

# **Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamise II etapp**

T-4 Are ümbersõidu katseobjekt

Geotehniliste arvutuste raport

## **Töö teostaja**

Mattias Olep  
Geolep OÜ  
Mob. +372 55679822  
e-mail: geolep@geolep.ee

Tallinn 2017

## Sisukord

1	Sissejuhatus .....	3
1.1	Lähteandmed.....	3
1.2	Arvutuste lähteparameetrid.....	3
2	Arvutustused .....	5
2.1	Arvutuste maht.....	5
2.2	Arvutustulemuste koondtabel.....	6
3	Arvutustulemuste analüüs.....	7
4	Järeldused.....	10
5	Lisad.....	11

# 1 Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärgiks on optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamine. Selleks koostas SKEPAST&PUHKIM OÜ kehtivatele projekteerimismõistetele põhineva tee konstruktsiooni lahenduse ja alternatiivsed optimaalsed lahendused arvestades kohalike materjalide kasutamist plaanitava uue Are möödasõidutee ehitamisel Pärnumaal. Optimaalseks tee konstruktsiooniks on valitud lahendused, mis on oma eluea jooksul optimaalseimate kuludega ja ei nõua erilisi teehoolde ja remondi meetodeid ning on võimalik 2+1 sõidurajaga tee laiendamist optimaalsete kuludega 2+2 ristlõikega 1 klassi maanteeks. Koostatud on tee konstruktsioonide stabiilsuse ja vajumiarvutused ning võrreldud arvutustulemusi tabelite kujul.

## 1.1 Lähteandmed

Käesolavas raportis käsitletud tee konstruktsioonid, konstruktiivsed ja geoloogilised andmed põhinevad järgmistel lähteandmetel:

- Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamise I etapp SKEPAST&PUHKIM OÜ 2017.
- Are ümbersõidu geoloogia aruanne REIB 2017a geotehniliste uuringute aruanne Are möödasõit, riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla, töö nr GE-2210.
- Teadus- ja arendustöö Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamise II etapi tööülesanne. Lisa 1 Tehniline kirjeldus

## 1.2 Arvutuste lähteparameetrid

Lähteparameetrid põhinevad eelnevas lõigus kirjeldatud raportitel ja lähteandmetel:

Liikluskoormus: 25 kN/m<sup>2</sup> (Lisa 1 Tehniline kirjeldus)

Varutegur  $F > 1,5$  (Eurokood 7 Tabel A.1)

Tabel 1: Tee vajumite ja kaldemuutuste piirmäärad (Lisa 1 Tehniline kirjeldus).

Maantee	Max vajum (mm)	Max pikikalde muutus (%)	Max põikkalde muutus (%)
Põhimaantee	300	0,4	1,5

Tabel 2: Arvutuslik ristlõige 1 ehk kõrge ristlõige ( SKEPAST&PUHKIM OÜ 2017)

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
Killustikmastiksfalt - SMA 16	3+1	3+1	3+1
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	4	5
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	9	7	8
Tardkivikillustik 2/32	15		
Kompleksstab. kiht uutest materjalidest	-	15	-
Mustkillustik MUK 32	-		9
Tehnoloogiline 16/32 killustikust kiht (paigaldatakse koos KS killustikuga)	-	5	-
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	25	20	25
Paesõelmed, et takistada killustiku segunemist liivaga (tehnoloogiline kiht)	-	5	5
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv Cu 2...3, k>0,5 m/ööp)	30	25	25
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv Cu 2...3, k>0,2 m/ööp)	30	30	30
Tm_75 (k>0,1 m/ööp)	57	60	64
Kokku		175	

Tabel 3: Arvutuslik ristlõige 2 ehk madal ristlõige ( SKEPAST&PUHKIM OÜ 2017)

