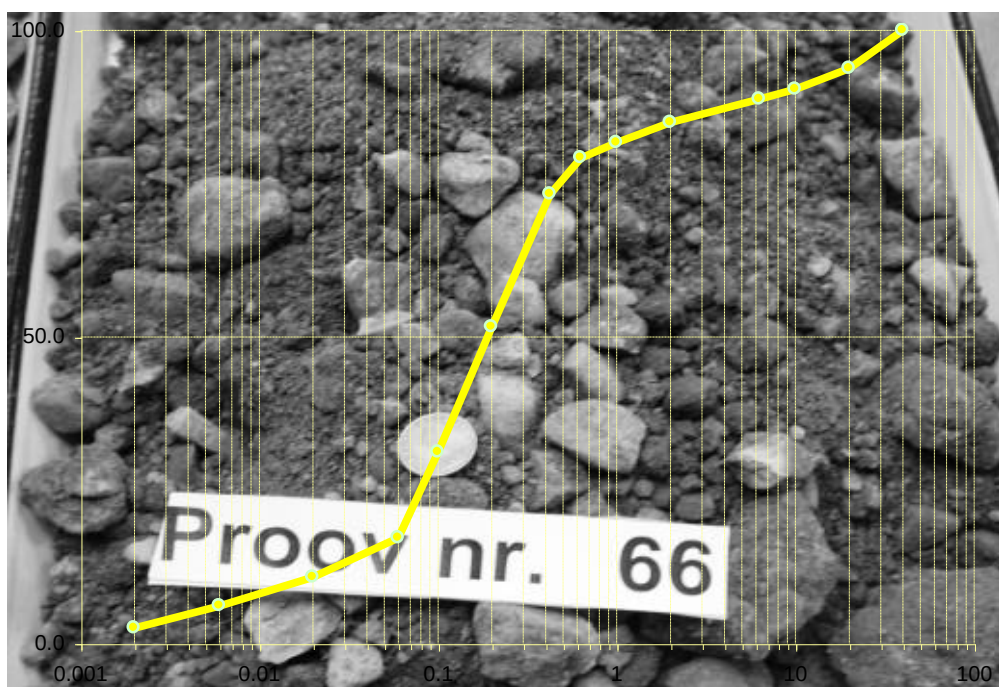


Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile

Ühtlaseteralise liiva ($C_U < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid



2014



MAANTEEAMET

Tallinn 2014

Teadustöö klass 2.8

TEADUSTÖÖ Lep14003

**ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI PINNASTE
KLASSIFIKATSIOONI KOHANDAMINE EVS-EN ISO 14688-1 JA 2
KLASSIFIKATSIOONILE**

**ÜHTLASETERALISE LIIVA ($C_u < 3$) GEOTEHNILISI OMADUSI MÕJUTAVAD
TEGURID**

LÕPPARUANNE

26. september 2014

Tellija: MAANTEEAMET

Lepingu vastutav täitja: prof. Andrus Aavik

Tallinn 2014

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI PINNASTE KLASSIFIKATSIOONI KOHANDAMINE EVS-EN ISO 14688-1 JA 2 KLASSIFIKATSIOONILE

ÜHTLASETERALISE LIIVA ($C_u < 3$) GEOTEHNILISI OMADUSI MÕJUTAVAD TEGURID

Käesolev teadustöö Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile. Ühtlaseteralise liiva ($C_u < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid on koostatud 27.12.2013.a. Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel sõlmitud teadus- ja arendustöö lepingu Lep14003 alusel.

Teadustöö lõpparuande koostasid:

I OSA: Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile:

1. Professor Andrus Aavik, PhD, TTÜ teedeinstituut – lepingu vastutav täitja, ptk. 1 (p.1.1, 1.2, 1.3);
2. Lektor Ain Kendra, TTÜ teedeinstituut, Ramboll Eesti AS vanemkonsultant – lepingu täitja, ptk. 1 (p.1.4), ptk. 2, 3, 4, 5, 6, 7;
3. Peeter Talviste, PhD, IPT Projektijuhtimine OÜ juhataja – lepingu täitja, ptk. 1 (p.1.3, 1.4), ptk. 2.

II OSA: Ühtlaseteralise liiva ($C_u < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid (IPT Projektijuhtimine OÜ):

1. Peeter Talviste, PhD – laborikatsete analüüs, aruande koostamine;
2. Anette Talpsepp, PhD – aruande koostamine;
3. Ann Parbo – liivpinnaste andmebaasi koostamine.

SISUKORD

LK

	TEADUSTÖÖ TEHNILINE KIRJELDUS	6
	I OSA	
	ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI PINNASTE KLASSIFIKATSIOONI KOHANDAMINE EVS-EN ISO 14688-1 JA 2 KLASSIFIKATSIOONILE	
1.	EVS-EN ISO 14688-1 JA -2 NING JUHENDI 2001-52 PINNASTE KLASSIFIKATSIOONIDE VASTAVUS	8
1.1.	EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 pinnaste klassifikatsioon	9
1.2.	Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 pinnaste klassifikatsioon	14
1.3.	EN ISO 14688-1 ja 2 peenpinnaste vastavus GOST 25100-95 ja Juhendi 2001-52 klassifikatsioonile	17
1.3.1.	<i>Pinnaste jaotus</i>	17
1.3.2.	<i>Plastsusnäitajate võrdlus</i>	22
1.3.3.	<i>Seos Vassiljevi koonusega ja Rootsi koonusega määratud peenpinnaste plastsusnäitajate vahel</i>	28
1.3.4.	<i>Voolavuspiiri määramine Rootsi koonusaparaadiga: katsemetoodika ja katseseadme kirjeldused</i>	29
1.4.	EN ISO 14688-1 ja 2 jämepinnaste vastavus GOST 25100-95 ja Juhendi 2001-52 klassifikatsioonile	32
1.4.1.	<i>Jämepinnaste liigitus</i>	33
1.4.2.	<i>Jämepinnaste valim ja arvutusparameetrid</i>	35
1.4.3.	<i>BCH 46-83 jämepinnaste nomogrammi (mitmesugused savisisaldusega moreenid) analüüs ja ettepanek</i>	35
2.	JUHENDI 2001-52 KÜLMAKINDLUSARVUTUSE KORREKTUUR	37
2.1.	Pinnasetegur B Juhendi 2001-52 tabelis T15.1	37
2.2.	Täiendavad märkused ja parandused külmakindlusarvutuses	39
3.	MAANTEEAMETI KÄSKKIRJADEGA SISSE VIIDUD MUUDATUSED JUHENDIS 2001-52	41
4.	MAANTEEDE PROJEKTEERIMISNORMIDES REGULEERITUD KATENDI TEEMAD	42
5.	PERSPEKTIIVNE LIIKLUSKOORMUS	44
6.	KATENDI DIMENSIONEERIMISE ARVUTUSNÄITED EVS-EN ISO 14688 PINNASENIMETUSTEGA	45
7.	TÜÜPKATENDID KOHALIKELE OMAVALITSUSTELE	54
	Näidiskatendid maanteele ja kohalikele teedele	54
	Üldnõuded katendi konstrueerimisele	54
	Kandevõime nõuded ja nende kontrollimine	54
	Nõuded dreenikihile (filtratsioon)	55
	Kulumisvaru	55
	Kihipaksused.....	55
	Koormused riigimaanteedel 2013 andmetel (perspektiiv 2035).....	57
	Katendid riigimaanteedele	59
	I klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) Emin = 240 MPa; Evaj = 299 MPa	59
	II klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) Emin = 220 MPa, Evaj = 288 MPa	60
	III klassi maantee püsikate (tööiga 20a) Emin = 180 MPa, Evaj = 256 MPa	60
	IV, V ja VI klassi maantee.....	61

	Näidiskatendid kohalikele teedele	62
	Tüüp 1 – Jalgteed, jalgrattateed	62
	Tüüp 2 – Eramute mahasõidud ja sõiduautode parklad	62
	Tüüp 3 – Elurajoonide kvartali siseteed ühistranspordita.....	62
	Tüüp 4 – Bussipeatus (kuni 20 bussi ööpäevas).....	62
	Tüüp 5 – Kohalikud teed (kuni 300 autot ööpäevas).....	63
	Tüüp 6 – Kohalikud teed (300-800 autot ööpäevas)	63
	Tüüp 7 – Kohalikud teed (800-1500 autot ööpäevas)	63
	Tüüp 8 – Kruusateed.....	63
	Lisa 1 Erineva klassi maantee tüüpkonstruktsioonid erinevate aluspinnaste puhul	64
	KOKKUVÕTE	71
	II OSA	
	ÜHTLASETERALISE LIIVA ($C_u < 3$) GEOTEHNILISI OMADUSI MÕJUTAVAD TEGURID	72
1.	ÜLDOSA	75
1.1.	Sissejuhatus	75
1.2.	Töö eesmärgid	75
1.3.	Tellija	75
1.4.	Töörühm	75
2.	LÕIMISTETEGURI MÕJU PINNASE TUGEVUSELE (SISEHÕÖRDENURGALE)	76
2.1.	Teoreetiline ülevaade	76
2.2.	Eesti liivpinnaste nihketugevuste määrangute analüüs	81
3.	LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE	84
3.1.	Teoreetiline ülevaade	84
3.2.	Tihedus ja kokkusurutavus	85
3.3.	Tihendatavaus vibromeetodil	86
3.4.	Tiheduse kontrolli meetodid	88
3.5.	Kokkuvõte	89
4.	SOOVITUSED	91
5.	KASUTATUD MATERJALID	92
5.1.	Kirjandusallikad	92
5.2.	Aruanded liivade laborikatsetega	93

TEADUSTÖÖ TEHNILINE KIRJELDUS

1. Üldist

Probleemistiku ja teema lühike kirjeldus:

- Eestis kasutatav Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52 põhineb NSVL Transpordiehituse Ministeeriumi ametkondlikul juhendil BCH 46-83. Mõlemas juhendis kasutatakse pinnaste klassifitseerimise alusena GOST 25100-82. Viimast asendab Vene Föderatsioonis praegu GOST 25100-95, mis erineb vähe 1982.a standardist. Liivad ja kruusad jaotatakse terakoostise järgi ja seotud pinnased terakoostise ja plastsusarvu järgi.
- Eesti kohustus EL liitumisel seadusandluse harmoneerima, teede projekteerimine on veel viimaseid valdkondi kus kasutatakse vene normatiividel põhinevaid süsteeme.
- Teede- ja sideministri 28.09.1999.a. määruses nr 55 Tee projekteerimise normid ja nõuded (RTL 2000, 23, 303; 2004, 65, 1088) on pinnaseliigituse aluseks võetud EPN-ENV 7.1 LISA 9. 2005.aastal korrigeeritud Tee projekteerimise normide ja nõuete pinnaseliigituse aluseks olnud euronormid EN ISO 14688-1:2002 ja prEN ISO 14688-2 on tänasel päeval kehtestatud Eesti standarditena EVS-EN ISO 14688-1:2003 Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1: Identifitseerimine ja kirjeldamine ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 2: Liigituspõhimõtted.
- EVS-EN ISO 14688-1 kehtestab koos standardiga EVS-EN ISO 14688-2 aluspõhimõtted pinnaste identifitseerimiseks ja liigitamiseks nende materjali- ja massiomaduste alusel, mida inseneriasjanduses kõige sagedamini kasutatakse. Standard EVS-EN ISO 14688-1 käsitleb pinnase identifitseerimist ja kirjeldamist. EVS-EN ISO 14688-2 kehtestatud liigituspõhimõtted võimaldavad pinnast rühmitada sarnase koostise ja geotehniliste omadustega klassidesse ning ka geotehnilise ehitusotstarbe järgi, nagu näiteks: vundamendid, pinnase parendamine, teed, mulded, paisud ja kuivendussüsteemid.
- Kaljupinnaste identifitseerimist ja kirjeldamist käsitleb standard EVS-EN ISO 14689-1. Standardid EVS-EN ISO 14688-1, EVS-EN ISO 14688-2 ja EVS-EN ISO 14689-1 moodustavad koos standardite grupi, mis võimaldavad teostada loodusliku pinnase klassifitseerimise.
- EPN-ENV 7.1 Lisas 9 ja EVS-EN ISO 14688 standardites toimub pinnaste klassifitseerimine ainult lähtudes terakoostisest, Juhendis 2001-52 aga vastavalt GOST 25100-95 on kruusad ja liivad klassifitseeritud terakoostise alusel ning peenpinnased veel täiendavalt arvestades plastsusarvu, mis on määratud Vassiljevi koonusega. Samas ka terakoostise alusel pinnaste klassifitseerimine EVS-EN ISO ja GOST- järgi ei ole samane. Seega ei ole võimalik katendiarvutuses Juhendi 2001-52 alusel võimalik otse kasutada Eesti standardiga kehtestatud pinnaste klassifikatsiooni.
- Seetõttu osutus vajalikuks EVS-EN ISO ja GOST-i järgselt määratud pinnasetüüpidevahelise seose määramine. 2003-2004 teostati Maanteeameti tellimisel vastav uuring (2003/68L, Maanteeamet, 2004). Lisaks on pinnaste klassifitseerimise erisusi käsitletud põhjalikumalt ka Maanteeameti 2006. aasta uuringus (2006/12L, Maanteeamet, 2006). Mõlema uuringu tulemused pinnaste osas on siiani praktilisse kasutusse võtmata.

- Lisaks EVS-EN ISO järgsele terastikulise koostise alusel pinnaste klassifitseerimisele osutub vajalikuks ka nende pinnaste plastsusarvu määramine selleks, et neid oleks võimalik ka klassifitseerida vastavalt GOST-ile ehk Juhendile 2001-52 ja määrata neile selle alusel tugevuskarakteristikud ning teostada katendiarvutus.
- Juhendis 2001-52 kasutatav GOSTi-põhine peenpinnaste plastsuse hindamise meetod (Vassiljevi koonus) on suure ebatäpsusega laboratoorne katse, mille tulemus sõltub suuresti laborandist (subjektiivne), mistõttu on otstarbekas asendada see täpsema ja objektiivsema katsemeetodiga – rootsi koonuse katsega.

2. Eesmärk

Uurimistöö eesmärgiks on:

- Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 pinnaste klassifikatsiooni muutmine vastavaks EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 pinnaste klassifikatsioonile.

3. Uurimistöö sisu

- Koostada peenpinnaste GOST 25100-95 ja EVS-EN ISO 14688-1 klassifikatsioonide vastavuse tabel, mis võimaldaks grupeerida EVS-EN ISO pinnased juhendis 2001-52 kasutatavatesse pinnasegruppidesse A₁, B₁, C₁, D₁ (tabelid L1.T2, L1.T5). Pinnaste plastsuse hindamine toimub rootsi koonuse katsetulemuste alusel.
- Määrata EVS-EN ISO 14688 jäme- ja peenpinnastele arvutusparameetrid (elastsusmoodul, niidus ja sisehõõrdenurk) asendamaks 2001-52 juhendi tabelis L2.T2 esitatud GOST 25100-95 jäme- ja peenpinnaseid.
- Analüüsida BCH 46-83 nomogrammi (joonis 9) ja lisada juhendisse jäme- ja peenpinnased, mis puuduvad tabelist L2.T2 (mitmesugused savisisaldusega moreenid).
- Korrigeerida juhendi 2001-52 külmakindlusarvutuse tabelit T15.1 Pinnasetegur, viies pinnaste nimetused vastavusse EVS-EN ISO 14688-1 klassifikatsiooniga.
- Täiendada ja korrigeerida juhendi 2001-52 algusosa üldiste katendi konstrueerimise reeglitega ning lisada juhendisse 2001-52 Maanteeameti käskkirjadega kehtestatud nimetatud juhendi muudatused.
- Aruande lõpus esitada min 6 arvutusnäidet erinevate uute pinnaseniimetustega.
- Korrigeerida olemasolevaid tüüpkatendeid kohalikele omavalitsustele ja lisada juhendile 2001-52 LISA Tüüpkatendid.
- Viia eeltoodud punktides nimetatud muudatused digitaalselt sisse Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 dokumenti.

1. EVS-EN ISO 14688-1 JA -2 NING JUHENDI 2001-52 PINNASTE KLASSIFIKATSIOONIDE VASTAVUS

Tee projekteerimise normide ja nõuete pinnaseliigituse aluseks olnud euronormid EN ISO 14688-1:2002 ja prEN ISO 14688-2 on tänasel päeval kehtestatud Eesti standarditena EVS-EN ISO 14688-1:2003 (Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1: Identifitseerimine ja kirjeldamine) ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 (Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 2: Liigituspõhimõtted). EVS-EN ISO 14688-1 kehtestab koos standardiga EVS-EN ISO 14688-2 aluspõhimõtted pinnaste identifitseerimiseks ja liigitamiseks nende materjali- ja massiomaduste alusel. Standard EVS-EN ISO 14688-1 käsitleb pinnase identifitseerimist ja kirjeldamist. EVS-EN ISO 14688-2 kehtestatud liigituspõhimõtted võimaldavad pinnast rühmitada sarnase koostise ja geotehniliste omadustega klassidesse ning ka geotehnilise ehitusotstarbe järgi, nagu näiteks vundamendid, pinnase parendamine, teed, mulded, paisud ja kuivendussüsteemid.

Kaljupinnaste identifitseerimist ja kirjeldamist käsitleb standard EVS-EN ISO 14689-1. Standardid EVS-EN ISO 14688-1, EVS-EN ISO 14688-2 ja EVS-EN ISO 14689-1 moodustavad koos standardite grupi, mis võimaldavad teostada loodusliku pinnase klassifitseerimise.

EPN-ENV 7.1 Lisas 9 ja EVS-EN ISO 14688 standardites toimub pinnaste klassifitseerimine ainult lähtudes terakoostisest, Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 (edaspidi Juhend 2001-52) aga vastavalt GOST 25100-95-le on kruusad ja liivad klassifitseeritud terakoostise alusel ning peenpinnased veel täiendavalt arvestades plastsusarvu, mis on määratud Vassiljevi koonusega. Samas ka terakoostise alusel pinnaste klassifitseerimine EVS-EN ISO ja GOST-i järgi ei ole samane. Seega ei ole võimalik katendarvutuses Juhendi 2001-52 alusel võimalik otse kasutada Eesti standardiga kehtestatud pinnaste klassifikatsiooni.

Seetõttu osutus vajalikuks EVS-EN ISO ja GOST-i järgselt määratud pinnasetüüpidevahelise seose määramine. 2003-2004 teostati Maanteeameti tellimusel vastav uuring (2003/68L, Maanteeamet, 2004). Lisaks on pinnaste klassifitseerimise erisusi käsitletud põhjalikumalt ka Maanteeameti 2006. aasta uuringus (2006/12L, Maanteeamet, 2006). Mõlema uuringu tulemused pinnaste osas on siiani praktilisse kasutusse võtmata.

Lisaks EVS-EN ISO järgsele terastikulise koostise alusel peenpinnaste klassifitseerimisele osutub vajalikuks ka nende pinnaste plastsusarvu määramine selleks, et neid oleks võimalik klassifitseerida vastavalt GOST-ile ehk Juhendile 2001-52 ja määrata neile selle alusel tugevuskarakteristikud ning teostada katendarvutus. Juhendis 2001-52 kasutatav GOST-i põhine peenpinnaste plastsuse hindamise meetod (Vassiljevi koonus) on suure ebatäpsusega laboratoorne katse, mille tulemus sõltub suuresti laborandist (subjektiivne), mistõttu on otstarbekas asendada see täpsema ja objektiivsema katsemeetodiga – Rootsi koonuse katsega.

Järgnevalt on kõigepealt uuesti tutvustatud Maanteeameti uuringute 2003/68L (Maanteeamet, 2004) ja 2006/12L (Maanteeamet, 2006) tulemusi. Kuna nimetatud uuringutes seoti peenpinnaste plastsus plastsusarvuga määratuna Casagrande meetodil siis, lähtudes käesoleva uuringu Tehnilises kirjelduses püstitatud ülesandest, asendatakse Casagrande meetod peenpinnaste plastsuse määramisel Rootsi koonuse katsemeetodiga.

Lisaks määratakse EVS-EN ISO 14688 jäme- ja peenpinnastele arvutusparameetrid (elastsusmoodul, niidus ja sisehõõrdenurk) asendamaks Juhendis 2001-52 esitatud GOST-i 25100-95 jäme- ja peenpinnaste arvutusparameetreid ning lisatakse Juhendisse 2001-52 jäme- ja peenpinnased, mis sealt seni puuduvad (mitmesugused savisisaldusega moreenid).

1.1. EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 pinnaste klassifikatsioon

EVS-EN ISO 14688-1:2003 alusel jagunevad pinnased fraktsioonideks tera suuruse järgi (tabel 1.1).

Tabel 1.1 Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks terasuuruse järgi

Fraktsioon	Alafraktsioon	Rahvus-vaheline tähis	Osakeste suurus, mm
Väga jäme pinnas	Suured rahnud	LBo	>630
	Rahnud	Bo	>200 kuni 630
	Veerised	Co	63 kuni 200
Jäme pinnas	Kruus s.h.	Gr	>2 kuni 63
	Jämekruus	CGr	20 kuni 63
	Keskkruus	MGr	6,3 kuni 20
	Peenkruus	FGr	2 kuni 6,3
	Liiv s.h.	Sa	>0,063 kuni 2
	Jämeliiv	CSa	0,63 kuni 2
	Keskliiv	MSa	0,2 kuni 0,63
	Peenliiv	FSa	0,063 kuni 0,2
Peenpinnas	Möll s.h.	Si	>0,002 kuni 0,063
	Jämemöll	CSi	0,02 kuni 0,063
	Keskmöll	MSi	0,0063 kuni 0,02
	Peenmöll	FSi	0,002 kuni 0,0063
	Savi	Cl	≤0,002

Olulised on fraktsiooni rahvusvahelised nimetused ja nende lühendid: Boulder (Bo), Cobble (Co), Gravel (Gr), Sand (Sa), Silt (Si), Clay (Cl). Terasuuruse lühend peab olema suure tähega: L - Large, C - Coarse, M - Medium, F - Fine.

Enamasti on pinnaste puhul tegemist erinevate terasuuruste kombinatsiooniga. Sellisel juhul tähistatakse põhifraktsioon nimisõnaga ja teine väikse tähega tähistatud omadussõnaga. Näiteks sandy clay = saCl - liivane savi, gravelly coarse silt = grCSi - kruusane jämemöll, coarse gravelly coarse silt = cgrCSi - jämekruusane jämemöll. Kui kaks fraktsiooni on esindatud ligikaudu võrdsel määral, tähistatakse need kaldkriipsuga eraldatud suurte tähtedega. Näiteks fine gravel/sand = FGr/Sa - peenkruus/liiv.

Pinnased milles on veeriseid ja rahne alla 40% jagunevad jämeteralisteks ja peeneteralisteks pinnasteks, mis liigitatakse terakoostise, loodusliku oleku ja orgaaniliste ainete sisalduse järgi. Otse sellist tabelit EVS-EN standardites ei ole, kuid seal olevad nõuded on paigutatud tabelisse 1.2.

Tabel 1.2 Pinnaste liigitus EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 alusel

Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosise -sisaldus <0,063mm %	Savi sisaldus peenosises <0.002/<0.063 mm %	Tähis
Jämeda- teraline pinnas (jämepepinna) <0,063mm ≤ 40%	Kruuspinna 2-63mm >50% jämefraktsioonist	Kruus	<5		Gr
		Möllikas kruus	5-15	<20	Gr
		Savikas kruus		≥20	Gr
		Mölline kruus	>15-40	<20	siGr
		Savine kruus		≥20	clGr
	Liivpinna 0,063-2mm >50% jämefraktsioonist	Liiv	<5		Sa
		Möllikas liiv	5-15	<20	Sa
		Savikas liiv		≥20	Sa
		Mölline liiv	>15-40	<20	siSa
		Savine liiv		≥20	clSa
Peene-teraline pinnas (Peenpinna) <0,063mm >40%	Möllpinna <0,002/<0,063mm ≤ 20% peenfraktsioonist	Möll	>40	<10	Si
		Savimöll		10-20	clSi
	Savipinna <0,002/<0,06mm >20% peenfraktsioonist	Möllsavi		>20-40	siCl
		Savi		>40	Cl

Märkused:

1. Alaliigi põhinimetuste «kruus», «liiv», «möll» ette võib lisada enamesineva alafraktsiooni nimetuse (jäme-, kesk-, peen-), nt peenliiv, savikas jämeliiv, mölline peenliiv.
2. Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses: >20 kuni 40 % <63 mm mõõduga teri kogumassist– lisatakse täiendsõna «kruusane» või «liivane», nt liivane savimöll, kruusane mölline liiv.
3. Jämedateralist pinnast võib jaotada lõimiseteguri $C_U = d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_C = d_{30}^2/(d_{10}d_{60})$ järgi:

Väga ebaühtlane	$C_U \geq 15$	$1 < C_C < 3$
Ebaühtlane	$C_U = 6$ kuni 15	$C_C < 1$
Ühtlane	$C_U =$ kuni 6	$C_C < 1$
Katkev	Tavaliselt suur	Mistahes (tavaliselt <0,5)

Peenpinnast ja jämedateralise pinnase osakesi, väiksemad kui 0,425 mm, jaotatakse plastsusomaduste järgi Casagrande meetodil (tabel 1.3).

