



MAANTEEAMET



LIFE + OSAMAT projekti lõplik tehniline järelmonitooring

Töö on koostatud Maanteeameti
teehoiu arendamise osakonna tellimusel

Tallinn
2020-017

Projektijuht:

Luule Kaal – ERC Konsultatsiooni OÜ

Töös osalesid:

Tiit Kaal – ERC Konsultatsiooni OÜ

Sven Sillamäe – GeoTech Consulting OÜ

Riho Enni – REI Geotehnika OÜ

Kristjan Lill – Tallinna Tehnikaülikool

© Maanteeamet, 2020

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

LIFE + OSAMAT PROJEKT
Teelõikude tehniline
järelmonitooring II

2020



LIFE + OSAMAT PROJEKT

Teelõikude tehniline järelmonitooring II

Tellija	Maanteeamet
Tellija esindaja ja kontaktandmed	Taavi Tõnts taavi.tonts@mnt.ee Teelise 4 10916 Tallinn Tel: 5083994
Lepingu nr / kp	1-12/20/0599-1 / 19.03.2020
Aruande kuupäev	30. oktoober 2020
Aruande nr	ERC/ 21 /2020
Märksõnad	OSAMAT, põlevkivituhk, katselõigud, järelmonitooring, stabiliseerimine, teekatte seisukord
Keywords	OSAMAT, oil shale ash, test sections, follow-up monitoring, stabilization, pavement condition
Töös osalesid	Luule Kaal <i>projektijuht, ERC Konsultatsiooni OÜ</i> Sven Sillamäe <i>katendiekspert, GeoTech Consulting OÜ</i> Riho Enni <i>geotehnika insener, REI Geotehnika OÜ</i> Kristjan Lill <i>materjalide ekspert, TalTech</i> Tiit Kaal <i>konsultant (mõõtmised), ERC Konsultatsiooni OÜ</i>

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

SISUKORD

1. Sissejuhatus	2
2. Objektide kirjeldus.....	3
3. Teekonstruktsiooni kandevõime	4
3.1. Narva-Mustajõe objekt.....	4
3.2. Simuna-Vaiatu objekt	15
4. Teekatte defektid.....	23
4.1. Narva-Mustajõe objekt.....	23
4.2. Simuna-Vaiatu objekt	26
5. Teekatte roopa sügavus.....	28
5.1. Narva-Mustajõe objekt.....	28
5.2. Simuna-Vaiatu objekt	31
6. Teekatte tasasus	34
6.1. Narva-Mustajõe objekt.....	34
6.2. Simuna-Vaiatu objekt	37
7. Objektide kokkuvõte ja analüüs	40
7.1. Narva – Mustajõe objekt	40
7.2. Simuna – Vaiatu objekt.....	47
7.3. Täiendavad katsetused põlevkivituhaga	54
8. Soovitused järgmisteks uuringuteks.....	58
9. Kokkuvõte	59
10. Kasutatud kirjandus	61

Aruande lisad (esitatud digitaalselt eraldi failidena)

LISA 1. Töö tehniline kirjeldus

LISA 2. Survetugevuse katsetulemused

LISA 3. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemused

LISA 4. Teekatte defektide inventeerimise tulemused

LISA 5. Teekatte roopa sügavuse mõõtmistulemused

LISA 6. Teekatte tasasuse mõõtmistulemused

LISA 7. Simuna-Vaiatu katselõigu geotehniline uuring

LISA 8. Objektide pildid (üldvaated)

1. SISSEJUHATUS

2010. aastal algatati OSAMAT projekt, mille eesmärk oli katsetada põlevkivituhka teede ehitusmaterjaline looduslikes tingimustes kahes pilootlõigus kaasaegsete teedehitustehnoloogiate abil. Projekti tulemused on sisendandmed taaskasutatavate materjalide turgudel tuha edendamiseks ning standardiseerimiseks kohalikul ja Euroopa tasemel. OSAMAT projekti koordinaatoriks oli Eesti Energia AS. Partneritena osalesid projektis Eesti Energia tütarettevõtte EE Narva Elektriijaamad ja ehitusfirma Nordecon AS. Projekti kaasfinantseerijaks oli Eesti Maanteeamet. Põlevkivituhka katsetati kahe pilootlõigu ehitamisel kahe erineva ehitustehnoloogia järgi: tee ülemise kihi stabiliseerimisel (Narva-Mustajõe pilootlõik) ja turba mass-stabiliseerimisel Simuna-Vaiatu pilootlõigul.¹

Projekti tehnilises lõpparuandes fikseeriti kahe katselõigu (Narva-Mustajõe ja Simuna-Vaiatu) tehnilised parameetrid ning seisukord jms detailid.

2018a. teostatas ERC Konsultatsiooni OÜ kahel katselõigul järelmonitooringu katsetused, mille tulemused on koondatud vastavasse aruandesse.²

Käesoleva uuringu eesmärk oli võrrelda 2 katselõigu tehniliste näitajate ja seisukorra muutust võrreldes varasemate uuringute tulemustega, tuua välja kokkuvõttes selgelt parimaks osutunud tehnoloogiad mõlemalt katselõigult ning teha ettepanekud millistes teekonstruktsiooni kihtides ja millise liiklus- ning koormussagedusega teelõikudel võiks parimaks osutunud tehnoloogiate kasutust edaspidi kaaluda. Eesmärk on selgitada kas katsetatud tehnoloogiad on tehnilis-majanduslikult optimaalsed Eesti teedehituses kasutamiseks.

Uuringu raames viidi läbi erinevad teekatte seisukorra mõõtmised (FWD, IRI, RBS, DEF) ja suurkehade katsetamised (survetugevus, penetratsioon, tiivikkatse, veesisalduse määramine) ning tehti pildid teekatte defektidest vastavalt töö tehnilisele kirjeldusele. Mõõtmis- ja laboratoorsete katsete tulemusi on võrreldud objekti valmimise järgsete tulemustega ning 2018 aasta järelmonitooringu tulemustega selgitamaks vahepeal toimunud olukorra muutust.

Töö tehniline kirjeldus on täies mahus toodud Lisas 1.

¹ <http://osamat.ee/et/index.html>

² „LIFE + OSAMAT PROJEKT Teelõikude tehniline järelmonitooring“, ERC Konsultatsiooni OÜ töö nr ERC/18/2018, Tallinn 2018

2. OBJEKTIDE KIRJELDUS

Uurimistöö sisaldab mõõtmiste ja katsetuste tegemist kahel objektil. Nende asukoht Eesti teedevõrgul on toodud joonisel 2.1. Objektide ja nende asuvate erinevate katselõikude tee-aadressid on toodud tabelis 2.1.

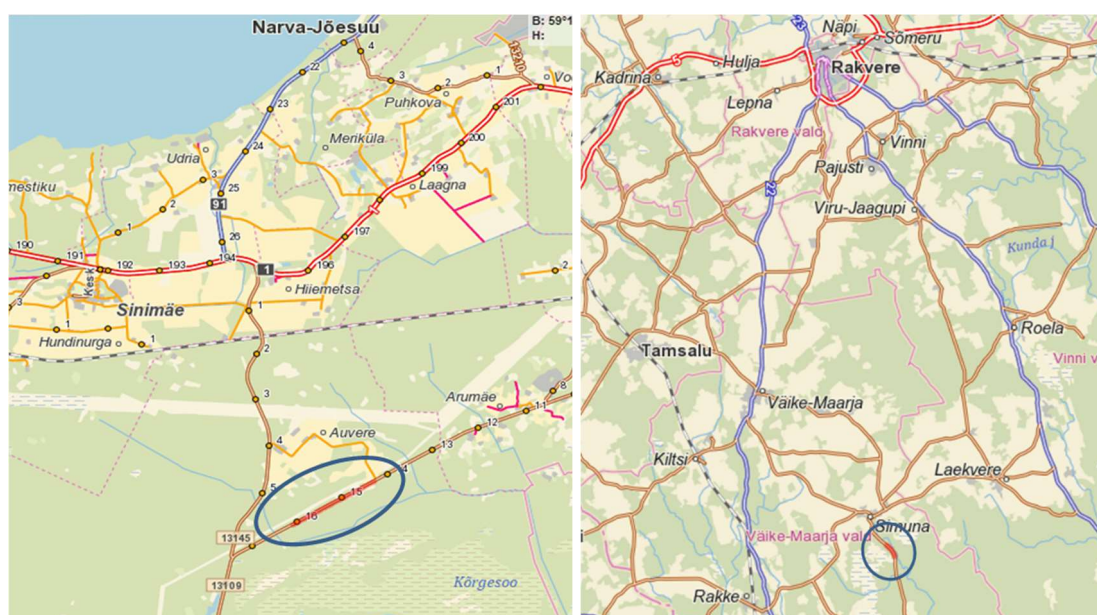
Narva-Mustajõe objekti piketaaži suund on teeregistri suunale vastupidine.

Tabel 2.1. Uurimistöö objektide ja nendel asuvate katselõikude tee-aadressid

Mnt nr	Mnt nimetus	Lõik	Algus			Lõpp		
			TO_Kaugus*	Km**	PK	TO_Kaugus*	Km**	PK
13109	Narva-Mustajõe	Objekti algus	2_9539	16,162	0+00			
		A	2_9489	16,112	0+50	2_9039	15,662	5+00
		B	2_9039	15,662	5+00	2_8589	15,212	9+50
		C	2_8589	15,212	9+50	2_8489	15,112	10+50
		D	2_8489	15,112	10+50	2_8389	15,012	11+50
		E	2_7959	14,582	15+80	2_7859	14,482	16+80
		Objekti lõpp				2_7739	14,362	18+00
17192	Simuna-Vaiatu	Objekti algus	1_3004	3,004	30+00			
		ST_I	1_3024	3,024	30+20	1_3265	3,265	32+61
		ST_II	1_3265	3,265	32+61	1_3514	3,514	35+10
		ST_III	1_3514	3,514	35+10	1_3765	3,765	37+61
		ST_IV	1_3765	3,765	37+61	1_3924	3,924	39+20
		Objekti lõpp				1_3929	3,929	39+25

* - teeosa nr ja kaugus teeosa algusest

** - kilomeeter, ehk kaugus tee algusest



Joonis 2.1. Narva-Mustajõe ja Simuna-Vaiatu objektide asukohad Eesti teedevõrgul

3. TEEKONSTRUKTSIOONI KANDEVÕIME

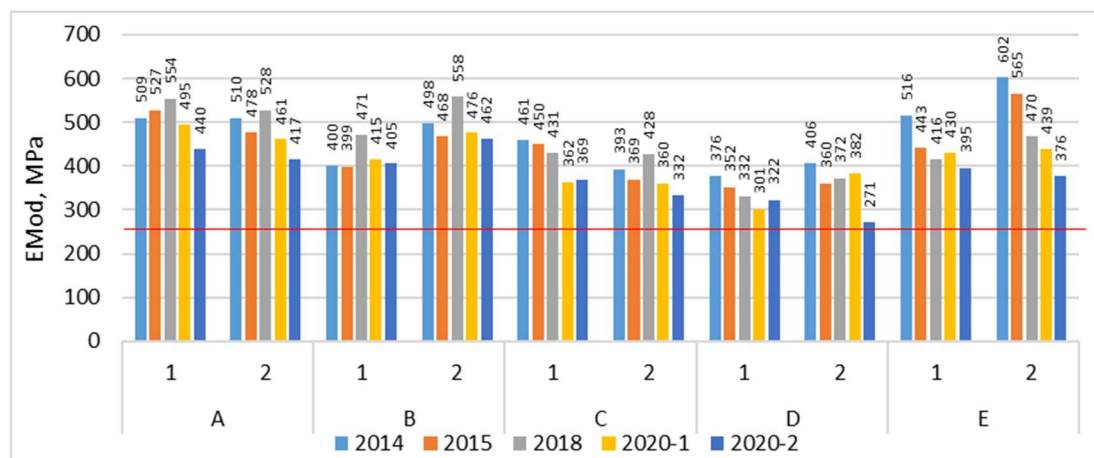
Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised on uuritud objektil 2020 aastal teostatud kaks korda. Esimene mõõtmine toimus 6. juunil 2020 aastal (tellitud Maanteeameti poolt eraldi tööna) ja teine 7. augustil 2020 aastal. Mõlemal korral teostas mõõtmised ERC Konsultatsiooni OÜ alltöövõtjana West Coast Road Masters Oy seadmega KUAB 50 (FWD serial no. FV123). Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemuste protokollid on toodud lisas 3.

3.1. Narva-Mustajõe objekt

Kõrvalmaanteel nr 13109 Narva-Mustajõe asuval katselõigul on teekonstruktsiooni kandevõimet mõõdetud kokku 5-l korral. Esimene mõõtmine on teostatud 4. novembril 2014. aastal, teine mõõtmine 18. septembril 2015. aastal, kolmas mõõtmine 13. augustil 2018. aastal, neljas mõõtmine 6. juunil 2020. aastal ning viies mõõtmine tehti antud uuringu käigus 7. augustil 2020. aastal. 2014 ja 2015. aastal on FWD-mõõtmised teostatud kummalgi aastal 77-s punktis (39 punktis suunal 1 ja 38 punktis suunal 2). 2018. aastal teostati mõõtmised kokku 154-s punktis, mõlemas suunas 77 punktis 25 m mõõtmisammuga, ehk poole rohkem kui varasematel aastatel. 2020. aastal on mõlemal korral tehtud mõõtmised 146-s punktis, mõlemas suunas 73 punkti.

Teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul

Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli väärtused ületavad uuritud teelõikudel selgelt vajalikku väärtust ($EMod_{vaj} = 259$ MPa vastavalt varasematele uuringutele³).



Joonis 3.1. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli ($EMod$, MPa) keskmised väärtused uuritud lõikudel aastate ja suundade⁴ kaupa.

³ Final Report for Study „Technical monitoring and scientific analysis of data from OSAMAT project pilot sections“, Tallinn 2015

⁴ Suund 1 – teeregistri järgne tee suund ja suund 2- teeregistri suunale vastupidine suund

Katselõigul asuvatest uuritavatest lõikudest on kõigil täheldatav (joonis 3.1) teekonstruktsiooni üldise kandevõime langus viimase 2 aasta jooksul. Lõigul D suunal 2 on EMod väärtus (271 MPa) juba üsna lähedal vajalikule väärtusele (259 MPa).

Tabel 3.1. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) väärtuste võrdlus

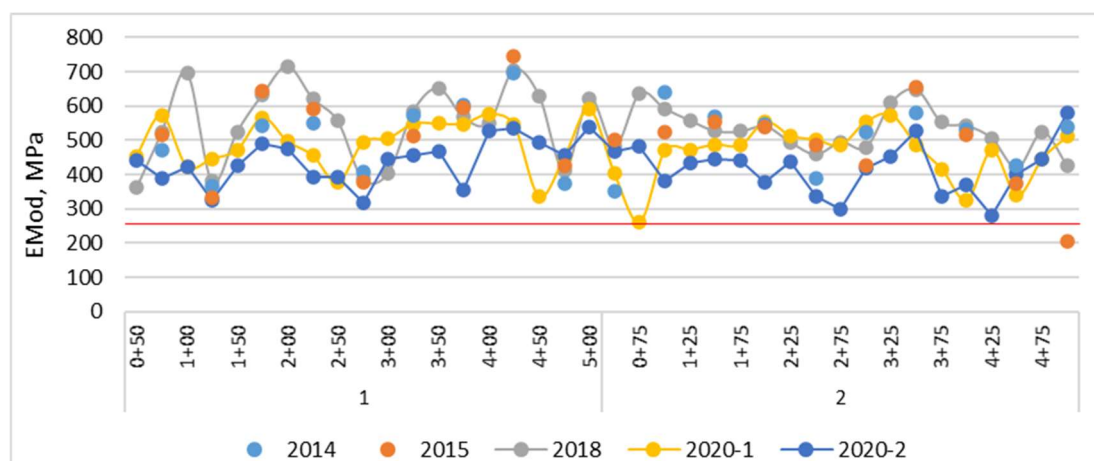
Teelõik	Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli väärtused, EMod MPa									EMod muutus 2014 vs 2020-2
	Vajalik	2014	2015	2018	2020-1	2020-2	Min*	Max*	STdev*	
Lõik A	259	509	501	541	478	428	282	579	70	-15.9%
Lõik B	259	446	431	514	445	434	335	578	72	-2.7%
Lõik C	259	427	409	430	361	351	287	422	53	-17.9%
Lõik D	259	391	356	352	342	296	230	559	108	-24.3%
Lõik E	259	550	492	443	434	385	282	544	89	-30.0%

* - 2020-2 mõõtmistulemuste alusel

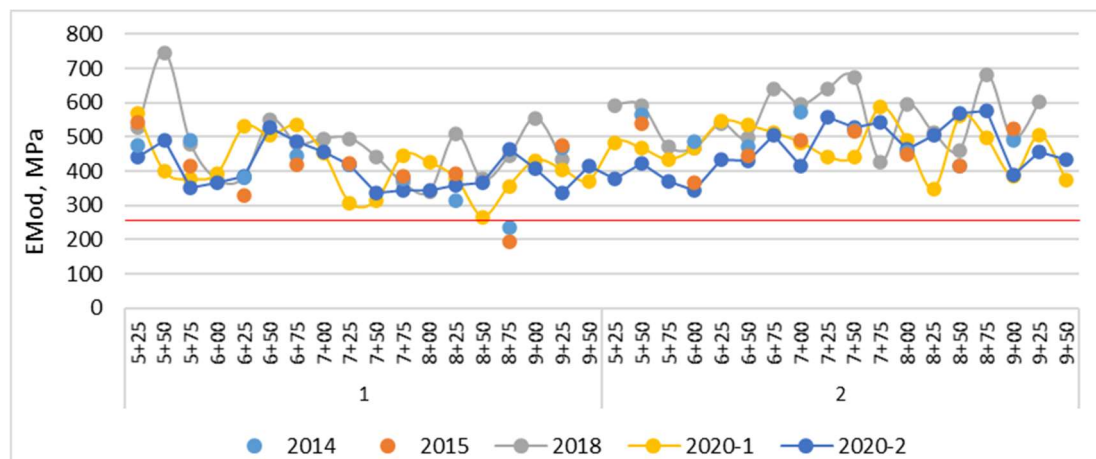
Lõikude võrdluses on täheldatav tendents, kus lõikudel A ja B teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul kasvas kuni aastani 2018 ja seejärel hakkas see langema. Lõigul C püsis EMod väärtus samas suurusjärgus kuni aastani 2018 ja seejärel hakkas see langema. Lõikudel D ja E on teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul pidevalt langenud alates objekti valmimisest 2014 aastal.

Võrreldes vahetult ehitusjärgse olukorraga on EMod väärtused langenud kõigil lõikudel. Väikseima muutusega (-2.7%) on lõik B ja suurima muutusega (-30.0%) on lõik E.

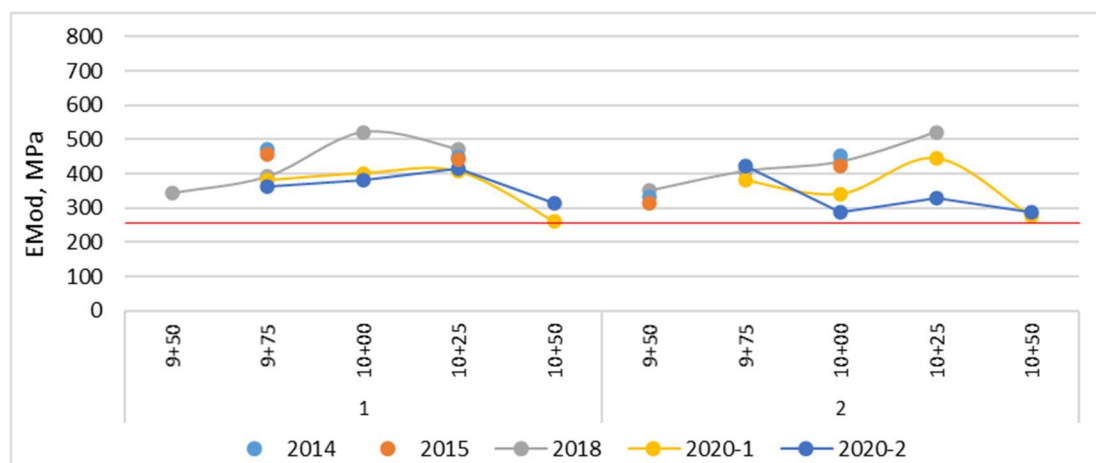
Kuigi lõikudel A ja B (joonised 3.2 ja 3.3) on teekonstruktsiooni keskmine üldine elastsusmooduli väärtus senini püsinud üsna kõrge, siis üksikud mõõdetud EMod väärtused kõiguvad üsna suurtes piirides, ehk teekonstruktsiooni tugevus on nendel lõikudel väga ebaühtlane. Samas on see kõikumine viimaste mõõtmiste alusel selgelt vähenenud. Lõikudel C ja D (joonised 3.5 ja 3.6) on mõõdetud EMod väärtuste hajumine selgelt väiksem ja mõõtmistulemused ühtlasemad.



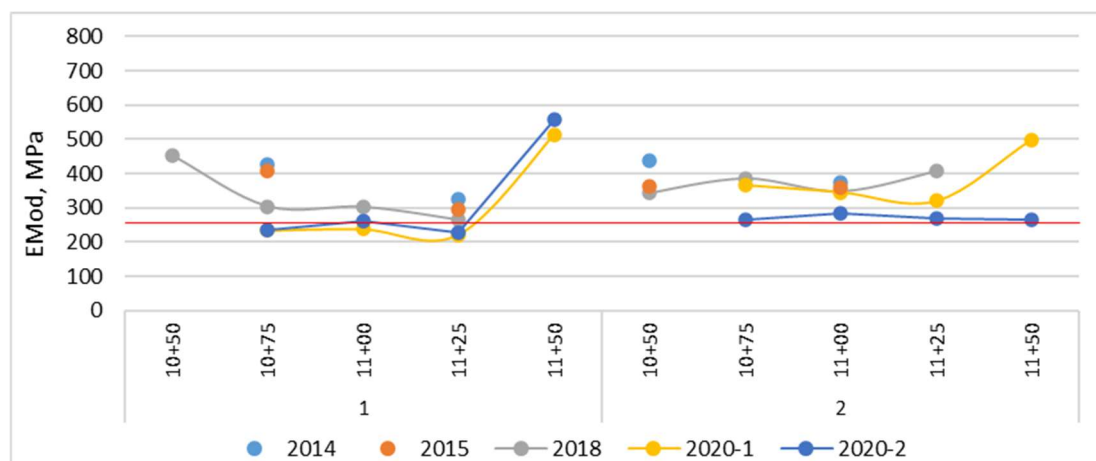
Joonis 3.2. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) väärtused lõigul A



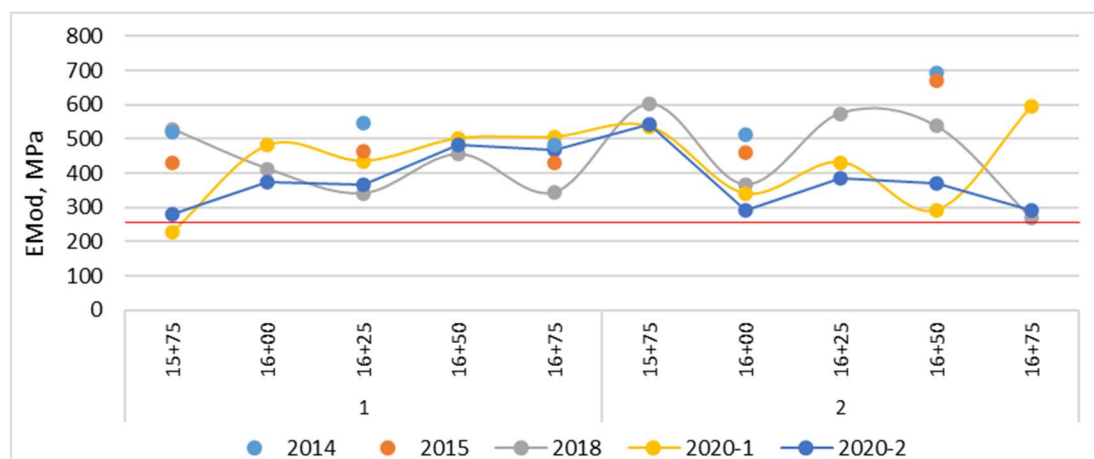
Joonis 3.3. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (E_{Mod} , MPa) väärtused lõigul B



Joonis 3.4. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (E_{Mod} , MPa) väärtused lõigul C



Joonis 3.5. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (E_{Mod} , MPa) väärtused lõigul D



Joonis 3.6. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (E_{Mod} , MPa) väärtused lõigul E

Pinna kõverustegur, SCI

Pinna kõverustegur, ehk SCI (*Surface Curvature Index*) iseloomustab katendi pealmise kihi tugevust. Selle nõutav väärtus on seotud vajaliku teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduliga. Uuritud teelõigu SCI piirväärtus on 152.

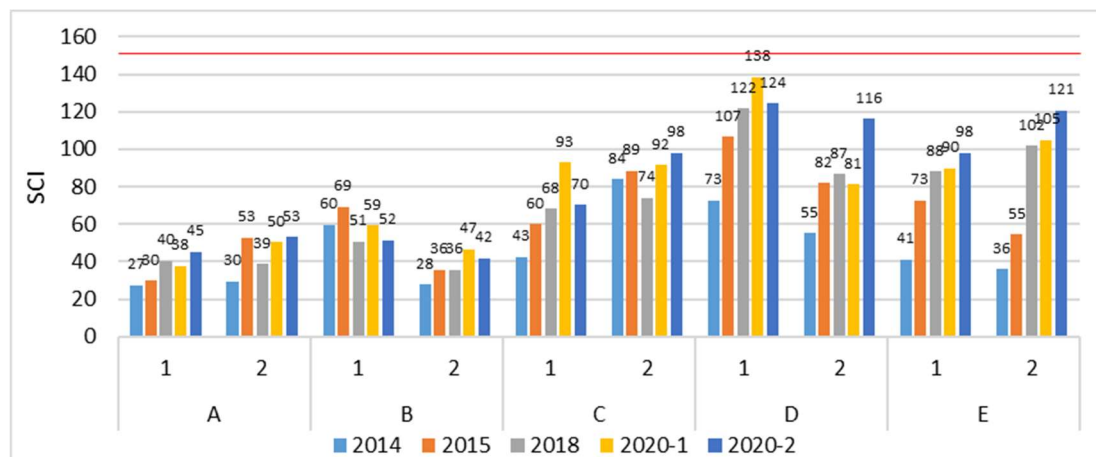
Kõikide uuritud lõikude osas on SCI väärtused piirväärtusest väiksemad, ehk katendi ülemiste kihtide tugevus on tagatud. Samas on SCI väärtuste muutumine viimase 6 aasta jooksul lõikude osas üsna erinev. Selgelt suurema SCI kasvuga tulevad esile lõigud D ja E (joonised 3.11 ja 3.12) ning nendel lõikudel on üksikutes mõõtepunktides SCI piirväärtus ka ületatud. Võrreldes vahetult ehitusjärgse olukorraga on SCI väärtused kasvanud kõigil lõikudel. Väikseima muutusega (-4.5%) on lõik B ja suurima muutusega (-179.7%) on lõik E.

Lõigul A on SCI väärtustes täheldatav kasvutrend (kasv eriti suur esimesel aastal), samas on SCI väärtused sellel lõigul veel reeglina püsinud üsna väikesed. Lõigul B on SCI väärtused püsinud praktiliselt muutumatutena ja need on üsna väikesed. Lõigul C SCI väärtused kõiguvad, samas on trend väärtuste kasvamise suunas, kuid hetkel on SCI väärtused piirväärtusest veel ligi kaks korda väiksemad. Lõigul D on SCI väärtused aasta aastalt pidevalt kasvanud ja viimased tulemsued hakkavad juba lähenema piirväärtusele. Sama pidev kasvutrend on täheldatav ka lõigul E selle erinevusega et SCI väärtused on veidi väiksemad.