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
Killustikmastiksfalt - SMA 16	3+1	3+1	3+1
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	4	5
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	9	7	8
Tardkivikillustik 0/32	15	-	-
Kompleksstab. kiht uutest materjalidest	-	15	-
Mustkillustik MUK 32	-	-	9
Tehnoloogiline 16/32 killustikust kiht (paigaldatakse koos KS killustikuga)	-	5	-
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	25	25	25
Geotekstiil, eraldav	-	x	x
Tm_120 (MSa - keskliiv, Cu>3, k>1,0 m/ööp)	25	-	-
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv Cu 2...3, k>0,5 m/ööp)	-	20	25
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv Cu 2...3, k>0,2 m/ööp)	42	45	49
Kokku		125	

Kahe eelneva ristlõike suurim erinevus vajumis- ja stabiilsusarvutuste aspektist on konstruktsioonikihtide paksuse erinevus, kuna madalam mulle põhjustab väiksemat koormust aluspinnasele väiksema omakaalu tõttu. Mulde materjale käsitletakse arvutustes tänu sarnasele mahukaalule ühtse kihina.

Arvutustes on lähtutud geoloogiliste uuringute tulemustel saadud parameetritest:

Tabel 4: Geoloogiliste aluskihtide parameetrid (Reib 2017)

Kiht	Pinnas	Pinnaseomaduste normatiivsed väärtused						q <sub>d</sub> MPa	q <sub>c</sub> MPa	Ühetelgne surve- tugevus MPa	
		γ kN/m <sup>3</sup>	φ kraadi	c kPa	E MPa	k m/24h	Kaevetööde kategorooria				
1	Muld	15,0	-	-	-	-	9b	-	-	-	
2	Mölline peenliiv	20,0	32	0	15	0,5	27a	-	5,4	-	
3	Turvas	11,0	-	-	-	-	35b	-	-	-	
4	Liivaga savimöll	19,0	28	10	5	0,1	34b	-	0,4	-	
5	Savi	17,4	20	10	-	<0,01	34a	-	0,6	-	
6	Rohke liivaga möllsavi	18,6	33	15	30	<0,01	33b	18,0	2,4	-	
7	Kruusaga mölline peenliiv	20,5	35	20	40	0,5	27v	26,0	2,2	-	
8	Kruusaga ja rohke liivaga möllsavi	21,0	37	25	50	0,01	10ž	-	-	-	
9	Kruusaga ja rohke liivaga savimöll	21,5	38	30	60	0,01	10ž	41	5	-	
10	Lubjakivi	24,5	-	-	-	0,5...2,0	15a/15b	-	-	25	
Koostas	R. Raudsepp	REIB OÜ				Are möödasõit			Töö nr		GE-2210
Kuupäev	09.02.2017					Are vald			Pärnu maakond		Tabel

γ (kN/m<sup>3</sup>) – mahukaal veeküllastunud olekus, φ (kraadi) – sisehõordenurk, c (kPa) – nidusus, E (MPa) – deformatsioonimoodul, k (m/24h) – filtratsioonimoodul, kaevetööde kategorooria SnIP IV-2-82 tabel 1-1, q<sub>d</sub> (MPa) – dünaamiline eritakistus penetreerimisel, q<sub>c</sub> (MPa) – koonuse eritakistus surupenetreerimisel.

## 2 Arvutused

### 2.1 Arvutuste maht

Aruandes on esitatud kõigi variantide kohta 1 mulde stabiilsuse ja 1 vajumise arvutus 400m meetri kohta. Kokku on 400m sammuga ristlõikeid 16. Lisandusid arvutused juhul, kui pakutud konstruktsioon ei vasta vähemalt ühele kahest kriteeriumist (maksimaalne vajum üle 300m või stabiilsuse varutegur F alla 1,5). Kokku tehti 71 stabiilsuse ja vajumisarvutust.

## 2.2 Arvutustulemuste koondtabel

Arvutustes käsitleti viite varianti:

- 1) kõrge mulle
  - 1a) laugemad nõlvad, kõrge mulle
  - 1b) geosünteedid, kõrge mulle
  - 1c) ballastmulle, kõrge mulle
- 2) madalam mulle (mulde kõrgus 1,25 m ja nõlv 1:4)

Tabel 5. Arvutustulemuste koondtabel.