Pinnase voolavuspiir on veesisaldus, mille juures pinnas muutub plastsest voolavaks. Savi olekud on kõva, poolkõva, plastne ja voolav. Voolavuspiir määratakse Casagrande meetodil, mis seisneb teatud niiskusega pinnase koputamises kuni vajub kinni sinna tõmmatud standardne vagu. Katset tehakse vähemalt kahe niiskussisaldusega ja graafikult leitakse

niiskus, mille puhul tuleks koputada 25 korda. See ongi voolavuspiir. Ligikaudu võib voolavuspiiri arvutada seosega

$$w_L = w_N \cdot (N/25)^{0,121}, \quad (1.1)$$

kus N on löökide hulk, kui niiskusesisaldus oli w_N .

Üleminekut poolkõvast olekust kõvasse tähistab plastsuspiir (rullpiir). Niiskest peenpinnasest rullitakse umbes 3 mm jämedusi rullikesi, kuni tekivad 3 mm paksused ja 8-10 mm pikkused tünnikesed. Sel hetkel määratud niiskuse sisaldus on plastsuspiir w_P . Voolavuspiiri ja plastsuspiiri vahet nimetatakse plastsusindeksiks või plastsusarvuks:

$$I_P = w_L - w_P. \quad (1.2)$$

Voolavusarv (I_L) ja konsistentsarv (I_C) iseloomustab pinnase plastsust mingil niiskussisaldusel w ja arvutatakse

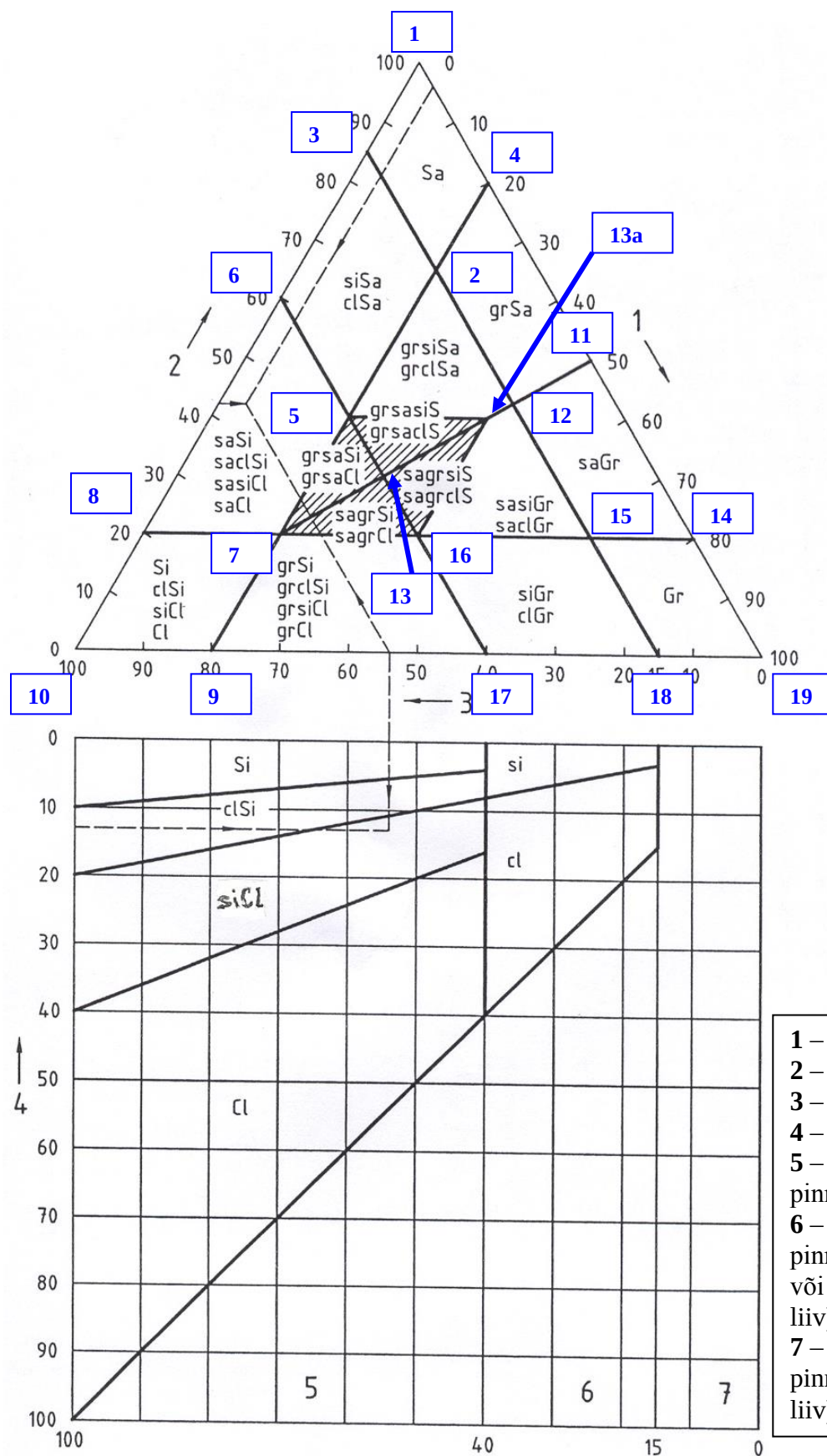
$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} = \frac{w - w_P}{w_L - w_P}; \quad (1.3)$$

$$I_C = \frac{w_L - w}{I_P} = \frac{w_L - w}{w_L - w_P}. \quad (1.4)$$

Tabel 1.3 Pinnaste jagunemine voolavuspiiri, plastsusarvu ja konsistentsarvu järgi

Nimetus	Voolavuspiir w_L , %	Plastsusarv I_P (Casagrande)	Nimetus	Konsistentsarv I_C
Mitteplastne		<12	Väga jäik	>1
Väheplastne	<30	12 kuni 25	Jäik	0,75 kuni 1
Keskplastne	30 kuni 50	25 kuni 40	Tahke	0,5 kuni 0,75
Üliplastne	>50	>40	Pehme	0,25 kuni 0,5
			Väga pehme	<0,25

Standardis EVS-EN ISO 14688-1:2003 on pinnase klassifitseerimise alusena esitatud kolmnurkdiagramm, kus on kõikvõimalike pinnasekombinatsioonide nimetused. Selles on arvestatud terakoostist, kuid mitte omadusi (joonis 1.1). Lähtudes nimetatud kolmnurkdiagrammist saab EVS-EN ISO 14688-1 ja EVS-EN ISO 14688-2 alusel terakoostisele põhinedes kombineerida 32 erinevat pinnasetüübi välja (tabel 1.4).



Joonis 1.1. Pinnaste klassifitseerimine vastavalt kruusa, liiva ja mölli/savi sisaldusele (EVS-EN ISO 14688-1:2003)

Tabel 1.4 Pinnaste klassifitseerimine vastavalt kruusa, liiva ja mölli/savi sisaldusele

Pinnase tüüp		Välja nurga- punkti/ Proovi nr.	Fraktsiooni sisaldus, %		
			Kruus, Gr 2-63	Liiv, Sa 0,063-2	Möll ja Savi, Si ja Cl <0,063
Liivane möll Liivane savimöll Liivane möllsavi Liivane savi	saSi sacSi sasiCl saCl	Väli	0-20	20-60	40-80
		5	20	40	40
		6	0	60	40
		7	20	20	60
		8	0	20	80
(Rohke) kruusaga liivane möll (Rohke) kruusaga liivane savi	grsaSi grsaCl	Väli	20-30	20-40	40-60
		5	20	40	40
		7	20	20	60
		13	30	30	40
(Rohke) liivaga kruusane möll (Rohke) liivaga kruusane savi	sagrSi sagrCl	Väli	20-40	20-30	40-60
		7	20	20	60
		13	30	30	40
		16	40	20	40
Möll Savimöll Möllsavi Savi	Si clSi siCl Cl	Väli	0-20	0-20	60-100
		7	20	20	60
		8	0	20	80
		9	20	0	80
		10	0	0	100
Kruusane möll Kruusane savimöll Kruusane möllsavi Kruusane savi	grSi grclSi grsiCl grCl	Väli	20-60	0-30	40-80
		7	20	20	60
		9	20	0	80
		13	30	30	40
		16	40	20	40
		17	60	0	40
Liiv	Sa	Väli	0-20	65-100	0-15
		1	0	100	0
		2	20	65	15
		3	0	85	15
		4	20	80	0
Mölline liiv Savine liiv	siSa clSa	Väli	0-20	40-60	15-40
		2	20	65	15
		3	0	85	15
		5	20	40	40
		6	0	60	40
Kruusane liiv	grSa	Väli	20-50	42,5-80	0-15
		2	20	65	15
		4	20	80	0
		11	50	50	0
		12	42,5	42,5	15
(Rohke) kruusaga mölline liiv (Rohke) kruusaga savine liiv	grsiSa grclSa	Väli	20-42,5	40-65	15-40
		2	20	65	15
		5	20	40	40
		12	42,5	42,5	15
		13a	40	40	20
Liivane kruus	saGr	Väli	42,5-80	20-50	0-15
		11	50	50	0
		12	42,5	42,5	15
		14	80	20	0
		15	65	20	15

Pinnase tüüp			Gr, %	Sa, %	Si ja Cl, %
(Rohke) liivaga mölline kruus (Rohke) liivaga savine kruus	sasiGr sacIGr	Väli	40-65	20-42,5	15-40
		12	42,5	42,5	15
		13a	40	40	20
		15	65	20	15
		16	40	20	40
Mölline kruus Savine kruus	siGr clGr	Väli	40-85	0-20	15-40
		15	65	20	15
		16	40	20	40
		17	60	0	40
		18	85	0	15
Kruus	Gr	Väli	65-100	0-20	0-15
		14	80	20	0
		15	65	20	15
		18	85	0	15
		19	100	0	0
(Rohke) kruusaga liivane mölline pinnas (Rohke) kruusaga liivane savine pinnas	grsasiS	Väli	30-85	0-40	15-40
		5	85	0	15
	grsacIS	13	30	30	40
		13a	40	40	20
(Rohke) liivaga kruusane mölline pinnas (Rohke) liivaga kruusane savine pinnas	sagrsiS	Väli	30-40	20-40	20-40
		13	30	30	40
	sagrclS	16	40	20	40
		13a	40	40	20

1.2. Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 pinnaste klassifikatsioon

Eestis kasutatav Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52 põhineb NSVL Transpordiehituse Ministeeriumi ametkondlikul juhendil BCH 46-83. Mõlemas juhendis kasutatakse pinnase klassifitseerimise alusena GOST 25100-82. Viimast asendab Vene Föderatsioonis praegu GOST 25100-95, mis erineb vähe 1982.a. standardist.

Vastavalt GOST 25100-95-le klassifitseeritakse liivad ja kruusad terakoostise järgi (tabel 1.5) ja seotud pinnased terakoostise ja plastsusarvu järgi (tabel 1.6).

Tabel 1.5 Kruusade ja liivade jaotus GOST-is 25100-95

Liik	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
Rahnuline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – munakivine)	Üle 200 mm kivide mass on üle 50 %
Rähane pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – klibune)	Üle 10 mm terade mass on üle 50 %
Mügineline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – kruusane)	Üle 2 mm terade mass on üle 50 %
Kruusliiv	Üle 2 mm terade mass on üle 25 %
Jämeliiv	Üle 0,5 mm terade mass on üle 50 %
Keskliiv	Üle 0,25 mm terade mass on üle 50 %
Peenliiv	Üle 0,1 mm terade mass on üle 75 %

Tabel 1.6 Peenpinnaste jaotus GOST-is 25100-95

Pinnase nimetus		Liivaosakeste (2-0,05 mm) sisaldus, kaalu-%	Plastsusarv (Vassiljev)
Saviliiv	Kerge järe	> 50	1 - 7
	Kerge	> 50 (2-0,25 mm)	
	Tolmne	50-20	
	Raske tolme	<20	
Liivsavi	Kerge	> 40	7 - 12
	Kerge tolme	< 40	
	Raske	> 40	12 - 17
	Raske tolme	< 40	
Savi	Liivane	> 40	7 - 27
	Tolme	< 40	
	Raske (rasvane)	Määratlemata	> 27

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 (tabel L1.T2) on GOST-i järgi klassifitseeritud peenpinnased grupeeritud (grupid A₁, B₁, C₁ ja D₁) lähtudes nende tugevuskarakteristikutest (elastsusmoodul – E, MPa; sisehõõrdenurk – ϕ , °; nidusus – c, MPa) (tabelid 1.7 ja 1.8).

Tabel 1.7 Peenpinnaste jaotuse koondtabel GOST 25100-95 ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 alusel

Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsusarv (Vassiljev)	Terade läbimõõt, mm	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,25	> 50
B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
D ₁	Tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
	Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20
	Tolme kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
	Raske tolme liivsavi*	12 - 17	2 - 0,05	< 40
	Tolme savi*	17 - 27	2 - 0,05	< 40

Märkus: * märgitud pinnaseid ei esine Juhendis 2001-52

Juhendis 2001-52 sõltuvad peenpinnaste tugevuskarakteristikud nende arvutuslikust niiskusesisaldusest w₁ (tabel 1.8, Juhendi 2001-52 tabel L1.T5).

Tabel 1.8 Pinnaste arvutuslikud (empiirilised) tugevuskarakteristikud

Pinnase grupp		Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele w_1									
		0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
A ₁	E	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	φ	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	c	0,015	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
B ₁	E	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
	φ	38	38	37	37	36	35	34	33	32	31
	c	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
C ₁	E	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	φ	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	c	0,045	0,036	0,030	0,024	0,019	0,015	0,011	0,009	0,006	0,004
D ₁	E	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	φ	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	c	0,045	0,036	0,030	0,024	0,016	0,013	0,010	0,008	0,005	0,004

Sideainega töötlemata materjalide all on Juhendis 2001-52 (tabel L2.T2) esitatud ka GOST-i jämepinnaste tugevuskarakteristikud (tabel 1.9).

Tabel 1.9 Sideainetega töötlemata materjalide arvutuslikud (empiirilised) tugevuskarakteristikud

Jrk. nr.	Materjali nimetus	E-moodul, MPa	Sisehõõrde nurk φ, °	Nidusus C, MPa
1	Lubjakivi- ja tardkivikillustik (kate/alus)	280	-	-
2	Optimaalse terastikuga kruusliivast kiht (kate / alus)	180	45	0,03
3	Kruus	150	43	0,01
4	Kruusliiv, jämeliiv	130	42	0,007
5	Keskliiv	120	40	0,006
6	Peenliiv	100	38	0,005
7	Ühtlase terastikuga liiv	75	33	0,005
8	Paetuhk	120	30	0,01
9	Tuhkbetooni freespuru	150	40	0,01
10	Munakivi-, parkettkivi sillutis	500	-	-
11	Jäme kerge saviliiv	65	40	0,005

Vastavalt käesoleva teadustöö Tehnilisele kirjeldusele tuleb koostada EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 pinnaste klassifikatsioonile vastavate peen- ja jämepinnaste (p. 1.1) tugevuskarakteristikute tabelid, mille aluseks on tabelid 1.7 (1.8) ja 1.9. Seega tuleb grupeerida EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud peenpinnased nende tugevuskarakteristiku alusel pinnasegruppidesse A₁, B₁, C₁ ja D₁ ja asendada Casagrande meetod peenpinnaste plastsuse määramisel Rootsi koonuse katsemeetodiga.

1.3. EN ISO 14688-1 ja 2 peenpinnaste vastavus GOST 25100-95 ja Juhendi 2001-52 klassifikatsioonile

1.3.1. Pinnaste jaotus

Pinnaste laboratoorselt määratavate omaduste (sisehõõrdenurk, nidusus ja elastsusmoodul, peenpinnastel ka voolavuspiir ja plastsusarv) muutuse hindamiseks ühelt pinnase nimetuselt teisele üleminekul koostati 2003. aastal laboratoorseks katsetamiseks pinnaste segud, mille terastikuline koostis vastas [joonisel 1.1](#) esitatud pinnaste nimetuste välja nurgapunktilede (tähistatud numbritega 1-19).

Pinnaseproovid teimiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Geotehnikalaboris, kus määrati:

- üheksa savika pinnaseproovi plastsus- ja voolavuspiirid, sisehõõrdenurk, nidusus ja elastsusmoodul kahe erineva etteantud niiskusesisalduse juures;
- kümne liiv- ja kruusase liivaproovi optimaalne niiskus ja maksimaalne tihedus ning sisehõõrdenurk, nidusus ja elastsusmoodul optimaalse niiskusesisalduse juures.

Mehaaniliste omaduste määramisel teostati kõikidest proovidest paralleelkatsed.

Kokku teostati Geotehnikalaboris:

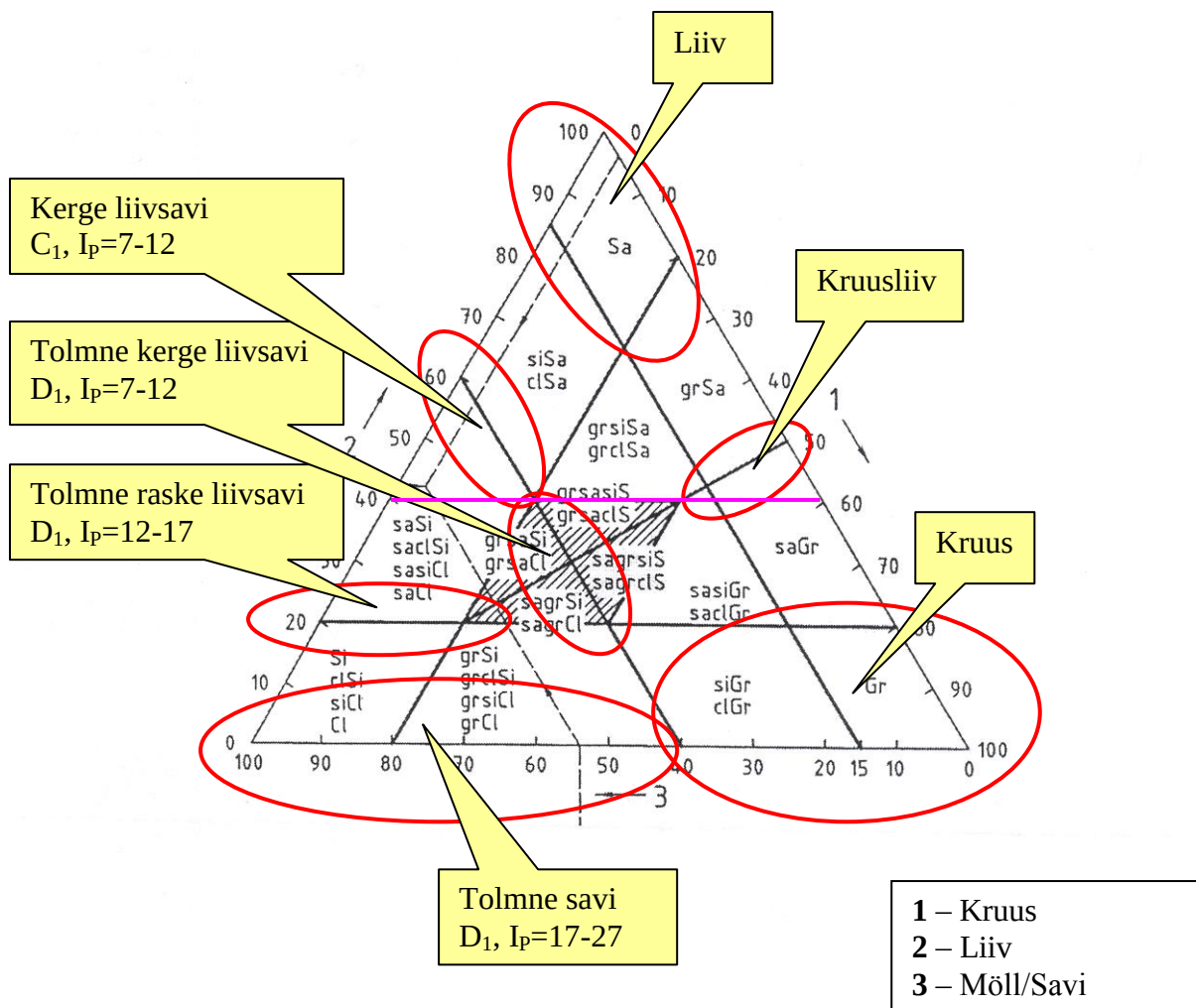
- 9 plastsuspiiride määramist (GOST-i metoodika);
- 9 ümberarvutust savipinnase voolavuspiirile arvestades fraktsiooni >2 mm sisaldust pinnasesegus;
- 10 liiva- ja kruusase liivpinnase optimaalse veesisalduse ja maksimaalse tiheduse määramist (nn standard Proctorteim);
- 56 tasapinnalise nihke teimi a' 3 punkti – kokku 168 punkti, mis jagunesid veesisalduse järgi järgmiselt:
 - o savipinnas $w=0,5w_L$ $9 \times 3 \times 2=54$ punkti;
 - o savipinnas $w=0,7w_L$ $9 \times 3 \times 2=54$ punkti;
 - o liiv- ja kruusane liivpinnas optimaalse veesisalduse ja maksimaalse tiheduse juures $10 \times 3 \times 2=60$ punkti;
- 56 ödomeeterteimi a' 4 koormamistsükliga, mis jagunesid järgmiselt:
 - o savipinnas $w=0,5w_L$ $9 \times 2=18$ teimi;
 - o savipinnas $w=0,7w_L$ $9 \times 2=18$ teimi;
 - o liiv- ja kruusane liivpinnas optimaalse veesisalduse ja maksimaalse tiheduse juures $10 \times 2=20$ teimi.

Laboratoorseteks katsetusteks koostatud 19 pinnaseproovi on klassifitseeritud vastavalt EVS-EN ISO-le (p.1.1). Lähtudes pinnaseproovide terastikulisest koostisest ja peenpinnastele laboratoorselt määratud plastsusarvust Vassiljevi koonusega (I_p) määrati pinnaseproovidele nimetused ka GOST 25100-95 alusel ([tabel 1.10](#)).

Tabel 1.10 EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud pinnaseproovide nimetused vastavalt GOST-ile

Proo- vi nr.	Pinnas – EVS-EN ISO		Koostis Möll/Savi-Liiv- Kruus Si/Cl – Sa – Gr, %	Pinnas - GOST	
	Nimetus	Lühend		Nimetus	Klassifitseerimise alus
1	Liiv	Sa	0 – 100 – 0	Liiv	>0,25mm>50%
2	Liiv Kruusane liiv Savine liiv Kruusaga savine liiv	Sa grSa clSa grclSa	15 – 65 – 20	Liiv	>0,25mm>50%
3	Liiv Savine liiv	Sa clSa	15 – 85 – 0	Liiv	>0,25mm>50%
4	Liiv Kruusane liiv	Sa grSa	0 – 80 – 20	Liiv	>0,25mm>50%
5	Savine liiv Kruusaga savine liiv Kruusaga liivane savine pinnas Kruusaga liivane savi Liivane savi	clSa grclSa grsaclS grsaCl saCl	40 – 40 – 20	Kerge liivsavi, C ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm≥40% I _p =9,2
6	Savine liiv Liivane savi	clSa saCl	40 – 60 – 0	Kerge liivsavi, C ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm≥40% I _p =8,3
7	Liivane savi Kruusaga liivane savi Liivaga kruusane savi Kruusane savi Savi	saCl grsaCl sagrCl grCl Cl	60 – 20 – 20	Tolmne raske liivsavi, D ₁ , I _p =12-17	2-0,05mm<40% I _p =12,5
8	Liivane savi Savi	saCl Cl	80 – 20 – 20	Tolmne raske liivsavi, D ₁ , I _p =12-17	2-0,05mm<40% I _p =16
9	Kruusane savi Savi	grCl Cl	80 – 0 – 20	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =19,3
10	Savi	Cl	100 – 0 – 0	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =20,2
11	Rohke kruusaga liiv Rohke liivaga kruus	grSa saGr	0 – 50 – 50	Kruusliiv	>2mm>25%
12	Rohke kruusaga liiv Rohke liivaga kruus Rohke liivaga savine kruus Rohke kruusaga savine liiv	grSa saGr saclGr grclSa	15 – 42,5 – 42,5	Kruusliiv	>2mm>25%
13	Rohke kruusaga liivane savine pinnas Rohke liivaga kruusane savine pinnas Rohke liivaga kruusane savi Rohke kruusaga liivane savi	grsaclS sagrclS sagrCl grsaCl	40 – 30 – 30	Tolmne kerge liivsavi, D ₁ , I _p =7- 12	2-0,05mm<40% I _p =10,7
14	Liivane kruus Kruus	saGr Gr	0 – 20 – 80	Kruus	>2mm>50%
15	Liivane kruus Liivaga savine kruus Kruus Savine kruus	saGr, saclGr Gr clGr	15 – 20 – 65	Kruus	>2mm>50%
16	Liivaga kruusane savine pinnas Liivaga savine kruus Savine kruus Kruusane savi Liivaga kruusane savi	sagrclS saclGr clGr grCl sagrCl	40 – 20 – 40	Tolmne kerge liivsavi, D ₁ , I _p =7- 12	2-0,05mm<40% I _p =10,8
17	Savine kruus Kruusane savi	clGr grCl	40 – 0 – 60	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =19,9
				Kruus	>2mm>50%
18	Kruus Savine kruus	Gr clGr	15 – 0 – 85	Kruus	>2mm>50%
19	Kruus	Gr	0 – 0 – 100	Kruus	>2mm>50%

Paigutame GOST-i alusel klassifitseeritud proovide pinnased (tabel 1.10) EVS-EN ISO 14688-2:2004 "pinnasekolmnurgale" (joonis 1.2).