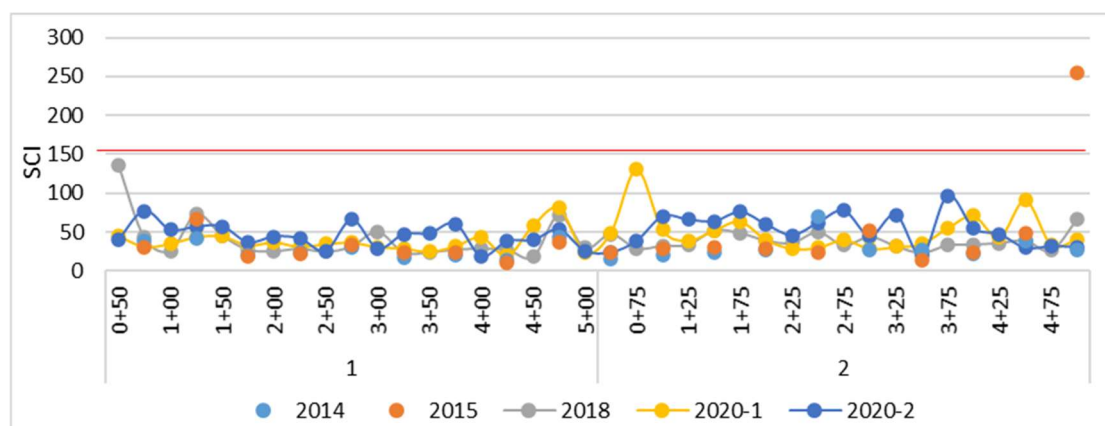
Tabel 3.2. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtuste võrdlus

Teelõik	Pinna kõverusteguri SCI väärtused									SCI muutus 2014 vs 2020-2
	Piir	2014	2015	2018	2020-1	2020-2	Min*	Max*	STdev*	
Lõik A	152	29	42	40	44	49	19	97	18	-72.0%
Lõik B	152	45	53	43	53	47	9	99	20	-4.5%
Lõik C	152	63	74	71	92	84	56	134	27	-32.7%
Lõik D	152	64	94	104	110	120	27	174	46	-88.4%
Lõik E	152	39	65	95	97	109	32	198	45	-179.7%

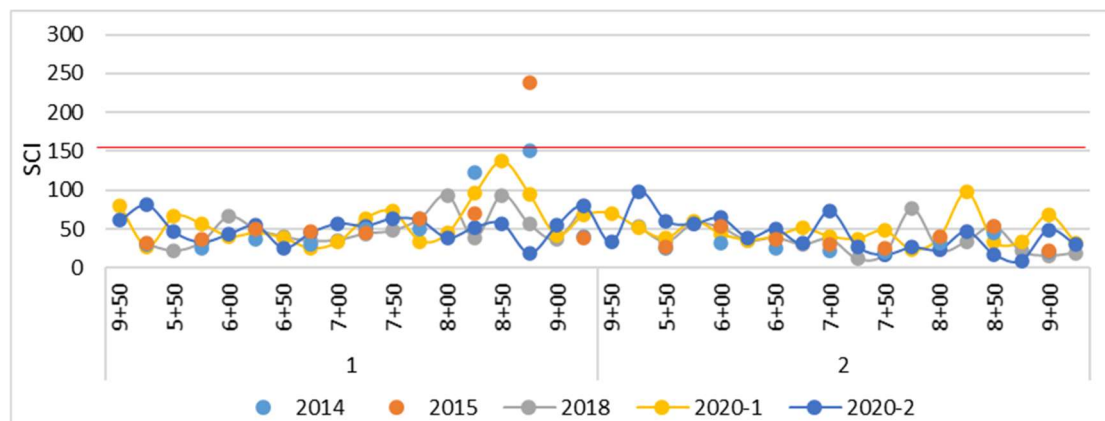
* - 2020-2 mõõtmistulemuste alusel



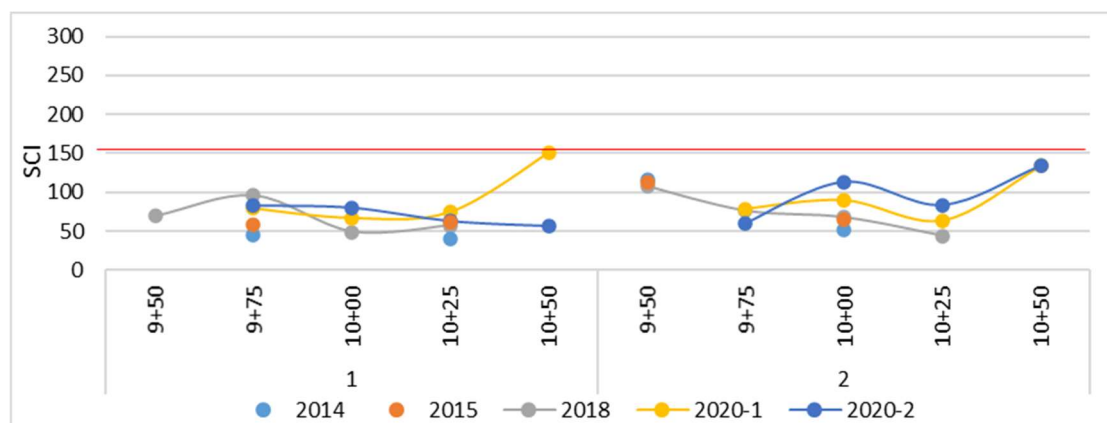
Joonis 3.7. Pinna kõverusteguri (SCI) keskmised väärtused uuritud lõikudel aastate ja suundade kaupa



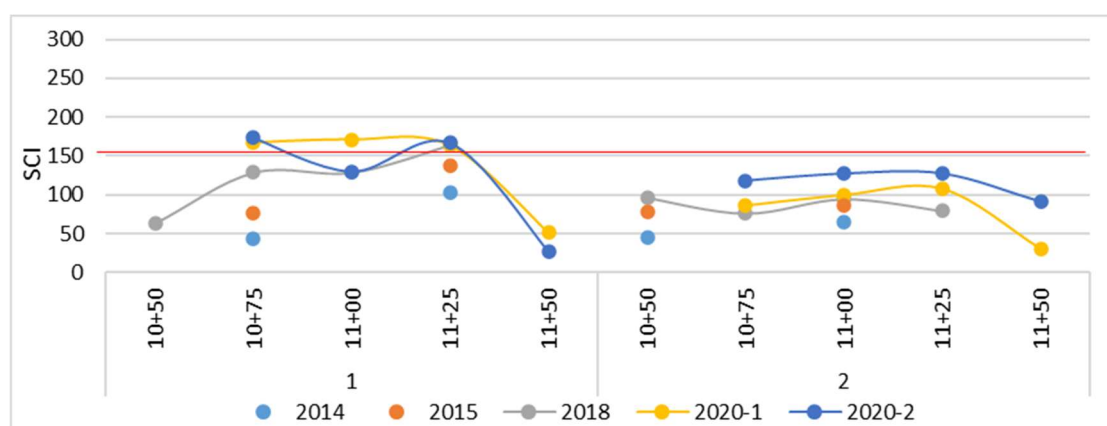
Joonis 3.8. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtused lõigul A



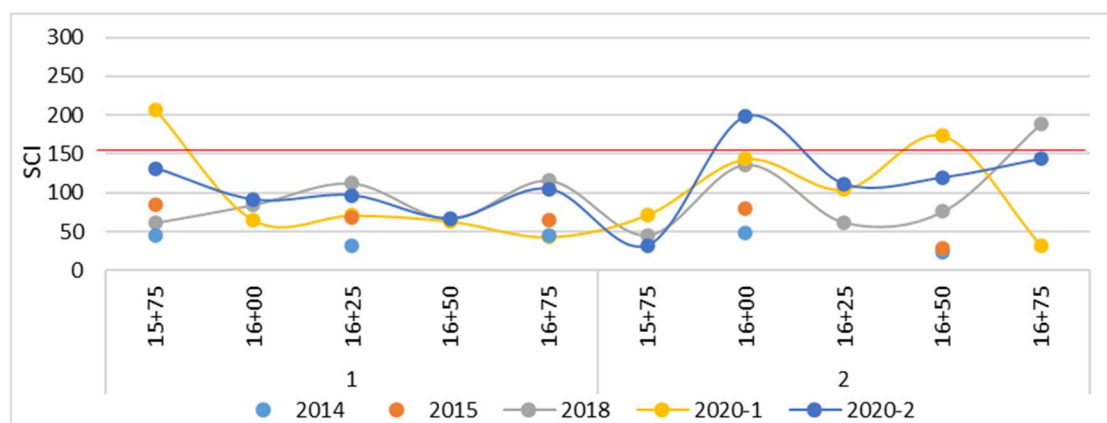
Joonis 3.9. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtused lõigul B



Joonis 3.10. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtused lõigul C



Joonis 3.11. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtused lõigul D



Joonis 3.12. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtused lõigul E

Aluse vigastatuse tegur, BDI

Aluse vigastatusse tegur, ehk BDI (*Base Damage Index*) iseloomustab katendi alumiste kihtide tugevust. Selle nõutav väärtus on seotud vajaliku teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduliga. Uuritud teelõigu BDI piirväärtus on 75.

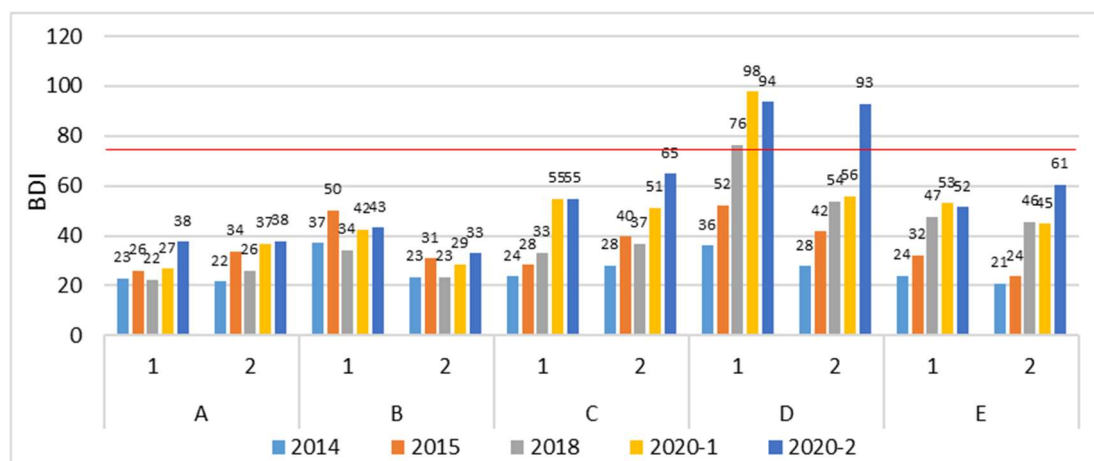
Kõikide uuritud lõikude osas (va lõik D) on mõõdetud BDI keskmised väärtused piirväärtusest väiksemad, ehk katendi alumiste kihtide tugevus on tagatud. Sarnaselt SCI-le on ka BDI väärtuste muutumine, ehk katendi alumiste kihtide tugevusomaduste muutumine viimase 6 aasta jooksul olnud lõiguti väga erinev. Selgelt suurema BDI kasvuga tulevad esile lõigud D ja E ning nendel lõikudel on mitmes mõõtepunkti BDI piirväärtus ka ületatud. Ka lõigul C on BDI väärtused kasvanud keskmiselt ligi kaks korda. Selgelt paremas olukorras on lõigud A ja B, kus muutused BDI osas on väiksemad ja ka BDI väärtused ise on nendel lõikudel endiselt selgelt alla piirväärtuse.

Võrreldes vahetult ehitusjärgse olukorraga on BDI väärtused kasvanud kõigil lõikudel. Väikseima muutusega (-24.6%) on lõik B ja suurima muutusega (-191.7%) on lõik D.

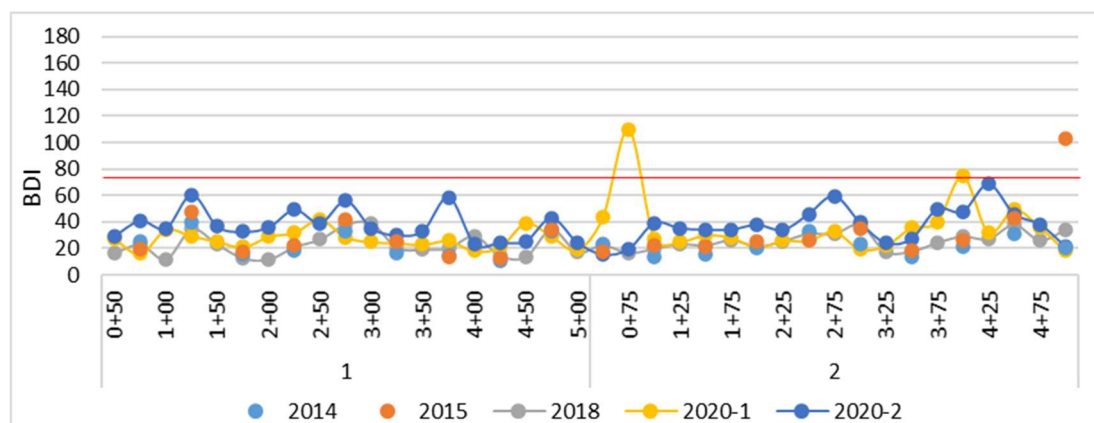
Tabel 3.3. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtuste võrdlus

Teelõik	Aluse vigastatuse teguri BDI väärtused									BDI muutus 2014 vs 2020-2
	Piir	2014	2015	2018	2020-1	2020-2	Min*	Max*	STdev*	
Lõik A	75	22	30	24	32	38	16	69	12	-69.8%
Lõik B	75	31	41	29	35	38	22	60	12	-24.6%
Lõik C	75	26	34	35	53	60	32	103	27	-132.2%
Lõik D	75	32	47	65	77	93	21	143	34	-191.7%
Lõik E	75	23	29	47	49	56	17	112	29	-147.4%

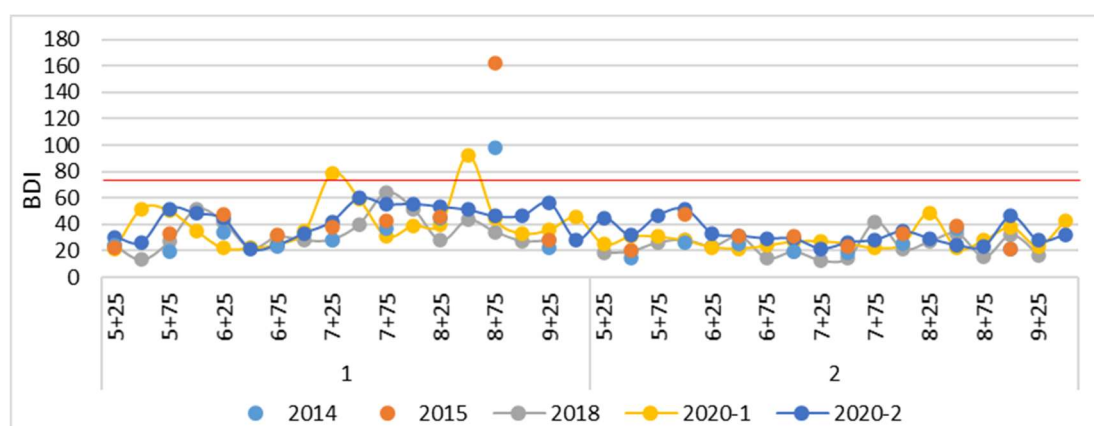
* - 2020-2 mõõtmistulemuste alusel



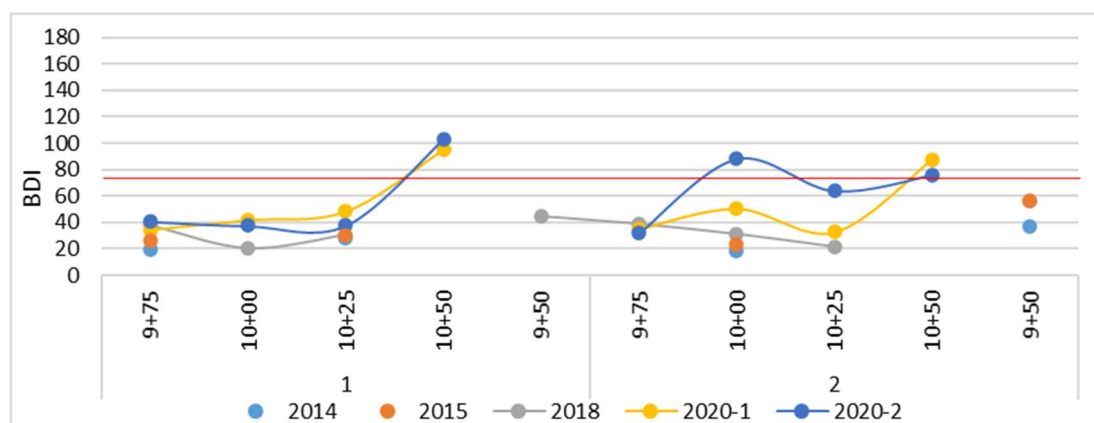
Joonis 3.13. Aluse vigastatuse teguri (BDI) keskmised väärtused uuritud lõikudel aastate ja suundade kaupa



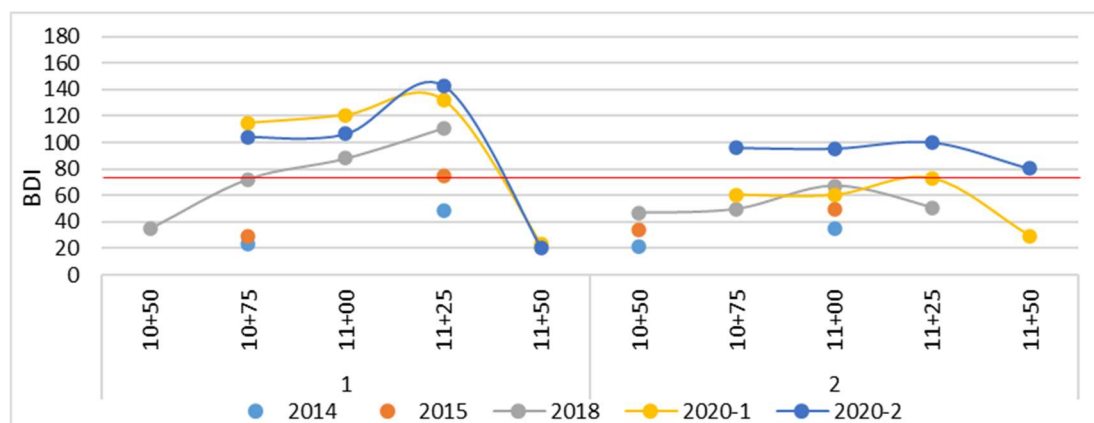
Joonis 3.14. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtused lõigul A



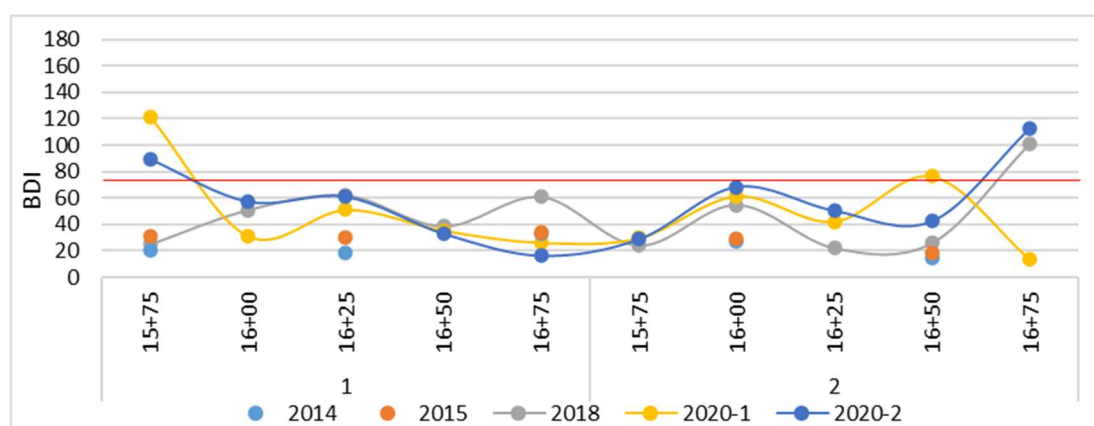
Joonis 3.15. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtused lõigul B



Joonis 3.16. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtused lõigul C



Joonis 3.17. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtused lõigul D



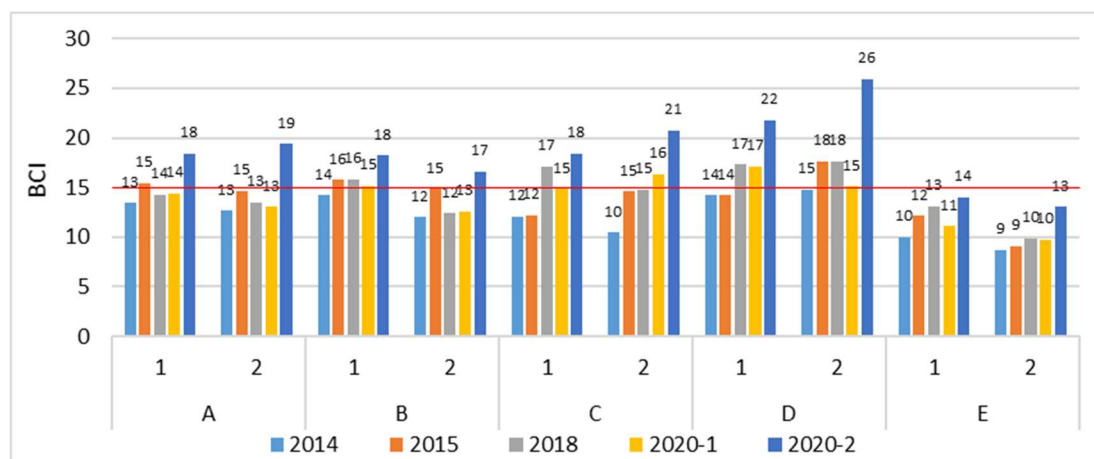
Joonis 3.18. Aluse vigastatuse teguri (BDI) väärtused lõigul E

Aluse kõverustegur, BCI

Aluse kõverustegur ehk BCI (*Base Curvature Index*) iseloomustab aluskihtide tugevust. Selle nõutav väärtus on seotud vajaliku teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduliga. Uuritud teelõigu BCI piirväärtus on 15.

Aluskihtide tugevusomadused on uuritud lõikudel sarnased, mõõtmistulemuste põhjal on olukord viimaste mõõtmiste valguses kõikidel lõikudel oluliselt halvenenud. Erandiks on lõik E, kus see muutus on veidi väiksem ja enamuse mõõtmistulemustest jääb seni veel alla BCI piirväärtuse.

Võrreldes vahetult ehitusjärgse olukorraga on BCI väärtused kasvanud kõigil lõikudel. Väikseima muutusega (-32.0%) on lõik B ja suurima muutusega (-73.9%) on lõik C.

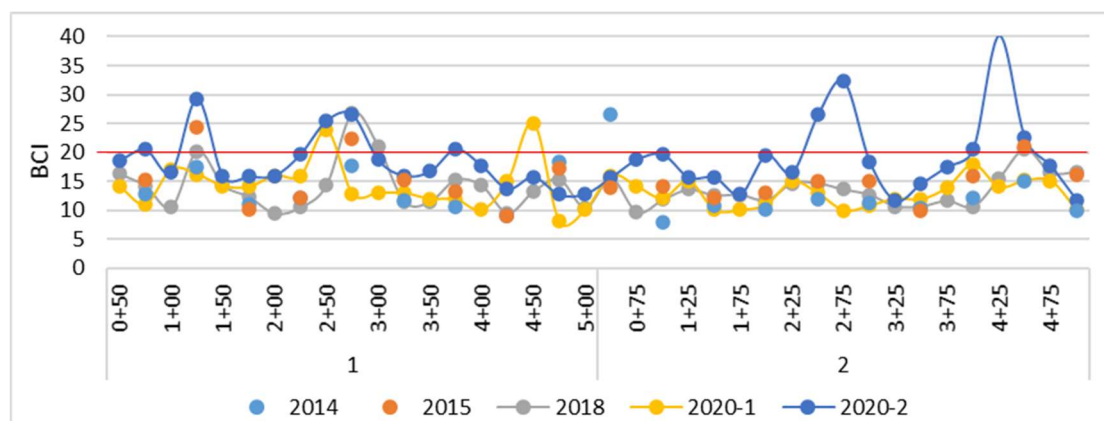


Joonis 3.19. Aluse kõverusteguri (BCI) keskmised väärtused uuritud lõikudel aastate ja suundade kaupa

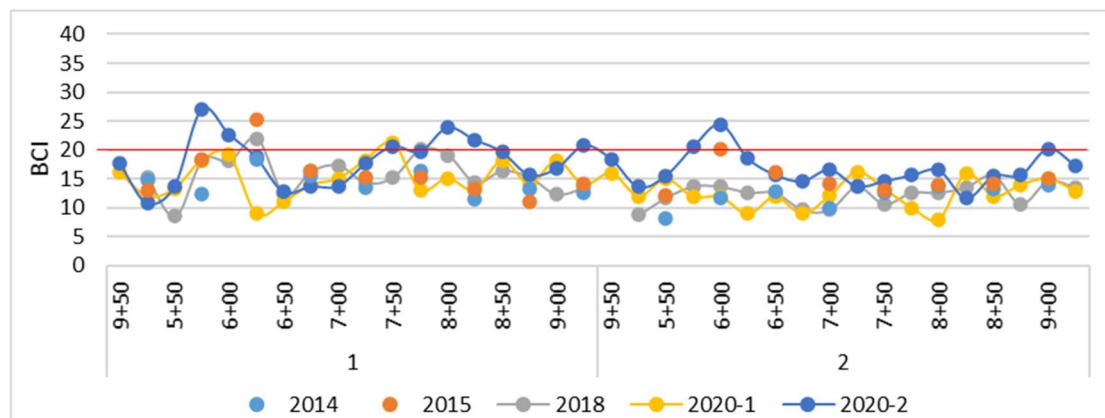
Tabel 3.4. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtuste võrdlus

Teelõik	Aluse kõverusteguri BCI väärtused									BCI muutus 2014 vs 2020-2
	Piir	2014	2015	2018	2020-1	2020-2	Min*	Max*	STdev*	
Lõik A	15	13	15	14	14	19	12	40	6	-45.2%
Lõik B	15	13	15	14	14	17	11	27	4	-32.0%
Lõik C	15	11	13	16	16	20	14	24	4	-73.9%
Lõik D	15	15	16	17	16	24	14	34	6	-64.5%
Lõik E	15	9	11	11	10	14	10	20	3	-42.5%

