



Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond



Eesti
tuleviku heaks

SKEPAST  PUKIM

Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamise II etapp

ARUANNE

Projektijuht: Urmas Konsap

Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Tallinn
2017

Projektijuht:

Urmas Konsap

Töös osalesid:

Mattias Olep

Andres Brakmann

Hurmet Heinmaa

© Maanteeamet, 2017

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.

Tellijal
Maanteeamet

Dokumendi tüüp
Aruanne

Kuupäev
30.09.2017

Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamine

II etapp



Version **2**
Kuupäev **30.09.2017**
Koostanud: **Urmas Konsap, Mattias Olep**
Kontrollinud: **Andres Brakmann**
Kooskõlastanud: **Taavi Tõnts**

Projekti nr **2017-0079**

SKEPAST&PUHKIM OÜ
Laki 34
12915 Tallinn
Registrikood 11255795
tel +372 664 5808
e-mail info@skpk.ee
www.skpk.ee

Sisukord

1. Sissejuhatus	5
2. Lähteandmed	5
2.1. Geoloogiliste tingimuste ülevaade	6
3. Optimaalse tee konstruktsiooni lahendused	6
3.1. Üldised põhimõtted	6
3.2. Kõrge muldkehaga tee konstruktsioon	7
3.3. Madala muldkehaga tee konstruktsioon	9
3.4. Dreenkihist äravoolava vee hulga arvutus	10
4. Muldkeha stabiilsuse ja vajumi arvutused	11
5. Optimaalse tee konstruktsiooni maksumused	15
5.1. Tee konstruktsioonide maksumused	15
5.2. Betoonkatendiga tee konstruktsiooni maksumus	18
5.3. Tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude ja jääkväärtuse diskonteeritud maksumused	18
6. Ehitustööde tehniline kirjeldus	19
6.1. 2+2 valmidus	19
6.2. Materjalidele esitatavad nõuded:	20
6.3. Karjäärade ülevaade	21
7. Muldkeha ja dreenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise täiendamise ettepanekud.	21
8. Kokkuvõte	22
9. Kasutatud kirjandus	24

Lisad

- Lisa 1. Are ümbersõidu asendiplaan
- Lisa 2. Tee konstruktsioonide katendite arvutused
- Lisa 3. Tee konstruktsioonide ristprofiilid
- Lisa 4. Geotehniliste arvutuste aruanne
- Lisa 5. Tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude arvutustabel

Joonis 1. Are möödasõidu ristprofiil

2.1. Geoloogiliste tingimuste ülevaade

Vastavalt Pärnu maakonnaplaneeringut täpsustava teemaplaneeringu „E67 Tallinn-Pärnu-Ikla maantee asukoha täpsustamine km 92,0-170,0” raames tehtud „Geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute aruandele” on Are ümbersõidu trassil pinnakatte, mulla all valdavalt voolava kuni kõva konsistentsiga savi (pinnase grupp B1), milles esineb möllise peenliiva varve. Kihi pind lamab maapinnast 0,05...2,4 m sügavusel. Kihi paksuseks on 0,25...4,8 m.

Pinnasevesi ilmub välitööde käigus maapinnast 0,0...3,5 m sügavusel maapinnast. Uuringupunktis 6 esines surveiline vesi, mis ilmub 1,5 m sügavusel maapinnast ning veetase tõusis maapinnani. Võttes arvesse väikese veejuhtivusega savipinnaseid geoloogilise lõike ülaosas, tekib veerohkel perioodil savipinnaste pinnale ülavesi, mis võib ulatuda maapinnani.

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi (2017-003) tabeli L1.T1. niiskuspaiakkonna määrangul kuulub Are möödasõidu trass II niiskuspaiakonda.

3. Optimaalse tee konstruktsiooni lahendused

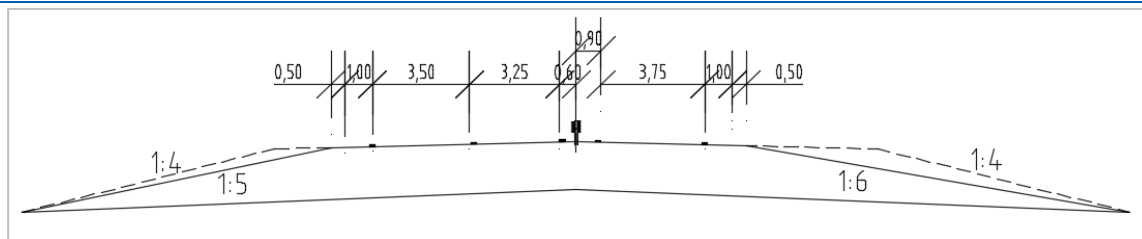
3.1. Üldised põhimõtted

Optimaalse tee konstruktsiooni lahenduste valikul kaaluti erinevaid kohalikele materjalidele baseeruvaid muldkeha ja katendite konstruktsioone, mis tagaksid nõutava muldkeha püsivuse ja veerežiimi Are möödasõidutee ehitamiseks Pärnumaal. Are ümbersõidu trassi asendi plaan on esitatud lisas 1.

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.

Optimaalse tee konstruktsiooni lahenduste valikul lähtuti järgmistest seisukohtadest:

- 1) Projektne kandevõime $E_{vaj}=309$ MPa vastavalt lähteülesandele.
- 2) Katendi ja muldkeha projekteerimisel on muldkeha aluspinnaseks arvestatud savikate pinnastega vastavalt Pärnu maakonnaplaneeringut täpsustava teemaplaneeringu „E67 Tallinn-Pärnu-Ikla maantee asukoha täpsustamine km 92,0-170,0” raames tehtud „Geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uuringute aruandele”.
- 3) Vastavalt maanteedele projekteerimismäärdele loetakse nõrkadeks aluspinnasteks peenpinnaseid, mille drenimata nihketugevus looduslikus olekus $c_u < 40$ kPa või elastsusmoodul $E < 5,0$ MPa. Nõrkadeks pinnasteks loetakse samuti turvas ja turvastunud pinnased, mudad, sapropeelid ning savipinnased konsistentsarvuga alla 0,5.
- 4) Tee konstruktsioonide ristprofiilid on koostatud lähtuvalt Maa-ameti kaardirakendusest saadud Are möödasõidu trassi kõrgusmudelist, kuna puudub trassi geodeetiline alusplaan. Geodeetilised mõõdistused ei ole Are möödasõidu projekteeritava trassil veel aruande koostamise ajaks lõpetatud. Tee konstruktsiooni ristprofiilide kõrgused (punane joon) on hinnangulised.
- 5) Muldkehas ja killustikaluse aluskihis kasutatakse kohalikke materjale veokaugusega kuni 35 km.
- 6) 2+1 sõidurajaga tee mulde nõlvusteks on valitud kahe sõidurajaga tee poolel 1:5 ja ühe sõidurajaga muldkeha poolel laiendatud nõlvus 1:6, arvestusega, et tulevikus laiendatakse tee 2+2 sõidurajaga I klassi maanteeks. 2+1 ristprofiilil ulatub muldkeha nõlvade alumine serv 2+2 tee 1:4 kaldega nõlvade alumise servani, Joonis 2.



Joonis 2. Laiendatud nõlvusega tee ristprofiil

7) Projekteeritud ja analüüsitud on järgmisi 1,75 ja 1,25 m kõrguseid muldkeha ja katte konstruktsiooni lahendusi:

- Projekteerimisnormidest lähtuv tee konstruktsioon tardkivikillustikust katendikihiga ja madala mulde puhul drenikihiga;
- Maksimaalselt kohalikele materjalidele baseeruvad tee konstruktsioonid (Variant I ja II), kus killustikaluse alumine kiht toimib drenikihina ja traditsiooniline tardkivikillustikust kiht on asendatud uutest materjalidest teel segamisega kompleksstabiliseerimise kihiga KS 32 või mustkillustikust katendikihiga.

1,75 m kõrgune tee konstruktsioon (edaspidi nimetatud kõrge muldkeha), mis vastab I klassi maantee tuisuohutuse nõudele, on projekteeritud Are möödasõidu trassi lagedatele aladele.

1,25 m kõrgune tee konstruktsioon (edaspidi nimetatud madal muldkeha) on projekteeritud Are möödasõidu trassi metsavahelistele lõikudele.

3.2. Kõrge muldkehaga tee konstruktsioon

Kõrge muldkehaga tee konstruktsiooni lahenduse valikul on lähtutud järgmistest seisukohtadest:

- 1) Külakraave ei ole ette nähtud, kuna projekteerimisnormide kohaselt on tee konstruktsioonis arvestatud külmakindla materjaliga 1,5 m sõidutee katte pinnast.
- 2) Dreenkihti ei ole ette nähtud, kuna muldkeha on piisavalt kõrge ja muldkeha ülakihis kasutatakse drenivaid materjale.
- 3) Killustikukihi alla tuleva liivakihi on arvestatud Tm 105, mõõdukalt ühtlaseteralise (Cu 2...3) keskliivaga ($E=105$ MPa) ning selle filtratsioon peab olema vähemalt 0,5 m/ööp. Seejärel kuni sügavuseni 1,5 m katte pinnast peab olema filtratsioonimoodul $>0,2$ m/ööp. Sügavamal kui 1,5 m kasutatavate pinnaste filtratsioonimoodul peab olema $>0,1$ m/ööp või täitepinnase plastsus Rootsi koonuse järgi $W_{LR}<25$, et vältida savi kasutamist. Lubatud on kasutada paremaid materjale.
- 4) Viidates „Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhisele“ [2] kasutatakse muldkeha alumises kihis Anelema karjääri karbonaatsetest settetikivimitest valmistatud täitematerjali, sealhulgas ka paekivi tootmisjääkidest toodetud karbonaatset settetikivimit peentäitematerjali ehk paekiviliiva, tingimusel, et mulde veerežiim peab olema projekteeritud/ehitatud selliselt, et tee eluea jooksul ei tekiks muldes oleva materjali üleniiskumist. Nõutav on, et muldkeha veesisaldus jääks tee eluea jooksul allapoole optimaalset veesisaldust, st. $w < w_o$, kus w_o on optimaalne veesisaldus standardisel Proctorteimil.
- 5) Paesõelmete kasutamisel tuleb lisaks arvestada järgmiste tingimustega, mis tulenevad varasematest paesõelmete tee konstruktsioonides kasutamise uuringute tulemustest, sealhulgas Tallinna Tehnikakõrgkooli uuringust „Kaevandamise jääkmaterjalide kasutusvõimaluste uuring“ [3].
 - Paekivisõelmeid võib kasutada teede muldkehades töötsooni all ehk sügavamal kui 1,5 m, kuid tingimusel, et materjal ei ole veeküllastunud olekus.
 - Muldkeha töötsooni aluskihtides võib kasutada paekivisõelmete ja liiva segu vahekorras kuni 50/50 tingimusel, et segatud materjali filtratsioonimoodul on vähemalt $>0,1$ m/ööp.