Joonis 1.2. GOST 25100-95 järgi klassifitseeritud pinnaseproovide (tabel 1.10) asetumine EVS-EN ISO 14688-2:2004 "pinnasekolmnurga" väljadele (sama tüüpi pinnased e. kolmnurga alade nurgapunktid sisalduvad ellipsis)

Laboris katsetatud, GOST-i alusel klassifitseeritud ning Juhendile 2001-52 vastavad pinnasegrupid D₁ ja C₁ katavad EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurgast“ konkreetsed alad (joonis 1.2):

- Grupp D₁ - hõlmab „pinnasekolmnurgast“ peenpinnaste ala, kus liiva on vähem kui 40 % vastava pinnase kaalust (allpool lillat joon);
- Grupp C₁ - hõlmab „pinnasekolmnurgast“ peenpinnaste ala, kus liiva on rohkem kui 40 % vastava pinnase kaalust (ülevalpool lillat joon).

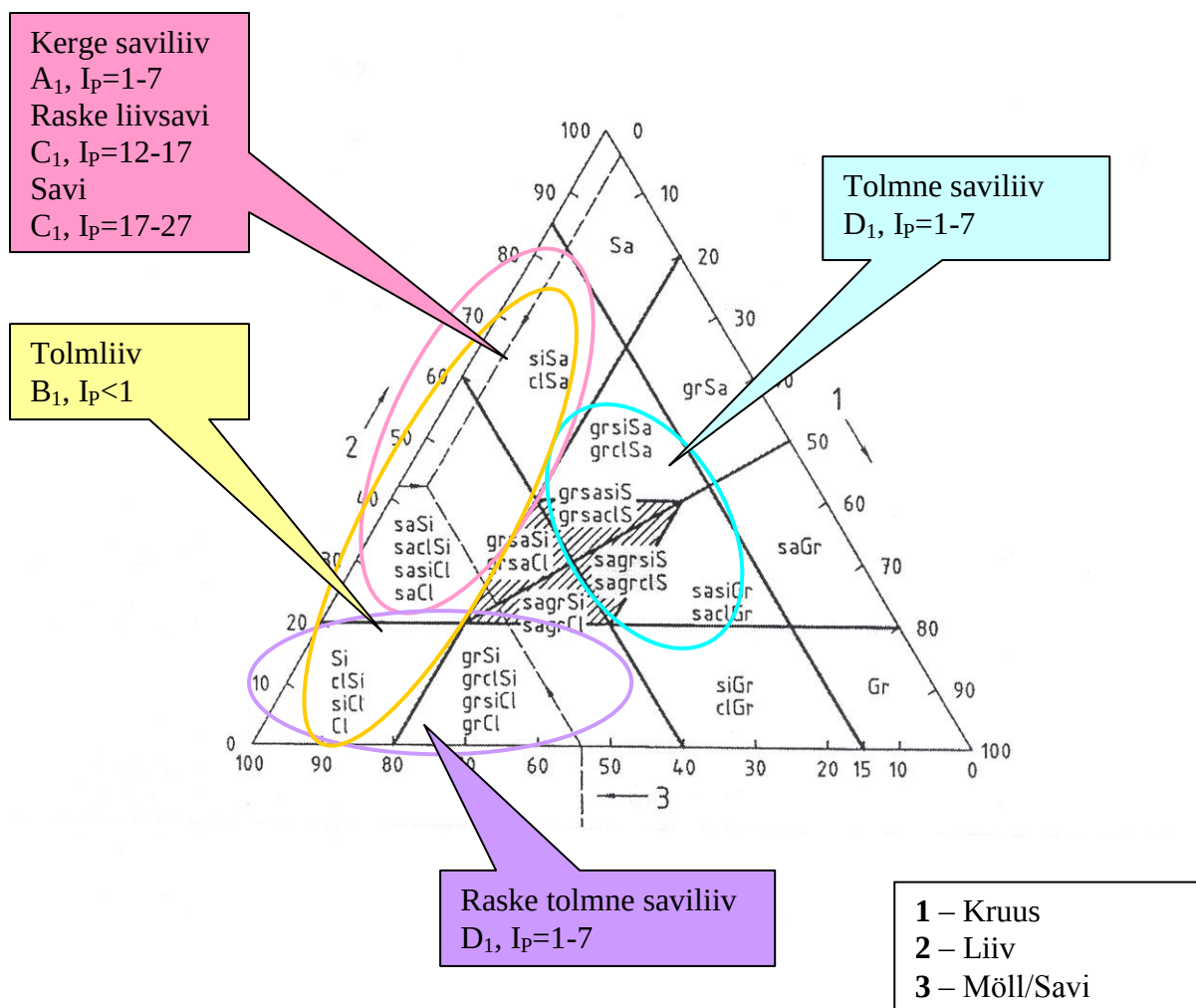
Ülaltoodust järeldub, et koostatud pinnaseproovide katsetulemuste alusel on võimalik leida seos EN ISO ja Juhendi 2001-52 alusel klassifitseeritud pinnaste vahel.

Koostatud 19-st pinnaseproovist ei klassifitseerunud ükski Juhendi 2001-52 pinnasegruppidesse A₁ ja B₁. Samuti ei ole laboratoorsete proovidega haaratud ka osa

gruppidesse C₁ ja D₁ kuuluvaid pinnaseid (raske liivsavi, savi, tolmne saviliiv ja raske tolmne saviliiv). Selleks, et leida, kuhu nimetatud pinnasegrupid ja pinnased paigutuvad EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurgas“, hinnati, milliste omadustega on antud grupid määratletud GOST-is:

- Võttes arvesse, et grupp A₁ (kerge saviliiv) on GOST-is määratletud fraktsiooni 2-0,25 mm (liiva) > 50 % sisaldusega pinnase massist ja plastsusarvuga $I_p=1-7$ (tabel 1.6), siis lähtudes terastikulisest koostisest peaks grupp A₁ paigutuma EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurga“ ülemisse poolde (joonis 1.3).
- Grupp B₁ (tolmliiv) on GOST-is määratletud fraktsiooni > 0,1 mm < 75 % sisaldusega pinnase massist ja plastsusarvuga $I_p<1$ (tabel 1.6). Lähtudes terastikulisest koostisest paigutub grupp B₁ EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurga“ alumisse vasakpoolsesse nurka (joonis 1.3).
- Grupis C₁ on „pinnasekolmnurgas“ määratlemata raske liivsavi ja savi. Raske liivsavi ja savi on terastikulise koostise järgi GOST-is määratletud fraktsiooni 2-0,05 mm (liiva) ≥ 40 % sisaldusega pinnase massist ja plastsusarvudega vastavalt $I_p=12-17$ ja $I_p=17-27$ (tabel 1.6). Kuna raske liivsavi ja savi terastikuline koostis vastab samuti grupis C₁ esineva kerge liivsavi terastikulise koostisega, omades viimasest ainult erinevaid plastsusarve, siis paigutuvad raske liivsavi ja savi EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurgas“ samale alale, kuhu juba paigutus kerge liivsavi (joonised 1.2 ja 1.3).
- Grupis D₁ on EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurgas“ määratlemata tolmne saviliiv ja raske tolmne saviliiv.
 - Tolmne saviliiv on terastikulise koostise järgi GOST-is määratletud fraktsiooni 2-0,05 mm (liiva) 20-50 % sisaldusega pinnase massist ja plastsusarvuga $I_p=1-7$. Lähtudes terastikulisest koostisest paigutub tolmne saviliiv „pinnasekolmnurga“ keskele (joonis 1.3).
 - Raske tolmne saviliiv terastikulise koostise järgi GOST-is määratletud fraktsiooni 2-0,05 mm < 20 % sisaldusega pinnase massist ja plastsusarvuga $I_p=7-12$. Lähtudes terastikulisest koostisest paigutub raske tolmne saviliiv „pinnasekolmnurga“ alaossa (joonis 1.3).

Lähtudes eeltoodust, ehk peamiselt pinnaste terastikulisest koostisest, võime paigutada Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 pinnasegrupid A₁, B₁, C₁ ja D₁ EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurgale“, saades Juhendi 2001-52 ja EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 pinnaste vastavuse (joonis 1.4).



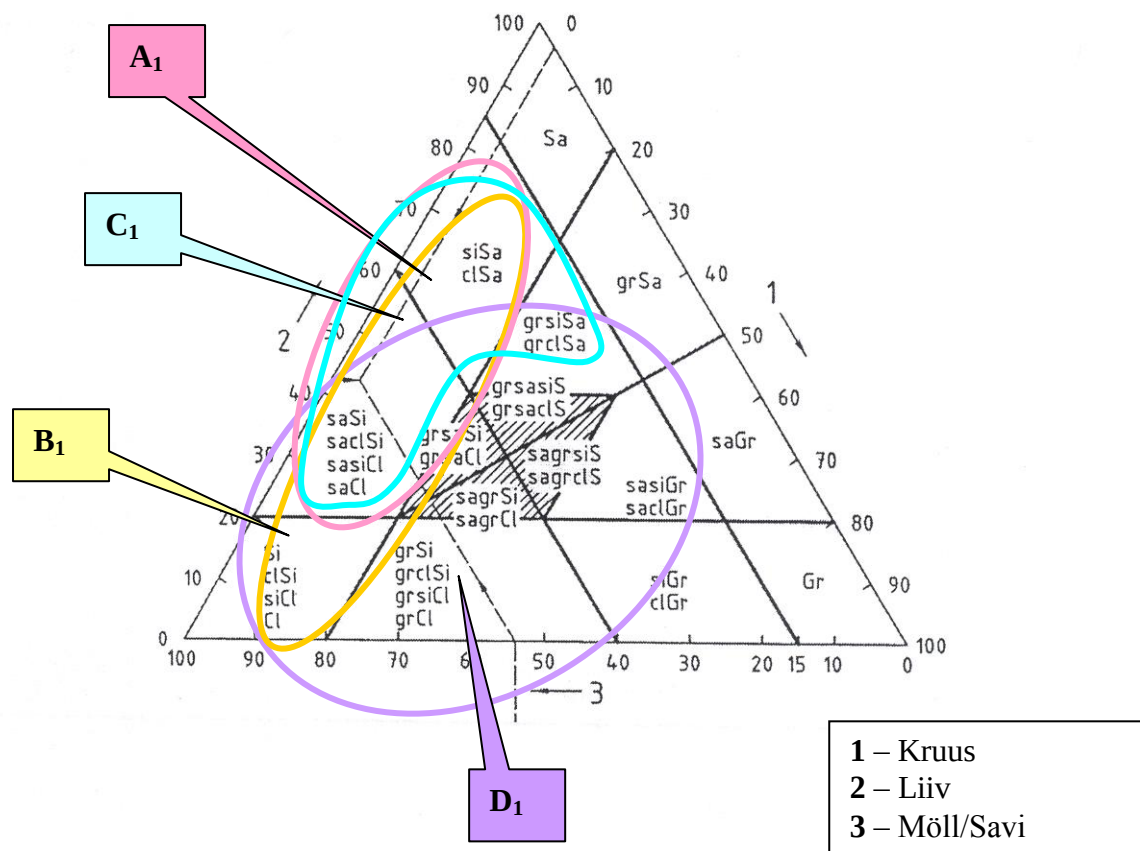
Joonis 1.3. Juhendi 2001-52 laboratoorse katsetustega haaramata peenpinnaste asetus EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurga“ väljajadele (võimalikud vastavad EVS-EN ISO pinnaste nimetused haaratud ellipsiga)

Kuna erinevate pinnasegruppide (A₁, B₁, C₁ ja D₁) EVS-EN ISO 14688-2 „pinnasekolmnurga“ alad kattuvad (joonis 1.4), siis saavad määravaks EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 alusel klassifitseeritud pinnase kuulumisel ühte või teise Juhendi 2001-52 pinnasegruppi tema plastsusarv (I_p) ja teatud fraktsiooni sisaldus, nagu ka pinnaste klassifitseerimisel GOST-i alusel.

EVS-EN ISO 14688-1:2003 jaotab peenpinnased ja jämedateralise pinnase osakesed, väiksemad kui 0,425 mm, plastsusomaduste järgi Casagrande meetodil (tabel 1.3). GOST näeb ette pinnaste plastsusomaduste määramist fraktsioonile < 1,0 mm. Casagrande ja GOST-i meetodika alusel leitud pinnaste plastsusarvude vahel eksisteerib seos (U. Lemberg, K. Oll, Eesti geotehnika konverents 1992, lk. 59-60):

$$I_{pC} = 1,74 \cdot I_{pV} - 2,76 \quad (R=0,958) \quad (1.5)$$

Kus: I_{pC} - plastsusarv Casagrande meetodil,
I_{pV} - plastsusarv GOST-i (Vassiljevi) meetodil.



Joonis 1.4. Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 pinnasegruppide A₁, B₁, C₁ ja D₁ vastavus EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 pinnaste klassifikatsioonile (võimalikud vastavad EVS-EN ISO pinnaste nimetused haaratud ellipsiga)

1.3.2. Plastsusnäitajate võrdlus

Kuna käesolev uurimistöö nägi ette Vassiljevi ja Casagrande meetodil määratud plastsusarvude asendamise Rootsi koonusega määratud peenpinnase plastsusnäitajaga, siis on kasutatud järgnevat Peeter Talviste poolt leitud matemaatilist seost Vassiljevi ja Rootsi koonusega saadud plastsusnäitajate vahel (p.1.3.1):

$$W_{LR} = -0,0223 \cdot I_{PV}^2 + 3,0528 \cdot I_{PV} + 5,2002 \quad (R^2=0,9998) \quad (1.6)$$

kus: W_{LR} - plastsusnäitaja Rootsi koonuse meetodil (voolavuspiir),
 I_{PV} - plastsusarv GOST-i (Vassiljevi) meetodil.

Lähtudes seosest (1.6) saame leida tabelites 1.6 ja 1.7 esitatud Vassiljevi koonusega määratud pinnaste plastsusarvudele vastavad Rootsi koonusega määratud pinnaste plastsusnäitajad (tabel 1.11).

Tabel 1.11 Vassiljevi koonusega määratud pinnaste plastsusarvudele vastavad Rootsi koonusega määratud pinnaste plastsusnäitajad

Plastsusarv I_{PV} (Vassiljev)	1	7	12	17	27
Plastsusnäitaja W_{LR} (voolavuspiir, Rootsi koonus, seosed (1.6) ja (1.10))	9,6	26	39,6	50,5	70,3
Plastsusnäitaja W_{LR} ümardatud väärtus kasutamiseks pinnaste klassifitseerimisel	10	25	40	50	70

Kuna GOST-i ja EVS-EN ISO pinnasesõelad, mida kasutatakse peenpinnaste klassifitseerimiseks on küllaltki lähedased (vastavalt 0,05 ja 0,063 ning 0,25 ja 0,2 mm), siis võime jätta vastavad fraktsiooni sisalduse protsendid muutmata ilma, et me teeksime sellega pinnase grupeerimisel väga suure vea. Probleemiks on Juhendi 2001-52 pinnasegrupi B₁ ehk tolmlüüva klassifitseerimine fraktsiooni > 0,1 mm sisalduse alusel, kuna EVS-EN ISO pinnasesõelte komplekt ei sisalda ühtegi 0,1 mm sõelale lähedast sõela. Kuid kuna pinnasegrupp B₁ on ainuke kõigi peenpinnaste hulgas, mille plastsusarv I_{PV} on < 1, siis on võimalik need pinnased grupeerida ainult plastsusarvu alusel ka EVS-EN ISO 14688 kasutamisel.

Arvestades pinnaste plastsusomadusi ja vastavate fraktsioonide sisaldusi, võime koostada Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EVS-EN ISO 14688-1:2003 peenpinnaste klassifikatsiooni vastavuse tabeli (tabel 1.12), mis asendab Juhendi 2001-52 tabelit L1.T2.

Tabelist 1.12 parema ülevaate saamiseks on Juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EVS-EN ISO 14688-1 ning 2 peenpinnaste vastavus kujutatud graafiliselt joonisel 1.6.

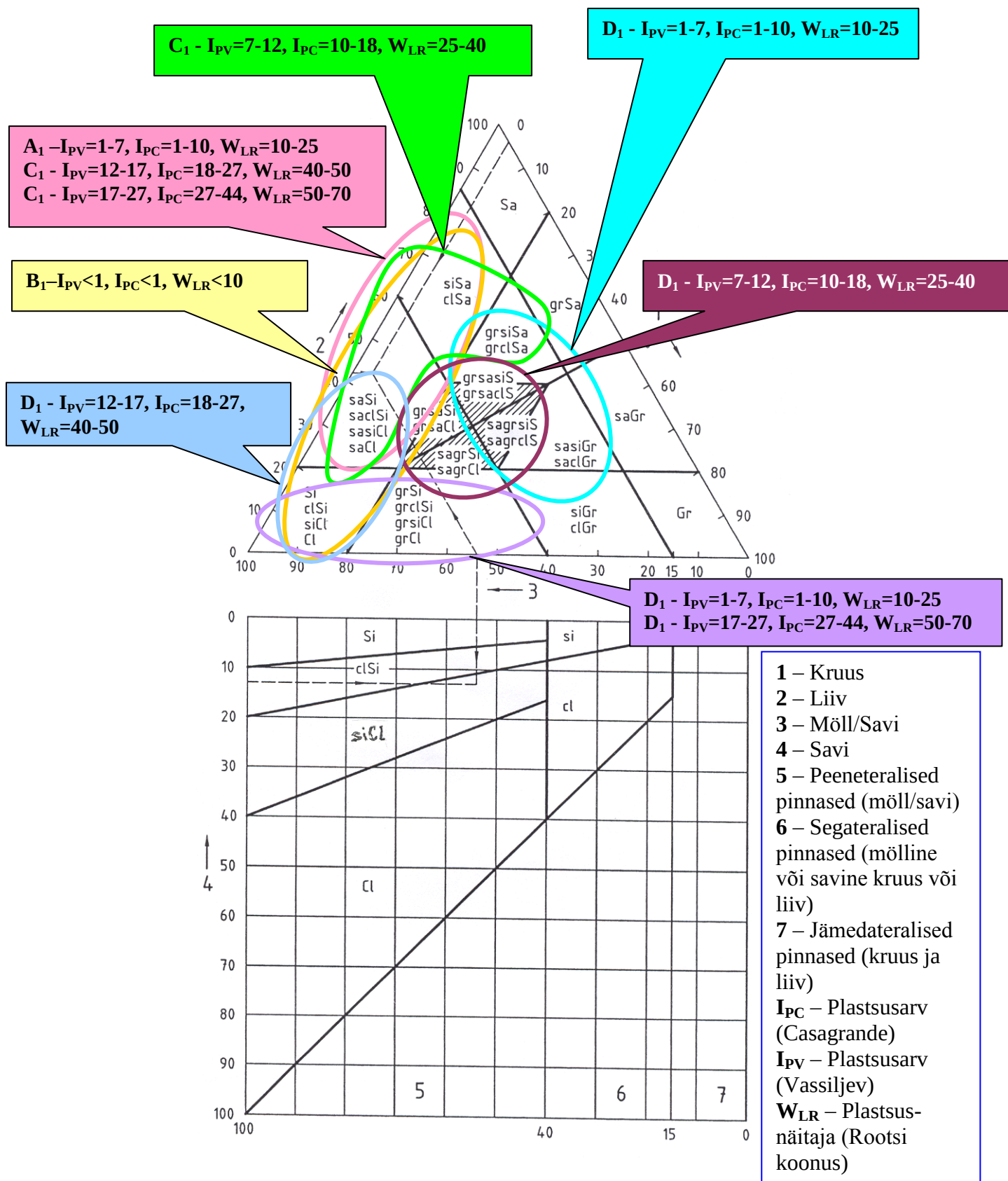
Määrares vastavalt tabelile 1.12 EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 alusel klassifitseeritud peenpinnase grupi (A₁, B₁, C₁, D₁), on see kasutatav Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 tabeli L1.T5 alusel vastava pinnase suhtelise niiskuse ja tugevuskarakteristikute määramiseks. EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud pinnasele pinnasegrupi määramisel vastavalt tabelile 1.12 on kasutatavad nii Rootsi koonusega määratud plastsusnäitaja kui ka Casagrande meetodil või Vassiljevi koonusega määratud plastsusarvud (vastavalt kas W_{LR} , I_{PC} või I_{PV}).

Tabel 1.12 EVS-EN ISO 14688-1 ning 2 peenpinnaste ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste klassifikatsiooni vastavus

EVS-EN ISO 14688						Juhend 2001-52 (GOST 25100-95) tabel L1.T2				
Pinnase nimetus	Plastsus- näitaja W_{LR} (Rootsi koonus)	Plastsus- arv I_{PC} (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase- tegur (T15.1) B, cm ² /24h	Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv I_{PV} (Vassiljevi koonus)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %					Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa	10 - 25	1 - 10	2 - 0,2	> 50	3,0	A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,25	> 50
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl					3,5					
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa					1,0					
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl					2,0					
Möll - Si Savimöll - clSi Möllsavi - siCl Savi - Cl	< 10	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta	4,0-4,5	B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa					5,0-8,0					
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl					4,0-4,5					
Kruusaga mölline liiv - grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa					4,0-4,5					
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa	25 - 40	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40	5,0-8,0	C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl					4,0-4,5					
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa					4,0-4,5					
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa					4,0-4,5		Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)

EVS-EN ISO 14688						Juhend 2001-52 (GOST 25100-95) tabel L1.T2				
Pinnase nimetus	Plastsus- näitaja W _{LR} (Rootsi koonus)	Plastsus- arv I _{PC} (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase- tegur (T15.1) B, cm ² /24h	Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv I _{PV} (Vassiljevi koonus)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %					Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – saclSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	40 - 50	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40	3,0-3,5	C ₁	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa	50 - 70	27 - 44	2 - 0,063	≥ 40	4,0-4,5		Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – saclSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl										
Liivaga mölline kruus – sasiGr Liivaga savine kruus - saclGr	10 - 25	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50	4,0-4,5	D ₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
Kruusaga mölline liiv – grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa										
Kruusaga liivane möllpinnas – grsasiS Kruusaga liivane savipinnas - grsaclS										
Liivaga kruusane möllpinnas – sagrsiS Liivaga kruusane savipinnas - sagrclS										
Möll – Si Savimöll – clSi Möllsavi – siCl Savi - Cl	10 - 25	1 - 10	2 - 0,063	< 20	5,0-8,0		Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20
Kruusane möll – grSi Kruusane möll-savi – grclSi Kruusane savimöll – grsiCl Kruusane savi - grCl										

EVS-EN ISO 14688						Juhend 2001-52 (GOST 25100-95) tabel L1.T2				
Pinnase nimetus	Plastsus- näitaja W _{LR} (Rootsi koonus)	Plastsus- arv I _{PC} (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase- tegur (T15.1) B, cm ² /24h	Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv I _{PV} (Vassiljevi koonus)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %					Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Kruusaga liivane möll – grsaSi Kruusaga liivane savi - grsaCl	25 - 40	10 - 18	2 - 0,063	< 40	5,0-8,0	D ₁	Kerge tolmne liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
Liivaga kruusane möll – sagrSi Liivaga kruusane savi - sagrCl										
Kruusaga liivane möllpinnas – grsasiS Kruusaga liivane savipinnas - grsacIS										
Liivaga kruusane möllpinnas – sagrsiS Liivaga kruusane savipinnas - sagrcIS										
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacISi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	40 - 50	18 - 27	2 - 0,063	< 40	4,0-4,5		Raske tolmne liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	< 40
Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – cISi Savi - Cl										
Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – cISi Savi - Cl	50 - 70	27 - 44	2 - 0,063	< 40	3,0-3,5		Tolmne savi	17 - 27	2 - 0,05	< 40
Kruusane möll – grSi Kruusane savimöll – grcISi Kruusane möllsavi – grsiCl Kruusane savi - grCl										



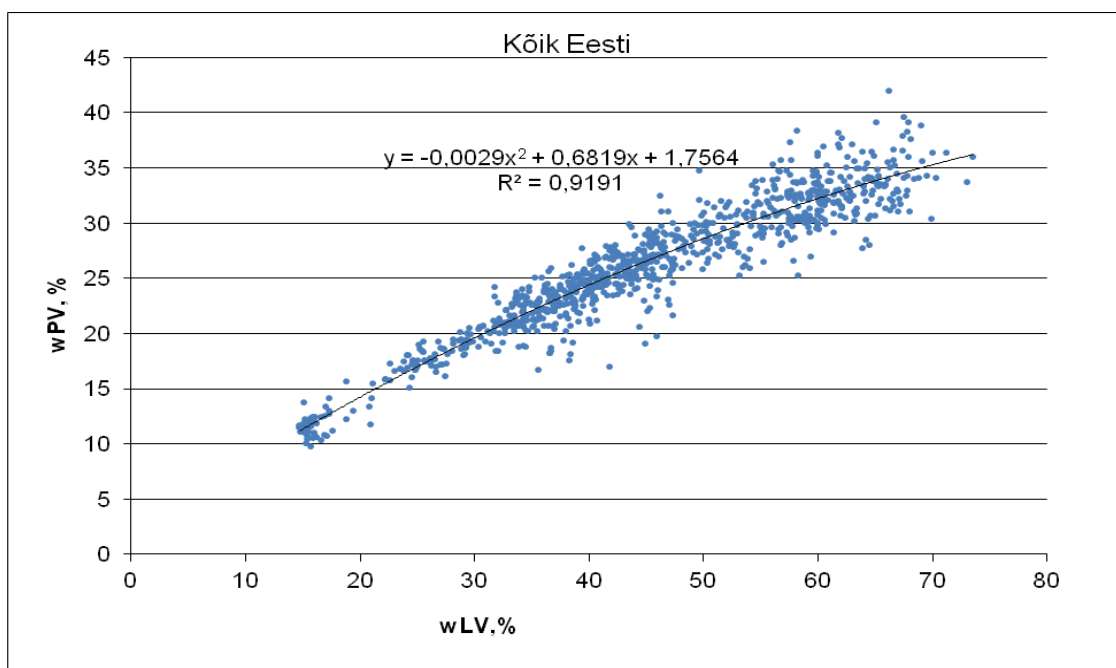
Joonis 1.6. Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EN ISO 14688-1 ning 2 peenpinnaste vastavus (vastavad EVS-EN ISO pinnaste nimetused haaratud ellipsiga)

1.3.3. Seos Vassiljevi koonusega ja Rootsi koonusega määratud peenpinnaste plastsusnäitajate vahel

Käesoleva uuringu eesmärgiks oli leida seos Vassiljevi koonusega määratud plastsusarvu I_P ja Rootsi Koonusaparaadiga määratud voolavuspiiri W_{LR} vahel. Põhjuseks vähendada pinnaste klassifitseerimisel subjektiivsust ja suurendada määrangu statistilist usaldusväärsust. Plastsusarvuks on definitsiooni kohaselt voolavuspiiri ja plastsuspiiri vahe ($I_P = w_L - w_P$) ja nii summeeruvad selle suuruse arvutamisel voolavuspiiri ja plastsuspiiri katselise määramise vead, mis väikeste I_P väärtuste juures võivad ulatuda 100%-ni leitud väärtusest.