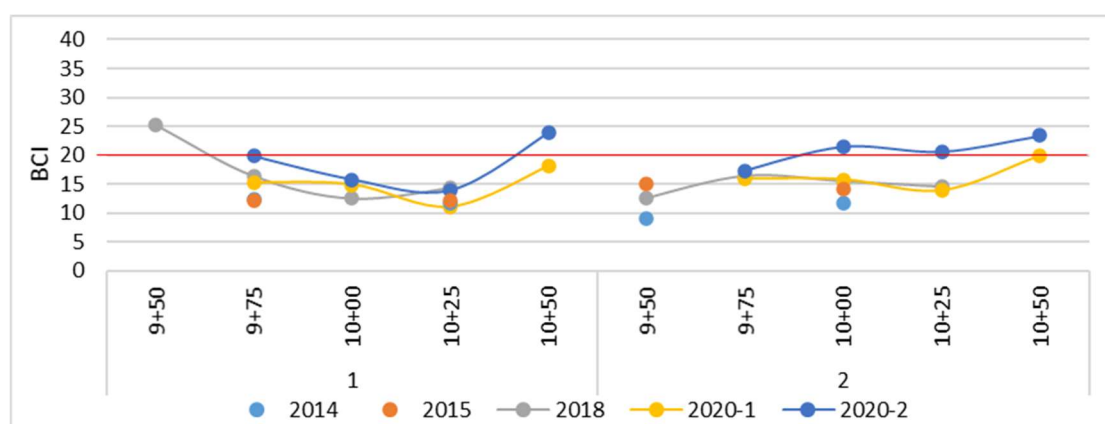
* - 2020-2 mõõtmistulemuste alusel



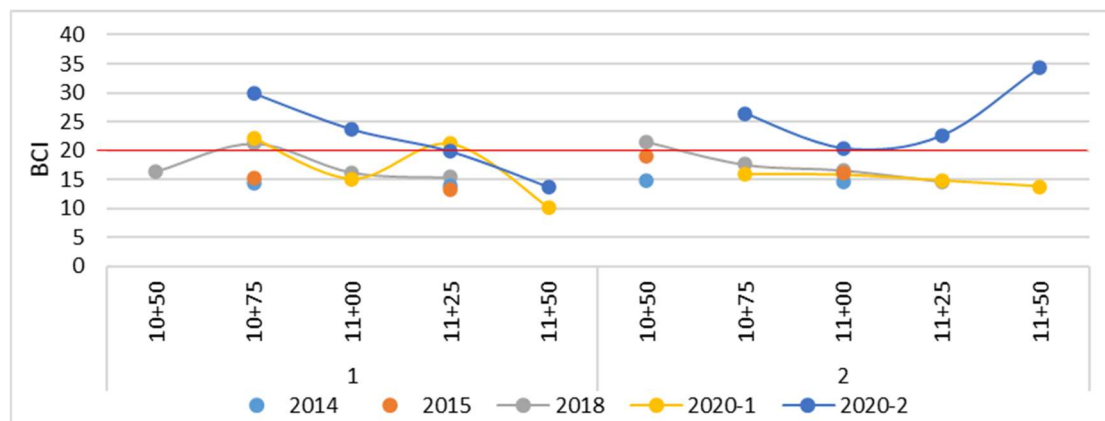
Joonis 3.20. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtused lõigul A



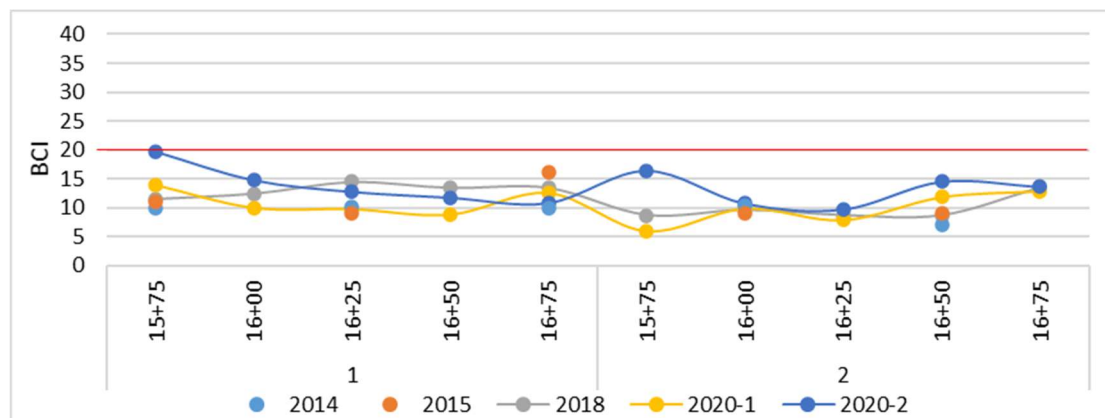
Joonis 3.21. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtused lõigul B



Joonis 3.22. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtused lõigul C



Joonis 3.23. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtused lõigul D



Joonis 3.24. Aluse kõverusteguri (BCI) väärtused lõigul E

3.2. Simuna-Vaiatu objekt

Kõrvalmaanteel nr 17192 Simuna-Vaiatu asuval katselõigul on käesoleva uuringu teostajate andmetel teekonstruktsiooni kandevõimet mõõdetud seni kokku 8-l korral:

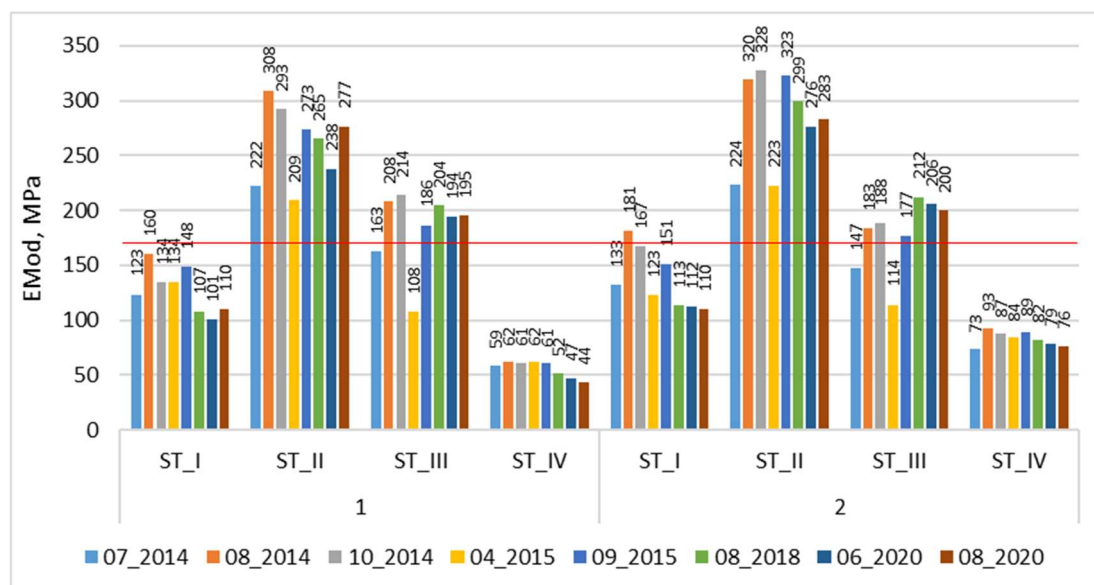
- 10. juulil 2014 aastal;
- 8. augustil 2014 aastal;
- 9. oktoobril 2014 aastal;
- 14. aprillil 2015 aastal;
- 18. septembril 2015 aastal;
- 13 augustil 2018 aastal;
- 6 juunil 2020 aastal (projektiväline mõõtmine);
- 7 augustil 2020 aastal.

2014 ja 2015. aastal on FWD-mõõtmised teostatud kummalgi aastal 74-s punktis (37 punktis mõlemal suunal). 2018 ja 2020. aastal teostati mõõtmised kokku 90-s punktis, mõlemas suunas 45-s punktis 25 m mõõtmisammuga.

Teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul

Suhteliselt lühikesel teelõigul on 4 erineva konstruktsiooniga katselõiku (ST_I, ST_II, ST_III ja ST_IV), millede tugevusomadused on väga erinevad (joonis 3.25). Selgelt üle nõutava ($E_{Mod_{vaj}} = 169 \text{ MPa}$ vastavalt varasematele uuringutele⁵) on elastsusmooduli väärtused olnud kõikidel mõõtmiskordadel katselõigul ST_II ja selgelt alla nõutava E_{Mod} väärtuse on mõõtmistulemused olnud kõikidel mõõtmiskordadel katselõigul ST_IV. Katselõikudel ST_I ja ST_III on E_{Mod} mõõtmistulemused püsinud piiripealsed. Olulisi ja järske muutusi teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli osas aastate jooksul katselõikudel ei ole esinenud.

⁵ Final Report for Study „Technical monitoring and scientific analysis of data from OSAMAT project pilot sections“, Tallinn 2015



Joonis 3.25. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) keskmised väärtused uuritud lõikudel erinevate mõõtmiste ja suundade⁶ kaupa.

Praktiliselt kõikidel katselõikudel (erandiks on katselõik ST_III) on täheldatav trend, kus teelõigu valmimise järgselt EMod väärtused väga kiiresti kasvasid lühikese perioodi ajal suures ulatuses (mõõtmine 07_2014 vs 08_2014) ja pärast seda hakkasid EMod väärtused alanema (tabel 3.5). Katselõigu ST_III EMod väärtused on aja jooksul püsinud väikeste kõikumistega enam vähem samal tasemel (va 2015 aasta kevadine mõõtmine).

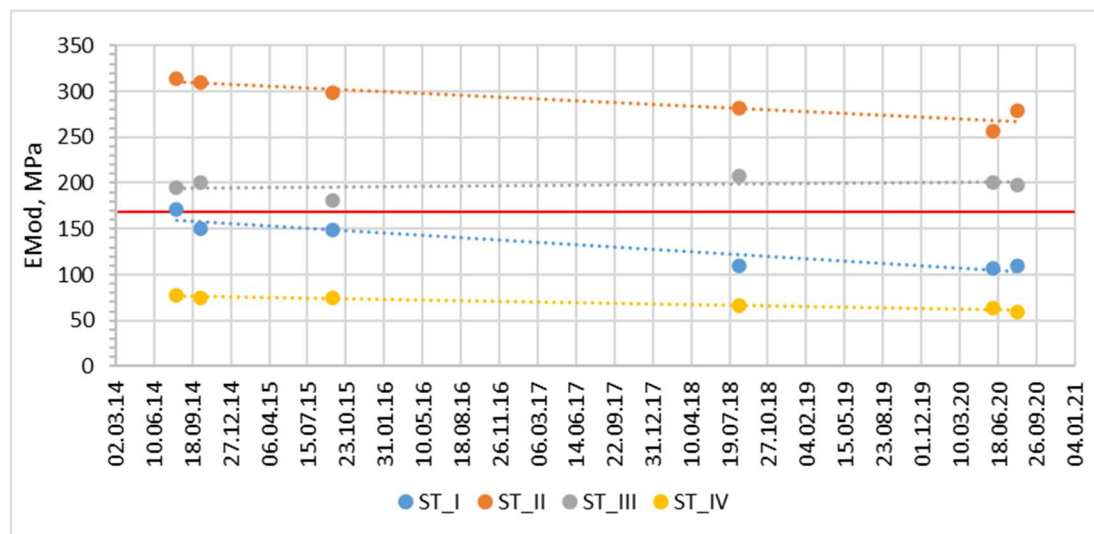
Tabel 3.5. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) väärtuste võrdlus

Teelõik	Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli väärtused, EMod MPa								muutus 08_2014 vs 08_2020
	07_2014	08_2014	10_2014	04_2015	09_2015	08_2018	06_2020	08_2020	
Lõik ST_I	128	171*	151	129	150	110	106	110	-36%
Lõik ST_II	223	314*	310	216	298	282	257	280	-11%
Lõik ST_III	155	196	201	111	182	208*	200	198	1%
Lõik ST_IV	66	77*	74	73	75	67	63	60	-23%
Lõigud kokku	149	199*	193	137	184	158	150	154	-23%

* - suurim mõõdetud (keskmine) väärtus katselõigul

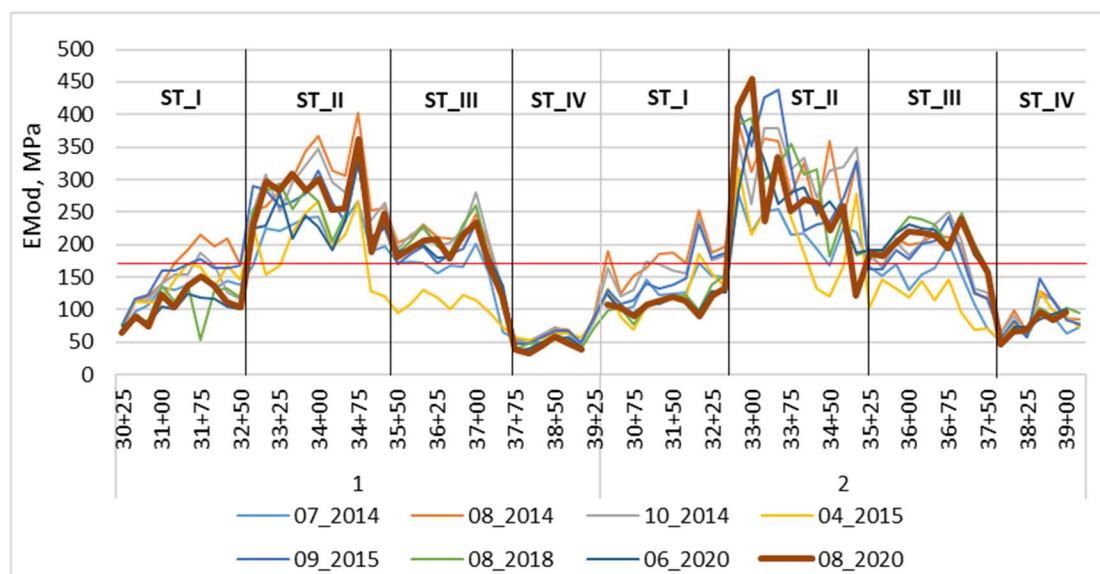
Kui mitte arvestada kohe objekti valmimise järgset teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise tulemust ja varakevadel 2015 aastal (14.04.2015) tehtud mõõtmiste tulemusi, siis on üsna kenasti täheldatav üldise elastsusmooduli väärtuste kiirele kasvule (periood 07/14 – 08/14) järgnev pidev EMod väärtuse alanemine kogu katselõigu arvestuses (joonis 3.26). EMod on oma suurimast väärtusest tänaseks päevaks kaotanud ca neljandiku, ehk 25,6% (kogu lõigu keskmisena alanemine tasemelt 200 MPa tasemeni 150 MPa).

⁶ Suund 1 – teeregistri järgne tee suund ja suund 2- teeregistri suunale vastupidine suund



Joonis 3.26. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) keskmiste väärtuste muutumine kogu teelõigul (arvestatud ei ole esimest FWD mõõtmist ja mõõtmist varakevadel 2015)

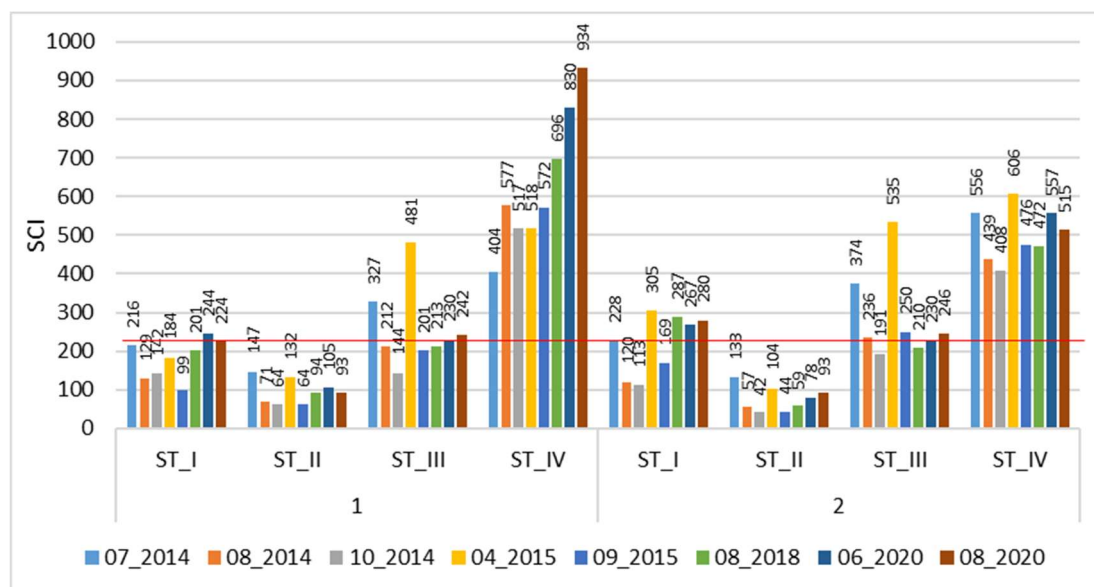
Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemused erinevatel mõõtmiskordadel ja erinevatel aastatel suundade kaupa on toodud joonisel 3.27.



Joonis 3.27. Teekonstruktsiooni üldise elastsusmooduli (EMod, MPa) mõõtmistulemused

Pinna kõverustegur, SCI

Pinna kõverusteguri (SCI) osas erineb antud objektist teistest selgelt katselõik ST_IV, kus SCI väärtused olid kohe väga kõrged ja need on aastate jooksul pidevalt kasvanud, ületades lubatud väärtust (226) viimaste mõõtmistulemuste alusel suunal 1 juba üle nelja korra. Madalaima SCI väärtusega on katselõik ST_II, kus ei ole ühelgi mõõtmiskorral lubatud SCI väärtus üle piiri olnud. Katselõikudel ST_I ja ST_III on SCI väärtused püsivad viimastel aastatel (nagu ka EMod mõõtmistulemused) piiripealsetena.

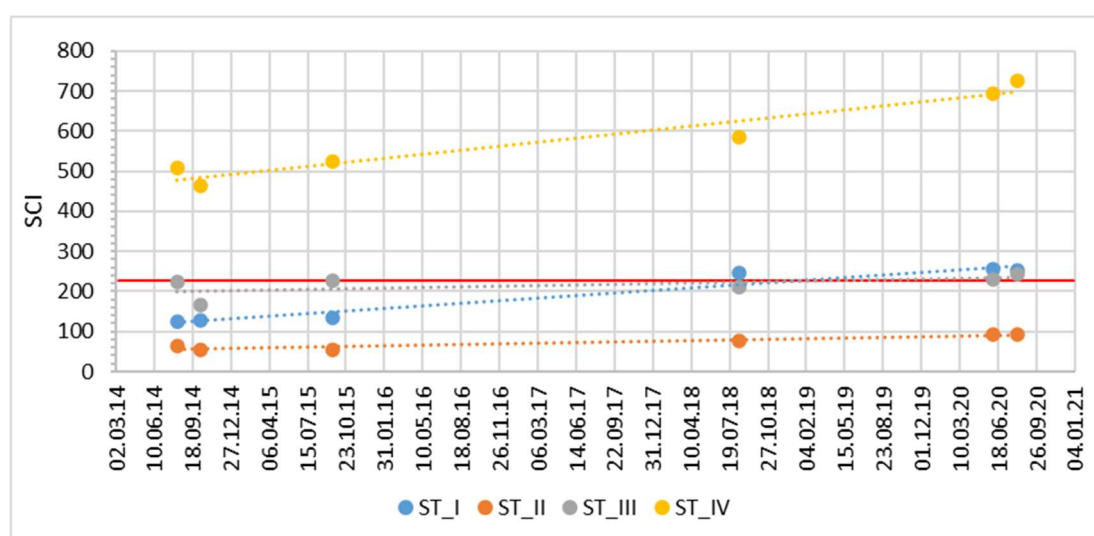


Joonis 3.28. Pinna kõverusteguri (SCI) keskmised väärtused uuritud lõikudel erinevate mõõtmiste ja suundade kaupa.

Tabel 3.6. Pinna kõverusteguri (SCI) väärtuste võrdlus

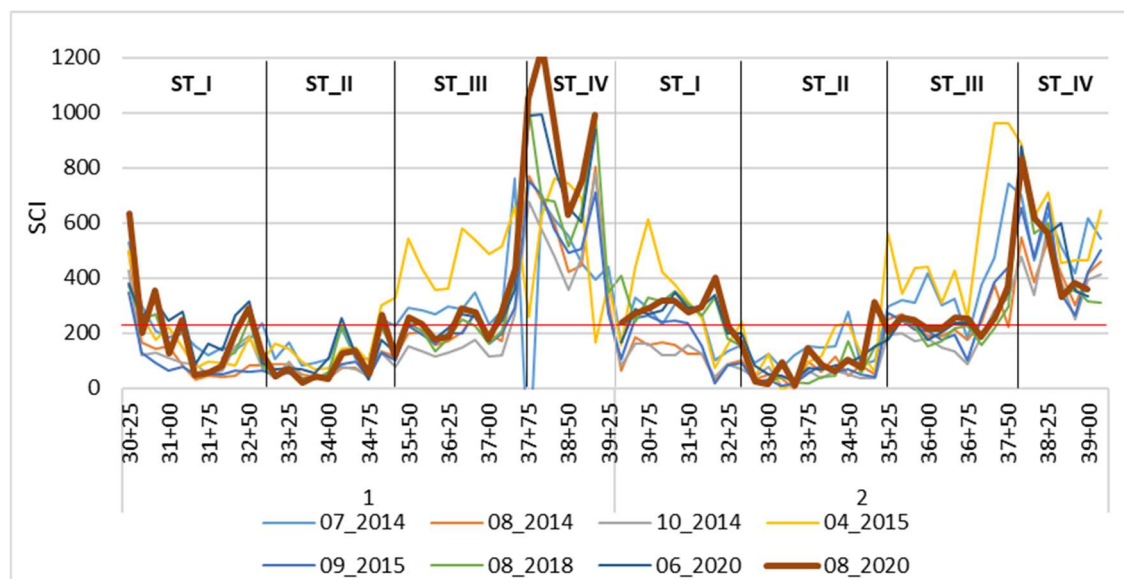
Teelõik	SCI väärtused								muutus 08_2014 vs 08_2020
	07_2014	08_2014	10_2014	04_2015	09_2015	08_2018	06_2020	08_2020	
Lõik ST_I	222	125*	127	244	134	247	256	252	101.9%
Lõik ST_II	140	64	53*	118	54	76	92	93	45.9%
Lõik ST_III	350	224	167*	508	225	211	230	244	8.8%
Lõik ST_IV	480	508	462*	562	524	584	693	724	42.7%
Lõigud kokku	283	207	182*	342	211	281	295	320	54.4%

* - väikseim mõõdetud (keskmine) väärtus katselõigul



Joonis 3.29. Pinna kõverusteguri (SCI) keskmiste väärtuste muutumine kogu teelõigul (arvestatud ei ole esimest FWD mõõtmist ja mõõtmist varakevadel 2015)

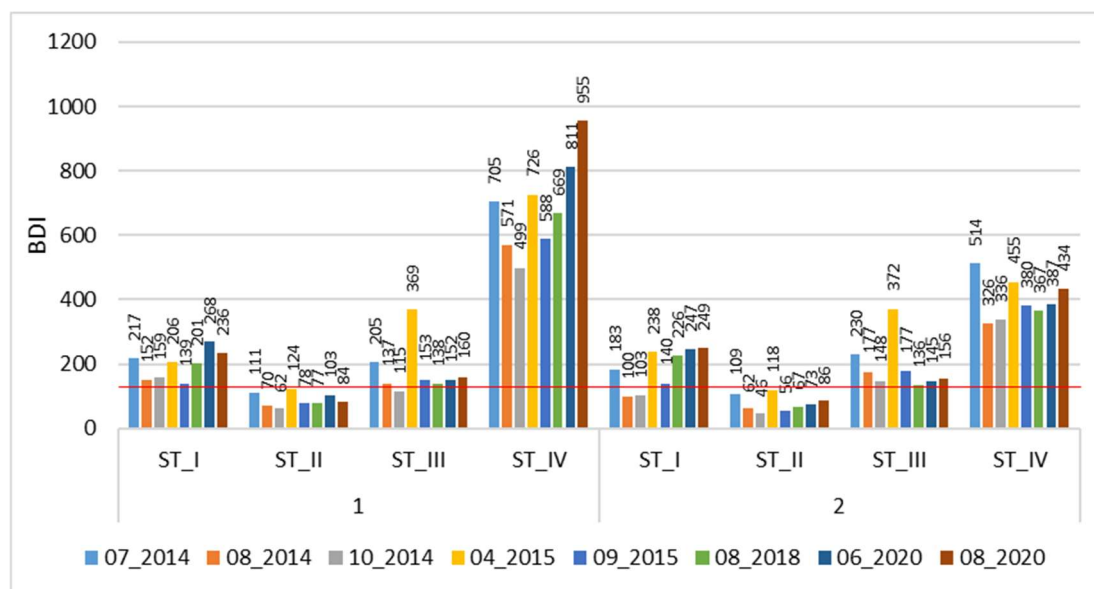
SCI väärtuse ajas muutumise osas on 2014 ja 2018 aasta augusti kuu mõõtmistulemuste võrdluses näha (joonis 3.29), et ainult katselõigul ST_III on olukord jäänud praktiliselt muutumatuks (muutus 8.8%). Teistel katselõikudel on kõigil SCI väärtused kasvanud. Protsentuaalselt on kasv suurim katselõigul ST_I, kus SCI väärtus on kasvanud praktiliselt kaks korda. Katselõikudel ST_II ja ST_IV jääb SCI väärtuse kasv 40-55% juurde.



Joonis 3.30. Pinna kõverusteguri (SCI) mõõtmistulemused

Aluse vigastatuse tegur, BDI

Aluse vigastatuse teguri (BDI) osas on olukord sarnane pinna kõverusteguriga. Katselõigul ST_IV on BDI väärtused selgelt (kordades) üle lubatud väärtuse (120).



Joonis 3.31. Aluse vigastatuse teguri (BDI) keskmised väärtused uuritud lõikudel erinevate mõõtmiste ja suundade kaupa.

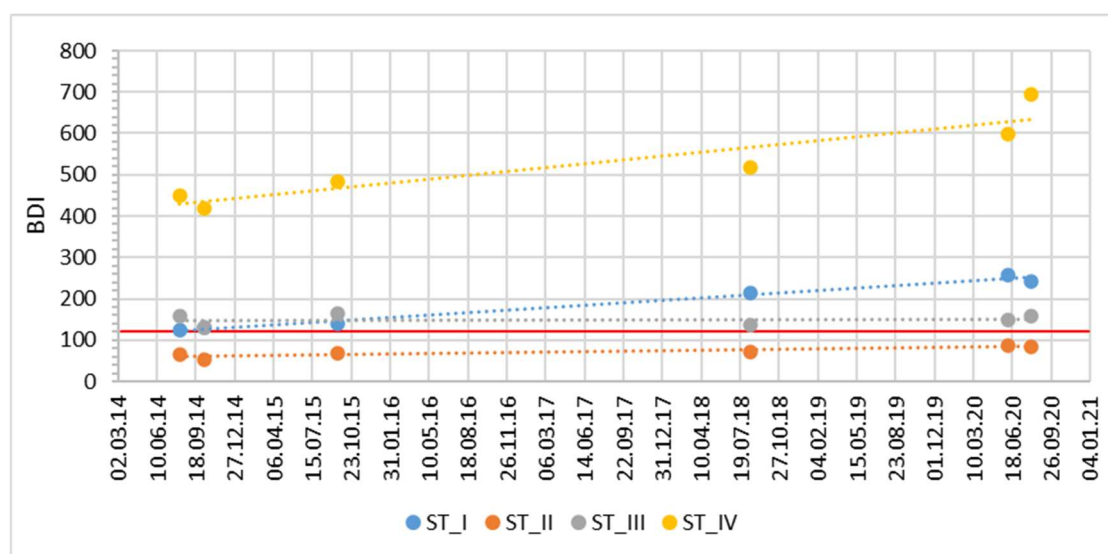
Katselõigul ST_II on BDI mõõtmistulemused vastanud nõuetele praktiliselt igal mõõtmiskorral. Katselõigul ST_III on mõõtmistulemused olnud pidevalt BDI osas piiripealsed, kord ületades lubatud väärtust ja siis on need olnud jälle alla lubatud väärtuse. Katselõigul ST_I on viimaste aastate mõõtmistulemustes täheldatav BDI väärtuse kasv ja viimaste mõõtmistulemuste alusel on piirväärtus ületatud ca 2 kordselt.

