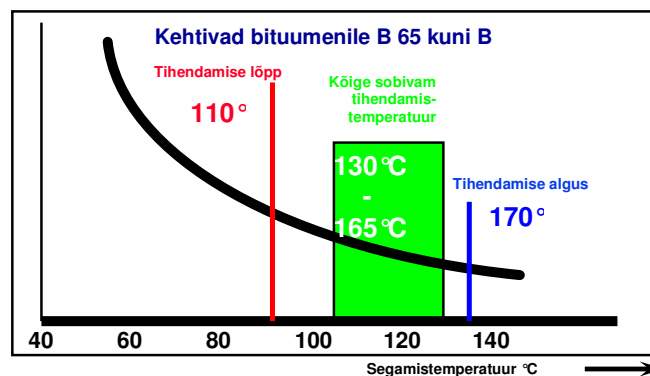
- Kasuta tavalist laoturit, spetsiaalsete seadmete vajadus KMA paigaldamiseks puudub.
- Hoia laoturi teod töös.
- Taga laotusprussi stabiilne temperatuur.
- Tihenda kohe laoturi taga.



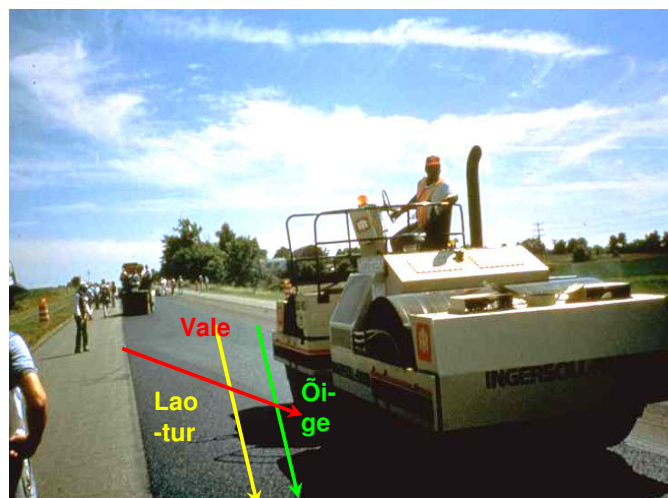
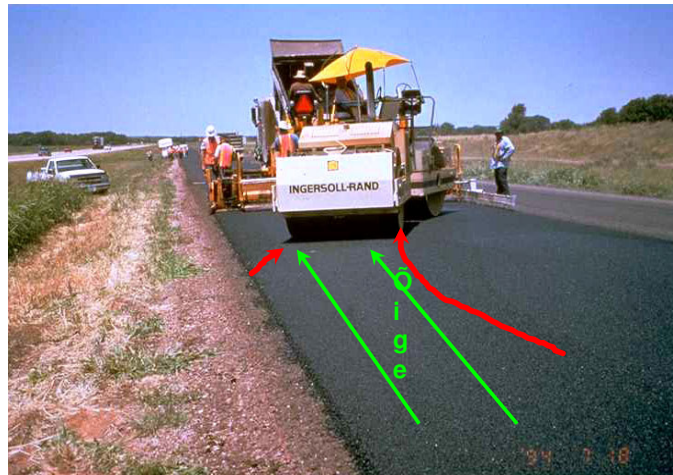
- Kasuta ainult staatilisi rulle (kaal 10 tonni). Vibrorullide kasutamine võib lõhkuda killustiku ning sellega ka moodustatava karkassi.
- Ära kunagi kasuta KMA tihendamisel pneumorulle (toovad bituumeni tihendatava katte pinnale).



- Määra korduslábikute arv (üldjuhul 6 lábikut igas suunas peaks olema OK).
- KMA optimaalne tihendamistemperatuur on 130-165 °C



- Rulli liikumistrajektoori muutmine võib toimuda ainult juba tihendatud katte alal.



Kuna ristmikualade katendikonstruktsioon erineb tava liiklusala katendikonstruktsioonist, siis tuleb kihtide muutumisel järgida ka katendikonstruktsioonis siirdekiilude ettenähtud kaldeid, mis on esitatud Majandus- ja kommunikatsiooniministri 13. mai 2004. a. määruse nr. 132 «Teehoiutööde tehnoloogianõuded» lisas 5.

Tabel 3.8. Siirdekiilude lubatud kalded

Tee liik	Kalle 1: n
Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 70...80 km/h	1:15
Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 50...70 km/h	1:10
Tänavad liiklussagedusega > 100 autot/tunnis	1:10
Tänavad liiklussagedusega ≤ 100 autot/tunnis	1:7
Jalgrattateed, jalgteed	1:7

Siirdekiilu pikkus arvutatakse valemi abil:

$$L = n \times S,$$

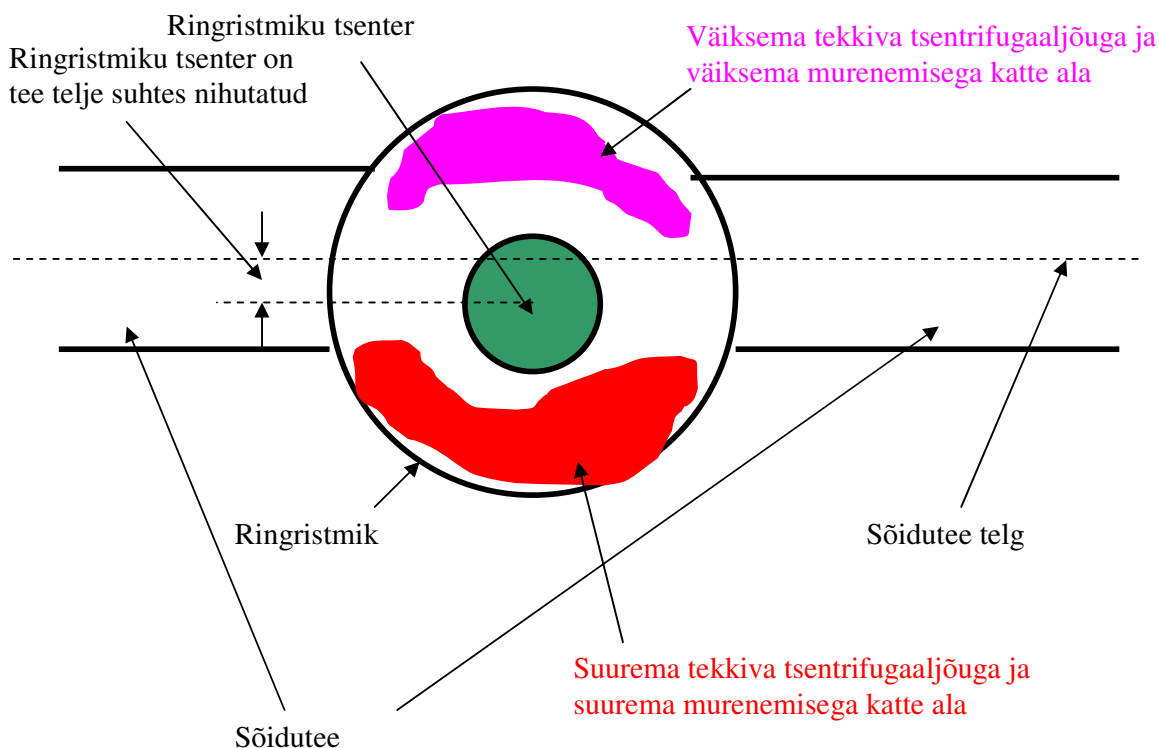
kus: L – siirdekiilu pikkus m;
n – siirdekiilu kalde pöördarv, mis võetakse tabelist 3.8;
S – kihi paksus m.

4. RINGRISTMIKUD

4.1. TONDI TN. RINGRISTMIKE KATTED

Tondi tänava rekonstrueerimisel paigaldati sinna Tallinna Kommunaalameti andmeil killustikmastiksasfalti KMA 16 tüüpi segust kate, mis aga on ekspluatatsiooni käigus kolme ringristmiku aladel tugevalt murenenud ja kattesse on tekkinud augud ning roopad (joonis 4.1)

Ringristmikud ei ole paigutatud põhisõidutee teljele, vaid on viimase suhtes nihutatud (joonis 4.2). Sellest tingituna esinevad suuremad katte kahjustused aladel, kus sõidukite tsentrifugaaljõud ringristmiku läbimisel on suuremad ning seetõttu ka sõidukite tekitatud nihkejõud suunaga ringi tsentrist eemale on nendel aladel suuremad. Tekkinud nihkejõud põhjustab aga kattest mineraalmaterjali lahti „murdumise“ ehk murenemise. Murenemine on suurem välismises rattajäljes kuna seal tsentrifugaaljõu toimele tekkivad nihkejõud rehvi ja katte vahel on suuremad võrreldes sisemises rattajäljes tekkivate nihkejõududega.

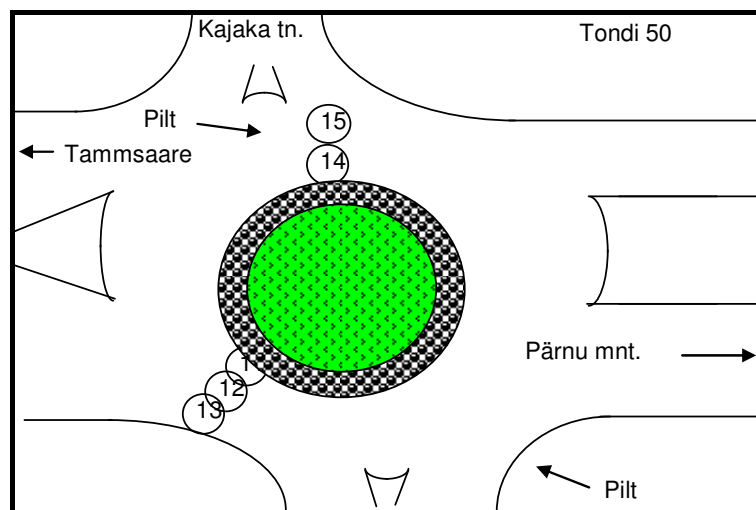
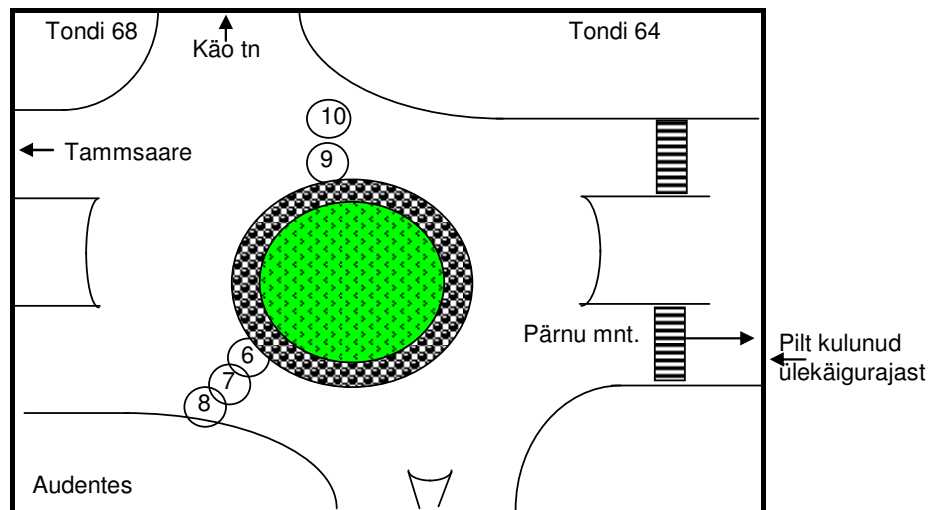
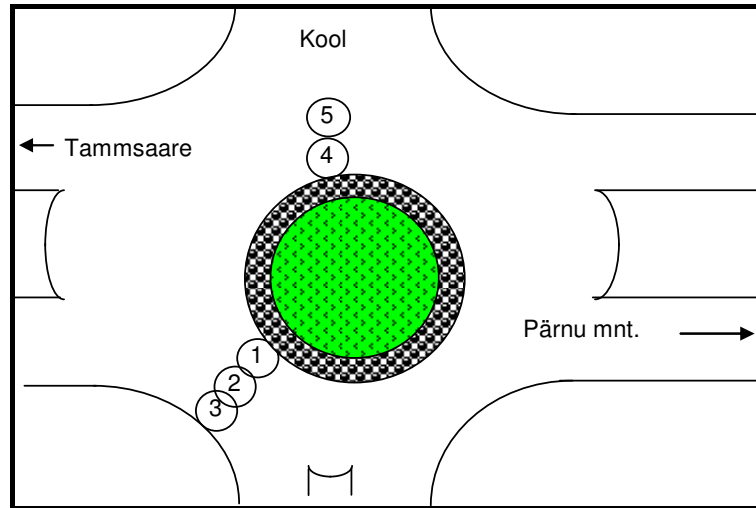


Joonis 4.2. Sõidutee ja ringristmiku paigutus ning tekkivad murenemistsoonid



Joonis 4.1. Katte seisukord Tondi ringristmikel (juuli 2008)

Paigaldatud KMA 16 segu omaduste määramiseks võeti ringristmikelt katteproovid ([joonised 4.3 ja 4.4](#)) ning määrati KMA segust kihi paksus, segu mahumass, bituumenisisaldus ja terastikuline koostis ning puurproovide segust valmistatud Marshall'i proovikehade stabiilsus ja voolavus ([tabelid 4.1 ja 4.2](#)).