GOST 25100-95 kohaselt määratud voolavuspiiri w_L ja plastsuspiiri w_P vaheline seos Eesti enamlevinud pinnaste jaoks on toodud **joonisel 1.7**. Seos on väljendatav ruutfunktsiooniga

$$W_{PV} = -0,0029 \cdot w_{LV}^2 + 0,682 \cdot w_{LV} + 1,756, \text{ seos on tugev } (R^2 = 0,92) \quad (1.7)$$



Joonis 1.7. GOST 25100-95 järgi määratud voolavuspiiri ja plastsuspiiri omavaheline seos.

Arvestades, et $I_P = w_L - w_P$ saame tuletada W_{LV} väärtuse I_{PV} kaudu :

$$W_{LV} = (-0,318 \pm \text{SQRT}(0,121 + 0,0116 \cdot I_{PV})) / 0,0058, \quad (1.8)$$

ning kuna voolavuspiir omab vaid positiivset väärtust, siis:

$$W_{LV} = (-0,318 + \text{SQRT}(0,121 + 0,0116 \cdot I_{PV})) / 0,0058, \quad (1.8a)$$

Rootsi koonusaparaadiga ja GOST-i metoodika alusel leitud pinnaste voolavuspiiride vahel eksisteerib seos (U. Lemberg, K. Oll, Eesti geotehnika konverents 1992, lk. 59-60):

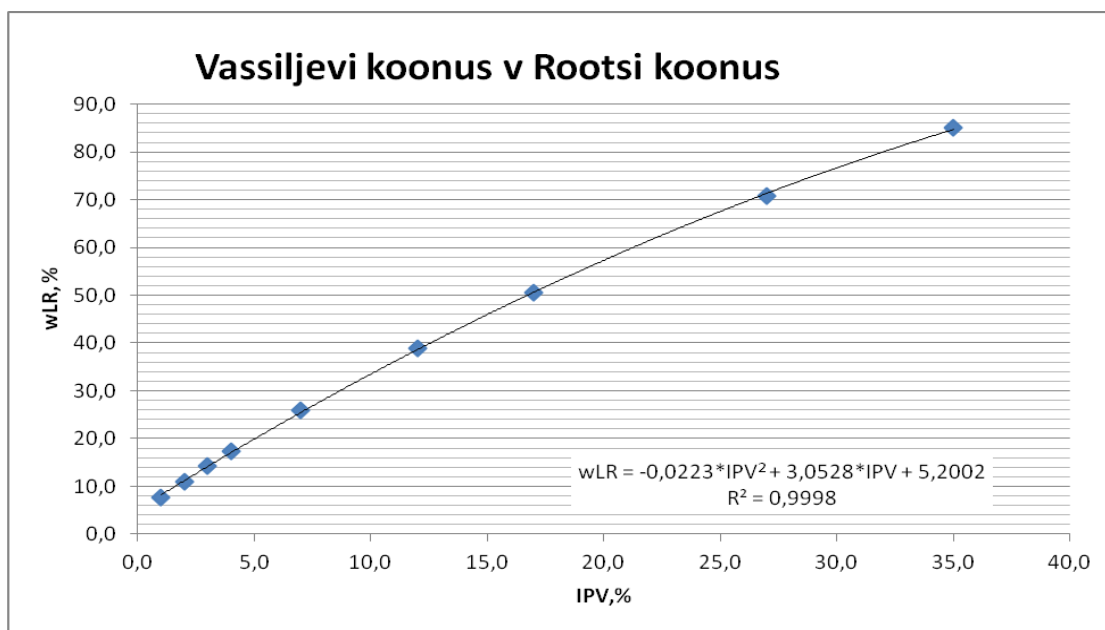
$$W_{LR} = 1,24 \cdot W_{LV} - 2,16 \quad (R^2 = 0,988) \quad (1.9)$$

Kus: W_{LR} - voolavuspiir Rootsi koonusaparaadiga,
 W_{LV} - voolavuspiir GOST-i (Vassiljevi) meetodil.

Nii on Rootsi koonusteimiga määratud voolavuspiir W_{LR} matemaatiliselt tuletatav Vassiljevi meetodil määratud plastsusarvust I_{PV} :

$$W_{LR} = (1,24 * (-0,318 + \text{SQRT}(0,121 + 0,0116 * I_{PV})) / 0,0058) - 2,16 \quad (1.10)$$

I_{PV} väärtustel alla 17 on seos väljendatav lineaarsena $W_{LR} = 2,7309 * I_{PV} + 6,864$.



Joonis 1.8. Seos Vassiljevi ja Rootsi koonusega määratud plastsusnäitajate vahel. Kõik Eesti savipinnased.

1.3.4. Voolavuspiiri määramine Rootsi koonusaparaadiga: katsemetoodika ja katseseadme kirjeldused

Katsemetoodika ja katseseadme kirjeldused on koostatud rahvusvahelise standardi CEN ISO/TS 17892-12:2004 „Geotechnical investigation and testing – Laboratory testing of soil – Part 12: Determination of Atterberg limits“ ja Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalabori standardtööjuhendi STJ nr.G04 alusel (versioon 3 18.02.2013).

Rootsi koonusaparaadi nime all on kasutusel mitmed erinevate valmistajate aparaaditüübid: Wiesel, Broms, Hansbo & SGF Laboratory Committee, Geonor, Cronor-Borro ja VT-1 (Joonis 1.9). Eestis kasutatakse enamasti viimatinimetatut (VT-1). Rootsi koonusaparaat koosneb alusest koos liigutatava toega, mille külge on kinnitatud koonus. Aparaadil on 4 erinevat koonust, mille kaal ja tipunurk on järgmised: 400 g / 30°; 100 g / 30°; 60 g / 60° ja 10 g / 60°.



Geonor fall cone apparatus

Joonis 1.9. Rootsi koonusaparaat. Väljavõte tooteprospektist.

Voolavuspiiri määramisel kasutatakse Eestis unificseeritud 60 g / 60° koonust, ja selle koonuse jaoks välja töötatud koefitsiente ja meetoodikat.

Antud meetodil loetakse rikutud struktuuriga $< 0,425$ mm pinnase voolavuspiiriks (w_L^S) veesisaldust, mille juures 60 g / 60° tipunurgaga koonus vajub pinnasesse 5 sekundi jooksul 10 mm. Aeg-ajalt peab kontrollima koonuse tipunurga teravust spetsiaalse plaadi abil.

Parimaid tulemusi plastsuspiiride määramisel annab loodusliku veesisaldusega või sellele lähedase veesisaldusega pinnaseproovi kasutamine. Proovi kuivatamisega kaasneb paratamatu saueosakeste agregaatide moodustumine, mida on mehaaniliselt väga raske või võimatu lõhustada.

Vajalikud vahendid

Rootsi koonusaparaat ja:

- rootsi koonus 60 g / 60°
- tops $d = 60$ mm ja $h = 30$ mm (või $d = 50$ mm ja $h = 25$ mm)
- alumiiniumist niiskuskarbid
- termostaat
- tehniline kaal 0,01 g täpsusega
- spaatel, destilleeritud vesi, stopper
- koonuse tipunurga kontrolliks auguga metallplaat

Proovi ettevalmistamine

Vajalikud vahendid:

- 0,425 mm sõel
- portselankauss läbimõõduga 13 cm
- spaatel, dest. vesi
- eksikaator

Loodusliku niiskuse juures oleva proovi korral hõõrutakse umbes 300-400 g märga pinnast läbi 0,425 mm (või sellele lähima sõela) sõela.

Juhul kui proov on siiski kuivanud või kuivatatud õhkkuivaks, siis tuleb proov eelnevalt peenendada. Peenendamine toimub uhmril, tugeva paberi peal või peenendusveskis. Peenendamisel ei tohi purustada proovis esinevat jämepurdmaterjali. Seejärel sõelutakse peenendatud pinnase proov läbi 0,425 mm (või sellele lähima sõela) sõela. Umbes 100 - 150 g sõelutud proovi asetatakse portselankaussi, lisatakse destilleeritud vett, segatakse hoolikalt spaatliga ja jäetakse ööpäevaks vesieksikaatorisse seisma.

Juhul kui loodusliku veesisaldusega proov on voolavuspiiri määramiseks liiga märg, võib kausi koos pinnasega jätta töölauale kuivama, kuivatada proovi käte või paberi vahel. Liiga kuivale proovile lisatakse aga kohe destilleeritud vett.

Märjale pinnasele kuiva pinnase lisamine on keelatud.

Voolavuspiiri määramine Rootsi koonusaparaadiga - katse kirjeldus ja andmete esitamine

Ette valmistatud prooviga täidetakse sobiva suurusega tops. Täitmine peab olema ühtlane, vältida tuleb tühemikke. Tops koos prooviga asetatakse koonuse alusele. Topsialust või koonust (sõltuvalt aparaaadi ehitusest) liigutatakse nii, et koonuse tipp puudutaks õrnalt silutud proovi pinda. Koonus vabastatakse ja ta vajub pinnasesse. 5 sekundi möödudes mõõdetakse vajumise sügavus skaalalt 0,1 mm täpsusega, jälgides läbi skaalat katva luubi mõõtkriipsu ja koonuse ülemise serva ühildumist.

Kui esmasel katsetamisel on vajumine >10 mm, tuleb proovi järgnevateks katseteks kuivatada. Kui esmasel katsetamisel on vajumine <10 mm, tuleb proovi järgnevateks katseteks niisutada. Niisutamiseks lisatakse proovile destilleeritud vett ja proov segatakse hoolikalt. Katsetamine toimub mitte varem, kui 10 minutit peale niisutamist. Kuivatamine toimub õhu käes proovi segades, kuiva pinnase lisamine proovi „kuivatamiseks“ on keelatud. Katsete vahel tuleb töövahendid puhastada.

Koonuse vajumissügavus tuleb määrata vähemalt 3 erineva veesisalduse juures, seejuures peab osa mõõdetud koonuse vajumise sügavustest olema >10 mm ja osa <10 mm, ideaalne on kui mõõdetud koonuse vajumine on vahemikus 7...15 mm. Iga katsetatud erineva veesisaldusega pinnasepasta jaoks määratakse veesisaldus (CEN ISO/TS 17892-1:2004). Veesisaldus arvutatakse järgmiselt:

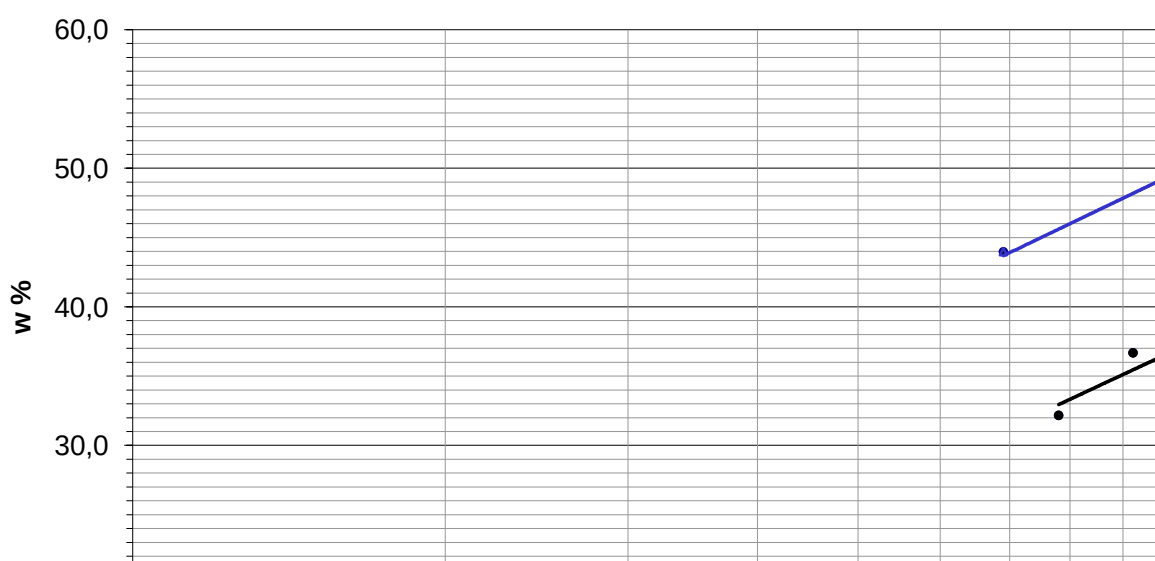
$$w = (m_1 - m_0) / (m_0 - m) \times 100 \%,$$

kus:

- w – katsetatud pinnasepasta veesisaldus, %
- m_0 – absoluutselt kuiva pinnase kaal koos karbi kaaluga, g
- m_1 – märja pinnase kaal koos karbi kaaluga, g
- m – karbi kaal, g

Koostatakse poollogaritmilises mõõtkavas graafik, mille ordinaatteljele kantakse proovi veesisaldus ja abtsisssteljele vastava veesisalduse juures mõõdetud koonuse vajumise sügavus (Joonis 1.10). Graafikult leitakse veesisaldus, mis vastab koonuse 10 mm vajumissügavusele. See veesisaldus on Rootsi koonusaparaadiga määratud pinnase voolavuspiir W_{LR} .

Laiendmääramatuse ($k = 2$) juures on mõõtemääramatus 2 %.



Joonis 1.10. Voolavuspiiri määramine Rootsi koonusaparaadiga, koonus 60 g / 60°. Katsetulemuste esitamine pool-logaritmilises skaalas. Voolavuspiiriks W_{LR} on veesisaldus vajumise 10 mm juures (näidetes: 49,6% - sinine graafik ja 35,9% - must graafik).

1.4. EN ISO 14688-1 ja 2 jämepinnaste vastavus GOST 25100-95 ja Juhendi 2001-52 klassifikatsioonile

Käesoleva teadus- ja arendustöö tehnilise kirjelduse alusel kuuluvad lahendamisele järgmised ülesanded:

- Määrata EVS-EN ISO 14688 jämepinnastele arvutusparameetrid (elastsusmoodul, nidusus ja sisehõrdenurk) asendamaks 2001-52 juhendi tabelis L2.T2 esitatud GOST 25100-95 jämepinnaseid. Tabeli L2.T2 korrektuur.
- Analüüsida BCH 46-83 nomogrammi (joonis 9) ja lisada juhendisse jämepinnased, mis puuduvad tabelist L2.T2 (mitmesugused savisisaldusega moreenid).

1.4.1. JämePINNASTE liigitus

Tabel 1.13 Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks terasuuruse järgi EVS-EN

Fraktsioon	Alafraktsioon	Rahvus-vaheline tähis	Osakeste suurus, mm
Väga jäme pinnas	Suured rahnud	LBo	>630
	Rahnud	Bo	>200 kuni 630
	Veerised	Co	63 kuni 200
JämePINNAS	Kruus s.h.	Gr	>2 kuni 63
	Jämekruus	CGr	20 kuni 63
	Kesk kruus	MGr	6,3 kuni 2 0
	Peen kruus	FGr	2 kuni 6,3
	Liiv s.h.	Sa	>0,063 kuni 2
	Jämeliiv	CSa	0,63 kuni 2
	Keskliiv	MSa	0,2 kuni 0,63
	Peenliiv	FSa	0,063 kuni 0,2

Tabel 1.14 Pinnaste liigitus EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 alusel

Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosise -sisaldus <0,063mm %	Savi sisaldus peenosises <0.002/<0.063 mm %	Tähis
Jämeda-teraline pinnas (jämePINNAS) <0,063mm ≤ 40%	Kruuspinnas 2-63mm >50% jäme fraktsioonist	Kruus	<5		Gr
		Möllikas kruus	5-15	<20	Gr
		Savikas kruus		≥20	Gr
		Mölline kruus	>15-40	<20	siGr
		Savine kruus		≥20	clGr
	Liivpinnas 0,063-2mm >50% jäme fraktsioonist	Liiv	<5		Sa
		Möllikas liiv	5-15	<20	Sa
		Savikas liiv		≥20	Sa
		Mölline liiv	>15-40	<20	siSa
		Savine liiv		≥20	clSa

Tabel 1.15 Kruusade ja liivade jaotus GOST-is 25100-95

Liik	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
Rahnuline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – munakivine)	Üle 200 mm kivide mass on üle 50 %
Rähane pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – klibune)	Üle 10 mm terade mass on üle 50 %
MüGINE pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – kruusane)	Üle 2 mm terade mass on üle 50 %
Kruusliiv	Üle 2 mm terade mass on üle 25 %
Jämeliiv	Üle 0,5 mm terade mass on üle 50 %
Keskliiv	Üle 0,25 mm terade mass on üle 50 %
Peenliiv	Üle 0,1 mm terade mass on üle 75 %

1.4.2. Jäme- ja peenliiva arvutusparameetrid

Sideainega töötlemata materjalide all on Juhendis 2001-52 (tabel L2.T2) esitatud GOST-i jäme- ja peenliiva tugevuskarakteristikud (elastsusmoodul, sisehõõrdenurk ja nidusus) koos mõnede tehismaterjalidega (tabel 1.9). Lähtudes üleminekust EVS-EN pinnasteklassifikatsioonile tuleb määrata EVS-EN ISO 14688 jäme- ja peenliiva arvutusparameetrid (elastsusmoodul, nidusus ja sisehõõrdenurk) asendamaks 2001-52 juhendi tabelis L2.T2 esitatud GOST 25100-95 jäme- ja peenliivaseid.

GOSTi alusel klassifitseeritud jäme-, kesk- ja peenliiva määratlust EVS-EN järgi ei ole (vt tabel 1.14), mistõttu need on asendatud liiva, möllika liiva ja savika liivaga (valdav tera suurus määrab liiva tüübi, kui $C_u > 6$). Tabelisse on lisatud ühtlase terastikuga liivad, mille C_u on vahemikus 3...6, sest EVS-EN järgi loetakse ühtlase terastikuga liivaks $C_u < 6$ kui GOSTi järgi oli määratluseks $C_u < 3$.

Kuna soojustehnilises arvutuses tuleb eristada tard- ja settekiivimite valmistatud killustikke (vt p.2.2), on otstarbekas määratleda KAP materjalide valikus eraldi lubjakivikillustik ja graniitkillustik. Tuginedes tegelikult läbiviidud kandevõime mõõtmistulemustele võiks kaaluda lubjakivikillustiku E-mooduli väärtuseks veelgi madalamat väärtust (180-200 MPa), kuid antud juhul teeme ettepaneku piirduda 240 MPa väärtusega. Tasub kaaluda väärtuse diferentseerimist terasuuruse ja kivimaterjali tugevuse (LA) järgi vahemikus 200...260 MPa. Ühtse väärtuse (280 MPa) puhul ei ole võimalik tard- ja settekiivimite konstruktsioonikihte katendiarvutuses eristada seetõttu, et antud algoritmides tekib jagamistehtes määramatus.

Kuna nomogrammi (p. 1.4.3) järgi on peenosiste sisaldusega killustiku elastsusmoodul 200 MPa ning kruusadel tuleb nomogrammist leitud väärtust kahandada 30%, siis on ka tabelis 1.16 muudetud kruusa elastsusmoodulit ja arvutatud seostega (1.12) ja (1.13) sisehõõrdenurk ja nidusus.

Tabel 1.16 Sideainetega töötlemata materjalide arvutuslikud (empiirilised) korrigeeritud tugevuskarakteristikud (uus tabel L2.T2 Juhendis 2001-52)

Jrk. nr.	Materjali nimetus		E- moodul, MPa	Sisehõõrde nurk φ, °	Nidusus C, MPa
1	Tardkivikillustik		280	-	-
2	Lubjakivikillustik		240		
3	Optimaalse terastikuga kruusliiv		180	45	0,03
4	Killustikusegu (<0,63 mm fr <15%)		200	45	0,04
5	Kruusa- või killustikusegu (>6,3 mm fr >20%; <0,63 mm fr <40%; W _{LR} ≤26 ehk I _{PV} ≤7) vastavalt graafikule	E*	160	41	0,03
6		F*	110	36	0,02
7		G*	60	31	0,01
8	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm)		130	42	0,007
9	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm)		120	40	0,006
10	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm)		100	38	0,005
11*	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm), Cu<3		115	40	0,007
12*	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm), Cu<3		105	38	0,006
13*	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm), Cu<3		90	36	0,005
14	Paetuhk		120	30	0,01
15	Tuhkbetooni freespuru		150	40	0,01
16	Munakivi-, parkettkivi sillutis		500	-	-

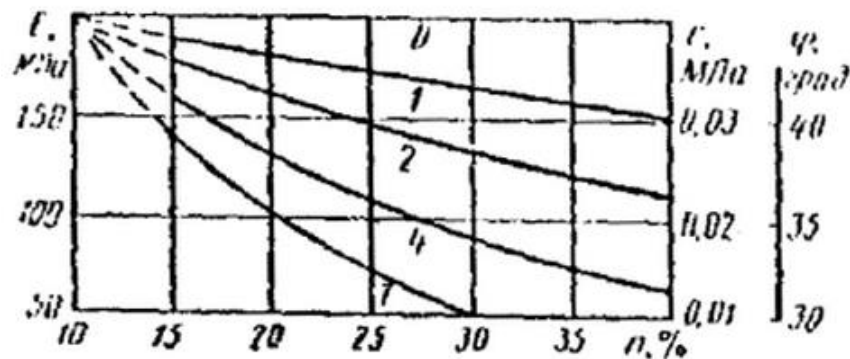
- * vastava grupi määratluse peab tegema labor, lisaks mõõdetud parameetritele antakse labori poolt ka grupi nimetus.

Tabelis 1.9 on toodud materjalide loetelus jäme kerge saviliiv. Geoloogide hinnangul sellist materjali Eestis ei esine, seega on otstarbekas antud materjal tabelist eemaldada.

Korrigeeritud Juhendi 2001-52 tabel L2.T2 on esitatud tabelis 1.16.

