

Teadus- ja arendustöö

KAP 2.0 arendusvajaduse analüüs

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Tallinn 2024

Teadus- ja arendustöö

KAP 2.0 arendusvajaduse analüüs

Koostajad:

Luule Kaal	Teedeehituse ja geodeesia uurimisrühm, lektor
Ain Kendra	Teedeehituse ja geodeesia uurimisrühm, lektor
Andrus Aavik	Teedeehituse ja geodeesia uurimisrühm, dotsent
Simmo Talpas-Taltsepp	T-Konsult OÜ, insener

Konsultant:

Tiit Kaal	ERC Konsultatsiooni OÜ, konsultant (<i>pro bono</i>)
-----------	--

Tallinn, 2024

EESSÕNA

Riigimaanteedele rakendatav katendiarvutuse metoodika omab suurt mõju ühiskonna kuludele, mistõttu peavad muudatused metoodikas olema põhjendatud ning jälgitavad alates vajaduste väljaselgitamisest ja uuringute teostamisest kuni otsusteni.

Uuringu eesmärgiks on välja selgitada, kas elastsete teekatendite projekteerimise metoodika¹ ja tarkvara (KAP 2.0) on ajakohased tagamaks riigimaantee taristu vastupidavust projekteerimisel eeldatud eluea jooksul (KAP 2.0 arvutuslik eluiga vähemalt 20 a).

Käesolev uuring on jagatud kaheks etapiks. Esimese etapi tööde raames koostatakse teeregistri andmete põhjal uurimiseks sobivate objektide valim, mida järgnevalt analüüsitakse — defektide ja roobaste areng, FWD vastavus Evaj, riskialade määramine ning valitakse objektid edasisteks uuringuteks.

Uuringu teises etapis analüüsitakse I etapis valitud vähemalt 10 nõrgemat ja defektsemat objekti täpsemalt. Valimi projektidele ja ehituse täitedokumentidele võimaldab ligipääsu töö tellija. Analüüsi käigus tuleb võimalusel välja selgitada lagunemise põhjus(ed), milleks võivad olla näiteks geotehniliste või liiklusuuringute ebatäpsus, projekteerimis- või ehitusvead (ehitusmaterjalid, kvaliteet vms) või süsteemsed katendiarvutuse metoodilised aladimensioneerimised (kui eelpool loetletud vigu ei tuvastatud, aga katend laguneb) vms.

Käesolev uurimistöö on koostatud Transpordiameti tellimusel.

¹ Kendra, A., et al. (2016) Elastsete teekatendite arvutusmetoodika arendamine. Teadus- ja arendustöö. MA 2016-45. Tallinna Tehnikaülikool.
<https://transpordiamet.ee/media/3173/download>

KASUTATUD LÜHENDID

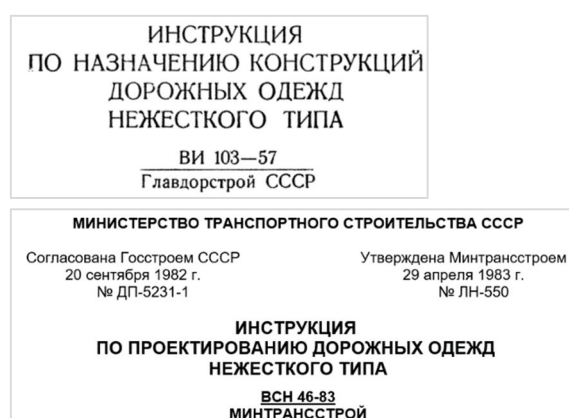
Mnt	maantee
SAPA	sõidu- ja pakiautod
VAAB	veoautod ja autobussid
AR	autorongid
AKÖL	aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (a/ööp)
NKÖL	nädala keskmine ööpäevane liiklussagedus (a/ööp)
TRAM	Transpordiamet
MA	Maanteeamet
KAP	katendiarvutuse programm
Evaj	vajalik elastsusmoodul

SISUKORD

Eessõna	1
Kasutatud lühendid	2
Sisukord	3
1. Ülevaade katendiarvutuse metoodikast	4
2. Liiklussagedus riigimaanteedel	6
3. Remondiobjektide valiku kriteeriumid	8
4. Uuringu metoodika	11
4.1. Üldist	11
4.2. Valimi koostamise alused	11
4.3. Andmete uuendamise intervall	11
4.4. Teeregistri kehtivad koodid ja nende seletused	12
5. Valimi moodustamine	14
6. Objektide valik	17
6.1. Üldist	17
6.2. Valitud objektide koondülevaade	17
6.3. II etapiks valitud objektid	19
7. Objektide analüüs	21
7.1. Üldist	21
7.2. OB_76 mnt nr 1 Tallinn-Narva km 70,4-78,5 (Viitna)	22
7.3. OB_08 mnt nr 2 Tallinn-Tartu-Luhamaa km 20,163-25,587 (STEE1)	25
7.4. OB_81 ja OB_82 mnt nr 2 Tallinn-Tartu-Luhamaa km 26,876-39,790	28
7.5. OB_34 mnt nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 36,721-42,474	31
7.6. OB_71 ja OB_77 mnt nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 124,872-130,491	33
7.7. OB_67 mnt nr 60 Pärnu-Lihula km 0,0-2,872	36
7.8. OB_91 mnt nr 8 Tallinn - Paldiski km 18,662-24,762	38
7.9. OB_87 mnt nr 92 Tartu-Viljandi-Kilingi-Nõmme km 2,3-7,1	41
7.10. OB_47 mnt nr 92 Tartu-Viljandi-Kilingi-Nõmme km 7,2-23,434	43
8. Teeregistri andmestiku analüüs ja leitud seosed	46
9. Katendi vajaliku tugevuse määratlusest	51
10. Kokkuvõtte ja soovitusel	56
11. Viidatud materjalid	60
Lisad	62

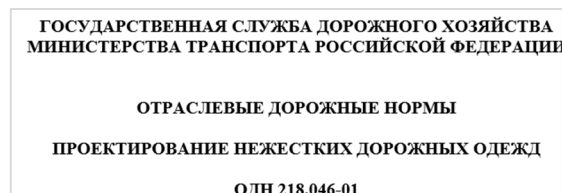
1. ÜLEVAADE KATENDIARVUTUSE METOODIKAST

Katendiarvutuse (KAPI) ajalugu võib arvestada 1949. aastast, samal aastal on ilmunud NL esimene katendijuhend ja Nils Odemarki poolt koostatud teoreetiline alus². Elastse vajumi arvutuse põhivalem on sarnane, ka ei õnnestu kirjandusest tuvastada otsest seost Vene juhendi ja Odemarki vahel, Boussinesq teooria on mõlemal juhul selgelt aluseks. Vene süsteem sisaldab aga palju täiendusi, mida Odemarki töö ei sisaldanud, mistõttu saab neid lugeda paralleelseteks protsessideks. Tekstianalüüsiks on kättesaadav NL juhendi kolmas versioon (teine oli 1954 ja kolmas 1957). Järgnesid ametkondlikud ehitusnormid BCH 46-60; BCH 46-72 ja BCH 46-83. Viimane neist on aluseks ka Eestis Ants Vaimeli poolt (lühendatud ja) tõlgitud juhendil МА 2001-52.³ Ilmselt tuleneb nomogrammide kasutuse põhimõte juba algsest versioonist, sest analüüsitud 1957 variandis sisuliselt valemite kasutus puudub.



Joonis 1.1. Väljavõtted juhendi tiitellehtedest

Vene Föderatsioonis kehtestati 2001. aastal uus norm, ODN 2018.046-01, kus on säilitatud algne nomogrammide kasutuse põhimõte, kuid senise 15-nda aasta koormuse asemel on rakendatud kasutusea summaarsel koormusel põhinevat logaritmivalemit, muudetud on koormusi (sisse toodud 11.5-tonnine telg püsikatenditele ja oluliselt täiendatud varutegureid, siirdetegurite komplekt on eraldi kummagi normkoormuse jaoks), mille tulemusena on märkimisväärselt tõstetud katendikihtide paksust ja kandevõimet. Samast normist ilmus ka MODN 2-2001, mis kehtestati SRÜ ülesena. Valgevenes modifitseeriti ODN veelgi 2008 (ТКП 45-3.03-112-2008) tuues sisse ka 13-tonnise normtelje magistraalteede ja vastavad siirdetegurid.



Joonis 1.2. Väljavõte Vene Föderatsiooni 2001 kehtestatud normi tiitellehelt

² Odemark, Nils (1949) Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin. Statens Väginstitut

³ Vaimel, A. (2001) Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. 2001-52

2018 kehtestati eelstandard PNST 265-2018, mis asendati kolmeaastase perioodi järel järgmise eelstandardiga PNST 542-2021, mis omakorda asendati püsiva standardiga GOST R 71404-2024 (alates 01.09.2024). Paralleelselt on juurutatud katendikataloogid mitmes variandis, enamkoormatud maanteedele ja väiksema liiklusega teedele.



Joonis 1.3. Väljavõte Vene Föderatsiooni hetkel kehtiva normi tiitellehelt

Kuni 2002. aasta 1. aprillini Eestis ametlikult kehtestatud katendi arvutamise meetoodikat polnud. Katendid arvutati BCH 46-83 alusel, mida oli kasutatud NSVL aegadest peale. 01.04.2002 hakkas kehtima Maanteeameti peadirektori kinnitatud „Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52“, mis erineb BCH 46-83 vaid detailides.

Eestisse toodi programm Kredo, eemaldati autorikaitse ja tõlgiti tekstid eestikeelseks, saadud tulemust turustati Kraade nime all. 2009 aktsepteeriti paralleelselt Kraadega A. Vaimeli koostatud Qbasic rakendust ja M. Koppeli koostatud Excelit. 2009 telliti 2001-52 juhendi ja Kraade alusel uus Excel-rakendus (koostas J. Kapten, konsultant E. Karu).

Katendi projekteerimisel lisati arvestuslikule asfaldi paksusele sentimeeter kulumisvaru, 2006 see varu eemaldati (peadirektori käskkirjaga) ja taastati 2014 (projekteerimisnormis).

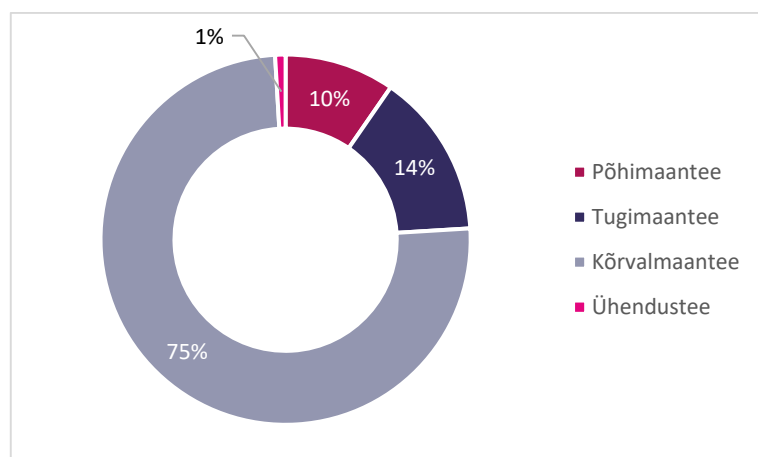
Algse juhendi materjalide elastsusmooduleid muudeti esmalt 2004 stabiliseeritud kihtide osas, 2006 lisati SMA ning 2009, kui võrdlused Soome süsteemiga selgitasid välja, et Soome killustike arvutuslik elastsusmoodul ei ületa 280 MPa, kuid BCH järgi peaks see olema 400 MPa, otsustati tuua meie killustike moodulid võrreldavaks, 280 MPa tugevale kivimaterjalile (graniit, paas LA30), 240 MPa nõrgemale paekillustikule (LA35) ja 200 MPa mittestandardsele ja ridakillustikule.

2014 tõsteti püsikatendi arvutuslik tööiga 20 aastani taandades tegeliku 20 aasta summaarse koormuse tinglikult 15-ndale aastale. Samuti lisati mõõdukalt ühtlaseteraliste liivade kategooria, kuna ilmnes, et eriteralised liivad ei taga maksimaalse tiheduse juures soovitud veejuhtivust.

Kokkuvõtteks oleme tänaseni pidama jäänud programmile KAP, mille alged on juba 1949-ndas aastal ja tänane versioon tugineb üsna üheselt 40-aastaselt allikal, kui Venemaal on sellest juba kolm ringi (2001, 2018, 2021) edasi mindud.

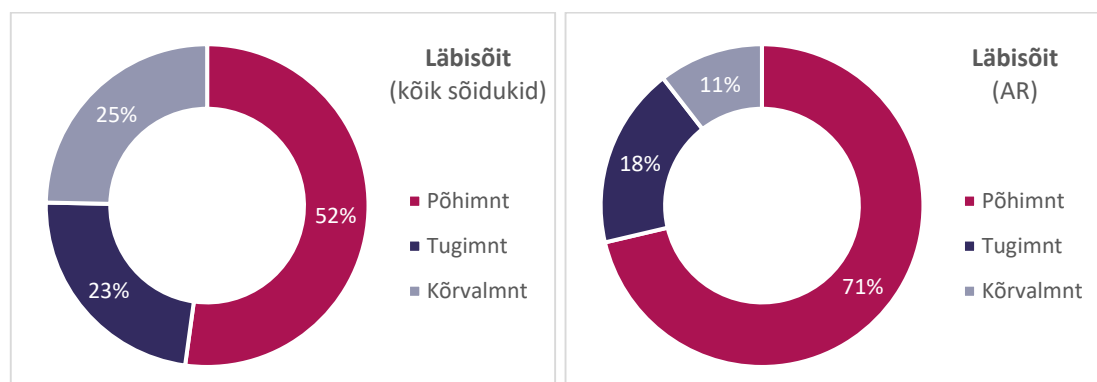
2. LIIKLUSSAGEDUS RIIGIMAANTEDEL

Eesti riigiteede kogupikkus on 16982,4 km, millest 295,9 km on muud teed ehk kergliiklusteed ning neid edaspidi ei käsitleta. Põhi- ja tugimaanteede osa kogu teedevõrgust on 24% ning kõrvalmaanteede osa 75%. Ühendusteid on kokku 151,2 km (1%), aga kuna liiklussageduse andmeid nende kohta üldjuhul ei ole, siis ka ühendusteid edaspidi ei käsitleta. Järgnevad graafikud on koostatud teeregistri 2023. aasta andmete põhjal.⁴



Joonis 2.1. Riigiteede pikkuste jaotus teeliikide lõikes

Kui põhimaanteed moodustavad vaid 10% kogu teedevõrgust, siis läbisõitu vaadeldes on olukord teine. Arvestades kõiki sõidukiklasse, siis 52% sõidukipargi läbisõidust toimub põhimaanteedel ning kui vaadelda raskeliiklust (käesoleval juhul vaid autoronge), siis 71% autorongide läbisõidust toimub põhimaanteedel ehk peamine osa koormussagedusest langeb põhimaanteedele.



Joonis 2.2. Sõidukipargi läbisõidu jagunemine teeliikide lõikes

2023. aasta seisuga on põhimaanteedel keskmiselt 10% autoronge ja 3% VAAB sõidukiklassi sõidukeid. Võrreldes 20 aasta taguse seisuga on muutunud eelkõige VAAB klassi sõidukite osakaal (erinevatel põhjustel, ka liiklusloenduseks kasutatavate seadmete tehnoloogiast

⁴ Teeregistri andmetel, seisuga 07.05.2024

2003

Kategooria	SAPA	VAAB	AR
Põhimnt	80%	11%	10%
Tugimnt	84%	11%	5%
Kõrvalmnt	100%	0%	0%

2023

Kategooria	SAPA	VAAB	AR
Põhimnt	87%	3%	10%
Tugimnt	92%	3%	6%
Kõrvalmnt	95%	2%	3%

Kõrvalmaanteede kogupikkusest 94%-l on liiklussagedus alla 1000 a/ööp ning üle 3000 a/ööp on 128,7 km kõrvalmaanteedest (1%). Tugimaanteede puhul on liiklussagedusega üle 3000 a/ööp kokku 284,2 km (12% tugimaanteedest) ning põhimaanteede puhul on vastavad näitajad 1063,7 km (66%).

Region	<1000	1000-2999	3000-5999	6000-9999	≥10000
Põhimaantee	2%	31%	31%	23%	13%
Tugimaantee	41%	47%	9%	3%	0%
Kõrvalmaantee	94%	5%	1%	0%	0%

7

3. REMONDIOBJEKTIDE VALIKU KRITEERIUMID

Riigiteede rekonstrueerimise ja taastusremondi objektide valikuks on kindlad kriteeriumid, mis on esitatud järgnevates juhendites:

- Kattega teede rekonstrueerimise objektide valimine. KT_025_J7_r2. Kinnitatud 12.09.2023 nr 1.1-1/23/171
- Kattega riigiteede taastusremondi objektide valiku juhend.⁵ KT_025_J10_r1. Kinnitatud 02.02.2022 nr 1.1-7/22/49

Järgnevalt on toodud väljavõtted mõlemast juhendist.

Rekonstrueerimine on remondi liik, mille eesmärgiks on tee kandekonstruktiooni taastamine või ümberehitamine koos tee juurde kuuluvate rajatiste asendamise või remontimisega ja liiklusohutuse parendamisega. Rekonstrueerimise vajadus tuleneb teekatte mitterahuldavast seisukorrast (ebatasane ja defektne teekate), kus on ka kandevõime puudujääk, mille tõttu ei ole võimalik säilitusremondi ja taastusremondiga tee seisundit taastada.

Kandevõime puudujäägi leidmiseks on EPMSdata tabelites koormussagedus arvutatud lihtsustatud meetodil:

$$KS = 2,67 * AKÖL_{VAAB} + 3,67 * AKÖL_{AR}$$

kus:

KS — koormussagedus

AKÖL_{VAAB} — veoautode ja autobusside liiklussagedus, a/ööp

AKÖL_{AR} — autorongide liiklussagedus, a/ööp

Koormussagedus rajale alusel on arvutatud vajalik elastsusmoodul E_{vaj} , kus E_{vaj} arvutuspiiri on vähendatud varuteguri võrra (8%).

$$E_{VAJ} = KATE_VARU * (67,6 * LOG10 (KS_RAJALE) + 61,3)$$

kus:

KATE_VARU — katendi arvutuse varutegur, mille vaikumisi väärtus on 0,92

KS_RAJALE — koormussagedus rajale (= KS * rajategur)

EPMS analüüsi tegemiseks jagatakse teede lõigud gruppidesse lähtudes liiklussagedusest.

Tabel 3.1. Teede grupid rekonstrueerimisobjektide valikuks

Mnt liik	Liiklussagedus, a/ööp					
	> 6000	3001-6000	1001-3000	501-1000	201-500	≤ 200
Põhimaantee	C1	C1	C2	C2	*	*
Tugi- ja kõrvalmaantee	C1	C2	C3	C3	C4	C4

⁵ Varasem versioon on 2017. aastast. Riigiteede remondiobjektide valiku meetodilised juhendid. Kattega riigiteede taastusremondi objektide valiku meetodiline juhend. MA 2017-011

Objekti seisukorra hindamiseks on kasutusel kaks piiri – hoiatuspiir ja kriitiline piir. Seisukorra määramiseks kasutatakse teekatte seisukorda iseloomustavaid näitajaid – tasasus, defektide summa ja roopa sügavus.

Tabel 3.2. Teekatte seisukorra näitajate otsustuspiirid REK objektide valikul

Näitaja	Maanteegrupp C1		Maanteegrupp C2		Maanteegrupp C3		Maanteegrupp C4	
	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir
IRI, mm/m >	2,5	3	3	3,5	3,5	3,8	3,8	4,5
DEFSUM2, % >	4	6	5	8	6	10	8	15
Roobas, mm >	13	17	14	18	15	20	18	23

Juhendis on toodud, et „Antud kriteeriumite piirid on kogemuslikud ja lähtuvad maanteede üldisest seisukorrast (näitavad, et piiri ületavate väärtuste korral on teekatte seisukord halb või väga halb)“.

Taastusremont on remondi liik, mille eesmärgiks on kattega teede puhul katte ehk tee katendi pealmise kihi uuendamine kas ülekatte või olemasoleva katte freesimise ja uuesti paigaldamise näol.

Taastusremondi peamiseks põhjuseks on teekattele tekkinud roopad. Taastusremondi tulemusel paraneb teede sõidetavus. Taastusremonti saab teha juhul, kui tee katend ei ole liiga defektne ja kandevõime on piisav. Väikest kandevõime puudujääki (kuni 10%) saab kompenseerida ülekattega.

Tabel 3.3. Teede grupid taastusremondi objektide valikuks

Mnt liik	Liiklussagedus, a/ööp			
	> 6000	3001-6000	1001-3000	≤ 1000
Põhimaantee	C1	C1	C2	C2
Tugi- ja kõrvalmaantee	C1	C2	C3	C4

Sarnaselt rekonstrueerimisobjektide hindamisega on ka taastusremondi objektide valikul kaks piiri (hoiatus- ja kriitiline), kuid teekatte seisukorda iseloomustavad näitajad on mõnevõrra erinevad – roopa sügavus, katte vanus ja katte defektid (võrkpragu, auk, murenemine, lapp).

Tabel 3.4. Teekatte seisukorra näitajate otsustuspiirid taastusremondi objektide valikul

Näitaja	Maanteegrupp C1		Maanteegrupp C2		Maanteegrupp C3		Maanteegrupp C4	
	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir	Hoiatus-piir	Kriitiline piir
Roobas, mm >	13	17	14	18	15	20	18	23
Kvan, aasta >	4	6	7	9	11	16	27	37
VAML, % >	0.2	0.8	0.4	1.4	0.8	2.0	1.6	3.2

Kriitiline piir näitab, et teekatte seisukord on väga halb ja hoiatuspiir näitab, et teekatte seisukord on varsti halb.

Asfaltkatete projekteeritud eluiga⁶ on sõltuvalt kasutuskohast katendikonstruktsioonis ja konkreetse objekti liiklussagedusest (AKÖL) järgmine:

- a) tingimusel $AKÖL \geq 12\,000$ on kulumiskihi projektseks elueaks vähemalt 7 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 15 mm.
- b) tingimusel $6000 \leq AKÖL < 12\,000$ on kulumiskihi projektseks elueaks vähemalt 10 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 15 mm;
- c) tingimusel $AKÖL < 6000$ on kulumiskihi projektseks elueaks vähemalt 12 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 17 mm;
- d) sõltumata AKÖL tingimustest on regenereerimistehnoloogiaga (sh. kuumtaastamine) taastatud kulumiskihi asfaltkatte eluiga 7 aastat ja eluea lõpuks ei ole maksimaalne roopa sügavus suurem kui 15 mm;
- e) kandev- ja siduvkihtide asfaltkatete projektseks elueaks on vähemalt 20 aastat.

⁶ Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised. TA 2021.

4. UURINGU METOODIKA

4.1. Üldist

Käesolev uuring keskendub rajatud teekatendite eluea ja defektide arengu väljaselgitamisele, mis võimaldaks vastata küsimusele, kas katendiarvutuse metoodika erinevad versioonid on taganud projektiga eeldatud katendite eluea.

Vastavalt töö lähteülesandele tuleb valimi koostamiseks võtta teeregistrist aastatel 2000 kuni 2020 valminud (nii ehitatud kui rekonstrueeritud) sobivad objektid.

Sobivate objektide all on mõeldud KAP 1.0 ja selle eelkäija analoogiga projekteeritud katendeid, mille projektne eluiga on vähemalt 15 aastat ning mille liiklussagedus on vähemalt 3000 a/ööp.

Võrdluseks tuleb valimisse kaasata ka KAP 2.0-ga projekteeritud katendid, et näha esimeste aastaste võimalike defektide muutumise trende.

Ehitusobjekte ja rekonstrueeritud objekte tuleb käsitleda eraldi, kuna viimaste puhul on lubatud ka erisusi – nt nõrgema mulde (osaliselt huumus, savi, turvas jms) mitte asendamine.

4.2. Valimi koostamise alused

Valimi koostamiseks esitas TRAM Teevara osakond EPMS-Teeregister väljavõtted aastate 2003-2023 kohta, kus on kõik kogutud andmeliigid 100 m lõikude kaupa.

Valimi koostamiseks ja objektide esialgseks analüüsiks on olulised järgmised andmed:

- ehitatud konstruktsiooni andmed;
- kandevõime mõõtmiste tulemused;
- roobaste mõõtmise tulemused;
- ehitusjärgsed defektide inventeerimise tulemused (aegreas);
- hooldustoimingud (pindamised, ülekatted jne);
- Evaj;
- liiklussageduse andmed (sh sõidukiklassid).