- Paesõelmeid saab vääristada, peenosiste sisaldust oluliselt vähendada, pesemise teel. Selle tulemusel oleks võimalik oluliselt suurendada paesõelmete osakaalu liiva segus.
 - Ühtlaseteralist peenliiva, mille $C_u < 2$, on soovitatav segada paesõelmetega, et tagada materjali tihendamine.
 - Ühtlase terastikulise koostisega liiv, mille $C_u < 2$, on väga hea filtreerivusega, kuid madala kandevõimega ja sellist liiva on äärmiselt raske tihendada. Kui liiva segada paekivisõelmetega ca 20...30% mahust, siis on selline materjal paremini tihendatav. Siinjuures on oluline, et lisatavate paekivisõelmete hulk ei oleks nii suur, mis kahjustaks tekkiva segu filtratsioonimoodulit alla nõutava väärtuse. Samuti peaks taoliste segude valmistamisel kontrollima Proctorkatsetega maksimaalset kuivmahumassi ja optimaalset niiskust tihendamise jaoks. Erinevas vahekorras segud on võimalikud olenevalt vajalikust filtratsioonimoodulist.
- 6) Kõrge muldkehaga tee konstruktsioonide katendiarvutused on esitatud Lisas 2 ja ristprofillid Lisas 3.
- 7) Muldkeha vajumi- ja stabiilsusarvutuste järeldused on esitatud punktis 4 ja geotehniliste arvutuste aruanne Lisa 4.
- 8) Kõrge muldkeha puhul on võrreldud projekteerimisnormide kohast tee konstruktsiooni kahe erineva alternatiivse lahendusega, kus teekatendis on traditsiooniline tardkivikillustikust aluse ülemine kiht asendatud uutest materjalidest kompleksstabiliseeritud katendikihiga või mustkillustikuga, et kasutada maksimaalselt kohalikke materjale, sealhulgas Anelema dolomiitkarjääri killustikku. Lubatud on kasutada killustikku LA 40.
- Variant I – tardkivikillustik on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud kompleksstabiliseeritud katendikihiga KS 32.
 - Variant II – tardkivikillustiku asemel on mustkillustiku kiht MUK 32.
- 9) Et maksimaalselt ära kasutada kohalikke materjale, sealhulgas Anelema karjääris killustiku tootmisel tekkivat paesõelmeid, kaaluti variantide I ja II puhul esmalt paekivikillustikust aluse alla paigaldada paesõelmetest kiht, et takistada killustiku segunemist liivaga ja killustikust kui drenkihist vee filtreerumist muldkehasse. Kuid arvestades paesõelmete kasutamise uuringute [3] tulemusi, siis loobuti paesõelmete kasutamisest katendis. Antud uuringu ja katsetuste tulemusena leiti, et kui kasutatakse paesõelmeid puhtalt või liivaga segatult, näiteks külmumispiirist üleval pool ja seal on piisavalt niiskust, siis võib külmudes hakata materjal paisuma ja tekitada kattele külmakerkeid.

Tabel 1. Kõrge muldkehaga tee konstruktsioonid

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
Killustikmastiksasfalt - 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
Geotekstiil, eraldav	-	x	x
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv $C_u 2...3$, $k > 0,5$ m/ööp)	30	25	25
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv $C_u 2...3$, $k > 0,2$ m/ööp)	30	30	30
Tm_75	57	65	69

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
Kokku		175	

3.3. Madala muldkehaga tee konstruktsioon

Madala muldkehaga tee konstruktsiooni lahenduse valikul on lähtutud järgmistest seisukohtadest:

- 1) Ette nähtud on külgkraavid.
- 2) Alternatiivsetel variantidel on drenkihiks projekteeritud fraktsioneeritud killustikust killustikaluse alumine kiht, mille vajalikud veejuhtivusomadused tulenevad arvutustest. Killustikust drenkihist drenitakse välja sinna infiltreerunud 50% veest 2 tunni jooksul, mis vastab seatud nõudele. Selle tagamiseks on suurendatud killustikust drenkihti 5 cm võrra.
- 3) Dreenihi projekteerimisel on lähtutud järgmistest põhimõtetest:
 - Vee liikumise teekond dreeni poole on läbi järjest kasvava filtratsioonimooduliga kihtide;
 - Killustikust drenkihi võimekus on piisav eemaldamiseks kõik eeldatavalt katendisse siseneva vee. Arvutatud on aeg, kui kiiresti drenitakse drenkihist välja sinna infiltreerunud 50% veest. Lähtutud on tingimusest, et saavutamaks killustikaluste head drenitust, peaks seal kasutatav materjal võimaldama drenkihti infiltreerunud 50% vee ärajooksu 2 tunni jooksul. Vastavad arvutused on esitatud alapunktis 3.4.
 - Killustikust drenkiht ulatub mulde nõlvani. Nii on drenkihist tagatud vee väljajuhtimine.
 - Vältimaks liikluse poolt põhjustatud kõrge hüdrodünaamilise jõu tagajärjel peenosiste „pumpamist“ killustikalusesse, mis alandab kihi ja kogu tee kandevõimet, kasutatakse filtrina kruusliiva ja killutiku eraldamiseks geotekstiili. Minimeerimaks drenkihti sattuva peenosise hulka, peavad drenkihti ümbritsevad materjalid vastama filterkriteeriumile või materjal peab olema ümbritsetud eraldava geotekstiiliga, s.t vee liikumine teekonstruktsioonis ei tohi põhjustada erinevate materjalide (konstruktsioonikihtide) omavahelist segunemist.
 - Mulle on piisavalt kõrge takistamiseks kapillaartõusu teekonstruktsiooni (ka drenkihti);
- 4) Muldkeha aktiivtsooni ülemises osas kasutatakse drenivat pinnast, mille filtratsioonimoodul standardse Proctorteimi maksimaaltihedusel on vähemalt 0,5 m ööpäevas ja selle all vähemalt 0,2 m/ööp.
- 5) Muldkehasse paigaldatakse pinnased, mis ei ole külmakerkelised. Arvestatud on liivpinnastega, mille kapillaartõus on maksimaalselt 0,7 m.
- 6) Madala muldkeha vajumi- ja stabiilsusarvutuste järeldused on esitatud punktis 4.
- 10) Madala muldkeha puhul on võrreldud projekteerimisnormide kohast tee konstruktsiooni kahe erineva alternatiivse lahendusega, kus teekatendis on traditsiooniline tardkivikillustikust aluse ülemine kiht asendatud uutest materjalidest kompleksstabiliseeritud katendikihiga või mustkillustikuga, et kasutada maksimaalselt kohalikke materjale, sealhulgas Anelema dolomiitkärjääri killustikku. Lubatud on kasutada killustikku LA 40.
 - Variant I – tardkivikillustik on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud kompleksstabiliseeritud kihiga KS 32 ja drenkihiks on fraktsioneeritud killustikust killustikaluse alumine kiht.
 - Variant II – tardkivikillustiku asemel on mustkillustiku kiht MUK 32 ja drenkihiks on fraktsioneeritud killustikust katendi kiht.

Tabel 2. Madala muldkehaga tee konstruktsioon

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
Killustikmastiksasfalt - 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

Katendikiht	Proj.normide kohane H [cm]	Variant I H [cm]	Variant II H [cm]
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		

3.4. Dreenihist äravoolava vee hulga arvutus

Saavutamaks killustikaluste suurepärase drenitust, peaks seal kasutatav materjal võimaldama 50% vee ärajooksu 2 tunni jooksul ja omama filtratsioonimoodulit vähemalt 300 m/ööp.

Dreenihi mahtuvuse arvutamisel on aluseks võetud Tallinna Tehnikaülikooli uuringu „Muldkehades ja drenkihtides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega“ lõpparuandes [4] esitatud drenihi mahtuvuse arvutusskeem.

Arvutamisel on lähtutud järgmistest eeldustest ja lähteandmetest:

- 1) Dreenihina kasutatakse fraksioneeritud killustikust aluse kihti paksusega $H=25$ cm;
- 2) Killustikukihi kalle $S=0,025$;
- 3) Filtratsioonimoodul $k = 400$ m/ööp ja poorsus $n_e = 37\%$. Andmed võetud [4] uuringust.
- 4) Kuna tegemist on 2+1 sõidurajaga tee ristprofilliga, siis drenihi mahutavus ja aeg, millal on 50% veest drenitunud arvutatakse 2 sõidurajaga tee osa jaoks.