PK	Nõrkade aluspinnaste kogupaksus (m)		Var 1 : Stabiilsuse varutegur $F>1,5$	Var 1 : Vajum (max 300mm)	Var 2 : Stabiilsuse varutegur $F>1,5$	Var 2 : Vajum (max 300mm)	Var 1a : Stabiilsuse varutegur $F>1,5$		Var 1a : Vajum max 300mm	Var 1b : Stabiilsuse varutegur $F>1,5$	Var 1c : Stabiilsuse varutegur $F>1,5$	Var 1c : Vajum (max 30mm)
	Savi	Möllsavi					1:4 nõlv	1:5 nõlv				
109+61	0,75	2,50	1,6	80	Mulle 1,25m, nõlv 1:4	Mulle 1,25m, nõlv 1:4	1:4 nõlv	1:5 nõlv	vasak 1:4 nõlv ja parem 1:5 nõlv	2x geotek stiil: ülal 40/150 kN all 50/200kN	Ballastmulle teemulde küljel (2,5*0,5m)	Ballastmulle teemulde küljel (2,5*0,5m)
112+85	0,80	3,35+	1,5	70								
116+06	-	3,20	1,7	50								
120+89	-	-	2,1	40								
125+68	-	-	2,3	30								
128+89	1,85	3,95+	1,4	145	1,7	100	1,4	1,5	160			
133+71	0,40	5,55+	1,5	100								
138+51	0,70	0,90	1,8	55								
141+69	2,60	-	1,5	130								
146+51	2,95	-	1,3	95	1,5	70	1,4	1,6	100			
149+71	2,30	1,00	1,3	80	1,6	65	1,5	1,8	75			
152+91	1,65	2,15	1,5	90								
157+72	2,55	0,90	1,2	60	1,5	50	1,4	1,6	60	2,2	1,9	60
160+92	1,95	-	2,5	40								
165+93	4,05	-	1,1	100	1,2	95	1,2	1,4	100	1,9	1,6	100
169+75	4,80	-	1,0	120	1,2	110	1,1	1,2	95	1,5	1,5	130

Arvutustabelist selgub, et probleemsed ristlõiked asuvad üle 2,6m paksustel nõrkadel aluspinnastel ehk PK 146+51, PK 149+71, PK 157+72, 165+93 ja PK 169+75. Kuna savi pole suure konsolideerumisega materjal nagu nt turvas, siis suuri vajumeid antud ristlõigetel ei tekkinud. Suurim pikikalde muutus on vahemikus 125+68 – 128 +89 ehk 115 mm 400m kohta, mis jääb suurusjärgu võrra väiksemaks kriteeriumist 0,4%. Põikkalde muutused on samuti väiksemad, kui nõutud piirväärtus.

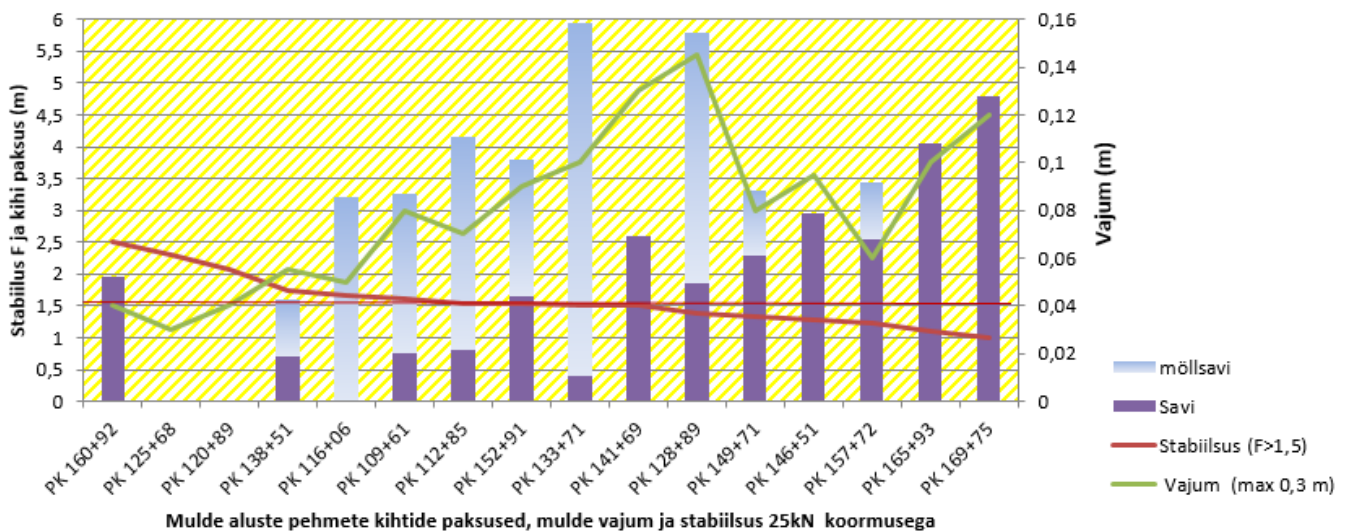
Nõlva stabiilsus osutus antud juhul kriitlisemaks. Stabiilsust vähendavad ühest küljest pehmed aluspinnased, aga teisalt pehmetele aluspinnastele rakendatud koormus. Koormus on suur, kuna mulde kõrgus on tänu tuisuohutuse nõudele suur. Lisaks on liikluskoormus 25 kN/m<sup>2</sup> suurem kui sarnase klassi teedele kohane. Näiteks Soomes rakendatakse koormust 10kN. Stabiilsuse parandamiseks on arvutustes