4.3. Andmete uuendamise intervall

Teeregistris olevad andmed uuendatakse järgmiselt:

- Ehitatud konstruktsioon – pärast ehitustööde vastuvõtmist 30 päeva jooksul;
- Hooldustoimingud – üldjuhul pärast tööde vastuvõtmist 30 päeva jooksul, aga teatud pisemaid remonditöid Teeregistrisse ei kanta;
- Kandevõime:
 - vanemate kui 15 a kandevõime andmed uuendatakse kattega teedel liiklussagedusega >500 autot/ööpäevas;
 - esmaste mõõtmiste teostamine kattega teedel liiklussagedusega >500 autot/ööpäevas;
- Roopad:

- Igal aastal kõik põhimaanteed;
- Tugi- ja kõrvalmaanteed liiklussagedusega alates 3000 autot/ööpäevas igal aastal;
- Tugi- ja kõrvalmaanteed liiklussagedusega 1000 kuni 3000 autot/ööpäevas sagedusega üle aasta;
- Erandina raskeliikluse poolt põhjustatud roopaga teed (teelõigud), mille liiklussagedus on alla 1000 auto/ööpäevas;
- Defektide inventeerimine:
 - Kattega teedel liiklussagedusega alates 1000 autot/ööpäevas inventeeritakse defektid igal aastal;
 - Ülejäänud kattega teedel toimub defektide inventeerimine igal teisel aastal;
- Teekatte tasasus:
 - Mõõtmise intervall 2 aastat kõigil kattega teedel;
 - Tasasust mõõdetakse kattelõikudel pikkusega alates 500 m;
- Evaj – vajalik elastsusmoodul on saadud lihtsustatud arvutuse teel (vt Ptk 3)
- Liiklussageduse andmed uuendatakse põhi- ja tugimaanteedel igal aastal, alates 2013. aastast ka kõrvalmaanteedel.

4.4. Teeregistri kehtivad koodid ja nende seletused

Järgnevalt on esitatud teeregistri koodid, mis olid valimi koostamisel lähtepunktiks. Kõigi koodide seletused on toodud eraldi *.xlsx failis („Teeregistri kehtivad koodid 18.06.2024 seisuga“).

Halliks värvitud lahtrid näitavad katte ehitamise meetodit, mille puhul võib eeldada, et ehitamiseks või rekonstrueerimiseks on koostatud projekt, mis sisaldab ka katendiarvutust.

Grupi kood	Grupi nimi	Väärtuse kood	Väärtuse nimi
KATEH	Ehitamise meetod	1	asfaltsegust katte ehitus
KATEH	Eh. meetod	10	uus kate kuumfreesitud alusele (AKA)
KATEH	Eh. meetod	11	uus pealmine kiht olemasolevale kattele
KATEH	Eh. meetod	12	uus pealmine kiht freesitud kattele
KATEH	Eh. meetod	13	uus pealmine kiht tasanduskihiga
KATEH	Eh. meetod	14	uus kate bituumenstabiliseeritud alusega
KATEH	Eh. meetod	15	uus kate tsementstabiliseeritud alusega
KATEH	Eh. meetod	16	uus kate tuhkstabiliseeritud alusega
KATEH	Eh. meetod	17	uus kate kompleksstabiliseeritud alusega
KATEH	Eh. meetod	18	uus kate kruusalusel
KATEH	Eh. meetod	19	uus kate killustikalusel
KATEH	Eh. meetod	20	kuumpinnatud asfaltbetoon
KATEH	Eh. meetod	21	makadamkatte ehitus
KATEH	Eh. meetod	22	mustkatte ehitus teel segamisega (hõõvlisegu)
KATEH	Eh. meetod	23	mustkatte ehitus seguris segatud segust
KATEH	Eh. meetod	26	katte ehitamine freesipurust
KATEH	Eh. meetod	31	vana katte uuendamine külmtöötlemisega
KATEH	Eh. meetod	32	katte kuumtaastamine/remix (REM)
KATEH	Eh. meetod	33	uus kate kuumfreesitud ja trumlis segatud alusele (REM+)
KATEH	Eh. meetod	34	confalt katte ehitus
KATEH	Eh. meetod	41	(põlevkivi) tuhkstabiliseerimine

Grupi kood	Grupi nimi	Väärtuse kood	Väärtuse nimi
KATEH	Eh. meetod	42	bituumenstabiliseerimine katteks (ka mustkate freesiga teel segatud segust)
KATEH	Eh. meetod	43	tsementstabiliseerimine katteks
KATEH	Eh. meetod	44	kompleksstabiliseerimine katteks
KATEH	Eh. meetod	45	pindamine kruus- või killustikkattele
KATEH	Eh. meetod	51	uus kulumiskiht purustatud kruusast või sidumata segust
KATEH	Eh. meetod	52	uus kulumiskiht looduslikust kruusast
KATEH	Eh. meetod	53	uus kulumiskiht paekivikillustikust
KATEH	Eh. meetod	61	muud meetodid

5. VALIMI MOODUSTAMINE

Sobivate objektide otsimist alustati vanimast EPMSdata tabelist (2003. aasta seis), kust otsiti välja alates 2000. aastast ehitatud teelõigud (KATEH koodidega 14 ... 19) ning seejärel kontrolliti liiklussagedust. Kui AKÖL oli suurem kui 3000 a/ööp, lisati teelõik esialgsesse valimisse. Sama korraliti kõikide järgmiste aastate EPMSdata tabelitega. Igale objektile anti unikaalne kood, mida kasutati läbivalt kõikides andmetabelites.

Kuivõrd objektide andmetabelid võivad erinevaid analüüse tehes minna üsna mahukaks, siis sai otsustatud, et esialgu on iga objekt eraldi failina. Vajadusel või soovi korral võib need tulevikus ühendada.

Esialgne filtreerimine andis kokku 92 võimalikku objekti, mille puhul katte ehituse aeg oli aastatel 2002-2017 ja neid kontrolliti järgnevate tingimustega.

Kui 2023. aasta seisuga pole taastusremonti või rekonstrueerimist objektil tehtud, siis see eemaldati valimist. Selliseid objekte oli kokku 29, katte vanus on praeguseks 7-17 aastat.

17 objekti eemaldati erinevatel põhjustel:

- teelõigu ümberehitus, mis ei ole tingimata seotud teekatte seisukorra halvenemisega (nt Aruvalla-Kose, Kernu ümbersõit jms);
- teelõigul väga lühikeste lõikude kaupa erinevatel aastatel erinevaid töid tehtud;
- teekilometraaži muutused, mille puhul ei saa väga kindel olla, et seisukorra näitajad kogu lõigu ulatuses on täpselt võrreldavad (mnt nr 2 km 181-190 olevad lõigud).

Seejärel jäi 11 objekti, mille puhul olid erinevad kaalutlused, miks need esialgselt valimist välja jäid:

- 2 objekti – katte vanus 16 ja 18 aastat;
- 3 objekti – lühike ca 1 km pikkune lõik;
- 6 objekti – katte remonttööd lühikeste lõikude kaupa.

Lõplikku valimisse jäi kokku 35 objekti, mille puhul on analüüsitud katte seisukorra muutusi remontide vahelisel perioodil. Objektide nimekiri on toodud tabelis 5.1.

Valimis olevate objektide puhul, mis on ehitatud enne 2017. aastat, on Evaj arvutatud KAP 1.0 siirdeteguritega (keskmiselt 16% madalam kui KAP 2.0 siirdeteguritega arvutatud Evaj).

Tabel 5.1. Objektide nimekiri ja aadressandmed

Jrk	Objekti kood	Mnt nr	Mnt nimi	Algus	Lõpp	Algus, km	Lõpp, km	Pikkus, km	KATEKP	KATE	KATEH	KATEKP_uus	Kommen-taar
1	OB_76	1	Tallinn - Narva	1_2_10_6900	1_2_14_5600	70.480	78.514	8.034	17.07.2012	15	19	08.08.2022	Taastus
2	OB_70	1	Tallinn - Narva	1_1_10_6900	1_1_14_5600	70.500	78.520	8.020	17.07.2012	15	19	08.08.2022	Taastus
3	OB_19	1	Tallinn - Narva	1_1_18_3100	1_1_20_0	100.040	109.423	9.383	25.09.2004	13	17	14.08.2014	Taastus
4	OB_22	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_1_2_0	2_1_2_2500	5.505	8.005	2.500	01.09.2004	15	19	30.09.2009	REK
5	OB_109	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_2_2_3046	2_2_3_547	8.551	12.610	4.059	01.01.2016	15	17	20.10.2022	REK
6	OB_43	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_2_3_7900	2_2_4_6000	19.963	26.798	6.835	01.07.2008	15	19	02.08.2021	REK
7	OB_113	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_1_18_9159	2_1_19_3873	131.020	135.164	4.144	02.10.2017	15	17	23.11.2023	Uus
8	OB_35	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_14_7400	4_1_15_3200	76.682	80.705	4.023	30.08.2006	15	19	25.07.2011	
9	OB_71	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_24_300	4_1_25_5300	124.872	130.491	5.619	05.09.2012	15	19	11.08.2020	Taastus
10	OB_77	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_2_25_0	4_2_25_5300	125.191	130.491	5.300	05.09.2012	15	19	11.08.2020	Taastus
11	OB_67	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_26_0	4_1_26_3800	130.534	134.334	3.800	06.09.2011	15	19	11.08.2020	Taastus
12	OB_52	5	Pärnu - Rakvere - Sõmeru	5_1_2_4900	5_1_2_7900	6.494	9.494	3.000	04.09.2009	13	17	15.07.2019	Taastus
13	OB_114	5	Pärnu - Rakvere - Sõmeru	5_1_15_3652	5_1_16_26	91.420	94.205	2.785	11.11.2017	13	muu	08.08.2022	Taastus
14	OB_44	6	Valga - Uulu	6_1_20_200	6_1_21_1300	98.261	106.521	8.260	19.08.2008	13	19	28.08.2019	Taastus
15	OB_72	8	Tallinn - Paldiski	8_1_2_4600	8_1_3_200	15.900	18.662	2.762	25.06.2012	13	16	24.07.2023	Taastus
16	OB_91	8	Tallinn - Paldiski	8_1_3_200	8_1_3_6300	18.662	24.762	6.100	01.11.2014	13	17	24.07.2023	Taastus
17	OB_93	9	Ääsmäe - Haapsalu - Rohuküla	9_1_7_900	9_1_8_9200	39.226	49.291	10.065	08.10.2014	13	17	28.05.2023	Taastus
18	OB_115	11	Tallinna ringtee	11_1_7_0	11_1_7_5242	24.326	29.568	5.242	01.09.2017	15	19	17.06.2023	Taastus
19	OB_116	11	Tallinna ringtee	11_2_7_0	11_2_7_5238	24.326	29.564	5.238	01.09.2017	15	19	17.06.2023	Taastus
20	OB_95	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_5_200	15_1_5_4500	15.670	19.970	4.300	15.10.2014	13	17	01.07.2019	
21	OB_41	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_11_200	15_1_11_4900	27.525	32.225	4.700	25.09.2007	15	19	15.07.2016	Taastus
22	OB_45	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_11_5000	15_1_13_100	32.325	36.935	4.610	28.05.2008	15	19	15.07.2016	Taastus
23	OB_69	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_14_200	15_1_15_900	43.223	47.439	4.216	10.09.2011	15	19	15.06.2023	Taastus
24	OB_63	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_15_4000	15_1_16_600	50.454	51.192	0.738	27.10.2011	15	17	01.09.2020	Taastus
25	OB_96	15	Tallinn - Rapla - Türi	15_1_24_1800	15_1_24_2900	95.881	96.981	1.100	07.07.2014	13	17	18.05.2022	Taastus
26	OB_56	23	Rakvere - Haljala	23_1_1_300	23_1_1_8100	0.300	8.100	7.800	11.09.2010	15	17	14.08.2020	Taastus
27	OB_74	45	Tartu - Räpina - Värska	45_1_2_0	45_1_3_1400	3.264	6.056	2.792	04.09.2012	13	14	17.08.2022	Taastus
28	OB_79	45	Tartu - Räpina - Värska	45_2_2_0	45_2_2_1300	3.264	4.564	1.300	04.09.2012	13	14	17.08.2022	Taastus
29	OB_50	59	Pärnu-Tori	59_1_2_1000	59_1_2_1500	2.532	3.032	0.500	04.09.2009	13	19	22.09.2014	Taastus

Jrk	Objekti kood	Mnt nr	Mnt nimi	Algus	Lõpp	Algus, km	Lõpp, km	Pikkus, km	KATEKP	KATE	KATEH	KATEKP_uus	Kommen-taar
30	OB_60	62	Kanepi - Leevaku	62_1_5_0	62_1_5_1000	21.782	22.782	1.000	20.10.2010	13	14	20.10.2020	Taastus
31	OB_64	65	Võru - Räpina	65_1_2_0	65_1_2_700	2.142	2.842	0.700	25.10.2011	13	14	31.07.2023	Taastus
32	OB_58	67	Võru - Mõniste - Valga	67_1_2_0	67_1_3_600	2.456	3.926	1.470	05.11.2010	13	14	28.09.2020	Taastus
33	OB_107	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	92_1_1_300	92_1_1_2400	0.300	2.400	2.100	13.09.2015	13	17	15.06.2023	Taastus
34	OB_87	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	92_1_1_2300	92_1_1_7000	2.300	7.000	4.700	27.09.2013	13	14	07.09.2020	Taastus
35	OB_47	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	92_1_1_7200	92_1_4_1500	7.200	23.434	16.234	18.09.2008	13	14	12.10.2017	Taastus

Tabelis kasutatud koodide kirjeldus on toodud järgnevalt:

KATE

13 – tihe asfalt

15 – killustikmastiksfalt

KATEH

14 – uus kate bituumenstabiliseeritud alusega

16 – uus kate tuhkstabiliseeritud alusega

17 – uus kate kompleksstabiliseeritud alusega

19 – uus kate killustikalusel

6. OBJEKTIDE VALIK

6.1. Üldist

Uuringu I etapi tulemuste tutvustamisel esitati uuringu koostajate poolt objektide esialgne nimekiri, mida edaspidi täiendavalt analüüsida. Töökoosolekute ja arutelude käigus täiendati esialgset nimekirja ning seejärel esitati Tellijale kooskõlastamiseks objektide kogu nimekiri.⁷ Nimekirjas oli kokku 97 objekti, mis oli jagatud kolmeks grupiks:

- A. Objektid, mis sobivad II etapi raames analüüsimiseks – kokku 19 objekti.
- B. Objektid, mida võiks analüüsida juhul, kui esimesest grupist ei leia vajaliku arvu objektide projekt- ja täitedokumentatsiooni – kokku 12 objekti.
- C. Objektid, mida käesoleva töö raames edaspidi ei analüüsita – kokku 66 objekti.

Sarnaselt I etapil tehtuga, olid erinevad kaalutlused, mille alusel objektide gruppidesse jagamine tehti.

Gruppi C liigitati objektid järgmistel põhjustel:

- 2023. aasta seisuga pole uut katet ehitatud – katte vanus nendel objektidel oli 6-18 aastat;
- Taastusremont on küll tehtud, kuid katendi eluiga vastab nõuetele;
- Objekti pikkus liialt lühike (alla 2 km) või käesoleva uuringu jaoks ebasobiv koht (nt Jüri jaotusring);
- Trassil toimunud tee kilometraaži muutused;
- Katselõik (nt mnt 11 Tallinna ringtee km 24,3-29,5).

Gruppi A liigitati objektid järgmistel põhjustel:

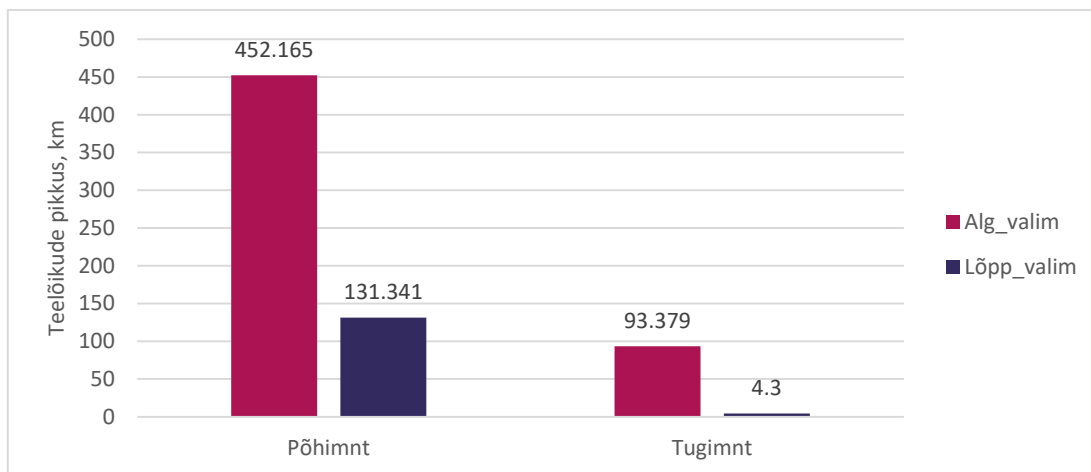
- Suhteliselt lühike katte eluiga – katte vanus 5-12 aastat;
- Raskeliikluse osakaal suur;
- Objekti pikkus vähemalt 2 km.

Gruppi B jäid üldjuhul sellised objektid, mille puhul raskeliikluse osakaal on väike ning katte vanus enne taastusremonti oli 10-12 aastat.

6.2. Valitud objektide koondülevaade

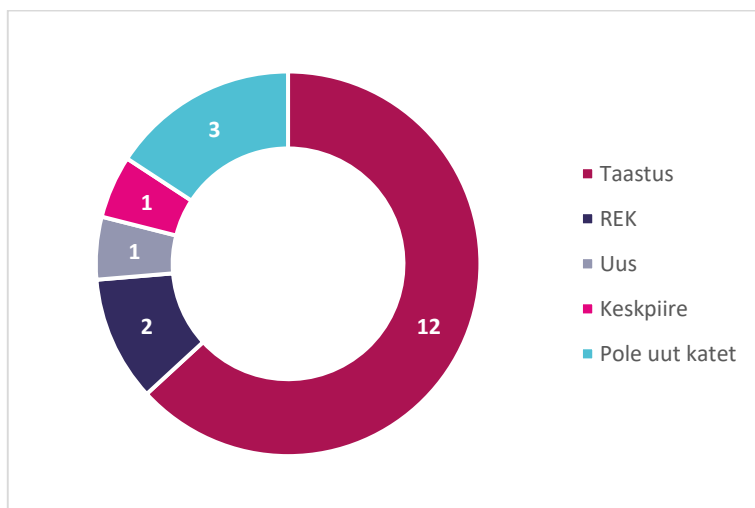
Algses valimis olnud 97 objekti kogupikkus on 545,5 km, mis on 14% põhi- ja tugimaanteed võrgust. Grupis A olnud 19 objekti kogupikkus on 135,6 km, mis on 3% põhi- ja tugimaanteed pikkusest. Enamik valitud objekte on põhimaanteedelt, vaid üks neist on tugimaanteelt.

⁷ Fail "Objektide lõplik tabel_2024-10-08.xlsx", tellijale saadetud 08.10.2024

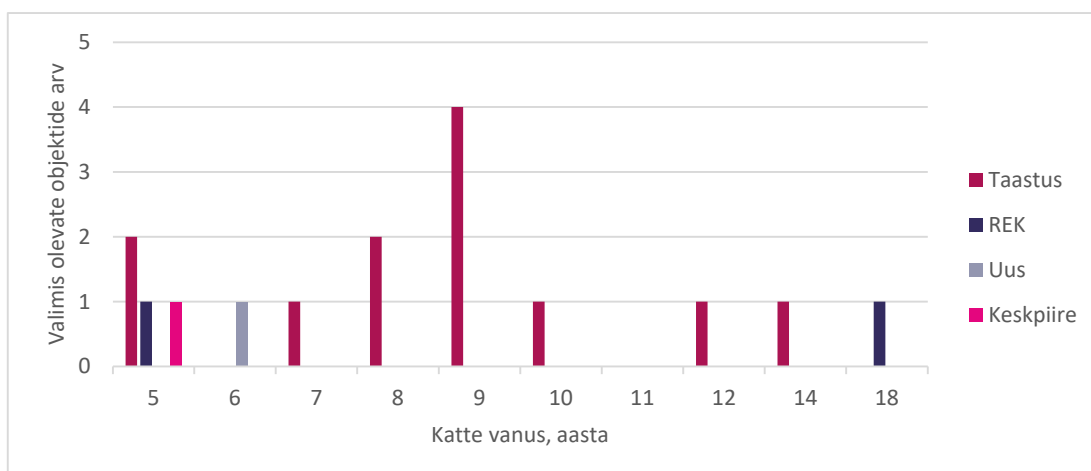


Joonis 6.1. Objektide jaotus maanteeliigi järgi

Enamiku objektide puhul on tehtud taastusremont. Valimisse jäi ka 3 objekti, kus seni pole remonttööd teostatud.

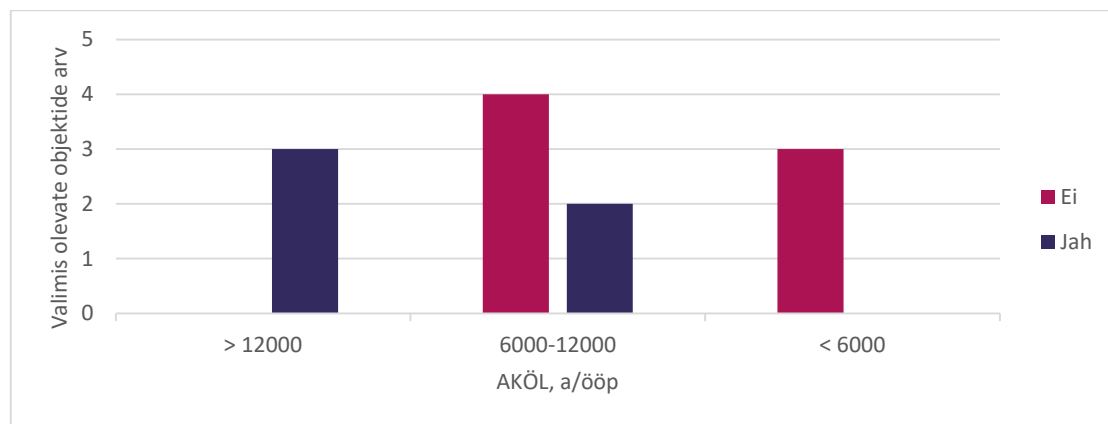


Joonis 6.2. Objektide jaotus tehtud tööde alusel

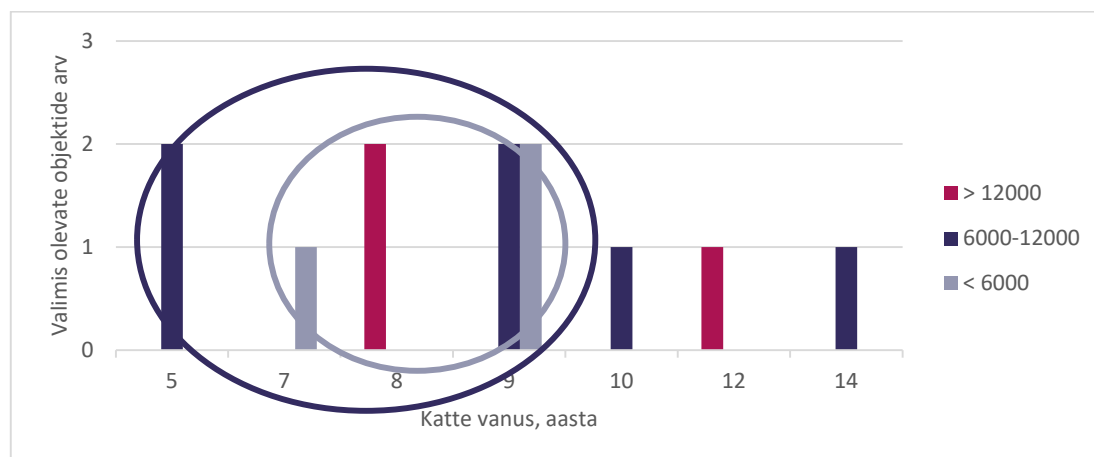


Joonis 6.3. Objektide jaotus katte vanuse alusel

Kui vaadata üksnes taastusremondiobjekte (kokku 12 objekti), siis võib välja tuua, et asfaldist katendite ehitamise juhise punkt 1.4 nõuetele ei vasta 12-st objektist 7, mille puhul on taastusremont tehtud enne projektse eluea lõppu.