Dreenihist äravoolava vee hulk arvutatakse valemiga:

$q=kH(S+H/2L)$, kus

q – drenihi mahtuvus/dreenihist äravool;

k – drenihis oleva materjali filtratsioonimoodul;

S – drenihi kalle;

H – drenihi paksus;

L – drenihi laius;

$$q = 400 \cdot 0,25 \cdot (0,025 + 0,25/18,9) = 3,8 \text{ m}^3/\text{ööp/m}$$

Aeg, millal on 50% veest drenitunud arvutatakse järgmise valemiga:

$t_{50}=n_e L^2/2k(H+SL)$, kus

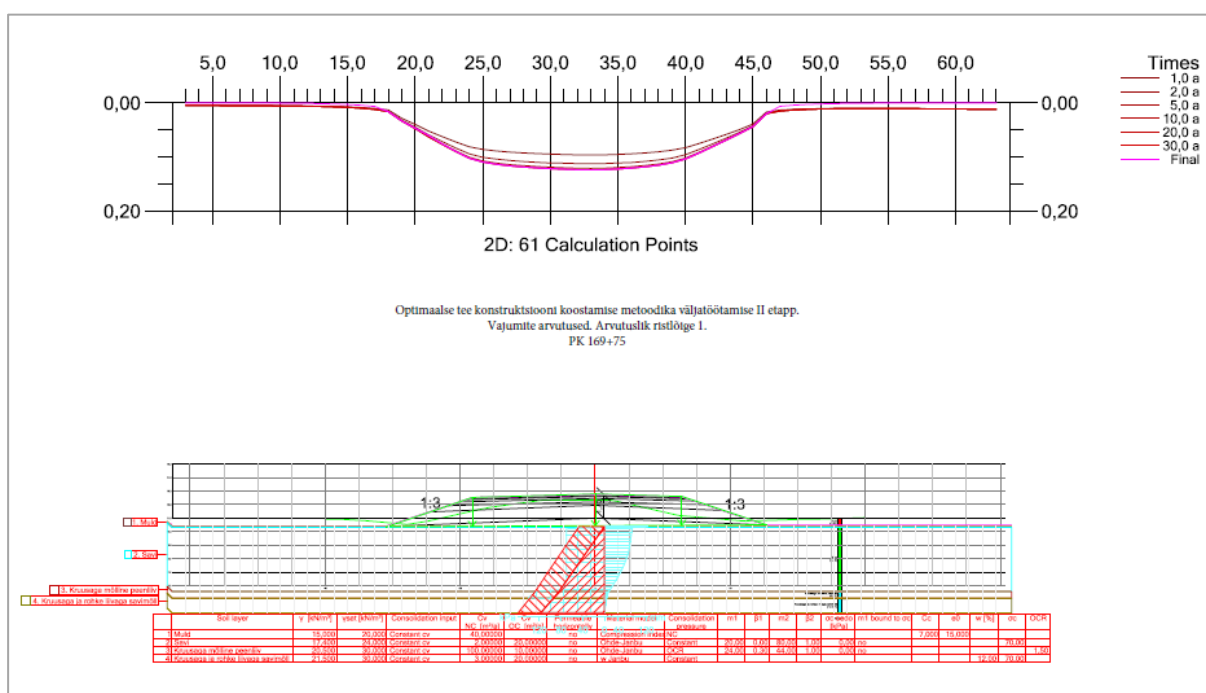
t_{50} - aeg, millal 50% veest on drenitunud;

n_e - efektiivpoorsus, st poorsus, mida mööda saab vesi voolata. Fraksioneeritud killustike puhul on efektiivpoorsuseks kogu materjali poorsus

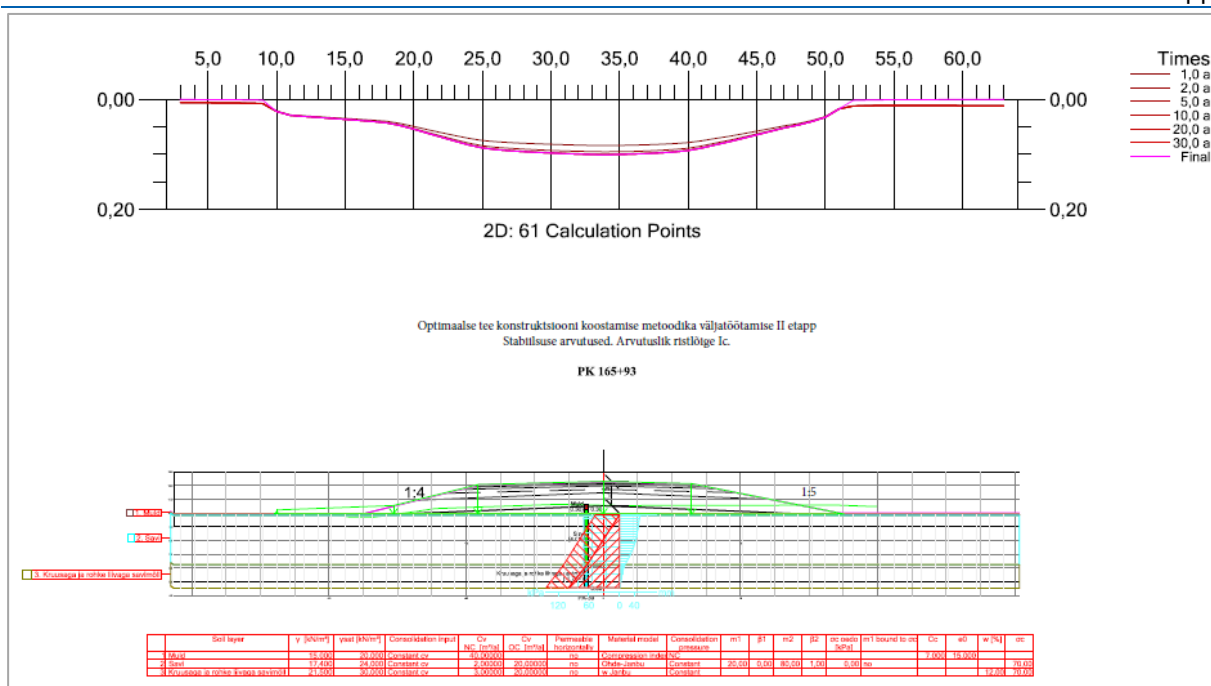
$$t_{50} = 0,37 \cdot 9,45^2 / 2 \cdot 400 (0,25 + 0,025 \cdot 9,45) = 0,37 \cdot 89,3025 / 800 \cdot 0,48625 = 0,085 \text{ päeva} = 2,0 \text{ tundi}$$

4. Muldkeha stabiilsuse ja vajumi arvutused

Joonistel 3 ja 4 on näidatud skemaatiliselt muldkeha vajumi arvutustulemused erinevate nõlvustega muldkehade kohta.