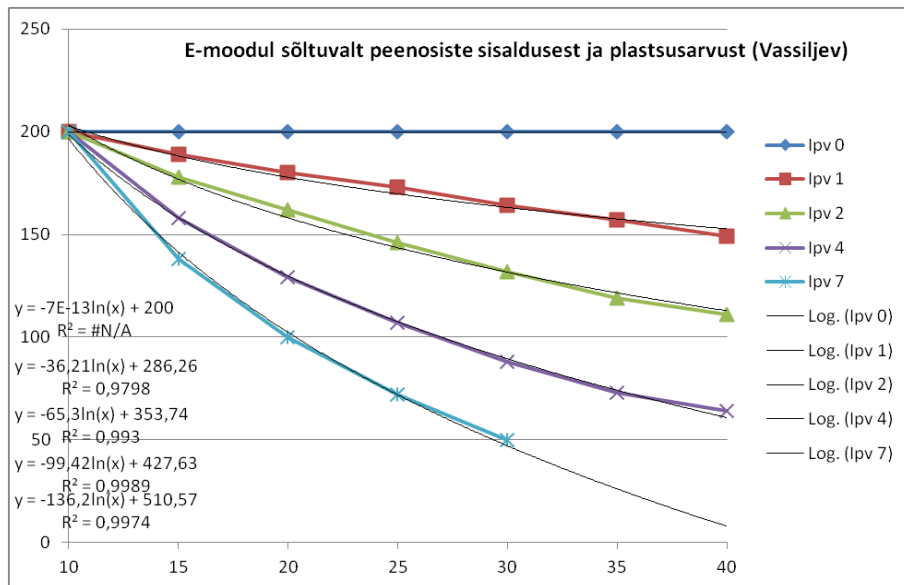
1.4.3. BCH 46-83 jämepinnaste nomogrammi (mitmesugused savisisaldusega moreenid) analüüs ja ettepanek

BCH 46-83 joonis 9 kirjeldab materjalide ja pinnaste, mis sisaldavad üle 5 mm osiseid vähemalt 20%, arvutusparameetrite (elastsusmoodul, nidusus, sisehõõrdenurk) sõltuvust alla 0,63 mm osise sisaldusest ja selle osise plastsusarvust. EVS-EN-ile vastavas sõelade loetelus ei ole sõela 5 mm, aga on 6,3 mm sõel ning antud kontekstis loeme 6,3 mm adekvaatseks asenduseks.



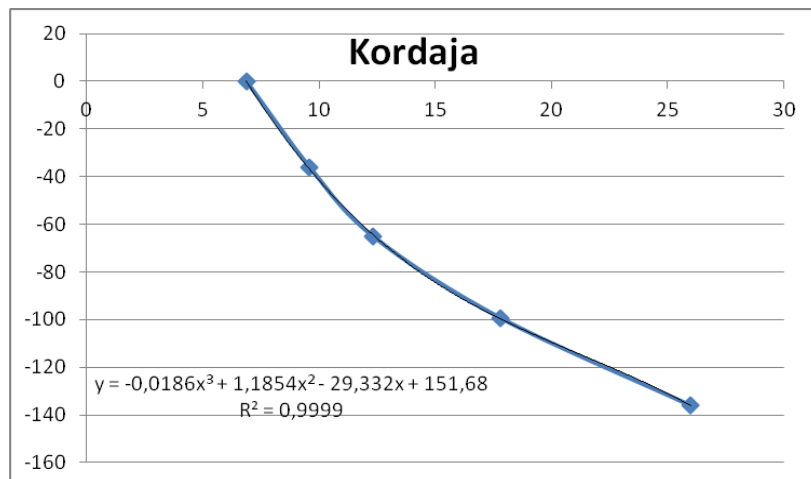
Joonis 1.11. Algne nomogramm BCH 46-83 joonis 9

Esiteks leiame nomogrammil toodud kõveratele lähedased funktsionaalsed seosed samatüübilise valemiga (kus erinevad kordajad ja vabaliikmed), uurides vaid e-mooduli seost $<0,63$ mm osiste sisalduse %-ga erineva plastsusarvu juures.

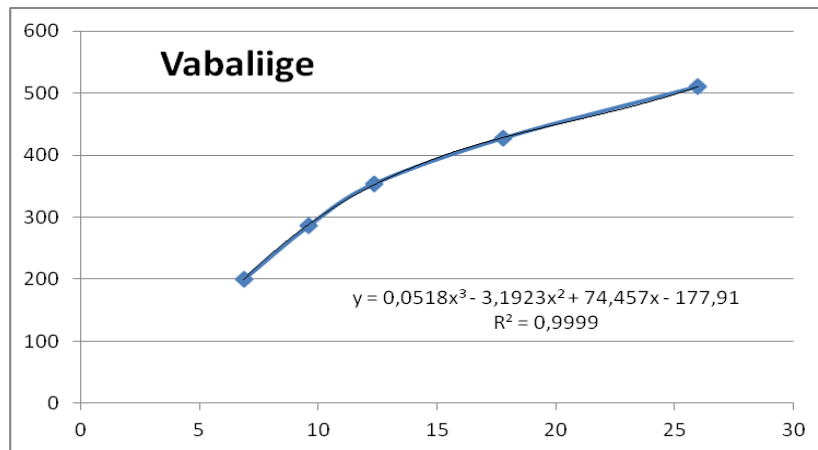


Joonis 1.12. Digitaliseeritud nomogramm – E seos <0,63 mm osiste sisalduse %-ga erineva plastsusarvu I_{pv} juures

Asendame I_{pv} (Vassiljev) plastsusarvu plastsusnäitajaga W_{LR} (voolavuspiir, Rootsi koonus) vastavalt valemile (1.6) ja leiame valemid eeltoodud logaritmivalemite kordaja ja vabaliikme seose leidmiseks plastsusarvuga.



Joonis 1.13. Kordaja valem (kordaja seos plastsusarvuga)



Joonis 1.14. Vabaliikme valem (vabaliikme seos plastsusarvuga)

Ja seejärel on võimalik koostada kombineeritud valem, mida saab kasutada otseselt Excel'i rakenduses pinnase E-mooduli leidmiseks sõltuvalt <0,63 mm osise sisaldusest (P, %) ja selle plastsusnäitajast (voolavuspiir, Rootsi koonus, W_{LR}).

$$E = (-0,0186 * W_{LR}^3 + 1,1854 * W_{LR}^2 - 29,332 * W_{LR} + 151,68) * \ln(P) + (0,0518 * W_{LR}^3 - 3,1923 * W_{LR}^2 + 74,457 * W_{LR} - 177,91) \quad (1.11)$$

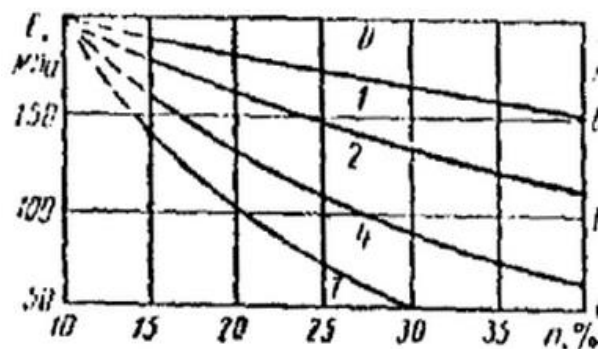
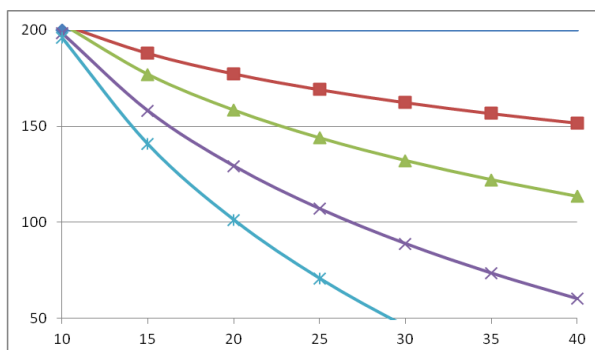
Seose (1.11) kasutamisel tuleb arvestada, et <0,63 mm osiste sisaldus on vahemikus 10 kuni 40 % ning juhul, kui valemi tulemusena saame E alla 50 MPa, siis on tulemus väljunud määramispiirkonnast (algsel nomogrammil, kui plastsusarv > 7 ja <0,63 mm osiste sisaldus >30%) ning sellist materjali tuleb käsitleda pinnasena. Elastsusmooduli väärtus on ülevalt poolt piiratud väärtusega E=200 MPa.

Nomogrammi ja ka eeltoodud seose (1.11) määramispiirkonnas on nidusus

$$C = E/5000 \text{ (MPa)} \quad (1.12)$$

ja sisehõõrdenurk

$$\varphi = 25 + E/10 \text{ (°)}. \quad (1.13)$$



Joonis 2.14. Algse nomogrammi võrdlus seose (1.11) tulemiga

Seega on pinnasekolmnurga (joonis 1.6) aladest nomogrammi ja seoste (1.11), (1.12) ja (1.13) baasil määratletud arvutusparameetrid pinnastele/materjalidele: grSa, saGr, Gr, siGr ja clGr.

2. JUHENDI 2001-52 KÜLMAKINDLUSARVUTUSE KORREKTUUR

2.1. Pinnasetegur B Juhendi 2001-52 tabelis T15.1

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 tabelis T15.1 on esitatud pinnaseteguri B väärtused, mida kasutatakse katendi arvutamisel külmakindlusele (tabel 2.1).

Tabel 2.1 Juhendi 2001-52 tabel T15.1 Pinnasetegur

Pinnase nimetus	B, cm ² /24h	Külmaohtlikkuse aste 3.paikkonnas
Mittetolmne liiv, osiseid <0,05 mm 2-15%; jäme kerge saviliiv	1,5 – 2,0	Mõõdukalt külmaohtlik
Savid; kerge ja raske mittetolmne saviliiv; kerge saviliiv	3,0 – 3,5	Külmaohtlik
Tolmne saviliiv; tolme raske liivsavi; tolmlüiv	4,0 – 4,5	Väga külmaohtlik
Tolmne raske saviliiv; kerge tolme liivsavi	5,0 – 8,0	Eriti külmaohtlik

Juhendi 2001-52 tabeli T15.1 pinnaseteguri B sisu on järgmine:

1. Määratakse teatud katsetingimustel proovikeha paisumine külmudes vaba vee juurdepääsu korral (võimalik vett sisse imada külmumise ajal). Saadakse suhteline paisumine dH/H , %-des ja see on pinnase külmakerketegur $K_{\text{külmak}}$.

2. Pinnasetegur $B = K_{\text{külmak}} \cdot \alpha_0 / 1,86$, (2.1)

kus: α_0 – kliimategur, cm²/ööp,
 $\alpha_0 = (z_{\text{kesk}} - z_{1,0})^2 / (2T_{\text{külm}})$,
kus z_{kesk} = paljude aastate keskmine külmumissügavus,
 $z_{1,0}$ = katendi paksus uuritava objektis,
 $T_{\text{külm}}$ = mulkeha pinnase külmumise kestuse paljude aastate keskmine.
Eestis tuleks α_0 võtta 75 cm²/ööp.

Kasutades seose (2.1) teisendust ja arvestades, et $\alpha_0 = 75$ cm²/ööp, saame leida teguri B väärtustele vastavad paisumised ja külmakerketegurid (tabel 2.2).

Tabel 2.2 Pinnaseteguri B väärtustele vastavad suhtelised paisumised ja külmakerketegurid

Pinnasetegur B	Suhteline paisumine, %	Külmakerketegur, $K_{\text{külmak}}$
1	2,5	0,025
2	5,0	0,050
3	7,4	0,074
4	9,9	0,099
5	12,4	0,124
6	14,9	0,149
7	17,4	0,174
8	19,8	0,198

Lähtudes tabelis 1.12 esitatud EVS-EN ISO 14688-1 ning 2 peenpinnaste ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste klassifikatsiooni vastavusest on määratud pinnaseteguri B väärtused EVS-EN ISO 14688 alusel klassifitseeritud pinnasetele, mis on esitatud tabelis 1.12.

Kuna tabel 1.12 ei hõlma kõiki võimalikke EVS-EN peenpinnaste kombinatsioone, vaid ainult neid, mis on vajalikud GOST-i järgsete pinnaste viimiseks vastavusse EVS-EN järgse pinnaste klassifikatsiooniga, siis on allpool esitatud pinnaseteguri B väärtuse määramiseks lihtsustatud lähenemine, mis põhineb lisaks pinnasele laboris EVS-EN järgse nimetuse ja Rootsi koonusega voolavuspiiri (W_{LR}) määramisele ka terakoostise (lõimise) määramisel:

- <0,1 mm osiste protsent (määrab B1-grupi)
- 0,2...2 mm osiste protsent (koos voolavuspiiriga määrab A₁ grupi)
- 0,063...2 mm osiste protsent (koos voolavuspiiriga määrab C₁ ja D₁ grupi)

Kuna EVS-EN tüüpsete sõelte komplektis puudub 0,1 mm sõel siis tuleb laboratoorsete uuringute lähteülesandes määrata täiendava 0,1 mm sõela vajalikkus sõelanalüüsi teostamisel.

Vastavalt määratud lõimisele, voolavuspiirile ja teatud juhtudel pinnase nimetusele EVS-EN järgi leitakse pinnaseteguri B arväärtus (tabel 2.3).

Juhul, kui mingi pinnase puhul lõimis või voolavuspiir väljuvad tabelis 2.3 esitatud piiridest, vastavad need pinnased materjalidele esitatud nõuetele või on need pinnased kaetud jämepeenpinnaste nomogrammi alaga (üle 6,3 mm osiste sisaldus vähemalt 20% ja <0,63 mm ≤40% ning $W_{LR} \leq 25$) või ei ole neid uuritud ning nende kohta arvutusparameetrid puuduvad.

Tabel 2.3 Pinnaseteguri B väärtuse määramine

Terakoostis	Voolavuspiir (W_{LR})	Klass	EVS nimetus	Pinnaseteguri B väärtus
<0,1 mm üle 25%	<10	B ₁	siSa, clSa	1
	<10	B ₁	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	2

	<10	B ₁	Si, clSi, siCl, Cl	4,0-4,5
0,2...2 mm >50%	10-25	A ₁	siSa, clSa	3
	10-25	A ₁	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	3,5
0,063...2 mm ≥40%	25-40	C ₁		5-8
	40-50	C ₁	siSa, clSa	4-4,5
	40-50	C ₁	saSi, saclSi, sasiCl, saCl	3-3,5
0,063...2 mm <20%	10-25	D ₁		5-8
0,063...2 mm 20%...40%	10-25	D ₁		4-4,5
0,063...2 mm >40%	25-40	D ₁		5-8
	40-50	D ₁		4-4,5
	50-70	D ₁		3-3,5

2.2. Täiendavad märkused ja parandused külmakindlusarvutuses

1. Juhendi 2001-52 Tabeli T15.1 all on märkus: väikesemad arvud kehtivad normikohase kõrgusega muldkeha korral. Eeldatav külmakerge l_{kk} või z_1 , määratuna J15.1 või (15.2) abil, vastab kõikide katenditüüpide (v.a lihtkatend) 3. paikkonna olukorrale.

Linnateede katendiarvutuse juhendis (mis ei ole käibe leinud) on samas kohas märkus, et väiksemad B väärtused kehtivad 2. niiskuspaiikkonnas ja suuremad väärtused 3. niiskuspaiikkonnas.

Antud juhul on mõistlik reglementeerida B valik antud piiride vahel just niiskuspaiikkonna kaudu seetõttu, et see on algoritmiliselt kõige lihtsam realiseerida.

2. Tabelis T15.2 esineb „tolmne saviliiv“, mida EVS-EN-i määratluses ei ole: 1. ja 2. paikkonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt T15.2 skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrguse puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

Tabel 2.4. Juhendi 2001-52 külmakindluse arvutuse tabel T15.2

	Paikkonna tüübi nr.	Märkused
Püsikatend	1	Külmakindlusele ei arvutata, kuid tolmse saviliiva puhul tuleb võtta meetmeid takistamiseks vee sattumist muldkehasse ülalt.
Püsikatend	2	$Z_{1,2} = 0,8 * z_1$
Kergkatend	1	Külmakindlusele ei arvutata.
Kergkatend	2	Külmakindlusele arvutatakse ainult tolmse saviliiva puhul
Siirdekateend	1 ja 2	Ei arvutata.
Lihtkatend	1, 2 ja 3	Ei arvutata.

Selles osas asendada määratlus "tolmse saviliiva puhul" määratlusega "kui pinnasetegur $B \geq 5$ "

3. Katendi redutseeritud paksuse arvutamiseks kasutatakse katendi- ja pinnasekihtide soojustehnilisi ekvivalente (juhendi 2001-52 tabel L3.T2, vt allpool). GOSTi alusel klassifitseeritud jäme-, kesk-, ja peenliiva määratlust EVS-EN järgi ei ole (vt tabel 1.14), mistõttu need on asendatud liiva, moolliiva ja savika liivaga (valdav tera suurus määrab liiva tüübi, kui $C_u > 6$). Lisatud redaktsioonis on korrigeeritud ka peenpinnaste liigitust.

Tabel 3.4. Juhendi 2001-52 soojustehniliste ekvivalentide tabel

L3. Materjalide ja pinnaste soojustehnilised ekvivalendid ε_i	
L3.T2	
Materjal, pinnas	ε_i
Asfaltbetoon – tihe	1,15
- poorne	1,22
- ülipoorne	1,30-1,36
Tsementstabiliseeritud (6 – 10%) segaterine liiv	1,0
Tsementstabiliseeritud (10%) ühtlase terastikuga liiv	1,07
Lubistabiliseeritud nõrk lubjakivikillustik	1,27
Tsementstabiliseeritud (6 – 12%) pinnas	1,12
Kompleksstabiliseeritud (tsement 2 - 6%, lubi 2 – 6 %) pinnas	1,18
Tardkivikillustik	1,0
Lubjakivikillustik	1,15
Kruus	1,0
CSa (jämeliiv (valdav fr 0,63-2 mm) – sulanud	1,03
-külmunud	0,88
MSa (keskliiv (valdav fr 0,2-0,63 mm) - sulanud	0,98
- külmunud	0,87
FSa (peenliiv (valdav fr 0,063-0,2 mm) - sulanud	0,98
- külmunud	0,89
B1 pinnased (tolmliiv) - sulanud	1,02
- külmunud	0,92
A1, C1, D1 pinnased (saviliiv) juhul, kui $W_{LR} < 25$ - sulanud	1,02
- külmunud	0,96
A1, C1, D1 pinnased (liivsavi ja savi) juhul, kui $W_{LR} > 25$ – sulanud	1,07
- külmunud	0,97

3. MAANTEEAMETI KÄSKKIRJADEGA SISSE VIIDUD MUUDATUSED JUHENDIS 2001-52

- Käskkiri 0144 18.04.2012 elastsete katendite arvutamise programmi ja katendiarvutamise programmi kasutusjuhendi kinnitamine
- Käskkiri 0069 14.02.2013 muldkeha ja drenkihi projekteerimise ja filtratsioonimooduli määramise kohta (tühistatakse kuna jõustus normi uus redaktsioon)
- Muldkeha projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis, kinnitatud käskkirjaga nr 0107 18.03.2014
- Muudatused tulenevalt TSM 28.09.1999 määruse nr 55 "Tee projekteerimise normid" muutmisest (jõustus 15.08.2014)

Käskkirjaga 0144 kinnitatud programmi KAP kasutuselevõtuga (KAP kasutajajuhend) viidi sisse rida konkreetseid täiendusi (piiranguid) juhendile 2001-52.

- Fikseeriti, et tugevamad katendi kihid (suurema elastsusmooduliga) peavad asetsema konstruktsioonis kõrgemal. See nõudmine on vastuolus juhendi 2001-52 tekstiga, kus esitletakse arvutusvõimalused juhiks, kui tugevam kiht paikneb nõrgemate kihtide vahel (tihti esinev olukord remondi ja rekonstrueerimise juures). Siit tulenevalt, on tehniliselt ainus võimalus käsitleda tugevama kihi peal paiknevat nõrgemat kihti ühtse summeeritud paksusega kihina kuni kihini, mille tugevusnäitajad on madalamad tugevama kihi peal paikneva nõrgema kihi näitajatest.

- Määratleti, et sama elastsusmooduliga materjalid tuleb kirjeldada ühe kihina. BCH 46-83 ja sellel tuginevad juhised (ODN, 2001-52) baseeruvad üldjuhul Odemarki valemil, mis on aluseks ka Soome katendite projekteerimisjuhendis. Soome juhendis on selgelt ja üheselt määratletud, et juhul, kui sidumata kihtide paksus ületab 30 cm, kirjeldatakse see alamkihtidena paksuses 20-30 cm. Seetõttu tuleb kahelda KAP tulemis, kui mistahes sidumata kihi paksus ületab 30 cm. Projekteerijal tuleb kahtluse korral katsetada arvutusi väiksema kihipaksusega ning kui tulemus selle tõttu osutub paremaks, esitada arvutused projekteeritust väiksema kihipaksusega lisades vastavad märkused kommentaarina katendiarvutusele.

Filtratsioonimooduliga seonduvas käskkirjas (0069) sätestati nõuded filtratsioonimooduli väärtusele ja selle määramisele, alates 15.08.2014 on need reguleeritud projekteerimismisnormis.

Muldkeha projekteerimise juhendis (2014-3) on täpsustatud projekteerimismisnormide kinnitamise määru (nr 55, 1999 aastast, viimane uuendus 2012) sätestatud võimalust teiste riikide normide kasutamise kohta, mille kohaselt juhendis viidatud teiste riikide normide kasutamise kinnituseks loetakse projekti kinnitamist Tellija poolt. Siit tulenevalt tasub kaaluda ka vastava klausli lisamist katendite projekteerimisjuhendisse. Juhendist on võrreldes eelnenud versiooniga eemaldatud pinnaste klassifikatsiooni käsitlev osa, mille põhiteemad on käsitletud projekteerimismisnormides.

4. MAANTEEDE PROJEKTEERIMISMISNORMIDES REGULEERITUD KATENDITEEMAD

Projekteerimismisnormides (15.08.2014) on katendiga seonduvalt käsitletud ja täpsustatud mitmeid teemasid:

- Täpsustatud definitsioonid.
- Täpsustatud katendite liigitus (kergkatendite ja siirdekateendite erisused).
- Nõuded kindlustatud peenra kandevõime suhtes (II-VI klassi puhul sõiduteega võrdne, I klassi tee peenrale võib projekteerida väiksema kandevõime).
- Konflikt normide ja eeltoodud filtratsioonimooduli käskkirja vahel (käskkiri kitsendab normi ulatust, mis on siiski lubatud) – töökihi ülemine meeter 0,5 m/ööp, alumine 50 cm 0,2 m/ööp ning ka ülemises kihis võib kasutada pinnaseid 0,2...0,5 m/ööp, kui esineb eraldi drenikiht.
- Kohustus I klassi teedel drenikihi paksuse ja filtratsioonimooduli määramiseks arvutustega – juhendis 2001-52 esinev arvutusalgorithm pole piisavalt selge ja korrektne.
- Katendikihtide vähimate paksuste tabel (asfaldist katendikihtide ehitamise juhise tabel on vastuolus).
- Bituumensideainetega töödeldud katendikihtide vähima paksuse tabelit on korrigeeritud (suurendatud kihipaksusi, muudetud bituumeniga stabiliseeritud kihtide arvestust).
- Lisatud juhised staatilise koormusega alade kohta:
 - o parklate projekteerimiseks (VI või V klassi nõutav elastsusmoodul ja 20-30 ühiku võrra madalama penetratsiooniga bituumeni kasutamine);
 - o eeldatava koormussagedusega vähemalt 225 normtelge enamkoormatud sõidurajal ööpäevas staatilise koormusega alade (ühissõidukipeatused, ristmikud ja raudteeületuskohad) tugevdamiseks (lisatakse alumine asfaldikiht ja kasutatakse 20-30 ühiku võrra madalama penetratsiooniga bituumenit);

- Eeltoodud juhtudel nõutakse madalama penetratsiooniga bituumeni või PMB kasutamist, määratud on seejuures pehmenemistäpp vähemalt 55°C. Ilmselt on otstarbekas seda nõuet tõsta vastavuses SNiP 2013 uuendatud versioonile 60°C tasemele.
- Taastatakse võimalus katendi pindamata ülakihi paksuse suurendamiseks kulumisvaru võrra lisaks arvutustele.