Joonis 6.4. Objektide eluea vastavus nõuetele



Joonis 6.5. Taastusremondi objektide katete vanus liiklussageduse gruppide lõikes

6.3. II etapiks valitud objektid

II etapi tööde teostamiseks valis tellija grupist A kümme objekti, mille projektdokumentatsioon laeti pilveserverisse.

Tabel 6.1. Valitud objektide nimekiri

Jr k	Objekti kood	Mnt nr	Mnt nimi	Algus	Lõpp	Algus, km	Lõpp, km	Pikkus, km
1	OB_76	1	Tallinn - Narva	1_2_10_6900	1_2_14_5600	70.480	78.514	8.0
2	OB_22	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_1_2_0	2_1_2_2500	5.505	8.005	2.5
3	OB_08	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_1_3_8100	2_1_4_4900	20.163	25.587	5.4
4	OB_81	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_1_5_1000	2_1_6_6900	26.876	39.790	12.9
	OB_82	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	2_2_5_1000	2_2_6_6900	26.876	39.790	12.9

Jr k	Objekti kood	Mnt nr	Mnt nimi	Algus	Lõpp	Algus, km	Lõpp, km	Pikkus, km
5	OB_34	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_6_3200	4_1_6_7400	39.899	44.099	4.2
6	OB_71	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_24_300	4_1_25_5300	124.872	130.491	5.6
	OB_77	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_2_25_0	4_2_25_5300	125.191	130.491	5.3
7	OB_67	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	4_1_26_0	4_1_26_3800	130.534	134.334	3.8
8	OB_91	8	Tallinn - Paldiski	8_1_3_200	8_1_3_6300	18.662	24.762	6.1
9	OB_87	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	92_1_1_2300	92_1_1_7100	2.300	7.100	4.8
10	OB_47	92	Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme	92_1_1_7200	92_1_4_1500	7.200	23.434	16.2

Eelpool toodud tabelis on kahe objekti puhul tekkinud tööde käigus segadus.

OB_34 – andmebaasi koostamisel peeti silmas Tallinn-Pärnu-Ikla tee vana trassi, mille katte ehitusaeg oli 2006. Tellija poolt laeti pilveserverisse aga Kernu ümbersõidu (ehk Tallinn-Pärnu-Ikla uue trassiosa) projekti materjal (kilometraaž on sarnane OB_34 omale, objekt valmis 2020. aastal). Praeguseks on see vana teelõik uue tee numbri ja nimega (11430 Kustja-Kernu tee).

OB_67 – pilveserverisse on üles laetud Pärnu läänepoolse ümbersõidu materjalid, see on aga praeguseks mnt nr 60 Pärnu-Lihula tee algusosa (km 0,0-2,8), mille kate ehitati 2012. aastal. Algalimisse ei sattunud see teelõik seetõttu, et katte ehitamise meetodiks oli EPMSdata tabelis märgitud „uus pealmine kiht olemasolevale kattele“ (KATEH kood 11). Kui arvestada, et enamjaolt on objekt täiesti uuel trassil, siis pole seal olnud ka olemasolevat katet, millele uus kiht ehitada ning seega võib probleemiks tuua ka andmete registreerimise korrektsuse.

Ebakõla märgati töövõtja poolt kahjuks aga liiga hilja, et töö koostamise lõpu eel oleks jõudnud õigeid projektifaile hankida. Puudub ka kindlus, kas need üldse oluks saadaval ning seetõttu jätkati töid olemasolevate materjalidega.

7. OBJEKTIDE ANALÜÜS

7.1. Üldist

Andmeanalüüsiks kasutatud andmed pärinevad täies mahus Transpordiameti enda allikatest. Kasutatud on teeregistri digitaalseid avaandmeid, EPMSdata andmeid ja arhiivimaterjale (projektid ja täitedokumentatsioon) saamaks infot defektide, roobaste, kandevõime mõõtmiste kui ka liiklussageduse kohta.

Tellijä esindaja andis uuringu teostajatele valimi 10 objekti kohta digitaalsel kujul projektfailid, kuid selgus, et uuringu jaoks olulisi andmeid on puudu. Andmeid hangiti juurde füüsilisel kujul Transpordiameti Tallinna ja Tartu arhiividest, kuid selgus, et ka arhiivides ei ole või ei leidnud arhiivi eest vastutav isik vajalikke dokumente üles. Kõige probleemsemateks osutusid Pärnumaa objektid, kus infomaterjali hulk oli kõige piiratum.

Tuleviku perspektiivis on andmete kättesaadavuse probleem loodetavasti oluliselt väiksem, sest projektid koostatakse ja arhiveeritakse ainult digitaalsel kujul ning seega on lihtsam hallata suurt andmekogust (eeldusel, et on paigas andmete arhiveerimise süsteem, mis välistab andmete kao tehniliste rikete või küberrünnete korral).

Andmete olemasolu/puudumine on toodud järgnevas tabelis.

Tabel 7.1. Analüüsitavate objektide andmete olemasolu või puudumine

	OB_76	OB_08	OB_81 & 82	OB_34	OB_71 & 77	OB_67	OB_91	OB_87	OB_47
Seletuskiri s.h konstruktsioonid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Katendi arvutus/aruanne	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	✓
Geoloogia	✓	-	✓	-	-	✓	-	✓	✓
Defektid	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Roopad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FWD andmed	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Liiklussagedus	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Täite- dokumentatsioon	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓

Andmete kogumisel ilmnas, et kõige probleemsemaks osutus täitedokumentatsiooni kättesaadavus. Tuli ette olukordi, kus arhiivi eest vastutav isik ei teadnud kus vajalikud dokumendid paiknevad. Oli küll teada asukoht arhiivis, kus dokumendid peaksid olema, kuid täpsemalt uurides selgus, et oli palju puuduolevaid dokumente. Käesoleva töö teostaja lähtub ainult sellest materjalist, mis on teostajani jõudnud. Täitedokumentatsiooni puhul kontrolliti, kas paigaldatud kihid vastavad projektsele.

Lähtuvalt uuringus 2011-18⁸ esitatud FWD indeksi ja sellele vastava seose loogikast (uuringu tabel 33, funktsioon $E_{\text{teor}}=a*\text{INDEX}^b$) on hinnatud FWD indeksite järgi mittevastavuse ulatus, FWD mõõtetulemuse vastavus suhtes projektselt määratud Evaj tasemele ja ka kandevõime tase, millele vastavad kõik FWD indeksid.

Katte liik	püsikate	
Indeks	a	b
SCI	5993,9	-0,625
BDI	6787,9	-0,717
BCI	3289,5	-0,764

7.2. OB_76 mnt nr 1 Tallinn-Narva km 70,4-78,5 (Viitna)

Projekteeritud uus tee Viitna möödasõidul 2010, ehitatud 2012 ja 10 aasta möödudes uus kate – kuumtaastamisega SMA 4 cm. Tee kulgeb põhiosas 1980ndatel väljaehitatud muldkehal.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.2. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_76
Mnt nr	1
Mnt nimi	Tallinn-Narva
Algus	1_2_10_6900
Lõpp	1_2_14_5600
Algus, km	70.480
Lõpp, km	78.514
Katte ehitamise kuupäev	17.07.2012
Uue katte ehitamise kuupäev	08.08.2022
Katte vanus	10
Katteehituse meetod	Uus kate killustikalusel
Katendiarvutuse versioon	KRAADE (Reaalprojekt) 2010

Ehitatud konstruktsioon

SMA 12 – 4 cm, AC 12 bin – 5 cm, AC 16 base – 6 cm, MUK 12/32 – 6 cm, graniit 0/63 (f2) – 20 cm, keskliiv (2 m/ööp) – 22 cm, peenliiv – 60 cm (20 cm tolmlilival, 60 cm tolmsel savililival) Aluspinnas peenliiv, tolmliliv, tolmsel savililiv.

Vajalik elastsusmoodul

Liiklussagedus oli 2006.a. 5376 a/ööp ja perspektiivne 2025.a. 12640 a/ööp. Koormus 1754 normtelge enamkoormatud rajal. $Evaj=61,3+67,6*\log(Q)$. Rajategur 0,45. Tugevustegur 1,0. Evaj (2025) 280,6 MPa. Arvutatud on ilma tugevusvaruta, killustiku E 280 ja liivad vastavuses 2001-52 a. juhendile. Kraade arvutustulemused erinevatel aluspinnastel: peenliilival 306 MPa, tolmlilival 285 MPa (III NP – 283), tolmsel savililival 280 MPa (III NP – 279).

Tänane (2023) liiklus AKÖL 6800 a/ööp, tänaste siirdeteguritega hetkekoormus 1221 normtelge, mis on oluliselt madalam kui prognoositud.

⁸ Kendra, A. et al (2011) Riigimaanteede ja sildade tugevdamise maksumuse hindamine tulenevalt 52 t veoste aastaringse liikumise võimalusest. 2011-18. Ramboll Eesti AS

Tänase koormuse (arvestades 1221 koormus Q15 tasemeks, täna kehtivate siirdeteguritega) puhul valitud konstruktsioon annab arvutusliku kandevõime 288,8 MPa (20 cm peenliiva tolmlilvalja 2 niiskuspaiakkonnas), kuid seda eeldustel, et liivad ei ole ühtlaseteralised ja kui kulumisvaru ei lisata. Luges ülemise sentimeetri kulumisvaruks, on arvutuslik kandevõime 270,8 MPa ja sellega üldelastsusmooduli puudujääk 3,4%.

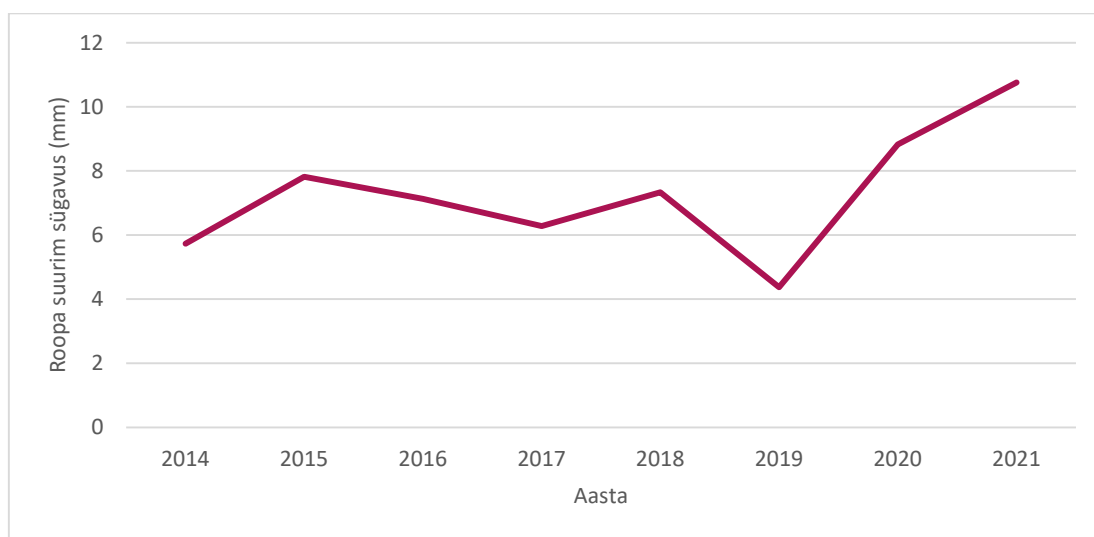
Kandevõime

2023 teostatud kandevõimemõõtmiste keskvaertuseks oli 376 MPa, miinimum 287 MPa (mõõdetud kokku 82 ristlõiget lõigus).

FWD indeksite piirvaertuseks projektse kandevõime järgi oleks vastavalt (SCI/BDI/BCI) 134/85/25 ning ükski kontroll ei viidanud probleemidele asfaldis (kuna 2023 oli kattekiht väga uus, indeksi max väärtus 96). Küll aga on kuues ristlõikes tuvastatud probleemne seisund aluse indeksis (30...60 cm), mis antud konstruktsioonis peegeldaks graniitkillustiku alakihi ja kogu keskliiva sügavust (indeksi max väärtus 109). Kolmas indeks 120...150 cm jääb antud juhul aluspinnasesse ja see on probleemne viies ristlõikes (indeksi max väärtus 29).

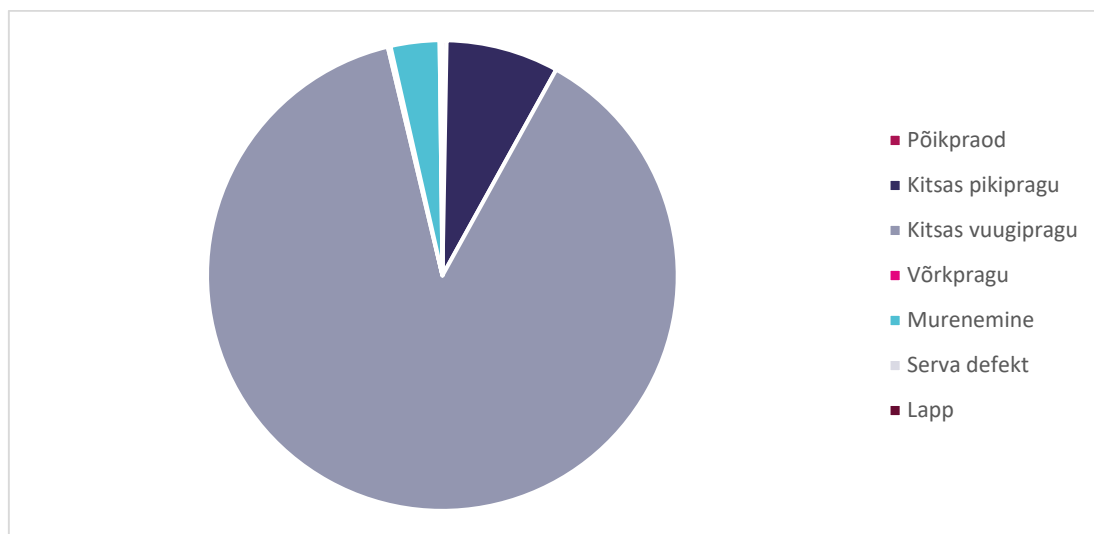
Suure tõenäosusega peegeldab indeksite analüüs ühtlaseteraliste materjalide kasutust keskliiva positsioonis ja hajuvust aluspinnase määratluses (juhuslikkus).

Roopad

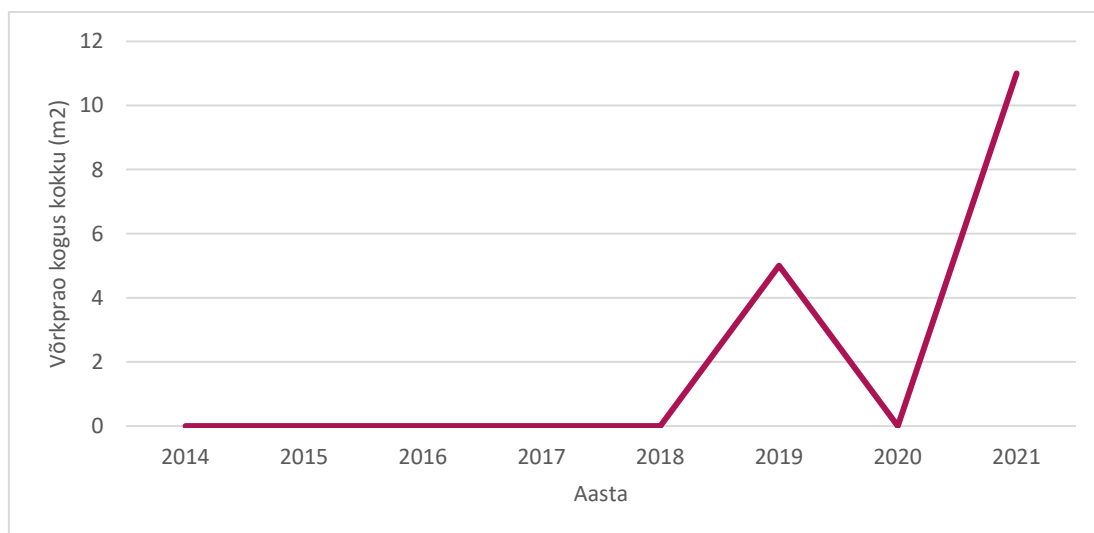


Joonis 7.1. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.2. Defektide jagunemine.



Joonis 7.3. Võrkprao areng ajas.

Kitsas vuugipragu on fikseeritud FWD indeksite järgi muldkeha probleemsel alal km 72,9-75,1 kuid defektide esinemissagedus 2024 aasta andmestikus on madal.

Liiklussagedus

Ehitusaastal (algne 2012) oli liiklussagedus 5388 a/ööp. 2022 (uue ülakihi ehitusel) oli liiklussagedus 6606 a/ööp (sh 626 autorongi). 2023 fikseeriti 6800 a/ööp (564 autorongi).

Muutus on tavapärane, 11 aastaga 22.6% kasvu.

Geoloogia

Katsetatud materjali lõimiseteguri uuring. Filtratsiooni määramised (2009) – Sojuzdornii, Reaalprojekt.

Peenosise %, <0,063 mm	8,5	2,5	5,6	1,3	5,1	3,0	2,3	2,3	6,4	6,3	1,0
Kf	0,99	3,54	1,65	8,5	1,69	4,05	13,84	5,98	0,59	11,69	5,25
Cu	2,53	3,82	2,60	4,24	2,35	4,52	3,94	3,49	6,74	13,8	1,7

Kokku 11 võrreldud proovist, millele tehti filtratsioonikatse (Sojuzdornii), osutusid neli ühtlaseteraliseks. Sel ajahetkel tulnuks need pinnased/materjalid lugeda mitte kesk- või peenliivaks, vaid ühtlaseteraliseks (E-75).

Filtratsiooni määramised (2010) – Sojuzdornii, Teede Tehnokeskus.

Peenosise %, <0,063 mm <0.063	3,5	2,9	3,1	3,9	4,3	4,8	3,8
Kf	2,6	6,2	1,7	6,5	2,6	2,2	2,0
Liik	GrSa	CSa	MSa	GrSa	FSa	CSa	FSa
Cu	4,99	3,90	2,51	5,6	2,27	11,8	1,56

Kokku seitsmest proovist filtratsioonikatses osutusid kolm ühtlaseteralisteks. Siit tulenevalt tuleb kahelda, kas materjalid vastasid ka sel ajahetkel kehtinud definitsioonidele, mis on aluseks katendiarvutuses.

Otseselt võttes ei ole antud kontekstis tegemist KAPi veaga, vaid süstemaatilise veaga materjalide omaduste määramises.

Ehitusprotsessis on insener K.Meschin juhtinud tähelepanu allikalisele või survelele põhjaveele km 70,0-73,8 – see ala haakub osaliselt FWD järelustega. Ehituse käigus otsustati ehitada drenaaž (projektimuudatus).

Andmete olemasolu

Projekti andmed elektrooniliselt adekvaatsed, kuid kirjeldatud ei ole eriteralise või ühtlaseteralise teemat. Täitedokumentatsioonist ei leidu liivade sõelkõveraid, et kontrollida, mida kasutati lisatud liivadena. Geoloogilised uuringud tuvastavad vaid enne ehitustööd fikseeritud materjalid. Samas on geoloogias/seletuskirjas kirjeldatud, et vana muldkeha on ehitatud 1980-ndatel aastatel, seega vähemalt selles osas peegeldavad geoloogia andmed sisulist olukorda.

7.3. OB_08 mnt nr 2 Tallinn-Tartu-Luhamaa km 20,163-25,587 (STEE1)

Analüüsiks on esitatud OÜ ViaVelo projekt Vaida-Aruvalla teelõigule aastast 2019, mis käsitleb maantee rekonstrueerimist (bussipeatused, veeärajuhtimine) ja katte taastusremonti. Algse 2002 projekti kohta andmeid ei ole edastatud. 2021 ehitus on olnud tarvilik ulatusliku võrkprao tõttu (möödetud kandevõime väärtus ühes ristlõikes koguni 89 MPa km 24,1), kui keskmine suhteliselt adekvaatne.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.3. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_08
Mnt nr	2
Mnt nimi	Tallinn-Tartu-Luhamaa
Algus	2_1_3_8100
Lõpp	2_1_4_4900
Algus, km	20,163
Lõpp, km	25,587
Katte ehitamise kuupäev	11.06.2002 / 02.08.2021
Uue katte ehitamise kuupäev	
Katte vanus	12 / 3
Katteehituse meetod	2021 tööd – uus kolmekihiline kate KS-alusel
Katendiarvutuse versioon	KAP 2.0

Ehitatud konstruktsioon

2021 anti käiku konstruktsioon: SMA 16 – 4 cm, AC 16 bin – 4 cm, AC 32 base – 7 cm, KS32 (teel segatud) – 18 cm, killustikalus 16/32 – 12 cm. Eraldav geotekstiil ja arvutuslik aluspinnas keskliiv (MSa) – seletuskirjas kirjeldatud kui Tüüp 1. Varasem konstruktsioon lagunes kiiresti, kuna asfaldi bituumeni penetratsioon oli madal, mistõttu tekkisid põikpraod. Need omakorda arenesid võrkpragudeks, sest killustiku all kasutati sõelmeid, mis kujunesid külmakerkelisteks.

Vajalik elastsusmoodul

Projekteerija on koostanud baasprognoosi (2040)⁹ alusel prognoosi, mille järgi 2017.a. andmete alusel on vajalik kandevõime 291 MPa ning 2039.a. 300 MPa. Seejuures ei ole arvestatud 20 aasta summaarse koormuse taandamisega, mis peaks võtma arvesse asjaolu, et KAP arvutused tuginevad 15-nda aasta koormussagedusel. Kasutatud on arvutuslikku koormussagedust 3039 normtelge 2039. aastal, kuid tegelikult oleks pidanud võtma 20 aasta summaarse koormuse ja jagama selle konstandiga 5000 – sel teel tulnuks arvutuslik koormus orienteeruvalt tasemele 3862 normtelge ja sellele vastavalt vajalik kandevõime tasemele 307 MPa. Kulumisvaru arvestus on korrektne (KAPis on eeldatud ülakihiks 3 cm).

Kandevõime

Mõõtmised on tehtud vahetult pärast tee liiklusele avamist 2021. Keskmine kandevõime 497 MPa, minimaalne tulem 367 MPa. FWD indeksite piirväärtused 120/77/23 ja tegelikud maksimaalsed indeksi väärtused 57/54/21 näitavad, et kihid käituvad adekvaatselt. Hinnates just alakihi indeksi seisu, siis tuleb esile tuua nõrgemad alad km 20,5-21,0 ja viimast kilomeetrit 24,4-25,4, kus nii aluse kui katte indeksid on kõrged, kuid nagu öeldud, on tulemus kaugel defektse piirist. Teelõigu km 20,8-20,9 BCI indeks siiski viitab nõrgale aluspinnasele.

⁹ Metsvahi, T. (2007) Liikluse baasprognoos Eesti riigimaanteeledele aastaks 2040. Lõpparuanne. 2007-23/L. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut

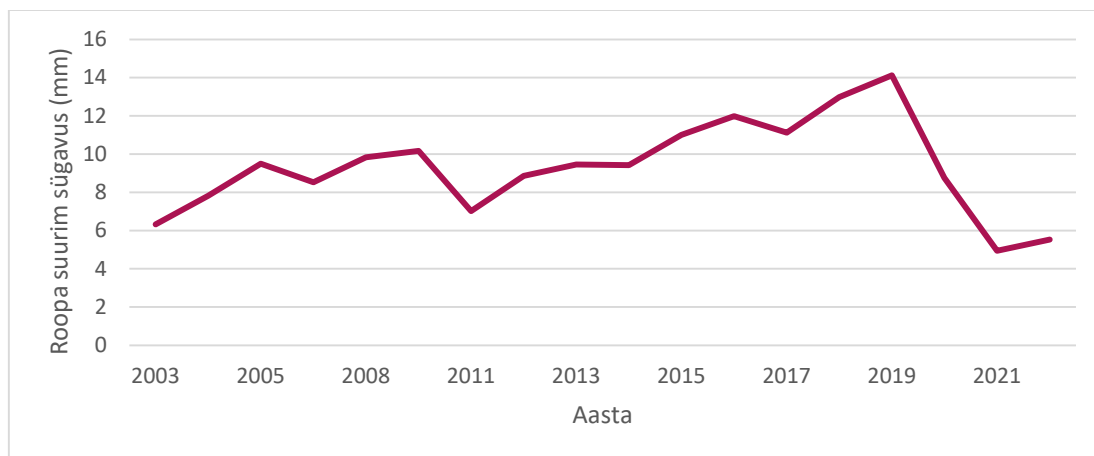
Liiklussagedus

2017.a. liiklussagedus oli 11402 a/ööp (arvutuslik koormus 2248). 2023.a. tase oli 14003 a/ööp (VAAB 413 ja AR 1024), mis vastaks tänases tasemes 2229 normteljele (isegi madalam kui projekti eel). Kuue aasta liikluse kasv on olnud 22,8%, mis on väga kõrge (sõiduautode osa) – tegemist on Tallinna lähialaga ja põhjuseks tõenäoliselt nii valglinnastumine kui ka Kose-Mäo 2+2 teelõigu valmimine. Eeldusest madalam koormus võib paljuski tuleneda majandusseisundist ja ka idakaubanduse madalast tasemest sõjategevusega seotud piirangute tõttu.