Tabel 3.7. Pinna kõverusteguri (BDI) väärtuste võrdlus

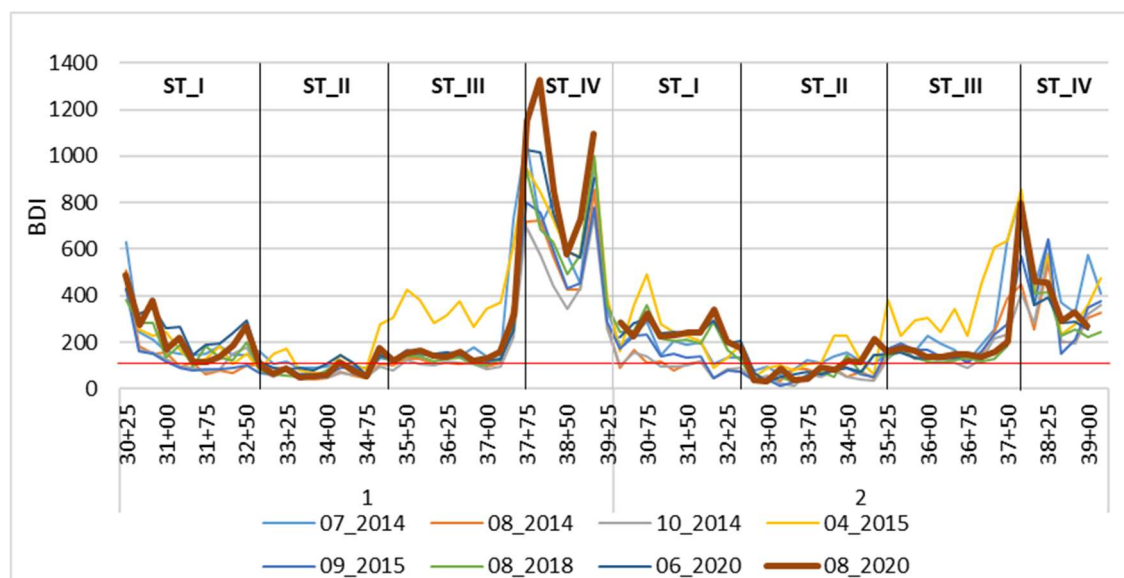
Teelõik	BDI väärtused								muutus 08_2014 vs 08_2020
	07_2014	08_2014	10_2014	04_2015	09_2015	08_2018	06_2020	08_2020	
Lõik ST_I	200	126*	131	222	140	214	258	242	92.8%
Lõik ST_II	110	66	54*	121	67	72	88	85	28.2%
Lõik ST_III	217	157	131*	371	165	137	148	158	0.6%
Lõik ST_IV	609	448	418*	591	484	518	599	695	55.0%
Lõigud kokku	258	179	165*	305	192	236	262	280	56.4%

* - väikseim mõõdetud (keskmine) väärtus katselõigul

Aluse vigastatuse teguri muutumine perioodil 2014 august võrreldes 2020 august on üldiselt väiksem kui SCI väärtuste puhul. Suurim on BDI väärtuste kasv katselõigul ST_I, ulatudes ligi 100%-ni. Teistel lõikudel on see väiksem ja ainsana on BDI väärtused püsunud enam vähem samal tasemel katselõigul ST_III.



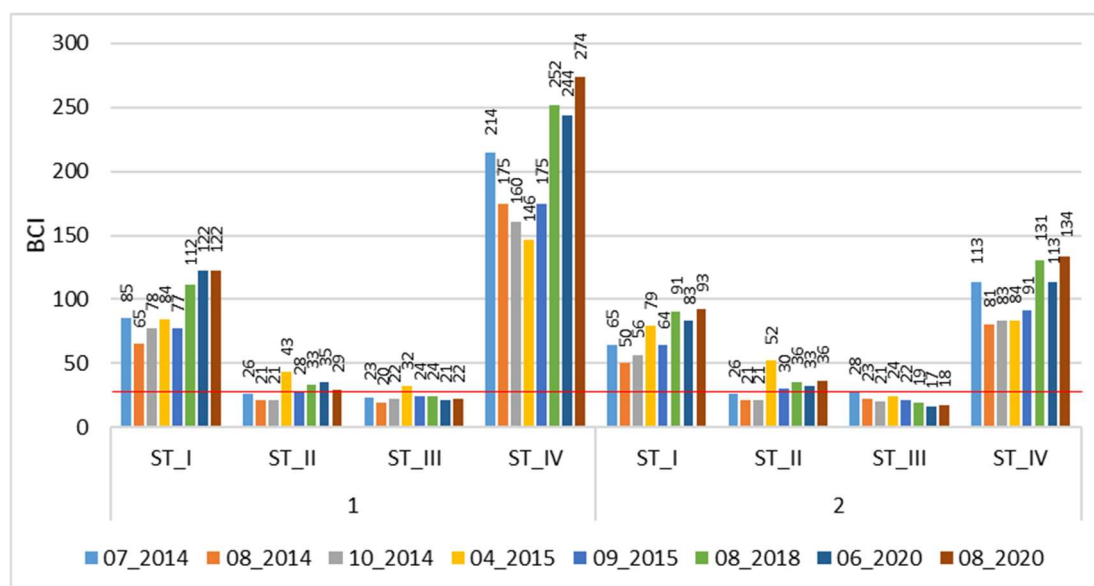
Joonis 3.32. Aluse vigastatuse teguri (BDI) keskmiste väärtuste muutumine kogu teelõigul (arvestatud ei ole esimest FWD mõõtmist ja mõõtmist varakevadel 2015)



Joonis 3.33. Aluse vigastatuse teguri (BDI) mõõtmistulemused

Aluse kõverustegur, BCI

Aluse kõverusteguri (BCI) osas on olukord veidi erinev võrreldes teiste teguritega. Katselõigul ST_IV on BCI väärtused endiselt selgelt (kordades) üle lubatud väärtuse (26) ja lisaks on BCI väärtustega suured probleemid katselõigul ST_I. Neil mõlemal katselõigul on viimastel aastatel BCI väärtused ka selgelt kasvanud. Katselõigul ST_III vastavad mõõtmistulemused nõuetele ja lõigul ST_II on tulemused piiripealsed.



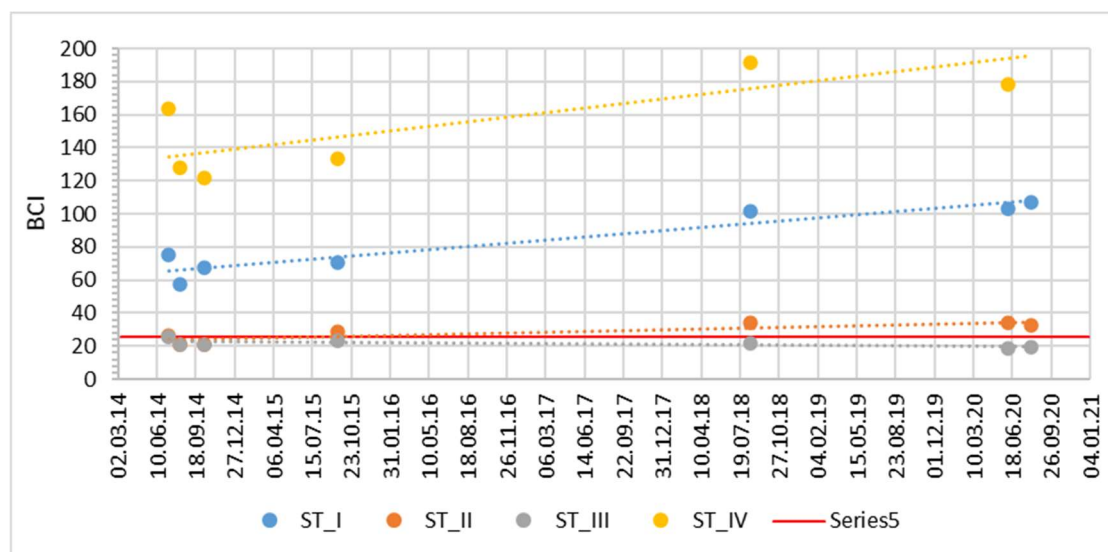
Joonis 3.34. Aluse kõverusteguri (BCI) keskmised väärtused uuritud lõikudel erinevate mõõtmiste ja suundade kaupa.

Aluse kõverusteguri BCI muutumine (kasv) perioodil 2014 august võrreldes 2020 august on üsna märgatav, olles vahemikus 50-85%. Erandiks on jällegi katselõik ST_III, kus muutus on praktiliselt olematu ja pigem on sellel lõigul aluse olukord isegi veidi paranenud.

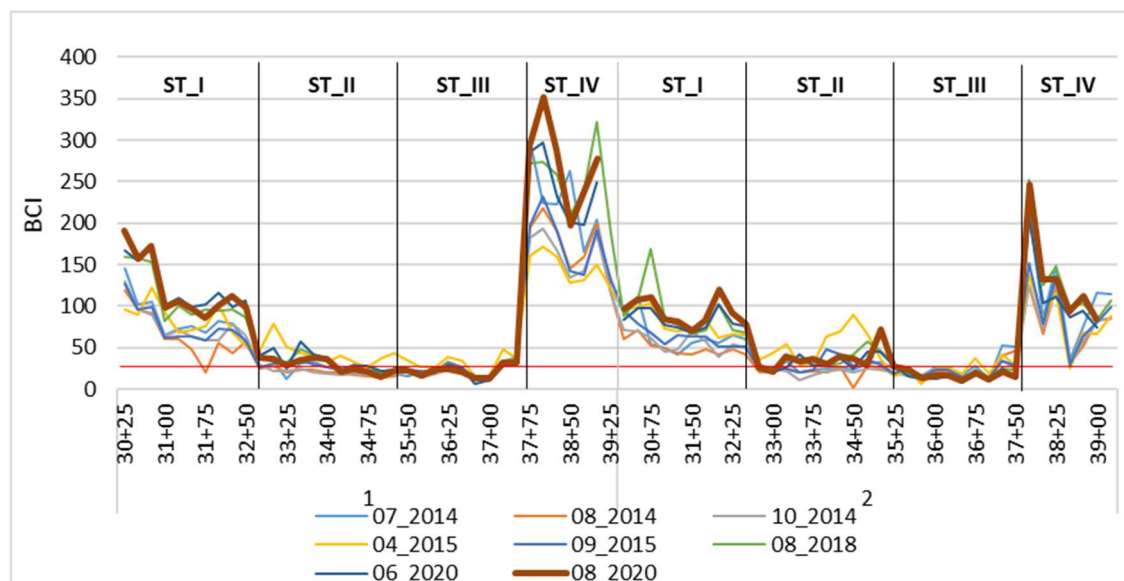
Tabel 3.8. Pinna kõverusteguri (BCI) väärtuste võrdlus

Teelõik	BCI väärtused								muutus 08_2014 vs 08_2020
	07_2014	08_2014	10_2014	04_2015	09_2015	08_2018	06_2020	08_2020	
Lõik ST_I	75	58*	67	82	71	101	103	107	86.0%
Lõik ST_II	26	21*	21	48	29	34	34	33	56.0%
Lõik ST_III	25	21	21	28	23	22	19*	20	-6.9%
Lõik ST_IV	164	128	122	115*	133	191	179	204	59.6%
Lõigud kokku	65	51*	53	64	58	90	83	92	79.0%

* - väikseim mõõdetud (keskmine) väärtus katselõigul



Joonis 3.35. Pinna kõverusteguri (BCI) keskmiste väärtuste muutumine kogu teelõigul (arvestatud ei ole esimest FWD mõõtmist ja mõõtmist varakevadel 2015)



Joonis 3.36. Pinna kõverusteguri (BCI) mõõtmistulemused

4. TEEKATTE DEFEKTID

Teekatte defektide inventeerimine on uuritud teelõikudel teostatud antud järelmonitooringu käigus 29. mail 2020 aastal. Defektide inventeerimine on teostatud vastavalt Maanteeameti juhendile⁷. Teekatte defektide osas on omavahel võrreldud 2018 ja 2020 aastal tehtud inventeerimiste tulemusi. Varasemaid andmeid uurimisobjektide defektide kohta ei ole. Defektide inventeerimise tulemused on toodud aruande lisa 4. Inventeeritud defektidest on tehtud pildid (lisa 4-3).

4.1. Narva-Mustajõe objekt

Narva-Mustajõe objektil inventeeritud defektide kokkuvõtte ja võrdlused on toodud tabelis 4.1 ning joonistel 4.1 ja 4.2. Kahel aastal tehtud defektide inventeerimise tulemustes on erinevused minimaalsed, defektisumma erines kõikidel katselõikudel kokku ainult 0,02 ühikut, mida võib pidada olematuks. Seega võib väita, et kokkuvõttes antud objektil teekattele kahe aasta jooksul defekte praktiliselt lisandunud ei ole.

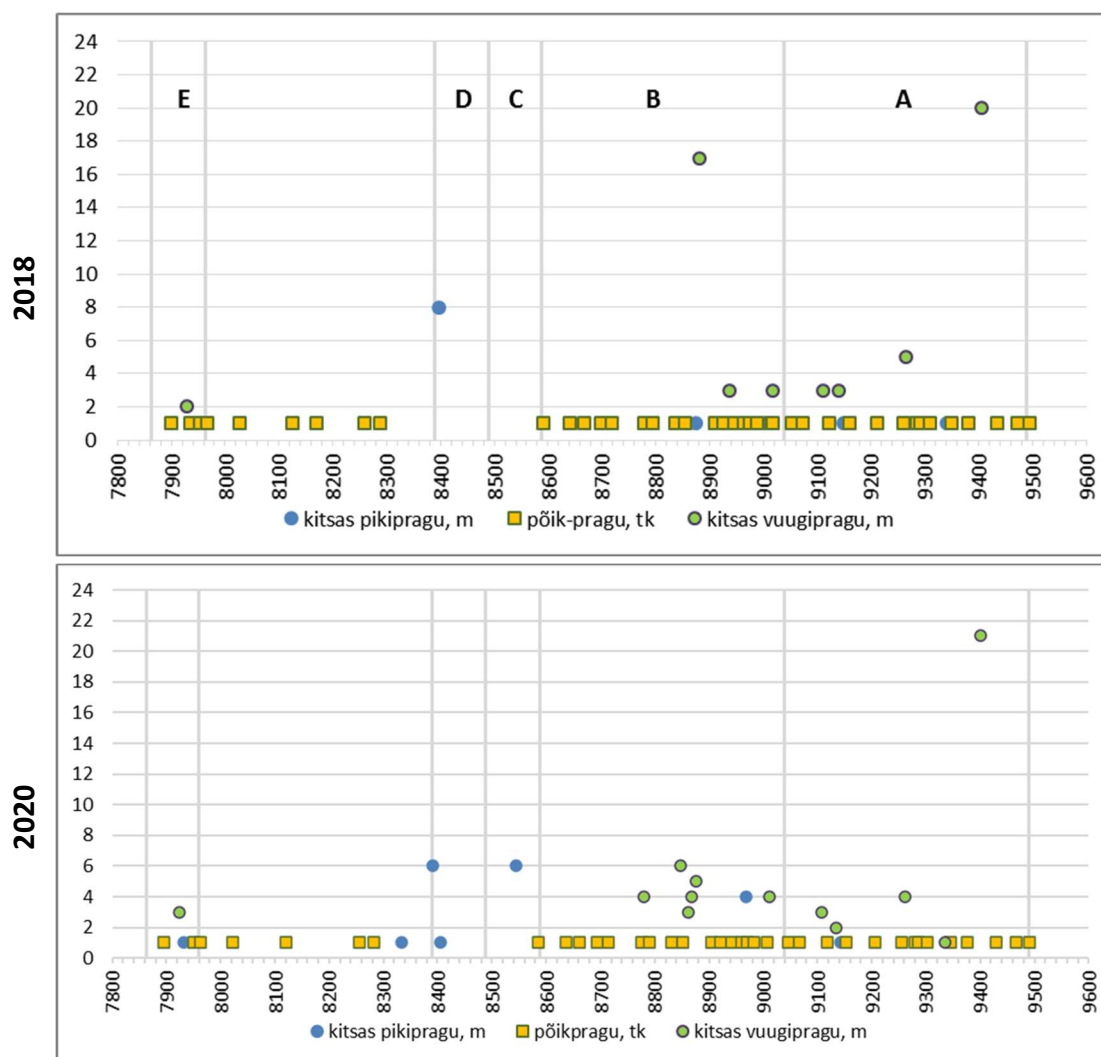
Tabel 4.1. Kokkuvõtte Narva-Mustajõe objekti teelõikude teekatte defektidest

Lõik	Aasta	Teekatte defektid								Defekti-summa, %	Defekti-summa paikamisega, %
		põik-pragu, tk	kitsas piki-pragu, m	kitsas vuugi-pragu, m	võrk-pragu, m ²	auk, tk	murenemine, m ²	serva defekt, m	katte paikamine, m ²		
A	2018	13	2	31	0	0	0	0	49	1.16	2.70
	2020	13	1	35	1	0	0	0	204	1.19	7.65
	Muutus	0	-1	4	1	-	-	-	155	0.03	4.93
B	2018	17	1	23	0	0	0	0	908	1.44	30.26
	2020	15	4	22	0	0	0	0	891	1.32	29.59
	Muutus	-2	3	-1	-	-	-	-	-18	-0.11	-0.67
C	2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
	2020	0	6	0	0	0	0	0	0	0.43	0.43
	Muutus	-	6	-	-	-	-	-	-	0.43	0.43
D	2018	0	8	0	21	0	0	0	39	3.57	9.14
	2020	0	7	0	20	0	0	0	49	3.36	10.36
	Muutus	0	-1	0	-1	0	0	0	10	-0.21	1.21
E	2018	3	0	2	3	0	0	3	0	1.61	1.61
	2020	3	1	3	3	0	0	0	0	1.61	1.61
	Muutus	0	1	1	0	0	0	-3	0	0.00	0.00
Kokku	2018	33	11	56	24	0	0	3	995	1.41	13.26
	2020	31	19	60	24	0	0	0	1143	1.39	15.00
	Muutus	-2	8	4	0	0	0	-3	147	-0.02	1.74

⁷ „Kattega teede defektide inventeerimise juhend“, MA 2018-004

Valdavaks defektiks on endiselt põikpragu, mida on kokku 31 tk (2018 aastal 33 tk) ja need esinevad endiselt valdavalt lõikudel A (13 tk) ja B (15 tk). Nendel lõikudel on ka teekonstruktsioon mõõtmistulemuste põhjal väga tugev, mis on ilmselt ka põhjustanud arvukalt põikpragude, ehk temperatuuripragude tekkimise. Põikpragusid ei esine lõikudel C ja D.

Objektil on palju katte paikamist, mida on ka lisandunud ja mida on nüüd kokku tehtud 1143 m² (2018 aastal 995 m²). Paikamine moodustab 13,6 % uuritavate teelõikude sõidutee pindalast. Selgelt kõige rohkem on katte paikamist tehtud lõigul B (891 m²), kus see moodustab ca 28% sõidutee pindalast. Teekatte paikamise põhjused ja millal need on tehtud on teadmata. Teekatte paikamist ei ole tehtud lõikudele C ja E.

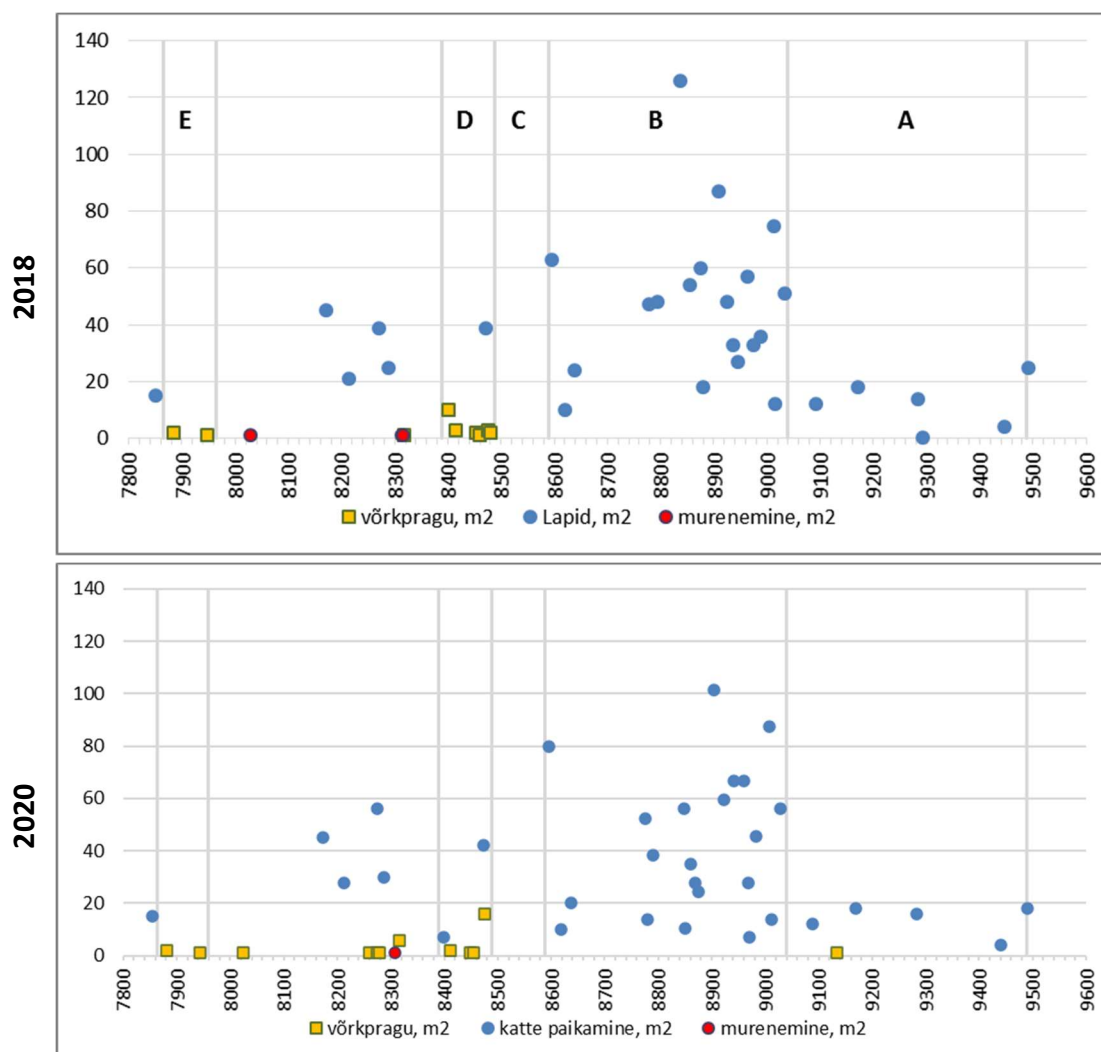


Joonis 4.1. Teekatte joondefektid (põik-, piki- ja vuugipragu) Narva-Mustajõe objektil 2018 ja 2020 aastal

Võrkpragu esineb valdavalt lõigul D (20 m²) ja veidi lõigul E, mis korreleerub teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistulemustega. Nimetatud teelõikudel on täheldatavad probleemid teekonstruktsiooni tugevusnäitajates.

Teistest teekatte defektidest esineb lõikudel A ja B veel suhteliselt palju piki-, ja vuugipragu.

Tähelepanuväärne on see, et lõigul C ei ole endiselt praktiliselt ühtegi teekatte defekti ega katte paikamist. 2020 aasta kevadel tehtud inventeerimise käigus leiti antud lõigult ainult 6m kitsast vuugipragu. Teekonstruktsiooni tugevuse osas on see lõik kõige lähemal nõutavale tasemele – mõõdetud EMod-väärtused ei ole selgelt üle ega alla vajaliku EMod-väärtuse. Siit võib teha järelduse, et kindlasti tekitab probleeme nõrk teekonstruktsioon aga ka liiga tugev teekonstruktsioon ei ole soovitatav.



Joonis 4.2. Teekatte pindaladefektid (võrkpragu, katte paikamine ja murenemine) Narva-Mustajõe objektil 2018 ja 2020 aastal

4.2. Simuna-Vaiatu objekt

Maanteel nr 17192 Simuna-Vaiatu objektil on järelmonitooringu käigus teekatte defekte inventeeritud kahel korral (augustis 2018 ja mais 2020).

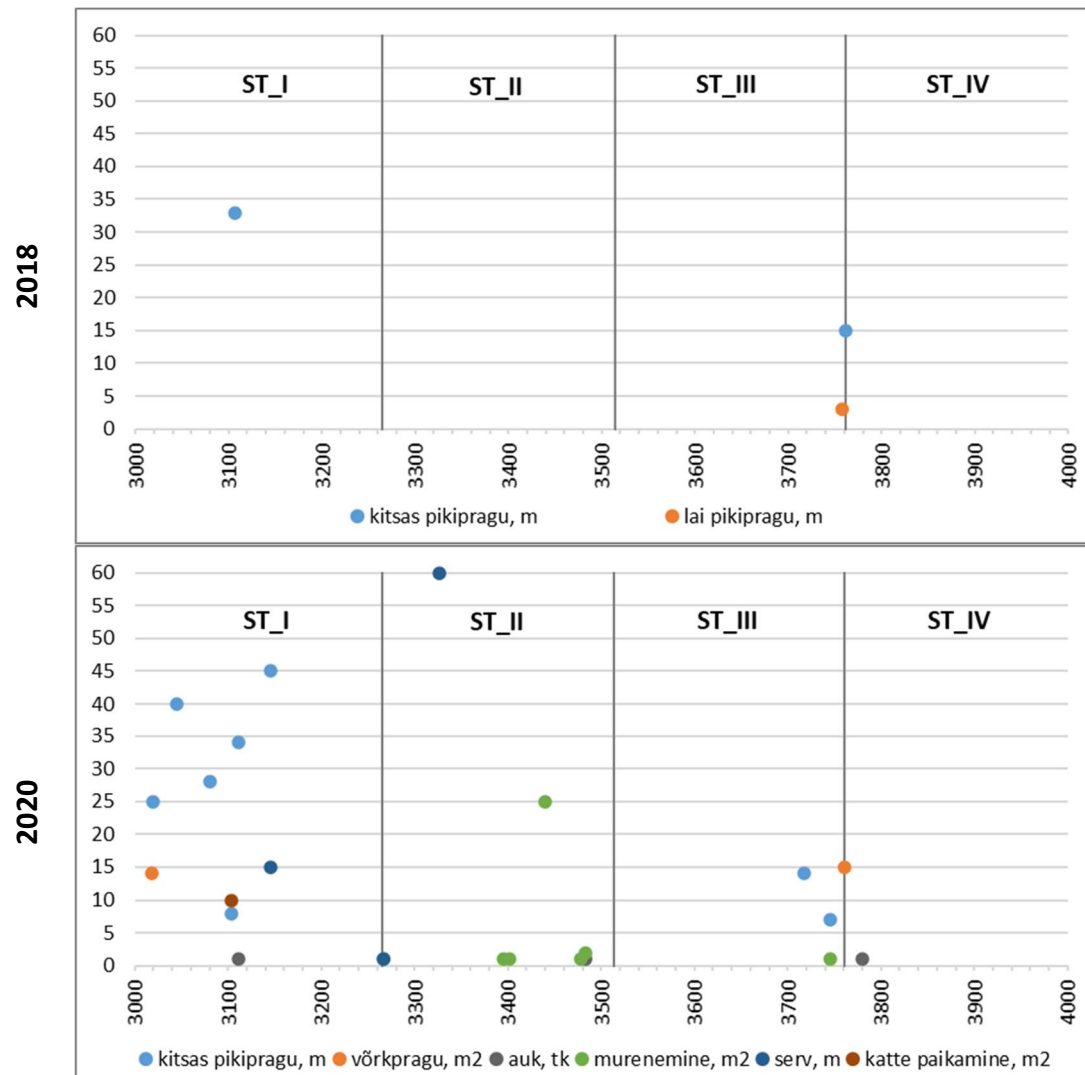
Augustis 2018 aastal oli võimalik defektide inventeerimise käigus registreerida ainult mõned üksikud defektid (joonis 4.1). Suvine periood ei ole reeglina kõige õigem aeg defektide inventeerimiseks, kuna kevadel teekattes ilmnevad väiksemad praod ja muud väiksemad defektid võivad suve jooksul kaduda.

