

Töö number: 2016-0053
Tellija Maanteeamet
Konsultant Skepast&Puhkim OÜ
Laki 34, 12915 Tallinn
Telefon: +372 664 5808; e-post: info@skpk.ee
Registrikood: 11255795;

Kuupäev 20.10.2016

Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamine

I etapp



Version **1**
Kuupäev **20.10.2016**
Koostanud: **Urmas Konsap**
Kontrollinud: **Andres Brakmann**
Kooskõlastanud: **Janek Hendrikson**

Projekti nr **2016-0053**

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

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Projekteerimisnormidest lähtuv tee konstruktsioon.....	3
3. Optimaalse teekonstruktsiooni lahendus.....	6
3.1. Üldised põhimõtted:	6
3.2. Materjalidele esitatavad nõuded:	7
3.3. Dreenikihist äravoolava vee hulga arvutus	8
3.4. Optimaalse tee konstruktsiooni mulde lahenduse projekteerimise ja ehituse üldised nõuded ..	8
4. Projekteerimisnormide kohase ja optimaalse tee konstruktsiooni maksumused	9
5. Kasutatud kirjandus	11

Lisad

- Lisa 1. Projekteerimisnormide kohase tee konstruktsiooni katendi arvutus
- Lisa 2. Optimaalse tee konstruktsiooni katendi arvutus
- Lisa 3. Projekteerimisnormide kohase tee konstruktsiooni ristprofiil
- Lisa 4. Optimaalse tee konstruktsiooni ristprofiil.

1. Sissejuhatus

Käesoleva töö eesmärgiks on optimaalse tee konstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamine. Selleks koostati kehtivatele projekteerimisnormidele põhinev tee konstruktsiooni lahendus ja alternatiivne optimaalne lahendus arvestades kohalike materjalide kasutamist plaanitava uue Are möödasõidutee ehitamisel Pärnumaal. Koostatud on tee konstruktsioonide katendiarvutused ja võrreldud konstruktsioonide maksumusi.

Optimaalses lahenduses on killustikulase alumist fraksioneeritud killustikust kihti kasutatud drenkihina arvestades Anelema paekarjääri lähendust plaanitavale Are möödasõidu teele. Muldkehas on kasutatud nõrgema filtratsioonimooduliga pinnaseid. Arvutatud on aeg, kui kiiresti drenitakse drenkihhist välja sinna filtreerunud 50% veest.

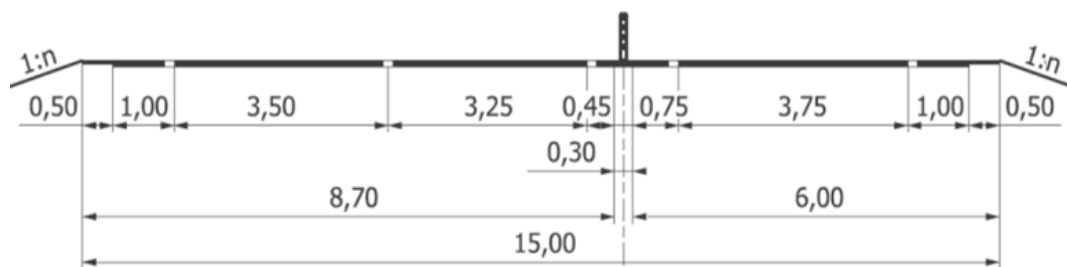
Optimaalse tee konstruktsiooni väljatöötamisel on erilist tähelepanu pööratud muldkeha niiskussrežiimile, tagamaks nõutud teekatte kandevõime ja vastupidavuse. Tee konstruktsiooni lahenduse valiku üheks põhimõtteks oli leida tehniliselt lihtne, kohalikele materjalidele põhinev ja majanduslikult ökonoomne lahendus.

Metoodika väljatöötamisel on põhiliselt kasutatud Eestis kehtivaid seadusandlike akte ning Maanteeameti poolt heakskiidetud/kinnitatud juhendeid ja uuringuid.

2. Projekteerimisnormidest lähtuv tee konstruktsioon

Projekteerimisnormidest lähtuv tee konstruktsiooni lahendus on koostatud vastavalt järgmistele lähteandmetele:

- 1) Vastavalt lähteülesandele on 2+1 sõidurajaga tee ristprofiil esitatud joonisel 1. Mulde nõlvuseks on valitud 1:2.
- 2) Muldkeha aluspinnaseks on 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) Muldkehas ja killustikaluse aluskihis kasutatakse kohalike materjale veokaugusega kuni 35 km.
- 4) Kuna projekteerimisnormide kohaselt on tee konstruktsioonis arvestatud külmakindla materjaliga 1,5 m sõidutee katte pinnast, siis külakraave ei ole ette nähtud. Kraavide vajadus selgub peale detailsemat geotehnilisi ja hüdrooloogilisi uuringuid ning pinnasevee taseme väljaselgitamist.