Joonis 3. PK 169+75 muldkeha nõlvusega 1:3, vajum 140 mm

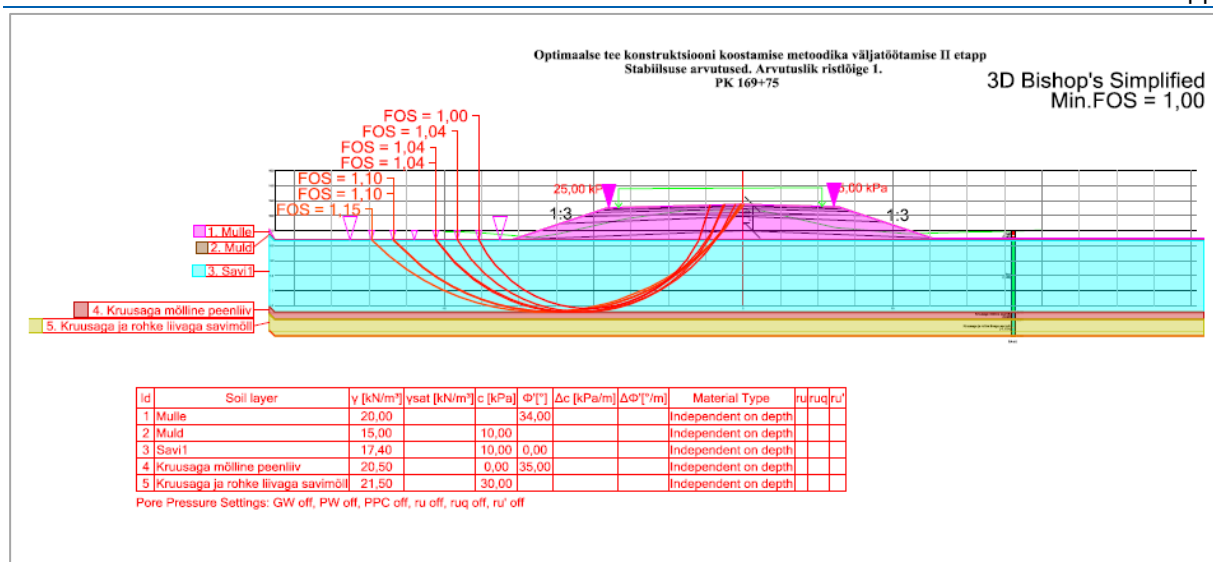


Joonis 4. PK 165+93 vastukoormusega muldkeha nõlvusega 1:4, vajum 110 mm

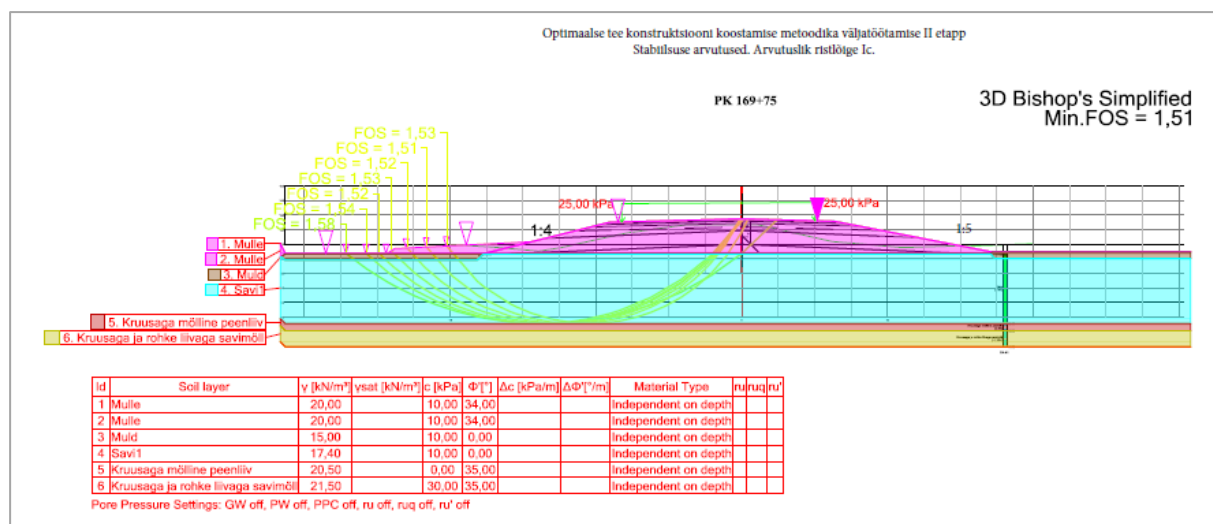
Nõlva stabiilsus osutus antud juhul kriitilisemaks. Stabiilsust vähendavad ühest küljest pehmed aluspinnased, aga teisalt pehmetele aluspinnastele rakendatud koormus. Koormus on suur, kuna mulde kõrgus on tänu tuisuohutuse nõudele suur. Lisaks on liikluskoormus 25 kN/m² suurem kui sarnase klassi teedele kohane. Näiteks Soomes rakendatakse koormust 10kN. Stabiilsuse parandamiseks on arvutustes rakendatud kas laugeimaid nõlvu, vastumullet või geosünteeite (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. Parema stabiilsuse on tagatud, kui mulde nõlva kalle on 1:5, kuid tee valmimisel muutub olukord sarnaseks muldkeha nõlva kaldega 1:4. Vastumulle ja geosünteedid andsid parema tulemuse. Geosünteedide parameetrid on valitud parima hinna ja tugevuse suhtest ehk kahe kihiline konstruktsioon, kus alumine kiht on tugevam (alumine 200/50 NorGeoSpec V ja ülemine 150/40 NordGeoSpec II.). Siiski on vajalik teha hiljem konkreetse tootja poolsed kontrollarvutused konkreetse sünteedi kohta.

Joonistel 5 ja 6 on näidatud skemaatiliselt PK 169+75 asuva muldkeha stabiilsuse arvutustulemused erinevate nõlvustega muldkehade kohta. Kui muldkehal nõlvusega 1:3 ei ole tagatud stabiilsus, siis muldkeha nõlvusega 1:4 ja vastumuldega on stabiilne.



Joonis 5. PK 169+75 muldkeha nõlvusega 1:3 stabiilsus ei ole tagatud



Joonis 6. PK 169+75 vastukoormusega muldkeha nõlvusega 1:4 stabiilsus on tagatud

Kuna vastumulle on lihtsaim ja odavam meetod tee muldkeha stabiilsuse tagamiseks nõrkade aluspinnaste korral, siis kohtades, kus vastavalt stabiilsusarvutustele on võimalik muldkeha stabiilsus tagada, nähakse ette 1:4 nõlva juurde 2,5 m pikkune ja 0,5 m paksune objektile kaevandatud ehituseks mittedobilikust materjalist vastumulle. Vastumuldes saab kasutada savikaid ning tolmsaid materjale, mida muidu peaks töömaalt ära vedama. Meetodi piiravaks kriteeriumiks on ruumi puudus tee kõrval.

Mulde minimaalne drenivate kihtide kogupaksus 1,5 m on ühest küljest tee kandevõimet suurendav ja ka külmakerke ohtu vähendav nõue. Samas näitavad arvutused, et pehmete aluspinnaste puhul, pole nõlva stabiilsus üle 2,6 m paksude savi aluspinnaste korral tagatud. Kõrgem mulle lisab veel mulde stabiilsuse kao ohtu lisakoormusena ning hoopis madalam ja kergem mulle lisab muldele pikaajalist tugevust. Lisaks arvestab KAP tarkvara juba üle 0,75 m paksuse kihi aluspinnaseks ning ei arvesta mitme meetriliste savi aluspinnaste paksuste muutusi. Seega paksude savide pealse 1,5 m kõrguse mulde stabiilsuse kao oht ei ilmnegi standardarvutustest.

Tabel 3. Muldkeha stabiilsuse- ja vajumiarvutuste 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										
109+61	0,75	2,50	1,6	80	Mulle 1,25m nõlv 1:4	Mulle 1,25m, nõlv 1:4	1:4 nõlv vasak	1:5 nõlv parem	vasak nõlv 1:4 parem nõlv 1:5	2x geotekstiil: ülal 40/150 kN all 50/200kN	Vastumulle (2,5*0,5m)	Vastumulle (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

5. Optimaalse tee konstruktsiooni maksumused

5.1. Tee konstruktsioonide maksumused

Maksumuste võrdluseks on kasutatud 2017 aasta maksumusi aruandest Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022, TTÜ 2013.a. [6].

Arvutatud on 1 km 2+1 ristlõikega ja 2+2 valmidusega tee konstruktsioonide maksumused ilma käibemaksuta:

- 1) Kõrge muldkehaga, 1,75 m kõrguse tee konstruktsioonid:
 - Projekteerimismisnormide kohane variant;
 - Variant I – tardsivikillustik on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud kompleksstabiliseeritud kihiga KS 32;
 - Variant II – tardsivikillustiku asemel on mustkillustiku kiht MUK 32.
- 2) Madala muldkehaga, 1,25 m kõrguse tee konstruktsioonid:
 - Projekteerimismisnormide kohane variant
 - Variant I – tardsivikillustik on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud kompleksstabiliseeritud kihiga KS 32 ja drenkihiks on fraktsioneeritud killustikust killustikaluse alumine kiht.
 - Variant II – tardsivikillustiku asemel on mustkillustiku kiht MUK 32 ja drenkihiks on fraktsioneeritud killustikust katendi kiht.

Võrreldes projekteerimismisnormide kohase tee konstruktsiooniga on optimaalse tee konstruktsiooni maksumus kõrge muldkeha puhul 9,3% väiksem ja madala muldkeha puhul 5,7%. Maksumuse vähendamine on saavutatud peamiselt kohalike materjalide kasutamisest katendikihtides. Tardsivikist killustikaluse asendamine uutest materjalidest kompleksstabiliseeritud kihiga annab rahalist säästu 12,6%. Katendi maksumust on võimalik veel vähendada kui kompleksstabiliseerimisel kasutada asfaldi freesipuru.

Kõrge ja madala muldkeha maksumuste vahe on minimaalne, mis tuleneb asjaolust, et tugevate aluspinnaste puhul kasutatakse kõrge muldkeha aluskihis Anelema karjääris paekivi purustamisel tekkivat muud täitematerjali, sealhulgas paesõelmeid.

Tee konstruktsiooni maksumust ja muldkeha materjalide ressursi saab veel vähendada muldkeha kõrguse optimeerimisega. Tee konstruktsiooni kõrguseks maapinnast võib olla 1,0 m järgmistel tingimustel:

- 1) Pinnasevee tase on vähemalt 1,0 m sügavusel maapinna suhtes.
- 2) Tagatud on sademe- ja pinnasevee äravool muldkeha juurest.
- 3) Muldkehas on kasutatud materjale, mis ei ole külmakerkelised ja mille filtratsioonitegur on vähemalt 0,5 m/ööp.
- 4) Tagatud on tuisuohutus

Kui 2+1 ristlõikega, muldkeha nõlvusega 1:3 ja kõrgusega 1,75 m kohalikest materjalidest tee konstruktsiooni (Variant 1) 1 km maksumus on 919 203,20 eurot, siis 2+2 valmidus tõstab maksumust 53 680,0 euro võrra 1 km kohta ehk 5,8%. Arvestades maksumuse suhteliselt väikest muutust ja seda, et muldkeha laiendamisega ei teki täiendavaid vajumisi ning tagatud on muldkeha püsivus, siis on otstarbekas ehitada 2+1 ristlõikega tee 2+2 valmidusega.

Tabel 4. Kõrge muldkehaga tee konstruktsioonide 1 km maksumused ilma käibemaksuta

Katendikiht	Möö- ühik	Projekteerimismäärade kohane lahendus				Variant I				Variant II			
		H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €	H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €	H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €
Killustikmastiksfalt - SMA 16	m ²	3+1	14 000	12,21	170 940,00	3+1	14 000	12,21	170 940,00	3+1	14 000	12,21	170 940,00
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	m ²	5	14 080	10,41	146 572,80	4	14 080	8,33	117 286,40	5	14 080	10,41	146 572,80
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	m ²	9	14 180	12,21	173 137,80	7	14 180	9,50	134 710,00	8	14 180	10,86	153 994,80
Tardkivikillustik 2/32	m ²	15	14 680	9,20	135 056,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompleksstab. kiht uutest materjalidest	m ²	-	-	-	-	15	14 680	7,50	110 100,00	-	-	-	-
Mustkillustik MUK 32	m ²	-	-	-	-	-	-	-	-	9	14 680	11,84	173 811,20
Tehnoloogiline 16/32 killustikust kiht (paigaldatakse koos KS killustikuga)	m ²	-	-	-	-	5	14 680	1,58	23 194,40	-	-	-	-
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	m ²	25	18 630	7,88	146 804,40	20	18 850	6,30	118 755,00	25	17 860	7,88	140 736,80
Geotekstiil, eraldav	m ³	-	-	-	-	x	21 100	0,84	17 724,00	x	20 610	0,84	17 312,40
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv Cu 2...3, k>0,5 m/ööp)	m ³	30	6 910	11,55	79 810,50	25	5 610	11,55	64 795,50	25	5 500	11,55	63 525,00
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv Cu 2...3, k>0,2 m/ööp)	m ³	30	7 800	11,55	90 090,00	30	7 640	11,55	88 242,00	30	7 500	11,55	86 625,00
Tm_75	m ³	57	17 740	3,99	70 782,60	65	18 410	3,99	73 455,90	69	20 250	3,99	80 797,50
Kokku		175			1 013 194,10	175			919 203,20	175			1 034 315,50