rakendatud kas laugeimaid nõlvi, ballastmullet või geosünteeete (variandid 1a, 1b ja 1c). Variant 2 puhul prooviti kriitilistemas ristlõigetes teha arvutused madalama, 1,25 m kõrguse muldega nõlva kaldega 1:4. Madalam mulle parandas oluliselt stabiilsust ning vajumeid, erandiks objekti lõpp PK 165+93 ja PK 169+75, kus stabiilsuse varutegur  $F=1,2$ .

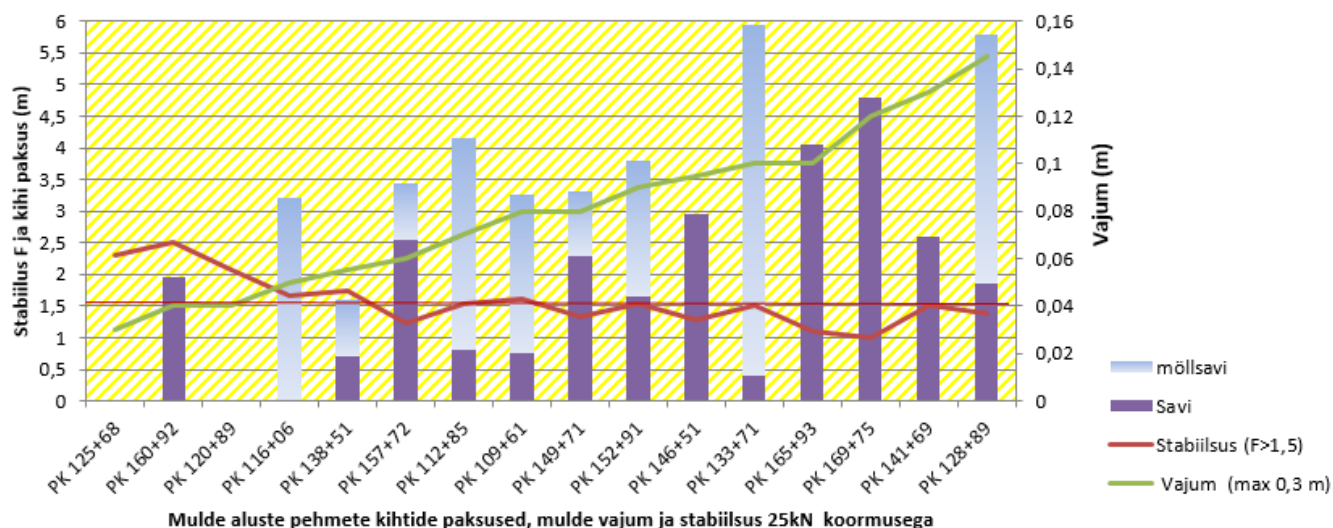
Nõlva kalde suurendamisel vajalikku stabiilsust kõikides ristlõigetes ei saavutatud. Parem stabiilsus on tagatud tulevase ehitatava tee niidi suunal, kus kalle on 1:5, kuid tee valmimisel muutub olukord sarnaseks 1:4 kaldega küljega. Ballastmulle ja geosünteedid andsid parema tulemuse. Geosünteedide parameetrid on valitud parima hinna ja tugevuse suhtest ehk kahe kihiline konstrukstioon, kus alumine kiht on tugevam (alumine 200/50 NorGeoSpec V ja ülemine 150/40 NordGeoSpec II.). Siiski on vajalik teha hiljem konkreetse tootja poolset kontrollarvutused konkreetse sünteedi kohta.