Joonis 4.3. KMA 16 segust katte puurkehade võtmise asukohad Tondi tn. ringristmikel



Puurkehad 1-5



Puurkehad 6-10



Puurkehad 11-15

Joonis 4.4. Tondi tn. ringristmikelt võetud katte puurkehad

Nagu on näha [jooniselt 4.4](#) ja [tabelist 4.1](#) oli KMA segust kihi paksus küllaltki erinev, muutudes vahemikus 4,6 kuni 8,1 cm. See on seletatav katte erineva murenemeisintensiivsusega erinevates proovivõtukohtades.

Vastavalt Asfaldinormide AL ST 1-02 Tabelile 2.c Asfaltsegude stabiilsus ja voolavus peaks KMA segu Marshall'i katsel määratud stabiilsus olema suurem kui 6,0 kN ja voolavus 1,5 kuni 4,0 mm. Vastavalt AL ST 1-02 Tabelile 2.d Asfaltsegude stabiilsuse ja voolavuse nõuded sõltuvalt liiklusest peaks liiklussagedusel üle 5000 auto/ööpäevas tavalise liikluse puhul segu stabiilsus olema suurem kui 5,5 kN ja raske liikluse puhul suurem kui 6,5 kN ning voolavus vahemikus 1,5 kuni 4 mm. Samas on Asfaldinormides märgitud, et KMA segu stabiilsuse ja voolavuse näitajad ei ole kohustuslikud, vaid informatiivsed. [AL ST 1-02]

Tondi tn ringristmikelt võetud KMA segu puurproovidest valmistatud Marshall'i proovikehade katsetamisel määratud segu stabiilsus on 12,29 kN ja voolavus 3,59 mm ([tabel 4.1](#)). Seega laboratoorselt määratud segu Marshall'i stabiilsus ja voolavus vastavad Asfaldinormidele AL ST 1-02.

Tabel 4.1. Tondi tn. ringristmikelt võetud KMA segust puurproovide paksus ja mahumass ning neist valmistatud Marshall'i proovikehade mahumass, stabiilsus ja voolavus

Puurkehade eraldatud KMA segu puurproovid															
Proovi nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Paksus, cm	4,5	4,5	Pu- ru- nes	5,2	5	5	6,5	9	6,5	7	7,5	7,5	5,5	8	6
	4	4,5		4,5	5	6	6	8	6,7	7,5	7	7,2	6,5	8	6,5
	5,5	4,5		5	4,5	4,5	7	7,5	6,7	7,5	6,8	6	6,5	7,5	7
	5	5		4	5,5	4,5	6,5	8	6,5	7,3	7	7	7	8	6,5
Keskmine, cm	4,8	4,6	-	4,7	5,0	5,0	6,5	8,1	6,6	7,3	7,1	6,9	6,4	7,9	6,5
Kaal õhus, g	683,1	698,2	-	757,8	1008,4	992,8	1133,6	1280,5	1220	1257	1300,5	1302,4	1042	1483,1	1144
Kaal vees, g	397,9	394,3	-	442,7	584,5	573	655,1	742,8	704,2	730,2	757,2	755,2	604,6	865	674,4
Mahumass, g/cm ³	2,40	2,30	-	2,40	2,38	2,36	2,37	2,38	2,37	2,39	2,39	2,38	2,38	2,40	2,44
Laboratoorsed Marshall'i proovikehad															
Proovi nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	Kesk- mine						
Paksus, mm	62,4	65,7	64,4	65	65	64,8	64	65,3							
	62,4	65,5	64,4	64,7	64,9	64,7	63,7	64,8							
	62,4	65	64,5	64,7	65	64,3	64	65,3							
	62,5	65	64,7	65,1	64,9	64,5	64,3	65,5							
Keskmine, mm	62,4	65,3	64,5	64,9	65,0	64,6	64,0	65,2							
Kaal õhus, g	1191,3	1227,1	1212,7	1205,6	1186	1210,3	1211,3	1206,1							
Kaal vees, g	696,9	714,4	707	700,3	684,3	705,1	705,8	697,5							
Mahumass, g/cm ³	2,41	2,39	2,40	2,39	2,36	2,40	2,40	2,37	2,39						
Stabiilsus, kN	12,60	13,90	13,37	12,83	10,96	11,93	11,16	11,54	12,29						
Voolavus, mm	4,39	3,44	3,48	3,24	2,84	4,34	3,78	3,17	3,59						

Tabel 4.2. Tondi tn. ringristmikelt võetud KMA segust puurproovide ekstraheerimistulemused (bituumenisisaldus ja sõelanalüüs)

Proovi nr.	1		1 ja 6a			9a ja 9b			13a ja 13b			15a ja 15b		
Asfaltsegu, g	538,9		430,8	543		529,4	533,7		484	537,4		599,6	552,1	
Kuiv asfaltsegu, g	508,9		408,7	513,8		502,4	504,7		458,6	511,2		565,7	522,4	
Filler, g	5,6		3,4	5,5		5,9	5,5		5,2	3,2		6,7	4,7	
Bituumeni kaal, g	30		22,1	29,2		27	29		25,4	26,2		33,9	29,7	
Bituumen, %	5,6	5,6	5,1	5,4	5,3	5,1	5,4	5,3	5,2	4,9	5,1	5,7	5,4	5,5
Sõelutava materjali kogus, g	514,50		412,1	519,3		508,3	510,2		463,8	514,4		572,4	527,1	
Sõel, mm	Sõelal, g	Läbib sõela, %	Sõelal, g		Läbib sõela, %	Sõelal, g		Läbib sõela, %	Sõelal, g		Läbib sõela, %	Sõelal, g		Läbib sõela, %
	1	Keskm.	1	2	Keskm.	1	2	Keskm.	1	2	Keskm.	1	2	Keskm.
20	0,0	100,0	0	0,0	100	0	0	100	0	0	100	0	0	100
16	13,7	97,3	0	0,0	100	34,4	17,6	94,9	15,1	24,8	95,9	30,9	35,4	94,0
12,5	59,0	85,9	32,4	90,4	86,8	67,5	83,8	80,0	46,3	81,1	82,9	75,7	31,4	84,2
8	97,2	67,0	102,6	83,6	66,8	103,9	101,4	59,9	115,7	120,5	58,8	134,5	111,8	61,8
6,3	35,3	60,1	40,1	40,2	58,2	31,5	25,0	54,3	31,8	40,5	51,4	35,9	33,6	55,5
4	46,2	51,1	41,2	44,9	49,0	40,8	36,6	46,7	29,2	37,3	44,6	34,7	40,8	48,6
2	66,7	38,2	53,7	69,4	35,7	56,7	64,9	34,8	58,4	52,5	33,2	65,4	71,4	36,2
1	53,2	27,8	38	52,3	26,0	46,7	48,4	25,5	49,5	41,9	23,9	53,9	58,1	26,0
0,5	34,6	21,1	25,1	32,3	19,9	35,6	33,0	18,7	29,7	31,4	17,6	34,9	36,3	19,5
0,25	28,8	15,5	20,7	25,2	15,0	29,8	26,4	13,2	23,0	28,1	12,4	27,4	27,9	14,5
0,125	19,1	11,8	14,3	19,5	11,3	15,4	17,7	10,0	16,2	15,7	9,1	20,0	19,5	10,9
0,063	16,6	8,6	12,7	18,7	8,0	11,8	14,8	7,3	13,6	12,4	6,5	18,6	16,7	7,7
põhi	31,8		24,2	30,8		21,8	27,4		23,9	21,5		26,5	29,2	
Taara	2275,0		2274,9	2275		2274,9	2274,9		2274,9	2274,9		2274,9	2274,9	
Kokku kaalutud	2777,3		2680	2782,4		2770,7	2772,1		2727,3	2782,2		2832,9	2786,2	
Kokku jäägid arvutuslik, g	502,2		405	507,3		495,9	497,0		452,4	507,7		558,4	512,1	

Tondi tn. ringristmikelt võetud KMA segude puurproovide ekstraheerimistulemusena saadud segu bituumenisisaldus on vahemikus 5,1 kuni 5,6 % (keskmiselt 5,36 %) segu massist. Vastavalt Asfaldinormide AL ST 1-02 KMA 16 segulehele peaks see segu sisaldama sideainet B50/70 ... B70/100 vastavalt 6,0 kuni 6,8 % ja polümeermodifitseeritud sideainet PMB 50/100-75 6,0 kuni 7,0 % segu massist. Seega on laboratoorselt määratud KMA segu sideainesisaldus madalam, kui näeb ette AL ST 1-02. Vähene sideaine sisaldus võib olla põhjuseks kattekihi intensiivsemale murenemisele, sest segus ei ole piisavalt sideainet mineraalmaterjali terade kinnihoidmiseks sõiduki rehvide ja katte pinna vahel ringristmikul tekkivate radiaalsete nihkepingete keskkonnas.

Võttes vaatluse alla puurproovide ekstraheerimistulemusena saadud mineraalmaterjali sõelanalüüsi tulemused (tabel 4.2) ja kandes graafikule Asfaldinormidele AL ST 1-02 vastava KMA 16 segu mineraalmaterjali ette nähtud sõelkõvera välja selgub, et meie puurproovide mineraalmaterjali koostis ei vasta KMA 16 segule (joonis 4.5). Kõigi proovide sõelkõverad kulgevad KMA 16 segu sõelkõvera väljast nimetamisväärselt ülevalpool ehk Tondi tn. paigaldatud segu sisaldab märkimisväärselt rohkem peenmaterjali, kui seda peaks sisaldama KMA segu. Seega ei ole meil tegu katkeva sõelkõveraga KMA seguga vaid pigem TAB segule vastava segu mineraalmaterjali koostisega. Kandes graafikule ka Asfaldinormidele AL ST 1-02 vastava TAB 16I tüüpi segu mineraalmaterjali sõelkõvera välja selgubki, et meie seguproovide mineraalmaterjali keskmine sõelkõver langebki vastavasse välja ja meil on Tondi tn. ringristmikel tegemist tegelikult TAB 16I tüüpi seguga, mitte KMA 16 seguga, nagu eeldas Tallinna Kommunaalamet.