Tabel 5. Madala muldkehaga tee konstruktsioonide 1 km maksumused ilma käibemaksuta

Katendikiht	Mõõt- ühik	Projekteerimisnormide kohane lahendus				Variant I				Variant II			
		H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €	H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €	H [cm]	Maht	Ühik-hind	Maksumus €
Killustikmastiksfalt - SMA 16	m²	3+1	14 000	12,21	170 940,00	3+1	14 000	12,21	170 940,00	3+1	14 000	12,21	170 940,00
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	m²	5	14 080	10,41	146 572,80	4	14 080	8,33	117 286,40	5	14 080	10,41	146 572,80
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	m²	9	14 180	12,21	173 137,80	7	14 180	9,50	134 710,00	8	14 180	10,86	153 994,80
Tardkivikillustik 0/32	m²	15	14 680	9,20	135 056,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Kompleksstab. kiht uutest materjalidest	m²	-	-	-	-	15	14 680	7,50	110 100,00	-	-	-	-
Mustkillustik MUK 32	m²	-	-	-	-	-	-	-	-	9	14 680	11,84	173 811,20
Tehnoloogiline 16/32 killustikust kiht (paigaldatakse koos KS killustikuga)	m²	-	-	-	-	5	14 680	1,58	23 194,40	-	-	-	-
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	m²	25	18 630	7,88	146 804,40	25	18 850	7,88	148 538,00	25	17 860	7,88	140 736,80
Geotekstiil, eraldav	m²	-	-	-	-	x	21 600	0,84	18 144,00	x	20 610	0,84	17 312,40
Tm_120 (MSa - keskliiv, Cu>3, k>1,0 m/ööp)	m³	25	5 700	11,55	65 835,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv Cu 2...3, k>0,5 m/ööp)	m³	-	-	-	-	20	4 540	11,55	52 437,00	25	5 500	11,55	63 525,00
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv Cu 2...3, k>0,2 m/ööp)	m³	42	11 150	11,55	128 782,50	45	11 830	11,55	136 636,50	49	12 770	11,55	147 493,50
Kraavide kaevamine	m	-	2 000	3,00	6 000,00	-	2000	3,00	6 000,00	-	2000	3,00	6 000,00
Kokku		125			973 128,50	125			917 986,30	125			1 020 386,50

5.2. Betoonkatendiga tee konstruktsiooni maksumus

Betoonkatendiga tee konstruktsiooni 1 kilomeetri maksumuse arvutamisel on lähtutud järgmistest tingimustest ja eeldustest:

- 1) Katendi tüübiks on vastavalt lähteülesandele valitud betoonkihiga ja asfaltbetoonist kulumiskihiga katend (tüüp AB+BET);
- 2) Kasutatud on elastse katendiga sarnast 2+1 ristlõiget;
- 3) Maksumuse arvutamisel on aluseks võetud Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs, Ramboll 2013.a. [5], Tabel 5 AB+BET konstruktsioonitüübi maksumused ja Teetööde ühik hinnad ja nende prognoos aastani 2022, TTÜ 2013.a.[6].

Tabel 6. Betoonkatendiga tee konstruktsiooni 1 km maksumus ilma käibemaksuta

Katendikiht	H [cm]	Mõõt-ühik	Maht	Ühik-hind	Maksumus €
Killustikmastiksfalt – SMA 16	6	m ²	14 000	18,32	256 480,00
Betoon M45 (tardkivikillustik LA II-III klass)	20	m ³	2 816	190,00	535 040,00
AC 32 base	5	m ²	14 180	6,78	96 140,40
Kiilutud paekivikillustik	30	m ²	18 410	9,45	173 974,50
Tm 130 (kruusliiv, jämeliiv, Cu>3)	30	m ³	7 010	11,55	80 965,50
Tm 75 (ühtlaseteraline liiv)	84	m ³	24 890	11,55	287 479,50
Kokku					1 430 079,90

5.3. Tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude ja jääkväärtuse diskonteeritud maksumused

Võrreldakse järgmiste 1,75 m kõrguste tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude ning jääkväärtuse diskonteeritud 1 km maksumusi ilma käibemaksuta:

- 1) Projekteerimisnormide kohane tee konstruktsioon;
- 2) Optimaalne tee konstruktsioon, kus tardkivikillustik on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud komplekstabiliseeritud kihiga KS 32 ja maksimaalselt kasutatud kohalike materjale.
- 3) Betoonkatendiga tee konstruktsioon.

Maksumuste võrdlemisel on arvestatud variantide 30 aasta ehitus- ja hoolduskulude ning jääkväärtuse diskonteeritud maksumusi.

Võrreldavatel tee konstruktsioonide katenditel on sarnased katendite hooldus- ja taastamise meetodid ja kulud. Erinevate katendite finantsilisel võrdlusel on määravaks katendite ehitusmaksumus.

Arvutatud on tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude ja jääkväärtuse diskonteeritud maksumused järgmistel eeldustel:

- 1) Tee konstruktsiooni jääkväärtus on 40% uue tarindi maksumusest aastal 30.
- 2) Maanteeameti andmetel on nõuetekohase katendi korral Eestis 10000 AKÖL puhul vajalik teostada katte taastamist keskmiselt iga 7 aasta järel, kusjuures kahel esimesel korral on Soome kogemustele tuginedes kasutatav roopa remix-tehnoloogia ning kolmandal korral remix- tehnoloogia (kogu sõiduraja laiusel).
- 3) Majandusliku võrdluse ja ühikhindade baasaastaks on võetud 2017, võrdlusperioodi pikkuseks on 30 aastat ning diskontomääraks 4%.

4) Teekatte taastamise meetodite maksumused:

- Roopa remix-tehnoloogia, kuni 4 cm, (RR) – 8 eurot/m², 3.2 eurot/katte m²;
- Tasandusfreesimine (4 cm) ja SMA ülekate (FK) – 9,0 eurot/katte m²;
- Teekatte rekonstrueerimine (REK), mis käesoleva töö mõistes on katendikonstruktsiooni ulatuslik taastamine koos drenkihiga.

Tabel 7. Erinevate konstruktsioonide 1 km 30 a. kulude diskonteeritud väärtused

	Projekteerimisnormide kohane tee konstruktsioon	Optimaalne tee konstruktsioon	Betoonkatendiga AB+BET tee konstruktsioon
Diskonteeritud kulud	1 405 934,00	1 300 351,00	1 874 233,00
Hinnaerinevus	0%	8%	-33%

Tee katendite 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude diskonteeritud maksumuste võrdlusest võib järeldada, et kuna võrreldavatel tee konstruktsioonide katenditel on sarnased deformatsioonid ajas ning katendite hooldus- ja taastamise meetodid ja kulud, siis erinevate katendite finantsilisel võrdlusel on määravaks katendite ehitusmaksumus.

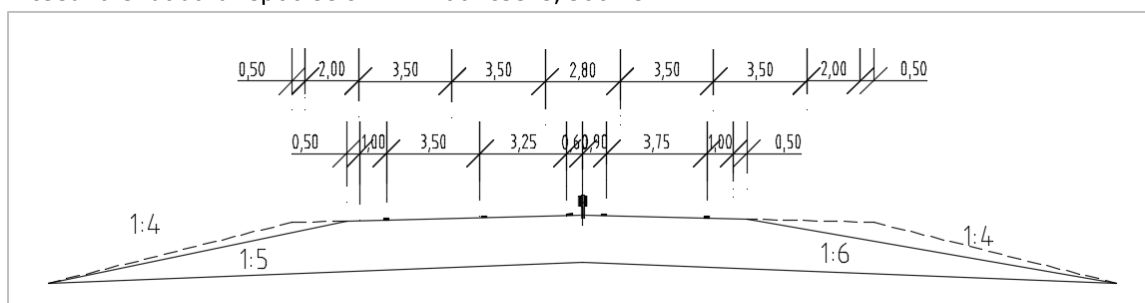
Kõrge muldkeha puhul on optimaalse tee konstruktsiooni 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude diskonteeritud maksumus 8% väiksem projekteerimisnormide kohasest 1,75 m kõrgusest tee konstruktsiooni maksumusest.

Arvutustabel asub Lisa 5.

6. Ehitustööde tehniline kirjeldus

6.1. 2+2 valmidus

- 1) 2+2 valmidusega 2+1 sõidurajaga tee ristprofiiliks on eelistatud kasutada kitsa eraldusribaga optimaalset ristprofiili, et tulevikus oleks võimalik minimaalsete kuludega olemasolevat 2+1 teed laiendada ühepoolselt 2+2 maanteeks, Joonis 7.



Joonis 7. 2+1 ja 2+2 tee ristprofiil

- 2) 2+1 ja 2+2 tee teljed jäävad samale kohale vältimaks tee laiendamisel ülearuseid tööde mahtusid.
- 3) Kõik tee rajatised ja truubid ehitada 2+2 tee väljaehitamise perspektiiviga;
- 4) Selleks, et vältida hilisemat savi konsolideerumist laiendatava muldkeha all, ehitatakse 2+1 tee muldkeha nõlvustega 1:5 ja 1:6 vastavalt pikiprofiilile nii, et 2+1 tee nõlva alumine serv ühtiks 2+2 tee 1:4 nõlva alumise servaga. Vastavalt stabiilsus- ja vajumi kontrollarvutustele

laiendatud nõlva peale 2+2 puuduva osa katendi ehitamisega ei kaasne ülemääraseid vajumisi.