Geoloogia

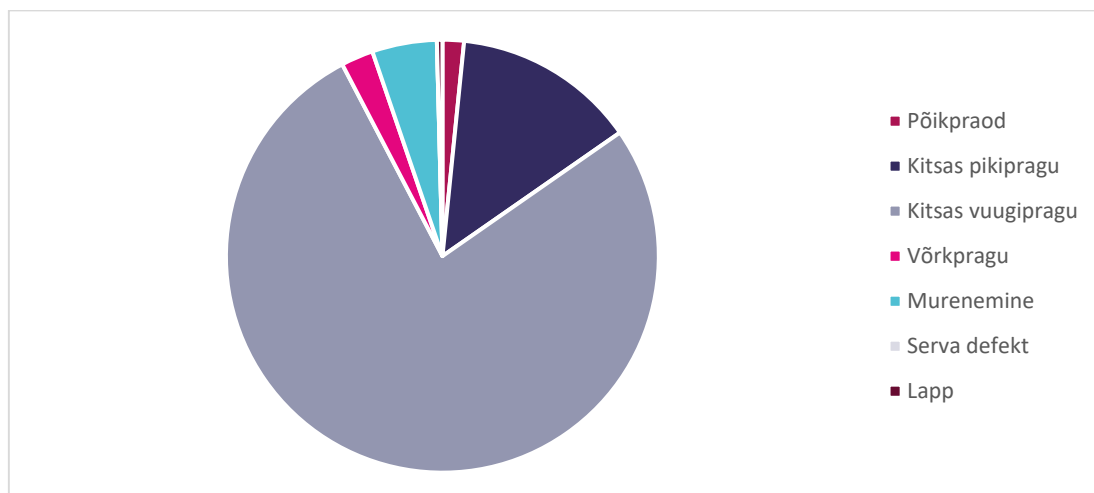
Geoloog on hinnanud keskliiva lõimiseteguriks 2,3...3,7 ja materjali ühtlaseteraliseks. Projekteerija on kasutanud aluspinnasena eriteralise keskliiva parameetreid. Katendi projektis on käsitletud ka alternatiive, muuhulgas ka eeldust, et aluspinnas on ühtlaseteraline, kuid valitud konstruktsioonil seda eeldust ei ole kasutatud.

Roopad

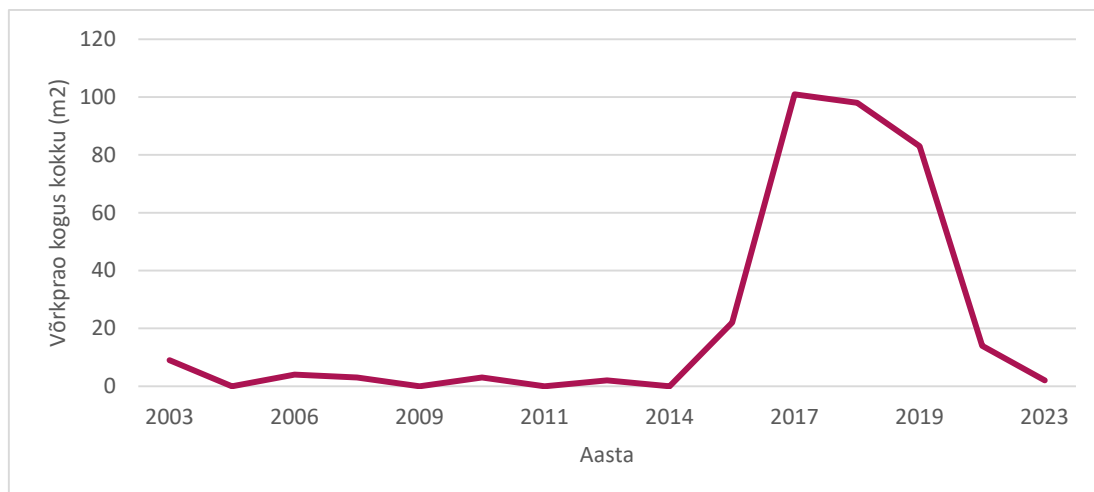


Joonis 7.4. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.5. Defektide jagunemine.



Joonis 7.6. Võrkprao areng ajas.

Tipp hetkel oli antud lõigul kogu lõigu peale kokku 100 m² võrkpragu, mis arenes välja 9 aasta jooksul.

Kommentaar

Veidi küsitav on anda hinnangut projektile, mille alusel ehitatud tee on kasutuses olnud vaid kolm aastat. Adekvaatsem oleks hinnata seda, kas eelnenud konstruktsioon, mis ehitati 2002.a., oli korralik. Hetkel tuleb vaid tõdeda, et kuigi ka selles projektis on vigu, on hetkekoormused prognoositust oluliselt madalamad ja ilmselt seetõttu ei ole veel olulisi probleeme tuvastatud.

Täitedokumentatsiooni ei ole, ka projekti andmed on saadud otse projekteerijalt.

7.4. OB_81 ja OB_82 mnt nr 2 Tallinn-Tartu-Luhamaa km 26,876-39,790

Teelõik km 27-40 Aruvalla-Kose on ehitatud 2013. Analüüs tugineb eelprojektil, sest tellija esitas selle elektrooniliselt.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.4. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_81 ja OB_82
Mnt nr	2
Mnt nimi	Tallinn-Tartu-Luhamaa
Algus	2_1_5_1000 ja 2_2_5_1000
Lõpp	2_1_6_6900 ja 2_1_6_6900
Algus, km	26,876
Lõpp, km	39,790
Katte ehitamise kuupäev	01.09.2013
Uue katte ehitamise kuupäev	
Katte vanus	11
Katteehituse meetod	Kolmekihiline asfaltkate KS või killustikalusel
Katendarvutuse versioon	Tõenäoliselt KRAADE

Eeldatavalt ehitatud konstruktsioon

Teeregistri andmete põhjal on teelõik km 27-33 ehitatud stabiliseeritud alusele ja km 33-39 killustikalusele. Eelprojekti (2006-2008) on viidatud kolmele eri tüüpi konstruktsioonile. Teeregistris puudub informatsioon katendikihtide kohta km 27-40 lõigus.

Eelprojekti alusel saab järelda, et tee esimeses osas peaks aluseks olema KS, järelkult tüüp C: SMA 16 – 4 cm, AC 16bin – 5 cm, AC 32base 7 cm, KS32 – 20 cm. Muldkehaks on ette nähtud kruusliiv 30 cm. Tõenäoline konstruktsioon tee teises osas SMA 16 – 4 cm, AC 16bin – 5 cm, AC 32base – 6 või 7 cm ning vastavalt kahekihilise killustikaluse paksus 28 või 25 cm. Mõlemal juhul on ülakiht 12 cm graniitkillustikust. Muldkehaks on ette nähtud kruusliiv 25 cm.

Vajalik elastsusmoodul

Vastavuses liiklusprognosisega aastaks 2025 on koormussageduseks hinnatud 1754 normtelge enamkoormatud sõidurajale. Vajalik kandevoime km 26,7-37,2 on 281 MPa ja km 37,2-40,0 on 278 MPa. Eelprojekt eeldas katendi 15-aastast tööiga.

Kandevoime

Arvestades kokku mõlemad sõidusuunad, saame keskmise kandevoime väärtuseks 389 MPa, kuid nõrgem tulemus oli vaid 248 MPa ja alla vajalikku taset (281 MPa) on kokku kolmes mõõtepunktis esimesel niidil (km 38,9-39,7) ja kolmes punktis teisel niidil (hajutatult). FWD indeksite piirväärtused on vastavalt 133/84/25 ja maksimaalsed tuvastatud väärtused 170/114/20, millest võiks järelda, et probleemid on ülemises 60 sentimeetris, ehk seega muldkeha ülahis, kus peaks olema kruusliiv. Milliste pinnaste ja materjalidega seal tegelikult tegemist on, võiks selguda täitedokumentidest, mida pole aga töö koostajatele esitatud (ei leitud ka arhiivist).

Liiklussagedus

Eelprojekti liiklusinfo tugineb 2007 jaanuari loendusel. Selle järgi on leitud aasta 2025 koormussagedused piki trassi vahemikus 1592...1752 normtelge enamkoormatud rajale, arvestades 2008.a. kehtinud juhendmaterjale. Pole teada, millist tarkvara on kasutatud, sest viidet ei ole KRAADE kasutusele ja selleks ajaks ei olnud veel KAP avalik.

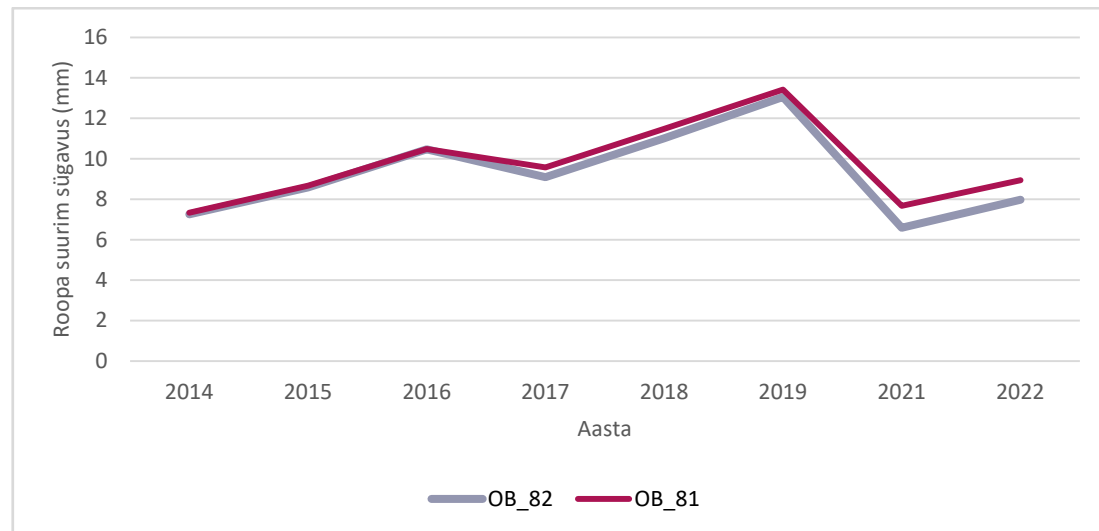
TTÜ koostatud liiklusuuring tugines 2007.a. liiklussagedustele, mis ulatusid kuni 8093 a/ööp tasemeni ja keskmise kasvu stsenaariumi alusel prognoositi liiklussagedus aastaks 2010 kuni 9438 a/ööp, aastaks 2025 kuni 25086 a/ööp ja aastaks 2030 kuni 28734 a/ööp. Koormusprognosis aastaks 2025 oli 1754 normtelge I klassi tee enamkoormatud sõidurajale.

2023.a. liiklussagedused uuritava lõigul on vahemikus 14003-14186-11165 a/ööp. Arvutuslik ühe aasta koormussagedus võiks seejuures olla vastavalt 2229-2331-2422 normtelge. Töö koostajad juhivad tähelepanu asjaolule, et katend peaks olema projekteeritud 15 aastaks maksimaalsele koormusele kuni 1754 normtelge.

Geoloogia

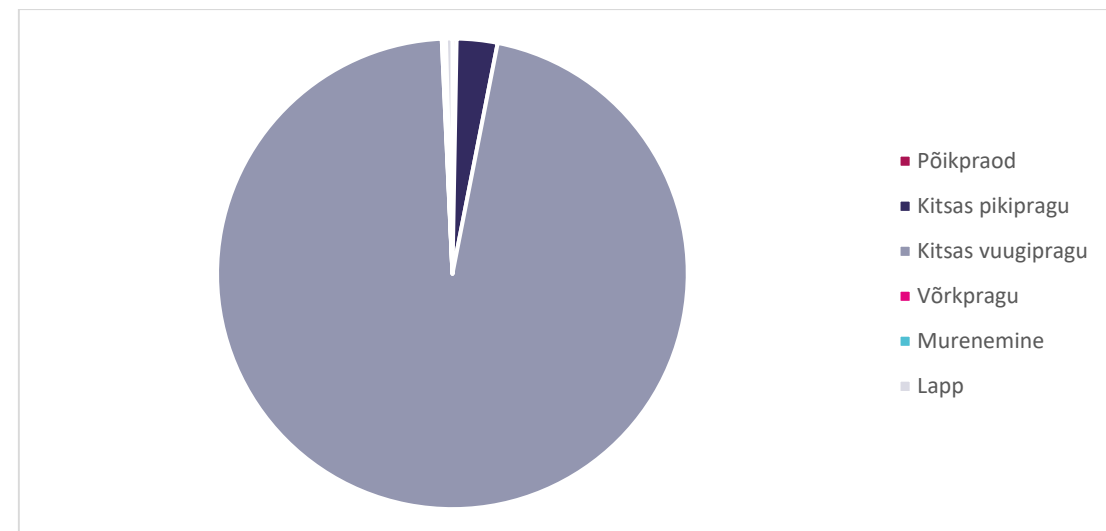
Uuring ei sisalda viiteid sõelkõveratele, seega kontrollimise võimalus puudub. Aluspinnasena on eeldatud trassi esimeses osas (km 26,7-30,5) kruusast jämedat saviliiva ja teises osas (km 30,5-40,0) põhiliselt kruusa.

Roopad

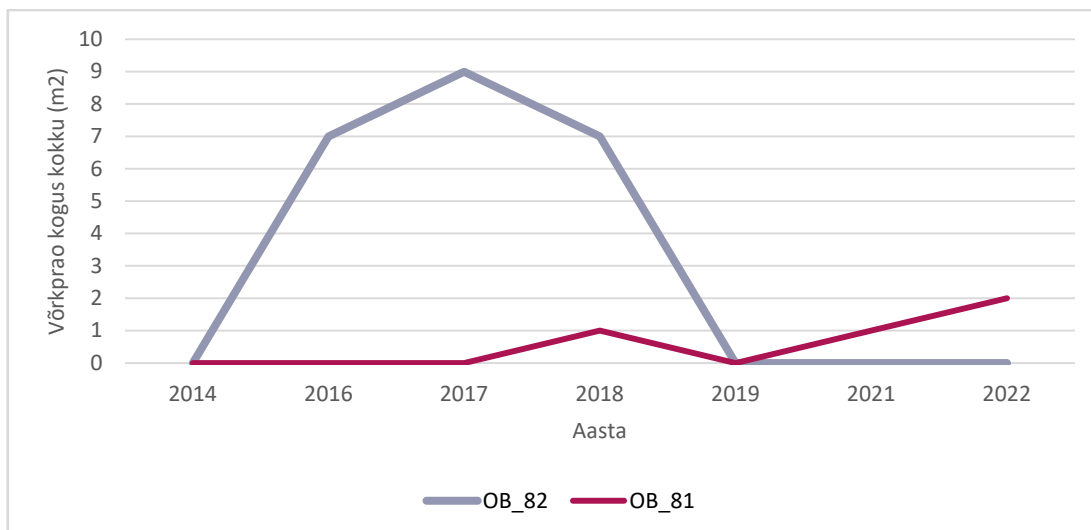


Joonis 7.7. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.8. Defektide jagunemine.



Joonis 7.9. Vorkprao areng ajas.

Kommentaar

Analüüs on teostatud eelprojekti andmetel ja täitedokumente ei ole analüüsitud, kuna neid ei tuvastatud ei digitaalses ega paberarhiivis.

7.5. OB_34 mnt nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 36,721-42,474

Objektide valiku perioodil oli eeldatud, et analüüsitakse nn vana Pärnu maantee lõiku, millel ei ole enam regulaarset suurt liiklust ja mis on praeguseks teeregistris kirjas numbriga 11430 Kustja-Kernu tee. Paraku puuduvad selle teelõigu andmed teeregistris. Seetõttu on antud lõigu uuringufookus uuel 2+1 sõidurajaga maanteelõigul.

Seoses liikluse ümbersuunamisega uuele tee, pole süsteemselt lahendatud andmete ühildamine.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.5. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_34
Mnt nr	4
Mnt nimi	Tallinn-Pärnu-Ikla
Algus, km	36,721
Lõpp, km	42,474
Katte ehitamise kuupäev	14.07.2020
Uue katte ehitamise kuupäev	
Katte vanus	4
Katteehituse meetod	Uus asfaltkate kompleksstabiliseeritud alusel
Katendarvutuse versioon	KAP 2.0

Ehitatud konstruktsioon

Teeregistris puudub informatsioon katendikihtide kohta. Eeldatavalt on ehitatud projekti kohaselt. SMA 16 – 3+1; AC 20 surf – 4+1; AC 32 base – 7 cm; KS32 – 15 cm; paekillustik 20+5; tehnoloogiline kiht paesõelmetest 5 cm, Tm_105 – 98 cm. Projektis on liivpinnastele esitatud sõelkõveranõuded ülaosas f2,5 ja alaosas f6.

Vajalik elastsusmoodul

Projekt aastast 2016 nägi ette taandatud koormussageduse (Q15) 6499 normtelge enamkoormatud sõidurajale ja Evaj taseme 319 MPa. KAP arvutuslehed puuduvad digiarhiivis ja paberarhiivis.

Kandevõime

FWD mõõdetud keskmine kandevõime on 601 MPa, minimaalne mõõtetulem 421 MPa, mis on selgelt parem kui projekteerija ette nägi.

FWD indeksite piirväärtused on 109/71/21 ning reaalsed maksimaalsed 48/47/13, seega kogu lõigul ei ole tuvastatud märkimisväärsed probleemalasid.

Liiklussagedus

2014.a. on OÜ Stratum koostanud liiklusuuringu ning selle alusel on prognoositud liiklus- ja koormussagedus aastani 2035 ja aastani 2039. 2014.a. loenduse järgi läbis teelõiku 7012 a/ööp ning madal prognoos 2039. aastaks oli vahemikus 4824-5277 normtelge enamkoormatud sõidurajale (AKÖL 10624...12540 a/ööp) ja TSM piirnormi järgi 2035. aastaks 3870...4235 normtelge enamkoormatud sõidurajale (AKÖL 8888-10498 a/ööp).

Liiklussagedus 2023.a. oli 8844-8471 a/ööp ning raskeliikluse järgi koormussagedus (rajateguriga 0,5) konkreetsel aastal keskmiselt 3859 normtelge kuni km 40,77 ja sealt edasi 3182 normtelge. Siit võib järeldada, et TSM normi (M106)¹⁰ järgne liiklus (ja koormus) on saavutatud aastaks 2023 ja juhul, kui see oleks dimensioneerimise aluseks, laguneks tee väga kiirelt.

Geoloogia

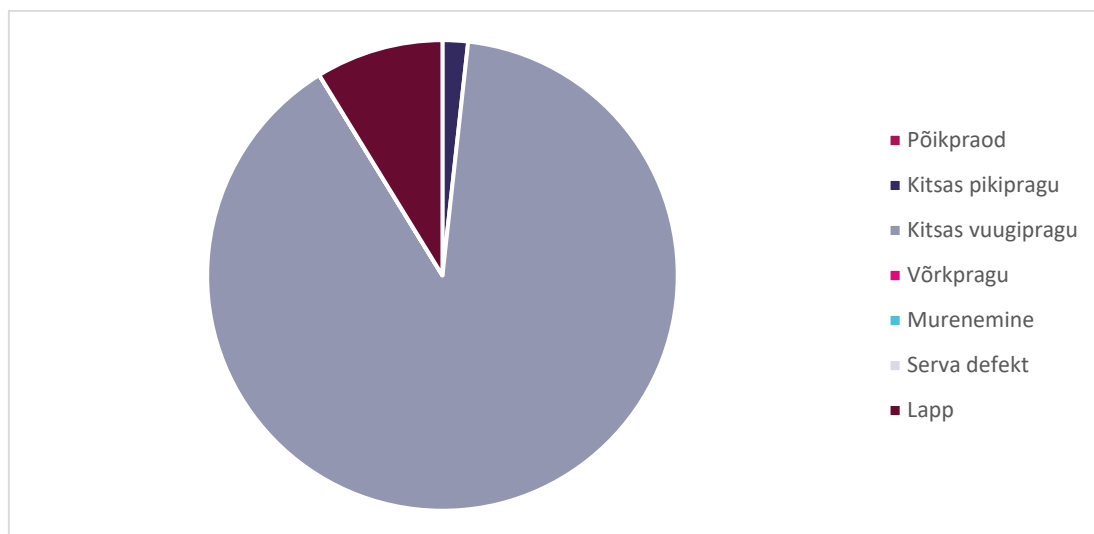
Informatsioon puudub.

Roopad

Olemas on viimane roopamõõtmise tulemus ilma dünaamikata. Seetõttu puudub ka vajadus graafiliseks esituseks.

¹⁰ MTM määrus nr 106, vastu võetud 05.08.2015. Tee projekteerimise normid. RT I, 07.08.2015, 14

Defektid



Joonis 7.10. Defektide jagunemine.

Kommentaar

Tegemist on suhteliselt uue teekonstruktsiooniga, mis on projekteeritud arvestades reeglipäraselt 15-ndaks aastaks taandatud koormussagedusega.

7.6. OB_71 ja OB_77 mnt nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 124,872-130,491

Käesolevas peatükis on analüüsitud infot Pärnu maantee mõlema niidi kohta Pärnu linnalõigul (Ehitajate tee). Kuna konstruktsiooni tervikuna ei uuendatud, piirduti ainult kulumiskihi remondiga, siis ilmselt ei muudetud midagi sisulist KAPI kontekstis. Projekt on aastast 2009.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.6. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_71 ja OB_77
Mnt nr	4
Mnt nimi	Tallinn-Pärnu-Ikla
Algus	4_1_24_300 ja 4_2_325_0
Lõpp	4_1_25_5300 ja 4_2_25_5300
Algus, km	124,872
Lõpp, km	130,491
Katte ehitamise kuupäev	05.09.2012 (uus kate killustikalusel)
Uue katte ehitamise kuupäev	11.08.2020 (vaid ristmikud)
Katte vanus	12 / 4
Katteehituse meetod	2020 võeti ette vaid roopa taastamine, ei arvatud
Katendarvutuse versioon	Ei ole tuvastatud, kuid võib eeldada KAP v0.9 kasutust

Ehitatud konstruktsioon

SMA 12 – 4 cm, AC 16 bin – 5 cm, AC 16 base – 5 cm, MUK 12/32 – 8 cm, graniitkillustik 0/63 – 20 cm, geotekstiil, keskliiv Kf 3 m/ööp – 20 cm ja keskliiv Kf 0,5 m/ööp – 50 cm. Sellega seondub mitu muret, esiteks, liivad on ühtlaseteraliseid ja kuigi katendiarvutust analüüsiks ei leitud, on väga tõenäoline, et projekteerija ei arvestanud ühtlaseteraliste liivadega. Teiseks, piirkonnas on suhteliselt kõrge veetase, mida ei ole piisavalt alandatud ning kolmandaks, on leitud, et AC base kihis (mis on kahjuks väga peeneteraline antud koormuse kohta) oli bituumenisisaldus liiga kõrge (nõutust madalama bituumenisisalduse korral olnuks trahvide risk, mistõttu riskide kahandamiseks suurendati bituumenisisaldust, mis omakorda tõi kaasa madala deformatsioonikindluse). Projekteerija ei olnud arvestanud staatilise koormusega ning ristmike piirkonnas asendati alus tsementstabiliseeritud alusega.