Laboratoorselt määratud Tondi tn. ringristmikele paigaldatud segu Marshall'i stabiilsus (12,29 kN) ja voolavus (3,59 mm) rahuldavad ka Asfaldinormides AL ST 1-02 TAB segudele esitatud stabiilsus- (> 5,5 kN) ja voolavusnõuded (1,5 ... 4,0 mm). Laboratoorselt määratud segu bituumenisisalduse keskmine väärtus oli 5,36 % segu massist, mis vastab ka Asfaldinormides AL ST 1-02 antud TAB 16I segu orienteeruvale sideainesisaldusele 5,3 ... 6,5 % segu massist. Seega eeltoodu väide KMA segude kohta, et laboratoorselt määratud segu sideaine sisaldus on väiksem asfaldinormides ette antud orienteeruvast sama segu sideainesisaldusest ei vasta otseselt tõele. Kuid ka TAB segude jaoks on laboratoorselt määratud seguproovide sideainesisaldus viiest proovist kolmel Asfaldinormidega kehtestatud alumise piiri lähedal (ühel proovil isegi alla seda) ja vähene TAB segu sideainesisaldus võib ikkagi olla kattel tekkinud murenemise põhjuseks. Murenemist võimendab veel ka suhteliselt jämeda segu (max tera läbimõõt 16 mm) kasutamine: rehvi ja killustikutera vahel tekkiv radiaalne nihkejõud kisub suurema tera lihtsamini lahti, kuna haardepind rehvi ja kivi vahel on suurem.

Kokkuvõte Tondi tn. ringristmike katetest

Kokkuvõttena Tondi tn. ristmikele paigaldatud segu analüüsitulemustest saab öelda, et:

- Suhteliselt jäme (max tera läbimõõt 16 mm) tihedast asfaltbetoonist TAB 16I segu töötab ringristmikel rehvi ja katte pinna vahel tekkivas radiaalnihkepingete keskkonnas halvasti;
- Mingil määral võiks tekkinud pingekeskkonnas paremini töötada peenemast mineraalmaterjalist (max tera läbimõõt 12 mm) TAB tüüpi segu;
- Vastavalt väliskirjandusele on linnatingimustes ringristmikel kasutatavaks segutüübiks enamasti ikkagi nihkekindlad killustikmastiksfalt- ehk KMA-tüüpi asfaltbetoonsegud;

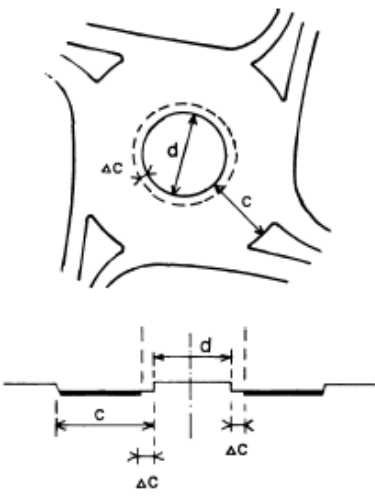
- Kivimaterjali ja sideaine vahelise nakke parandamiseks kasutatakse ringristmike segudes üldjuhul polümeermodifitseeritud bituumeneid, mis aitavad ära hoida võimalikku kivimaterjali eraldumist (murenemist) teekatte pinnal tekkivate radiaalsete nihkepingete toimet.

4.2. RINGRISTMIKE KATTEKONSTRUKTSIOONID

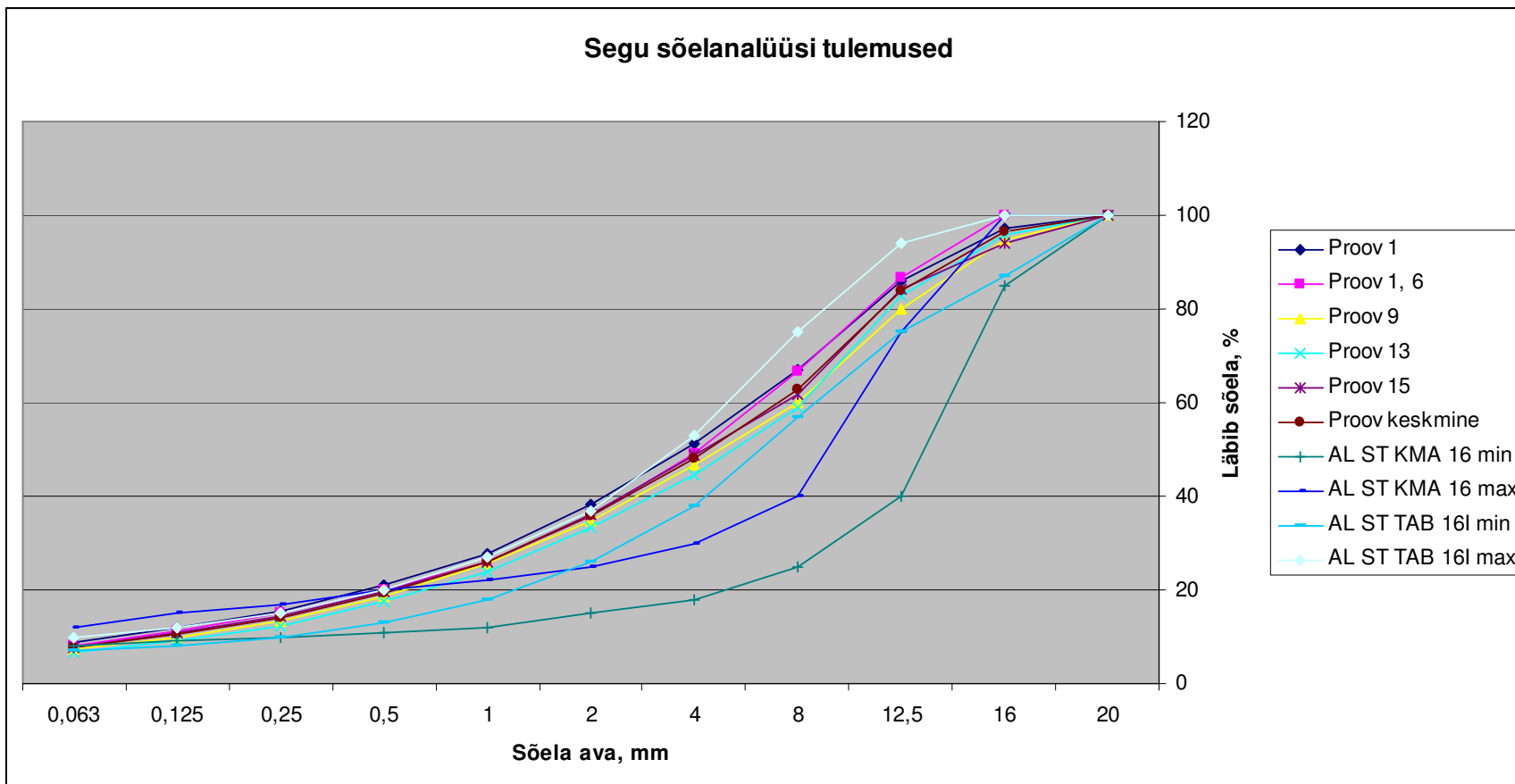
Sõiduauto liikumiskiiruse mõjutamiseks rajatakse ringristmikele sõltuvalt ristmiku keskmise saare diameetrist sõidutee kitsend laiusega 1-2 meetrit (tabel 4.3), millel kasutatakse muu katendiga võrreldes oluliselt teist konstruktsiooni. See laiend on mõeldud pikkadele sõidukitele suurema pöörderaadiuse võimaldamiseks (joonis 4.6). Laiend võidakse eraldada muust sõiduteest madala äärekiviga. Seni rajatud katenditest on tsentrifugaaljõu mõjul sageli välja kistud kitsendi katendis kasutatud kivid.

Tabel 4.3. Ringristmiku sõidutee laiused [Tietoa tiensuunnitteluun]

Tüüp	Saare diameet-ter, m	Ühe sõidurajaga		Kahe sõidurajaga	
				Sõidu- raja eraldus- joonega	Sõidu- raja eraldus- joonega
		c (m)	Kitsen- dus Δc (m)	c (m)	c (m)
Mini	<4	10	Üle- sõide- tav saar		
Väike	4-8	10	Üle- sõide- tav saar		
	9-12	10	$\leq 2,5$		
Nor- maalne	13-15	9	≤ 2		
	16-20	8,5	≤ 2	12	
	21-25	8	≤ 2	11	
	26-30	7,5	$\leq 1,5$	10,5	12
	31-40	7	$\leq 1,5$	10	11,5
Suur	41-50	6,5	≤ 1		10,5
	51-60	6	0		10



c = sõidutee laius
 Δc = sõidutee kitsendus
 d = saare diameeter



Joonis 4.5. Tondi tn. ringristmikel puurproovidest saadud segu sõelanalüüsi tulemused ja võrdlus Asfaldinormide AL ST 1-02 KMA 16 ja TAB 16I tüüpi segude sõelkõveraväljadega



Joonis 4.6. Veok treileriga liigub tagumiste ratastega üle sõidutee kitsendi, tagades sellega veokile suurema pöörderaadiuse

Nagu juba eespool märgitud, eraldatakse suurtele veokitele/bussidele pöörderaadiuse tagamiseks mõeldud sõidutee kitsend sõiduautodele mõeldud sõidualast tavaliselt äärekiviga, kitsend on üldisest sõidualast kõrgem ja ka üldjuhul kattega, millel tavalise sõiduautoga sõitmine on ebamugav.

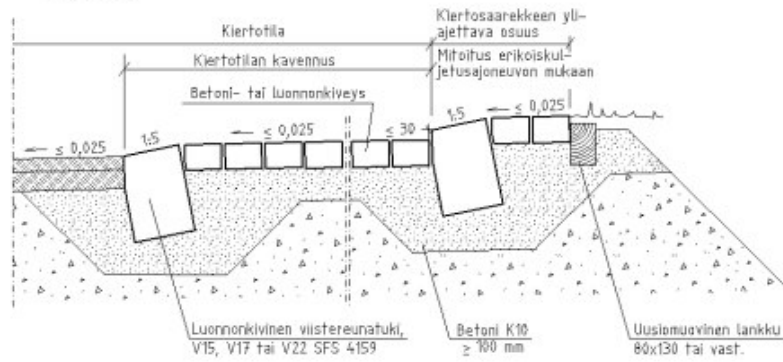
Peamised probleemid esinevad meil just suurtele veokitele/bussidele pöörderaadiuse suurendamiseks mõeldud sõidutee kitsendi kattega, kuna viimase kivikate ei püsi (kivid kistakse sõidukite poolt tekitatud tsentrifugaaljõu mõjul välja). Seetõttu on järgnevatel joonistel (joonised 4.7 kuni 4.12) esitatud rida erinevaid ringristmike sõidutee kitsendite ja tervete ringristmike katendikonstruktsioone.

Nagu näha [jooniselt 4.7](#) kasutatakse Soomes ringristmiku sõidutee kitsedni alusena (ehk alusena, kuhu kinnituvad kattekivid) eranditult betooni margiga K10 ([tabel 4.4](#)).