Joonis 1. Are möödasõidu tee ristprofiil

Koormussageduse määramiseks on teeregistrist saadud 2015. aasta liiklussageduse andmed põhimaantee E67 Are läbival lõigul km 111 kuni km 121. Aasta keskmine liiklussagedus oli siin 8 152 a/ööp, millest 4% moodustasid veoautod ja autobussid ning 16% autorongid. Ehitusaastateks

on eeldatud 2017-2018, seega on esimeseks kasutusaastaks võetud 2019. Liiklusproгноos on koostatud 2039. aastaks ning on eeldatud, et selleks ajaks kasvab liiklus tänasega võrreldes 1,5 korda. Liiklussageduse ja koormussageduse kasv on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Liiklussageduse ja koormussageduse kasv

Aasta	AKÖL	SA	VAAB	AR	Q	Koormussag teisendamata	Kumul teljed
2015	8152	6522	326	1304	5775		
2016	8322	8097	150	75	682		
2017	8492	8263	153	76	695		
2018	8662	8428	156	78	709		
2019	8832	8594	159	79	723	398	145 211
2020	9002	8759	162	81	737	405	293 216
2021	9172	8924	165	83	751	413	444 017
2022	9342	9090	168	84	765	421	597 613
2023	9512	9255	171	86	779	428	754 004
2024	9682	9421	174	87	793	436	913 190
2025	9852	9586	177	89	807	444	1 075 171
2026	10022	9751	180	90	821	451	1 239 947
2027	10192	9917	183	92	835	459	1 407 518
2028	10362	10082	187	93	849	467	1 577 884
2029	10532	10248	190	95	863	474	1 751 045
2030	10702	10413	193	96	876	482	1 927 001
2031	10872	10578	196	98	890	490	2 105 752
2032	11042	10744	199	99	904	497	2 287 298
2033	11212	10909	202	101	918	505	2 471 639
2034	11382	11075	205	102	932	513	2 658 776
2035	11552	11240	208	104	946	520	2 848 707
2036	11722	11406	211	105	960	528	3 041 433
2037	11892	11571	214	107	974	536	3 236 955
2038	12062	11736	217	109	988	543	3 435 271
2039	12232	11902	220	110	1002	551	3 636 383
							727

Kasutades siirdetegureid, on leitud katendiarvutuse jaoks vajalik koormussagedus:

Tabel 2. Vajalik koormussagedus

Rajategur	Siirdetegur VAAB	Siirdetegur AR	Evaj	a	log(Q)	b	Q
0,55	2,67	3,76	254,8	67,6	2,862	61,3	727

Katendi projekteerimisel on aluspinnaseks võetud savikad pinnased (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid). Arvestatud, et projektlahendusega on kavandatud tuisuohutu mulle, mille kõrgus olemasoleva maapinna suhtes on 1,25 m (lumekatte paksus antud piirkonnas 0,55 m + 0,7 m lumekatte pinnast). Projekteerimisnormide kohaselt peab 1,5 m sõidutee katte pinnast olema külmakindlat materjali. Lubatud on kasutada pinnast filtratsioonimooduliga 0,2 m/ööp juhul kui on kavandatud drenkiht. Asfaltkatte pealmisele kihile on lisatud 1 cm kulumisvaru, mis katendiarvutuses ei kajastu

Tulenevalt nimetatud lähtealustest on kavandatud järgmine katendikonstruktsioon:

Tabel 3. Projekteerimisnormide kohane katendikonstruktsioon

Katendikiht	H [cm]	Maht	Mõõtühik
Killustikmastiksasfalt - SMA 16	3+1	14 000	m ²
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	14 080	m ²
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	14 170	m ²
Tardkivikillustik 0/32	15	14 670	m ²
Paekivikillustik	20	16 960	m ²
Dreenkiht ($k > 1,0$ m/ööp)	min 20	18 260	m ²
		5 320	m ³
Peenliiv ($k > 0,2$ m/ööp)	30	6 474	m ³
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	50	10 455	m ³
Kokku	150		

Muldkeha ja katendikihtide ehitamise mahud on arvestatud 1 km pikkuse teelõigu kohta lähteülesandes toodud ristlõike lahenduse korral.