Vajalik elastsusmoodul

292 MPa vastavalt koormusele 2589 normtelge enamkoormatud sõidurajale.

Arvestades tänase liiklussagedusega ja eeldatava ainult 15-aastase tööeaga, peaks vajalik elastsusmoodul olema (koormusel 3898 normtelge) 307 MPa. Katendiarvutus üheselt tänasele koormusele (mis teoorias vastaks katendi viimasele tööaastale, lugedes seejuures ülemise sentimeetri kulumisvaruks ehk SMA paksuseks 3 cm), näitab arvutuslikku kandevõimet 291,3 MPa, mis vastab ka projektsele, eeldusel et 70 cm keskliiva loetakse mõõdukalt ühtlaseteraliseks ja selle all paikneks T_m_{75} ehk liiv, mille C_u on alla 2.

Kui võtta eelduseks, et nimetatud keskliiv ($C_u < 2$) loetakse aluspinnaseks, on kandevõime 256 MPa, kui seejuures eeldada C_u 2..3 vahemikku, siis küll 305 MPa, kuid mõlemal juhul on puudujääk kandevõimes ja lubatud piirid ületatakse nihkepingetes liivakihis (ehk aluspinnases).

Kandevõime

FWD mõõtetulemuste keskväärtus on 372 MPa, kusjuures madalaim väärtus on 272 MPa (teelõik km 132,8-132,9). FWD indeksiite piirväärtused on 125/80/23 ning fikseeritud maksimaalsed indeksi väärtused vastavalt 83/78/24. See peegeldab esiteks asjaolu, et katte ülakiht on asendatud vähemalt mõõtealas (sõidujäljes) ning alakihtide seisund on veel piiripealselt vastavuses indeksiite tulemustega.

FWD indeksiite võrdlus on teostatud lähtuvalt projektsest kandevõimest, seega kui võrrelda konstruktsiooni vastavust tänastele koormustele, on nimetatud piirväärtused madalamad ja hinnang teekonstruktsiooni vastavusele tänastele tegelikele koormustele või veel enam, lootusele, et kogu teekonstruktsioon kestaks kauem, kui eeldatava tööea 15 aastat ehitusest ehk 2027-nda aastani, on väga kriitiline.

Liiklussagedus

Projekti aluseks on TTÜ 2005.a. koostatud liiklusuuring. 2005 liiklussageduse tasemed trassil on vahemikus 10731-12980 a/ööp (Papiniidu sillal 21314 a/ööp) ja prognoos aastaks 2030 vastavalt vahemikus 22468-27171 a/ööp (sillal 45157 a/ööp).

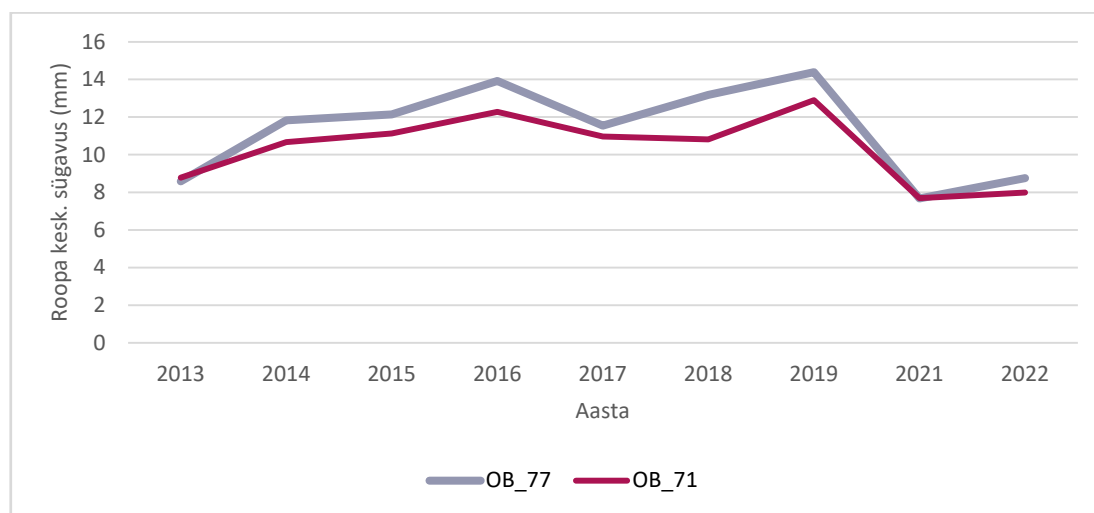
Katend on projekteeritud perspektiivsele liiklusele aastaks 2025.

Tänaseks (2023) on liiklussagedus teel (AKÖL) ca 12942 a/ööp ning vastavaks 2023 aasta koormussageduseks tuleb lugeda (tänapäevaste siirdeteguritega) 3898 normtelge. Siit tulenevalt on konstruktsioon tugevalt aladimensioneeritud, kuid see on just raskeliikluse kasvu ja siirdetegurite tõusuga seotud, sest liiklussageduste tõus on tagasihoidlik võrreldes 2005.a. tasemega.

Geoloogia

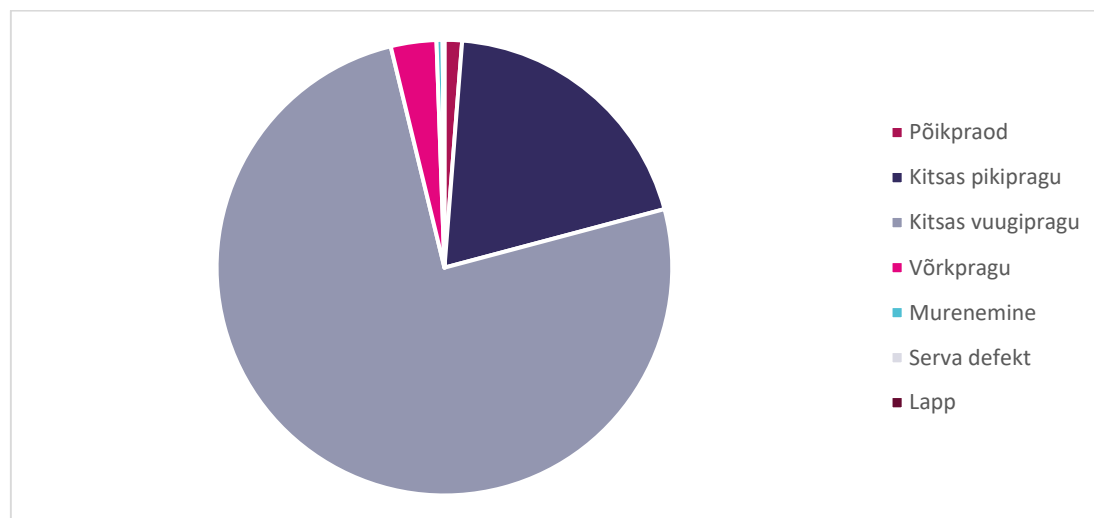
Otsene viide geoloogia aruandele puudub, kuid vastavalt seletuskirjale on paigaldatud geotekstiil killustiku alla ja seda on põhjendatud vajadusega eristada ühtlase terastikulise koostisega liiv (luiteliiv) killustikust 0/63.

Roopad



Joonis 7.11. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.12. Defektide jagunemine.

Kommentaar

Analüüs ja hinnangud tuginevad projektile ilma katendiarvutusest, puudub täitedokumentatsioon, et hinnata, kas tegelikult kasutatud materjalid vastavad projektis toodud eeldustele. Projekti seletuskirjas on toodud, et tegemist on ühtlaseteralise luiteliivaga, kuid sellegipoolest on nimetatud materjali keskliivaks, mitte juhendikohaselt ühtlaseteraliseks liivaks.

7.7. OB_67 mnt nr 60 Pärnu-Lihula km 0,0-2,872

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.7. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_67
Mnt nr	60
Mnt nimi	Pärnu-Lihula
Algus	60_1_1_0
Lõpp	60_1_1_2872
Algus, km	0,0
Lõpp, km	2,872
Katte ehitamise kuupäev	02.09.2012
Uue katte ehitamise kuupäev	01.08.2024
Katte vanus	12
Katteehituse meetod	2012 Uus pealiskihht olemasolevale kattele (SMA 12) km 0-0,982 2024 Uus pealmine kihht freesitud kattele (AC 12 surf) km 0,982-1,033 2012 Uus pealiskihht olemasolevale kattele (SMA 12) km 1,033-1,54 2024 Uus pealiskihht freesitud kattele (AC 12 surf) km 1,54-1,591 2012 Uus pealiskihht olemasolevale kattele (SMA 12) km 1,591-2,872
Katendiarvutuse versioon	Teadmata

Konstruksioon

SMA 12 või AC 12 surf – 4 cm, AC 16 bin – 5 cm, MUK – 8 cm, paekillustik 0/63 f5 – 21 cm, geotekstiil, keskliiv (Kf 2 m/ööp) – 49 cm. Teelõigul km 1,26-1,36 on kõrge veetase ja liivakihi paksust suurendada 65 cm-ni.

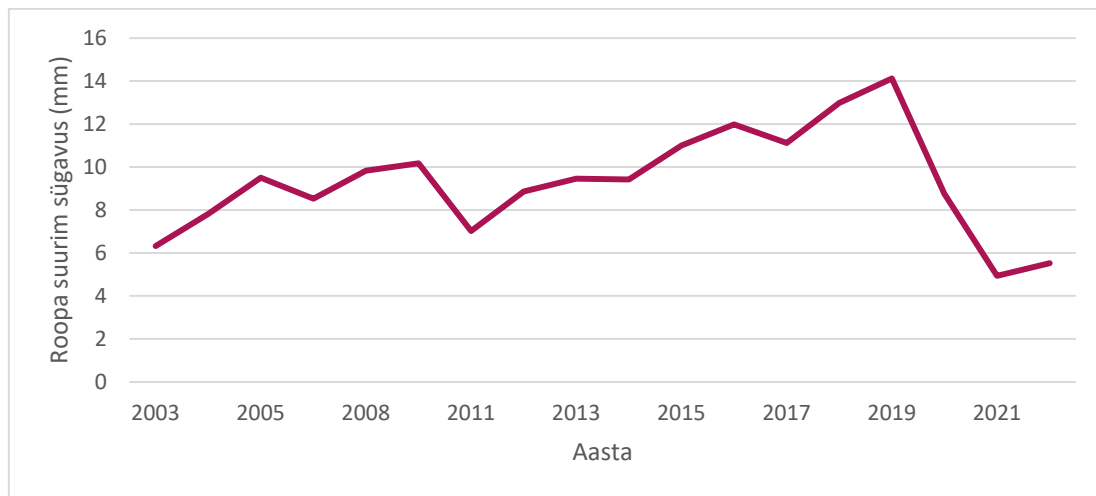
Vajalik elastsusmoodul

Projekt aastast 2009, prognoositud 2005.a. liikluse baasil aastaks 2025 (katendi eeldatav kasutusea lõpp) koormussagedus kuni 881 normtelge ja sellele vastav elastsusmoodul III klassi teena **260 MPa**.

Kandevõime

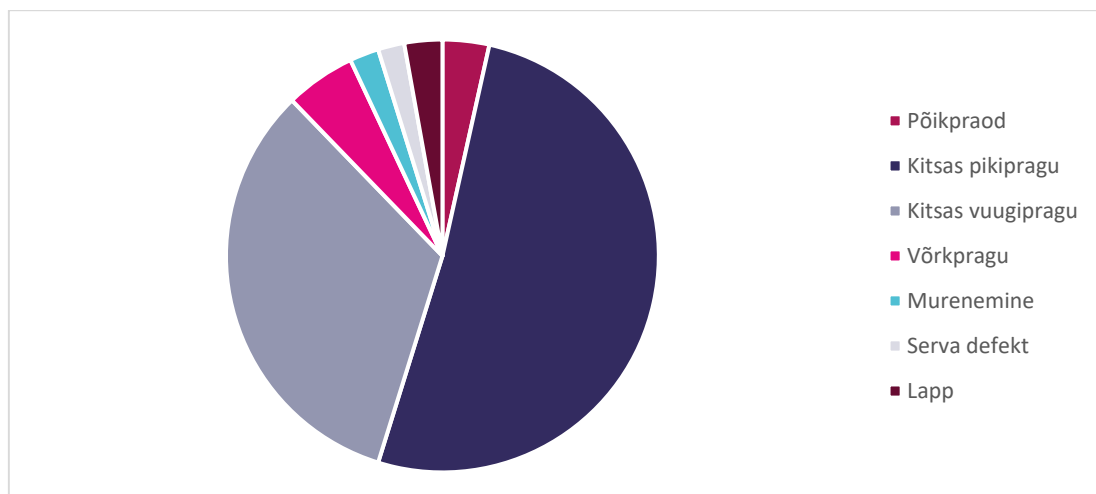
FWD mõõtmiste keskväärtus on 317 MPa, nõrgemad alad 250 MPa (3 mõõtepunkti ehk ristlõiget). FWD indeksite piirväärtus vajaliku kandevõime suhtes on 151/94/27, kuid tegelikud maksimaalsed väärtused vastavalt 85/87/23, mis näitab, et tee peaks olema suhteliselt heas korras. Tõsiasi on see, et kõigis kolmes ristlõikes, mille kandevõime on vajalikust madalam, on indeksite väärtused piirväärtusele väga lähedased (ligikaudselt km 0,4-0,5, km 1,8-2,0 ja km 2,7-2,8).

Roopad

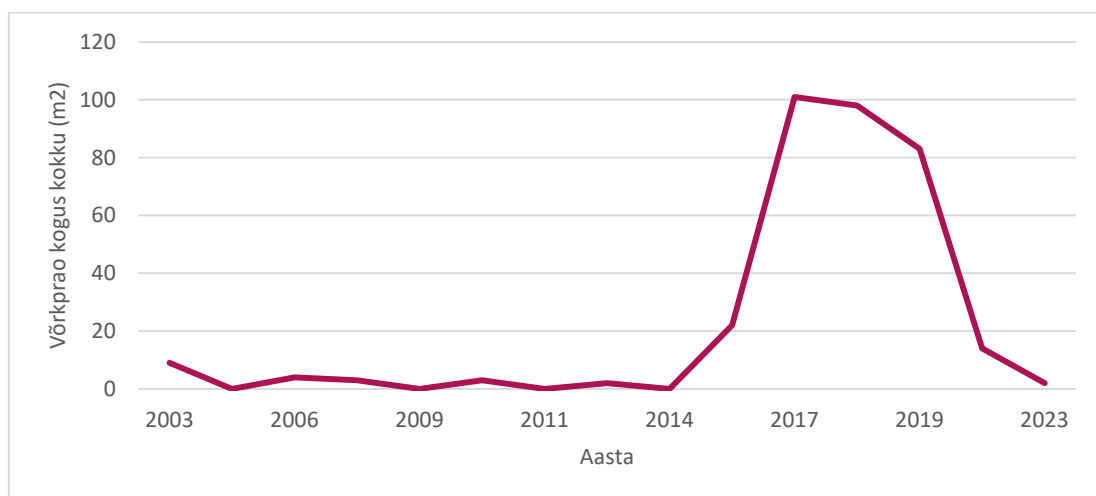


Joonis 7.13. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.14. Defektide jagunemine.



Joonis 7.15. Võrkprao areng ajas.

Liiklussagedus

Projekti järgi on perspektiivne liiklussagedus aastaks 2030 vahemikus 3818...2250 a/ööp (kuni Lihula maanteeeni). Tegelik 2023.a. liiklussagedus oli 6368 a/ööp, raskeliikluse (200+398 a/ööp) järgi peaks praegu koormussagedus olema 1+1 ristlõike korral 1117 normtelge enamkoormatud sõidurajale. Siit tulenevalt võib järeldada, et algselt 2027. aastani kavandatud katendi ressurss on tänaseks ammendunud suuremate koormuste tõttu.

Geoloogia

Andmetest on leitud vaid puurtulbad, mille järgi on valdavaks aluspinnaseks tolmlüiv, selle all ja kohati ka pinnal, pehme kuni voolav savi. Sõelkõveraid esitatud ei ole, seega pinnaste liigitust kontrollida ei ole võimalik.

Kommentaariid

Teostusdokumente ei tuvastatud ei digitaalsel ega paberkujul.

7.8. OB_91 mnt nr 8 Tallinn - Paldiski km 18,662-24,762

Hüüru-Kumna teelõigu rekonstrueerimine on projekteeritud 2011 liiklusloenduse andmete alusel aastal 2011.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.8. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_91
Mnt nr	8
Mnt nimi	Tallinn-Paldiski
Algus	8_1_3_200
Lõpp	8_1_3_6300
Algus, km	18,662
Lõpp, km	24,762
Katte ehitamise kuupäev	01.11.2014
Uue katte ehitamise kuupäev	24.07.2023 – kuumtaastamine (remix) AC 12 surf
Katte vanus	10
Katteehituse meetod	Kahekihiline asfaltkate KS-alusel
Katendiarvutuse versioon	KAP v1 (2011)

Ehitatud konstruktsioon

Kavandatud on konstruktsioon kahes variandis. Baasiks on AC 12 surf – 4 cm, AC 32 base – 7 cm ja KS32 – 18 cm, mille all paekillustik 16/32 – 12 cm (paigaldus koos stabiliseeritava killustikuga). PK 44 ... PK 51 on killustiku alla kavandatud 20 cm purustatud kruusa.

Vajalik elastsusmoodul

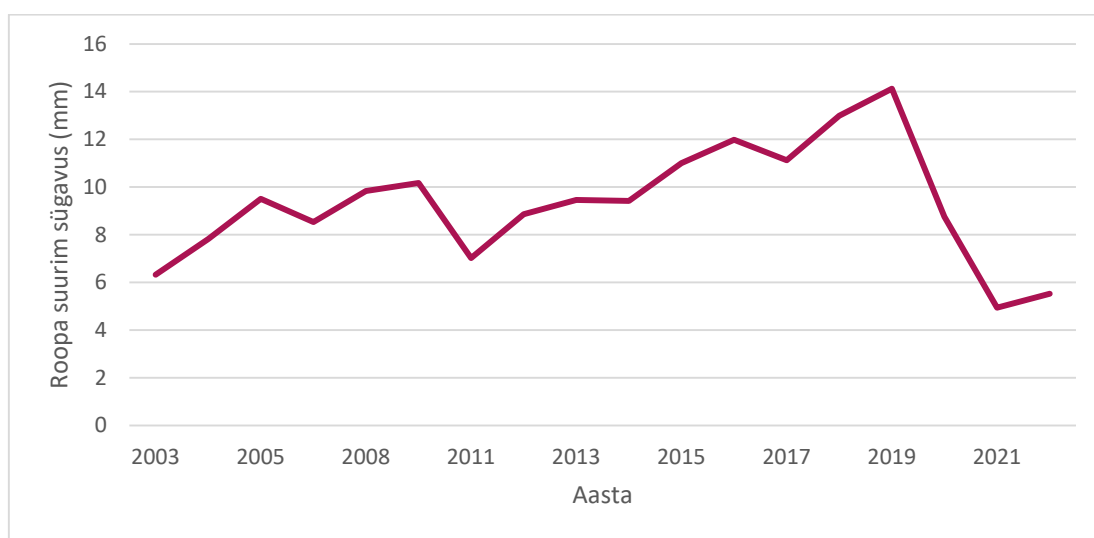
Prognoosi järgi on vajalik elastsusmoodul **255 MPa**. Katend on arvestatud 15-aastase kasutuseaga (seega kuni 2029).

Tänase koormuse järgi peaks (15-aastase kasutusea juures) koormus olema 576 normtelge (kuni km 22,3) ehk 635 normtelge (sealt edasi). Tegemist on II klassi liiklussagedustega, seega Evaj tänase liikluse järgi on 252 MPa, mis vastab ka katendiarvutustele.

Kandevõime

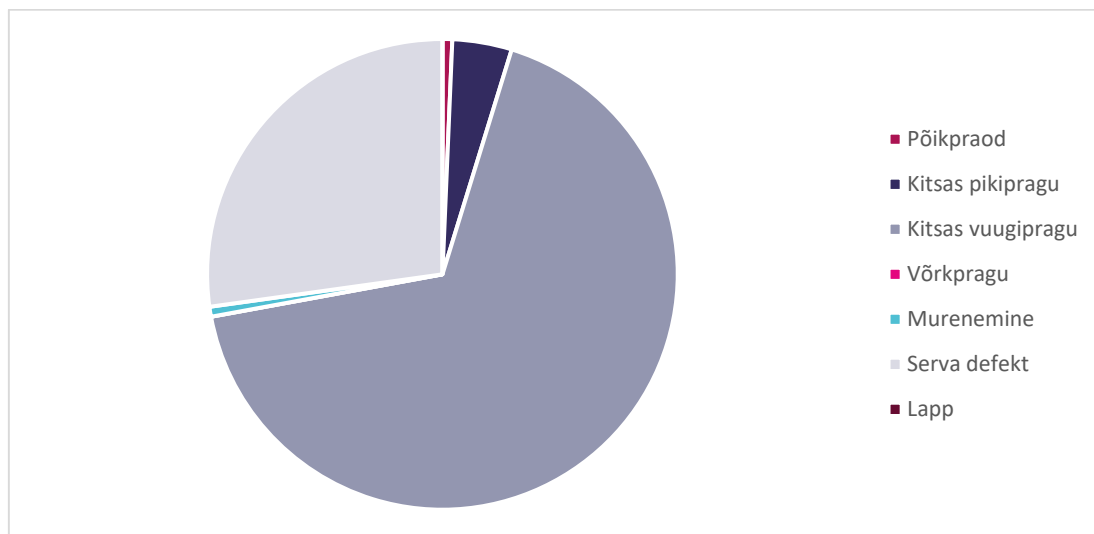
FWD mõõtmiste keskmine tulemus 421 MPa, minimaalne 285 MPa, mis on suurem kui projektis eeldatud miinimum, kuid indeksite osas on probleeme, sest arvestades, et vajaliku kandevõime järgi indeksite piirväärtused on 156/97/28, siis reaalsed maksimumid on suuremad vastavalt 164/105/16. See tähendab, et muldkeha või aluspinnase tasandil probleeme pole, kuid katte ülakihtides siiski on.

Roopad

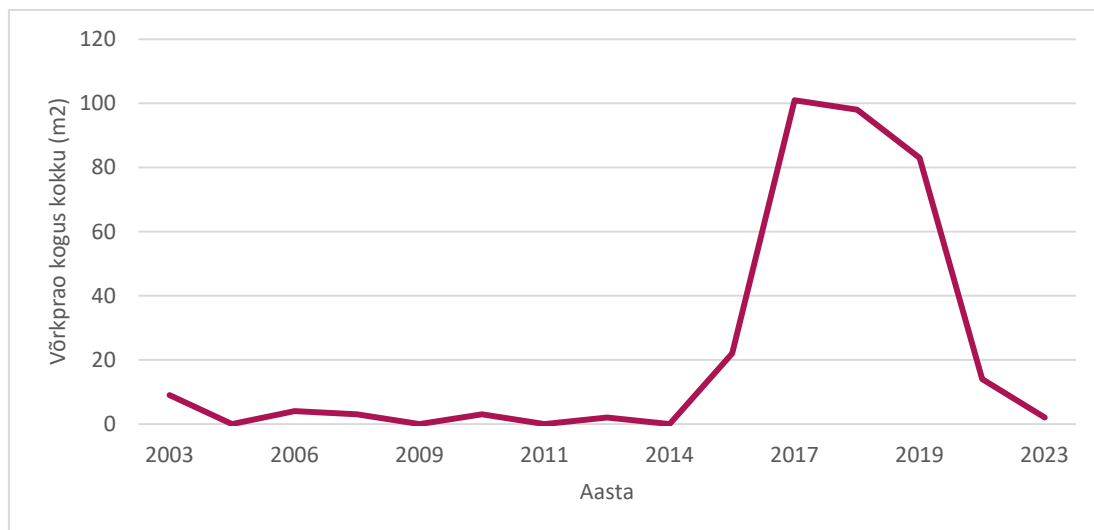


Joonis 7.16. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.17. Defektide jagunemine.



Joonis 7.18. Võrkprao areng ajas.

Liiklussagedus

Liiklusprognoosi alusel eeldati 2027.a. liiklussageduseks keskmise prognoosiga 13024 a/ööp ja 631 normtelge, 2032. aastaks vastavalt 15018 a/ööp ja 545 normtelge. Liiklus ei ole kasvanud prognoositud mahus, kuid tänane arvutuslik koormus on väga lähedane projekteerija arvestatud prognoosile aastaks 2027.

2023.a. liiklussagedus oli 8472 a/ööp kuni km 22,3 ning sealt edasi 9177 a/ööp.