Mais 2020 tehtud defektide inventeerimine tõi esile varasemaga võrreldes oluliselt rohkem defekte. Kogu teelõigu üldine defektisumma on kasvanud 2018 aasta 0,1-st 2020 aasta 5,3-ni. Lõikude võrdluses esineb selgelt kõige rohkem defekte lõigul ST_I ($DS_{2020}=6,4$), kus defektisumma on kasvanud 2 aastaga 5,4 ühikut. Kõige vähem on defekte lõigul ST_III ($DS_{2020}=0,7$) ja sellel lõigul on ka defektisumma kasv olnud kõige väiksem, 2 aastaga 0,5 ühikut.

Tabel 4.2. Kokkuvõte Simuna-Vaiatu objekti teelõikude teekatte defektidest

Lõik	Aasta	Teekatte defektid								Defekti- summa, %	Defekti- summa paikamisega, %
		põik- pragu, tk	kitsas piki- pragu, m	lai piki- pragu, m	võrk- pragu, m ²	auk, tk	murene- mine, m ²	serva defekt, m	katte paika- mine, m ²		
ST_I	2018	0	33	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0
	2020	0	180	0	14	1	0	15	10	6.4	7.0
	Muutus	0	147	0	14	1	0	15	10	5.4	6.0
ST_II	2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
	2020	0	0	0	0	1	31	60	0	2.5	2.5
	Muutus	0	0	0	0	1	31	60	0	2.5	2.5
ST_III	2018	0	0	3	0	0	0	0	0	0.2	0.2
	2020	0	21	0	0	0	1	0	0	0.7	0.7
	Muutus	0	21	-3	0	0	1	0	0	0.5	0.5
ST_IV	2018	0	15	0	0	0	0	0	0	0.7	0.7
	2020	0	0	0	15	1	0	0	0	1.4	1.4
	Muutus	0	-15	0	15	1	0	0	0	0.8	0.8
Kokku	2018	0	48	3	0	0	0	0	0	0.1	0.1
	2020	0	384	0	43	5	64	150	20	5.3	5.6
	Muutus	0	336	-3	43	5	64	150	20	4.9	5.2

Sarnaselt 2018 aasta tulemustele on ka 2020 defektide inventeerimistulemuste osas üllatav see, et väga madala teekonstruktsiooni kandevõimega teelõigul ST_IV on endiselt teekatte defekte üsna vähe. Teeregistri andmetel on teelõigu AKÖL 166 sõidukit/ööp, samas autorongide osakaal on koguni 14% (23 AR/ööp) ja see peaks avalduma võrkpragudena teekattes. Olemasolevate liiklusandmete ja teekatte seisukorra andmetes on ilmne vastuolu, mida peaks kindlasti kontrollima täiendava liiklusloenduse teostamisega konkreetsel uurimis lõigul.



Joonis 4.1. Teekatte defektid Simuna-Vaiatu objektil 2018 ja 2020

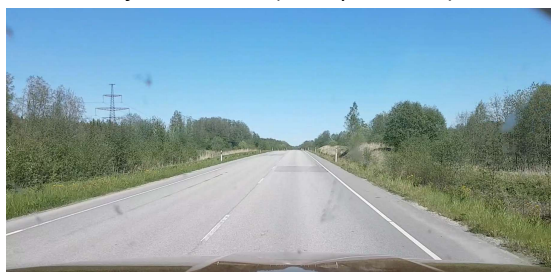
5. TEEKATTE ROOPA SÜGAVUS

Teekatte roopa sügavuse mõõtmised on uuritud objektil teostatud 7. augustil 2018 aastal ja 18. augustil 2020 aastal. Mõõtmised on mõlemal korral teostanud Destia Oy seadmega Greenwood Profilograph. Teekatte roopa sügavuse 2020 aasta mõõtmistulemuste protokollid on toodud lisas 5.

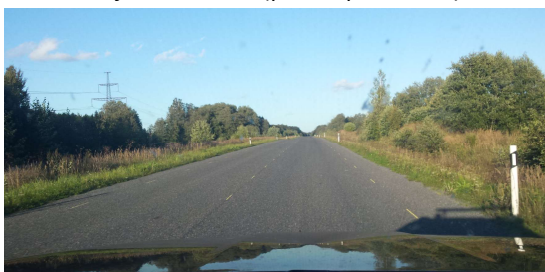
5.1. Narva-Mustajõe objekt

Narva-Mustajõe objektil mõõtmistööde teostamisel ilmnnes, et objektil oli vahepeal tehtud 1,5-kordne pindamine. Teeregistri andmetel on pindamine tehtud 18.08.2020, samas oli uuritud teelõik pinnatud juba teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise ajal 7.08.20.

objekt 29.05.20 (enne pindamist)



objekt 13.09.20 (pärast pindamist)



Joonis 5.1. Narva-Mustajõe objekt enne ja pärast pindamist

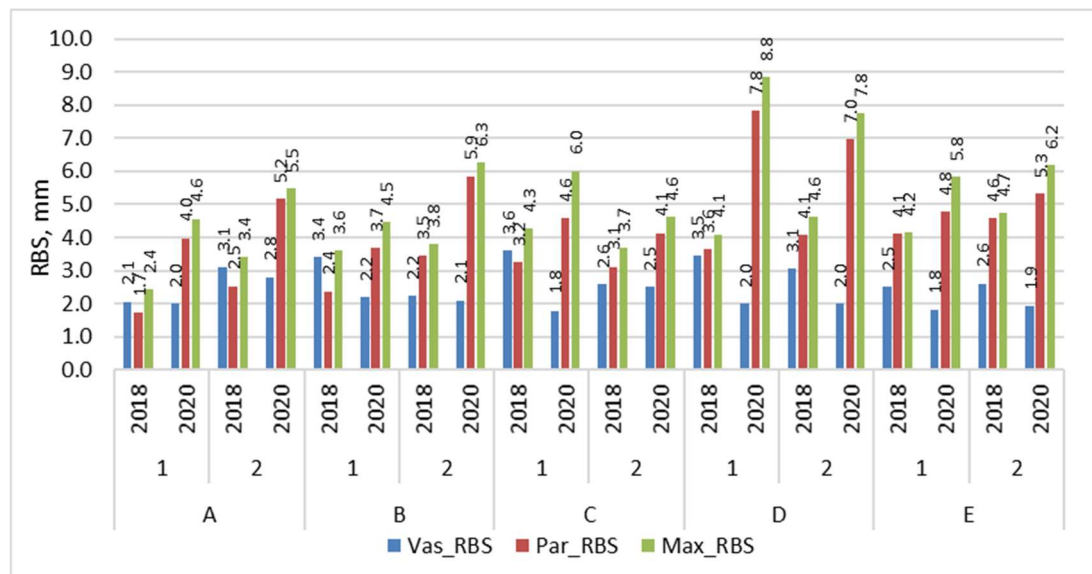
Objektil pindamise teostamise plaanidest käesoleva tööde teostajat ei ole informeeritud ja seetõttu ei olnud ka võimalik mõõtmisi planeerida või pindamistööde teostamist ajaliselt nihutada, et jõuaks mõõtmised enne teostada.

Teekatte pindamine mõjutab teekatte roopa sügavust ja sellega peab arvestama allpool toodud mõõtmistulemuste hindamisel. Lisaks mõjutas roopa sügavuse mõõtmist ka see, et puudus teekatte märgistus (see puudus veel ka septembris 2020), ehk siis mõõtjal ei olnud võimalik arvestada sõiduradade ja -jälgede paiknemist sõidutee põiklõikes.

Tabel 5.1. Teekatte roopa sügavuse kokkuvõte Narva-Mustajõe objektil

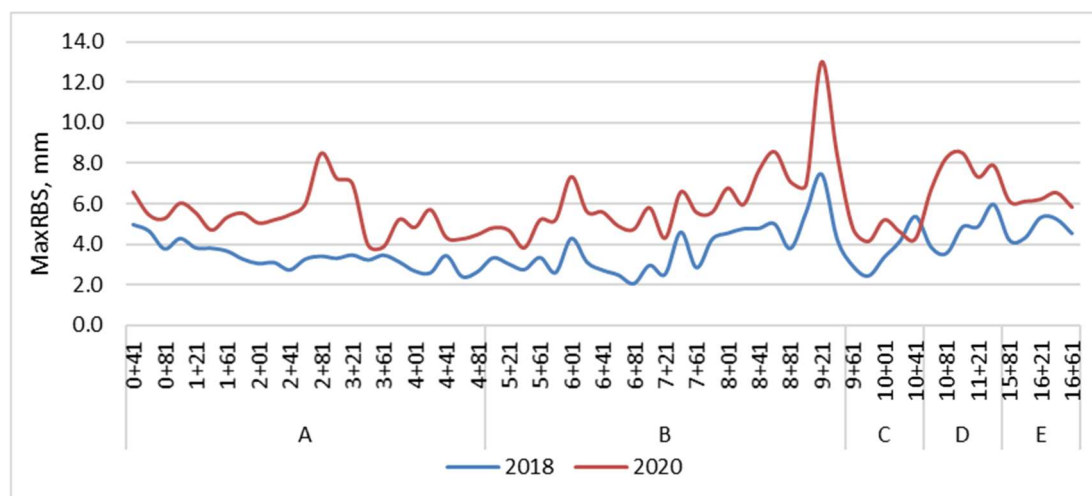
Lõik	Aasta	Roopa sügavus, mm			Stdev (max RBS)	Max RBS arvestuslik muutumine, mm/a
		vasak	parem	max		
Lõik A	2018	2.6	2.1	2.9	0.8	0.3
	2020	2.4	4.6	5.0	1.4	0.5
Lõik B	2018	2.8	2.9	3.7	1.1	0.5
	2020	2.2	4.8	5.4	1.8	0.5
Lõik C	2018	3.1	3.2	4.0	1.1	0.5
	2020	2.2	4.4	5.3	1.2	0.5
Lõik D	2018	3.3	3.9	4.4	0.7	0.6
	2020	2.0	7.4	8.3	1.0	0.9
Lõik E	2018	2.6	4.4	4.5	0.5	0.6
	2020	1.9	5.1	6.0	0.6	0.6
Kokku lõigud	2018	2.8	2.8	3.5	1.1	0.4
	2020	2.2	4.9	5.5	1.7	0.6

2018 ja 2020 aastal mõõdetud teekatte roopa sügavuse kokkuvõtte on toodud tabelis 5.1 ja joonisel 5.2. Roopa sügavuse arengu määratlemisel on eeldatud (puuduvad otsesed mõõtmistulemused), et kogu lõigul esines pärast ehitustööde valmimist algroobas väärtusega 1,0 mm.



Joonis 5.2. Teekatte roopa sügavus Narva-Mustajõe objekti lõikudel 2018 ja 2020 aastal suunal 1 ja 2

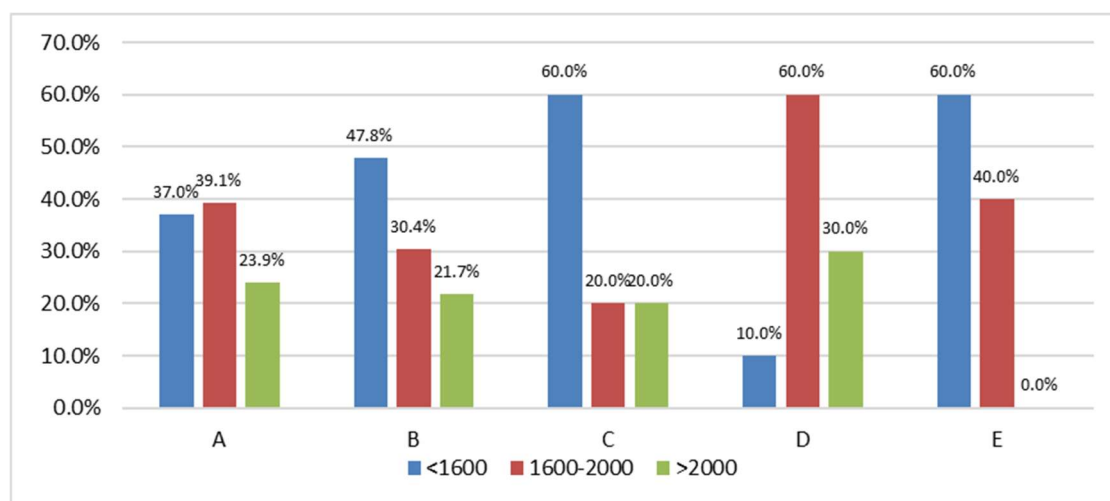
Roopa sügavus on Narva-Mustajõe objekti kõikidel uurimislõikudel viimase 2 aasta jooksul kasvanud. Selgelt suurim muutus on välimise, ehk parempoolse roopa väärtustes. Sisemine, ehk vasakpoolse roopa väärtus praktiliselt muutunud ei ole, see on pigem isegi väiksemaks läinud (võib olla tingitud teostatud pindamisest). Suurim on roopa sügavuse väärtuste muutus lõigul D, kus max RBS väärtus on kasvanud 3,9 mm võrra. Teistel lõikudel jääb maxRBS väärtuse muutus vahemikku 1,3-2,1 mm.



Joonis 5.3. Teekatte maksimaalse roopa sügavuse (MaxRBS) muutumine 2018 ja 2020

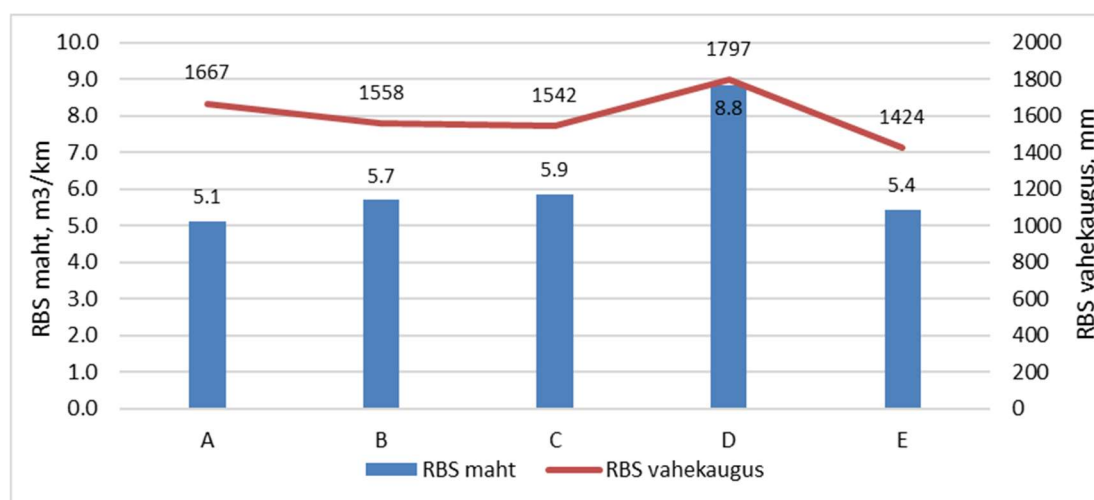
MaxRBS väärtuse arvestuslik muutumine (mm/a) on viimaste mõõtmistulemuste valguses suurim lõigul D, kus see on 0,9 mm/a. Teistel lõikudel on see üsna ühtlaselt 0,5-0,6 mm/a.

Põikprofiili mõõtmisandmete alusel on leitud ja võrreldud roobaste vahekaugust erinevatel Narva-Mustajõe objekti lõikudel (joonis 5.4). Kuna erineva klassi sõidukite rööbe on erinev (sõiduautodel reeglina alla 1600 mm ja autorongidel üle 2000 mm), siis saab roobaste vahekauguse alusel teha järeldusi selles osas, et kas roobas on kulumisroobas (põhjastatud eelkõige naastrehvidest) või on tegemist vajumisroopaga (tekitatud raskeliiklusest ja viitab puudustele teekonstruktsiooni tugevuses). Arvestama peab, et 2020 aasta mõõtmistulemusi mõjutab ja andmete tõlgendamisel on probleemiks vahetult enne mõõtmisi objektil teostatud pindamine.



Joonis 5.4. Roobaste vahekauguse mõõtmistulemuste jagunemine Narva-Mustajõe objektil 2020 aastal

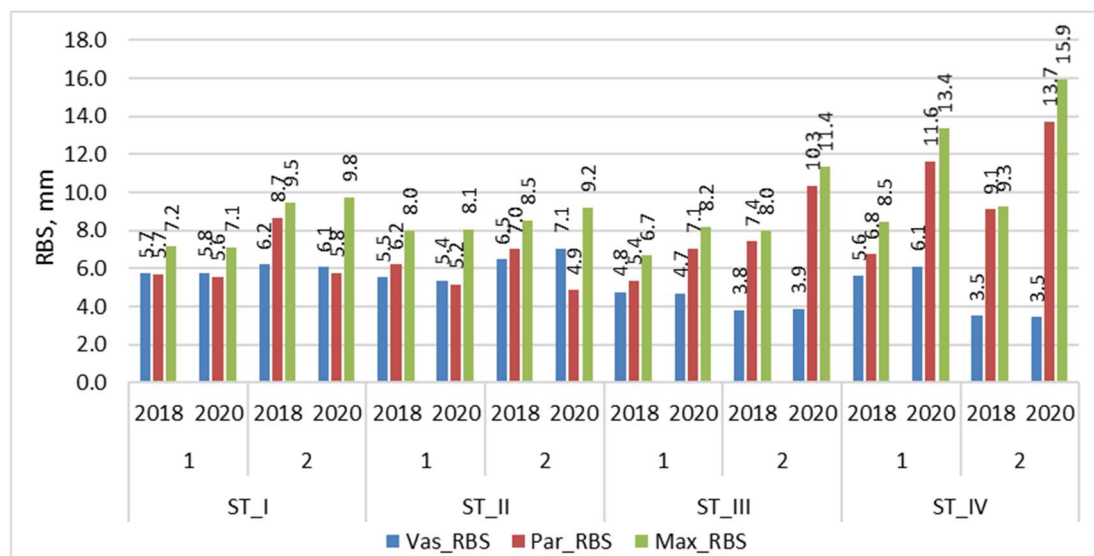
Lisaks on põikprofiili mõõtmisandmete põhjal määratletud tekkinud roopa mahu andmed ja joonisel 5.5 on toodud roopa mahu ühikväärtused (m^3/km) uuritud lõikudel.



Joonis 5.5. Teekatte roopa ühikmahud ja roobaste vahekaugused Narva-Mustajõe objektil 2020 aastal

5.2. Simuna-Vaiatu objekt

2020 aasta roopa sügavuse mõõtmistulemuste kohaselt võib mnt nr 17192 Simuna-Vaiatu objekti lõigud jagada kaheks. Lõikudel ST_I ja ST_II on muutused viimasel kahel aastal roopa sügavuse osas väga väikesed ning lõikudel ST_III ja ST_IV on muutused roopa sügavuse osas selgelt suuremad. Maksimaalne RBS väärtus jääb lõikude erinevate suundade keskmiste arvestuses vahemikku 8,4 – 14,7 mm. Kõigi lõikude keskmine maksimaalne roopa sügavuse väärtus on võrreldes 2018 aastaga kasvanud 2020 aastaks väärtuselt 8,1 mm väärtuseni 10,0 mm.



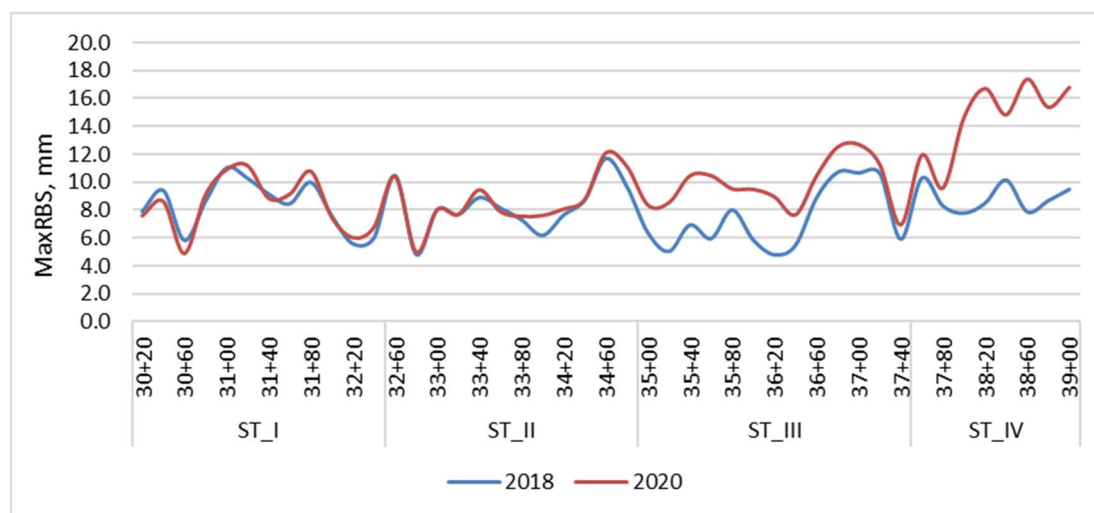
Joonis 5.6. Teekatte roopa sügavus Simuna-Vaiatu objekti lõikudel suunal 1 ja 2 aastatel 2018 ja 2020

2018 ja 2020 aastal mõõdetud teekatte roopa sügavuse kokkuvõtte on toodud tabelis 5.2 ja joonisel 5.6. Roopa sügavuse arengu määratlemisel on eeldatud (puuduvad otsesed mõõtmistulemused), et kogu lõigul esines pärast ehitustööde valmimist algsuunas 1,5 mm.

Tabel 5.2. Teekatte roopa sügavuse kokkuvõtte Simuna-Vaiatu objektile

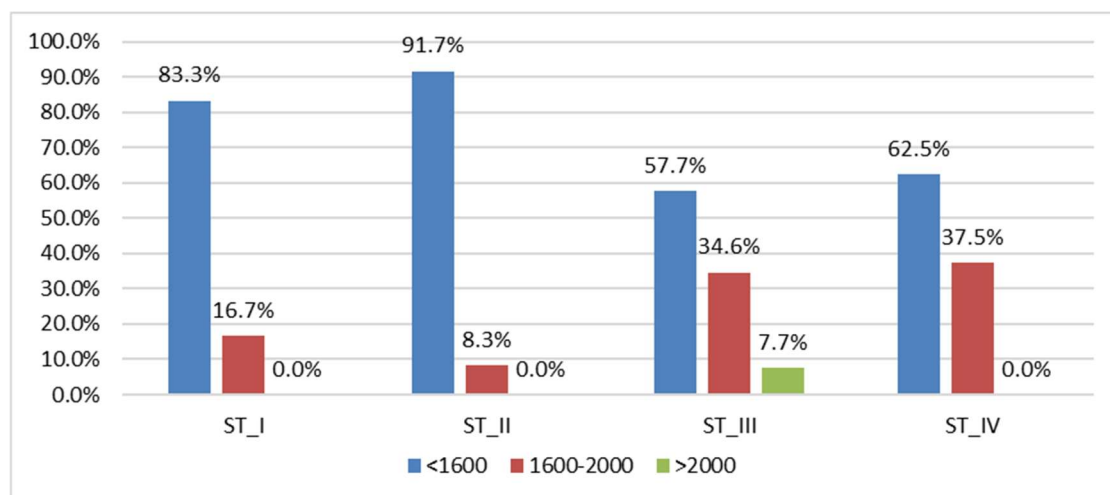
Lõik	Aasta	Roopa sügavus, mm			Stdev (max RBS)	Max RBS arvestuslik muutumine, mm/a
		vasak	parem	max		
Lõik ST_I	2018	6.0	7.2	8.3	2.6	1.8
	2020	5.9	5.7	8.4	2.8	1.2
Lõik ST_II	2018	6.0	6.6	8.3	2.6	1.8
	2020	6.2	5.0	8.6	3.0	1.2
Lõik ST_III	2018	4.3	6.4	7.3	3.0	1.6
	2020	4.3	8.7	9.8	3.2	1.4
Lõik ST_IV	2018	4.6	7.9	8.9	2.1	2.0
	2020	4.8	12.7	14.7	3.9	2.2
Kokku lõigud	2018	5.2	6.9	8.1	2.7	1.8
	2020	5.3	7.6	10.0	3.9	1.4

Teekatte maksimaalse roopa sügavuse areng on aeglustunud kõikidel lõikudel välja arvatud ST_IV, kus maksimaalne roopa sügavus (joonis 5.7) on tänaseks jõudnud juba praktiliselt hoiatava piirini (15 mm).



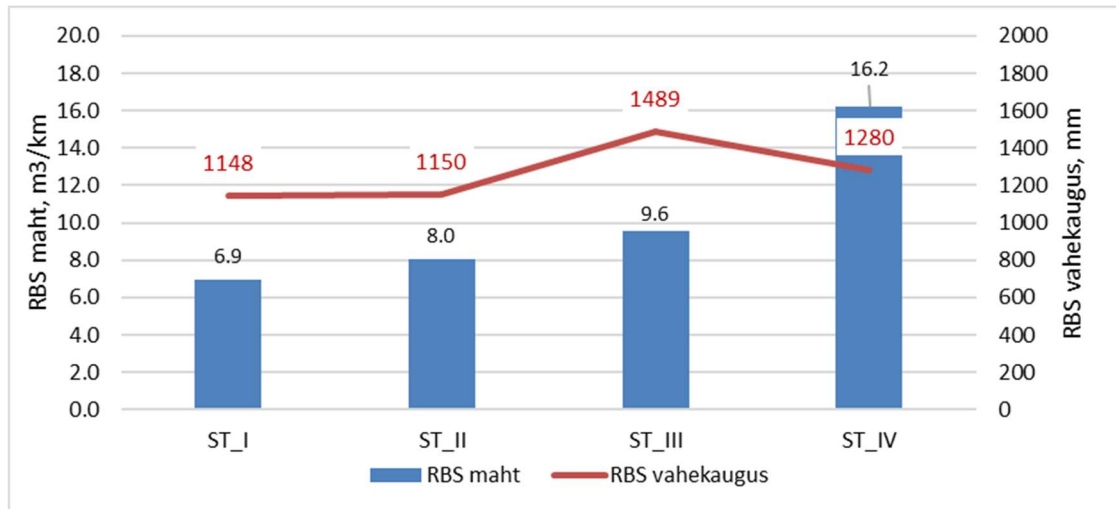
Joonis 5.7. Teekatte maksimaalse roopa sügavuse (MaxRBS) muutumine 2018 ja 2020

Vaadates roobaste vahekaugust erinevatel katselõikudel (joonis 5.8), siis on selgelt näha, et katselõikudel ST_I ja ST_II on tegemist eelkõige kulumisroopaga. Katselõikudel ST_III ja ST_IV on enamus roopast teekattes põhjustatud kulumisest, samas on täheldatav ka kohati vajumisroopa esinemist.



Joonis 5.8. Roobaste vahekauguse mõõtmistulemuste jagunemine Simuna-Vaiatu objektil 2020 aastal

2020 aasta andmed uuritud teelõikude roobaste vahekauguste ja roopa ühikmahtude kohta Simuna-Vaiatu objektil on toodud joonisel 5.9.