### 3 Arvutustulemuste analüüs

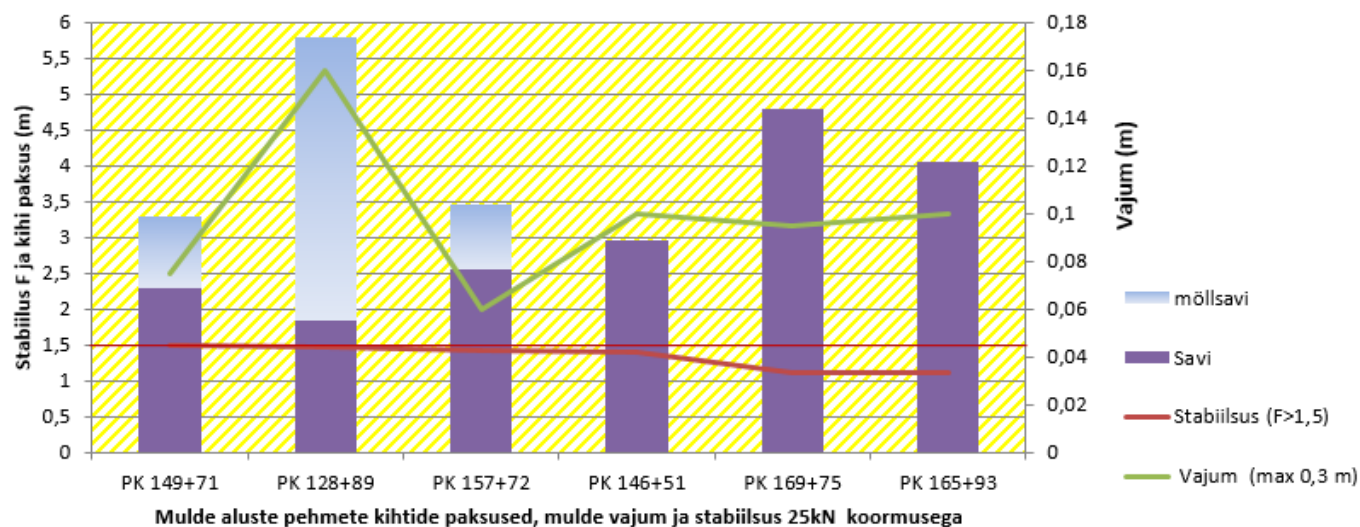
Arvutustulemusi saab vaadelda ka mitte piketaaži järjekorras vaid näiteks pehmete kihtide paksuse või madalaima stabiliteedi järgi. Tulemusi vaadeldes peab silmas pidama, et ristlõiked ei ole identsed ehk mulde kõrgus on igal ristlõikel erinev ja jääb vahemikku ca 1,25-2,0 m. Graafikutelt saab jälgida üldisemat trendi, mille järgi paksemate nõrkade aluspinnaste korral stabiilsus väheneb ja vajumid suurenevad.



Graafik 1: Konstruktiivse ristlõike variant 1: suurimast väikseima stabiilsuse järjestus.