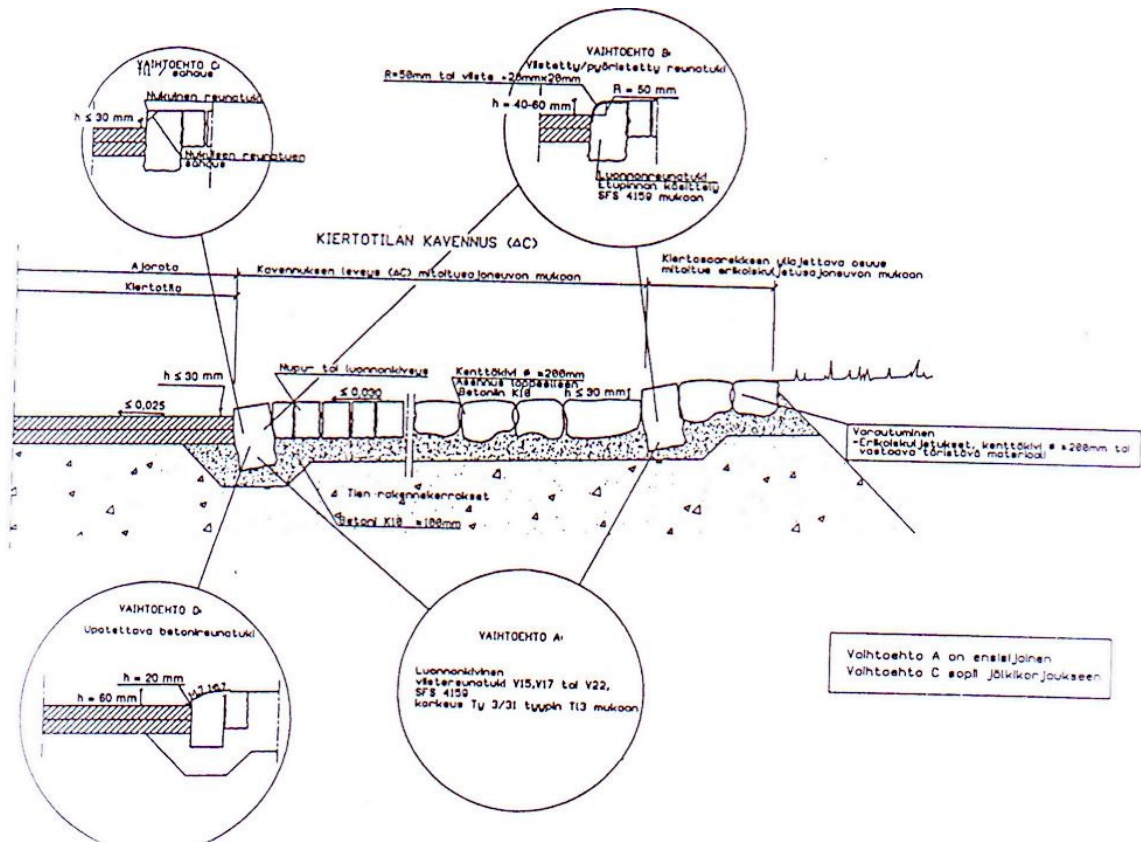
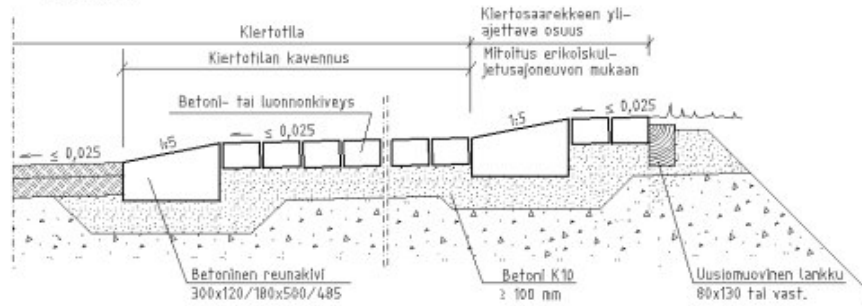
Tabel 4.4. Betooni koostis mahuosadena [Suomen rakentamismääräyskokoelma]

Tugevusklass, MN/m ²	Minimaalne tsemendikogus, kg/m ³	tsementi	liiva	sõelmeid
K20	300	1	2,5	2,5
K15	250	1	2	3
K10	200	1	4	4

Vaihtoehto 1

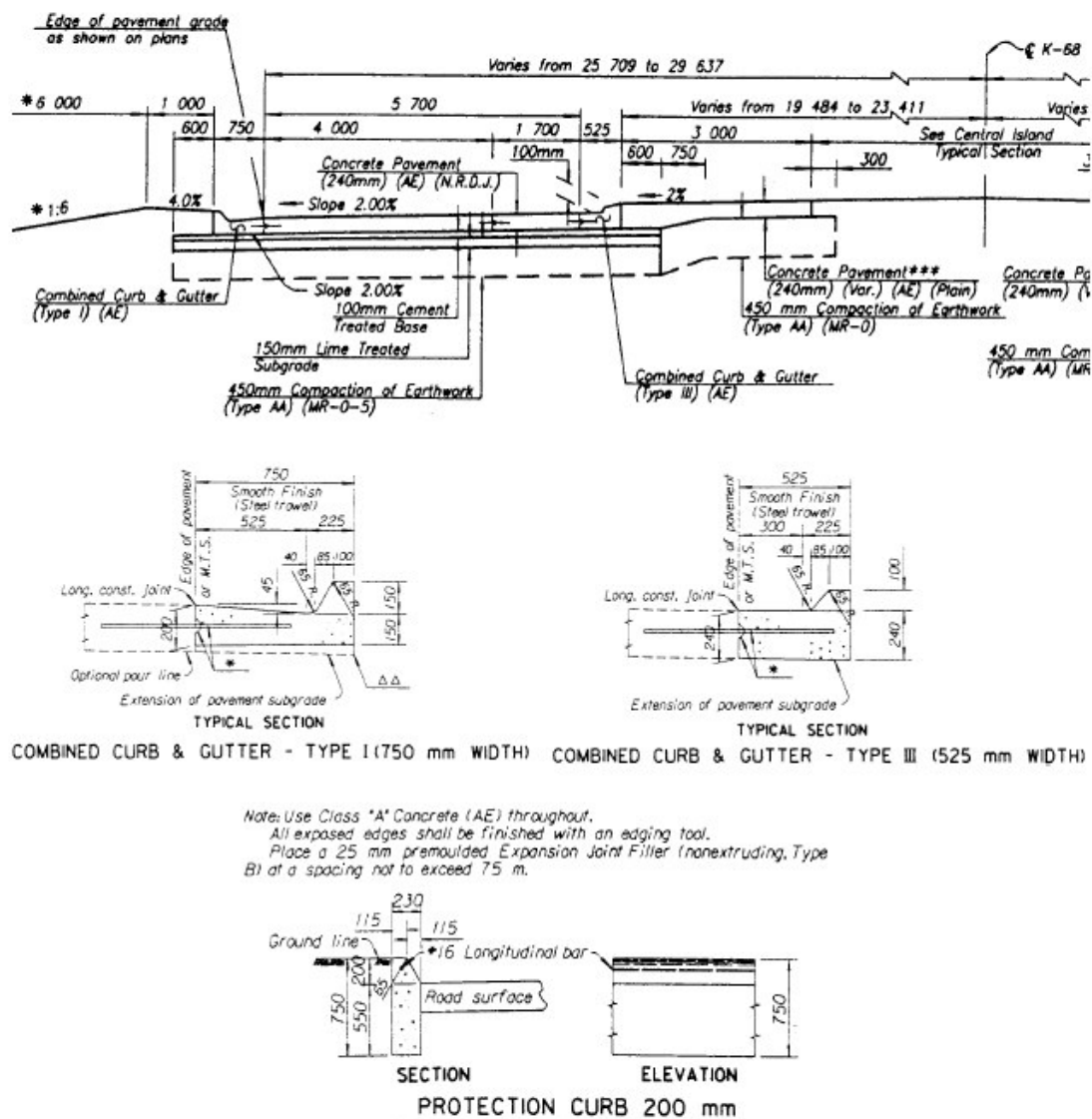


Vaihtoehto 2



Joonis 4.7. Ringristmike sõidutee kitsenduste konstruktsioonid Soomes [Tietoa tiensuunnitteluun]

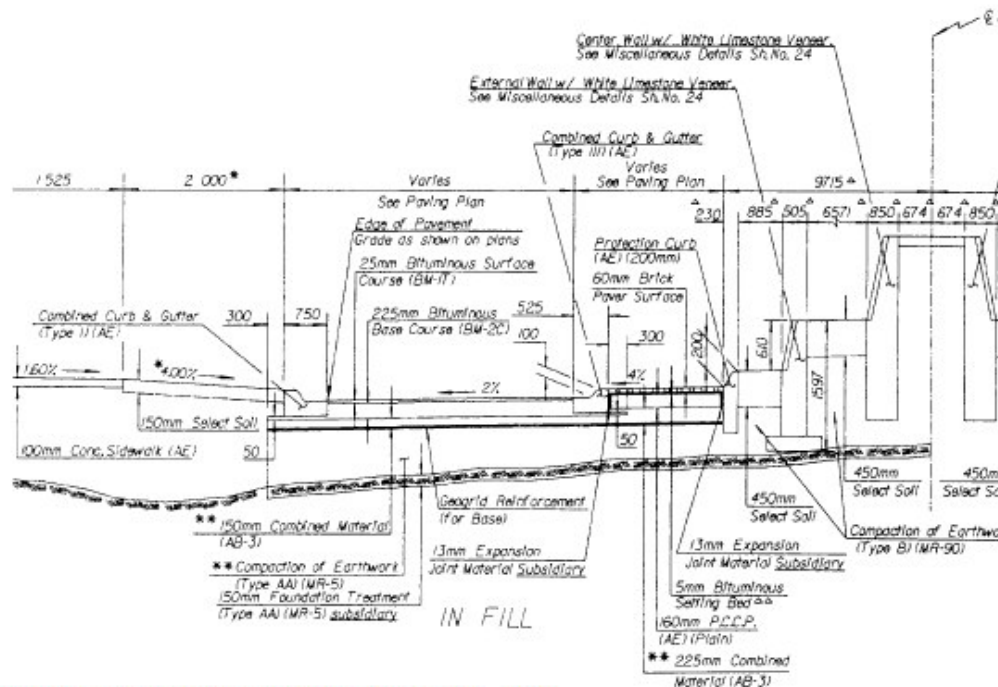
Meil aga on üldjuhul kitsendi katteivid paigaldatud liivalusele, mis aga ei pea vastu suurte sõidukite (veokid/bussid, mis vajavad pöörderaadiuse suurendamiseks sõitu kitsendile) poolt tekitatud dünaamilisele ja staatilisele liikluskoozumusele, mille tulemuseks ongi katte kivide kattest „välja kiskumine“ ja kitsendiala katte deformeerumine.



Design by: Professional Engineering Consultants, P.A., 2001.

Joonis 4.8. Tsementbetoonkattega sõiduosa ja kitsendiga ringristmiku katendikonstruktsioon USA-s Kansases [Kansas Roundabout Guide]

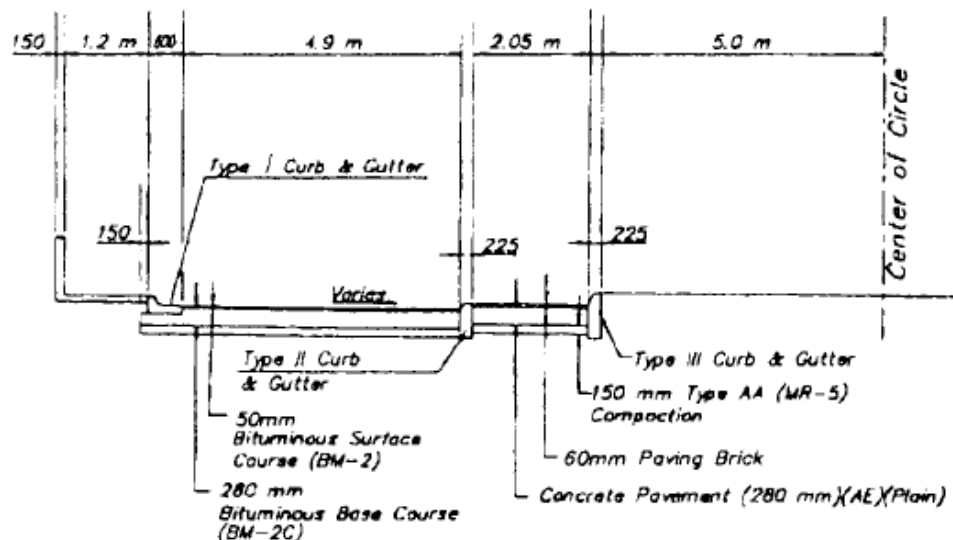
24 cm paksuse betoonkatte all on veel 10 cm tsementstabiliseeritud ja 15 cm lubjaga stabiliseeritud kiht.



Design by: Professional Engineering Consultants, P.A., 2000.