Joonis 5.9. Teekatte roopa ühikmahud ja roobaste vahekaugused Simuna-Vaiatu objektil 2020 aastal

6. TEEKATTE TASASUS

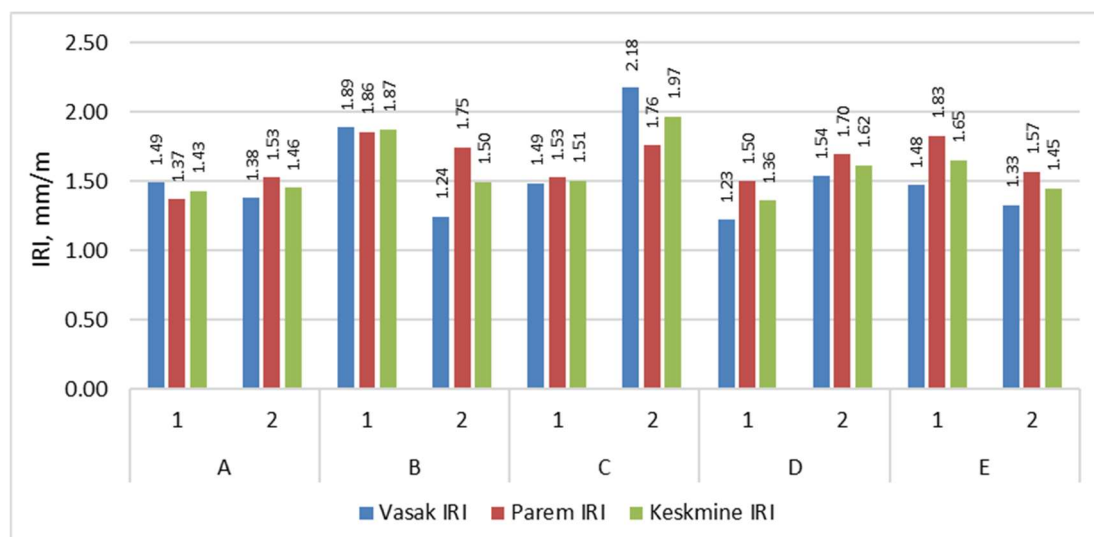
Teekatte tasasuse mõõtmised on uuritud objektil teostatud 18. augustil 2020 aastal. Mõõtmised teostas Destia Oy seadmega Greenwood Profilograph. Teekatte tasasuse mõõtmistulemuste protokollid on toodud lisas 6.

Teekatte tasasuse 2020 aasta mõõtmistulemused on uuritud objektide kohta esitatud 20 m mõõtmisammuga mõlema sõidusuuna kohta. Teekatte tasasus on mõõdetud mõlemas sõidujäljes ja tulemustes on vasakpoolne IRI-väärtus tee telje poolse sõidujälje kohta ja parempoolne IRI-väärtus sõidutee serva poolse sõidujälje kohta.

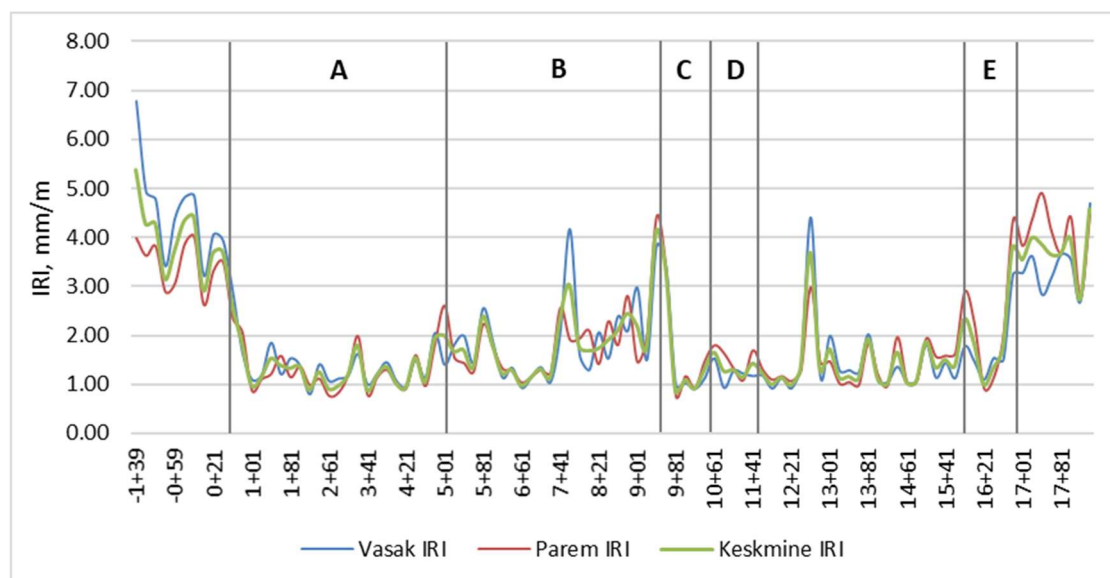
6.1. Narva-Mustajõe objekt

Narva-Mustajõe objekt pinnati vahetult enne 2020 aasta teekatte tasasuse mõõtmiste teostamist ja eeldada võib, et see mõjutab ka teekatte tasasuse väärtusi. Kõigi Narva-Mustajõe objekti lõikude keskmine teekatte tasasuse väärtus 2020 aasta mõõtmiste põhjal on IRI=1,57 mm/m. Tee teljepoolne sõidujalg on veidi tasasem (vasak IRI=1,51 mm/m) võrreldes välimise sõidujäljega (parem IRI=1,63 mm/m). Kui kõigil lõikudel on vasak IRI veidi väiksem kui parem IRI siis erandiks on siin lõik C kus mõlemas sõidusuunas on vasak IRI suurem kui parem IRI.

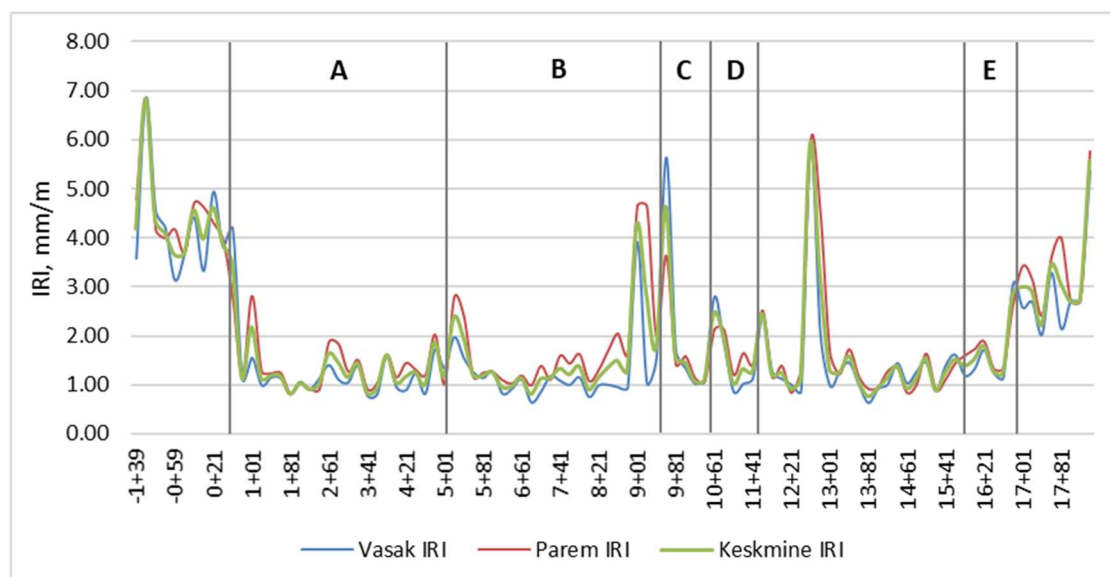
Objekti lõikude võrdluses keskmised IRI väärtused üksteisest väga palju ei erine, jäädes vahemikku 1,44 kuni 1,69 mm/m. Üksikute sõidujalgede ja suundade võrdluses on keskmised IRI-väärtused vahemikus 1,23 (lõik D suund 1 vasak) kuni 2,18 (lõik C suund 2 vasak). Teekatte tasasuse üksikute mõõtmistulemuste võrdlused on toodud joonisel 6.2. ja 6.3.



Joonis 6.1. Teekatte tasasuse keskmised väärtused 2020 aastal Narva-Mustajõe objekti erinevatel lõikudel ja suundadel



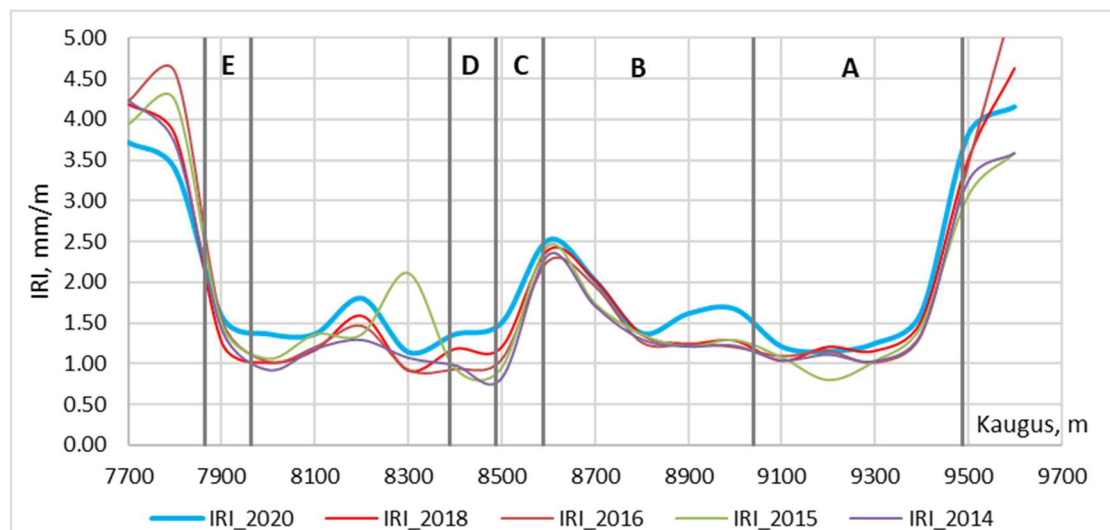
Joonis 6.2. Teekatte tasetasuse 2020 a mõõdetud väärtused Narva-Mustajõe objektis suunal 1



Joonis 6.3. Teekatte tasetasuse 2020 a mõõdetud väärtused Narva-Mustajõe objektis suunal 2

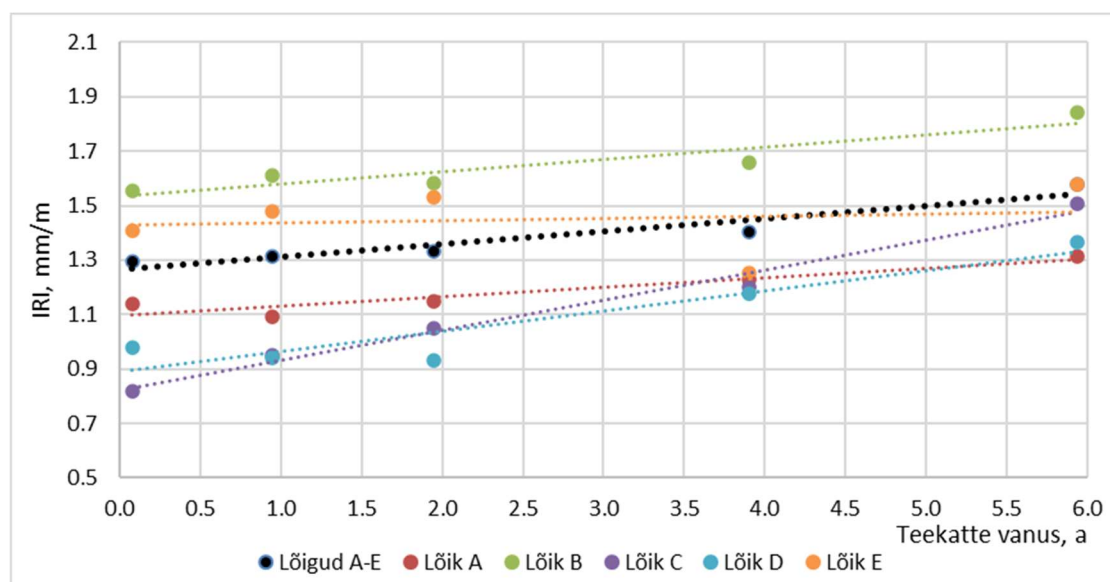
Erinevatel aastatel tehtud teekatte tasetasuse mõõtmistulemuste võrdlemiseks (joonis 6.4.) on antud objektis kasutatud teeregistris sisalduvaid andmeid, kuna muid mõõtmistulemusi ei olnud käesoleva uurimistöo koostajatel kasutada. Seega on võrdlused tehtud 100 m mõõtmisammuga IRI-väärtustega ja ainult sõidusuuna 1 osas.

Võrdlusandmetest on näha, et erinevate aastate ja seadmete mõõtmistulemused langevad omavahel üsna kenasti kokku. Esineb ainult üksikuid erinevusi, rohkem 2015 aastal tehtud mõõtmistulemuste osas. Narva-Mustajõe objekti lõikudel on teekatte tasetasus aastate jooksul ühtlaselt kasvanud ja viimased 2020 aasta mõõtmistulemused on reeglina lõikude üleselt kõige suuremad. Samas võib eeldada, et 2020 aasta mõõtmistulemused on mingil määral mõjutatud teekatte pindamisest.



Joonis 6.4. Erinevatel aastatel mõõdetud teekatte tasasuse väärtused Narva-Mustajõe objektil (suund 1)

Võrreldes teekatte tasasuse aastast muutumist (joonis 6.5) on lõikudel A ja E see kõige väiksem, jäädes suurusjärku ca 0,028 – 0,029 ühikut/a. Lõigul B on see kasv kiirem, ulatudes väärtuseni 0,049 ühikut/a. Lõigul D on teekatte tasasuse aastane muutus 0,065 ühikut/a ja kõige kiirem on see lõigul C, kus see ulatub väärtuseni 0,116 ühikut/a. Samas on nende muutuste määratlemine väga tundlik, kuna lõikudel C, D ja E (pikkus 100m) on kasutada ainult üks IRI mõõtmistulemus iga aasta kohta. Kogu Narva-Mustajõe uuritavate objektide A-E teekatte tasasuse keskmine aastane muutumine on 0,047 ühikut/a.

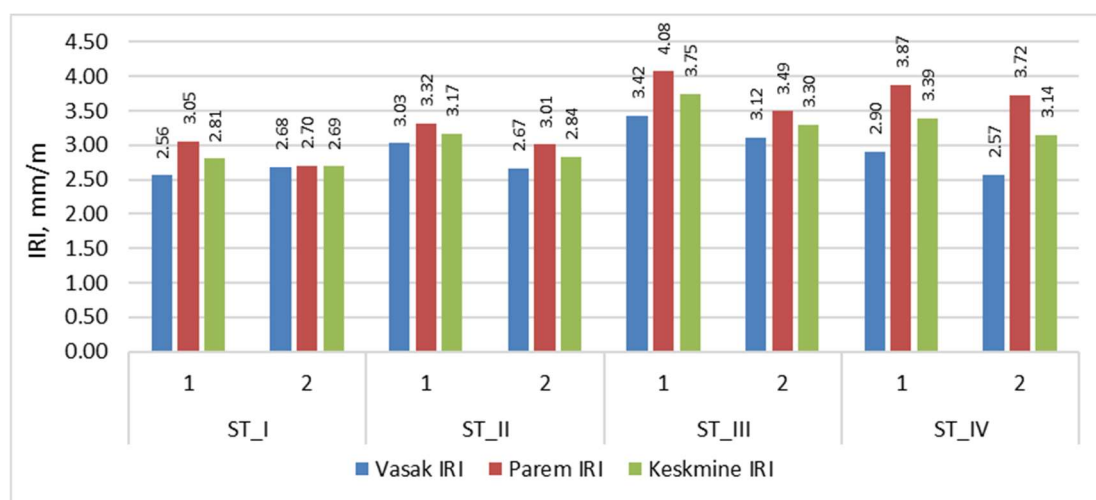


Joonis 6.5. Teekatte tasasuse väärtuste muutumine Narva-Mustajõe objekti lõikudel

6.2. Simuna-Vaiatu objekt

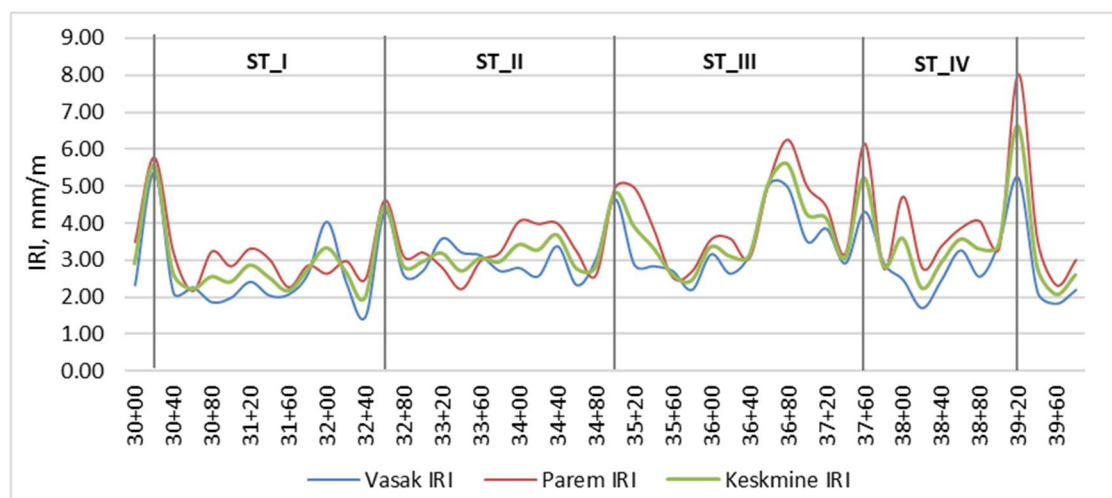
Simuna-Vaiatu objekti lõikude keskmine teekatte tasetasuse väärtus 2020 aasta mõõtmiste põhjal on $IRI=3,13$ mm/m. Tee teljepoolne sõidujalg on veidi tasetsem ($IRI_l=2,89$ mm/m) võrreldes välimise sõidujalglega ($IRI_p=3,38$ mm/m). Vasaku ja parema IRI väärtuste osas on suuremad erinevused lõigul ST_III suunal 1 ja lõigul ST_IV mõlemal suunal.

Objekti erinevate lõikude võrdluses keskmised IRI väärtused üksteisest väga palju ei erine, jäädes vahemikku 2,75 mm/m (lõik ST_I) kuni 3,53 mm/m (lõik ST_III). Üksikute sõidujalgede ja suundade võrdluses on keskmised IRI-väärtused vahemikus 2,85 mm/m (lõik ST_II suund 2) kuni 3,63 mm/m (lõik ST_III suund 1).

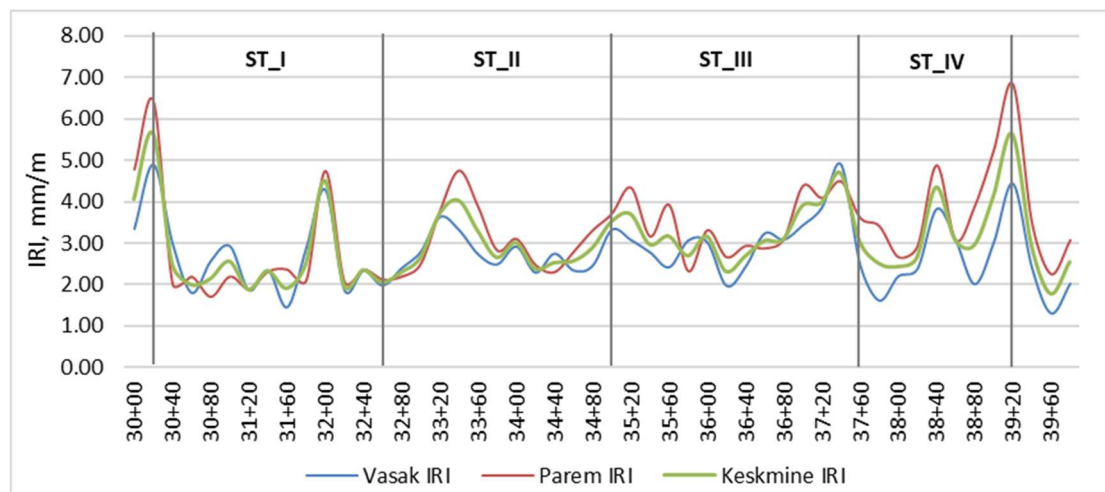


Joonis 6.6. Teekatte tasetasuse keskmised väärtused 2020 a Simuna-Vaiatu objekti erinevatel lõikudel ja suundadel

Simuna-Vaiatu objekti üksikute mõõtmistulemuste võrdluses (joonised 6.7. ja 6.8.) on selgelt näha, et IRI-väärtused kipuvad kasvama objekti sees eelkõige lõikude muutumiskohtades.

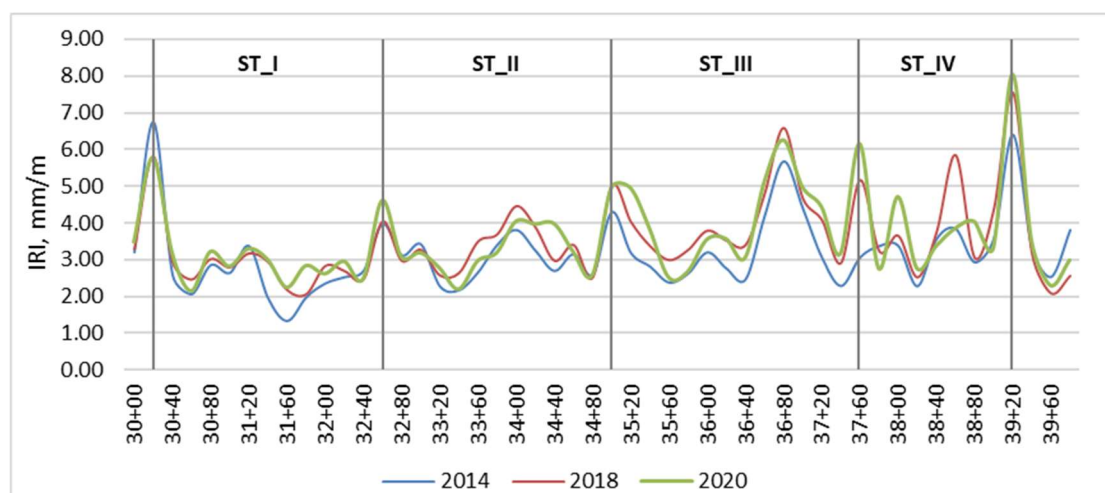


Joonis 6.7. Teekatte tasetasuse 2020 a mõõdetud väärtused Simuna-Vaiatu objektis suunal 1

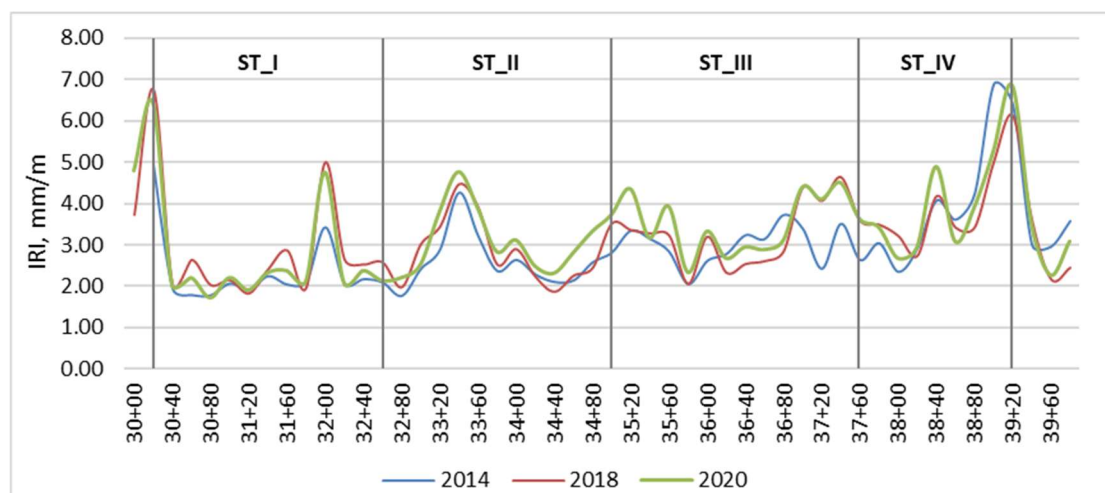


Joonis 6.8. Teekatte tasasuse 2020 a mõõdetud väärtused Simuna-Vaiatu objektil suunal 2

Erinevatel aastatel tehtud teekatte tasasuse mõõtmistulemuste võrdlused on toodud joonistel 6.9. ja 6.10. Võrdluses on kasutatud 20 m mõõtmisammuga IRI-väärtuseid.



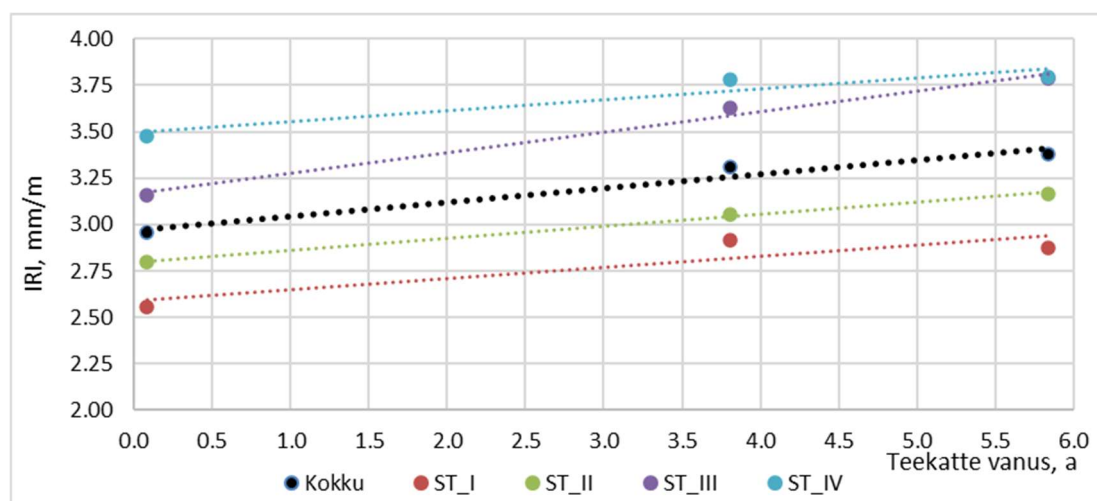
Joonis 6.9. Erinevatel aastatel mõõdetud teekatte tasasus Simuna-Vaiatu objektil (suund 1)



Joonis 6.10. Erinevatel aastatel mõõdetud teekatte tasasus Simuna-Vaiatu objektil (suund 2)

Võrdlusandmetest on näha, et erinevate aastate ja mõõtmisseadmete mõõtmistulemused langevad omavahel üsna kenasti kokku. Esineb ainult üksikuid erinevusi aga see on loomulik, kuna mõõtmiste teostajad on olnud erinevad ja vahepeal on möödunud 6 aastat.

Simuna-Vaiatu objekti lõikudel on teekatte tasasus viimase 6 aasta jooksul sarnaselt kasvanud (joonis 6.11.) kolmel lõigul (ST_I, ST_II ja ST_IV) hoolimata sellest, et tegelikud IRI väärtused ja teekonstruktsiooni tugevusomadused on lõikudel siiski erinevad. Nendel lõikudel on teekatte tasasuse väärtuse keskmine aastane muutumine olnud vahemikus 0,055-0,064 ühikut/a. Teistest lõikudest erineb lõik ST_III, kus teekatte tasasus on muutunud kiiremini ja kus teekatte tasasuse aastane muutumine on olnud peaaegu kaks korda kiirem, ehk 0,109 ühikut/a.