Geoloogia

Seletuskirja järgi on aluspinnaseks valdavalt kerge saviliiv. Esitatud dokumendid ei sisalda geoloogia terviklikku aruannet, seega sõelkövera järgi aluspinnase valikut kontrollida võimalik ei ole.

Kommentaariid

Täitedokumente ei esitatud, puuduvad ka geoloogia andmed.

7.9. OB_87 mnt nr 92 Tartu–Viljandi–Kilingi-Nõmme km 2,3-7,1

Teelõik on projekteeritud 2006. Projekti on täiendatud 2012.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.9. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_87
Mnt nr	92
Mnt nimi	Tallinn–Viljandi–Kilingi-Nõmme
Algus	92_1_1_2300
Lõpp	92_1_1_7100
Algus, km	2,300
Lõpp, km	7,100
Projekteerija(d)	Roadplan OÜ, Tinter-Projekt OÜ
Katte ehitamise kuupäev	27.09.2013; Lemminkäinen
Uue katte ehitamise kuupäev	07.09.2020
Katte vanus	7
Katteehituse meetod	Algne: kahekihiline asfaltkate KS alusel 2020: 4 cm AC 16 surf uus pealmine kiht freesitud kattel
Katendiarvutuse versioon	2006 KRAADE,
Evaj ja FWD Eavg; Emin; Eteor	Vajalik 302; Avg – 329; Min – 220; teor - 218

Ehitatud konstruktsioon

Kate kogu põhiteel: AC 16 surf – 4 cm; AC 20 base – 5 cm; aluse ülakiht: KS32 – 16 cm.

Erisused ilmnevad allpool - killustik 0/32 – 15 cm ja keskliiv 20 cm (tüüp 1) või killustik 16/32 15 cm (tüüp 3) või 18 cm (tüüp 4) vana tee muldkeha kruusal

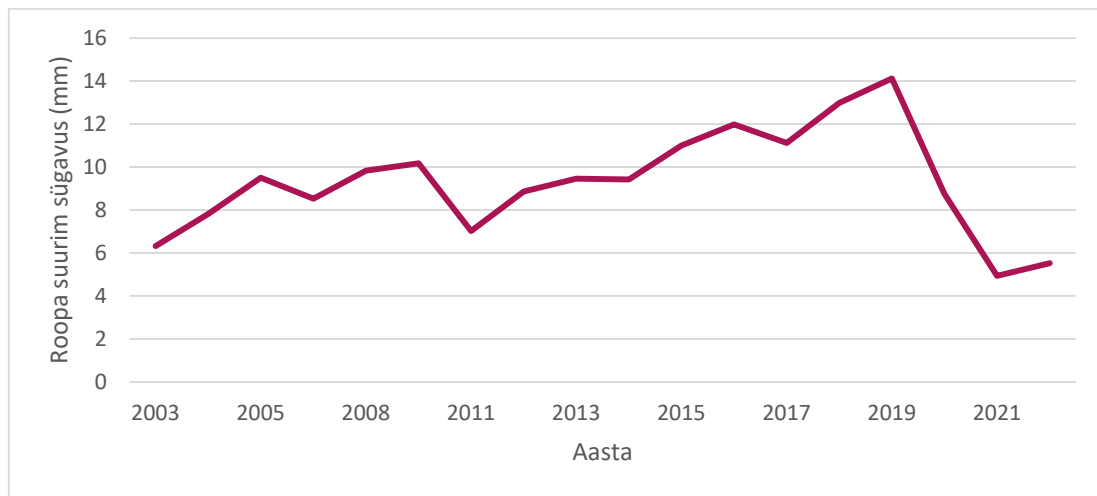
Vajalik elastsusmoodul

Lähteülesandes on fikseeritud minimaalselt nõutud kandevõime 240 MPa, mis tuleneb tee klassist. See vastab koormussagedusele 430 normtelge enamkoormatud sõidurajale. Tänapäevane tegelik koormus ületab kavandatud taseme oluliselt ning seetõttu tuleks pelgalt tänase (2023) koormuse alusel vajalikuks lugeda vähemalt 250 MPa.

Kandevõime

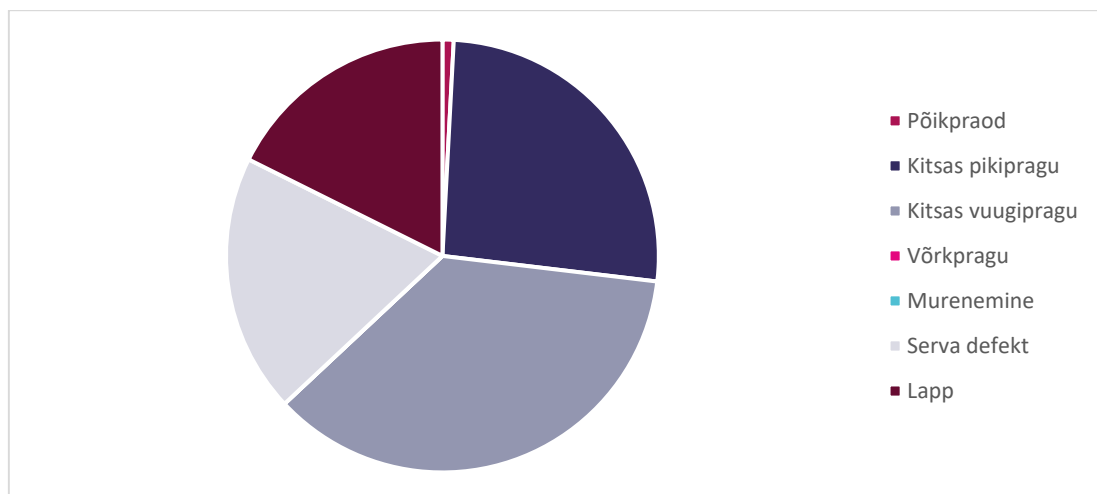
Kandevõime mõõtmistulemuste järgi keskvärtus 331 MPa, minimaalne 220 MPa. Alla vajaliku 240 taseme on tulemus kahes ristlõikes. FWD indeksite kontrollväärtused 119/76/22 ning reaalsed keskmised 86/68/13 ja maksimaalsed tasemed 173/121/21, mis viitab probleemidele kõigis kihtides. Kõigis neis ristlõigetes, kus SCI oli kontrollväärtusest suurem, oli see suurem ka BDI indeksis, mis viitab tõenäoliselt ka defektide juurpõhjusele, mis tõenäoliselt on KS32 kvaliteedis, kuigi välistada ei saa ka keskliiva mittevastavust just lõimiseteguri osas.

Roopad

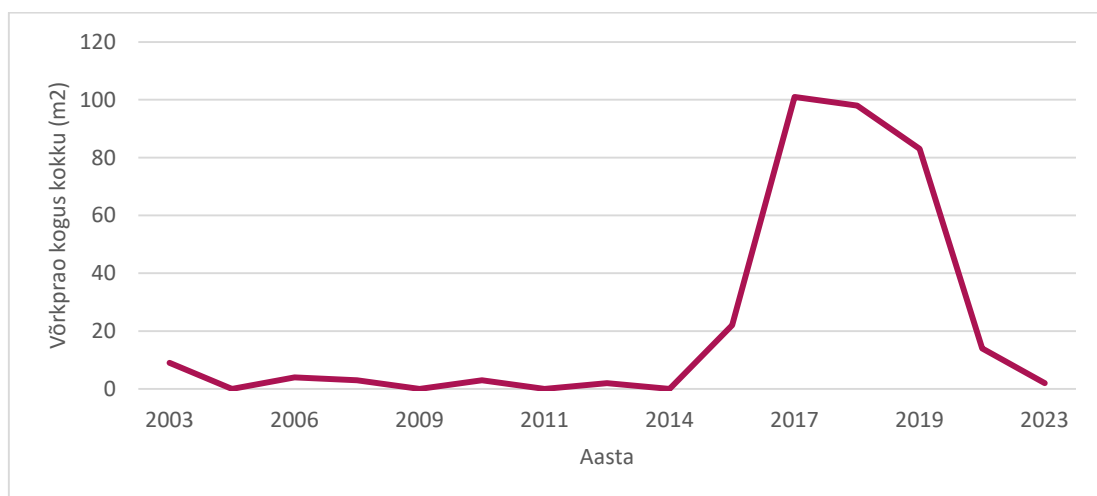


Joonis 7.19. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.20. Defektide jagunemine.



Joonis 7.21. Võrkprao areng ajas.

Liiklussagedus

Projektis (2011) oli liiklussagedus idapoolses osas 6572 a/ööp ja läänepoolses 3210 a/ööp. 2035. aastaks prognoositi vastavalt 17652 a/ööp ja 5260 autot ööpäevas.

2023.a. liiklussagedus oli 9339 a/ööp, mis vastab koormussagedusele 596 normtelge, alates km 4,1 on AKÖL 4320 a/ööp ja koormus 316 normtelge.

Kuigi liikluse areng on olnud veidi aeglasem kui prognoos, on koormussageduse kasv suurem – see võib olla seotud ka siirdetegurite muutusega.

Geoloogia

Looduslike pinnastena on piirkonnas kerge saviliiv ja tolmne saviliiv. Esitatud andmed sisaldavad vaid koondi ja ei võimalda kontrollida pinnaste määramise korrektsust.

Kommentaariid

2020.a. on asendatud ülakiht, kuid ilmselt on lahendamata probleemid alumistes kihtides (KS, killustik, liiv). Ka on konstruktsioon sisuliselt aladimensioneeritud (uute siirdetegurite suhtes), seetõttu jätkub lagunemine.

Puuduvad täitedokumendid, ei ole esitatud katendiarvutust ja geoloogiat.

7.10. OB_47 mnt nr 92 Tartu–Viljandi–Kilingi-Nõmme km 7,2-23,434

Projekt on koostatud 2006.a. võttes aluseks 2004.a. liikluse andmed. Algne tee pärineb 1963-1968 mustkattega ehitisest.

Objekti üldandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 7.10. Objekti üldandmed

Objekti kood	OB_47
Mnt nr	92
Mnt nimi	Tallinn-Viljandi-Kilingi-Nõmme
Algus	92_1_1_7200
Lõpp	92_1_4_1500
Algus, km	7,200
Lõpp, km	23,434
Katte ehitamise kuupäev	18.09.2008
Uue katte ehitamise kuupäev	12.10.2017
Katte vanus	9
Katteehituse meetod	Algne 2005/2008: Kahekihiline asfaltkate kergimmutatud killustikalusel 2013 projekt: kahekihiline asfaltkate kompleksstabiliseeritud alusel 2017: AC 16 surf 3,5 cm - uus pealne kiht olemasolevale kattele
Katendiarvutuse versioon	KRAADE, Tinter-Projekt aastast 2005

Konstruktsioon

AC surf 12 – 4 cm, AC 16 base või AC 32 base – 6 cm, KS32 – 16 cm, erinevad alused.

Vajalik elastsusmoodul

Projektis eeldati koormuseks 273 normtelge aastaks 2020, eeldatud tööiga 15 aastat, perspektiivne AKÖL aastaks 2020 vahemikus 4531...2573 a/ööp. Projekti järgi vajalik kandevõime 226 MPa (valitud konstruktsioon 230 MPa).

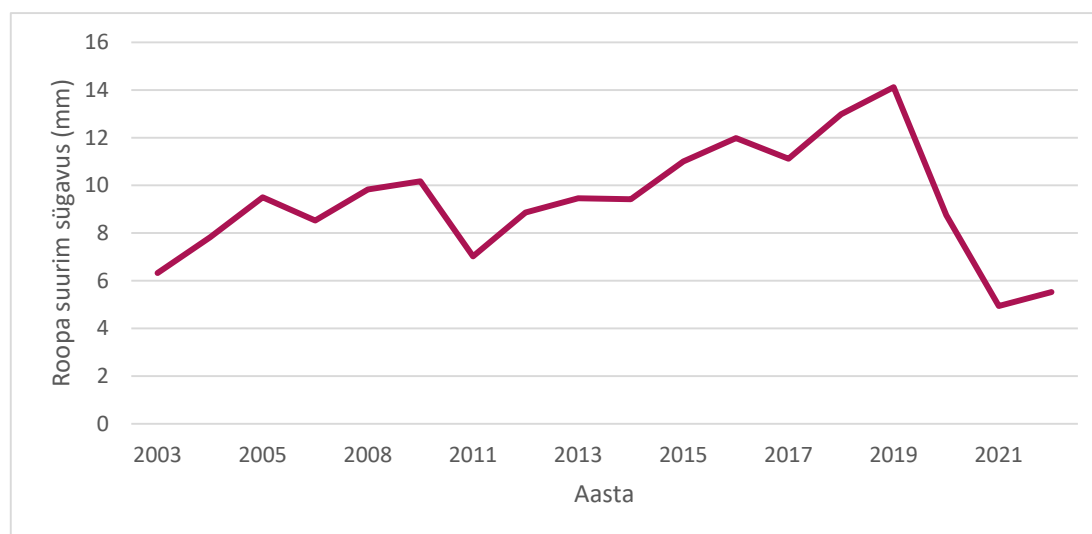
Tänase (2023) liikluse järgi on koormused vahemikus 347...453 MPa, seega peaks täna 15-aastase katte viimase aasta koormuseks lugema 453 normtelge ja sellele vastavaks III klassi tee kandevõimeks 242 MPa.

Kandevõime

Mõõdetud kandevõime (2024 FWD) keskväärtus 327 MPa, minimaalselt 208 MPa.

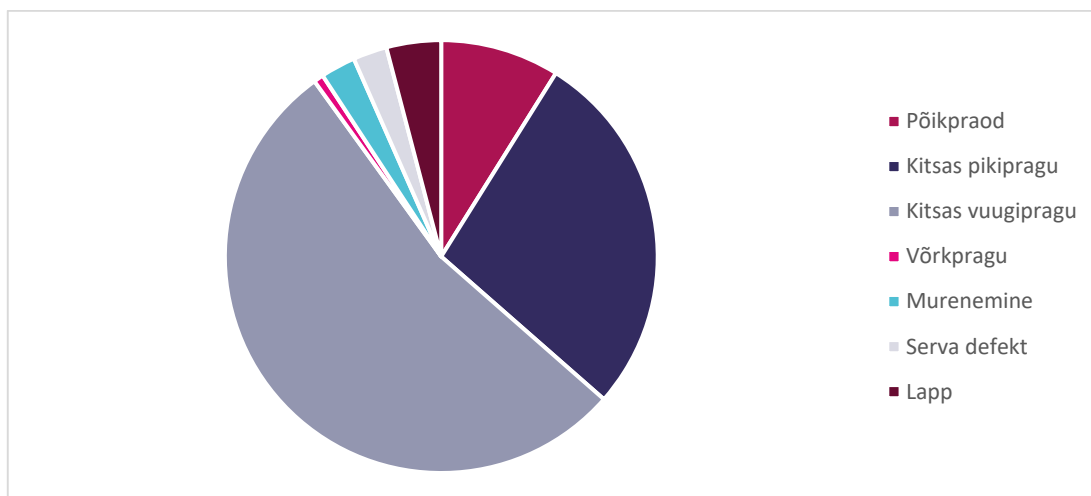
FWD indekse järgi vajalik kandevõime ei ole tagatud algse arvutuse suhtes vaid kahes ristlõikes (1% teepikkusest). Indeksate piirväärtused lähtuvalt projektselt vajalikust kandevõimest on 189/115/33 ja tegelikud maksimaalsed väärtused 155/135/35. Remondiga 2017 asendati kulumiskiht, kuid ei lahendatud probleeme alakihtides, mistõttu täna võib öelda, et kahes ristlõikes on selged probleemid aluses (teelõik km 17,3-17,4 ja km 21,1-21,2). Mõlemal juhul kaasneb aluse probleemiga ka madal mõõdetud kandevõime (208 ja 217 MPa vastavalt).

Roopad

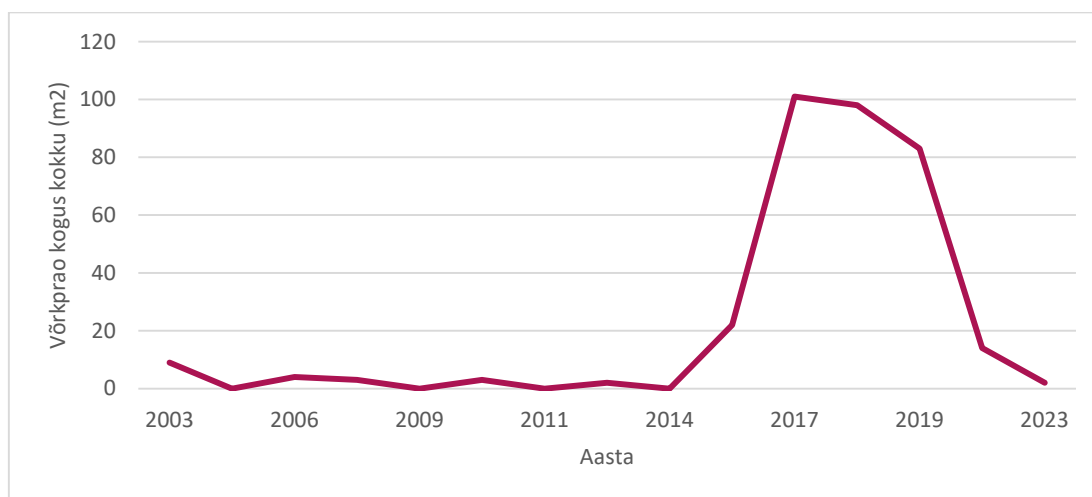


Joonis 7.22. Suurim roopa sügavus ning muutus ajas.

Defektid



Joonis 7.23. Defektide jagunemine.



Joonis 7.24. Võrkprao areng ajas.

Liiklussagedus

Projektis eeldati aastaks 2020 liiklussageduseks kuni 4531 a/ööp, tänane liiklus on sellele väga lähedal (4387 a/ööp), kuid vajalik kandevõime on selgelt suurem tõenäoliselt seetõttu, et siirdetegurid on kasvanud. Võib hinnata, et projekteerija tehtud prognoos on korrektne.

Geoloogia

Ei ole esitatud, seletuskirjas puuduvad ka igasugused viited, kuigi katendikonstruktsioonide kirjelduses on loetletud vastav aluspinnas.

Kommentaar

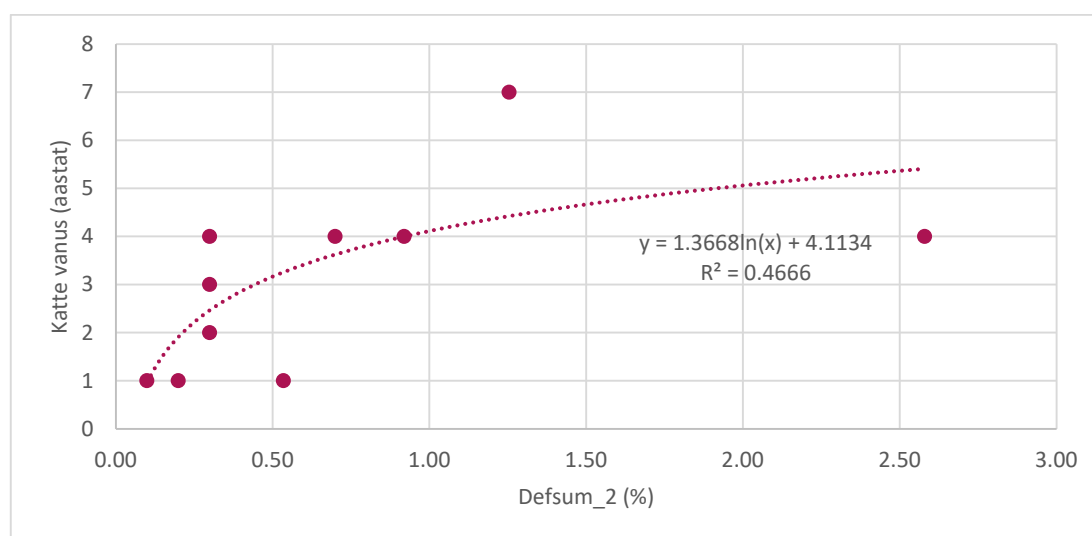
Ei õnnestunud tuvastada detailset geoloogiat, katendiarvutust ega täitedokumentatsiooni, mis piirab sisulist analüüsi ulatust.

8. TEEREGISTRI ANDMESTIKU ANALÜÜS JA LEITUD SEOSED

Valimis olevate 10 objekti kohta hangiti teeregistrist andmeid järgnevate näitajate kohta:

1. FWD mõõdetud parameetrid – Emoodul, SCI, BDI, BCI;
2. Defektid – peamiselt vaadeldi Defsum_2 seoseid;
3. Roopad – keskmine roopa sügavus;
4. Liiklussagedus – AKÖL ning eraldi VAAB ja AR grupi kohta andmed.

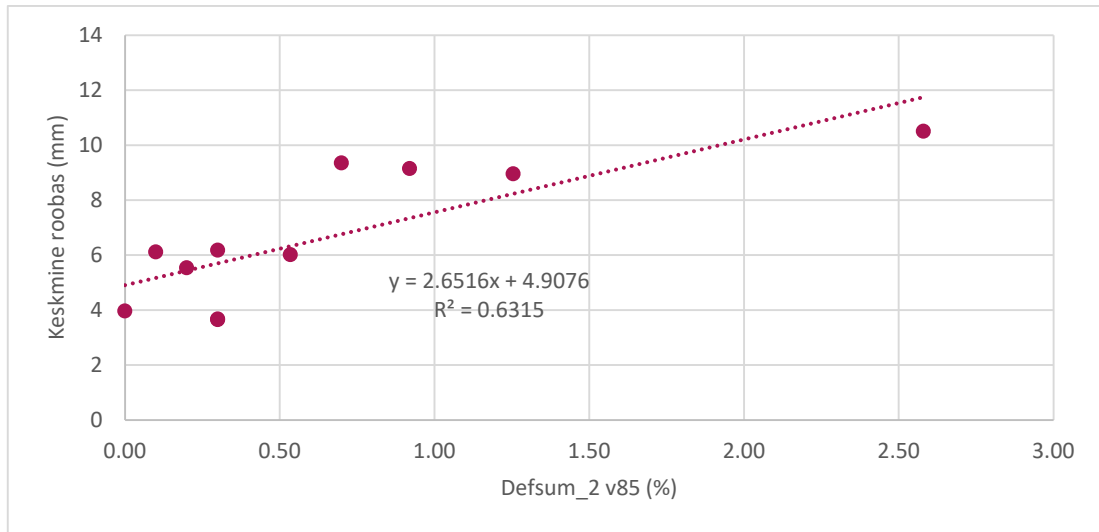
Eelnevate andmeliikide abil leiti üldistatud seoseid (siinkohal ühtegi objekti eraldi ei vaadeldud). Välja on toodud ainult need seosed, mille seose tugevus on piisav ($R^2 \geq 0,45$)



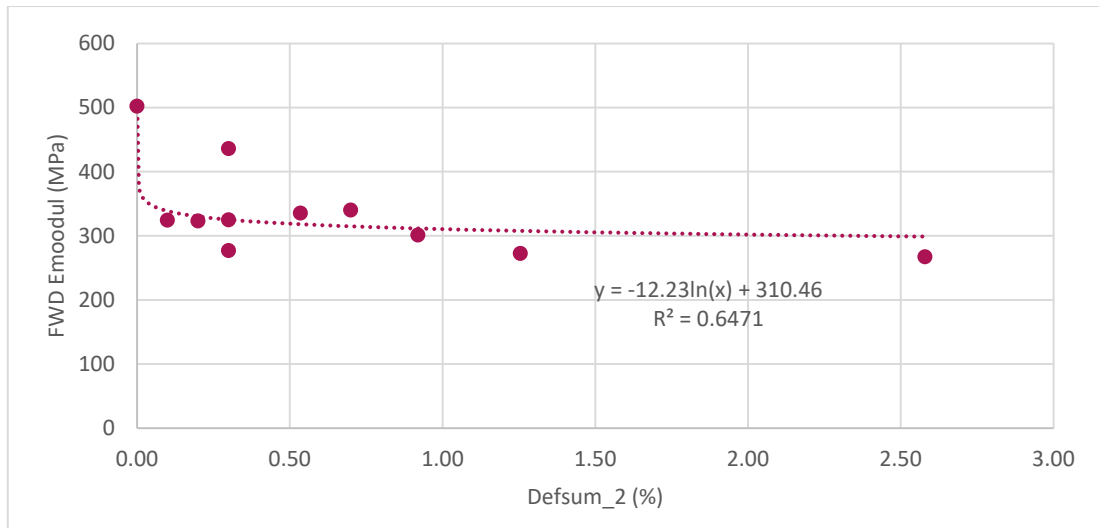
Joonis 8.1. Seos katte vanuse ja defektsuse vahel

Antud andmete baasilt tekkinud seos kinnitab juba varem teada olnud fakti – defektide areng on ekspluatatsiooniperioodi algfaasis aeglane, kuid 4-5 aasta jooksul hakkab defektsus kiiremini arenema. Joonistel on toodud üks väärtus iga objekti kohta, mis kajastab taset, mida ei ületa 85% objektidel sajameetrise lõigu kohta fikseeritud väärtustest.