- 5) Seoses tee laiendamisega on vajalik ühe sõidurajaga tee poolset katet laiendada 4,7 m ja kahe sõidurajaga tee poolset katet 2,05 m.
- 6) Ehitus-tehniliselt on valitud võimalikult lihtsad muldkeha ja katendi tüübid, et ka tee laiendamine oleks võimalikult lihtne. Tee laiendamisel erilisi materjale ja meetodeid ette ei nähta, kuna 2+1 muldkeha nõlvused on laiendatud kuni 2+2 tee nõlvade alumise piirini.
- 7) Muldkeha ja katendi laiendamisel tuleb järgida teetööde tehnilisi tingumusi ja arvestada järgmisi peamisi nõudeid:
 - Vanalt mulde nõlvadelt tuleb eemaldada kasvupinnas ja ehitada nõlvad astmeliseks (astme laius vähemalt 1m ja kalle 10 –20 % teest eemale). Liivaste pinnaste puhul astmeid ei tehta;
 - Laiendamiseks kasutatav täitematerjal/täitepinnas peab olema samaväärsete omadustega kui vana mulde pinnas. Erinevuse korral peab juurde lisatav pinnas olema paremate drenivate omadustega;
 - Laiendus tuleb ehitada horisontaalsete kihtidena ja need tihendada;
 - Katendite kihid tuleb ehitada samuti astmelistena.
- 8) Aluspinnastes survele vee esinemise korral tuleb muldkeha alaosa ehitada drenivatest pinnastest või rajada drenid. Vajadusel võib kasutada ka paekivi killustikku arvestades Anelema paekivikarjääri lähedust. Soovitav on kapilaartõusu takistavate geomembraanide paigaldamine. Survelise vee asukoht vajab projekteerimise käigus detailsemaid hüdrogeoloogilisi uuringuid.
- 9) 2+2 valmidusega betoonkatendiga 2+1 teed ei ole tehnilis-majanduslikult otstarbekas rajada, kuna betoonkatendi laiendamine on tehniliselt keerulisem (sh betooni ankurdamine), aeganõudvam ja kulukam.

6.2. Materjalidele esitatavad nõuded:

Tabel 8. Optimaalse lahenduse materjalide nõuded

Materjal	Nõuded materjalidele
Killustikmastiksasfalt - SMA 16	G _C 90/15, F _I 10, C _{100/0} , LA ₁₅ , A _N 7, f ₂ , F _{NaCl4} , SBS, PRD _{AIR} 7, A _{brA} 24
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	G _C 90/15, F _I 15, LA ₂₀ , f ₄ , F _{NaCl4} , PRD _{AIR} 7
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	G _C 90/15, F _I 15, C _{100/0} , LA ₃₀ , f ₄ , F _{NaCl4} , PRD _{AIR} 7
Kompleksstabiliseeritud katendikiht uutest materjalidest – KS32	Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhise, MA 2016-013, tabel 2, LA ₄₀
Paekivikillustik 16/32, alakihis 32/64	C _{90/3} , LA ₃₅ , F ₂ , F _{NaCl4} , F _I 20, f ₂
Geotekstiil, eraldav	NorGeoSpec 2012. kvaliteedispetsifikatsiooni (QPS) lisa A tabeli nr 1. vähemalt 3. spetsifikatsiooniprofiili nõuded.
Tm_105 (uMSa - ühtlaseteraline keskliiv Cu 2...3)	K _f >0,5 m/ööp, E>105 MPa, (EVS 901-20)
Tm_90 (uFSa - ühtlaseteraline peenliiv Cu 2...3)	0,2 m/ööp E>90 MPa, (EVS 901-20)
Tm_75 (uSa - ühtlaseteraline liiv Cu ≤2)	0,1 m/ööp E>75 MPa, (EVS 901-20)

6.3. Karjääride ülevaade

Are ümbersõidu muldkeha ja katendi ehitamiseks on arvestatud järgmiste kohalike materjalidega:

- 1) Paekivikillustik Anelema paekarjäärist keskmise veokaugusega 14 km Are möödasõidu ehitamiseks.
- 2) Muldkeha ehituseks on arvestatud Eassalu kruusakarjääri kruusliiva ja pinnasega keskmise veokaugusega 32 km.

Lisaks on Tabelis 9 esitatud Are ümbersõidu ehituseks võimalike karjääride ja materjalide ülevaade 50 km raadiusega objektist.

Tabel 9. Materjalide karjäärid

Karjääri nimetus	Karjääri valdaja	Materjali veokaugus km	Materjali aktiivne varu tuh.m ³
Paekivikillustik			
Anelema dolomiidikarjäär	Eesti Killustik OÜ	14,0	1 321,2
	Nurme Teedehitus OÜ		454,3
Muldkeha täitematerjalid			
Eassalu V kruusakarjäär	Nurme Teedehitus OÜ	32,0	91,6
Eassalu III liivakarjäär	Lindamäe OÜ	33,0	33,0
Selja II kruusakarjäär	Eesti Killustik OÜ	20,0	46,4
Selja kruusakarjäär	Metsatervenduse OÜ	21,0	32,0
Aluste kruusakarjäär	Sokkel Holding OÜ	30,0	34,4
Kuiaru kruusakarjäär		20,0	76,0
Rinnaku (Kõnnu) kruusakarjäär	Vändra MP OÜ	35,0	62,4
Sikana III, IV kruusakarjäärid	Vändra MP OÜ	25,0	40,7
Potsepa liivakarjäär	Eesti Killustik OÜ	45,0	1 318,3
Kõrsa kruusakarjäär	OÜ Tee & Maa	30,0	564,0
Pitsalu liivakarjäär	Lemminkäinen Eesti AS	24	16,3

7. Muldkeha ja drenihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise täiendamise ettepanekud.

Muldkeha ja drenihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkiri nr 0001) täiendamiseks projekteeritavate jätkusuutlike 2+1 lahenduste mullete peatüki osas teeme järgmised ettepanekud:

- 1) Juhendisse lisada põhikriteeriumid muldkehade geotehniliste arvutuste jaoks, kui tegemist on nõrkade aluspinnastega ja nõutav stabiilsuse varuteguri suurus.

Näiteks Soome juhendis Tiegeotehnikan yleiset mitoitusperusteet [7], lk 12 on toodud stabiilsuse varutegurid sildade, teemulde kui ka kaeviku kohta. Kaeviku ja nn pikaegsetele betoonraajatiste jaoks on rangemad kriteeriumid ehk varutegur on ehituse ajal $F > 1,5$ ja kasutuses $F > 1,8$.

Teemullete jaoks on varutegur ehituse ajal $F > 1,3$ ja kasutuses $F > 1,5$. Kui rakendatakse osavaruteguritega arvutust, kus varutegur on maha arvatud juba materialide tugevusparameetritest, siis nn ODF varutegur on $> 1,0$. Eurocode jätab kasutaja valida kas kasutada koguvarutegurit F või osavaruteguritega ODF'i.

Sama juhendi [7] lk 8 ja 9 liikloskoormuse peatükis on koormused jagatud järgmiselt:

- Maanteedel 10 kN/m^2
- jalgteedel 5 kN/m^2
- Raskeliiklusega teed nt kaevandused 20 kN/m^2

2) Nõrkade aluspinnaste puhul võiks kaaluda tuisuohutu mulde kõrguse nõude loobumist.

Mulde minimaalne drenivate kihtide kogupaksus $1,5 \text{ m}$ on ühest küljest tee kandevõimet suurendav ja ka külmakerke ohtu vähendav nõue. Samas näitavad geotehnilised arvutused, et pehmete aluspinnaste puhul, pole nõlva stabiilsus üle $2,6 \text{ m}$ paksude savi aluspinnaste korral tagatud. Kõrgem mulle lisab veel mulde stabiilsuse kao ohtu lisakoormusena ning hoopis madalam ja kergem mulle lisab muldele pikaealist tugevust.

3) Juhises kirjeldatud vastumulde peatükki võiks täiendada vastumulde ehitamise nõuetega, sealhulgas:

- Vastumulde mõõtmed dimensioneeritakse stabiilsusarvutustega.
- Nõuded kasutatavatele materjalidele:
 - Kasutatavat materjali peab olema võimalik planeerida projektis ette nähtud kujule.
 - Materjal võib olla külmakerkeohtlik ja ei pea omama kandevõimet.
 - Materjal ei tohi olla ohtlik keskkonnale ja talvel ehitades ei tohi sisaldada vett, jääd ega lund.
 - Kui vastumulde kuju säilitamine (näiteks hooldeteena) on oluline, siis tuleb esitada täitematerjalile eraldi nõuded.

8. Kokkuvõte

Arvestades projekteeritud mulde ja katendi konstruktsioonide stabiilsuse- ja vajumi arvutuste tulemusi ning maksumuste võrdlust on optimaalseks $2+1$ ristlõikega tee konstruktsiooniks kohalikele materjalide põhinev tee konstruktsioon, kus tardkivikillustikust katendikiht on asendatud uutest materjalidest tee peal segatud stabiliseeritud katendikihiga ja muldkehas on maksimaalselt kasutatud kohalikke materjale, sealhulgas kõrgemate muldkehade puhul kasutatakse muldkeha aluskihtides Anelema karjääris paekivi purustamisel tekkivat muud täitematerjali.

Killustikaluse eraldamiseks liivpinnasest loobuti esialgsest plaanist kasutada geosünteedide asemel paekivisõelmetest kihti, sest puuduvad adekvaatsed andmed ja katsetuste tulemused, et selline lahendus toimiks arvestades muldkeha ja katendi niiskuse- ja liikluskõormust ja kasutatavaid materjale. Ettepanek on antud uuringu raames katsetada ka paesõelmete kasutamist killustiku ja liiva eraldamiseks.