Projekteerimisnormide kohase tee konstruktsiooni katendiarvutus on esitatud lisas 1 ja ristprofiil lisas 2.

Tabel 4. Materjalidele esitatavad nõuded

Materjal	Nõuded materjalidele
Killustikmastiksasfalt - SMA 16	$G_{C90/15}$, Fl_{10} , $C_{100/0}$, LA_{15} , A_{N7} , f_2 , F_{NaCl4} , SBS, PRD_{AIR} 7, A_{brA} 24
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	$G_{C90/15}$, Fl_{15} , LA_{20} , f_4 , F_{NaCl4} , PRD_{AIR} 7
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	$G_{C90/15}$, Fl_{15} , $C_{100/0}$, LA_{30} , f_4 , F_{NaCl4} , PRD_{AIR} 7
Tardkivikillustik 0/32	$C_{90/3}$, LA_{25} , F_2 , F_{NaCl4} , Fl_{20} , f_2
Paekivikillustik 16/32, alakihis 32/64	$C_{90/3}$, LA_{30} , F_2 , F_{NaCl4} , Fl_{20} , f_2
Dreenkiht ($k > 1,0$ m/ööp)	$K_f > 1$ m/ööp (EVS 901-20), $Cu > 2$, $E > 110$ MPa
Peenliiv ($k > 0,2$ m/ööp)	0,2 m/ööp (EVS 901-20), $E > 100$ MPa
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	0,2 m/ööp (EVS 901-20), $E > 100$ MPa

Arvestatud on järgmiste kohalike materjalidega:

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

3. Optimaalse teekonstruktsiooni lahendus

3.1. Üldised põhimõtted:

Optimaalse tee konstruktsiooni lahenduse valikul kaaluti erinevaid muldkeha konstruktsioone, mis tagaksid nõutava muldkeha püsivuse ja veerežiimi, sealhulgas muldkehas piki- ja põikdreenide kasutamist. Kuid arvestades asjaoluga, et puuduvad adekvaatsed andmed plaanitava Are möödasõidu tee geoloogia, olemasoleva pinnasevee taseme ja veerežiimi kohta ning piki- ja põikdreenide kasutamine tõstab tee konstruktsiooni maksumust, eriti eksploatatsiooni kulusid, siis loobuti nendest variantidest. Kuna puuduvad andmed aluspinnaste tegelike omaduste kohta, siis ei ole arvatud pakutud optimaalse tee konstruktsiooni lahenduse mulde stabiilsust ja vajumist. Neid oleks mõistlik teha uuringu järgmises etapis reaalse geoloogiliste andmete olemasolul.

Optimaalse tee konstruktsiooni lahenduse valikul on lähtutud järgmistest seisukohtadest:

- 1) Tee ristprofiil on esitatud joonisel 1.
- 2) Võrreldes projekteerimismõõnide kohase põhikonstruktsiooniga on alternatiivis muudetud muldkeha konstruktsiooni, killustikaluse ja asfaltkatte konstruktsioon on jäetud samaks.
- 3) Kuna Pärnu maakonnas on kvaliteetse kruusa ja liiva materjalidega nappus ja muldkehas kasutatakse materjale, mille filtratsioonimoodul on madal, siis kasutatakse drenkihina fraktsioneeritud killustikust killustikaluse alumist kihti, mille vajalikud veejuhtivusomadused tulenevad arvutustest. Võrreldes projekteerimismõõnide kohase lahendusega on killustikaluse alumise kihi paksust suurendatud 5 cm võrra.
- 4) Muldkeha kõrguseks on arvestatud projekteerimismõõnide kohase tingimusega, et 1,5 m sõidutee katte pinnast peab olema külmakindlat materjali.
- 5) Külakraave ette ei nähta.
- 6) Muldkeha ülakihis kasutatakse karjäärast juurde veetavat pinnast ja alakihis objektilt väljakaevatavat ehituseks sobilikku pinnast.