Käesolevat graafikut saab käsitleda suunda näitavana, kuid põhimõtteliselt saaks sarnasesse graafikusse tuua ka laiendatud valimi.

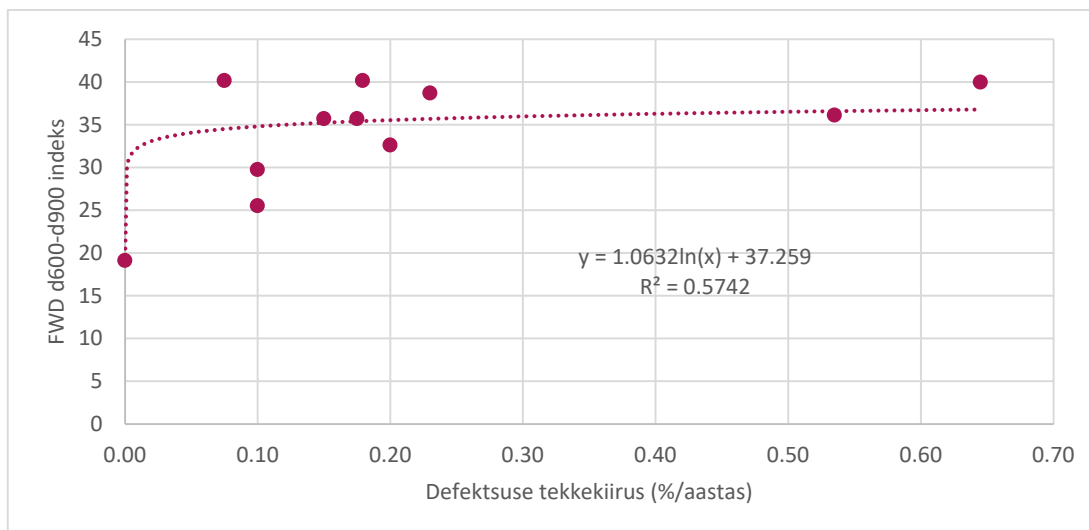


Joonis 8.2. Seos keskmise roopa sügavuse ja defektsuse vahel.



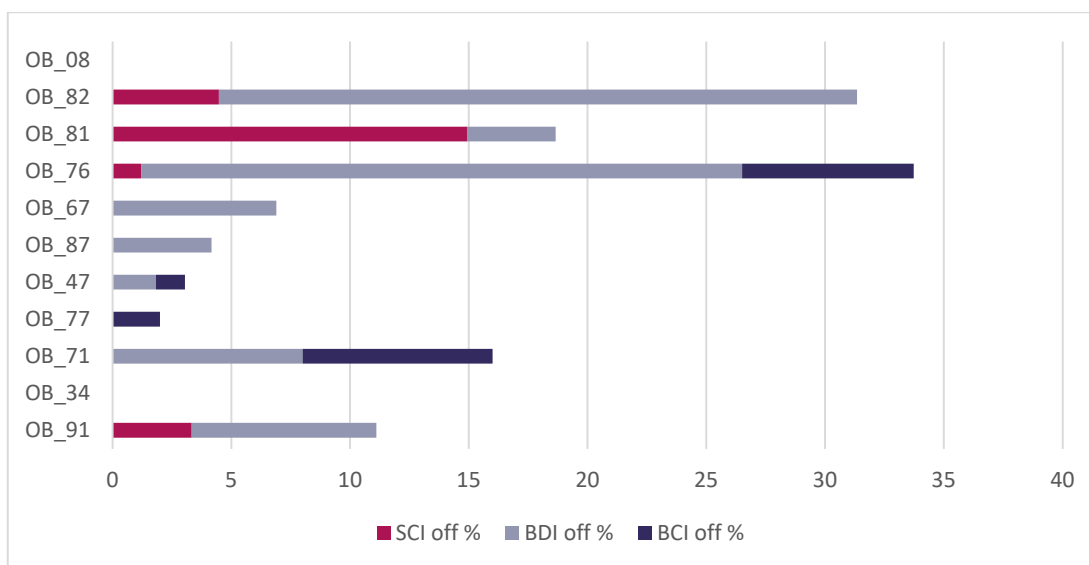
Joonis 8.3. Seos defektsuse ja FWD mõõdetud kandevõime vahel.

Mida nõrgem konstruktsioon seda defektsem kate. E-mooduli väärtusest on antud graafikus juhindatud 15% reeglist (objekti arvestuslikuks loetakse tase, millest madalamaid on 15%).



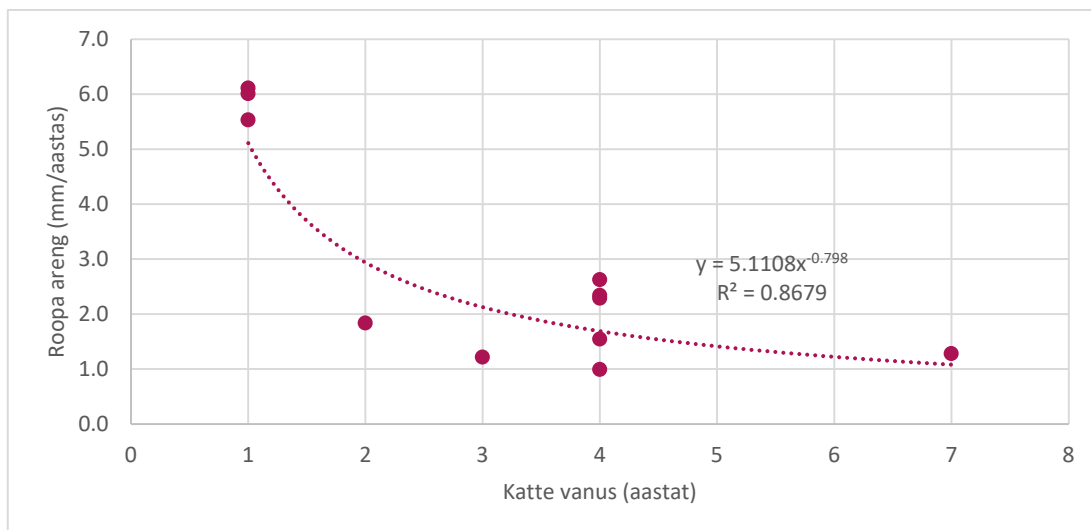
Joonis 8.4. Seos defektsuse arengu ja FWD d600-d900 indeksi vahel.

Ilmneb suhteliselt tugev seos defektide (Defsum2 – d85) arengukiiruse ja sügavuses 60-90 cm paikneva materjali seisundi vahel.



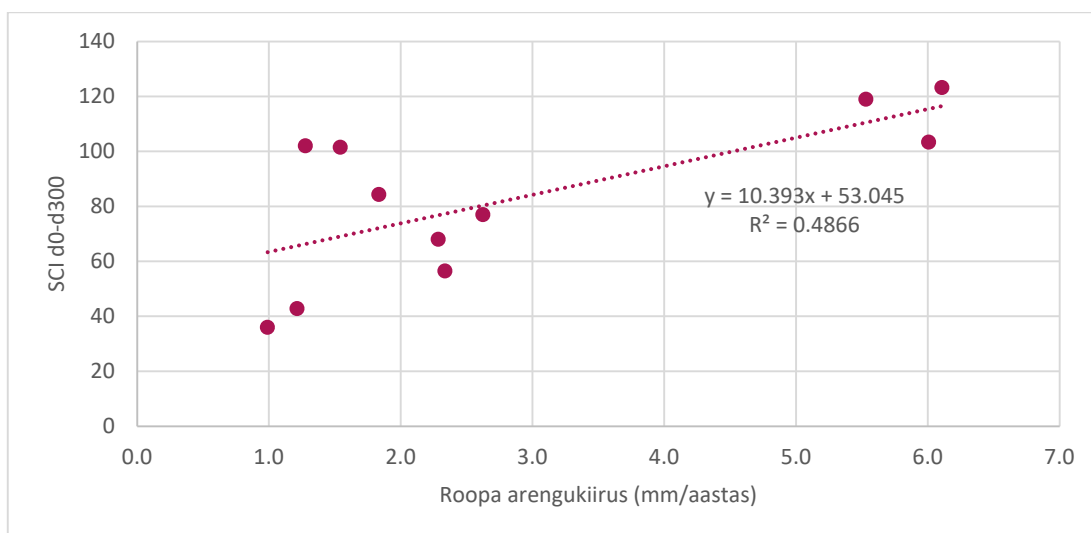
Joonis 8.5. Ülevaade kui suur osa objektidest ei täida FWD indekse (SCI, BDI, BCI) miinimumnõuet.

FWD indekse lubatud maksimaalsed piirmäärad on arvutatud kasutades 2011-18 töös kasutatud/esitatud arvutusvalemeid. Graafikult selgub, et kõige probleemsemaks näitajaks osutub BDI ehk aluse vigastuste tegur. Kuna BDI andurite vahemik on d300-d600, siis sellises sügavuses esineb vaadeldavatel objektidel peamiselt killustikalused ja liivakihid (seni drenkihi funktsioonis kirjeldatud valdavalt ühtlaseteraliseid liivad).



Joonis 8.6. Roopa arengukiiruse (mm/aastas) ja katte vanuse vaheline seos.

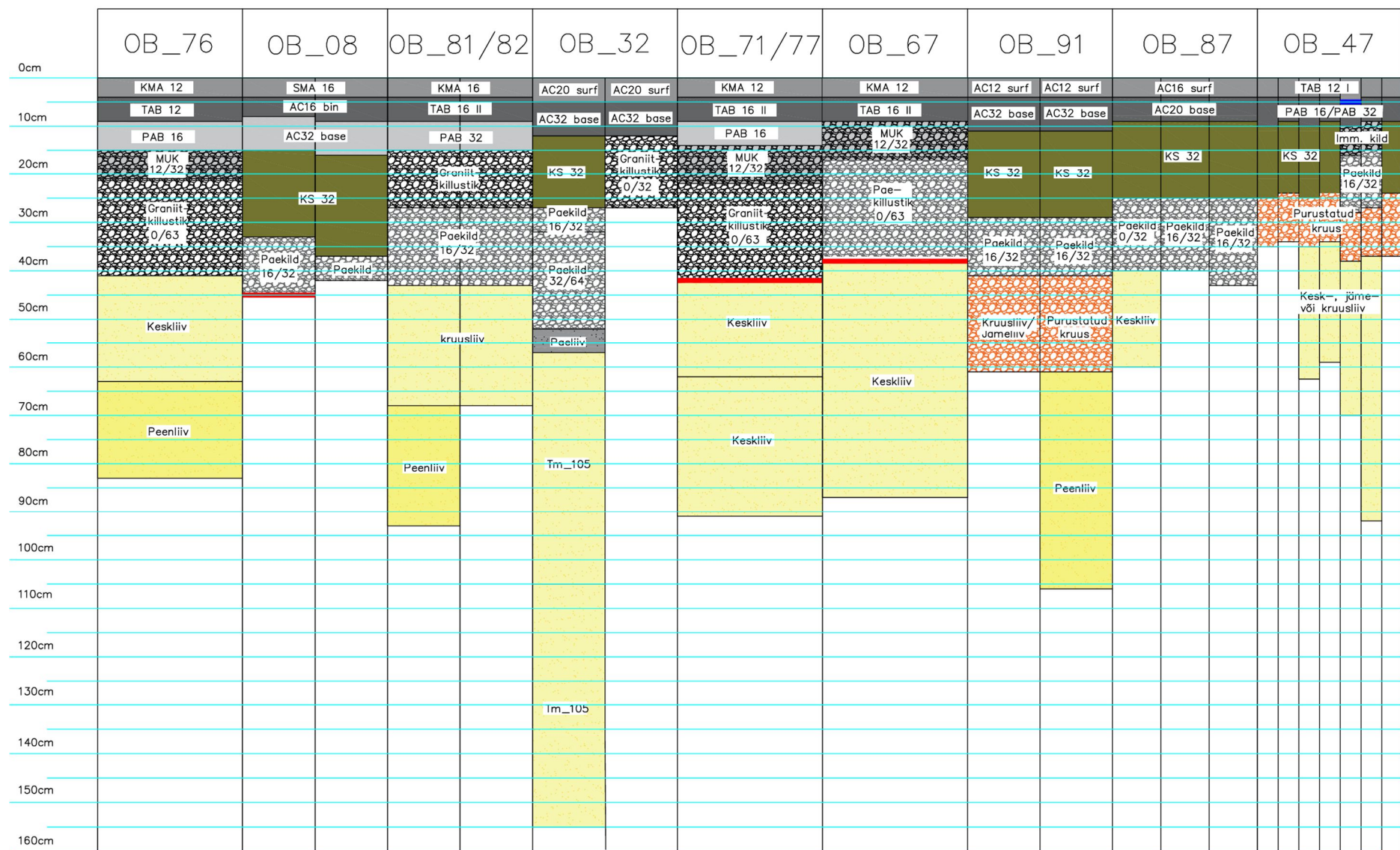
Ilmneb, et algroobas areneb esimese 2 ekspluatatsiooniaasta jooksul ning algroopa suurus jääb antud objektidel vahemikku 3-4 mm.



Joonis 8.7. Roopa arengukiiruse (mm/aastas) ja SCI indeksi vaheline seos.

Siinjuures tuleb rõhutada, et graafiku parempoolses osas on suhteliselt uued objektid, kus roopana käsitleme algroobast, vasakpoolses madalama kiiruse (ja indeksi) väärtusega on vanemad objektid, kus roopa areng on aeglustunud.

Järgneval joonisel on visualiseeritud analüüsitud objektide konstruktsioonid.



9. KATENDI VAJALIKU TUGEVUSE MÄÄRATLUSEST

Käesolev peatükk on koostatud tulenevalt lõpparuande esitusel tekkinud arutelust ning tellija poolt esitatud küsimustest ja märkustest.

Kas KAP 2.0 tugevuse kasv on olnud piisav või ei

Koos KAPi rakendamisega muudeti killustike elastsusmooduleid. Senise E-400 asemel piirati maksimaalne 280-ga ning toodi sisse ka madalamad E-väärtused 200 ja 240 MPa. Siit tulenevalt – KRAADE vs KAP – on põhimõtteline erisus vaid killustike moodulites. Tehniline erisus on ka see, et KRAADE arvestas asfaldikihtide kogupaksuses kaalutud keskmise asfaldi elastsusmooduliga, KAP luges aga asfaldikihid eraldi.

Seni puudus ka ühtne süsteem siirdetegurite käsitlemisel – on projekteeritud nii kasutades üldistatud tegureid kolmele sõidukiklassile (kaks raskesõidukiklassi – VAAB ja AR) kui ka detailset tegurijaotust (esitatud projekteerimismäärustes). Detailjaotus on väga küsitav, sest see tugines lühiajalise loenduse tulemustel, kuid üheselt määratletud üldistatud teguri väärtust VAAB klassile sisuliselt ei olnud ka MTM määruses 106¹¹. Aastatel 1999-2014 reguleeris norm (TSM M99) siirdetegureid ja rajategureid, kuid praktikas juhitud tihti ka uuringutest, mis käsitlesid liiklusloenduse läbiviimist.

Tabel 4.3

Liiklusvahendite 100 kN teljekoormusele taandamise siirdetegurid

Sõiduki liik ja tähis	Tüübi tähis	Teljed	Siirdetegurid
Veoauto, VA	VV	1+1	0,10
	VK	1+1	0,75
	VR	1+1	0,80
	VR	1+2	0,85
Sadul- ja autorong, SR ja AR	SR või AR	igasugused	1,50
Buss, AB	BK	1+1	0,70
	BR	1+1	1,80
	BL	1+1+1	1,70
Trollid, T	TR		2,10
	TL		1,95

Tabel 4.4

Koormuse jaotus sõiduradade vahel

Maantee klass	Sõiduradade arv	Rajategur a'
Kiirtee	4	0,40
I	4	0,45
II	2	0,55
III	2	0,60
IV	2	0,70
V	2	0,75
Rambid	1	1,00

2008 uuringus¹² soovitati parandus siirdeteguritesse:

Soovitus „Maanteede projekteerimismääruste“ tabeli 4.3 osaliseks muutmiseks

Sõiduki liik ja tähis	Tüübi tähis	Teljed	Siirdetegurid	
			kehtiv	soovitus
Veoauto, VA	VV	1+1	0,02	0,06
	VK	1+1	0,1	
	VR	1+1	0,8	
	Kaheteljeliste veoautode keskmine		0,12	0,35
	VR	1+2	1,8	2,70
	VR	2+2	-	

2014.a. kehtestati uued tegurid, mis toodi üle MTM määrusesse 106, mis omakorda kehtis kuni 2023. aastani.

¹¹ MTM määrus nr 106, vastu võetud 05.08.2015. Tee projekteerimise normid. RT I, 07.08.2015, 14

¹² Metsvahi, T. (2008) Sõidukite koormussageduste siirdetegurite korrigeerimine. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut

Tabel 4.3

Liiklusvahendite tüüpide 100 kN teljekoormusele taandamise siirdetegurid

Sõiduki liik ja tähis	Teljed	Siirdetegurid K_f
Keskmine veoauto (VK)	1+1	0,11
Kaheteljeline raske veoauto (VR2)	1+1	0,8
Kaheteljeliste veoautode keskmine (VA2)	1+1	0,75
Kolmeteljeline raske veoauto (VR3)	1+2	1,8
Kahe esi- ja kahe tagateljega raske veoauto (VR2+2)	2+2	2,7
Sadulrong (SR) või autorong (AR)	3	0,85
	4	1,1
	5	2,05
	6 ja enam	4,8
Sadulrongi (SR) ja autorongi (AR) keskmine		2
Keskmine buss (BK)	1+1	0,05
Kaheteljeline raske buss (BR2)	1+1	0,75
Kaheteljeliste busside keskmine (B2)	1+1	0,72
Kolmeteljeline raske buss (BR3)	1+2	1,7

Tabel 4.4

Koormuse jaotus sõiduradade vahel

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

Aastatel 2007-2008 (seega samuti enne KAPi rakendamist) uuendati püsiloenduspunktides kasutusel olnud liiklusloendusseadmed. Kui AKÖL tasemel on varasemad loendustulemused kasutatavad, siis ei ole need võrreldavad sõidukite liigilises jaotuses, seda just SAPA ja VAAB kategooriate eristamises. Määramatust lisas ka muutus liiklusprognoosi metoodikas (M106 sätestatud “järgmise 20 aasta muutus võib ulatuda maksimaalselt eelmise 10 aasta muutuseni”), mis otseselt võttes ei ole rakendatav koormussageduse prognoosimisel (koormussageduse leidmiseks kasutati rohkem baasprognoosi aastani 2040¹³, kuigi ka siin sai projekteerija valida erinevate stsenaariumite vahel). Kuni aastani 2017 on sisuliselt kasutatud siirdetegureid ebajärjekindlalt kas VAAB kategoorias (erinevad keskväärtused) või ka AR kategoorias (erineva telgede arvuga sõidukitel erinevaid tegureid, kohati ka ühtset tegurit 2,0 kõigile autorongidele).

2011 uuringus¹⁴ on eeldatud liiva elastsusmooduli väärtuseks 120 Mpa (vt p.4.4) ja võrreldud seda Soome reglemendi aluse H1 aluspinnasega (E-70). Sõelkõvera analüüsid 2023 (S. Talpas-Taltsepa magistritöös¹⁵) näitasid, et realselt katsetatud liivade elastsusmoodul Soome süsteemi sõelkõverate (juhend kuva 9) järgi võib olla 35 Mpa ka siis, kui peenosiste sisaldus on alla 7%, millest tuleneb oluline ebatäpsus 2011 uuringu võrdlustes. Tänapäevaste teadmiste valguses võiks võrdlused uuendada, kuid sellist ülesannet ei ole tellija püstitanud.

KAP algoritmid ei muutunud v1.0 vs v2.0. Muutus taustsüsteem – 2014 TTÜ uuringuga¹⁶ püüti ühtlustada pinnaste GOST-põhist liigitust EVS-EN ISO standarditega ja määratleti ühtlaseteralised liivad (see määratlus ei ühti ei Vene ega euronormidega). Siirdetegurid tõsteti 2015 uuringuga¹⁷ (rakendati üldisena elastsete teekatendite projekteerimisjuhendis MA

¹³ Metsvahi, T. (2007) Liikluse baasprognoos Eesti riigimaanteedele aastaks 2040. Lõpparuanne. 2007-23/L. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut

¹⁴ Kendra, A. et al (2011) Riigimaanteed ja sildade tugevdamise maksumuse hindamine tulenevalt 52 t veoste aastaringse liikumise võimalusest. 2011-18. Ramboll Eesti AS

¹⁵ Talpas-Taltsepp, S. (2024) Eestis kasutusel oleva katendiarvutus metoodika probleemid ning alternatiivse rakenduse väljatöötamine kasutades Soome metoodikat. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool

¹⁶ Aavik, A. et al (2014) Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile. Ühtlaseteralise liiva ($C_u < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut

¹⁷ Kendra, A. (2015) Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas.

2017-003¹⁸). See uuring ei analüüsinud tegelikku liikluse ja koormuse jaotust, vaid viis vana meetodi alusel koostatud siirdetegurid uutele ja ühtsetele alustele (Taani metoodika).

Hilisemad analüüsid (IPT 2021)¹⁹ on näidanud, et KAP aluseks olev logaritmseos (1983 juhendist) koormuse ja kandevõime vahel on liiga lauge tõusuga ja suuremas koormusalas ei tõuse kandevõime nõuded koormuse lisamisega piisavalt kiiresti. Siit tulenevalt, **ei ole võimalik probleeme lahendada pelgalt siirdeteguri muutmisega, vajalik on logaritmivalemi ehk kandevõimenõude aluse muutus.**

Mida üldse lugeda piisavaks, sest koormused muutuvad pidevalt – õpikutes öeldakse, et arvestuslik koormus peab ennetama reaalse koormuse muutumist eeldatava katendi kasutusaja jooksul. Selles kontekstis on koormusarvestus alati arengule järgijooksvas rollis.

Käesoleva uurimistöö raames võrreldud näitajad sisaldavad sedavõrd palju määramatust või ebatäpsust, et selle baasil ei ole võimalik teha järeldust soovitud küsimuse suhtes. Kuid piisav vastus on antud juba 2021 IPT töös.

Katendiarvutuse tarkvarad – KRP vs KAP 2.0

KRP on koostatud S.Talpas-Taltsepa magistritöö raames. KRP tugineb Soome juhendil 2018/038²⁰, kuid mitte juhendis sätestatud astmelisel kandevõime nõudel. Astmelise nõude asemel on koostatud logaritmseos, mille alusel arvutatav vajalik kandevõime väärtus vastab astmelise skeemi koormusklassi ülempiirile. Näiteks, kui juhendi järgi koormusele 5...10 miljonit normtelge (KKL 10) nõutakse katendi pinnal arvutatud kandevõime väärtust 415 MPa kogu koormusklassi piirides ja 10...25 miljoni (KKL 25) puhul 470 MPa, siis KRP logaritmivalemi järgi on vajalik kandevõime 10 miljoni telje puhul juhendile vastav 415 MPa, kuid koormuse tõusuga 25 miljoni teljeni tõuseb vajaliku kandevõime nõue sujuvalt, mitte astmeliselt. Seega puudub vajadus koormusklassi madalamas osas katendit koormuse suhtes üledimensioneerida.