Joonis 4.9. Asfaltbetoonkattega sõiduosa ja kivitkattega kitsendiga ringristmiku katendikonstruktsioon USA-s Kansases [Kansas Roundabout Guide]

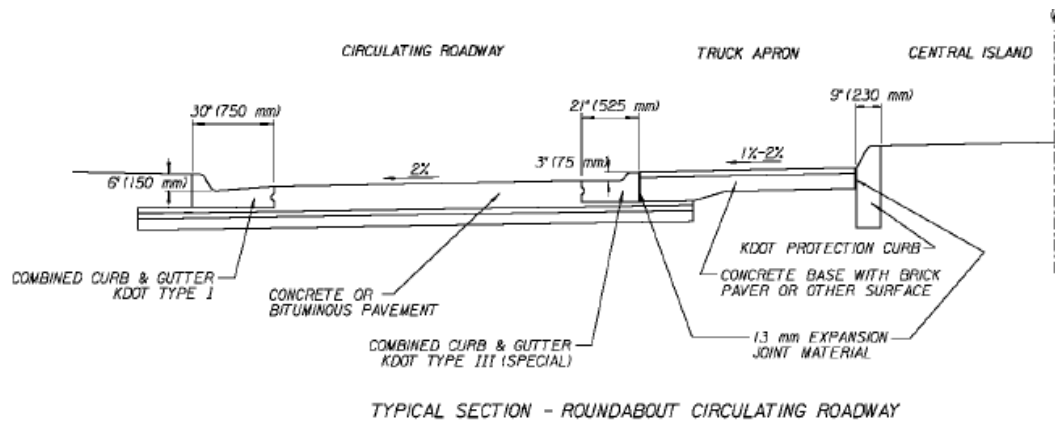
Sõiduosa katend: 25 + 225 mm asfaltbetoon, 150 mm kompleksmaterjal (-stabiliseerimine?), geovõrk. Kitsendi katend: 60 mm kivi, 5 mm bituumenalus, 160 mm tsementbetoonalus, 225 mm kompleksmaterjal (-stabiliseerimine?).



Design by: E.B.H. & Associates, 1998.

Joonis 4.10. Asfaltbetoonkattega sõiduosa ja kivitkattega kitsendiga ringristmiku katendikonstruktsioon USA-s Kansases [Kansas Roundabout Guide]

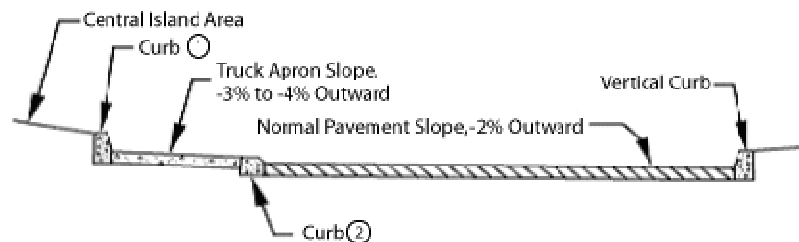
Sõiduosa katend: 50 mm asfaltbetoonkate, 280 mm asfaltbetoonalus. Kitsendi katend: 60 mm kivi, 280 mm tsementbetoonalus.



Joonis 4.11. Tsement- või asfaltbetoonkattega sõiduosa ja kivitkattega betoonalusega kitsendiga ringristmiku katendikonstruktsioon USA-s Kansases [Kansas Roundabout Guide]



TYPICAL CROSS SECTION WITHOUT TRUCK APRON



TYPICAL CROSS SECTION WITH TRUCK APRON

NOTES	
①	Vertical curb typical, except sloped curb for rural roundabouts with high speed approaches.
②	Low vertical curb (75-100 mm with 1:5.1 sloped face or steeper) or high sloped curb (100-150 mm with 1:2 sloped face or flatter).

Joonis 4.12. Tüüpiline ringristmiku ristprofiil USA-s Kalifornias [California Department of Transportation]

Sõidutee kitsend peaks olema eraldatud madala äärekiviga, mille laius on 75-100 mm ning sõiduosa poolse serva kalle 1,5:1 või järsem, kõrgema äärekiviga laiusega 100-150 mm ja serva kaldega 1:2 või lamedam. [California Department of Transportation]



Joonis 4.13. Betoonkivist sõidutee kitsend (Joensuu, Soome) [Tietoa tiensuunnitteluun]



Joonis 4.14. Sõidutee kitsendid Taanis [Tietoa tiensuunnitteluun]

Tavaliselt kasutatakse USA-s ringristmike kattena nii tsement- kui ka asfaltbetooni. Euroopas on enimkasutatud ringristmike kattetüübiks asfaltbetoon. Üldjuhul on betoonkattel pikem tööiga ja ta peab paremini vastu raskele liikluskormusele, kuid ka asfaltbetoonkatete puhul ei ole täheldatud, et roobaste teke ringristmikel oleks suureks probleemiks. Juhul, kui ristmiku ehitus toimub liikluse all, tuleb valida katteks asfaltbetoon. Kitsendi kattelahenduseks valitakse alati tsementbetoonkate (tavaliselt 280 mm paks) või kivikate tsementbetoonalusel. Kasutatakse tehases valmistatud tsementkive ja ka tardkivi (100 mm), mis on „istutatud“ betooni. Viimastest valmistatud katte ületamine ei valmista probleeme veokitele/bussidele, kuid on ebamugav sõiduautodele või jalakäijatele. Kitsendi kate tuleks valida nii, et see ei paistaks välja nagu kõnnitee. See aitab ära hoida jalakäijate sattumise sõidutee kitsendile ja sisemisele ringile. Kui ringristmikku ehitatakse liikluse all, tuleks kasutada kiirelttarduvat betooni, et lühendada ristmiku sulgemisaega. [Kansas Roundabout Guide]

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

- Väikese raadiusega ringristmikel suurenevad pinged katendikonstruktsioonis aeglaselt liikuva kormuse tõttu, mis nõuab suuremat tähelepanu katendi projekteerimisel ja ehitamisel.
- Asfaltbetoon peab olema tihe, keskmise teramõõduga – 14 mm kivimaterjal deformatsioonikindluse ja murenemise vältimiseks.
- Asfaltbetoon peaks olema modifitseeriva lisandiga (näiteks Gilsoniit).
- Õhemat 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 asfaltbetoonsegeid, mida ühendusteedel ja –tänavatel.

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 liikluskormusele, mille tulemuseks ongi kattekivide kattest „välja kiskumine“ ja kitsendiala katte deformeerumine. Mujal maailmas kasutatakse ringristmiku sõidutee kitsedni 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 ([joonised 4.13 ja 4.14](#)), mis parandaks sõidetavust ning oleks ka esteetilisem.

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

5. KIVISILLUTISEGA KATENDIKONSTRUKTSIOONID

Tallinna vanalinna tänavakatendid on valdavalt parkett- või munakivisillutiskattega, mille kandevõime faktiline määramine teedeinstituudi ja AS Teede Tehnokeskuse olemasolevate dünaamiliste seadmetega (FWD) ei ole võimalik. Seetõttu oleks hetkel ainukeseks võimaluseks teostada vanalinna tänavakatete seisukorra visuaalne hinnang koos põik- ja pikiprofiili hindamisega 3 m latiga, mille alusel saaks subjektiivselt hinnata ka nende kandevõimet. Kuid selline lähenemine ei annaks siiski objektiivset hinnangut vanalinna tänavate kandevõimele. Seetõttu osutub otstarbekaks teostada olemasoleva kivisillutisi käsitleva info (kirjandus, internet) analüüs ning koostada selle põhjal soovituslikud kivisillutisega katendikonstruktsioonid, mis vastaksid teatud liikluskoormusele.

Järgnevad mõtted ja järeldused on toodud Stuart Eydmann'i ja Hans Halstvedt'i artiklist „Current issues in the revival of traditional stone paving“, kus näd käsitlevad kivisillutise projekteerimis- ja ehitusprobleeme Inglismaal [Eydmann and Halstvedt]. Mingil määral on see problemaatika aktuaalne ka meil.

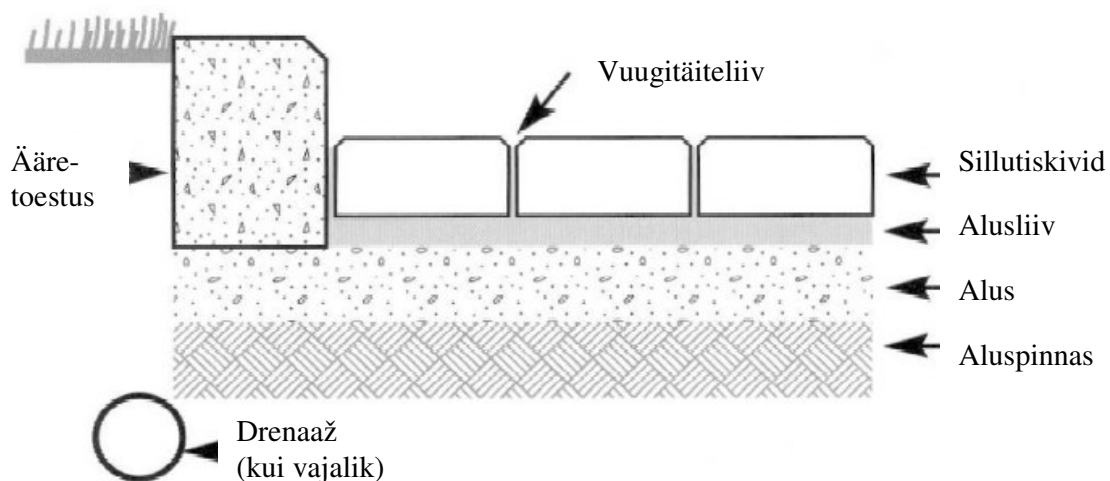
- Eksisteerib põhimõtteline erinevus Briti kaasaegse kivisillutise ehituspõhimõtte ja seni siiski veel Euroopas laialdaselt kasutatava traditsioonilise sillutise ehituspõhimõtte vahel. Esimesel juhul paigutatakse sillutisekivid tsementmördist alusel, teisel juhul on kasutatav nn „kuiv“ meetod, kus kivid „istutatakse“ liivakihti.
- Traditsioonilise meetodi puhul asetatakse kivid võimalikult üksteise lähedale liivale ja kividevahelised vuugid täidetakse liivaga. Aeg-ajalt on vuuke vaja uuesti täita, kuna liiv võib vuukide vahelt sillutise hoolduse (pühkimise, tolmu imemise jmt) ajal sealt eralduda. Kuna kividele mõjub liikluse poolt tekitatud koormus, siis aluse elastsuse tõttu kivid nihkuvad üksteisele lähemale ja nende omavaheline seotus kasvab. Deformeerunud katteosa eemaldamine ja asendamine on lihtne ning lõppkokkuvõttes tulemus ei ole eriti märgatav. Samal ajal osa sadevett imbub läbi vuukide katendikonstruktsiooni selle asemel, et voolata kanalisatsiooni või drenaaži.
- Kivide paigutamine tsementmörtalusele tekitab jäiga veekindla katte, mis võib suure liikluskoormuse all praguneda. Remont ja uuesti sillutamine on ilma suurema aluse lõhkumiseta võimatu ning visuaalne efekt peale remonti on sageli ebameeldiv: mördi plekid, erinev mördi värvitoon jmt. Mördi kasutamine eeldab, et vuugid on ca 50 mm laiad selleks, et neid oleks võimalik poolkuiva mördiga täita – see on üks põhilisi väliseid erinevusi traditsioonilise meetodiga, kus kivid asetatakse tihedalt üksteise kõrvale. Mõningatel juhtudel kasutatakse vedelat mörti, mis oleks võimeline tungima kitsastesse kividevahelistesse vuukidesse, kuid selle tulemusena mördi tugevusomadused langevad ja ka kivid saavad mördiga määritud.
- Ei ole olemas üldiseid juhiseid kivisillutisega katendi projekteerimiseks ja ehitamiseks (välja arvatud loodulike sillutiskivide kaevandamiseks ja tehiskivide tootmiseks). Enamus sillutuskivide tootjaid koostavad oma juhised, kuid need on väga erineva kvaliteediga ja põhjalikkusega ning erilist kasu neist ei ole. Puudub arusaam, kas mördile paigutatud kivitükke tuleks lugeda jäikadeks või elastseteks kateteks. Sellest lähtudes ei ole selge, kas kasutada jäikade või elastsete katendite dimensioneerimismetoodikat. Kuna kivid on allutatud liikluskoormusele, siis tekivad

jõud ja pinged kivi ja kivistunud mördi ühenduspinda. Nende tekkivate pingete kohta on aga väga vähe informatsiooni. Erinevate tsementmörtide tardumisajad on erinevad ja sellega mõjutavad aega, mis kulub liikluse taasavamiseni ning sellega ka omakorda projekti maksumust.