Dreenihi projekteerimisel on lähtutud järgmistest põhimõtetest:

- Vee liikumise teekond dreeni poole on läbi järjest kasvava filtratsioonimooduliga kihtide;
- Killustikust drenihi võimekus on piisav eemaldamiseks kõik eeldatavalt katendisse siseneva vee. Arvutatud on aeg, kui kiiresti drenitakse drenihist välja sinna filtreerunud 50% veest. Lähtutud on tingimusest, et saavutamaks killustikaluste suurepärase drenitust, peaks seal kasutatav materjal võimaldama vee ärajooksu 2 tunni jooksul ja omama filtratsioonimoodulit vähemalt 300 m/ööp.
- Killustikust drenikiht ulatub mulde nõlvani. Nii on drenihist 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 drenikihti sattuva peenosise hulka, peavad drenikihti 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 drenikihti);
- Muldkeha aktiivsooni ülemises osas kasutatakse drenivat pinnast, mille filtratsioonimoodul standardse Proctorteimi maksimaaltihedusel on vähemalt 0,5 m ööpäevas.
- Eeldatakse, et Are möödasõidu ümbersõidu muldkeha ehituseks saab alumistes kihtides kasutada objektist väljakaevatavat ehituseks sobilikku pinnast ligikaudu 20% muldkeha täitepinnase mahust.
- Muldkehasse paigaldatakse pinnased, mis ei ole külmakerkelised.

Tabel 5. Optimaalne tee konstruktsioon

Katendikiht	H [cm]	Maht	Mõõtühik
Killustikmastiksfalt - SMA 16	3+1	14 000	m ²
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	14 080	m ²
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	14 170	m ²
Tardkivikillustik 0/32	15	14 670	m ²
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	25	16 960	m ²
Geotekstiil, eraldav		18 260	m ²
Kruusliiv ($k > 0,5$ m/ööp)	30	5 280	m ³
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	55	7 600	m ³
Kohalik ehituseks sobilik täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	10	2 000	m ³
Kokku	150		

Optimaalse tee konstruktsiooni katendiarvutus on esitatud Lisas 2 ja ristprofiil Lisas 4.

3.2. Materjalidele esitatavad nõuded:

Tabel 6. Optimaalse lahenduse materjalide nõuded

Materjal	Nõuded materjalidele
Killustikmastiksfalt - SMA 16	G _C 90/15, Fl 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, Fl ₁₅ , LA ₂₀ , f ₄ , F _{NaCl4} , PRD _{AIR} 7
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	G _C 90/15, Fl ₁₅ , C _{100/0} , LA ₃₀ , f ₄ , F _{NaCl4} , PRD _{AIR} 7
Tardkivikillustik 0/32	C _{90/3} , LA ₂₅ , F ₂ , F _{NaCl4} , Fl ₂₀ , f ₂
Paekivikillustik 16/32, alakihis 32/64	C _{90/3} , LA ₃₀ , F ₂ , F _{NaCl4} , Fl ₂₀ , f ₂
Geotekstiil, eraldav	NorGeoSpec 2012. kvaliteedispetsifikatsiooni (QPS) lisa A tabeli nr 1. vähemalt 2. spetsifikatsiooniprofiili nõuded.
Keskliiv ($k > 0,5$ m/ööp)	K _f > 0,5 m/ööp (EVS 901-20), E > 110 MPa
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	0,2 m/ööp (EVS 901-20), E > 100 MPa
Kohalik ehituseks sobilik täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	0,2 m/ööp (EVS 901-20), E > 100 MPa

3.3. Dreenkihist 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.

Dreenkihi mahtuvuse arvutamisel on aluseks võetud Tallinna Tehnikaülikooli uuringu „Muldkehades ja drenikihtides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega“ lõpparuandes [3] esitatud drenkihi mahtuvuse arvutusskeem.

Arvutamisel on lähtutud järgmistest eeldustest ja lähteandmetest:

- 1) Dreenkihina kasutatakse fraktsioneeritud 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 [3] uuringust.
- 4) Kuna tegemist on 2+1 sõidurajaga tee ristprofilliga, siis drenkihi mahutavus ja aeg, millal on 50% veest drenitunud arvutatakse 2 sõidurajaga tee osa jaoks.

Dreenkihist äravoolava vee hulk arvutatakse valemiga:

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

q – drenkihi mahtuvus/dreenkihist äravool;

k – drenkihis oleva materjali filtratsioonimoodul;

S – drenkihi kalle;

H – drenkihi paksus;

L – drenkihi 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. Fraktsioneeritud killustike puhul on efektiivpoorsuseks kogu materjali poorsus

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

Killustikust drenkihist drenitakse välja sinna infiltreerunud 50% veest 2 tunni jooksul, mis vastab seatud nõudele.