Joonis 6.11. Teekatte tasasuse väärtuste muutumine Simuna-Vaiatu objekti lõikudel 2014-2020

7. OBJEKTIDE KOKKUVÕTE JA ANALÜÜS

Aastal 2018 tehtud monitooringu aruandes on põhjalikult analüüsitud vaadeldavate objektide seisukorda ning arutletud põlevkivituha omaduste osas. Käesolevalt need järeldused suures osas ei muutu, mistõttu seda osa ei dubleerita, vaid keskendutakse uuele infole.

7.1. Narva – Mustajõe objekt

Ehitatud katselõigud olid järgmised:

1. Lõik A (PK 0+50...5+00, km 16,112...15,662): 6% PF tuhka + 3% tsementi, 25 cm paks, alla jäi vana stabiliseeritud kiht;
2. Lõik B (PK 5+00...9+50, km 15,662...15,212): 5% tsüklonfiltrituhk + 5% tsementi, 25 cm paks, alla jäi vana stabiliseeritud kiht;
3. Lõik C (PK 9+50...10+50, km 15,212...15,112): 6% PF tuhka + 3% tsementi, 35 cm paks, vana stabiliseeritud kiht eemaldati, alla jäi kruuspinnas;
4. Lõik D (PK 10+50...11+50, km 15,112...15,012): 9% CFB tuhka, 35 cm paks, vana stabiliseeritud kiht eemaldati, alla jäi kruuspinnas;
5. Lõik E (PK 15+80...16+80, km 14,582...14,482): 9% CFB tuhka, 25 cm paks, alla jäi vana stabiliseeritud kiht.

Eelnevalt kasutatud lühenditest:

- „PF tuhka“ on tolmpõletuskatelde elektrifiltrituhk; tehnoloogiast on täielikult loobutud ning vaadeldav tuhka ei ole enam kättesaadav, mistõttu on sellest valmistatud katselõigud kaotanud oma aktuaalsuse;
- „CFB tuhka“ on keevkihi katelde elektrifiltrituhk; praegu kättesaadav ja toodetav, mistõttu seda sisaldavad katselõigud pakuvad suurt huvi.

Kõikidest lõikudest puuriti 10 cm siseläbimõõduga teemantpuuriga puurkehad, mis katsetati seejärel survetugevusele lähtudes standardist EVS-EN 13286-41. Puuraukude asukohad olid järgmised (järjekorra number vastab puuraugu numbrile, mis on seotud katseprotokolliga (TTÜ N° 696/20) katsekeha tähistuse numbritega:

- Lõik E: nr 1 ja 2 PK 16+68; nr 3 ja 4 PK 16+34; nr 5 PK 16+23;
- Lõik D: nr 6 ja 7 PK 11+20; nr 8 PK 10+90; nr 9 ja 10 PK 10+80;
- Lõik C: nr 11 ja 12 PK 10+10; nr 13 ja 14 PK 9+80; nr 15 PK 9+70;
- Lõik B: nr 16 ja 17 PK 7+26; nr 19 ja 20 PK 6+25;
- Lõik A: nr 21 ja 22 PK 4+50; nr 24 ja 25 PK 3+50; nr 18 ja 23 PK 1+54 (punktid 18 ja 23 nihutati lõigu A algusesse, kus ehitusgeoloogilise puuraugu tegemisel oli stabiliseeritud kihi läbistamine selle kõrge tugevuse või tiheduse tõttu vaevavarikas).

Survetugevuse tulemused on esitatud tabelis 7.1.

Tabel 7.1. Narva-Mustajõe objekti katselõigu survetugevused aastate lõikes

28 päeva (proov stabilisaatori tagant)	2012 (1 aasta, puuritud suurkeha)	2014	2015	2018	2020
Lõik A					
3.8 MPa	9.4 MPa	11.2 MPa	9.6 MPa	13.4 MPa	Nr 18: 7,4 MPa
3.9 MPa	8.5 MPa	13.4 MPa	10.8 MPa	10.3 MPa	Nr 21: 7,0 MPa
-	-	-	-	10.9 MPa	Nr 22: 5,7 MPa
-	-	-	-	10.7 MPa	Nr 23: 2,8 MPa
-	-	-	-	11.5 MPa	Nr 24: 10,3 MPa
-	-	-	-	-	Nr 25: 7,7 MPa
Keskmine:	8,9 MPa	12,3 MPa	10,2 MPa	11,3 MPa	6,8 MPa
Lõik B					
1.5 MPa	2.1 MPa	9,4 MPa	7.6 MPa	6.3 MPa	Nr 16: 4,4 MPa
0.3 MPa	2.0 MPa	8.5 MPa	7.1 MPa	5.5 MPa	Nr 17: 4,9 MPa
1.3 MPa	-	-	-	8.3 MPa	Nr 19: 7,1 MPa
-	-	-	-	8.5 MPa	Nr 20: 4,0 MPa
-	-	-	-	9.6 MPa	
Keskmine:	2,05 MPa	8,9 MPa	7,3 MPa	7,6 MPa	5,1 MPa
Lõik C					
5.6 MPa	4.5 MPa	16.4 MPa	7.6 MPa	5.1 MPa	Nr 11: 5,4 MPa
-	-	-	-	purunes	Nr 12: 7,5 MPa
-	-	-	-	4.9 MPa	Nr 13: 5,6 MPa
-	-	-	-	purunes	Nr 14: 6,1 MPa
-	-	-	-	purunes	Nr 15: purunes
Keskmine:	-	-	-	5 MPa	6,15 MPa
Lõik D					
3.0 MPa	-	6.7 MPa	5.9 MPa	Purunesid	Nr 6: purunes
3.4 MPa	-	7.7 MPa	4.9 MPa	-	Nr 7: purunes
3.5 MPa	-	-	-	-	Nr 8: 4,1 MPa
					Nr 9: purunes
					Nr 10: purunes
Lõik E					
2.1 MPa	-	9.2 MPa	6.7 MPa	5.4 MPa	Nr 1: 4,6 MPa
-	-	8,9 MPa	7.7 MPa	4.0 MPa	Nr 2: 6,1 MPa
-	-	-	-	4.5 MPa	Nr 3: 3,2 MPa
-	-	-	-	3.5 MPa	Nr 4: 5,0 MPa
-	-	-	-	4.4 MPa	Nr 5: 3,6 MPa
Keskmine:		9,05 MPa	7,2 MPa	4,4 MPa	4,5 MPa

Lõikude A ja B survetugevused on vähenenud, mille põhjust ei ole teada. Teekonstruktsiooni kandevõimemõõtmistest nähtus, et mõlema lõigu kandevõime on vähenenud ning vajumikausi parameetrid mõnevõrra halvenenud. Nähtuste põhjuseks võib olla aeg, täpsemalt elastse teekatendi väsimine liiklus- ja ilmastikukoormusest tulenevalt, mis on normaalne protsess.

Lõigu C tulemused olid võrreldes aasta 2018 andmetega paranenud, mille põhjus ei ole samuti teada. Aasta 2018 aruandes arvati, et suurkehade lagunemise põhjuseks on asjaolu, et vana stabiliseeritud kiht oli eemaldatud, mistõttu pääsis vesi kruuspinnases toimunud kapillaartõusu tõttu stabiliseeritud kihti ja nõrgendas seda läbi märgumis-kuivamis- ning

külmumis-sulamistsüklite. Esitatud järeldus võis olla korrektne, kuid teisalt käesolevaid andmeid vaadates ka mitte, kuna neli suurkeha viiest saadi kätte ning ka survetugevused olid suhteliselt kõrged. Proovikehade kättesaamist aastal 2018 võis mõjutada ka stabiliseeritud kihi koostis, mida täpsemalt käsitletakse allpool.

Lõigust D saadi kätte vaid üks suurkeha, mille survetugevus oli suhteliselt hea. Lõik D on teiste katselõikudega võrreldes oluliselt nõrgem nii teekonstruktsiooni kandevõime kui esinevate defektide vaatevinklist. Aastal 2018 arvati, et põhjuseks on asjaolu, et vana stabiliseeritud kiht oli eemaldatud, mistõttu pääsis vesi kruuspinnases toimunud kapillaartõusu tõttu stabiliseeritud kihti ja nõrgendas seda läbi märgumis-kuivamis- ning külmumis-sulamistsüklite. OSAMATI laboriuuringu aruandes oli välja toodud järeldus, et stabiliseeritud kiht 6% CFB tuhaga ei täitnud külmakindluse nõuet, kuid 9% kasutamisel saadi vajalik tulemus. Hilisemad katsetused sama tuhaga TTÜ Ehitusmaterjalide laboris betoonisegudega on võimaldanud järeldada, et CFB tuha probleemseks kohaks on nõrk külmakindlus. Seega on tõenäoline (eriti arvestades ka lõigu E toimivust ja seisukorda, mis on lõigust D oluliselt parem), et lõigu D stabiliseeritud kihi degradeerumine on põhjustatud kapillaartõusust põhjustatud kihi kõrgemast veesisaldusest ning külmumis-sulamistsüklite toimest.

Lõigu E survetugevused on võrreldes aastaga 2018 püsinud sisuliselt muutumatutena, kuigi kandevõimeväärtustele põhinedes on lõigu seisukord halvenenud. Arvestades seda, et lõigul E esineb sarnaselt lõigule D võrkpragunemist, näib siiski ka lõigul E stabiliseeritud kihiga olevat kestvuse küsimusi. Tõenäoliselt takistab alla jäetud vana stabiliseeritud kiht kapillaarvee tungimist lõigu E uude stabiliseeritud kihti, mistõttu püsib see kuivemana olles seega püsinud paremas seisukorras kui lõik D. Joonisel 7.1 (vasakpoolne foto) on kujutatud km 14,577 olevat võrkpragunemist, mis on arenenud puuraukude ümber. Tõenäoliselt on vesi pääsenud puuraukudest sisse, mistõttu on stabiliseeritud kiht liikluskoormuse toimel hakanud selles piirkonnas lagunema. Täpselt samasugune defekt on leitav ka lõigult D km 15,044 (parempoolne foto joonisel 7.1). Probleem võib olla seotud ka libedusetõrjeks kasutatavate sooladega, nimelt hüdrauliselt seotud kihid on tundlikud kloriidide suhtes



Joonis 7.1. Defektid km 14,577 (lõik E) ja km 15,044 (lõik D) viitavad sellele, et CFB tuhaga stabiliseeritud kihil on nõrk veepüsivus ja/või külmakindlus.

Joonise 7.2 fotodel on kujutatud valitud puurkehasid, mille nummerdus vastab tabelis 7.1 esitatud „2020“ veerule. Joonise 7.3 fotodel on näidatud punkte (7 ja 15), kus puurkehad on puurimise käigus lagunenud. Esiteks nähtub, et puurkehade täitematerjalid on justkui katkeva terakoostisega, ehk segu oleks justkui kokku pandud peenematerjalisest materjalist (freespurust) ja fraktsioneeritud killustikust. Nagu on selgitatud uuringus⁸, ei ole taoline terakoostis eelistatav, kuna taolist kihti on raske tihendada ning taolise koostisega segude tugevus on nõrgem kui optimaalsest segust koosnevatel segudel. Teiseks on allikas viidatud erinevatele teadusuuringutele põhinedes, et hüdraulilise sideainega seotud segudes freespuru nõrgendab püsivate/tugevate hüdrauliliste sidemete teket ning et bituumen toimib nendes segudes ebapuhtusena, mis halvendab nakke tekkimist tsemendi ja täitematerjali vahel.



Joonis 7.2. Fotod puurkehadest nr 3 (lõik E), 8 (lõik D), 12 (lõik C) ja 17 (lõik B).



Joonis 7.3. Fotod punktidest vastavalt 7 (lõik D) ja 15 (lõik C), kus puurkehad puurimise käigus lagunesid.

⁸ Sillamäe, S. Stabiliseeritud katendikihtide uuring. Etapp I aruanne. Maanteeamet 2020

Puurkehad vaadati üle ka peale survetugevuse katsetust (foto joonisel 7.4), millest nähtus, et kui Simuna-Vaiatu puurkehad on tugevad, „konkreetsed“ ja mitterabedad (segu tehti ilma freespuruta), siis freespuru sisaldavad Narva-Mustajõe puurkehad olid pehmemad, rabedamad, poorsemad ja „ebamäärasemad“ sisaldades justkui ebapuhtust, mis on takistanud püsivate hüdrauliliste sidemete säilimist. Joonisel 7.4 toodud foto puhul peab arvestama, et nähtavad praod on sees tulenevalt proovikehade purustamisest survetugevuse mõõtmise käigus. Samuti nähtus juba eelnevalt kirjeldatu, et segus on kasutatud kohati liiga suure terasuurusega kivi ning et segud näivad olevat tasakaalust väljas (joonis 7.5 fotod).



Joonis 7.4. CFB tuhaga stabiliseeritud proovikehade võrdlus peale survetugevustesti läbimist: vasakul on ilma freespuruta Simuna-Vaiatu proovikeha ja paremal freespuruga Narva-Mustajõe; viimane on rabedama ja „pehmem“ koostisega.



Joonis 7.5. Näited survetugevuse läbinud proovikehadest Narva-Mustajõelt, millest nähtub see, et segude terakoostised on kohati tasakaalust väljas.

Lisaks puurkehade puurimisele tehti Narva-Mustajõel katendikihtide uuringud ehitusgeoloogilistes uuringuteks ettenähtud agregaadiga OÜ REI Geotehnika poolt kasutades seadet GM-65. Eesmärk oli eelkõige vaadelda seda, kui sügavale on ulatunud lõigul esinevad põikpraod.

Tööd raskendas esiteks see, et teelõik oli enne uuringute teostamist pinnatud, mistõttu ei olnud põikpraod enam nähtavad. Õnneks oli võimalik mõningate pragude asukohta läbi pindamiskihi aimata ning seal tabati ka põikprao asukohta.

Teiseks raskendas tööd see, et Eestis kasutusel olevad geotehniliste uuringute masinad ei ole varustatud katendite (seotud kihtide) uurimiseks vajaminevate seadmetega. Tehnika on eelkõige suunatud pinnaste uurimiseks. Oleks vajalik, kui kõikide meeskondade varustusse kuuluksid ka vähemalt kahe erineva läbimõõduga (100 mm ja 150 mm) teemantpuurid, millega saaks proove võtta nii asfaltkattest kui stabiliseeritud kihtidest. Praegu eranditult kasutusel olevad seadmed ja varustus purustavad seotud kihid.

Kokku tehti uuringud üheteistkümnes punktis:

- PK 16+55 sõidujälgede vahelt. Asfalt 10 cm, stabi 25 cm, mille all on betoonitaoline kiht, kust proovirammiga läbi minna ei saa. OSAMATi projekti raames tehtud stabi on pehme võrreldes all oleva vana stabikihiga, mille tugevus ja koostis meenutas betooni;
- PK 8+32, proovipunkt kindlustatud teepeenrast (ca 30 cm asfaldi äärest). Asfaltkate 10 cm, stabikiht 25 cm, 15 cm täitepinnas; vahemikus ca 50...60 cm kattest on liivakiht, mille all looduslik moreen; vana stabiliseeritud kihti ei leitud (vasakpoolne foto joonisel 7.6);
- PK 7+25 sõidujäljest. Asfalt 10 cm, stabi 25 cm, mille all on betoonitaoline kiht, kust proovirammiga läbi minna ei saa;
- PK 6+24 sõidujäljest. Asfalt 10 cm, stabi 25 cm, mille all on betoonitaoline kiht, kust proovirammiga läbi minna ei saa. Nii asfaldist kui uuest stabist jookseb põikpragu läbi kogu kihi (keskmine foto joonisel 7.6);
- PK 4+64 tee peenrapoole (ca 30 cm katte äärest): alt vana stabikihti vastu ei tulnud. Asfalt + stabi on kokku 30 cm, mille all on täitepinnast. Ca 50 cm sügavusel tuleb vastu looduslik pinnas;
- PK 4+64 sõidujälgede vahelt. Näib, et vana stabikiht on ebaühtlase paksuse ja koostisega. Kui eelmistes punktides ei õnnestunud stabist läbi minna, siis siin sai. Ristlõige oli: 10 cm asfalt, 25 cm uus stabi, 15 cm täitepinnas, 10 cm vana stabi, looduslik pinnas (parempoolne foto joonisel 7.6);
- PK 4+14, katte äärest ca 30 cm kauguselt. Kõva stabikihti all ei ole. Sama ristlõige, mis PK 4+64 tee ääres;
- PK 3+78 sõidujälgede vahelt. Uus stabi oli väga kõva sarnanedes betoonile, sond sisse ei lähe. Kindlalt põikprao koht, kuid selle ulatust ei ole võimalik prooviaugu põhjal tuvastada;
- PK 2+76 sõidujälgede vahelt. Kindlalt põikprao koht (asfaldi küljes oli praoparandusmastiks). Ca 50 cm sügavusel kattest tuleb õhuke killukiht (ca 5 cm), mille all on betoon. Uue stabi ülemine osa (10...15 cm) on väga tihe/kõva, proovi sisse tagumisel oli ülemine stabiosa kihiline (vasakpoolne foto joonisel 7.7) ja kõik kivid puruks, alumine pool oli terve. Võimalik, et see on purustatud juba ehitamise (tihendamise) käigus; tundub, et uus stabikiht koosneb kahest erinevast kihist, mis on tuvastatav ka sellest piirkonnast võetud suurkehade põhjal (joonis 7.7);

- PK 2+27 sõidujälgede vahelt, põikprao koht (prao parandusmastiks on näha). Sama, mis eelmise piketi juures, kuid siin killustikukihti kihti ei ole ja 45 cm sügavuselt algab betoon. Uue stabi ülemine pool on tihedam ja näeb välja kihiline. Tegemist oleks justkui kahe eri stabikihiga, vähemalt tiheduse ja struktuuri mõttes. Põikpragu jookseb kuni tihedama poole lõpuni, sealt edasi enam mitte. Põikprao sügavus on seega ca 20...25 cm asfaltkatte pinnast (keskmine ja parempoolne foto joonisel 7.7).
- PK 1+54. Sõidujälgede vahelt. Stabikiht on nii kõva, et sond üle 30 cm sisse ei lähe. Sond jäi kinni ja seda oli väga raske kätte saada. Mida rohkem Auvere poole, seda tihedamaks stabikiht läks.



Joonis 7.6. Ristlõige PK 8+32, vana stabikiht ei ulata tänase teekatte alla täies laiuses. PK 6+24, põikpragu ulatub läbi asfaltkatte kui uue stabikihi kuni vana betoonitaolise kihini. PK 4+64 oli vana stabikiht nõrk, mida oli võimalik proovliga läbistada (märgistatud punase ristkülikuga)



Joonis 7.7. Ristlõige PK 2+76. Uue stabikihi ülaosa oli väga tihe, millest proovliga läbimine oli raskendatud. Stabikiht justkui koosneks kahest erinevast kihist, mis tuleb esile ka mõningate puurkehade põhjal (nr 23, 20, 19, 18, 17). PK 2+27 põhjal nähtus, et põikpragu ulatus on kuni uue stabikihi tiheda osa lõpuni, kus enam edasi ei lähe.

Lõigus A on uus stabikiht jäik, kuid mitte ligilähedaltki nii tugev, kui alla jäänud vana stabi (vanast stabist suurkehasid kätte saada ei õnnestunud). Kui sond läheb enam-vähem normaalselt uuest stabist läbi, siis vanasse stabisse seda saada ei õnnestu; kiht on betoonitaoline.

Põikpragude uuring näitas, et nende tekke põhjuseks võib lugeda kahte allikat: osad tulenevad uuest stabiliseeritud kihist (mitmed praod lõikudes A ja B) ning osad on peegelduspraod, mis on alguse saanud all olevast kihist.

Kui 2018.a aruandes järeldati, et CFB tuhki ei sobitu standardi EVS 925 valdkonnaga ehk teede aluste stabiliseerimise sideaineks, siis peamiselt lõigu E põhjal ning arvestades juurde ka küsitavusi seoses Narva-Mustajõe stabiliseeritud segu täitematerjalide koostumusega võib öelda, et see ei pruugi olla korrektne ning et CFB tuha kasutamist stabiliseerimistöödes (vähemalt madalamaklassiliste teede puhul) ei peaks välistama. On siiski teada fakt, et põlevkivituhha kvaliteet ei ole nii püsiv, kui Portlandtsementidel, samuti on tuha survetugevusklass ja külmakindlus nõrgemad. Oleme seisukohal, et hea ettevalmistuse ja sobiliku segu koostise korral oleks võimalik puudused ületada ning CFB tuhka võiks saada kasutada ka teede aluste stabiliseerimisel, kuid vastavad tingimused tuleb veel välja töötada. Käesoleva aruande koostamise ajal on Tallinna Tehnikakõrgkoolis käimas uuringud, millega püütakse selgitada erinevate CFB tuhka sisaldavate sideainekombinatsioonide toimivust hüdraulilise sideainega seotud kihtides, uurides muuhulgas ka segude külmakindlusi. Uuringu tähtaeg on 2021 hilistalv.

7.2. Simuna – Vaiatu objekt

Simuna – Vaiatu katselõik on jagatud nelja erinevasse sektsiooni:

1. PK 30+20...32+16: pinnatud 20 cm tuhkestabiliseeritud alus (sideaineks 9% CFB tuhka) olemasoleval ca 50 cm paksusel kruusliival; aluspinnaseks tihenenud turvas;
2. PK 32+61...35+10: pinnatud 20 cm tuhkestabiliseeritud alus (sideaineks 9% CFB tuhka) ca 90 cm paksusel kruusliival. Aluspinnaseks mass-stabiliseeritud turvas kasutades 200 kg/m³ tuhka ja 60...80 kg/m³ komposiitsegmenti CEM II / B-M (T-L) 42,5R;
3. PK 35+10...37+61: pinnatud 20 cm kompleksstabiliseeritud alus („tavapärane“ segu) ca 90 cm paksusel kruusliival. Aluspinnaseks mass-stabiliseeritud turvas 200 kg/m³ tuhka ja 60...80 kg/m³ komposiitsegmenti CEM II / B-M (T-L) 42,5R;
4. PK 37+61...39+20: pinnatud 20 cm kompleksstabiliseeritud alus („tavapärane“ segu) olemasoleval ca 50 cm paksusel kruusliival. Aluspinnaseks tihenenud turvas.

Kihtstabiliseeritud kihist puuriti kokku 30 puurauku järgmistest kohtadest:

- PK 30+60 vasak paan: suurkehad nr 3 ja 4;
- PK 30+80: suurkehad nr 1 ja 2 vasak paan; suurkeha nr 5 tee keskel;
- PK 33+00: suurkehad nr 6 ja 7 vasak paan; nr 8 tee keskel; nr 9 ja 10 parem paan;
- PK 34+00: suurkehad nr 11 ja 12 vasak paan; nr 13 tee keskel; nr 14 ja 15 parem paan;

- PK 36+00: puurkehad nr 16 ja 17 vasak paan; nr 18 tee keskel; nr 19 ja 20 parem paan;
- PK 37+00: puurkehad nr 21 ja 22 vasak paan; nr 23 tee keskel; nr 24 ja 25 parem paan;
- PK 38+00: puurkehad nr 26 ja 27 vasak paan; nr 28 tee keskel; nr 29 ja 30 parem paan;

Puuraukude asukohtade valikult arvestati aasta 2018 puurimise tulemusi, mil märgatav osa puurkehadest purunesid peamiselt seal, kus ei olnud tehtud mass-stabiliseerimist. Seekord valiti samadest pikettide piirkondadest välja konkreetsed punktid, kus oleks 2018.a puurimise tulemusel tõenäolisemalt võimalik kätte saada terve puurkeha. Lisaks valiti uueks asukohaks pikett PK 38+00, kus oli kompleksstabi mass-stabiliseerimata turbal.

Tabel 7.2. Puurkehade survetugevused Simuna – Vaiatu teelõigul („-“, tähistab, et puurkeha ei saanud katsetada või see purunes puurimise käigus, v.t märkus tabeli lõpus)

Pikett	Keskmised survetugevused			2018 puurkehad		2020 puurkehad	
	7 päeva	28 päeva	2015	Survetugevus	Asukoht	Pikett	Survetugevus
PK 30+70, 9% CFB, turvas	1,9	4,7	7,1	-	vp	PK 30+60 ja 30+80, 9% CFB, turvas	Nr 1: 10,2 MPa
				-	vp		Nr 2: 11,1 MPa
				-	telg		Nr 3: 12,7 MPa
				12,3 MPa	pp		Nr 4: 9,5 MPa
				-	pp		Nr 5: -
PK 31+50, 9% CFB, turvas	2,4	4,1	8,9	-	vp	PK 33+00, 9% CFB, mass-stabi	Nr 6: -
				-	vp		Nr 7: 13,9 MPa
				-	telg		Nr 8: -
				14 MPa	pp		Nr 9: 21,8 MPa
				-	pp		Nr 10: 10,4 MPa
PK 34+00, 9% CFB, mass-stabi	2,9	4,9	8,4	14,9 MPa	vp	PK 34+00, 9% CFB, mass-stabi	Nr 11: 16,9 MPa
				8,6 MPa	vp		Nr 12: 17,0 MPa
				14,7 MPa	telg		Nr 13: 16,2 MPa
				18,6 MPa	pp		Nr 14: 8,8 MPa
				16,7 MPa	pp		Nr 15: 13,9 MPa
PK 35+50, KS32, mass-stabi	0,1	0,2	1,2	5,9 MPa	vp	36+00, KS32, mass-stabi	Nr 16: -
				-	vp		Nr 17: -
				-	telg		Nr 18: 3,7 MPa
				-	pp		Nr 19: 3,1 MPa
				5,8 MPa	pp		Nr 20: -
PK 36+00, KS32, mass-stabi	0,3	1,7	1,3	6,6 MPa	vp	37+00, KS32, mass-stabi	Nr 21: 8,0 MPa
				6,4 MPa	vp		Nr 22: 4,6 MPa
				5,9 MPa	telg		Nr 23: 3,4 MPa
				5,7 MPa	pp		Nr 24: -
				6,0 MPa	pp		Nr 25: -
PK 37+00, KS32, mass-stabi	0,2	2,4	2,1	7,1 MPa	vp	38+00, KS32, turvas	Nr 26: -
				7,2 MPa	vp		Nr 27: -
				-	telg		Nr 28: -
				7,4 MPa	pp		Nr 29: -
				-	pp		Nr 30: -

Märkused: puurkeha nr 6 oli pragu kogu katsekeha kõrguses, mistõttu seda ei saanud katsetada; nr 16, 20, 24 ja 25 puurkehade kõrgused olid liiga väikesed, mistõttu neid ei katsetatud.

Joonise 7.8 fotodel on kujutatud valitud puurkehad, millest nähtub, et võrreldes Narva-Mustajõe objektiga on Simuna-Vaiatu CFB tuhaga stabiliseeritud segu ühtlasema terakoostisega ja ei sisalda freespuru, tänu millele on need väga heas seisukorras ja mis kajastub ka kohati väga kõrges survetugevuses. PK 30+60 ja 30+80 ehk mass-stabiliseerimata turbale ehitatud lõigult puuritud puurkehades on näha mikropragusid sarnaselt 2018. a puurkehadega. Turvas ei taga hüdraulilise sideainega seotud kihile piisavat kandevõimet, mistõttu jäigas kihis toimuvad lubamatult suured paindejõud põhjustades kihi purunemist.



Joonis 7.8. Fotod puurkehadest, puurkeha nr 2 on võetud mass-stabiliseerimata turbaga lõigult ja kihis on võimalik näha mikropragusid. Mass-stabiliseeritud turbaga lõikudelt võetud puurkehad on väga heas seisukorras.