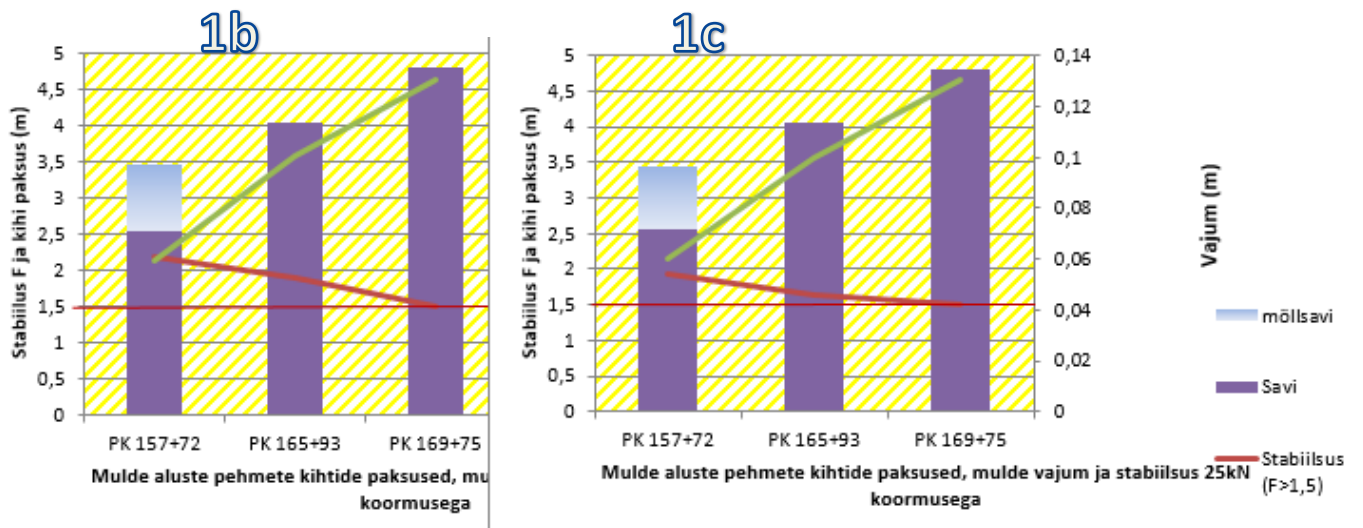


Graafik 2: Konstruktiivse ristlõike variant 1: väikseimast suurima vajumi järjestus.