3.4. Optimaalse tee konstruktsiooni mulde lahenduse projekteerimise ja ehituse üldised nõuded

Nõuded tulenevad kehtivatest õigusaktidest ja juhenditest:

- 1) Muldkeha tuleb ehitada vastavalt projektile ning kehtivatele õigusaktidele ja Maanteeameti poolt kinnitatud juhenditele.
- 2) Muldkeha ehitamisel on lubatud objektil asuvaid tätepinnaseid kasutada tellija lepingus määratud materjalina. Selleks peab tulenevalt EVS-EN 1997-2 p.2.1.3 eelnevalt olema teostatud geotehniline uuring pinnase kasutamiseks ehitusmaterjalina (tootena), mis annab kasutatavate materjalide kirjelduse ja vajalikud parameetrid st EVS-EN 1997-1 p.5.3.2 peab olema pinnase liik ja omadused määratud EVS-EN 1997-1 3.3.2 tulenevalt. Pinnase liigitamise ja kirjeldamise peab tegema vastavuses standarditega EN ISO 14688-1 ja EN ISO 14688-2.
- 3) Juhul kui drenkiht projekteeritakse, siis drenkihi kandevõime peab olema määratud vastavalt katendi arvutusele. Jämetäitematerjali kasutamisel drenkihis peavad toote omadused olema vähemalt samad kui selle peale kavandatud aluse kihil. Dreenkihi asemel jämetäitematerjalist

alusekihi paksuse suurendamisel peab olema tagatud vee väljaviimine muldkeha külgedelt (nagu tavalisel aluse all oleval drenkihil). Jämetäitematerjali kasutamisel drenkihil peab olema tagatud jämetäitematerjali nõutava tugevusomadusena vähemalt LA35. Pärast drenkihi tihendamist võetud proovis ei tohi lubatud maksimaalne peenosiste sisalduse kvaliteedi kategooria olla suurem kui f₄. Drenkihi või aluse, mis toimib drenkihina, tihendamisel ei ole soovitatav seetõttu kasutada vibrorulli ning tuleb hoolikalt jälgida, et tihendamise käigus ei toimuks täitematerjali purunemist, tihendatud kihil ei tohi lubada liiklust jms.

- 4) Muldkeha projekteerimisel paigaldatav eraldava, filtreeriva ja tugevdava funktsiooniga geotekstiil peab vastama projektis nõutud näitajale koos deklareeritud hälbega, (st. ei kontrollita mitte deklareeritud väärtuse vastavust projekti nõuetele, vaid nõudele peab vastama deklareeritud väärtus koos deklareeritud hälbega) NorGeoSpec 2012 nõuetele ning filtreerimise ja separeerimise funktsiooni puhul täitma kvaliteedispetsifikatsiooni (QPS) lisa A tabeli nr 1. vähemalt 2. spetsifikatsiooniprofiili nõuded.
- 5) Tabelis 7 on teede tähtsuse järgi seatud piirid 30 aasta jooksul toimuvatele vajumitele ja kaldemuutustele. Piirmäärad kehtivad asfaltkatetega (elastsed katted) teedele.

Tabel 7. Tee vajumite ja kaldemuutuste piirmäärad.

Maantee	Max vajum (mm)	Max pikikalde muutus (%)	Max põikkalde muutus (%)
Põhimaantee	300	0,4	1,5
Tugimaantee	400	0,5	1,5
Kõrvalmaantee	500	0,6	2,0

- 6) Muldkeha ja drenkiht tuleb ehitada vastavuses kehtivate „Teetööde tehnilistele kirjeldustega“.
- 7) Ehitamine peab lähtuma projektist. Muldkehas kasutatava täitepinnase või täitematerjali omadused peavad olema vähemalt samaväärsed projektis nõutud omadustega ning tagama katendiarvutuse järgse elastsusmooduli, sisehõordenurga ja nidususe ning filtratsiooni jms nõutavad näitajad.
- 8) Projektis ettenähtud nõuetele vastamiseks võib tellija nõusolekul muldkeha ja drenkihi ehitamiseks objektilt saadavatest pinnastest (s.t. tellijale kuuluv materjal) toota (väärastada sõelumise, pesemise, purustamise, segamine geomeetriliste omaduste parendamiseks vms) projektis ettenähtud EVS-EN 13242 või EVS-EN 13285 vastavat täitematerjali antud kasutuskohas nõutavate põhiomaduste väärtustega. Selle tulemusel võtab töövõtja antud tegevuse tulemusel endale vastutuse täitematerjali nõutavate põhiomaduste eest ning väljastab vastava toimivusdeklaratsiooni