Tee konstruktsiooni maksumust ja muldkeha materjalide ressursi saab vähendada muldkeha kõrguse optimeerimisega, kui:

- stabiliseerimisel on võimalik kasutada freesitud asfalti;
- sõltuvalt tee pikiprofiilist ja situatsioonist loobutakse tuisuohutuse kõrguse nõudest arvestades põhjamaade kogemusi, et tänapäeval on talihooldetehnika piisavalt arenenud ning kasutatakse erinevaid tuisuohutust ennetavaid mehhaanilisi ja infotehnoloogilisi meetmeid.

Mulde minimaalne drenivate kihtide kogupaksus $1,5 \text{ m}$ on ühest küljest tee kandevõimet suurendav ja ka külmakerke ohtu vähendav nõue. Samas näitavad arvutused, et pehmete aluspinnaste puhul, pole nõlva stabiilsus üle $2,6 \text{ m}$ paksude savi aluspinnaste korral tagatud. Kõrgem mulle lisab veel mulde stabiilsuse kao ohtu lisakoormusena ning hoopis madalam ja kergem mulle lisab muldele pikaealist tugevust.

Kuna vastumulle on lihtsaim ja odavaim meetod tee muldkeha stabiilsuse tagamiseks nõrkade aluspinnaste korral, siis kohtades, kus vastavalt stabiilsusarvutustele on võimalik muldkeha stabiilsus tagada, nähakse ette 1:4 nõlva juurde 2,5 m pikkune ja 0,5 m paksune objektil kaevandatud ehituseks mittesobilikust materjalist vastumulle.

9. Kasutatud kirjandus

- 1) Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne Are möödasõit, riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla, Rakendusgeodeesia ja Ehitusgeoloogia Inseneribüroo OÜ Töö nr GE-2210, 2017.
- 2) „Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis“, kinnitatud Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkirjaga nr 0001.
- 3) „Kaevandamise jääkmaterjalide kasutusvõimaluste uuring“, Tallinna Tehnikakõrgkool, mai 2014.a.
- 4) Muldkehades ja drenkihtides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega (töövõtuleping nr 15-00248/003), Lõpparuanne.
- 5) Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs, Ramboll 2013.a.
- 6) Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022, TTÜ 2013.a.
- 7) Tiegeotehnikkan yleiset mitoituserusteet, Tielaitos, Geokeskus

Lisa 1 – Are ümbersõidu asendiplaan



Lisa 2 - Tee konstruktsioonide katendite arvutused

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0 Kõrge muldkeha - projekteerimismisnormide kohane

Koormussagedus: 4114,2 normtelge ööp/rajale

Maantee klass: 2

Teekatendi liik: Püsikatend

Tugevustegur: 1,00

Töökindlustegur: 0,95

Normhålbetegur 1,71

Pinnas: C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid

Niiskuspakkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0,02

L1.T3 p1+p5; -0,05+0,03=-0,02

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Erisurve kattele: 0,6 MPa

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo: Arvutuskohat PK...+...

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast- susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks painedele	Arvutatud tõmbe- pinged R_{max}	Lubata- vad tõmbe- pinged R_{lub}	Sise- hõõrde- nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	5,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	9,0	1400	800	2200	0,8644	0,9520			
4	Tard- või paekivikillustik (LA <35)	15,0	280							
5	Paekillustik (LA ≥35)	25,0	240							
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	30,0	105					38,0	0,005	5,0
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	90					36,0	0,004	4,0
ALUS	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		30,3					13,5	0,012	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastsusmoodul			1,2%	312,71	309,00	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0					312,71		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	5,0					287,78		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	9,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			9,2%	241,40		
4	Tard- või paekivikillustik (LA <35)	15,0					169,92		
5	Paekillustik (LA≥35)	25,0					133,42		
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	30,0	Nihkepinged	0,0048	0,0085	43,5%	78,03		
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	Nihkepinged	-0,0009	0,0055	116,2%	54,41		
	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0050	0,0061	18,8%			0,787
	Katendi kogupaksus	117,0					Parandustegur Δ		0,021

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	147
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	3,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	0,0
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	150	8. Külmakindluse varu %	99,8%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides
-------------------------	--

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0
Kõrge muldkeha - Variant I

Koormussagedus: 4114,2 normtelge ööp/rajale

Maantee klass: 2

Teekatendi liik: Püsikatend

Tugevustegur: 1,00

Töökindlustegur: 0,95

Normhällbetegur 1,71

Pinnas: C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid

Niiskuspakkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0,02

L1.T3 p1+p5; -0,05+0,03=-0,02

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Erisurve katele: 0,6 MPa

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paariratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo: Arvutuskoht PK...+...

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast- susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe- pinged R_{max}	Lubata- vad tõmbe- pinged R_{lub}	Sise- hõõrde- nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	7,0	1400	800	2200	0,9429	0,9520			
4	Kompleksstabi kiht uutest materjalidest teel seg	15,0	800							
5	Paekillustik (LA $\geq$ 35)	20,0	240							
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	25,0	105					38,0	0,005	5,0
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	90					36,0	0,004	4,0
ALUS	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		29,7					13,3	0,012	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastsusmoodul			5,6%	326,41	309,00	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0					326,41		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0					299,32		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			1,0%	265,48		
4	Kompleksstabi kiht uutest materjalidest teel seg	15,0					208,95		
5	Paekillustik (LA≥35)	20,0					119,04		
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	25,0	Nihkepinged	0,0059	0,0085	30,5%	74,74		
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	Nihkepinged	0,0002	0,0055	95,5%	53,77		
	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0054	0,0061	12,2%			0,793
	Katendi kogupaksus	104,0					Parandustegur Δ		0,015

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	130
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	3,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-0,4
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	109,8%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides
-------------------------	--

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0
Kõrge muldkeha - Variant II

Koormussagedus: 4114,2 normtelge ööp/rajale

Maantee klass: 2

Teekatendi liik: Püsikatend

Tugevustegur: 1,00

Töökindlustegur: 0,95

Normhällbetegur 1,71

Pinnas: C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid

Niiskuspakkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0,02

L1.T3 p1+p5; -0,05+0,03=-0,02

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Erisurve katele: 0,6 MPa

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paariratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo: Arvutuskoht PK...+...

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast- susmoodul E_{ekv} arvutamiseks	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe- pinged R_{max}	Lubata- vad tõmbe- pinged R_{lub}	Sise- hõõrde- nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	5,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	8,0	1400	800	2200	0,9097	0,9520			
4	Mustkillustikust kiht - MUK	9,0	800							
5	Paekillustik (LA $\geq$ 35)	25,0	240							
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	25,0	105					38,0	0,005	5,0
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	90					36,0	0,004	4,0
ALUS	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		29,7					13,3	0,012	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsusmoodul Mpa	Vajalik elastsusmoodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastsusmoodul			0,5%	310,55	309,00	
1	Killustikmastikasfalt - SMA	3,0					310,55		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	5,0					286,21		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	8,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			4,4%	239,92		
4	Mustkillustikust kiht - MUK	9,0					176,17		
5	Paekillustik (LA≥35)	25,0					129,99		
6	Tm_105 [uMSa - ühtlaseterine keskliiv Cu 2...3]	25,0	Nihkepinged	0,0060	0,0085	30,0%	74,78		
7	Tm_90 [uFSa - ühtlaseterine peenliiv Cu 2...3]	30,0	Nihkepinged	0,0003	0,0055	95,3%	53,84		
	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0055	0,0061	10,9%			0,793
	Katendi kogupaksus	105,0					Parandustegur Δ		0,015

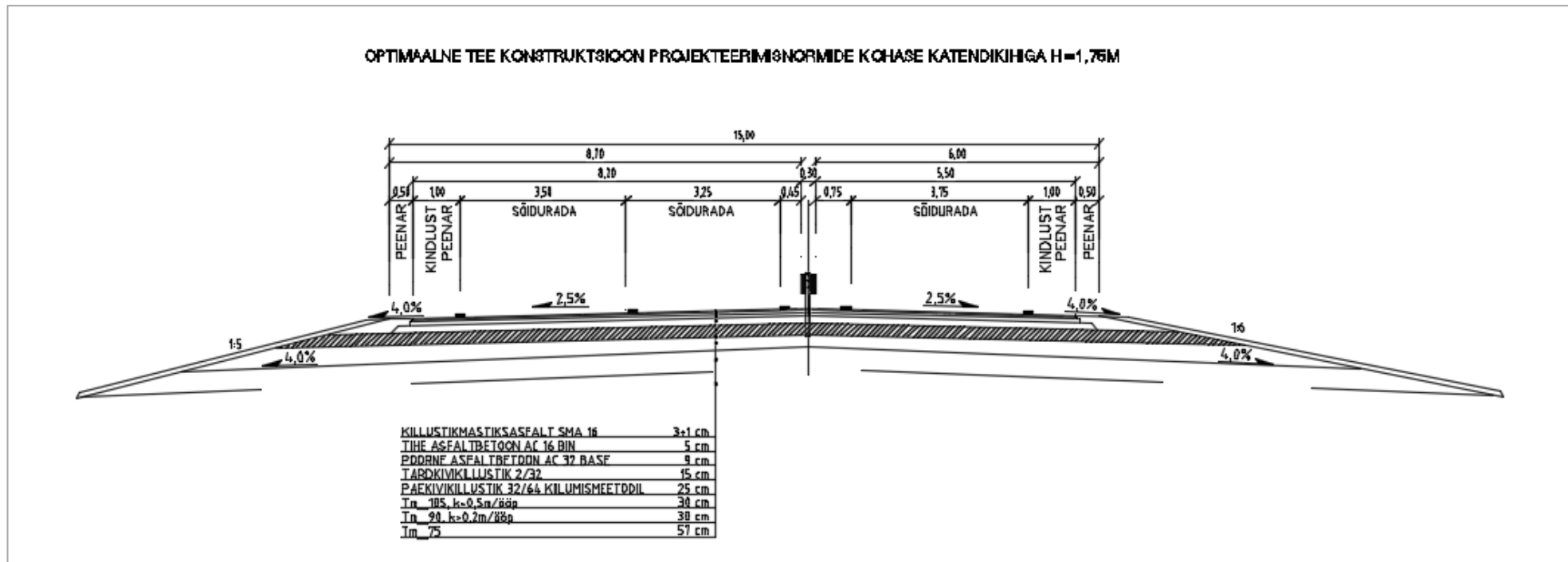
Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	133
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	3,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	0,0
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	150	8. Külmakindluse varu %	99,6%