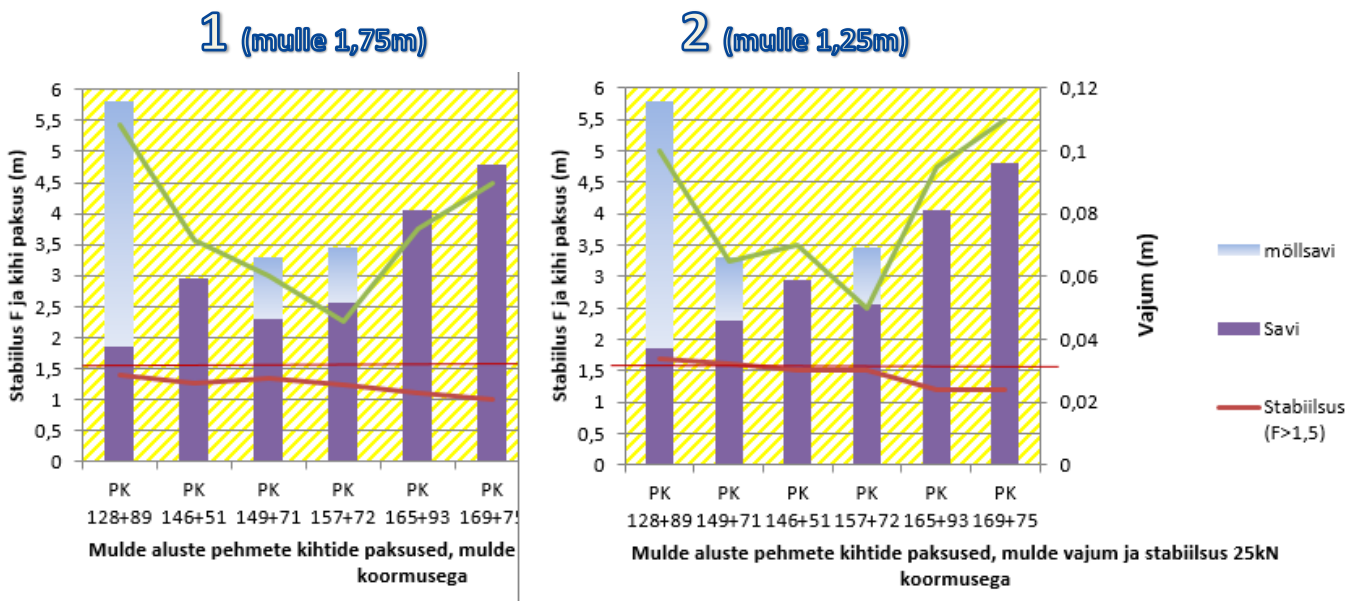


Graafik 3: Konstruktiivse ristlõike variant 1a ehk laugema 1:4 nõlvusega: suurimast väikseima stabiilsuse järjestus.





Graafik 4: Konstruktiivse ristlõike variant 1b ehk geosünteedidega konstruktsioon vs variant 1c ehk 0,5x2,5m ballastmuldega ristlõige: suurimast väikseima stabiilsuse järjestus.



Graafik 5: Konstruktiivse ristlõike variant 1 vs variant 2 ( 1,75 m kõrgune 1:3 nõlvaga ristlõige 1,25 m kõrgune 1:4 nõlvaga ristlõige)

## 4 Järeldused

Käesoleva töö eesmärgiks oli optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamine. Selleks koostas SKEPAST&PUHKIM OÜ kehtivatele projekteerimismäärustele põhineva tee konstruktsiooni lahenduse ja alternatiivsed optimaalsed lahendused arvestades kohalike materjalide kasutamist plaanitava uue Are möödaskäigu ehitamisel Pärnumaal. Töö käigus teostati kõigile variantidele stabiilsuse ja vajumite arvutused kasutades tarkvara Novapoint Geocalc 2. Lähteandmeteks olid välikatsete ning laboratoorsete teimide tulemused samalt objektilt.

Kokku arvutati antud lõigul 71 erinevat arvutust. Arvutustulemistest selgus, et valitud konstruktsioonidel vajumite kriteeriumi täitmisel (maksimaalne vajum jäi alla 300mm) probleeme ei teki. Nõlvade stabiilsuse kriteeriumi ( $F > 1,5$ ) täitmiseks tuleb rakendada lisameetmeid. Arvutustes käsitleti viite varianti:

1) kõrge mulle

1a) laugemad nõlvad, kõrge mulle

1b) geosünteedid, kõrge mulle

1c) ballastmulle, kõrge mulle

2) madalam mulle (mulde kõrgus 1,25 m ja nõlv 1:4)

Laugemad nõlvad (variant 1a) parandasid stabiilsust, kuid mitte piisavalt. Ballastmulle (variant 1c) andis ka väikeste mõõtmetega (0,5x 2,5m) hea tulemuse ning samuti tagas ka kahekordne geosünteed (variant 1b) vajaliku stabiilsuse. Enamasti on ballastmulle võrreldes geosünteedidega majanduslikult ökonoomsem lahendus. Madalam mulle (variant 2) parandab kriitilistes ristlõigetes stabiilsust, kuid üle 4 m paksuse savi kihiga ristlõigetes PK 165+93 ja PK 169+75 ei andnud see siiski nõutavat varutegurit  $F > 1,5$  välja.

Samas on ka madalamal muldel ja väiksemal liikluskoormusel stabiilsust parendav efekt. Tuisuht on välditav ökonoomsemate meetmetega nagu tõhusam teehoole või haljastus. Samuti on liikluskoormus (25 kN) antud juhul väga optmistlik. Laialdasemalt kasutatavama liikluskoormuse (10 kN) korral paraneks ka stabiilsus.

## 5 Lisad

- Lisa 1 :71 Stabiilsuse ja vajumi arvutust (Geocalc)