4. Projekteerimismisnormide kohase ja optimaalse tee konstruktsiooni maksumused

1 km tee konstruktsiooni maksumuste arvutamisel ja võrdlemisel on lähtutud järgmistest eeldustest:

- 1) Antud regiooni ehitushangetes kasutatud keskmisi tööde ühikhindasid arvestades materjalide veokaugusi;
- 2) Maksumuste võrdlemisel ei ole arvestatud variantide 30 aasta ekspluatatsiooni kulusid, kuna tee konstruktsiooni hooldamise ja kulumiskihi taastamise meetodid ja kulud on sarnased.

Tabel 8. Projekteerimisnormide kohase tee konstruktsiooni maksumus

Katendikiht	H [cm]	Mööd- ühik	Maht	Ühiku hind, €	Maksumus, €
Killustikmastiksfalt - SMA 16	3+1	m ²	14 000	7,25	101 500,00
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	m ²	14 080	6,00	84 480,00
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	m ²	14 170	5,50	77 935,00
Tardkivikillustik 0/32	15	m ²	14 670	5,00	73 350,00
Paekivikillustik	20	m ²	16 960	4,20	71 232,00
Dreenikiht ($k > 1,0$ m/ööp)	min 20	m ²	18 260	2,80	51 128,00
Peenliiv ($k > 0,2$ m/ööp)	30	m ³	6 474	7,00	45 318,00
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	50	m ³	12 250	7,00	85 750,00
Kokku	150				590 693,00

Tabel 9. Optimaalse tee konstruktsiooni maksumus

Katendikiht	H [cm]	Mööd- ühik	Maht	Ühiku hind, €	Maksumus, €
Killustikmastiksfalt - SMA 16	3+1	m ²	14 000	7,25	101 500,00
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	m ²	14 080	6,00	84 480,00
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	m ²	14 170	5,50	77 935,00
Tardkivikillustik 0/32	15	m ²	14 670	5,00	73 350,00
Paekivikillustik 32/62 kiilumismeetodil	25	m ²	16 960	5,20	88 192,00
Geotekstiil, eraldav	-	m ²	18 260	0,80	14 608,00
Keskliiv ($k > 0,5$ m/ööp)	30	m ³	6 753	7,00	47 271,00
Täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	55	m ³	12 130	7,00	84 910,00
Kohalik täitepinnas ($k > 0,2$ m/ööp)	10	m ³	2 109	2,50	5 272,50
	150			Kokku	577 518,50

Võrreldes projekteerimisnormide kohase tee konstruktsiooniga on optimaalse tee konstruktsiooni maksumus 2,2% väiksem. Väike maksumuse erinevus tuleneb asjaolust, et alates killustikukihtidest tee konstruktsiooni ei ole muudetud ja muldkehas on mõlema variandi puhul kasutatud väiksema filtratsiooni mooduliga materjale.

Optimaalset tee konstruktsiooni oleks võimalik veel optimeerida muldkeha kõrguse arvelt kui on teada oleks Are möödasõidu trassile jäävate aluspinnaste omadused, pinnasevee tase ja veerežiim.

Optimaalseks tee konstruktsiooniks on valitud lahendus, mis on oma eluea jooksul optimaalseimate kuludega, kuna ei nõua erilisi teehoolde ja remondi meetodeid.

5. Kasutatud kirjandus

- 1) „Muldkeha ja dreniiki projekterimise, ehitamise ja remondi juhise“, kinnitatud Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkirjaga nr 0001.
- 2) „Teealade kuivenduse projekterimise juhendist, 2002“ ning „Maaparandussüsteemi projekterimisnormidest“ (põllumajandusministri 17.02.2005 a määrus nr 18)
- 3) Muldkehades ja dreniiktides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega (töövõtuleping nr 15-00248/003), Lõpparuanne

Error! Reference source not found.- **Projekteerimismismnormide kohase tee konstruksiooni katendi arvutus**

KATENDI ARVUTUS
Juhendi 2001-52 näide nr. 1

Koormussagedus: 733,47 normtelge ööp/rajale

Maantee klass: 2

Teekatendi liik: Püskatend

Lisainfo:

Tugevustegur: 1,00

Töökindlustegur: 0,95

Normhällbetegur 1,71

Pinnas: kerge liivsavi, raske liivsavi, savid

Niiskuspaikkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

L1.T3 p5; +0,03=0,03

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Erisurve kattele: 0,6 MPa

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK											Mitteprinditavad väärtused		
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	Asfaltbetooni tõmbetugevus R	Materjali-tegur	Materjali soojus-ekvivalent
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	K3	Mpa		
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500						2,8	1	1,15
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600						2,4	1	1,15
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	1,0270	1,3938				1,6	1	1,22
4	Killustik (graniit või lubjakivi)	35,0	280									1	1,07
5	Keskliiv	20,0	120					40,0	0,006	6,0		1	0,87
6	Peenliiv	30,0	100					38,0	0,005	5,0		1	0,89
ALUS	kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		25,9					11,4	0,009	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			2,3%	265,89	255,00	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0					265,89		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					251,49		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			24,3%	207,13		
4	Killustik (graniit või lubjakivi)	35,0					158,12		
5	Keskliiv	20,0	Nihkepinged	0,0059	0,0179	65,0%	73,62		
6	Peenliiv	30,0	Nihkepinged	0,0005	0,0124	93,6%	52,16		
	kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0064	0,0067	2,0%			0,839
	Katendi kogupaksus	100,0					Parandustegur Δ		0,028

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	99
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	3,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	1,9
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	52,1%

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

Lisa 2 - Optimaalse tee konstruktsiooni katendi arvutus

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2001-52 näide nr. 1

Koormussagedus: 733,47 normtelge ööp/rajale

Maantee klass: 2

Teekatendi liik: Püsikatend

Tugevustegur: 1,00

Töökindlustegur: 0,95

Normhälbetegur 1,71

Pinnas: kerge liivsavi, raske liivsavi, savid

Niiskuspakkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

L1.T3 p5; +0,03=0,03

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Erisurve kattele: 0,6 MPa

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

Lisainfo:

ARVUTUSE KÄIK

Mitteprinditavad väärtused

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 K_3	Asfaltbetooni tõmbetugevus R	Materjali-tegur	Materjali soojus-ekvivalent
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C		Mpa		
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500						2,8	1	1,15
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600						2,4	1	1,15
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	1,0252	1,3938				1,6	1	1,22
4	Killustik (graniit või lubjakivi)	40,0	280									1	1,07
5	Keskliiv	30,0	120					40,0	0,006	6,0		1	0,87
6	Jäme kerge saviliiv	15,0	65					40,0	0,005	3,0		1	0,98
ALUS	kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		25,9					11,4	0,009	1,5			

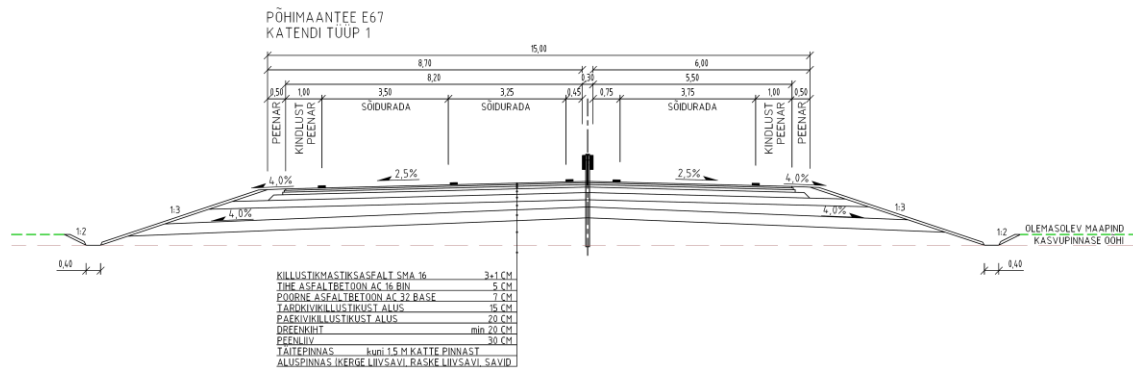
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsusmoodul Mpa	Vajalik elastsusmoodul MPa
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %		
				t _{arv}	t _{lub}			
			Üldine elastsusmoodul			2,6%	266,67	255,00
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0					266,67	
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					252,14	
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			24,4%	207,74	
4	Killustik (graniit või lubjakivi)	40,0					158,70	
5	Keskliiv	30,0	Nihkepinged	0,0038	0,0179	76,8%	66,96	
6	Jäme kerge saviliiv	15,0	Nihkepinged	-0,0031	0,0074	139,5%	34,90	
	kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0064	0,0067	2,9%		
	Katendi kogupaksus	100,0					Parandustegur Δ	