- Enne kui me propageerime mingit detailset tehnoloogiat, peame me aru saama, kuidas on meie tänavad ehitatud minevikus ning teostama praktilisi uuringuid, kuidas vana tehnoloogiat kohandada linnade kaasaegsetele nõudmistele/vajadustele.
- Minevikus paigutati tänavate kivilillutis massiivsete kõnnitee äärekivide vahele, mis tagas sillutisele toetuse. Kaasajal püütakse sillutis jalakäijate aladel viia ühte tasapinda, kus puuduvad massiivsed äärekivid ning seetõttu ka sillutisele vajalik külgtõetus. Vaatamata sellele, et kogemus näitab väikeste tehissillutiselementide küllaltki suurt koormuskindlust, vajame me ikkagi läbimõeldud uuringut sobilike looduskivide valikuks, dimensioneerimiseks ja paigaldamiseks erinevates liiklustingimustes.
- Looduslike materjalide valik peab arvestama ala hooldustehnoloogiaga. Sillutisalusused kommunikatsioonid vajavad tulevikus ligipääsu nende hoolduseks ja remondiks. Kohalikel teedehooldusfirmadel on oma tehnoloogiad, millega peab arvestama ka sillutiskatete ehitamisel.
- Kokkuvõtteks on vajalik õnnestunud ja ebaõnnestunud projektide detailne analüüs koos detailse toote- ja ehitusinfo kogumisega, et koostada üldkasutatavad juhised sillutiskatete projekteerimiseks ja ehitamiseks. Alles seejärel on võimalik liikuda edasi looduskivist katete (taas-)kasutamisel.

Nagu juba öeldud eespool [Eydmann and Halstvedt] ei eksisteeri ei Eestis ega ka Euroopas ühtseid norme kivilillutisega katete projekteerimiseks. On olemas erinevate sillutiselementide tootjate poolt kehtestatud nõudeid katendikonstruktsioonile, mida on siis ka allpool püütud refereerida. Samas tuleb märkida, et liikluskoormusega (mis on meie teadustöö põhieesmärk) on oma nõuded sillutikattega katendikonstruktsioonile sidunud väga vähesed tootjad, rääkimata rahvulikest juhistest, mida käesoleva töö koostajal ei õnnestunud leida mitte ühtegi.

Kivilillutis on üksikutest loodus- või kunstkivielementidest moodustuv kate, mis töötab koos allasetsevate kandvate kihtidega liikluskoormust kandva katendikonstruktsioonina (joonis 5.1).



Joonis 5.1. Kivilillutisega katendi tüüpkonstruktsioon [Westcon Precast]

Katte moodustavad sillutiskivid koos alusliiva kihiga (tabel 5.1), millele kivid „istutatakse“. Alusliiva kihi paksus on peale tihendamist 20-40 mm. Peale alusliivakihi paigaldamist, planeerimist ja tihendamist tuleb sellel kihil sillutise paigaldamise ajal liikumine keelata. Kivide vahele jäävad nn vuugid (tavaliselt max 3 mm) tulevad täielikult täita vuugitäiteliivaga (tabel 5.2).

Table 5.1. Alusliiva sõelkõver [Westcon Precast]

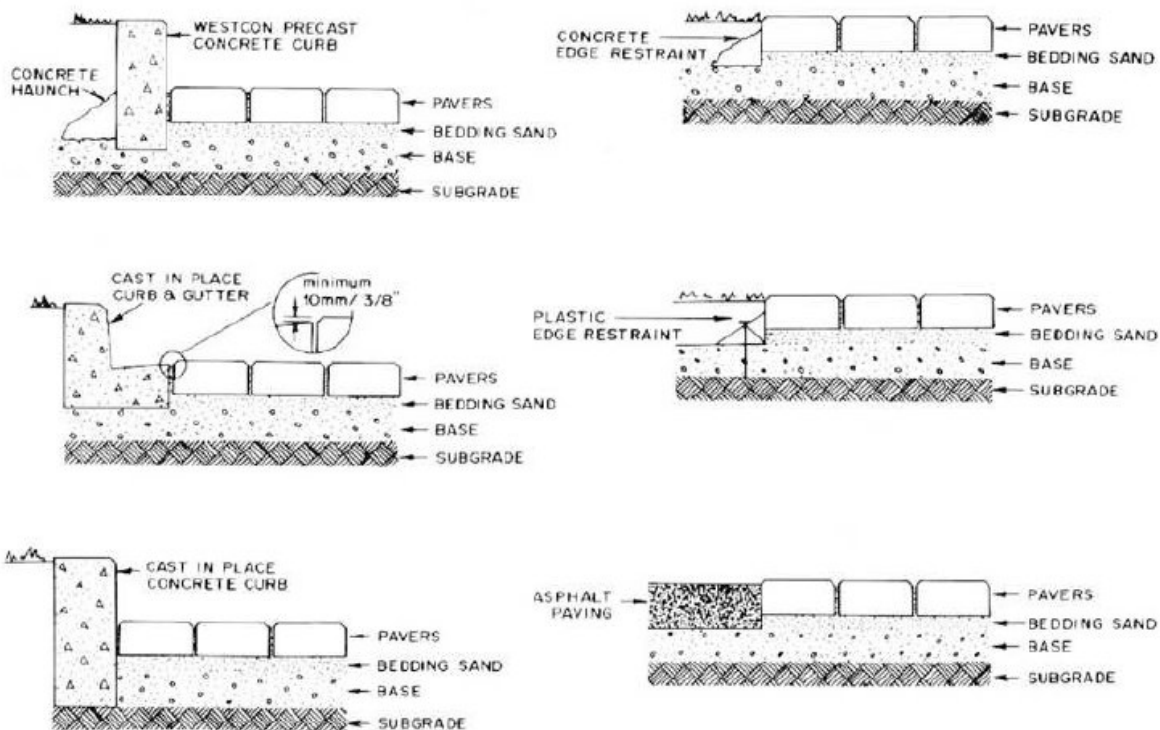
Sõela ava	Läbib sõela, %
10 mm	100
5 mm	95-100
2,5 mm	80-100
1,25 mm	50-90
630 µm	25-65
315 µm	10-35
160 µm	2-10

Table 5.2. Vuugitäiteliiva sõelkõver [Westcon Precast]

Sõela ava	Läbib sõela, %
5 mm	100
2,5 mm	95-100
1,25 mm	60-100
600 µm	35-80
300 µm	15-50
150 µm	2-15

Katte püsivuse tagab ääretoetus (joonis 5.2). Liikluskoormusega kivilillutisalad peavad omama piisavat stabiilsust, et hoida ära sillutiskivide nihkumine koormuse all. Soovitav on, et katte aluse kiht ulatuks ka äärekivi alla.

Alus ehitatakse kõrgekvaliteedilisest mineraalmaterjalist (tabel 5.3) ühe- või mitmekihilisena ning võib vajadusel olla stabiliseeritud tsemendi või bituumeniga. Aluse ülemine kiht peab olema piisavalt tihe, et takistada alusliiva tungimist alusesse, sest peenmaterjali lisandumine aluse kihis võib põhjustada aluse kandevõime kadu. Aluse ja alusliiva materjalide segunemise vältimiseks võib kasutada ka geotekstiilist eralduskihti. Kui on oht, et vesi tungib läbi katte, oleks soovitatav aluse pealispind kruntida bituumeniga, et takistada vee tungimist katendikonstruktsiooni, kuna sidumata peenmaterjali sisaldavate kihtide kandevõime sõltub suuresti nende niiskusesisaldusest.



Joonis 5.2. Kivisillutisega katendi ääretoestuse konstruktsioonid [Westcon Precast]

Table 5.3. Aluse sõelkõver [Westcon Precast]

Sõela ava	Läbib sõela, %
15 mm	100
20 mm	85-95
14 mm	70-85
5 mm	40-60
2,5 mm	25-40
450 µm	10-25
80 µm	5-10

Max plastsusindeks 6, max lineaarne mahukahanemine 3 %

Soovitavalt lisatava tsemendi kogus 150 mm paksusele aluse kihile on 10 kg/m². Peale tsemendiga stabiliseerimist peavad stabiliseeritud kihi omadused olema järgmised [Westcon Precast]:

- Peale 7 päevast kivinemist aluse ülemise kihi survetugevus 2,0-5,0 MPa, aluse alumise kihi survetugevus 1,5-2,5 MPa.
- Plastsusindeks max 6.
- Kulumiskindlus ASTM D559-57 ja D560-57 – kaalukadu <14 % ja mahukahanemine <2 %.

Table 5.4. Minimaalne soovitatav sidumata sõrmermaterjalist aluse kihipaksus tihendatud olekus [Westcon Precast]

Tänavate tüüp	Liikl.sagedus, autot/ööp	Veokite %	Kasvu-%	Sidumata sõrmermaterjalist aluse kihipaksus, mm							
				Aluspinnase CBR, E* (MPa)							
				4	5	6	8	10	15	20	25
				43	49	55	67	77	100	120	138
Elutänavad	200	5	0	145	135	125	110	100	100	100	100
	800	5	0	165	140	130	110	100	100	100	100
Koguja-teed	1000	10	1,5	215	200	185	155	130	100	100	100
	3000	10	1,5	285	270	255	225	205	160	100	100
	5000	10	1,5	320	305	290	260	240	195	155	100
Magist-raalid	3000	20	2	390	375	360	330	305	260	225	165
	6000	20	2	445	430	415	380	355	310	275	225
	1200	20	2	505	490	470	435	405	365	330	280

Projekteeritud katendi tööiga ei ületa 20 aastat. Minimaalne aluse paksus 100 mm.

* E (MPa) on arvutatud CBR väärtuse alusel kasutatud seost (5.1)

Table 5.5. Minimaalne soovitatav tsementstabiliseeritud materjalist aluse kihipaksus tihendatud olekus [Westcon Precast]

Tänavate tüüp	Liikl.sagedus, autot/ööp	Veokite %	Kasvu-%	Tsementstabiliseeritud aluse kihipaksus, mm							
				Aluspinnase CBR, E* (MPa)							
				4	5	6	8	10	15	20	25
				43	49	55	67	77	100	120	138
Elutänavad	200	5	0	185	175	175	165	160	150	150	150
	800	5	0	185	175	175	165	160	150	150	150
Koguja-teed	1000	10	1,5	185	175	175	165	160	150	150	150
	3000	10	1,5	185	175	175	165	160	150	150	150
	5000	10	1,5	180	185	175	165	160	150	150	150
Magist-raalid	3000	20	2	195	185	180	170	165	155	150	150
	6000	20	2	195	190	185	175	170	160	150	150
	1200	20	2	200	190	185	175	170	160	150	150

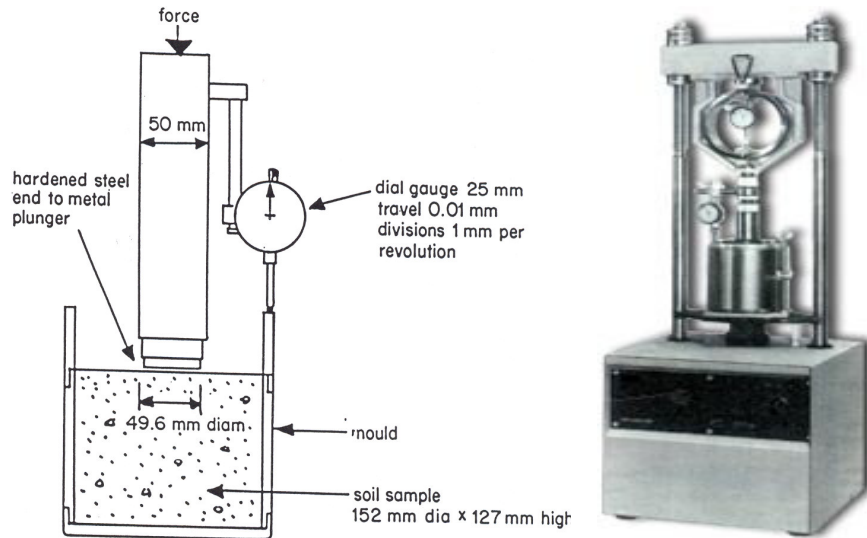
Projekteeritud katendi tööiga ei ületa 20 aastat. Minimaalne aluse paksus 150 mm.