Lahendamata on filtratsioonimooduli määramine juhul, kui töökihis (1,5 meetrit) või drenikihis kasutatakse materjale, milles 0...4 mm osiste sisaldus on väike (kruus, killustik, aheraine), sest filtratsioonimoodul määratakse ainult pinnase/materjali 0...4 mm osisele. Tõenäoliselt tuleks piiritleda filtratsioonimooduli määramise meetodika kasutamine vaid nendele materjalidele, milles 0...4 mm osiste osakaal on vähemalt 50%. Filtratsioonimooduli määramist on kirjeldatud ГОСТ 25584-90 (Настоящий стандарт распространяется на песчаные, пылеватые, глинистые грунты и устанавливает методы лабораторного определения коэффициента фильтрации при исследованиях грунтов для строительства) – järelikult juhul, kui ei ole tegemist liivpinnastega, ei saa kasutada ei eeltoodud GOSTi ega ka valdavalt sellel tuginevat EVS standardit. Kruusaks nimetatakse pinnast/materjali siis, kui selles esineb kruusa vähemalt 30%. GOST määratleb pinnase kruusliivaks, kui üle 2 mm osiste sisaldus materjalis on vähemalt 25% ning mägiseks pinnaseks kui see on vähemalt 50%. Igal juhul on fakt see, et kui üle 2 mm osiste sisaldus on üle 50%, ei ole tegemist liivpinnasega, ega ka GOSTis määratletud teiste pinnaseliikidega, mille osas GOST normeerib filtratsioonimooduli määramist. Seetõttu ei ole mõeldav ka sellistele materjalidele/pinnastele esitada nõudeid filtratsioonimoodulile. Pakume välja järkjärgulise lahenduse, mille käigus esmalt, kehtestada piir, et filtratsioonimooduli nõudeid ei esitata materjalile, milles üle 4 mm osiseid on vähemalt 50% (filtratsioonimoodulit on võimalik määrata alla 50%-le uuritavast materjalist). Seejärel uurida tegelikult esinevate kruuspinnaste ja killustikusegude omadusi piirkonnas alates kruusa määratlusest (üle 2 mm vähemalt 30%) kuni eeltoodud määratluseni (üle 4 mm vähemalt 50%).

MODN 2-2001 (kasutusel SRÜ riikides) järgi nõutakse orgaanilise sideaine kasutamist püsikatendil vähemalt 18 cm ulatuses ja siirdekattendil vähemalt 12 cm ulatuses.

Mitte ainult lingvistilisi probleeme põhjustab ka katte ja aluse piiri tõmbamine – BCH 46-83 (p 2.23) järgi on poorsest asfaltbetoonist kiht (AC base) aluse, mitte katte osa (aluse ülakiht). Sama lähtepunkt on ka Soome normides.

Projekteerimisnormides (PN) vajalikud muudatused seoses katendite projekteerimisjuhendi korrigeerimisega.

1. P 4.2 (1¹) – katendi arvutuslik kasutusaeg – MNT käskkirjaga muudetud (20 aastat)
2. P 4.2 (2) – arvutusalus tuleb viia summaarsele koormusele katendi tööea jooksul, mis tehniliselt võidakse taandada maksimaalsele aastakeskmisele koormusele
3. P 4.2 (3) – võib tekkida vajadus esimese sõiduraja tugevama konstruktsiooni kasutamiseks, kehtiv redaktsioon seda ei luba
4. P 4.2 (5) – haardeteguri nõuded – lisada märkus et katendi kulumiskiht võib olla 16 mm või 20 mm terasuurusega asfaltbetooni segust
5. P 4.3 (1) 2) – näha ette tegeliku kogukaalu ja teljekoormuse määramist kaalumiseega on ilmselt mõttetut seni, kuni puuduvad vastavad võimalused.

6. P 4.3 (2)- normatiivkoormused on vigased. Üksiktelg 100 kN või siiski 115 kN (lubatud veoteljel), topeltratas 50 kN või siiski 55,25 kN (veoteljel), topelttelg (tandem) 200 kN või siiski 190 kN (max lubatud) ja kolmiktelg (tridem) 200 kN (nagu praegu PN), 250 kN (nagu oli 2001-52) või 240 kN (mis tegelikult on lubatud, sealhulgas üksikratastega telgedele - supersingle)
7. T 4.3 vajab uuendamist seda eriti autorongide jaotuse ja siirdetegurite väärtuste osas
8. V4.3 seletuses on toodud sõidukitüüpide arvuna näiteks 10, kuid tegelikult on 11 jaotust ja 14 alajaotust; on rajategur a' kuid puudub valem Q arvutamiseks kus rajategurit kasutatakse
9. T 4.6 puhul on rohkem probleeme; AC surf kasutamine kiirteel; kas AC base ja MUK kuuluvad katte või aluse koosseisu
10. T4.15 kasutab mõistet AKÖL15 kui püsikatted arvestatakse 20 aastaks. Ühtlustada T4.13 märkusega 2).
11. P4.5 (6) asendada esimesed kaks lauset tekstiga '4- ja enamarajalisel teel võib kindlustatud peenra projekteerida väiksema kandevõimega'
12. T4.18 toodud väärtused vastavad ka 2001-52 väärtustega, kuid ei vasta ehitusjuhises ja kvaliteedinõuetes toodud süsteemiga (otsene seos teradiameetriga). Tee klassist sõltuv piirväärtuste jaotus tuleks tühistada nii PN kui juhendis. Tabelis toodud minimaalsed paksused tulenevad tehnoloogianõuetest (õhema kihi kvaliteetne paigaldus ei ole võimalik) ning sisaldavad kulumisvaru (kui ette nähtud P4.6 (9) järgi). Lisada märkus "alla 3 cm paksust kihti (ilma kulumisvaru arvestamata) tugevusarvutustes arvesse ei võeta (loetakse tehnoloogiliseks kihiks)". Kustutada rida AC base 8 sest sellist asfaltbetooni ei näe ette standard EVS 901-3.
13. 4.5 (9) teine lause tuleb kustutada (viidatud T4.19 on kustutatud)
14. 4.6 (2) lisada: ", mis on arvestatud Ktt väärtusega"
15. 4.6 (4) asendada sulgudes "vähemalt 10 autorongi ööpäevas"
16. Loogika huvides tuleks 4.6 (8) viia 4.6 (7) koosseisu

5. PERSPEKTIIVNE LIIKLUSKOORMUS

Katendid projekteeritakse perspektiivsele liikluskooormusele. Senikehtivas reglemendis arvestatakse 15-nda aasta koormussagedust. Kuna lähteülesandega on võimalik sätestada pikem eluiga (püsikatendil 20 aastat), siis tuleb korrigeerida koormussageduse väärtust.

Kui kasutada 20-aastase eluea korral 20-nda aasta koormussagedust, siis arvestades eluea jooksul kogunevat normtelgede hulka, jäetakse arvestusest välja esimesed viis aastat. Seetõttu on mõistlik leida katendi eluea summaarne koormus (kumulatiivne), see taandada 15 aastale ning leida selliselt taandatud 15-nda aasta koormussagedus mis on aluseks katendi projekteerimisel.

Projekteerimismõistetes on valemid 4.5 [$f=(1+0,015A)$] ja 4.6 [$\sum N_{10}=365A(1+0,0075A)N_{arv}$] millised viitavad raskeliikluse kasvutempole 1,5% aastas (täpsemalt, fikseeritud kasvule lähte aasta tasemest 1,5% ulatuses). Siit tulenevalt saab koostada algoritmi koormussageduse teisendusteks alljärgnevas:

Q_{15} – arvutuslik 15-nda aasta koormussagedus enamkoormatud sõidurajal, mis tuleb võtta aluseks katendiarvutustes.

Oluline ei ole, kuidas on koostatud prognoos, tähtis seejuures on vaid teada summaarset liikluskormust enamkoormatud rajal 20 aasta jooksul.

Võttes aluseks kumulatiivse koormuse ($\Sigma Q = (Q_1 + Q_{20})/2 * 365,25 * 20$), jagades selle võrdselt 15 aastale, saame väärtuse mis kehtiks 15-aastase perioodi keskel – $Q_{7,5} = \Sigma Q / 15 / 365,25$.

Järgnevalt kasutame raskesõidukite eeldatavat kasvutempot 1,5% (mis oli fikseeritud PN redaktsioonis, mis kehtis kuni 15.08.2014) saame $Q_{15} = Q_{7,5} * 1,015^{7,5}$

Lihtsustatult, saame arvutusliku 15-nda aasta koormuse jagades 20 aasta summaarse koormuse ΣQ konstandiga 4900 – seega, $Q_{15} = \Sigma Q / 4900$.

Teades raskeliikluse tegelikku prognoosi, on võimalik tulemus veidi erinev, oluline on põhimõte, mille kohaselt etteantust pikema katendi tööea puhul tuleb kumulatiivne koormus taandada KAPi jaoks 15ndale aastale.

6. KATENDI DIMENSIONEERIMISE ARVUTUSNÄITED EVS-EN ISO 14688 PINNASENIMETUSTEGA

Näidetes on piirdutud ühe aluspinnasega. Toodud on konstruktsioonid püsikatendile kompleksstabiliseeritud ja killustikaluste jaoks I...IV klassi teedele ning kergkattele IV klassi teel.

Tabel 6.1. I klassi maantee

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 1

Koormussagedus: 2437 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 1

Tugevustegur: 1,00

Niiskuspaiikkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püskatend

Töökindlustegur: 0,95

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattele: 0,6 MPa

Normhålbetegur: 1,71

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

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarirata

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

Lisainfo:

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 K_3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastikasfalt - SMA	4,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	0,9587	1,1502			
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0	280							
5	Paekivikillustik	25,0	240							
6	MSa (keskliiv); $C_u > 3$	25,0	120					40,0	0,006	6,0
7	MSa (keskliiv); $C_u > 3$	34,0	105					38,0	0,006	6,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		26,8					11,9	0,010	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			-0,9%	293,58	290,25	
1	Killustikmastikasfalt - SMA	4,0					293,58		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					259,06		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			14,6%	214,26		
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0					164,82		
5	Paekivikillustik	25,0					137,92		
6	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	Nihkepinged	0,0055	0,0140	58,9%	82,68		
7	MSa (keskliiv); Cu>3	34,0	Nihkepinged	-0,0004	0,0140	101,2%	57,57		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0057	0,0058	1,0%			0,827
	Katendi kogupaksus	112,0					Parandustegur Δ		0,039

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	139
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-1,4
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	134,1%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutas: Projekteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.2. I klassi maantee, autorongide suur osakaal

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 2

Koormussagedus: 2437 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 1

Tugevustegur: 1,00

Niiskuspakkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püskatend

Töökindlustegur: 0,95

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhõlbetegur: 1,71

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

Koormus: Dünaamiline, 1,00 üksikratas

Lisainfo: Suur autorongide arv liikluses, üksikratas

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

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	4,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	8,0	1400	800	2200	1,0548	1,1502			
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0	280							
5	Paekivikillustik	25,0	240							
6	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	120					40,0	0,006	6,0
7	MSa (keskliiv); Cu>3	32,0	105					38,0	0,006	6,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		26,7					11,9	0,010	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			4,3%	308,53	290,25	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	4,0					308,53		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					269,81		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	8,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			6,3%	224,40		
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0					163,77		
5	Paekivikillustik	25,0					136,84		
6	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	Nihkepinged	0,0049	0,0140	62,6%	81,40		
7	MSa (keskliiv); Cu>3	32,0	Nihkepinged	-0,0007	0,0140	103,1%	55,82		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0057	0,0058	0,8%			0,828
	Katendi kogupaksus	111,0					Parandustegur Δ		0,038

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	138
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-1,3
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	132,5%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutas: Projekteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.3. II klassi maantee

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 3

Koormussagedus: 1430 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 2

Tugevustegur: 1,00

Niiskuspakkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püskatend

Töökindlustegur: 0,95

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhålbetegur: 1,71

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

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarirata

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo:

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 K_3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	4,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	0,9953	1,1274			
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0	280							
5	Paekivikillustik	20,0	240							
6	MSa (keskliiv); $C_u > 3$	25,0	120					40,0	0,006	6,0
7	MSa (keskliiv); $C_u > 3$	29,0	105					38,0	0,006	6,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		26,0					11,5	0,010	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastus-moodul Mpa	Vajalik elastus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastusmoodul			-1,9%	274,77	274,60	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	4,0					274,77		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					244,28		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			9,7%	200,35		
4	Tardkivikillustik (graniit)	12,0					151,70		
5	Paekivikillustik	20,0					123,65		
6	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	Nihkepinged	0,0069	0,0157	54,1%	79,01		
7	MSa (keskliiv); Cu>3	29,0	Nihkepinged	0,0001	0,0157	97,5%	52,79		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0063	0,0065	2,2%			0,837
	Katendi kogupaksus	102,0					Parandustegur Δ		0,030

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	126
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-0,1
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	102,7%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutas: Projekteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.4. II klassi maantee kompleksstabiliseeritud alusel

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 4

Koormussagedus: 1430 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 2

Tugevustegur: 1,00

Niiskuspakkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püskatend

Töökindlustegur: 0,95

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhålbetegur 1,71

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

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisrata

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo:

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 K_3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastikasfalt - SMA	4,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	4,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	0,9909	1,1274			
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	12,0	600							
5	Paekivikillustik	20,0	240							
6	MSa (keskliiv); $C_u > 3$	20,0	120					40,0	0,006	6,0
7	FSa (peenliiv); $C_u < 3$	35,0	90					36,0	0,005	5,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		26,0					11,5	0,010	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

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			3,3%	289,14	274,60	
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	4,0					289,14		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	4,0					255,87		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			10,1%	223,74		
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	12,0					173,72		
5	Paekivikillustik	20,0					118,93		
6	MSa (keskliiv); Cu>3	20,0	Nihkepinged	0,0062	0,0157	58,5%	74,64		
7	FSa (peenliiv); Cu<3	35,0	Nihkepinged	0,0015	0,0109	84,2%	53,30		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0061	0,0065	5,0%			0,837
	Katendi kogupaksus	102,0					Parandustegur Δ		0,030

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	128
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-0,3
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	107,7%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutas: Projekteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.5. III klassi maantee

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 5

Koormussagedus: 517 normtelge ööp/rajale

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 3

Tugevustegur: 0,95

Niiskuspäikkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püskatend

Töökindlustegur: 0,9

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhätbetegur 1,32

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

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisrata

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo:

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	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0	2400	1200	3600					
2	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	8,0	1400	800	2200	1,1829	1,4622			
3	Paekivikillustik	26,0	240							
4	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	120					40,0	0,006	6,0
5	FSa (peenliiv); Cu<3	29,0	90					36,0	0,005	5,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		27,1					12,1	0,010	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			-2,0%	232,57	244,73	
1	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	5,0					232,57		
2	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	8,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			17,1%	190,98		
3	Paekivikillustik	26,0					133,96		
4	MSa (keskliiv); Cu>3	25,0	Nihkepinged	0,0130	0,0200	32,9%	77,16		
5	FSa (peenliiv); Cu<3	29,0	Nihkepinged	0,0033	0,0139	73,9%	50,43		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0076	0,0083	7,3%			0,824
	Katendi kogupaksus	93,0					Parandustegur Δ		0,014

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	116
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	0,9
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	78,2%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakeerge on lubatud piirides
-------------------------	---

Arvutus: Projekteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.6. III klassi maantee kompleksstabiliseeritud alusel

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 6

Koormussagedus: 517 normtelge ööp/rajaale

Maantee klass: 3

Teekatendi liik: Püskatend

Tugevustegur: 0,95

Töökindlustegur: 0,9

Normhålbetegur 1,32

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Niiskuspaiikkond: 2, niiske

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

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

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Ratta jälje lõbimõõt: 37 cm

Erisurve kattel: 0,6 MPa

Koormus: Dõnaamiline, 0,85 paarisrata

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9

Lisainfo:

ARVUTUSE KÅIK

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	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	4,0	2400	1200	3600					
2	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	1400	800	2200	1,2258	1,4622			
3	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	12,0	600							
4	Paekivikillustik	17,0	240							
5	MSa (keskliiv); Cu>3	20,0	120					40,0	0,006	6,0
6	FSa (peenliiv); Cu<3	21,0	90					36,0	0,005	5,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		26,2					11,6	0,010	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastus-moodul Mpa	Vajalik elastus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastusmoodul			-1,7%	233,27	244,73	
1	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	4,0					233,27		
2	Kuum poorne asfaltbetoon - ACbase	7,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			14,2%	203,71		
3	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	12,0					154,88		
4	Paekivikillustik	17,0					102,82		
5	MSa (keskliiv); Cu>3	20,0	Nihkepinged	0,0098	0,0200	49,2%	66,08		
6	FSa (peenliiv); Cu<3	21,0	Nihkepinged	0,0030	0,0139	76,1%	43,63		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0079	0,0083	2,7%			0,834
	Katendi kogupaksus	81.0					Parandustegur Δ		0,003

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	102
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	2,2
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	44,0%

* redutseeritud paksust korregeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutas: Projektteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.7. IV klassi maantee püsikatend

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 7

Koormussagedus: 131 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 4

Tugevustegur: 0,90

Niiskuspakkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Püsikatend

Töökindlustegur: 0,85

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhålbetegur: 1,32

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

Koormus: Dúnaamiline, 0,85 paarisrata

Lisainfo:

Alumise asfaltkihi mat. tegur: 1

ARVUTUSE KÄIK

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E_{kv} 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	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	6,0	2400	1200	3600	1,8389	3,2042			
2	Paekivikillustik	30,0	240							
3	MSa (keskliiv); Cu>3	30,0	120					40,0	0,006	6,0
4	FSa (peenliiv); Cu<3	30,0	90					36,0	0,005	5,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		27,3					12,2	0,010	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

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%	185,51	204,43	
1	Tihe kuum asfaltbetoon - ACsurf; ACbin	6,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			40,6%	185,51		
2	Paekivikillustik	30,0					145,84		
3	MSa (keskliiv); Cu>3	30,0	Nihkepinged	0,0164	0,0261	35,0%	81,59		
4	FSa (peenliiv); Cu<3	30,0	Nihkepinged	0,0039	0,0181	76,5%	51,43		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0081	0,0109	23,8%			0,821
	Katendi kogupaksus	96,0					Parandustegur Δ		0,016

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	118
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelise iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	0,7
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	82,0%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvut: Projektteerija

Kuupäev: 22.09.2014

Tabel 6.8. IV klassi maantee kergkatend

KATENDI ARVUTUS

Juhendi 2014-xx näide nr. 8

Koormussagedus: 131 normtelge ööp/raja

Pinnas: C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)

Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A

Maantee klass: 4

Tugevustegur: 0,84

Niiskuspakkond: 2, niiske

Ratta jälje läbimõõt: 37 cm

Teekatendi liik: Kergkatend

Töökindlustegur: 0,8

Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0,03

Erisurve kattede: 0,6 MPa

Normhålbetegur: 1,06

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

Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisrata

Lisainfo:

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	Seguris / teel segatud mustkate	8,0	950							
2	Paekivikillustik	25,0	240							
3	MSa (keskliiv); Cu>3	20,0	120					40,0	0,006	6,0
4	FSa (peenliiv); Cu<3	28,0	90					36,0	0,005	5,0
ALUS	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		27,7					12,4	0,010	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED

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			-1,5%	172,51	204,43	
1	Seguris / teel segatud mustkate	8,0					172,51		
2	Paekivikillustik	25,0					127,45		
3	MSa (keskliiv); Cu>3	20,0	Nihkepinged	0,0177	0,0279	34,6%	72,28		
4	FSa (peenliiv); Cu<3	28,0	Nihkepinged	0,0078	0,0194	57,7%	50,56		
	C-grupp (kerge liivsavi, raske liivsavi, savid)		Nihkepinged aluspinnasel	0,0094	0,0116	16,9%			0,816
	Katendi kogupaksus	81,0					Parandustegur Δ		0,002

Arvutus külmakindlusele

1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	101
2. Kliimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	6
3. Pinnase külmakerkelise iseloomustaja	4,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	2,4
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	60,3%

* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8

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

Arvutus: Projektteerija

Kuupäev: 22.09.2014

7. TÜÜPKATENDID

Näidiskatendid maanteedele ja kohalikele teedele

Sisu

Näidiskatendid maanteedele ja kohalikele teedele	54
Üldnõuded katendi konstrueerimisele	54
Kandevõime nõuded ja nende kontrollimine	54
Nõuded drenkihile (filtratsioon)	55
Kulumisvaru	55
Kihipaksused	55
Koormused riigimaanteedel 2013 andmetel (perspektiiv 2035)	57
Katendid riigimaanteedele	59
I klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) $E_{min} = 240 \text{ MPa}$; $E_{vaj} = 299 \text{ MPa}$	59
II klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) $E_{min} = 220 \text{ MPa}$, $E_{vaj} = 288 \text{ MPa}$	60
III klassi maantee püsikate (tööiga 20a) $E_{min} = 180 \text{ MPa}$, $E_{vaj} = 256 \text{ MPa}$	60
IV, V ja VI klassi maantee	61
Näidiskatendid kohalikele teedele	62
Tüüp 1 – Jalgteed, jalgrattateed	62
Tüüp 2 – Eramute mahasõidud ja sõiduautode parklad	62
Tüüp 3 – Elurajoonide kvartali siseteed ühistranspordita	62
Tüüp 4 – Bussipeatus (kuni 20 bussi ööpäevas)	62
Tüüp 5 – Kohalikud teed (kuni 300 autot ööpäevas)	63
Tüüp 6 – Kohalikud teed (300-800 autot ööpäevas)	63
Tüüp 7 – Kohalikud teed (800-1500 autot ööpäevas)	63
Tüüp 8 – Kruusateed	63

Üldnõuded katendi konstrueerimisele

Siin ja edaspidi eeldatakse klassi miinimumnõuete arvestuses, et tee klass on valitud vastavalt liiklussagedusele (IV klassi tee perspektiivne liiklussagedus ei saa ületada projekteerimismõõdetatud piirväärtust 3000 AKÖL).

Vastavalt teede projekteerimismõõdetatud peab uue tee projekteerimisel töökiht (kuni 150 cm katte pinnast) olema drenivast materjalist (määratlus projekteerimismõõdetatud 0,5 m/ööp; kvaliteedinõuetes 0,2 m/ööp), püsikatendil ülemine meeter külmakindlast materjalist. Olemasoleva tee rekonstrueerimisel otsustab nõuetele mittevastava materjali väljavahetamise vajaduse Tellija.

Kandevõime nõuded ja nende kontrollimine

Vastavalt teetööde kvaliteedinõuetele peab drenihi kandevõime (mõõdetuna Inspector või Loadman seadmega) olema vähemalt 65 MPa, killustikaluse kandevõime sama seadmega mõõtes vähemalt 170 MPa ja stabiliseeritud aluse kandevõime vähemalt 230 MPa (pärast esmase kivinemise nädalat). Mõõteseadmete kasutamisel tuleb meele pidada, et seadme mõjuulatus sõltub kasutatava koormustalla diameetrist ja langeva raskuse löögienergiast (mass ja langemiskõrgus). Portatiivsete seadmetega Inspector ja Loadman on võimalik suhteliselt adekvaatselt hinnata kandevõimet drenihil, kuid juba killustikaluse osas on mõõtetulemused tegelikust (ja arvutatust) oluliselt suuremad (ehk siis, arvutuslikult ei ole

võimalik saada mõõdetavaga võrreldavaid kandevõime väärtusi). Killustikul mõõdetud kandevõime väärtus peegeldab enam materjali enda omadusi ja tihenduse kvaliteeti, vähem kogu konstruktsiooni kandevõimet.

Nõuded drenkihiile (filtratsioon)

Kui teekonstruktsiooni ülemises meetris on kasutatud pinnaseid/materjale, mille filtratsioon on vähemalt 0,5 m/ööp (siin ja edaspidi, filtratsiooni määramise metoodika on kirjeldatud standardis EVS 901-20), ei ole vaja eraldi drenkihti ehitada. Teekonstruktsiooni töökihis (1,5 m katte pinnast) peab kasutama pinnaseid/materjale, mille filtratsioon on vähemalt 0,2 m/ööp. Drenkihi paksus vähemalt 20 cm, 3 niiskuspäikkonnas vähemalt 30 cm.

Drenkihi materjalile esitatavad nõuded käsitlevad filtratsiooni, kuid paraku on hea filtratsiooniga looduslikud materjalid tihti ühtlaseteralised ning madalama kandevõimega ja raskesti tihendatavad. Ühtlaseteralise materjali kasutamisest tulenevat kandevõime puudujääki on väga raske (kallis) kompenseerida ülemiste kihtide konstrueerimisel.

Kulumisvaru

Maanteede katendite projekteerimisel on enamkoormatud püsikatendiga teedel (I-III klassi nõuetele vastav liiklussagedus) vajalik kulumisvaru arvestamine (katendi taastamine või ülekate teostatakse hiljemalt siis, kui roopasügavus ulatub 20 mm-ni, katendi eluea keskmine kulumiskihi paksus on seega 10 mm väiksem ehituslikust. Seetõttu tuleb arvutustes kasutada projekteeritavast 1 cm väiksemat kulumiskihi paksust. Kulumisvaru ulatus 1 cm võtab arvesse seisundinõuetes sätestatud maksimaalse lubatud roopasuuruse, kui on oht et remonti (katendi taastamist) ei teostata õigeaegselt ning roobas võib kujuneda suuremaks, tuleb rakendada suuremat kulumisvaru. Reeglina tulenevad kihipaksuse piirangud kvaliteetse katendi ehitamiseks vajalikest tehnoloogilistest nõuetest. Samas tuleb arvestada, et alla 3 cm katendikihte tugevusarvutustes arvesse ei võeta.

Kihipaksused

Khipipaksused määratakse kontrollarvutustega (KAP), arvestades seejuures tehnoloogianõudeid.