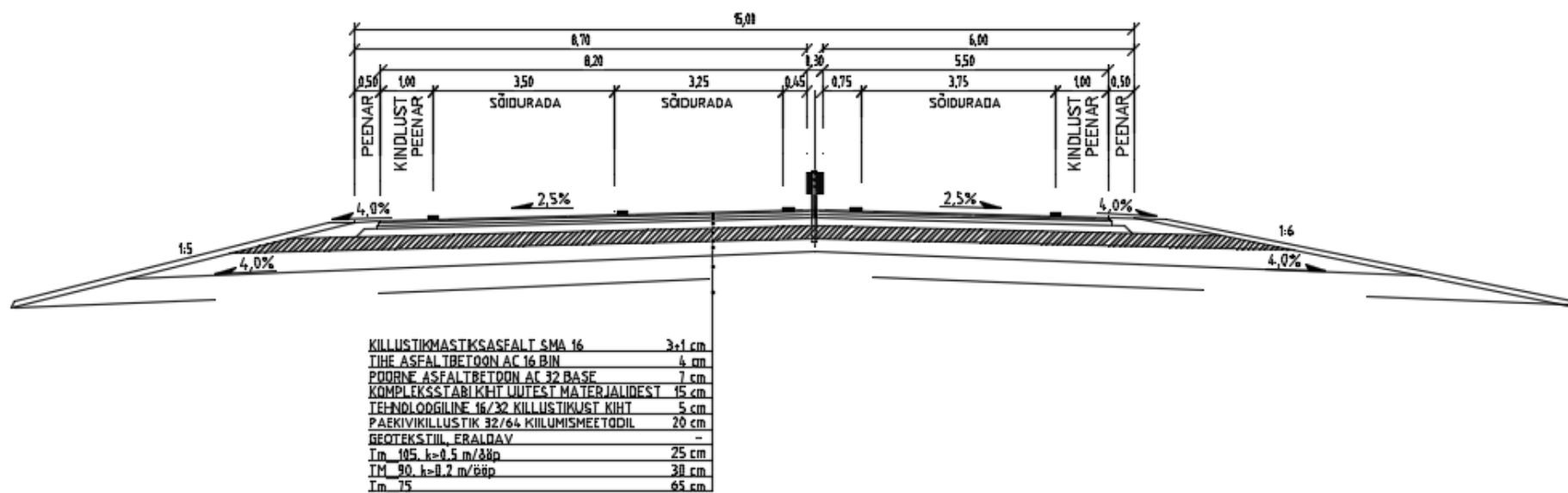
* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides
-------------------------	--

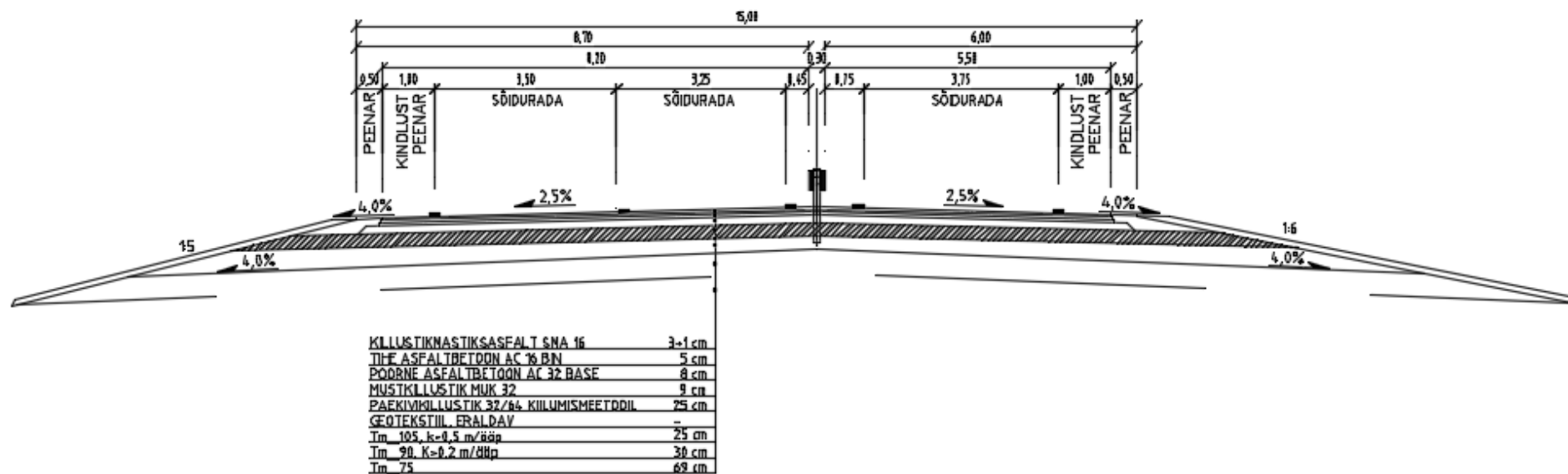
Lisa 3 - Tee konstruktsioonide ristprofiilid



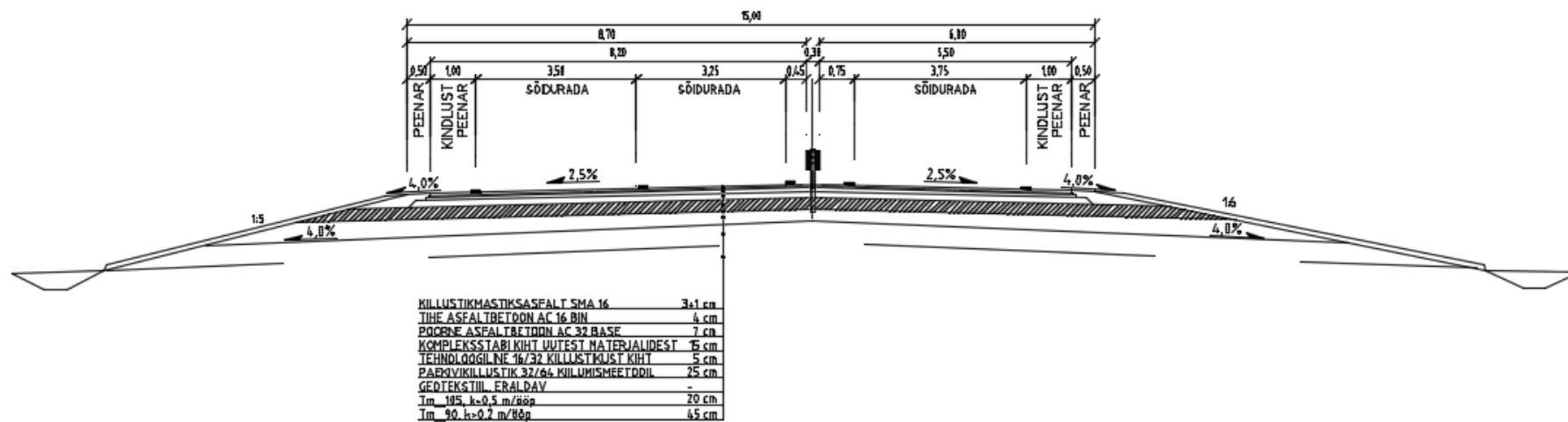
OPTIMAALNE TEE KONSTRUKTSIOON STABILISEERITUD KATENDIKIHIGA (VARIANT 1) H=1,75M



OPTIMAALNE TEE KONSTRUKTSIOON MUSTKILLUSTIKUST KATENDIKIHIGA (VARIANT 2) H=1,76M



OPTIMAALNE TEE KONSTRUKTSIOON STABILISEERITUD KATENDIKIHIGA (VARIANT 1) H=1,25M



Lisa 4 – Geotehniliste arvutuste aruanne

Aruanne on lisatud eraldi dokumendina

Lisa 5 - Tee konstruktsioonide 30 aasta ehitus- ja taastamiskulude arvutustabel

1 km tee konstruktsiooni diskonteeritud maksumus			
Diskontotegur	Projekteerimisnormide kohane tee konstruktsioon	Optimaalse tee konstruktsiooni maksumus	Betoonkatendiga AB+BET tee konstruktsiooni maksumus
1,0000	1 013 194	919 203	1 430 080
0,9615	-	-	-
0,9246	-	-	-
0,8890	-	-	-
0,8548	-	-	-
0,8219	-	-	-
0,7903	-	-	-
0,7599	34 044	34 044	34 044
0,7307	-	-	-
0,7026	-	-	-
0,6756	-	-	-
0,6496	-	-	-
0,6246	-	-	-
0,6006	-	-	-
0,5775	72 762	72 762	72 762
0,5553	-	-	-
0,5339	-	-	-
0,5134	-	-	-
0,4936	-	-	-
0,4746	-	-	-
0,4564	-	-	-
0,4388	19 660	19 660	19 660
0,4220	-	-	-
0,4057	-	-	-
0,3901	-	-	-
0,3751	-	-	-
0,3607	-	-	-
0,3468	-	-	-
0,3335	141 319	141 319	141 319
0,3207	-	-	-
0,3083	124 955	113 363	176 368
KOKKU	1 405 934 €	1 300 351 €	1 874 233 €
Hinnaerinevus	0%	8%	-33%