* E (MPa) on arvutatud CBR väärtuse alusel kasutatud seost (5.1)

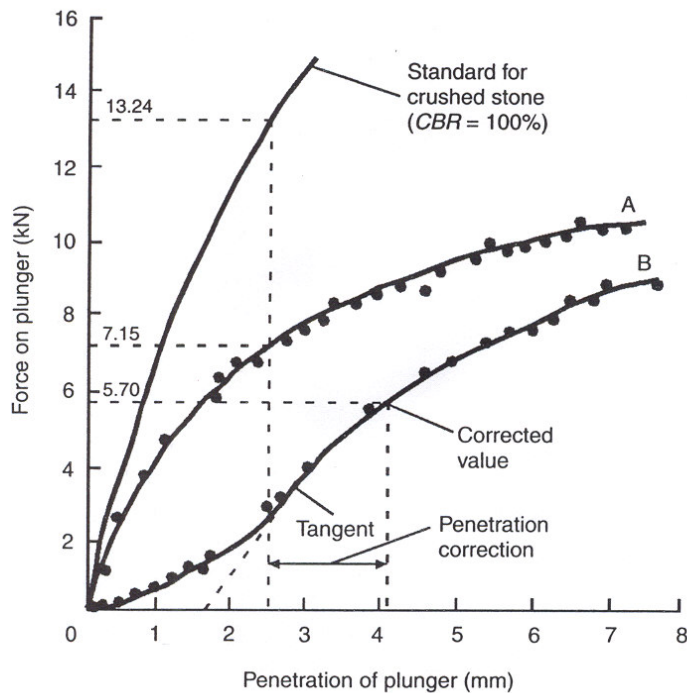
Aluse kihipaksus (tabelid 5.4 ja 5.5) sõltub aluspinnase CBR-ist ehk California Bearing Ratio'st. Aluspinnas on üldjuhul kohalik pinnas, millele katendikonstruktsioon ehitatakse. CBR katset teostatakse tavaliselt laboris (joonis 5.3).

CBR meetodi puhul määratakse seos survejõu ja penetratsiooni vahel kindla ristlõikega kolvi surumisel kindla kiirusega tihendatud pinnaseproovi. Teatud penetratsiooni sügavuse juures mõõdetud jõudu võrreldakse standardse killustiku puhul sama penetratsioonisügavuse juures mõõdetud jõuga. Nende jõudude suhet protsentides nimetatakse katsetava pinnase CBR-iks ja mis iseloomustab kaudselt selle pinnase kandevõimet ja tihedust.

CBR katset kasutatakse pinnaste, mille max terasuurus ei ületa 20 mm, katsetamiseks. Pinnas paigutatakse kaelusega vormi (diameeter 152 mm, kõrgus koos kaelusega 178 mm), tihendatakse ja eemaldatakse vormi kaelus (saades proovikeha kõrgusega 127 mm). CBR tuleb määrata pinnasele selle maksimaalse niiskusesisalduse juures, mis võib tõenäoliselt esineda antud kohal realses teekonstruktsioonis.



Joonis 5.3. CBR-i määramise laboratoorne katseseadmestik



Joonis 5.4. CBR-i määramise põhimõtte laboratoorsel katsetamisel saadud tulemuste põhjal

- A – ideaalne penetratsiooni/jõu vaheline kõver;
- B – kõver, mis on tekkinud kolvi ebaõnnestunud asetamisest pinnaseproovi pinnale.
- CBR- i arvutamiseks tuleb tõmmata tangens kõvera maksimaalse kaldenurga juurest ja tangensi lõikepunkt horisontaalteljega lugeda vertikaalteljega lõikumise 0-punktiks.
- CBR arvutatakse penetratsioonisügavustel 2,5 ja 5 mm – katsetatava pinnase CBR-i väärtuseks valitakse arvutatud väärtustest suurem.

Pärast pinnase tihendamist vormis asetatakse pinnasele rõngakujuline raskus, mis on ligilähedaselt võrdne katsetatavale pinnasele ehitatava teekonstruktsiooni kaaluga. Seejärel asetatakse vorm koos pinnase ja koormusega katseseadmesse, kus teda koormatakse kolviga (diameeter 49,6 mm) penetratsioonikiirusega 1 mm/min. Survejõu lugemid teostatakse iga 0,25 mm penetratsiooni tagant kuni penetratsioonini 7,5 mm.

CBR katset võib teostada ka välitingimustes, kui on olemas piisavalt stabiilne alus. Välitingimustes CBR katsetulemused võivad erineda laboritulemustest, mistõttu välitingimustes teostatud CBR katsed ei ole tavaliselt aluseks kvaliteedikontrolli tulemustele.

Table 5.6. Mõningate pinnaste plastsusarvud ja CBR väärtused

Pinnase tüüp	Plastsusarv	CBR
Raske savi	> 50	1,5 - 2,5
	40	2 - 3,5
Mölline savi	30	2,5 - 6
Liivane savi	20	2,5 - 8
	10	2,5 - >8
Savi	-	1 - 2
Liiv (ühtlase terastikuga)	-	20
Liiv	-	40
Liivane kruus	-	60

Meil katendiarvutustes kasutatava materjali kandevõimet iseloomustava elastsusmooduli ja CBR-i vahel eksisteerib seos. Koormusplaadiga mõõdetud vertikaalse deformatsiooni väärtuse alusel arvatud pinnase elastsusmooduli E ja CBR (väärtus vahemikus 2-12) vaheline seos on avaldatav kujul:

$$E=17,6(CBR)^{0,64} \quad (5.1)$$

Vee ärajuhtimise tagamiseks peaks katendikonstruktsioon sisaldama ka drenkihti, kuid kui vete ärajuhtimine on tagatud muul viisil (drenaaž, kanalisatsioon vmt.), siis võib drenkiht katendis ka puududa.

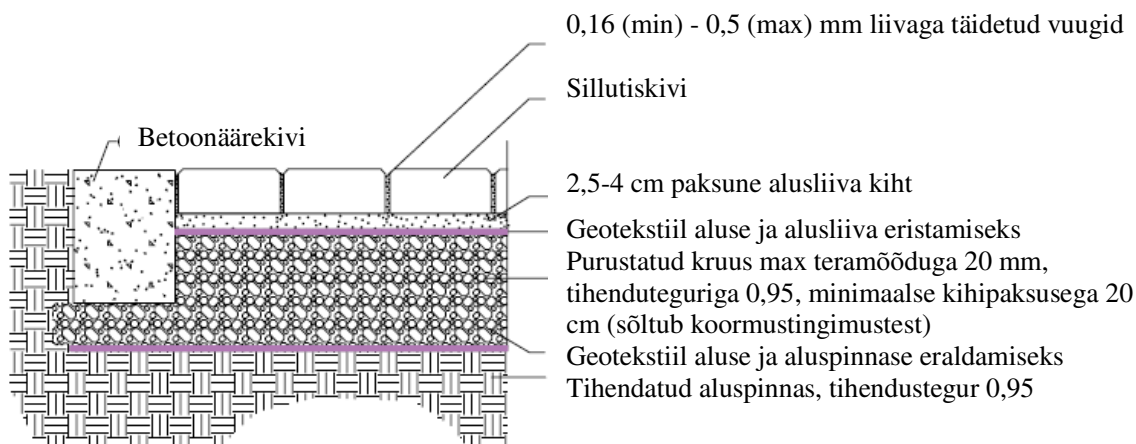
Lisaks tabelites 5.4 ja 5.5 pakutud aluse paksustele on veel välja pakutud aluse paksuseid erinevatesse tingimustesse (tabel 5.7).

Table 5.7. Soovitavad aluse kihipaksused [Granitepaving]

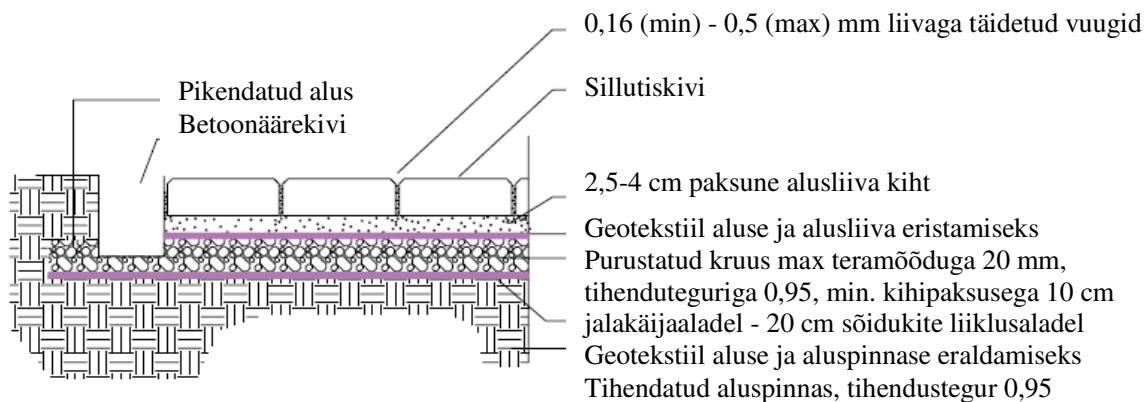
Kasutuskoht	Aluse paksus, mm	
	Hästi drenivad kuivad alad	Madalad niisked alad
KERGE KOORMUSEGA: • Siseõued • Kõnni- ja jalgrattateed	50-100	100-200
KESKMISE KOORMUSEGA: • Sissesõiduteed • Ostukeskused • Elutänavad • Parklad • Teenindusteed	100-150	200
RASKE KOORMUSEGA: • Bussipeatused • Linnatänavad • Ristmikud • Bensinijaamad • Laadimisalad • Tööstuslikud põrandad • Tallid	200	250

Raske liikluskoormusega alade sillutiskatteid käsitleb oma juhistes USA sillutiselemente tootev firma Pine Hall Brick [Pine Hall Brick]. Viimane käsitleb raske liikluskoormusega aladena koormussagedust 250 standardtelege/ööpäevas (USA-s on standardtelje koormuseks 80 kN, meil eestis 100 kN). Prügiveoki aeg-ajalt läbisõitu elutänavatel ei loeta üldiselt raskeks liikluskoormuseks.

- Raske liikluskoormusega ala kivistillutiskatte alusena kasutatakse tsementbetooni või asfaltbetooni, kivid liimitakse alusele bituumeniga või tsementmördiga. (Teatud kivitüübi kasutamisel ka liivalus).
- Vuugi optimaalseks laiuseks loetakse 3 mm, mis lubab luua parima lukustuse naaberkivide vahel.
- Sillutiskividest „heeringasaba“ muster on parima koormuskindlusega võrreldes teist tüüpi kivimustritega.
- Kõige suuremaks probleemiks ja katte defektiks on vuugiliiva kaotus, mille põhjusteks võivad olla halb veeärajuhtivus, rehvide poolt tekitatud õhuhõrendus, mittesobiva terakoostisega alus- või vuugiliiv, tänavapuhastus vmt. Vuugiliiva kaotuse vastu kasutatakse spetsiaalset liiva stabiliseerivat lisandit või liiva-tsemeni segu.
- Kui vuugid on korralikult täidetud ja tihendatud, jookseb 90 % sadeveest ära mööda sillutise pinda. Selleks soovitatakse sillutiskattele 2 %-list kallet. Tsementaluse kasutamisel soovitatakse läbivoolutorusid, et ära juhtida läbi sillutiskatte imbunud vesi. Läbivoolutoru peab olema kaetud geosünteediga, et liiv teda ei ummistaks.