Muldkeha ja drenkihi materjal

Kohalike maavarade kasutamisel on võimalik ja tõenäoline, et muldkeha rajamisel saab kasutada kruusmoreeni (üle 5 mm osis vähemalt 20%, alla 0,63 mm osis [plastsusarvuga (Vassiljev, Ipv) kuni 7] massist kuni 40%). Sellise materjali elastsusmoodul sõltub peenosiste sisaldusest ja plastsusarvust ning võib olla vahemikus 50 kuni 200 MPa. Konkreetse materjali omadustest (filtratsioonimoodul EVS 901-20 järgi) tuleneb drenkihi kohustuslikkus. Samas tuleb arvestada, et kui materjalil on küll hea kandevõime kuid nõrk filtratsioon, siis ei saa sellisele kruusmoreenile drenkihti liivast teha kui moreeni kandevõime on suurem kui drenkliival (nõrgad ja tugevad kihid vahelduvad). Sellisel juhul rajatakse drenkiht killustikust või leitakse kruusmoreenile filtratsioonimoodul kaudsel teel.

Võimalikud materjalid katendikihtides

Tabel 7.1. Asfaltsegude valik (PN)

Asfaltsegude kasutamine kattes		
Maantee klass	Katte kiht	
	Ülemine	Alumine
Kiirtee, I	SMA	AC surf või AC bin
	AC surf	AC bin või AC base
II	SMA	AC surf või AC bin
	AC surf	AC bin või AC base
III	AC surf	AC bin või AC base;
		Mustsegu (MSE);
IV	AC surf	Mustkillustik (MUK)
		AC base;
V	AC surf	Mustsegu (MSE)*
		Mustkillustik (MUK)*
VI	AC surf	Pindamine
		Mustsegu (MSE)*
VII	AC surf	Mustkillustik (MUK)*
		Pindamine

Tabel 7.2. Asfaltsegude valik (EVS 901-3 soovitus)

ASFALTSEGUDE VALIKU SOOVITUSLIK TABEL															Tabel 1						
Nr	Segu	Tinglik analoog AL ST 1-02 järgi	Ühekihtine asfalt		Kahekihtine asfalt										Kolmekihtine asfalt					Eri-otstarbelised kihid ja profiil parandused	
			Kergliiklus	< 500	Kergliiklus	Aasta keskmine ootähtsuse liiklussagedus enimmakoormatud sõidurajal															
						501 - 1500		1501 - 3000		> 3000		501 - 1500		1501 - 3000		> 3000					
						S	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R			
1	AC 4 surf	TAB 4	K3	K3	K2	K3															
2	AC 8 surf	TAB 8	K2	K2	K1	K2	K1	K3	K3				K2						P		
3	AC 12 surf	TAB 12	K1	K1	K2	K1	K1	K1	K2	K2	K2	K1	K2	K1	K1	K2	K3		P		
4	AC 16 surf	TAB 16	K3	K2		K2	K3	K1	K2	K1	K2	K1	K2	K1	K1	K2	K2	K3			
5	AC 20 surf	TAB 20				K2	K3	K2	K3	K1	K3	K3				K3	K2	K3			
6	AC 12 bin	TAB 12				A3			A1	A2			S1						P		
7	AC 16 bin	TAB 16				A2	A2		A2	A1	A2	S2	S1	S1	S1	S2	S2				
8	AC 20 bin	TAB 20				A3	A2	A3	A2	A2	A1	S2	S2	S2	S2	S1	S1				
9	AC 16 base	PAB 16				A1	A1	A2	A2	A2	A3	A3	A1	A2	A1	A2	A3	A3			
10	AC 20 base	PAB 20				A2	A1	A1	A1	A2	A2	A1	A2	A1	A1	A2	A2	A2			
11	AC 32 base	PAB 32				A2	A2	A2	A2	A1	A1	A1	A3	A2	A2	A1	A1	A1			
12	SMA 8	KMA 8							K2	K2	K2	K2				K2	K2	K2			
13	SMA 12	KMA 12							K1	K1	K1	K1				K2	K1	K1	K1		
14	SMA 16	KMA 16							K2	K1	K1	K1				K2	K1	K1	K1		
15	MA 8	VAS 8																	E1, E2		
16	MA 12	VAS 12																	E1, E2		
17	PA 8	DAB 8																	E3		
18	PA 12	DAB 12																	E3		
19	PA 16	DAB 16																	E3		
20	MSE 8	MSE 8	K1	K2		A3													P		
21	MSE 12	MSE 12	K2	K1	A3														P		
22	MSE 16	MSE 16	K1	A2	A2														P		
23	MSE 20	MSE 20		K2	A3	A3													P		

MARKUSED JA TÄHISED:

S – kapitaalised katkestav alus

T – tähtsine liiklus

R – raske liiklus

(liikluse koostsuse vähemalt 10% veokeid, mille tähtsuse on taandatud võrreldu ühe nõrke liikumise koostsusega)

A – alumiine ehk kandeskiht

S – keskmine ehk siduskiht

K – pealmine ehk kihtuskiht

P – profiilparandus

E – eriotstarbelised kihid (alla sõidutee, vettpidav kiht, mittehõrdatavad katteosad, pürokrabade tälmise jne.)

Tähtse järgnumbri tähtsustab eelistus:

A1 – esimeste eelistus kasutamiseks kandeskihis

K3 – kolmas eelistus kasutamiseks kihtuskihis jne.

MÄRKUSED JA TÄHISED:

* – kapillaaritus katkestav alus

T – tavaline liiklus

R – raske liiklus (liikuvoo koostis vähemalt 10% veoedid, mille täismass on taandatud rohkem kui ühe normitee koormuseks)

A – alumine ehk kandevkiht

S – keskmine ehk siduvkiht

K – pealmine ehk kulumiskiit

P – profiilparandus

E – eriootstarbelised kihid (alla sõidutee, vettplidavad kihid, mittetihendatavad katteosad, pikroobaste täitmine jne)

Tähele järgnev number tähistab eelistust:

A1 – esimene eelistus kasutamiseks

kandevkiht

K3 – kolmas eelistus kasutamiseks

kulumiskiit jne.

Projekteerimismäärde toodud Tabel 4.6 vajab korrektuuri, põhimõtteliselt ei kasutata teises kihis AC surf asfaltsegu (analoogiliste omadustega on AC bin). Lisaks mustkillustikule (MUK) tuleks katte alumises kihis (aluse ülakihi) näha ette kompleksstabiliseeritud segu (KS) kasutus praktiliselt analoogilistel tingimustel mustkillustikuga, MUK kasutamisel peaks järgmine kiht olema poorsest asfaldist (AC base). Võimalusel tuleb kasutada maksimaalset terasuurst (asfaldi kulumiskihis 16 mm, vahekihis 20 mm ja aluskihis 32 mm).

Standardi soovitus ei ole täpsustatud kas tegemist on perspektiivse liikluskooormusega või "tänaasaga". Segadust tekitab ka raskeliikluse protsendi kasutamine liigituses (jaotuse ülaääres piirmäärast madalama protsendi puhul loetakse koormust madalamaks kui näiteks jaotuse alaaääres pea kaks korda väiksema raskesõidukite arvu, kuid piirmäärast suurema protsendi korral). Mõistlik oleks kasutada kas normtelgede arvu enamkoormatud rajale (mis on ka katendi dimensioneerimise aluseks) või raskesõidukite arvu (VA+AB+AR).

Tabel 7.3. Materjalinõuded ehitusjuhises

Asfalt- ja mustsegu jämetäitematerjalidele esitatavad miinimumnõuded

Segu tüüp		AKÖL 15 < 900	900 < AKÖL 15 < 1500	1500 < AKÖL 15 < 3000	3000 < AKÖL 15 < 6000	6000 < AKÖL 15 < 12000	AKÖL 15 > 12000
		1	2	3	4	5	6
SMA	A	Ei kasutata	Ei kasutata	Ei kasutata	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₁₅ , A _N 10, F ₁ , FNaCl ₄ , FI ₁₀ , f ₁ märkus 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₁₅ , A _N 10, F ₁ , FNaCl ₄ , FI ₁₀ , f ₁ , märkused 1 ja 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₁₅ , A _N 7, F ₁ , FNaCl ₄ , FI ₁₀ , f ₁ , märkused 1 ja 4
AC surf	B	G _C 85/20, C _{50/30} , LA ₃₅ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C _{50/10} , LA ₃₀ , A _N 19, F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₂₀ , f ₂ , märkus 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₃₀ , A _N 19, F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₂₀ , f ₂ , märkus 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₂₅ , A _N 14, F ₁ , FNaCl ₄ , FI ₂₀ , f ₁ , märkus 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₁₅ , A _N 10, F ₁ , FI ₁₀ , FNaCl ₄ , f ₁ , märkus 4	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₁₅ , A _N 7, F ₁ , FI ₁₀ , FNaCl ₄ , f ₁ , märkus 4
AC bin	C	G _C 85/20, C _{50/30} , LA ₃₅ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C _{50/30} , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C _{50/10} , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₂₅ , F ₂ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₂₅ , F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₁₅ , f ₂	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₂₅ , F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₁₅ , f ₂
AC base	D	G _C 85/20, C _{50/30} , LA ₃₅ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 85/20, C _{50/30} , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 85/20, C _{50/10} , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₀ , f ₄	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₃₀ , F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₁₅ , f ₄ märkus 2	G _C 90/15, C ₁₀₀₀ , LA ₃₀ , F ₂ , FNaCl ₄ , FI ₁₅ , f ₄
MSE	E	G _C 85/20, C _{50/30} , LA ₃₅ , F ₄ , FI ₂₅ , f ₄ , MB _F 10	G _C 85/20, C _{50/10} , LA ₃₀ , F ₄ , FI ₂₅ , f ₄ , MB _F 10	Ei kasutata	Ei kasutata	Ei kasutata	Ei kasutata

Tabelis esitatud AKÖL15 ei ole objektiivne, katendi ülakihi puhul tasub rääkida kas liiklussagedusest ülakihi tööea lõpus (näiteks AKÖL 7) või katendi tööea lõpus (püskikatendil AKÖL20). Tasub kaaluda piiride ühildamist tee klassi piiridega.

Koormused riigimaanteedel 2013 andmetel (perspektiiv 2035)

Koormused on leitud Teeregistri andmete analüüsiga, arvestades püsikatendi tööeaks 20 aastat, kergkatendil 15 aastat. Püsikatendi puhul on 20 aasta koormus taandatud 15-ndale aastale (KAP arvestab 15-nda aasta koormusega).

Siirdetegur

Kuigi viimaste aastate loenduste analüüs näitab, et autorongide keskmise siirdetegurina 2,0 ei ole enam adekvaatne nii keskmise telgede arvu suurenemise kui ka super-single rehvitüübi leviku tõttu, on siiski keskmisena kasutatud 2,0. Liikluskoosseis on arvestatud lihtsustatud skeemi alusel – kuni 6-meetrised sõidukid (SAPA) siirdeteguriga 0, 6-12 meetrised (VAAB) teguriga 1,2 ning üle 12-meetrised (AR) teguriga 2,1.

Autorongide siirdetegur vajab detailsemat uurimist, telgede arvu jagunemise osas on võimalik kasutada lühiajaliste automaatloenduste (voolikloendus) tulemusi – on toimunud nihe suurema telgede arvuga autorongide kasutamise suunas ja seetõttu peaks suurenema ka siirdetegur. Teine, oluliselt suurem probleem seisneb super-single rehvitüübi laialdasema kasutusega. Soome ekspertide andmetel (välikatsed) on super-single rehvi teed kahjustav mõju sõltuv asfaldikihtide kogupaksusest (mida õhem katend, seda suurem mõju) ning tagasihoidliku hinnangu järgi koormab super-single sama teljekoormuse korral katendit 2,5 kuni 4 korda enam võrreldes tavapärase paarisrattaga. Eestis kasutusel olev katendite projekteerimise süsteem eeldab rehvirõhu väärtuseks 0,6 MPa (seda ei ole lihtne muuta) ning tegeliku 0,8-0,9 MPa mõju kompenseerimiseks tuleb tõenäoliselt kasutada veelgi suuremat siirdetegurit kõigil raskesõidukitel, kus kasutatakse kõrgsurverehve. Tehniliselt on autorongide teljekoormusi ja rehvitüüpe võimalik jälgida Muuga sadama teel, kus paikneb Eesti ainus kaalupunkt mis suudab eristada paarisrattaga telge üksikrattaga teljest.

Liiklusprognoos koormussageduse aspektist

Teede projekteerimismeeskondades on esitatud lihtsustatud prognoosimetoodika ($10=20$), mida saab mõõndustega kasutada vaid tee klassi määramiseks. Koormussageduse prognoosiks on vaja teha prognoos sõidukiliikide kaupa arvestades liigilise jaotuse muutustega (tegelikult on viimastel aastatel keskpikkade sõidukite /6-12 m/ liiklussagedused kahanenud ja pikkade sõidukite /üle 12 m/ liiklussagedused kiiresti tõusnud). Sõidukite liigilise jaotuse osas on adekvaatne aegrida kahjuks lühike – 2006 varasemad andmed tuginevad vananenud määratlustel. Seetõttu on täna ainus sisuline prognoosi alus baasprognoos aastani 2040. Prognoos arvestab teede funktsionaalse jaotusega (põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteed). Kõrvalmaanteed osas on esitatud üle Eesti kõigis maakondades ühtne prognoos, põhi- ja tugimaanteed prognoosid on maakondade lõikes diferentseeritud. Liikluse iseloomult tuleb tõdeda, et enamkoormatud madalama funktsionaalse liigi tee liiklus vastab pigem kõrgema funktsionaalse liigi liiklusele – seetõttu tuleb kaaluda nende kõrvalmaanteedeh puhul, kus liiklussagedus ületab vastava maakonna tugimaanteedeh keskmist, kasutada tugimaantee kasvutegureid ja vastavalt tugimaanteedel, mille liiklussagedus ületab vastava maakonna põhimaanteedeh keskmist, kasutada põhimaantee kasvutegureid. Madala liiklussagedusega kõrvalmaanteedel on õigustatud üleriiklikult ühtse diferentseerimata kasvuteguri kasutamine. Konkreetsete projektide puhul tuleb kahtlemata arvestada teedevõrgu ja maakasutuse kavandatavate muutustega kohaliku teguri näol või suuremate muutuste korral modelleerimise teel.

I klass

Reeglina eeldame I klassi teedel tänast liikluskoormust 10,000 AKÖL, mis tagab tõenäoliselt 15-20 aasta perspektiivis I klassi koormusnõuete täitmise (14,500 AKÖL). Teedel, kus 2013

vähemalt 10,000 AKÖL (kogupikkus 96,4 km millest Harjumaal 77,7 km) on 2013 keskmiseks liikluseks 13778 AKÖL (AR: 992; VAAB:510; SAPA:12276). Arvestame VAAB klassi keskmiseks siirdeteguriks 1,2 ning autorongide keskmiseks 2,1 ning rajateguriks 2+2 ristlõikega teel 0,45 - saame koormuseks 1213 normtelge. Baasprognoosi alusel on Harjumaal põhimaanteedel veoautode ja autorongide liikluse kasv 2035 aastaks 1,53 korda (kasutame seda prognoositegurit autorongidele) ning autobussidel 1,43 korda (kasutame tegurit autobussidele ja veoautodele). Perspektiivne koormussagedus Q20 I klassi teel seega 1829 normtelge. Kuna KAP on koostatud eeldusel, et katendi tööiga on 15 aastat, siis 20 aastase tööea puhul tuleb teisendada 20 aasta koormus 15 aastale $(Q2013+Q2035)*20/2*365/5000=2221$ normtelge.

II klass

II klassi teedel eeldame tänast liikluskoormust vahemikus 4000-10,000 AKÖL, mis tõenäoliselt tagab II klassi koormusnõuete täitmise (6000-14500 AKÖL). 2013 seisuga on selliseid teid 744,1 km ning keskmiseks liikluseks (2013) 6283 AKÖL (AR: 610; VAAB 243; SAPA 5430). Arvestades siirdetegurid analoogselt I klassi teedega ning rajateguri 0,55 saame tänaseks koormussageduseks 865 normtelge enamkoormatud rajal. Et madalama klassi teed jagunevad üle Eesti ühtlasemalt, kasutame Eesti keskmisi põhimaantee arengutegureid ning 2035 koormussageduseks kujuneb 1249 normtelge enamkoormatud sõidurajal. KAP arvutuslikuks koormussageduseks (teisendatud 15ndale aastale) kujuneb $(Q2013+Q2035)*20/2*365/5000=1543$ normtelge.

III klass

III klassi teede perspektiivne liiklussagedus on vahemikus 3000-6000 AKÖL, seega tänane vahemikus 2000-4000 AKÖL. 2013 seisuga on selliseid teid 955,2 km ning keskmiseks liikluseks (2013) 2717 AKÖL (AR 220; VAAB 89; SAPA 2409). Analoogiliselt eelnenuga on 2013 koormussageduseks 313 normtelge enamkoormatud rajal. Eeldades, et tegemist on tugimaanteedega, saame Eesti keskmise prognoosi korral 2035 aastaks 378 normtelge ning taandatud koormuseks 505 normtelge.

IV klass

IV klassi perspektiivne liiklus on vahemikus 500-3000 AKÖL, seega tänane vahemikus 400-2000 AKÖL. Tegemist on valdavalt kõrvalmaanteedega, tänane liiklussagedus 895 AKÖL (AR 53; VAAB 28; SAPA 806). Analoogiliselt eelnenuga on 2013 koormussageduseks 80 normtelge. Vastavalt kõrvalmaanteede arenguteguritega Baasprognoosis saame keskmise arengustsenaariumi korral 2035 aastaks 94 ning 15-ndale aastale taandatud koormuseks 127 normtelge.

V klass

V klassi teedeks loeme need, mille tänane liiklussagedus on alla 400 auto ööpäevas (perspektiivne 50-500). Keskmiselt on nendel teedel 130 autot ööpäevas (AR 5, VAAB 4, SA 121) ning koormussageduseks kujuneb 8 normtelge ööpäevas, 15ndal aastal 10 normtelge mis on ka arvutuslik koormus. Suure tõenäosusega tuleb tänaste V klassi teede osas kaaluda tee väljaviimist riigimaanteede kogumist. 20-aastase tööea korral taandatud koormus 13 normtelge.

VI klass

VI klassi teedel on perspektiivne liiklussagedus alla 50 auto ööpäevas. Tegemist on maanteevõrgust juurdepääsuteedega ning kogujateedega. Püsikatendit sellisele tee ei ole

alust arvutada. Oletame raskeliikluse osakaaluks 10% (reaalselt on tavaliselt tegemist prügiveokiga või juhusliku liiklusega). Arvutuslik koormus võiks olla ca 2 normtelge ööpäevas. Katend projekteeritakse lähtuvalt minimaalsetest tehnoloogilistest kihipaksustest – 5 cm AC surf 12; 20cm killustik; 20 cm liiv. Lubatakse suuremad külmakerked (külmakerkearvutusi ei ole vaja teha).

Näidiskatendid riigimaanteedele

Katendikihtide materjalide valikul on juhitud maanteeklasside perspektiivsest keskmisest liiklussagedusest.

Tee klass	2013 keskmised				2035 keskmised					Arvutuslik koormus (NT rajale)
	SAPA	VAAB	AR	AKÖL	SAPA	VAAB	AR	AKÖL	Raske %	
I	12276	510	992	13778	20623	730	1519	22871	9,8%	2221
II	5430	243	610	6283	8463	333	891	9687	13,7%	1543
III	2409	89	220	2717	3177	104	268	3549	10,5%	505
IV	806	28	53	895	913	32	63	1008	9,4%	127
V	121	4	5	130	137	5	6	148	7,4%	13

Tabel 7.4. Katendikihtide valikud tee klassides

	Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus enamkoormatud sõidurajal															
Kihtide arv	1		2								3					
soovitus		<500		<500	501-1500	1501-3000	>3000			501-1500	1501-3000	>3000				
AKÖL	kerge	<1000	kerge	<1000	1000-3000	3000-6000	>6000			1000-3000	3000-6000	>6000				
Raskeliiklus		<100		<100	<100	>100	<300	>300	<600	>600	<100	>100	<300	>300	<600	>600
AC 8 surf																
AC 12 surf																
AC 16 surf																
AC 20 surf																
AC 12 bin																
AC 16 bin																
AC 20 bin																
AC 16 base																
AC 20 base																
AC 32 base																
SMA 12																
SMA 16																
MSE 8																
MSE 12																
MSE 16																
MSE 20																
Tänaane liiklus		IV, V		IV, V		III			I, II		III				I, II	
Perspektiivne		V		V		IV		III		I, II	IV			III		I, II
Valitud tüübid		V				IV		III		II						I

Valitud on I klassi puhul kolmekihiline konstruktsioon SMA baasil; II klassil kolmekihiline AC surf baasil või kahekihiline SMA baasil; III klassil kahekihiline AC surf baasil (vastuolu – soovitusel näha III klassi liiklusele vastava koormuse juures SMA võimalust, normid seda ette ei näe); IV klassil kahekihiline AC surf baasil ning V klassil ühekihiline AC surf või MSE baasil.

I klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) Emin = 240 MPa; Evaj = 288 MPa

Üldjuhul on liiklussagedus täna kas üle 10,000 AKÖL või selle lähedal. Raskeliikluse intensiivsus on kõrge (reeglina üle 500 autorongi ööpäevas).

Reeglina kasutatakse kolmekihilist asfaltbetoonkatendit (SMA – AC bin – AC base) kusjuures võimalik on viimase kihi paigaldamine hiljem, kuid see eeldab et katendi kontrollarvutused ilma viimase kihita vastavad kavandatavale koormusele esimese 5 (7) aasta jooksul. Asfaltkatte all kasutatakse vastavalt vajadusele (koormusarvutus), tugevdatud alust (kohalike materjalide olemasolul KS, vastasel juhul MUK). I klassi tee on 2+2 ristlõikega, seega drenkihis filtratsioonitee pikkuse tõttu (>10m) on vajalikud drenkihi arvutused, millega määratakse vajalik kihipaksus ja nõutav filtratsioonimoodul. Suurema koormusega teedel reeglina tüüpkonstruktsioone ei kasutata. Asfaltbetooni spetsifikatsioonis kasutatakse polümeerbituumenit (PMB), konstruktiivsel põhjusel, tõmbele töötavas kihis.

Arvutuslikuks koormussageduses oleme valinud 2221 normtelge (Eyld=288 MPa).

Asfaltkatte projekteerimisel tuleb kihtide terasuuruste määramisega moodustada katendile tugev skelett: **SMA 16 – AC bin 20 – AC base 32** (tiheasustusaladel võib kaaluda SMA 12 ja AC bin 16 kasutamist kui liiklusemüra kahandamine on olulisem, kui haardetegur ja skelett).

Et drenkihil on nõutud kandevõime 65 MPa (kvaliteedinõuded), siis valime aluspinnaseks D-grupi pinnase (raske tolmu saviliiv) ning drenkihi liivaks MSa (keskliiv). Drenkihi paksuseks arvestame 30 cm.

Kuna MUK toodetakse igal juhul paekivikillustiku baasil ning ka KS sisaldab paekillustiku, siis puudub vajadus killustikaluses tardkivikillustiku kasutamiseks. Seega, kui ei kasutata tugevdatud aluse ülakihti (MUK või KS paekillustikul), tuleb I klassi teedel kasutada kahekihilist killustikalust (tardkivikillustik paekillustikul).

Võrreldes neljal erineval aluspinnasel võrdsele koormusele dimensioneeritud konstruktsioone (kolmekihiline asfaltkate kahekihilisel killustikalusel, MUK paekillustikul ja KS paekillustikul), selgub, et võrdse tugevuse juures kujuneb MUK kasutamine ca 3% kallimaks ja KS kasutamine 13% odavamaks baaskonstruktsioonist.

Arvutuste koondtulemused on esitatud Lisas, tabelis 1.

II klassi maantee püsikate (tööiga 20 a) Emin = 220 MPa, Evaj = 277 MPa

Reeglina kas kolmekihiline asfaltbetoonkatend killustikalusel või kahekihiline asfaltbetoonkatend tugevdatud alusel. Arvutuslikuks koormuseks on 1543 normtelge enamkoormatud sõidurajal. Sõltuvalt liikluskoormusest võib killustikaluse ülakihis nõuda tardkivikillustiku kasutamist. Ülakihis võib olla SMA või AC surf. Tüüpkonstruktsioonid:

- **SMA 16 - AC 20 bin** – KS või MUK - paekillustikul
- **AC 16 surf - AC 20 bin - AC 32 base** ühe- või kahekihilisel killustikalusel.

Arvutused on tehtud kahele variandile – esmalt kolmekihilisele asfaltbetoonile (SMA-bin-base) ja seejärel kahekihilisele juhul, kui aluse ülakiht on tugevdatud. Kolmekihilise asfaldi korral kujuneb MUK variant 4% kallimaks ja KS-variant 12% soodsamaks baasversioonist (tugevdamata alus). Kasutades aga kahekihilist asfalti (ülakihis AC surf segu), on MUK 13% soodsam ning KS koguni 30% soodsam baasversioonist.