KS kihi puurkehasid on kujutatud joonise 7.9 fotodel. Puurkehad on selgelt nõrgemad ja halvemas seisukorras. Mass-stabiliseerimata turbaga lõigult ei olnud võimalik kätte saada ühtegi tervet puurkeha.



Joonis 7.9. Puurkehad nr 20, 23 ja puurauk nr 30. Puurkehad on võrreldes tuhkstabiliseeritud kihiga selgelt nõrgemad ja halvemas seisukorras. Mass-stabiliseerimata turbaga lõigult ei olnud võimalik kätte saada ühtegi tervet puurkeha.

OSAMAT projekti aruandes järeldati tagantjärei CFB tuhaga stabiliseeritud kihi proovikehade survetugevuse põhjal, et 9% tuhka oli tõenäoliselt liiga suur kogus ning et oleks piisanud 6%.

Projekti käigus valiti 9% külmakindluse kriteeriumi täitmiseks. Hetkel Tallinna Tehnikakõrgkoolis tehtavate uuringutega püütakse selgitada, kas tsemendi (CEM I 42,5N või TAS 32,5) või tsemendilisandi (Stabilroad®) lisamisega on võimalik parandada CFB tuha sideainelisi omadusi just külmakindlust silmas pidades.

Mis puudutab KS kihti, siis uuringus⁹ on järeldatud, et Eestis kasutatakse nii BS kui KS kihtides liiga vähe lisatavat bituumenit, mistõttu kannatavad segude tugevused. See on nähtav ka käesolevalt.

Simuna-Vaiatu teelõigul esineb kolme tüüpi defekte:

- mass-stabiliseerimata turbaga CFB tuha lõikudel tõenäoliselt külmakergetest tulenenud pikipraod (vasakpoolne foto joonisel 7.10); pikipragu lõppeb kohas, kus algab mass-stabiliseeritud lõik;
- mass-stabiliseerimata turbaga KS lõikudel nõrgast kandevõimest tulenevat võrkpragunemist (keskmine foto joonisel 7.10);
- CFB tuhaga lõikudel pindamiskihi eraldumist stabiliseeritud alusest (parempoolne foto joonisel 7.10).



Joonis 7.10. Mass-stabiliseerimata turbaga lõigul tõenäoliselt külmakergetest johtuv pikipragunemine; KS lõigul leiduv võrkpragunemine; CFB tuhaga lõigul pindamiskihi irdumine/lagunemine.

Simuna-Vaiatu teelõik vajaks edasise lagunemise vältimise ja lõigu säilitamise eesmärgil ülepindamist.

Võrreldes aastal 2018 tehtud uuringutega tehti käesoleva aruande koostamise jaoks oluliselt põhjalikum mass-stabiliseeritud turba uuring, mille kokkuvõtte on aruande lisa 7 (OÜ REI Geotehnika töö nr 4647-20). Geotehniliste uuringute raames teostati surupenetratsiooni

⁹ Sillamäe, S. Stabiliseeritud katendikihtide uuring. Etapp I aruanne. Maanteeamet 2020

katsed, määrati turba veesisaldused ning mõõdeti tiivikkatsega dreenimata nihketugevust (hetktugevust). Uuringukohtadeks olid (kokku 15 punkti):

- PK 32+90 (vasak ja parem tee äär ning tee keskel);
- PK 34+00 (vasak ja parem tee äär ning tee keskel);
- PK 35+00 (vasak ja parem tee äär ning tee keskel);
- PK 35+90 (vasak ja parem tee äär ning tee keskel, foto joonisel 7.11);
- PK 37+00 (vasak ja parem tee äär ning tee keskel).



Joonis 7.11. Rohelisega märgitud geotehnilise uuringu punktid nr 10...12 PK 35+90.

OSAMAT uuringu aruande järgi võeti mass-stabiliseeritud kihist septembris 2014 proovikehad veesisalduse ja survetugevuse määramiseks pikettidelt: PK 33+00, PK 34+00, PK 34+65, PK 36+00 ja PK 37+00, mille tulemused on esitatud joonisel 7.12. Lisaks on A.Koroljova ettekandes „OSAMAT – Oil Shale Ash Use in Road Construction“ esitatud tiivikkatse tulemuseks 50 kPa.

Table 7. Results of compression strength test of MS-COSA

Sample	Water content, %	Compression strength, kN	Section/structure type	Average compression strength, kN	Average compression strength, MPa
1	160,2	0,25	34+00	0,29	0,03
2	92,5	0,40			
3	58,0	0,33			
4	89,9	0,20	34+65	0,21	0,02
5	68,9	0,22			
6	107,5	0	36+00	0,04	0,00(0,004)
7	85,7	-			
8	89,1	0,07			
9	132,1	0,09	37+00	0,12	0,01
10	66,5	0,14			

Joonis 7.12. Septembris 2014 saadud mass-stabiliseeritud kihi mõõtetulemused.

2020 aasta uuringus saadi kokkuvõtvalt järgmised väärtused:

- PK 32+90:
 - parem teepool: veesisaldus $w_n = 71,5...76,1\%$, dreanimata nihketugevus tiivikkatsega $c_u = 95,3...>131$ kPa;
 - tee keskel: $w_n = 80,3...248,4\%$, $c_u = 60,6...>134$ kPa;
 - vasak teepool: $w_n = 60,5...71,1\%$, $c_u = 67,9...112,5$ kPa;
- PK 34+00:
 - parem teepool: $w_n = 83,1...142,6\%$, $c_u = >128$ kPa;
 - tee keskel: $w_n = 88,3...436\%$, $c_u = 53,8...>134$ kPa;
 - vasak teepool: $w_n = 88,8...189,6\%$, $c_u = 45,3...>138$ kPa;
- PK 35+00:
 - parem teepool: $w_n = 60,8...67,6\%$, $c_u = >139,8$ kPa;
 - tee keskel: $w_n = 64,5...90,1\%$, $c_u = 53,8...>137$ kPa;
 - vasak teepool: $w_n = 108,7...152,6\%$, $c_u = >137$ kPa;
- PK 35+90:
 - parem teepool: $w_n = 122,9...290,2\%$, $c_u = 96,5...>138$ kPa;
 - tee keskel: $w_n = 100...102,7\%$, $c_u = -$ kPa;
 - vasak teepool: $w_n = 49,4...194,9\%$, $c_u = 46,8...>138$ kPa;
- PK 37+00:
 - parem teepool: $w_n = 62,2...111,0\%$, $c_u = 83,6...131,2$ kPa;
 - tee keskel: $w_n = 82...160,4\%$, $c_u = 46,8...89,6$ kPa;
 - vasak teepool: $w_n = 46,8...89,8\%$, $c_u = >140$ kPa;

Koonustakistus jäi vahemikku 0,1...5,7 MPa, kuid oli valdavalt siiski ca 0,1 MPa juures. Surupenetratsioon antud tingimustes hästi koreleeruvaid tulemusi kahjuks ei anna: pinnas on heterogeenne, mistõttu kõigub koonustakistus suurel määral. Samuti on tulemused väikese mineraalse sisaldusega turbas nullilähedased, seade pole tõenäoliselt piisavalt tundlik.

Uuritud lasundi näol on tegemist heterogeense koostisega pinnasega: turvas sisaldab rohkesti moolli-, liiva- ja kruusaosakesi. Kõige objektiivsema hinnangu pinnase koostisele annab ehk looduslik veesisaldus, kus W_n vahemikus ca 50...100% puhul on mineraalsete osakesete osakaal suur, ca 100...200% puhul vähene.

Tiivikkatse puhul mõjutavad liiva ja kruusaosakesed suurel määral tulemusi: jämedapurdse materjali tõttu pole sageli võimalik pinnast purustada (tulemus „suurem kui“ ehk „>“), sageli polnud võimalik tiivikut pinnasesse selle suure kivisuse tõttu suruda (tabelis „–“, ehk katset ei tehtud).

Kuna varasemate Simuna-Vaiatu uuringute võrdlusbaas on vähene, siis on raske hinnata, kuidas mass-stabiliseerimine on ajas kestnud. Kui võtta aluseks aastal 2014 saadud veesisaldused (ei ole täpselt teada, kust proovid siis täpselt võeti), siis veesisaldus näib olevat veidi suurenenud. Eriti paistavad silma 2020. a mõõtmiste PK 32+90 tee keskel, PK 34+00 tee keskel ja PK 35+90 parema sõidusuuna alt võetud proovid, kus veesisaldus on suurem, kui

mass-stabiliseeritud turba osas peaks olema. Uuringus¹⁰ saadi kruusateede alt tihendatud mass-stabiliseerimata turbast veesisaldusteks ca 150...300% ja seega ootaks, et mass-stabiliseeritud ja koormatud turba veesisaldused oleksid sellest väiksemad. Tiivikkatsega mõõdeti dreenimata nihketugevuseks valdavalt üle 50 kPa, kuigi mõnes punktis saadi veidi vähem (ca 45 kPa).

Uuringu¹¹ käigus prooviti võtta Simuna-Vaiatu mass-stabiliseeritud turbast monoliite survetugevuse määramiseks, mis ei õnnestunud. Võetud proovidest määrati siiski Tartu Ülikoolis mineraloogiline koostis, mille kohta järeldati järgmist:

„Käesoleva uuringu raames võeti Simuna – Vaiatu mass-stabiliseeritud turbast proovid, mida analüüsiti Tartu Ülikooli (TU) geoloogia osakonnas. Proovid võeti OÜ Geotehnika Inseneribüroo G.I.B poolt 10.05.19 kolmest eri ristlõikest (PK 34+00, PK 34+50 ja PK 36+75): tee peenrast, välimise sõidujälje alt ja tee keskelt (kokku 9 proovikeha) ning anti üle objektile viibinud TU esindajale.

Järgnev info saadi prof. Kalle Kirsimäelt.

algus Laboris proovikehade survetugevust määrata ei õnnestunud, kuna proovikehad ei olnud piisavalt tugevad. Kõikidel juhtudel olid kehad deformeerunud ja tükilised ning kõlbmatud survetugevuse mõõtmiseks. Materjal ise oli pude ja lagunes kergesti suuremateks-väiksemateks tükideks.

Tuhamaterjali jaotumine proovikehades oli ebaühtlane ning tuhk moodustas 2 – 7 cm suuruseid kogumikke, mis olid kohati hajusate piiridega. Enamasti oli proovimisel tuhk pehme-pude mass, mida oli kerge lõigata, aga kohati esinesid tugevamad nurgelised tükid (segamise käigus sisse sattunud kivi?).

Leitud tuhatükkide mineraalset koostist kontrolliti puuraugus nr 2 erinevatelt sügavustel pinnalt kuni puuritud intervalli lõpuni. Tuha mineraalses koostises olid kadunud hüdratiseerunud tuhasettele iseloomulikud Ca-hüdroksiid (portlandiit) ja ettringiit. Jälgedena esinesid primaarsetest tuhamaterjalidest Ca-Mg silikaat akermaniit ja Ca-silikaat C₂S (beliit). Sekundaarsetest faasidest oli jälgedena tuhasettele iseloomulik hüdrokalumiit.

Erinevalt tuhasettest oli tekkinud turbasse segatud tuhas kips (CaSO₄*2H₂O), mille sisaldus küündis kristallilistest faasidest kuni 10%-ni. Kips on tekkinud arvatavasti tuhas tüüpilise Ca-sulfaadi anhüdriidi hüdratiseerumisel. Tüüpiliselt moodustub tuhasettes leeliselises keskkonnas anhüdriidi ja alumosilikaatide lahustumise arvelt Ca-Al-sulfaat-hüdraatmineraal ettringiit, mis koos portlandiidi karboniseerumisega annab tuhasettele sideainelised

¹⁰ Sillamäe, S. Madala liiklussagedusega teedele katendi projekteerimise juhendi loomine lähtuvalt tee tegelikust olukorrast III osa. Metoodika täiendamine ja testimine teeobjektidel. Maanteeamet 2019

¹¹ Sillamäe, S. Põlevkivi põletustuhkade kasutamine madalaklassilistel teedel. Tallinna Tehnikakõrgkool 2019

omadused ning kontrollib tuhasette survetugevust. Ettringiit on stabiilne faas keskkonnas mille pH on >10 ning pH langemisel laguneb kipsiks ja Al-oksühüdraatseks amorfseks faasiks.

Arvestades portlandiidi ja ettringiidi puudumisega (portlandiidi lahustumine kontrollib tuhasette kõrget pH-d) võib oletada, et isegi kui sideaineline ettringiit tuha-turba segudes algselt moodustus, siis koos portlandiidi lahustumisega happelises turba keskkonnas hakkas lagunema ka ettringiit ning asendus kipsiga, mis ei ole sarnaste sideaineliste omadustega. Karboniseerumise ulatust ei ole võimalik hinnata, kuna tuha algkoostis ei ole teada, aga kuna tuhk on segatud turbalasundisse ning maetud, siis on arvatavasti piiratud ka karboniseerumiseks vajaliku õhu süsihappegaasi difusioon, mis oluliselt pidurdab karboniseerumist. *lõpp*

Eelnevast tuleb järeldada, et põlevkivituha (kas ka tsemendi, seda tuleb täiendavalt uurida) sideainelised omadused ei ole turbakeskkonnas püsivad. Simuna – Vaiatu katselõigul saadi mass-stabiliseerimisega head kogemused, mida võib käsitleda selliselt, et kasutatud tehnoloogia ning põlevkivituhk vähendasid turba veesisaldust võimaldades turba kiiret konsolideerumist. Põlevkivituhka saaks edukalt kasutada turba ajutiseks tugevdamiseks, mis võimaldaks kiiremat konsolideerumist või mis võimaldab ehitada tööplatvormi, mille abil rajada püsivamaid meetmeid.“

7.3. Täiendavad katsetused põlevkivituhaga

Aastal 2018 järeldati, et põlevkivituhad sobivad väga hästi kasutamiseks madalamaklassiliste (kruusateede) seisukorra parandamiseks nii kihtstabiliseerimiseks kui pinnase omaduste parandamiseks. Põlevkivituha perspektiivne kasutusvaldkond võiks olla standarditele EVS-EN 14227 ja 16907 vastav ehk hüdrauliliselt seotud segud ja pinnase modifitseerimine.

Nendele järeldustele tuginedes algatas Eesti Energia täiendava uuringu¹², mille käigus uuriti CFB põlevkivituhaga kruusateedelt võetud kruusaproovide ja moreeni modifitseerimise ning stabiliseerimise võimalusi. Uuringu tulemusena leiti kokkuvõtvalt järgmist:

- CFB tuhk sobib kasutamiseks teede alla jäävate ja muldkehas olevate pinnaste omaduste parandamiseks suurendades nende tugevust ning vähendades veetundlikkust. Tegemist on vastavalt allikale¹³ tehnoloogiaga „*qualified soil improvement*“ (sisuliselt standardi EN 16907 valdkond) täites veenvalt segatavale segule esitatavad nõuded juhul, kui tuhasisaldus segus on olenevalt pinnasest 3...4% (kui segatav pinnas on optimaalse veesisalduse juures);
- CFB tuhk sobib kasutamiseks ka pinnase stabiliseerimiseks (*soil stabilization*, sisuliselt standardi EN 14227 valdkond), kui tuhasisaldus segus on olenevalt stabiliseeritavast pinnasest 6...9% täites nõuded nii survetugevusele kui külmakindlusele;

¹² Sillamäe, S. Põlevkivi põletustuhkade kasutamine madalaklassilistel teedel. Tallinna Tehnikakõrgkool 2019

¹³ Soil Treatment. Base Layers with Hydraulic Binders. Wirtgen GmbH

- CFB tuhk täitis pinnase omaduste parandamise ja stabiliseerimise nõuded nii veenvalt, et väiksed muutused tuha koostises ei muuda uuringu järeldusi;
 - uuringus kasutatud tuha analüüs näitas, et see on võrreldes varasemate määramistega püsinud väga sarnasena;
 - kui CFB tuha tekkimise taga olevas tehnoloogias ei toimu suuri ja põhimõttelisi muutusi, ei ole ohtu ka tuha sideaineliste omaduste nii suureks muutuseks, et materjal ei oleks enam sobilik pinnaseomaduste parandamiseks;

Joonise 7.13 fotol on kujutatud põlevkivituhaga modifitseeritud (4% kuivast pinnasest) ja survetugevuse testi läbinud proovikeha koos püsimist vees peale ca 2 kuud seismist võrreldes tuhaga segamata moreeniga, mis enne vette paigaldamist oli samasugune proovikeha.



Joonis 7.13. Veekonteineris seisev 4% CFB põlevkivituhaga stabiliseeritud katsekeha võrdlusena stabiliseerimata materjaliga. Katsekeha on eelnevalt läbinud survetugevuse testi, mis purustas selle ääred ning tekitas kehasse pragusid. Sellegipoolest püsib katsekeha tervena.

Uuringu¹⁴ tulemusi tutvustati avalikkusele Tallinna Tehnikakõrgkoolis toimunud seminaril 04.04.2020 „Ringmajanduse põhimõtete rakendamine tee-ehituses: optimaalseimate lahenduste leidmine, keskkonnamõjuga arvestamine“, mille tulemusena algatas Riigimetsa Majandamise Keskus pilootprojekti metsateede modifitseerimiseks/stabiliseerimiseks põlevkivituhaga eesmärgiga vältida suurte kruusamahtude kasutamist ning lühendada teede rekonstrueerimiseks kulutatavat aega. Tänapäevaks on projekti tulemusel valminud kaks katselõiku Pärnumaal (järgmised valmivad aastal 2021), mille ehitamise ja kasutamise käigus on saadud väga väärtuslikke Eestis unikaalseid kogemusi. Joonise 7.14 fotodel on kujutatud katselõiguks olnud metsatee katte deformeerumist põlevkivituha laotamise käigus ning tee liivase lõigu seisukorda peale metsavedu oktoobris 2020.

¹⁴ Sillamäe, S. Põlevkivi põletustuhkade kasutamine madalaklassilistel teedel. Tallinna Tehnikakõrgkool 2019



Joonis 7.14. Fotod RMK metsatee seisukorrast tuha laotamise käigus (sisse tekkisid ulatuslikud püsivad deformatsioonid) ning peale metsamaterjali väljavedu (liivased sektsioonid toimisid hästi, metsakõduga piirkonnad lagunesid).

RMK katselõikude põhjal leiti, et 8% CFB põlevkivituhaga modifitseeritud liiv- ja moreenpinnas tagasid metsaveoks vajaliku toimivuse, kuid ka seda, et kõrge orgaanikasisaldusega pinnast (metsakõdu) ei ole võimalik hüdraulilise sideainega segades saada raskevedudeks vajamineva kandevõime juurde.

Lisaks katsetati Tallinna Tehnikakõrgkoolis plastse, kõrge veesisalduse juures oleva moreenpinnase modifitseerimist CFB põlevkivituhaga. Pinnase looduslik veesisaldus oli 28%, plastsuspiir 18,9% ja voolavuspiir 31,2%. Pinnase konsistents oli väga pehme olles kujutatud joonise 7.15 fotodel. Pinnas segati 5, 7, 8 ja 10% põlevkivituhaga (5% tähendas seda, et 100 g pinnasega segati 5 g tuhka) ning võrreldi 8% tsemendi (CEM I 42,5N) ja 6 ning 8% kusetatud lubjaga.



Joonis 7.15. Segades kõrge veesisaldusega plastse pinnase (antud juhul 8%) põlevkivituhaga, muutus pinnas liivataoliseks.

Tsemendi puhul on teada, et see on plastsete pinnaste puhul ebaefektiivne, samas kui lubi ei tööta mitteplastsete (nt liiv) pinnastega. 2018. a uuringus järeldati, et põlevkivituhk paikneb oma omadustelt tsemendi ja lubja vahepeal (olles niiöelda “mixed binder”).

Kasutatud tsemendi mõju pinnasele oli marginaalne – materjal jäi ka peale sideainega segamist plastne. Nii kusetatud lubi kui põlevkivituhk kuivatasid moreeni edukalt (foto

joonisel 7.16) selliselt, et standardse Proctoriga oli võimalik vormida proovikehad (fotod joonisel 7.16). Proovikehade tiheduse ja veesisalduse võrdlemisel ilmnas, et 8% põlevkivituhk kuivatas pinnast võrreldavalt 6% kustutatud lubjaga ning 10% tuhale vastas 8% lubja. Uuring on veel pooleli, mistõttu lõplikke tulemusi ei ole võimalik avaldada, kuid see näitab veelkord CFB põlevkivituha head potentsiaali pinnaste omaduste parandamisel nii *soil improvement*, *qualified soil improvement* kui *soil stabilisation* rakendustel. Kustutatud lubja ja põlevkivituha hinnaerinevus on suurusjärgus 30x; kui lubi ei ole kuigi efektiivne mittenedusate pinnaste kasutamisel, siis põlevkivituhk toimib ka tsemendile sarnaselt hüdraulilise sideainena olles seega universaalsem sideaine.



Joonis 7.16. 8% põlevkivituha kasutamine võimaldas kuivatada pinnast niivõrd, et sellest sai vormida standardse Proctoriga proovikehad. Sama tulemus saavutati 6% kustutatud lubjaga.

8. SOOVITUSED JÄRGMISTEKS UURINGUTEKS

Narva-Mustajõe ja Simuna-Vaiatu katselõigud on oma eesmärgid täitnud, nende põhjal on valdav osa vajalikke uuringuid ning järeldusi tehtud, mistõttu ei ole enam otsest vajadust nende seisukorra edasisteks uuringuteks.

Järgmiseks oleks vaja koostada pinnase parandamise/modifitseerimise (ing. *soil improvement, qualified soil improvement*) ja stabiliseerimise (ing. *soil stabilization*) eestikeelne juhendmaterjal ning võtta tehnoloogia Eestis laialdasemalt kasutusele alustades erinevatest katselõikudest. Praeguseks tehtud uuringud CFB põlevkivituhaga on näidanud, et see sobib kasutamiseks nimetatud valdkondades. Seeläbi on võimalik säästa nii taastumatuid loodusresursse kui ka täita Euroopa Liidu kehtestatud kliimaeesmäärke vähendades ehituse kasvuhoonegaaside heidet.

Täiendavalt oleks vajadus uurida, kuidas saaks põlevkivituhka kasutada kihtstabiliseeritud aluste ehitamisel. Praeguseks kogutud andmed näitavad, et see peaks olema võimalik vähemalt madalaklassiliste teede ehitamisel.

9. KOKKUVÕTE

Käesolevas aruandes on kajastatud aastal 2020 läbi viidud järelmonitooringute tulemusi Narva – Mustajõe ja Simuna – Vaiatu katselõikudelt. Monitooringute käigus hinnati teekatete seisukorda nii visuaalselt (defektide inventeerimine), erinevate mõõtmistega kui ka struktuurset.

Käesoleva aruande järeldused on järgnevad:

- CFB tuhal on kõrge kasutuspotentsiaal EVS-EN 16907 (pinnase modifitseerimine) ja EVS-EN 14227 (pinnase stabiliseerimine) kasutusvaldkondades. Tuhk asetseb oma omadustelt tsemendi ja lubja vahepeal;
- hea ettevalmistuse ja sobiliku segu koostise korral oleks võimalik CFB tuhka kasutada ka (madalaklassiliste) teede aluste stabiliseerimisel (ehk standardi EVS-EN 13286 või EVS 925 valdkond), kuid vastavad tingimused tuleb veel välja töötada;
 - tuha eripäradeks on suhteliselt madal survetugevusklass, nõrk külmakindlus, suuresti kõikuv tarduvusaja algus;
 - on vaja uurida, kuivõrd tuha jahvatamise ja/või kombineerimisega teiste sideainetega on võimalik puudusi vähendada;
- Simuna-Vaiatu ja Narva-Mustajõe CFB tuhade sektsioonide toimivus ja käitumine on kardinaalselt erinev. Selle põhjus ei ole täpselt teada, kuid tõenäoliselt on see tingitud sellest, et:
 - Narva-Mustajõel tehakse kloriididega libedusetõrjet, mis on hüdraillise sideainega seotud kihtidele kahjulik ning kombineerides seda põlevkivituhaga nõrga külmakindlusega, on suurem oht kihi purunemisele;
 - Narva-Mustajõe stabiliseeritud segu sisaldub freespuru, mis halvendab segu koospüsivust, kuna bituumen takistab täitematerjali ja hüdraillise sideaine omavahelist tugevat naket;
 - Simuna-Vaiatu stabiliseeritud segu koostis näib olevat ühtlasem kui Narva-Mustajõe segu, mistõttu on ka selle kvaliteet kõrgem;
 - põlevkivituhaga lõplik tugevuse saavutamine võtab rohkem aega kui tsemendil ning tuhk on enam tundlik keskkonnatingimuste, eriti kuivamis-märgamis- ning külmumis-sulamistsüklite vaheldumisele. Simuna-Vaiatu katselõigul on ühtlasemad tingimused (püsivalt liigniiske keskkond, talvel jääb tee lumekatte alla, mis vähendab külmumistsüklite arvu) võimaldades tuhaga segatud kihile soodsamat formeerumise tingimusi.

Teisisõnu tähendab eelnev seda, et uue tüübi põlevkivituhkadega saaks edukalt parandada objektile olemasolevate pinnaste omadusi, mis ei taga vajaminevat kandevõimet pealmise teekonstruktsiooni ehitamisel või mis on külmakartlikud. Nimelt saab modifitseerimise ja stabiliseerimisega vähendada savikate liivade ja kruusade (moreenide) vee- ja külmakartlikkust, mis on väga heaks ja majanduslikult otstarbekaks võimaluseks kruusateede remontimisel, samuti uute madalamaklassiliste teede ehitusel – meetodikat saab rakendada

RailBaltica hooldusteede, kagupiiri teede, metsateede jm. taoliste infrastruktuuriobjektide ehitamisel, aga ka riigiteede osas.

Simuna-Vaiatu teelõigu põhjal saab järeldada, et keevkihikatelde tuhad sobivad edukalt madalamaklassiliste teede seisukorra parandamisel. Nii tihendatud kui mass-stabiliseeritud turba lõikudel toimis CFB tuhaga stabiliseeritud alus paremini, kui tavapärane kompleksstabiliseeritud alus.

Põlevkivituhaga turba stabiliseerimine on väiksema mõjuga, kui laboratoorsed katsed seda oodata lubavad. Mõju ei ole siiski olematu, mida näitasid ka Simuna-Vaiatu katselõigu väga head kogemused. Põlevkivituhk mõjub turbas pigem täite-, kui sideainena, kuid läbi mineraalse aine turbasse segamisega kiireneb selle konsolideerumine, väheneb kokkusurutavus ja veesisaldus, mis võimaldab saavutada oluliselt suuremat tugevust võrreldes vaid turba endaga. Samuti on tsemendi toime tänu suurema mineraalaine sisaldusele efektiivsem.

10. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Final Report for Study „Technical monitoring and scientific analysis of data from OSAMAT project pilot sections“, AS Teede Tehnokeskus, Tallinn 2015
2. „LIFE + OSAMAT PROJEKT Teelõikude tehniline järelmonitooring“, ERC Konsultatsiooni OÜ töö nr ERC/18/2018, Tallinn 2018
3. Sillamäe, S. Madala liiklussagedusega teedele katendi projekteerimise juhendi loomine lähtuvalt tee tegelikust olukorrast III osa. Metoodika täiendamine ja testimine teeobjektidel. Maanteeamet 2019
4. Sillamäe, S. Põlevkivi põletustuhkade kasutamine madalaklassilistel teedel. Tallinna Tehnikakõrgkool 2019
5. Sillamäe, S. Stabiliseeritud katendikihtide uuring. Etapp I aruanne. Maanteeamet 2020
6. Soil Treatment. Base Layers with Hydraulic Binders. Wirtgen GmbH
7. „Kattega teede defektide inventeerimise juhend“, MA 2018-004, Maanteeamet 2018
8. Life+ 09/ENV/227 Osamat. Applications, Piloting and Verifications Narva-Mustajõe Pilot Report. Ramboll 2013/03/11