Joonis 5.5. Raske liikluskoormusega ala elastse alusega katendikonstruktsioon [Pine Hall Brick]



Joonis 5.6. Kerge ja keskmise liikluskoormusega ala elastse alusega katendikonstruktsioon [Pine Hall Brick]

Mõningad üldised põhimõtted klomp- ja munakivisillutiste ehitamisel:

- Klomp- ja munakivisillutised on üks vanemaid kattetüüpe, kunagi küllalt odav ja käsitsi ehitatav.
- Kaasajal liiga aeglaselt ehitatav ja palju käsitööd nõudev, kallis.
- Sillutised ehitatakse alati künasse drenivale alusele.
- Põikprofiilis kujutab kummi ringi või parabooli kaart, moodustades võlvi.
- Kumerus peab kindlustama üldise põikkalde 3-4 %, peenardel 5-6 %.
- Katte paksus sõltub kivide kõrgusest, mis omakorda sõltub liiklusest.
- Liivaluse paksus määratakse mulde pinnase ja kliimatingimuste järgi.
- Kivi istutamise sügavus sõltub kivi vormist ja kõrgusest ja on vahemikus 1/4-1/3 kivi kõrgusest.
- Kivimaterjal saadakse kas rändrahnukülvidest või tardkivimi murrust. Kivid sorteeritakse.
- Sillutisekivi peab olema surve-, kulumis- ja külmakindel (eriti oluline on külmakindlus paekivile).
- Vormilt on sillutise klompkivi tüüpüramiid, mille põhi on neli- või hulknurkne. Külgpindadel ei tohi olla väljaulatuvaid nurki.
- Nelinurksed kivid laotakse ridadena, hulknurksed ridadeta.
- Munakivi peab olema ovaalne, piklik, ülapind suurem kui alapind.

Sillutise ehitamine:

- Kõigepealt kontrollitakse aluse paksust, tasasust, kõrgust ja tihedust.
- Sillutamise ajal peab aluse liiv olema niiske. Kuiva alust niisutatakse.
- Vihmade ajal ei sillutata.
- Külmade ajal võib sillutada ainult sulaliiva peale (kuid ei ole üldse soovitatav külmade ajal sillutada, sest tehtu vajab sageli pärast ümbertegemist).
- Pannakse kõrgusmärgid – vaiad 2-2,5 m järgi teljele ja servadesse (arvestades sillutise vajumist tampimisel asetatakse kõrgusvaiade pead 3-4 cm kõrgemale projektkõrgustest).
- Sillutamist alustatakse servadest, mis pannakse nööri järele.
- Servakivid pannakse vaheldumisi pikuti ja põigiti, et hiljem ei moodustuks äärerida läbivat vuuki.
- Äär pannakse kogu vahetuse jagu ette või siis hoitakse sillutise ees vähemalt 8-10 m ulatuses.
- Sillutis laotakse servadest keskkoha poole nii, et peenarde pool oleksid suuremad kivid, tee keskel väiksemad.
- Naaberkiivid ei tohi palju erineda pealispinna suuruselt, kõrguselt (üle 2 cm) ja tugevuselt.
- Üle 1 % pikikalde puhul ehitatakse sillutist vastu kallet.
- Pikergused kivid asetatakse pika küljega vastu liikluse suunda.
- Segakivist sillutades ei tohi vuuk jätkuda rohkem kui kahe kivi ulatuses.
- Ridades sillutatakse vaid nelinurkse kujuga sarnastes mõõtudes kividega.
- Kivide vahed peavad olema võimalikult väikesed.
- Liiv peab täitma vahed kivide alumises osas, kuid ei tohi ulatuda sillutise pealispinnani.
- Sillutise tihedust kontrollitakse kivi käsitsi väljatõmbamisega või mõõdetakse väljatõmbamise jõudu.
- Tööriistadeks sillutise ladumisel on kühvel, tamp ja vasar:

- Kūhvliga võetakse liiva sisse pesa kivi jaoks.
- Haamriga sobitatakse kivi paika.
- Tambiga tambitakse sillutatud osa üle (tambi raskus 20-30 kg, langemiskõrgus 15-20 cm).
- Peale esimest tampimist puistatakse vahede täitmiseks kiilumiskillustikku fraktsiooniga 8-24 mm (killustiku kõvadus peab olema suurem kui sillutiskivil).
- Peale puistamist järeltampimine (tambi põhi peaks haarama korraga 2-3 kivi).
- Peale järeltampimist puistatakse sõelmeid (fr. 4-8) (1m³/100m²).
- Seejärel rullitakse algul kergete rullidega (5-6 t) 4-5 korduslābikut, siis raskete rullidega (8-12 t) 2-3 korduslābikut.
- Tihendamine algab äärtest keskkoha poole.
- Mingil juhul ei tohi rullida tampimata ja kiilumata sillutist.
- Kōik tekkinud ebatasasused tuleb ūles vōtta ja uuesti laduda, lisades vajalikul mēāral aluse liiva.

Sillutise kvaliteedi kontroll:

- Lubatavad hālbep:
 - Kōrvalekalle laiuselt ± 5 cm
 - Kōrvalekalle paksuselt ± 10 %
 - Kōrvalekalle pōikkaldest $\pm 0,5$ %
 - Ebatasasused 3 m lati all pōiksuunas ≤ 25 mm, pikisuunas ≤ 20 mm.
- Sillutustihedus loetakse rahuldavaks, kui 1,5-2 m² sillutise ūlesvōtmisel ja uuesti sillutamisel jāāb kivi puudu vāhem kui 3 %.
- Kangiga kivi sillutisest vālja vōttes ei tohi vālja tulla 1 kivi, vaid umbes 1 m².
- Pilud kivide vahel peavad olema kolmnurksed, pikivuugid mitte ūle kahe kivi kohakuti.
- Kivi ei tohi vajuda 35 kg tambi all.
- Peale vastu vōtmist puistatakse sillutis ūle liivaga, pūhitakse ja avatakse liikluseks.

Kokkuvōte kivilillutisega katendikonstruktsioonidest

Kāesoleva teadustōō ūlesandeks oli teostada kivilillutisi kāsitleva kirjanduse analūus ning koostada selle pōhjal soovituslikud kivilillutisega katendikonstruktsioonid, mis vastaksid teatud liikluskōormusele. Nagu juba ūeldud eespool, ei eksisteeri ei Eestis ega ka Euroopas ūhtseid norme kivilillutisega katete projekteerimiseks, kui mitte arvestada Maanteeameti Elastsete teekatendite projekteerimise juhendit 2001-52 [Maanteeamet] vōi A.Vaimeli koostatud Elastsete tēnavakatendite projekteerimise juhendit [Vaimel].

Kirjanduse analūusil leidsime erinevate sillutiselementide tootjate poolt kehtestud nōudeid katendikonstruktsioonile, mida on ūlevalpool ka refereeritud. Liikluskōormusega (mis on meie teadustōō pōhieesmārk) on oma nōuded sillutikattega katendikonstruktsioonile sidunud vāga vāhesed tootjad, rāākimata rahvulikest juhistest, mida kāesoleva tōō koostajal ei ūnnestunud leida mitte ūhtegi.

Meie kāsitusel kuuluvad sillutiskatted elastsete katendite kergkatete hulka [Vaimel]. Jārelikut tuleks ka Tallinna vanalinna kivilillutisega tēnavakatendite projekteerimine teostada vastavalt Elastsete tēnavakatendite projekteerimise juhendile [Vaimel] vōi Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [Maanteeamet], arvestades igal konkreetsel juhul kohalike tingimustega (aluspinna tūip ja tugevusomadused, veerežiim, liikluse

koormussagedus jm) ning kasutatavate materjalide omadustega (elastsusmoodul jm). Muna- ja parkettkivisillutise kihi elastsusmooduliks katendi dimensioneerimisel soovivad mõlemad eelnimetatud juhendid ([Vaimel] [Maanteeamet]) võtta 500 MPa. Seega on praktiliselt olemas kõik algandmed, et teostada ka kivisillutisega katendi dimensioneerimine lähtudes meil kehtivatest ametkondlikest elatsete katendite projekteerimise juhenditest.

Kuna kohalikud tingimused ja kasutatavate materjalide omadused võivad varieeruda küllalki suurtes vahemikes, siis ei ole otstarbekas koostada tüüpkatendikonstruktsioone, vaid igal konkreetsel juhul tuleks teostada katendi dimensioneerimine tuginedes kehtivatele juhenditele (Elastsete tänavakatendite projekteerimise juhendile, Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52).

Tüüpkatendikonstruktsioonidena võib käsitleda [joonistel 5.1, 5.5 ja 5.6](#) esitatud sillutisega katendikonstruktsioone, mille põhielemendid on:

- Sillutiskivi.
- Alusliiva kiht - kirjanduse alusel soovitatava paksusega 20-40 mm, terastikulise koostisega [tabelis 5.1](#) ning vuugitäite liiva terastikulise koostisega [tabelis 5.2](#). (Klomp- või munakivi kasutamisel võib alusliiva kihi paksus 40 mm osutada liiga õhukeseks, kuna kivid on mingil määral erineva kõrgusega ja kivi „istutussügavus“ katte ehitamisel on $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ kivi kõrgusest).
- Aluse kiht (või kihid) - paksus määratakse katendi dimensioneerimisel või kirjanduse alusel soovituslikud paksused lähtudes keskmisest ööpäevasest liiklussagedusest on [tabelites 5.4 ja 5.5](#) ning terastikuline koostis [tabelis 5.3](#).

Kindlasti tuleks laialdasemalt hakata kasutama geosüntete erinevate sidumata konstruktiivsete katendikihtide eraldamiseks, et vältida erineva terastikulise koostisega materjalide omavahelist segunemist eksploatatsiooni käigus, kuna viimase tulemusena väheneb katendi kandevõime.

KASUTATUD KIRJANDUS

AAPA - Australian Asphalt Pavement Association. Advisory note 3. A Guide to ASPHALT MIXES FOR ROUNDABOUTS. www.aapa.asn.au . Kasutatud 5.10.2008

AL ST 1-02. Eesti Asfaldiliidu standard. Asfaldinormid. 2007. 88 lk.

California Department of Transportation. DIB 80-01 DESIGN INFORMATION BULLETIN NUMBER 80-01 ROUNDABOUTS
<http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/dib/dib80-01.htm#fig3> Kasutatud 13.10.08

Eydmann Stuart and Halstvedt Hans. Current issues in the revival of traditional stone paving
http://www.ihbc.org.uk/context_archive/56/stonepaving/tradit.html Kasutatud 7.11.08

Granitepaving digital catalog „How to“ <http://www.granitepaving.com/> Kasutatud 10.10.08

Kansas Roundabout Guide, October 2003.
http://www.ksdot.org/burTrafficEng/Roundabouts/Roundabout_Guide/RoundaboutGuide.asp
Kasutatud 5.11.08

Maanteeamet. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52. Tallinn, 2001. 57 lk.

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 13. mai 2004. a. määruse nr. 132 «Teehoiutööde tehnoloogianõuded» <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=756881> Kasutatud 16.10.2008

Nordisk Vejteknisk Forbund. Comparison of CEN and Nordic aggregate requirements. May 2004

Pine Hall Brick Tech Bullet #4
http://claypaver.com/phb_tech_bullets/documents/documents/TechBullet4.pdf Kasutatud 7.11.08

Roads with paving stones Noise measurements
http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VInot050/html/entire_publication.htm#Chapter6
Kasutatud 7.11.08

Rosenberg, Carlos, Buncher, Mark. Intersection Strategy – Part 2. Asphalt, The Asphalt Institute Magazine, Summer 1999. Pp.8-9, 27

Suomen rakentamismääräyskokoelma, B4 Betonirakenteet Kasutatud 15.10.08

Tietoa tiensuunnitteluun nro 51. Julkaisija: Tielaitos, tie- ja liikennetekniikka 5.9.2000
<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tts51.pdf> . Kasutatud 25.10.2008

Vaimel, Ants. Elastsete tänavakatendite projekteerimise juhend. Tellija: Tallinna Kommunaalamet. Tallinn, 2003.

Walker, Dwight, Buncher, Mark. Intersection Strategy – Part 1. Asphalt, The Asphalt Institute Magazine, Winter 1999. Pp.12-15, 27

Westcon Precast inc. Paver Manual. A guide to design & construction of segmental concrete pavement. http://www.westconprecast.com/pdf/westcon_pavers.pdf Kasutatud 17.10.08