Oluline erisus KRP ja KAP arvutussüsteemide vahel on liivade arvestuslike elastsusmoodulite väärtuses. Kui KAP puhul on esitatud vajaliku kandevõime nõue AINULT valmis katendile (ja seda küll võrreldakse FWD mõõtetulemustega objekti käikuandmise järel), siis Soome süsteemis esitatakse lisaks kandevõimenõue ka sidumata ülemisele konstruktsioonikihile, mida on võimalik kontrollida vähemalt plaatkoormuskatsega. Lisaks on KAPi kasutajatele esitatud ka nõue uue konstruktsiooni ülemise meetri ehitamiseks hea filtratsiooniga ehk külmakindlatest materjalidest koos tuisuohutu muldkeha kõrgusnõudega, mistõttu praktikas on liivakihtide paksused olnud ebamõistlikult suured. Ühtlaseteraliste liivade laialdase kasutusega on kaasnud nii probleemid kandevõimes kui konstruktsiooni uhtekindluses, sest

¹⁸ Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. MA 2017-003. Maanteeamet

¹⁹ Talviste, P., Kendra, A. (2021) Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamine lähtekohtade alusuuring. I etapi aruanne IPT Projektijuhtimise OÜ

²⁰ Teekonstruktsioonide projekteerimine. Soome Transpordiameti juhend 38/2018

nõlvakindlustused rajatakse viimases ehitusjärgus ja esimeste seotud kihtide paigaldamise ajaks pole ka muru nõlval juurdunud.

Kõik varasemad võrdlused Soome süsteemi (Odemarki valem) ja KAP maksumuste vahel (2011, 2015, 2021) on tuginenud Soome süsteemi astmelisel käsitusel, mis nägi ette selge üledimensioneerimise kõigi koormusklasside madalamas osas (vähemalt kahekordne koormussageduse erisus koormusklassi alumise ja ülemise piiri vahel). KRP rakendus on koostatud TalTech magistr töö raames ja kasutab optimaalset lähenemist, millega tagatakse Soome normikohane miinimum vaid koormusklassi ülemisel piiril, seda kasutati esmalt 60-tonniste koormuste mõju uuringus 2023-2024 (aruanne pole TRAM kodulehel veel leitav).

FWD võrreldavus katendiarvutusega

Varasemates uuringutes on võrreldud arvutatud kandevõime väärtusi (Soome ja Eesti) ja ka mõõdetud/arvutatud (registrisse kantud) kandevõime väärtusi ning nende võrdluste alusel on tehtud järeldusi, mis teadmiste täienedes on osutunud ebatäpseks. Teemat on detailselt käsitletud 60-tonni uuringus. Täpsemalt võib huviline leida infot uuringust (Siika, T. 2006)²¹, kus võrreldi staatilise (plaatkoormuskatse) ja dünaamilise (FWD) mõõtmise tulemusi ja toodi välja võimalik seos. Soomes on kasutatud ka seost $EPLT=11,1521*EFWD0,921*h-0,4282$, mille aluseks on Oulu ülikooli uuring aastast 1991 (Ryynänen, Belt), kuid ka siin on täheldatud, et plaatkoormuskatse tulemused hajuvad suures ulatuses. Tampere ülikoolis võrreldi 2017 (Koppa)²² plaatkoormuskatse tulemusi FWD mõõtmistega ja jõuti järeldusele, et sidumata kihtidel on reeglina plaatkoormuskatsega saadud tulemus (minimaalse ja maksimaalse kandevõime vahemikud) 5-10% väiksem kui FWD seadmega, kuid InfraRYL reeglistiku järgi (mis haakub ka DIN 18134 standardiga) 20-25% suurem kui FWD tulemus. Varasema töö järgi (kus mõõtmised tehti katte pinnal) on korrelatsioon plaatkoormuskatse ja FWD tulemuste vahel (R²) vaid 0,62 ning teises töös jõuti seose tugevuseni 0,81...0,89 ja Rootsi uuringus 0,64...0,73 – seega ei ole seadmete vahelised seosed nii tugevad, et siin saaks üheseid järeldusi teha. Tihendusteguri võrdlused samade seadmete vahel hajuvad veel enam.

Eestis on uuritud FWD mõõtmistulemuste seost katendiarvutusega (VSN, KAP) A.Aaviku doktoritöös ja ka hilisemates uuringutes – 2021 uuringus²³ on näidatud, et seos kandevõime mõõtmistulemuste erinevate taandusalgoritmide ja arvutustulemuste vahel on nõrgem, kui varem arvatud – R² vahemik erinevate algoritmide puhul oli 0,498-0,654 (sellise vastavustasemega peaksid olema ka teeregistris fikseeritud kandevõime väärtused), kuid algoritmide täpsustamisega, kui arvestada detailsemalt mõõtmisaega, temperatuure ja asfaldikihtide paksusi, on võimalik determinatsioonikordaja väärtus kuni 0,819 – see on võimalik vaid siis, kui kihipaksused määratakse maaradariga, millega mõõtmised on võimalik teostada ka võrgupõhiselt. Lisaks on oluline mainida, et determinatsioonikordaja R² kõrge

²¹ Siika, T. (2006) Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus. Insinööritoim.

²² Koppa, T (2017) Pudotuspainolaitteen ja lvykuormituskkeen vertailu. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto

²³ Kaal, T. et al (2020) Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmis- ja arvutusmetoodika täiendamise uuring. ERC/25/2020. ERC Konsultatsiooni OÜ.

väärtus ei tähenda KAPI arvutustulemuste samasust mõõdetavaga vaid seose tugevust, seose valem näitab võrdluseks vajalikku arvutustulemust ja see võib olla oluliselt erinev ka tugeva seose korral.

Uued siirdetegurid 60-tonni uuringust

60-tonni uuringus selgus, et kui reaalselt uuritud sõidukite (miljon raskesõidukit) summaarsed koormused taandada Soome normtelgedele, on siirdetegurite väärtused väga lähedased, tõenäoliselt põhjuseks on pigem Eestis laialt levinud ülekoormus.

Siirdetegurite komplekti tuleb käsitleda tervikuna. 60-tonniste veokite töös on tehtud ettepanek, rakendada KRP süsteemi koos Soomes täna kehtivate siirdeteguritega (VAAB 0,9 ja AR 3,2). On välja arvutatud ka siirdetegurite väärtused KAP 2.0 raames kasutamiseks ning need on vastavalt 1,27 ja 4,67 – seega, langeks VAAB siirdetegur, kuna uute loenduritega suureneb VAAB klassi arvestatud sõidukite arv, ning tõuseks veelgi autorongide siirdetegur.

Autorongide osas olulisi probleeme ei ole, loendurid liigitavad sõidukid selles osas üsna täpselt, kui me kasutame autorongide keskvaartust. Üksiku sõidukiliigi puhul segavad ülestõstetud teljed, mida kaaluandur ei näe. Äärmiselt oluline on aga VAAB ja SAPA kategooriate piiriala täpne määratlus, sest SAPA kategoorias on ka üle kuue meetri pikkused sõidukid, mille täismass ei ületa 3,5 tonni ning just sellega seonduvad muutused siirdetegurites, VAAB kategooria uue siirdeteguri madalam tuleneb just sellest, et pikkuse alusel loetakse osa alla 3,5-tonniseid nüüd VAAB kategooriasse. Uuringus pakutud tegurid arvestavad tänaste video- või radarloendurite liigitusega oluliselt suurenevat VAAB kategooria osakaalu liikluses. Siit tulenevalt, kuni jätkatakse KAP 2.0 kasutust, tuleks rakendada ka 60-tonni töö raames arvutatud tegurid (1,27/4,67). Summaarselt on muudatuse mõju väga väike, kuid teedel, kus autorongid moodustavad olulise osa koormusest, võib koormussageduse tõus olla arvestatav – seevastu, väikese autorongide osakaaluga teedel koormussagedus langeb võrreldes seniste siirdeteguritega arvestatuga.

10. KOKKUVÕTE JA SOOVITUSED

Järgnevalt on toodud kokkuvõtte töö teostamise käigus tekkinud probleemidest ja soovitud.

1. Projektide, täitedokumentatsiooni ja teeregistri andmete analüüs on osutunud komplitseeritud ülesandeks ning töö koostajate hinnangul on võrdluses liialt palju takistusi ja ebatäpsusi, et kokkuvõtteks võiks teha üheseid järeldusi. **Andmestiku arhiveerimise** eesmärgiks peaks olema võimaldada andmete mugav ja kiire kasutus – kui süsteemi tegelikkuses ei kasutata (käesoleva töö raames tekkinud arusaam), on tegemist probleemiga. Seda näitab nii viide digiandmete puudulikule taastamisele pärast tehnilist riket kui ka kohati paberarhiivide süstematiseerimata seisund. Tuleb arvestada, et teede elukaar aastates on siiski väga pikk ning ka andmed peavad olema kättesaadavad mõistlikul kujul kogu tee kasutusea kestel. Seetõttu on soovitus teedeehituse ja infohaldamise eest vastutaval organisatsioonil paika panna selge reeglistik ning struktuur, mismoodi andmeid kogutakse ning säilitatakse ja seda kõikide teemade osas alates projekti/ehituse nullpunktist, kuni tee elukaare lõpuni.
2. Olukorras, kus tee (või katendikonstruktsioon) on ehitatud rohkem kui 20 aastat tagasi ja selle aja jooksul tehtud ehitustegevus piirdub ülakihtidega, on oluline analüüsida ka varasemat projekti nende kihtide osas, mida viimased toimingud ei asendanud. Ühteist on kaudselt võimalik järeldada EPMS andmestiku ajaloolisest osast, kuid siin on probleemiks andmete ühildatavus.
3. Vaid mõned üksikud projekteerijad on esitanud seletuskirjas ülevaate teeregistri andmeanalüüsist defektide, kandevõime ja FWD indeksite kohta, mis peaks määratlema, kus ja kui suures osas tuleb teha ehitustöid. Tõenäoliselt tuleks projekteerijatele koostada juhised, mis abistaks FWD tulemuste analüüsil – see ei pea olema projekteerimisjuhend vaid abimaterjal.
4. **Katendiarvutuse** aluseks on **aluspinnaste ja materjalide liigitus**. Projektide seletuskirjades on enamasti toodud valitud katendikonstruktsioonid, kuid ka juhul, kui on osutunud võimalikuks tutvuda geoloogiauuringu materjalidega, on harvad näited, kus aruanne sisaldab aluspinnaste sõelkõveraids, et veenduda, kas tegemist on olnud ühtlaseteralist materjalidega. Ka on tänaseni kõrvaldamata ebatäpsus KAPI pinnasteliigituse tabelis (jāme kerge saviliiv, A ja D pinnased). Alates MA 2001-52 juhendist on **ühtlaseteralisus** selgelt eristatud ($Cu < 3$), kuid enne 2010.a. seda lihtsalt ei kasutatud ja puudub veendumus, et ka pärast probleemi tuvastamist sellele piisavat tähelepanu on osutatud. Võis loota, et olukord on parem täitedokumentide osas, kuid ka siin ei sisalda dokumendid üldjuhul karjäärimaterjalide (liivad, kruusad) sõelkõveraids, et veenduda, kas kasutatud materjalid vastavad projektsega.
5. Projekt peab sisaldama **katendiarvutuse**, kuid pahatihti on esitatud vaid valitud konstruktsioon ilma arvutuskāiguta (adekvaatse arvutuslehet), mis aitaks selgitada, kas arvutus on korrektne. Varasematel objektidel puudub kohati ka viide katendiarvutuse metoodikale (kas Kraade või alternatiivid), ka KAPI valmimise järgselt on veel kasutatud vabas vormis andmete, mitte ekraanikuva kopeerimist.

6. Kuigi 20-aastase katendi kasutuseaga arvutuste vastavuseks on vajalik 20 aasta summaarse koormuse jagamine konstandiga, et teisendada koormus tinglikult 15-ndale aastale KAPi jaoks, ei ole kõik projekteerijad seda kasutanud, vaid on esitatud arvutus lähtuvalt 20-nda aasta **koormussagedusest**. Alles uue baasproгноosiga (2050) on ehk see mure lahendatud. Ka puudub ühtne käsitus kulumisvaru lisamise kohta, seda on harva dokumenteeritud (kuna väiksema liiklussageduse puhul ei kujune selgelt tuvastatavat roobast, võiks kulumisvaru lisamine olla kohustuslik liiklussagedusel üle 1000 a/ööp). Käesoleva uuringu eesmärgiks ei ole hinnata projekti aluseks olnud liiklusuuringu adekvaatsust. Siinjuures on täheldatavad kaks trendi – ühelt poolt, on liiklussageduse kasvu tihti üle hinnatud (Soome praktika järgi prognoositakse liiklust vaid 10 aastat edasi ja eeldatakse, et tulemus vastab 20 aasta keskmisele) ja teisalt, koormussageduse kasvu alahinnatud. Tõsi, et koormussageduse kasvu oluliseks komponendiks on siirdetegurid, mis kahekordistusi 2015 uuringu tulemusena (2017). Kuid samas näitab ka Venemaa praktika, et siirdetegurite tõstmine ei anna efekti, kui logaritmivalemi tõus suurte koormustel on liiga lauge (teemat on põhjalikumalt käsitletud IPT alusuuringus ja T-Konsult 60-tonniste veokite uuringus). Seni on VSN-põhiseid algoritme käsitletud ühtse tervikuna, püüdes siiski üksikuid detaile korrigeerida (lisaks siirdetegurile, mis tõstab nõudeid, on ühtlaseteralist liivade elastsusmooduleid tõstetud 75 MPa tasemelt üldjuhul 105 MPa tasemele, mis saavutused sisuliselt nullib), aga ilmselt ei ole sel teel võimalik parema tulemuseni jõuda.
7. KAP 2.0 juurutamisega tõusis arvutuslik kandevõime suuremate siirdetegurite tõttu, kuid seda valdavalt asfaldikihtide suurendamise teel. Samal ajal näitavad FWD indeksid probleeme killustikaluses ja selle all liivakihtides, mis pigem viitab liivade ülehindamisele. Neid probleeme ei lahendata asfaldis. Kui katendi hoolduse ja taastusremondi käigus kõrvaldatakse pindmised defektid ja jäetakse tähelepanuta teekonstruktsiooni alakihetidega seonduvad puudujäägid (FWD indeksid, mis kajastavad konstruktsioonikihtide seisundit sügavamal kui 30 cm), siis jääb investeeringu efekt lühiajaliseks.
8. Konstruktsiooni mõõdetakse terviku kandevõimena FWD seadmega ja püütakse saadud tulemust võrrelda KAP arvutustega. Seosed on olemas, kuid seose tugevus jätab siiski soovida ja saadud tulemusest on raske teha põhjanevaid järeldusi. Seega, tulemus hajub ja on vaid teatud lähendus. Probleem on eeskätt selles, et katendarvutuses kasutatavad materjalide (ja pinnaste) elastsusmoodulite väärtused on nn kokkuleppelised (algtasemetel väärtused pärinevad NSVL aegadest). Siit tuleneb soov ebatäpse arvutuse tulemust võrrelda omakorda ebatäpse mõõtmisega. Seosed on tõenäoliselt olemas, kuid on teadmata, millise korrelatsiooniga nimelt.
- a) Vene normides puuduvad mõõdetavuse määratlused ja alles viimastel aastatel on kehtestatud nõudeid stiilis “muldkehal peaks 2. kliimatsoonis olema plaatkoormuskatsega mõõdetav 65 MPa” või konkreetsed vajalikud tasemed erinevatel kihtidel, kuid seda ei seostata otseselt katendarvutuse tulemustega. Ka ei ole ette antud vahepealsetele tasemetele nõudeid (on vaid nõue kulumiskihi pinnal tagada teatud arvutuslik tase).

- b) Sidumata kihtide kandevõime mõõtmisel on standardiks kujunenud plaatkoormuskatse. Elastsusmoodul, ja siit tulenevalt ka kandevõime, sõltub teralistel materjalidel oluliselt ka pingest, mille juures elastsusmoodulit mõõdetakse. Standardis DIN 18134 ja ka EVS 934 kasutatakse plaatkoormuskatse teostamisel vaid ühte pingerežiimi, E_{v2} arvutatakse deformatsioonidest, mis vastavad pingevahemikule 150...350 kPa ehk üldistades 250 kPa tasemelt. FWD seadmed on reguleeritud tavaliselt raskesõiduki koormustasemele, mis on ca 700 kPa. Kui rääkida konkreetsest mõõtetasandist, siis mõõterežiim peab olema lähedane mõõdetaval kihil tööolukorras esinevale pingele.
 - c) FWD tulemused peaksid olema võrreldavad plaatkoormuskatsega ainult sidumata kihtidel. Soome andmetel võib eeldada mõõtetulemuste erisust sidumata kihtidel 10% piires, seotud kihtidel on erisused suured ja neid erisusi püütakse matemaatiliselt taandada. Lihtsustatud lähenemises loetakse seotud kihid ühtseks, kuid on ka komplitseeritud arvutusskeeme, kus eristatakse erinevate kihtide omadused juba selleks, et siduda PLT ja FWD näidud omavahel.
 - d) Vene süsteem ei ole muutunud pärast 1983 VSN juhendit selles osas, et sidumata kihtide arvutusparameetrid on vanad ning võrdlus Soomega näitab selgelt, et liivpinnaste ja liivade-kruusade arvutuslikud elastsusmoodulid erinevad kordades – Vene süsteemis arvutatakse ei ole mõõdetav.
 - e) Ehituse käigus peavad kvaliteedikontrolli seadmed andma operatiivse tulemuse. Standardiseeritud seadmetest on võimalik penetromeeter, kuid selle kasutusala on piiratud materjali terasuurusega. Lõikerõnga ja kummiballooni meetodid eeldavad laboratoorset võrdlust ja kuivatamist, seega on katse kestvus kokku ca 48 tundi, mis ilmselt ei taga operatiivsust. Järelikult on vaja täpsustada kergseadmete kasutuse detailid (erinevate seadmete mõõterežiimid ja võrreldavus) ja rakendada CCC-tehnoloogia (*Contiguous Compaction Control*).
 - f) Pinnaste ja peenematerjaliste kivimaterjalide omadused sõltuvad olulisel määral niiskusest, kuid objektil ei kontrollita materjali või konstruktsioonikihi veesisaldust (niiskust). Selleks puudub kiire ja universaalne meetod – saab kasutada mikrolaineahju või kuumutiga digitaalkaalu – tehnoloogia ei ole veel laialt levinud objektikasutuses.
9. FWD mõõtetulemused sõltuvad seotud kihtide temperatuuridest ja kihipaksustest
- a) konstruktsioonikihtidele on omane teatud inerts, teepinnalt mõõdetud temperatuurid ei peegelda sügavamate kihtide taset, seetõttu kasutatakse FWD mõõtmistel ka puuri ja püütakse mõõta temperatuure sügavamal.
 - b) Ka siis, kui usaldatakse FWD kandevõimet, on teisendustulemused suuresti sõltuvad lähteandmetest, materjalide kihipaksuste täpsusest. Uuel objektil on see tõenäoliselt parem, varasematest palju ei tea.
10. FWD indeksid on objektiivselt veidi paremad, neid pole põhjust taandada. Vajalik on siiski sügavam uuring ja võrdlus, et täpsustada, milliste sensorite vahel on tugevamad seosed konkreetsete defektiliikidega. Esialgse analüüsi järgi on tugevamad seosed defektidega paekillustiku ja liiva kasutussügavuses.

11. FWD seosed defektidega

- a) Kui kandevõime on madal, kaasnevad sellega defektid. Kõige selgemalt ilmneb see võrkpragudega, kuid ka pikipragudega, mis ei paikne vuugis.
- b) Kandevõime ja defektid seonduvad tihti truupide ja sildadega – siin on paljusi põhjuseks siirdekiilu põhimõtete eiramine. Kui truubikaeviku või silla pealesõiduala täiteks kasutatakse külmakindlat materjali, mis piirneb külmakerkelisega, siis tekib kõrguserinevus ja dünaamiline löök, mis lõhub katendit
- c) Tihti kaasnevad defektidega alakihtides defektid kõrgemal – taas kord on raske hinnata, mis on põhjus ja mis tagajärg. Hooldus või taastusremondiga varjatakse pindmised defektid ja FWD indeks ülakihis on näiliselt korras, kuid kuni alumiste kihtide mured pole lahendatud, on lagunemine ikka kiire. Siit tulenevalt on põhjust vastavate remondiobjektide valiku juhendite täiendamiseks.

12. KAPi puuduste hulka tuleb lugeda pinnaste ja materjalide määramised ja moodulid – liigitused peaksid ikkagi olema vastavuses eurostandarditega.

13. Kuigi reeglite karmistamise ja täiendavate meetmete rakendamisega on püütud tõsta teekonstruktsiooni ülakihtide ehituskvaliteeti (kihipaksuse tolerantsipiirid, deformatsioonikindluse nõue, eelsegistite kasutamine laoturitel), on juurpõhjusteks sidumata aluse kandevõime (mis peaks olema mõõdetav) ning logaritmseos koormuse ja vajaliku kandevõime vahel.

14. Kui peetakse otstarbekaks käesoleva töö baasil edasi minna algselt kavandatud kolmanda etapiga, siis tuleks fookus suunata kahele kategooriale – suure raskeliiklusega teed (üle 1000 raskesõiduki ööpäevas) ja Rail Balticu ehitusega seotud teed, kus on oht, et tee arvestuslik ressurss kasutatakse suures osas või ka täielikult ära ehitusprotsessis karjäärimaterjalide vedudega.

11. VIIDATUD MATERJALID

- Kattega teede rekonstrueerimise objektide valimine.
KT_025_J7_r2. Kinnitatud 12.09.2023 nr 1.1-1/23/171
- Kattega riigiteede taastusremondi objektide valiku juhend.
KT_025_J10_r1. Kinnitatud 02.02.2022 nr 1.1-7/22/49
- Asfaldist katendikihtide ehitamise juh. TA 2021.
- Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. MA 2017-003. Maanteeamet
- MTM määrus nr 106, vastu võetud 05.08.2015. Tee projekteerimise normid. RT I, 07.08.2015, 14
- Teekonstruktsioonide projekteerimine. Soome Transpordiameti juhend 38/2018
https://www.transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-10/teekonstruktsioonide_projekteerimine_lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_tolge.pdf
- Vaimel, A. (2001) Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. 2001-52
- Aavik, A. et al (2014) Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile. Ühtlaseteralise liiva ($C_u < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/2001-52_pinnaste_nimetused_09102014.pdf
- Kendra, A. et al (2011) Riigimaanteede ja sildade tugevdamise maksumuse hindamine tulenevalt 52 t veoste aastaringse liikumise võimalusest. 2011-18. Ramboll Eesti AS
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/riigi_mnt_tugevdamise_maksumuse_hindamine_52t_ma_loplik.pdf
- Kendra, A. (2015) Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas.
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/elastsete_katendite_juhendi_taiendamine_siirdeteguritega_2015_8.pdf
- Kendra, A., et al. (2016) Elastsete teekatendite arvutusmetoodika arendamine. Teadus- ja arendustöö. MA 2016-45. Tallinna Tehnikaülikool.
<https://transpordiamet.ee/media/3173/download>
- Talviste, P., Kendra, A. (2022) Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamine lähtekohtade alusuuring. I etapi vahearuanne. IPT Projektijuhtimise OÜ
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2022-11/Katendi%20baasuuring_%20I%20etapi%20vahearuanne.pdf

- Kendra, A. et al (2024) Raskemate ja pikemate veoste mõju arvutamine riigiteede taristule. T-Konsult OÜ
- Kaal, T. et al (2020) Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmis- ja arvutusmetoodika täiendamise uuring. ERC/25/2020. ERC Konsultatsiooni OÜ
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-09/FWD%20uuring_ERC-25-2020_final.pdf
- Metsvahi, T. (2007) Liikluse baasproгноos Eesti riigimaanteedele aastaks 2040. Lõpparuanne. 2007-23/L. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut
<https://transpordiamet.ee/media/3263/download>
- Metsvahi, T. (2008) Sõidukite koormussageduste siirdetegurite korrigeerimine. Tallinna Tehnikaülikool, Teedeinstituut
https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/leping_siirde7045_lõpparuanne_3.pdf
- Talpas-Taltsepp, S. (2024) Eestis kasutusel oleva katendiarvutus metoodika probleemid ning alternatiivse rakenduse väljatöötamine kasutades Soome metoodikat. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool
<https://digikogu.taltech.ee/et/item/47948043-e9a8-4d00-80f9-8426ca07dfd4>
- Siika, T. (2006) Katurakenteiden staattinen ja dynaaminen kantavuus. Insinöörityö.
https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2006/2006_4.pdf
- Koppana, T (2017) Pudotuspainolaitteen ja lvykuormituskkeen vertailu. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto
<https://core.ac.uk/download/pdf/250164589.pdf>
- Odemark, Nils (1949) Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin. Statens Väginstitut
<https://vti.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A867287&dswid=8288>

LISAD

EPMSdata põhjal koostatud objektide detailsed andmed on eraldi esitatud *.xlsx failidena, mis on laetud pilveserverisse.