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	101
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	3,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	1,8
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	55,9%

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

Lisa 3 - Projekterimisnormide kohase tee konstruktsiooni ristprofiil

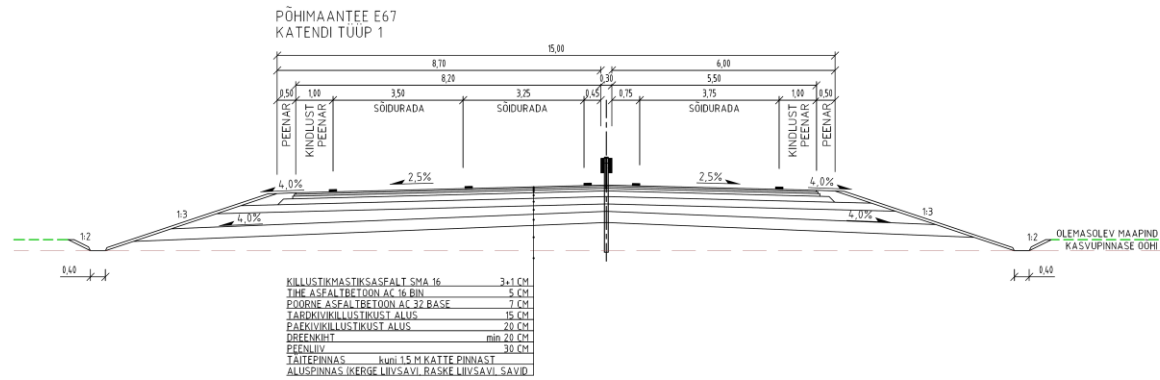


	H [cm]	MAHT	MÖÖTÜHIK
Killustikmastiksaasfalt - SMA 16	3+1	14 000	m ²
Tihhe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	14 080	m ²
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	14 170	m ²
Tardkivikillustik	15	14 670	m ²
Paeikivikillustik	20	16 960	m ²
Dreenkiht (k>0,10 m/ööp)	min 20	18 260	m ²
		5 320	m ²
Peentliv (k>0,2 m/ööp)	30	6 474	m ²
Täiepinnas (k>0,2 m/ööp) kuni 1,5 m katte pinnast		12 250	m ²

Muudatus	Tegija	Kuuplev	Sisu
----------	--------	---------	------

Projekt Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamine I etapp			
Joonise nimetus Tüüpistprofiilid Katendi tüüp 1			
Projekteerija 		Skepast&Puhkim OU Laiu 34 12915 Tallinn Eesti Tel +372 664 5808 info@skpk.ee	Tellija  MAANTEETARBE Pärnu mnt463a 10916 Tallinn Eesti Tel +372 611 9300 info@mnt.ee
Projekti juht Peeter Skepast	Insener Inna Romandi	Staadium Kuuplev 31.08.2016	Mõõtkava 1:100 Projekti nr 2016-0053 Joonise nr 100R0401

Lisa 4 – Optimaalse tee konstruksiooni ristprofiil



	H [cm]	MAHT	MÖÖTÜHIK
Killustikmastiksasfalt - SMA 16	3+1	14 000	m ²
Tihe kuum asfaltbetoon - AC 16 bin	5	14 080	m ²
Kuum poorne asfaltbetoon - AC 32 base	7	14 170	m ²
Tärdkivikillustik	15	14 670	m ²
Paekivikillustik	20	16 960	m ²
Dreenkiht (k>1,0 m/ööp)	min 20	18 260	m ²
Peenliiv (k>0,2 m/ööp)	30	6 474	m ²
Täitepinnas (k>0,2 m/ööp) kuni 1,5 m katte pinnast		12 250	m ²

Muudatus	Tegija	Kuupäev	Sisu
Projekt Optimaalse tee konstruksiooni koostamise metoodika väljatöötamine I etapp			
Joonise nimetus Tüüpristprofiilid Katendi tüüp 1			
Projekteerija	Skepast&Puhkim OU Laki 34 12915 Tallinn Eesti Tel +372 664 5808 info@skpk.ee	Tellija	Maanteeamet Pärnu mnt463a 10916 Tallinn Eesti Tel +372 611 9300 info@mnt.ee
Projekti juht	Peeter Škepast	Stadium	Möötkava
Insaener	Inna Romandi	Kuupäev	1:100
		31.08.2016	Projekti nr 2016-0053
			Joonise nr 100R0401