III klassi maantee püsikate (tööiga 20a) Emin = 180 MPa, Evaj = 244 MPa

Reeglina kahekihiline asfaltbetoonkatend killustikalusel või stabiliseeritud alusel. Arvutuslikuks koormuseks 505 normtelge enamkoormatud sõidurajal. Tüüpkonstruktsioonid:

- **AC 16 surf – AC 20 base** paekillustikalusel või
- **AC 12 surf – AC 20 bin – KS** alusel.

Erisus EVS 901-3 soovitudest – KS järgnev kiht ei peaks olema AC base vaid pigem AC bin. Suurem terasuurus valitakse juhul, kui maanteel on oluline raskeliikluse osakaal (autorongid). Arvutuste koondtulemused on esitatud Lisas, tabelis 4. MUK kujuneb 12% kallimaks ning KS 25% soodsamaks baasvariandist.

IV, V ja VI klassi maantee

Tavaliselt on madala klassi maanteedel katendikonstruktsiooni valikul määravaks tolmuvaaba katte nõue – seda nõuet on võimalik täita peale püsikatendite ka kerg- ja siirdekateendiga. Kergkatendiks loetakse mustsegust kulumiskihiga või pinnatud stabiliseeritud kihiga katet. Kaaluda soojade asfaldisegude kasutamist vedelamate bituumenite baasil (kerkkatend). Pinnatud kruusatee on siirdekateend.

IV klass püsikate (20 a) $E_{min} = 180 \text{ MPa}$, $E_{vaj} = 192 \text{ MPa}$, kerkkate $E_{vaj} = 183 \text{ MPa}$

IV klassi tee arvutuslik koormus püsikatendi korral (eluiga 20 aastat) 127 normtelge enamkoormatud rajal.

Kahekihiline konstruktsioon AC 16 surf – AC 20 base või ühekihiline AC 16 surf killustikalusel. Alternatiivina analüüsitud ühekihilist asfaltkatet killustikalusel, KS-alusel või mustsegul.

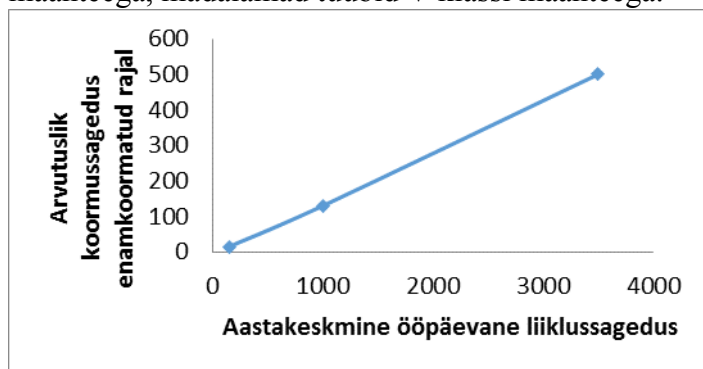
Kahekihiline asfaltkate kujuneb kalleimaks, sellega võrreldes on ühekihiline asfalt 8% soodsam, MSE-alusel 16% ja KS-alusel 19% soodsam, kerkkatend pinnatud mustsegust (MSE) koguni 38% soodsam kahekihilisest asfaltkattest

V klass püsikate (20 a) $E_{min} = 180 \text{ MPa}$, kerkkate (15 a) $E_{min} = 130 \text{ MPa}$

Määravaks on tee klassist tulenevad miinimumnõuded. Võrreldud on ühekihilist asfaltkatet killustikalusel kerkkatendiga pinnatud freespurust või pinnatud mustsegust. Mustsegu kujunes 37% soodsamaks ja freespuru 47% soodsamaks kui asfaltkate.

Näidiskatendid kohalikele teedele

Kohalike teede liikluskoormus (näidiskatendite mõttes) ulatub kuni 1500 autoni ööpäevas, mis vastab maantee klassifikatsioonis IV, V ja VI klassi maanteele. Arvestuse aluseks on perspektiivne liikluskoormus 15-20 aasta pärast. Igas koormusklassis (tüübis) peaks katendi konstruktsioon vastama tüübi ülapiirile (300, 800 või 1500 autot ööpäevas). Graafikult saame hinnangulised koormussagedused, vastavalt 40, 100 ja 200 normtelge enamkoormatud sõidurajal. Enamkoormatud tee (800-1500 autot ööpäevas) tuleb võtta võrdseks IV klassi maanteega, madalamad tüübid V klassi maanteega.



Joonis 7.1. Koormussageduse seos liiklussagedusega (riigimaanteed keskmine)

Tüüp 1 – Jalgteed, jalgrattateed

Konstruktsiooni ei arvutata, maksimaalseks koormuseks on hooldussõiduk. Ülemine meeter peab olema külmakindlast materjalist ning külmumiseelne veetase tuleb viia vähemalt 100 cm katte pinnast.

- 5 cm AC 8/12 surf
- 15 cm killustikalus LA40 (võib olla optimaalse terastikulise koostisega)
- 20 cm drenliiv (0,5 m/ööp)

Tüüp 2 – Eramute mahasõidud ja sõiduautode parklad

Konstruktsiooni ei arvutata, maksimaalseks arvutuslikuks koormuseks on prügiveok. Ülemine meeter peab olema külmakindlast materjalist ning külmumiseelne veetase tuleb viia vähemalt 125 cm katte pinnast.

- ≥ 5 cm AC 12 surf
- 20 cm killustikalus LA35
- 20 cm drenliiv (0,5 m/ööp)

Tüüp 3 – Elurajoonide kvartali siseteed ühistranspordita

- 4 cm AC 12 surf
- 5 cm AC 16 base
- 20 cm killustikalus LA35
- 20 cm drenliiv

Tüüp 4 – Bussipeatus (kuni 20 bussi ööpäevas)

- 4 cm AC 16 surf

- 7 cm AC 32 base
- 25 cm killustikalus LA30
- 20 cm drenliiv

Tüüp 5 – Kohalikud teed (kuni 300 autot ööpäevas)

- kahekordselt pinnatud kruuskate või ühekordselt pinnatud 8 cm freespurust kate kruusalusel
- 20 cm kruusalus

Tüüp 6 – Kohalikud teed (300-800 autot ööpäevas)

- 10 cm BS16 ühekordse pindamisega
- 20 cm kruusalus

Tüüp 7 – Kohalikud teed (800-1500 autot ööpäevas)

- 8 cm MSE-16 ühekordse pindamisega
- 30 cm kruusalus

Tüüp 8 – Kruusateed

- 10 cm purustatud kruusast kate
- 20 cm kruusalus

Lisa 1

Tabel 7.5. I klassi maantee konstruktsioonid erinevatel aluspinnastel

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
SMA	2,87	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
AC bin	1,97	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
AC base	1,26	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
KS32	0,29									12	12	12	12
MUK	1,27					7	7	8	7				
Tardkivikillustik	0,58	12	12	12	12								
Paekivikillustik	0,3	15	26	27	19	20	24	22	20	14	16	17	14
Keskliiv	0,12	30	30	30	25	30	30	30	20	30	30	30	20
Peenliiv	0,12	52	20			49	20			50	20		
Aluspinnas	Eüld	287,8	288,4	288,5	287,6	296,9	289,6	288,5	294,7	304,0	288,2	290,4	301,7
	€/m2	51,34	48,77	46,67	43,71	52,42	50,12	48,40	45,34	45,37	42,36	40,26	38,17
		kandevõime suhe				103,2%	100,4%	100,0%	102,5%	105,6%	99,9%	100,6%	104,9%
		RT	SL										
		(D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				102,1%	102,8%	103,7%	103,7%	88,4%	86,9%	86,3%	87,3%
Keskmine		Baaskonstruktsioon				Mustkillustikuga				Kompleksstabiliseeritud alusega			
	€/m2	47,62				49,07				41,54			
		Hinnavõrdlus baasiga				103,0%				87,2%			

Aluspinnas:

- RT (D) – raske tolmne, D-grupp
- LS (C) – liivsavi, savi, C-grupp
- SL (A) – saviliiv, A-grupp
- ÜTL – ühtlaseterised liivad (Cu<3)

Tabel 7.6. II klassi maantee konstruktsioonid erinevatel aluspinnastel (kolmekihiline asfaltbetoon)

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
SMA	2,87	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
AC bin	1,97	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
AC base	1,26	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
KS32	0,29									12	12	12	12
MUK	1,27					7	7	7	7				
Graniit	0,58	12	12	12	12								
Lubjakivi	0,3	17	22	23	16	20	21	22	20	14	14	15	14
Keskliiv	0,12	30	30	30	26	30	30	30	20	30	30	30	20
Peenliiv	0,12	47	21			42	20			43	20		
Eüld		277,0	277,3	276,9	277,1	292,8	278,3	278,4	294,7	300,6	278,9	281,2	301,7
€/m2		49,36	47,71	45,49	42,94	51,58	49,24	47,13	45,34	44,53	41,77	39,67	38,17
Aluspinnas		kandevõime suhe				105,7%	100,4%	100,5%	106,4%	108,5%	100,6%	101,5%	108,9%
		RT	SL										
		(D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				104,5%	103,2%	103,6%	105,6%	90,2%	87,5%	87,2%	88,9%
Keskmine		Baaskonstruktsioon				Mustkillustikuga				Kompleksstabiliseeritud alusega			
	€/m2	46,38				48,32				41,04			
		Hinnavõrdlus baasiga				104,2%				88,5%			

Tabel 7.7. II klassi maantee tüüpkonstruktsioonid (tugevdatud alusel kahekihiline asfaltbetoon)

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
SMA	2,87	4	4	4	4								
AC surf	1,97					5	5	5	5	4	4	4	4
AC bin	1,97	4	4	4	4					5	5	5	5
AC base	1,26	7	7	7	7	7	7	7	7				
KS32	0,29									14	19	16	15
MUK	1,27					7	8	8	7				
Graniit	0,58	12	12	12	12								
Lubjakivi	0,3	17	22	23	16	21	24	24	21	16	30	18	14
Keskliiv	0,12	30	30	30	26	30	30	30	20	30	20	30	20
Peenliiv	0,12	47	21			50	20			50			
Eüld		277,0	277,3	276,9	277,1	279,3	280,3	276,9	276,9	277,9	277,9	277,7	277,1
€/m2		49,36	47,71	45,49	42,94	43,35	41,91	39,51	36,15	36,15	34,54	31,32	28,65
Aluspinnas		kandevõime suhe				100,8%	101,1%	100,0%	99,9%	100,3%	100,2%	100,3%	100,0%
		RT		SL									
		(D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				87,8%	87,8%	86,8%	84,2%	73,2%	72,4%	68,9%	66,7%
		Baaskonstruktsioon				Mustkillustikuga				Kompleksstabiliseeritud alusega			
Keskmine	€/m2	46,38				40,23				32,66			
		Hinnavõrdlus baasiga				86,7%				70,4%			

Tabel 7.8. III klassi maantee katendi tüüpkonstruktsioonid

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
SMA	2,87												
AC surf	1,97	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5
AC bin	1,97												
AC base	1,26	7	7	7	7	5	5	5	5				
KS32	0,29									14	14	14	13
MUK	1,27					7	7	7	7				
Graniit	0,58												
Lubjakivi	0,3	21	25	25	20	20	28	24	20	14	20	20	15
Keskliiv	0,12	25	30	30	21	25	33	25	20	20	21	23	20
Peenliiv	0,12	43	20	0	0	35	0			43			
Eüld		230,0	233,0	229,6	232,3	232,0	229,6	230,4	241,9	223,4	231,2	231,1	232,5
	€/m2	33,01	32,03	29,63	27,08	36,17	35,29	33,15	31,37	25,63	22,36	22,60	20,47
		kandevõime suhe				100,9%	98,5%	100,4%	104,1%	97,1%	99,2%	100,7%	100,1%
		RT SL											
Aluspinnas		(D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				109,6%	110,2%	111,9%	115,9%	77,6%	69,8%	76,3%	75,6%
		Baaskonstruktsioon				Mustkillustikuga				Kompleksstabiliseeritud alusega			
Keskmine	€/m2	30,44				34,00				22,77			
		Hinnavõrdlus baasiga				111,7%				74,8%			

Tabel 7.9. IV klassi maantee püsikatendi tüüpkonstruktsioon

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
SMA	2,87												
AC surf	1,97	6	6	6	6	4	4	4	4	5	5	5	5
AC bin	1,97												
AC base	1,26					6	6	6	5				
KS32	0,29									12	12	12	12
MUK	1,27												
Graniit	0,58												
Lubjakivi	0,3	26	28	29	22	23	29	25	20	24	20	14	14
Keskliiv	0,12	26	30	31	26	25	35	25	21	20	25	24	20
Peenliiv	0,12	36	21			27				0			
Eüld		191,5	191,9	191,2	191,5	192,0	192,1	191,5	191,6	191,0	191,6	192,1	218,7
€/m2		26,94	26,21	24,11	21,44	28,45	28,18	25,80	22,59	22,84	22,26	20,37	19,89
		kandevõime suhe				100,3%	100,1%	100,2%	100,0%	99,8%	99,8%	100,5%	114,2%
Aluspinnas		RT	SL										
		(D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				105,6%	107,5%	107,0%	105,4%	84,8%	84,9%	84,5%	92,8%
		Ühekihiline asfalt				Kahekihiline asfalt				Ühekihiline KS-alusel			
Keskmine	€/m2	24,68				26,26				21,34			
		Sääst vrd baasiga				106,4%				86,5%			

Tabel 7.10. IV klassi maantee kergkate (mustsegu) ja püsikate (AS surf, alakihis mustsegu või AC base)

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
pindamine	1,57	1	1	1	1	0	0	0	0				
AC surf	1,97					4	4	4	4	5	5	5	4
AC base	1,26									7	7	7	5
MSE	0,51	10	10	10	8	8	10	8	8				
KS32	0,29												
MUK	1,27												
Graniit	0,58												
Lubjakivi	0,3	20	26	21	20	23	23	23	20	24	24	20	20
Keskliiv	0,12	48	25	20	22	43	25	20	20	31	27	20	21
Peenliiv	0,12					0				0			
	Eüld	185,5	184,1	183,7	192,4	192,4	191,9	191,9	215,9	192,4	191,6	191,7	191,6
	€/m2	18,30	17,31	15,24	14,17	23,89	22,74	21,13	20,24	29,48	29,00	26,98	22,61
		kandevõime suhe				103,7%	104,2%	104,4%	112,2%	103,7%	104,1%	104,3%	99,6%
		SL											
Aluspinnas		RT (D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				130,5%	131,4%	138,7%	142,9%	161,1%	167,5%	177,1%	159,6%
		Mustsegu (kergekate)				AC surf mustsegul				AC surf poorsel asfaldil			
Keskmine	€/m2	16,25				22,00				27,02			
		Sääst vrd baasiga				135,4%				166,2%			

Tabel 9. V klassi maantee konstruksioon (pinnatud MSE või freespuru ja AC surf)

	€/cm	K1	K2	K3	K4	K1M	K2M	K3M	K4M	K1S	K2S	K3S	K4S
pindamine	1,57	1	1	1	1	1	1	1	1				
AC surf	1,97									6	6	6	5
freespuru	0,13					10	10	10	10				
MSE	0,51	8	8	8	8								
KS32	0,29												
MUK	1,27												
Graniit	0,58												
Lubjakivi	0,3	20	20	20	20	24	20	20	20	28	30	26	20
Keskliiv	0,12	37	20	20	20	39	25	20	21	45	36	27	21
Peenliiv	0,12					0				0			
	Eüld	160,8	142,3	164,1	191,2	151,5	132,0	143,4	165,2	180,0	180,1	180,6	174,7
	€/m2	15,97	13,93	13,93	13,93	14,58	11,72	11,12	11,24	25,49	25,00	22,74	18,28
		kandevõime suhe				94,2%	92,7%	87,4%	86,4%	111,9%	126,6%	110,1%	91,4%
		SL											
Aluspinnas		RT (D)	LS (C)	(A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL	RT (D)	LS (C)	SL (A)	ÜTL
		hinna suhe				91,3%	84,2%	79,9%	80,7%	159,7%	179,5%	163,3%	131,3%
		Mustsegu (kergekate)				pinnatud freespuru				AC surf			
Keskmine	€/m2	14,44				12,17				22,88			
		Sääst vrd baasiga				84,3%				158,5%			

KOKKUVÕTE

1. Käesolevas töös on analüüsitud pinnase klassifikatsiooni seoseid ning säilitades senise arvutusparameetrite loogika on viidud pinnaseliigitus EVS-EN alustele.
2. Pinnase omaduste detailsemas määratlemises on üle mindud plastsusnäitaja määramisele rootsi koonuse meetodil.
3. Täiendatud on juhendi sideainetega töötlemata materjalide loetelu ja korrigeeritud materjalide arvutuslikke parameetreid (vaheaste ühtlase terastikulise koostisega liivadel ning graniit- ja paekillustike eristamine).
4. Vastavuses BCH 46-83 jämepinnaste omaduste nomogrammile on leitud seos materjali plastsuse, peenosiste sisalduse ja plastsuse ning arvutusparameetrite vahel.
5. Täpsustatud on külmakindlusarvutuse parameetri B määramist ja viidud see tehnoloogiliselt sobivale alusele.
6. Juhendi 2001-52 teksti on sisse viidud parandused, tulenevalt eeltoodud täiendustest ning Maanteeameti peadirektori käskkirjadega kehtestatud muudatustest ja Maantee projekteerimismuudatuse kavandis sisalduvatest katendi projekteerimist käsitlevatest aspektidest.
7. Lisatud on katendite dimensioneerimise arvutusnäited.
8. Korrigeeritud on tüüpkatendid kohalikele omavalitsustele.

Töö nr 13-11-1123

ÜHTLASETERALISE LIIVA ($C_u < 3$) GEOTEHNILISI OMADUSI MÕJUTAVAD TEGURID

25. august 2014

Autorid

Peeter Talviste

Annette Talpsep

Juhataja

Peeter Talviste

Tallinn, 2014

AUTORIÕIGUS © OÜ IPT PROJEKTIJUHTIMINE & MAANTEEAMET

Töö ja selle ülesehitus on kaitstud Eesti Vabariigi autoriõigusseaduse kohaselt. Seda dokumenti ei tohi osaliselt kopeerida ega paljundada mis tahes viisil ilma OÜ IPT Projektijuhtimine antud kirjaliku loata. Tervikteksti autoriõigused – Maanteeamet.

SISUKORD

<u>1 ÜLDOSA</u>	75
<u>1.1 Sissejuhatus</u>	75
<u>1.2 Töö eesmärgid</u>	75
<u>1.3 Tellija</u>	75
<u>1.4 Töörühm</u>	75
<u>2 LÕIMISTEGURI MÕJU PINNASE TUGEVUSELE (SISEHÕÖRDENURGALE)</u>	76
<u>2.1 Teoreetiline ülevaade</u>	76
<u>2.2 Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs</u>	81
<u>3 LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE</u>	84
<u>3.1 Teoreetiline ülevaade</u>	84
<u>3.2 Tihedus ja kokkusurutavus</u>	85
<u>3.3 Tihendatavus vibromeetodil</u>	86
<u>3.4 Tiheduse kontrolli meetodid</u>	88
<u>3.5 Kokkuvõte</u>	89
<u>4 SOOVITUSED</u>	91
<u>5 KASUTATUD MATERJALID</u>	92
<u>5.1 Kirjandusallikad</u>	92
<u>5.2 Aruanded liivade laborikatsetega</u>	93

1. ÜLDOSA

1.1. Sissejuhatus

Eestis kasutatakse teedehituses filterkihi filtratsiooniomaduste määramiseks nn. SOJUZDORNII katseseadet [1]. Selle katseseadmega määratakse usaldusväärne filtratsioonimooduli väärtus vaid ühtlaseteralistele liivadele. Eriteraliste liivade filtratsioonimooduli väärtused on oluliselt moonutatud (ca 10 kuni 100 korda väiksemad tegelikust) tänu katseseadmes moodustuvale erineva terasuurusega kihilisele struktuurile [2]. Selle tõttu kasutatakse teedehituses viimasel ajal drenikihi ehitamiseks ühtlaseteralist liiva. Ühtlaseteralise liiva tiheduse ja kandevõime (elastsusmooduli) katsetamisel on aga üles kerkinud probleem - määrangud enamkasutatud meetoditel (D-51 käsipenetroomeeter ja INSPECTOR või LOADMAN tüüpi dünaamiline katseplaat) annavad ühtlaseteralisest liivast rajatud kihile ebaloomulikult madala kandevõime ja tiheduse väärtused.

1.2. Töö eesmärgid

Töö eesmärkideks on:

- Anda teaduslike publikatsioonide põhjal teoreetiline ülevaade teguritest, mis mõjutavad liivpinnaste tugevust ja kokkusurutavust.
- Analüüsida arhiivandmete alusel Eesti liivade laborikatsetega määratud tugevus- ja deformatsiooniomadusi ja võrrelda nende alusel Eesti liivade omadusi publitseeritud liivade omadustega.
- Anda soovitused ühtlaseteralise liiva kasutamise kohta teedehituses

1.3. Tellija

Töö tellis Maanteeamet ja töö tehti koos Tallinna Tehnikaülikooliga töö „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile“ raames.

1.4. Töörühm

Laborikatsete analüüsi tegi Peeter Talviste, aruande koostasid Peeter Talviste ja Annette Talpsep. Liivpinnaste andmebaasi koostas Ann Parbo.

2. LÕIMISTEGURI MÕJU PINNASE TUGEVUSELE (SISEHÕÕRDENURGALE)

2.1. Teoreetiline ülevaade

Peatükis antakse teoreetiline ülevaade kirjanduse põhjal sellest, mis tegurid mõjutavad liivpinnaste sisehõõrdenurga väärtust.

Liivade tugevuse kirjeldamiseks kasutatakse nihketugevust, mis näitab maksimaalset nihkepinget, mida pinnas purunemata talub. Purunemise all mõistetakse seejuures pinnaseosakeste nihkuvat liikumist üksteise suhtes. Nihketugevus (s) sõltub rakendatavast normaalpingest ja kujuneb kahe komponendi – hõõrde ja nidususe – arvelt [3]:

$$s = \sigma' \cdot \tan\varphi' + c',$$

kus s on nihketugevus, σ' normaalpinge, φ' sisehõõrdenurk ja c' nidusus. 'märk viitab sellele, et tegemist on efektiivpingete analüüsiga, s.t. arvestatakse normaalpinget, mis mõjub pinnaseosakeste vahel, mitte poorirõhku.

Teedehituses kasutatavatel puhastel liivpinnastel nidususomadused ehk otsesed sidemed (nt. elektrostaatilised ja elektromagnetilised sidemed, tsementatsioon jms) osakeste vahel reeglina puuduvad, seega sõltub liiva tugevus ainult hõõrdekomponendist. Kuna normaalpinge on muutuv (sõltub sügavusest ja koormuse suuruselt), kasutatakse nihketugevuse hõõrdekomponendi iseloomustamiseks sisehõõrdenurka (φ'), mille saab teatud pingevahemikes konstantseks lugeda. Sisehõõrdenurk sõltub mitmetest teguritest nagu pinnase mineraalne koostis ning orgaanikasisaldus, tihedus, pinnaseosakeste kuju ja sorteerituses [3]. Järgnevalt on kirjeldatud erinevate tegurite mõju sisehõõrdenurga väärtusele.

2.1.1. Mineraloogiline koostis ja orgaanikasisaldus

Mõningate mineraalide sisehõõrdenurga väärtused: kvarts 22–35°, päevakivi 36–38°, küünekivi 31°, kaltsiit 31–34° [4]. Savimineraalide ja vilkude sisehõõrdenurk on tunduvalt madalam ning nende sisaldus liivas vähendab sisehõõrdenurga väärtust.

Enamus korrelatsioone ja kirjandust on silikaatse liiva kohta, mis koosneb valdavalt kvartsist, päevakivist jt silikaatsetest mineraalidest.

Karbonaatsed liivad on väikestel pingetel tavaliselt veidi suurema sisehõõrdenurgaga, sest karbonaatse liiva osakesed on reeglina nurgelisemad ja seetõttu toimub osakeste omavaheline nn lukustumine (*interlocking*) [5]. Seevastu hakkavad karbonaatsed osakesed sageli ise pinge suurenedes purunema, eriti nende pinnaste puhul, mis on biogeense päritoluga [6] ja seetõttu on suurema pinge olukorras karbonaatsete liivade sisehõõrdenurk madalam kui silikaatsetel liivadel. Karbonaatliivade uuring Eestis andis ülalkirjeldatuga üheselt sarnase tulemuse [7].

Orgaanilise aine sisaldus vähendab sisehõõrdenurga väärtust, tekitades pinnaseosakeste vahele nn libisemisele kaasaaitava määrdekihi. Kuna teede-ehituses orgaanikasisaldusega liiva ei kasutata, pole seda põhjalikumalt kirjeldatud.

2.1.2. Pinnaseosakeste kuju

Pinnaseosakeste kuju saab hinnata kolme näitaja – sfäärilisuse (sfääriline vs plaatjas), ümardatuse (ümardunud vs nurgeline) ja osakeste mikroskoopilise pinnastruktuuri (sile vs kare) põhjal [8].

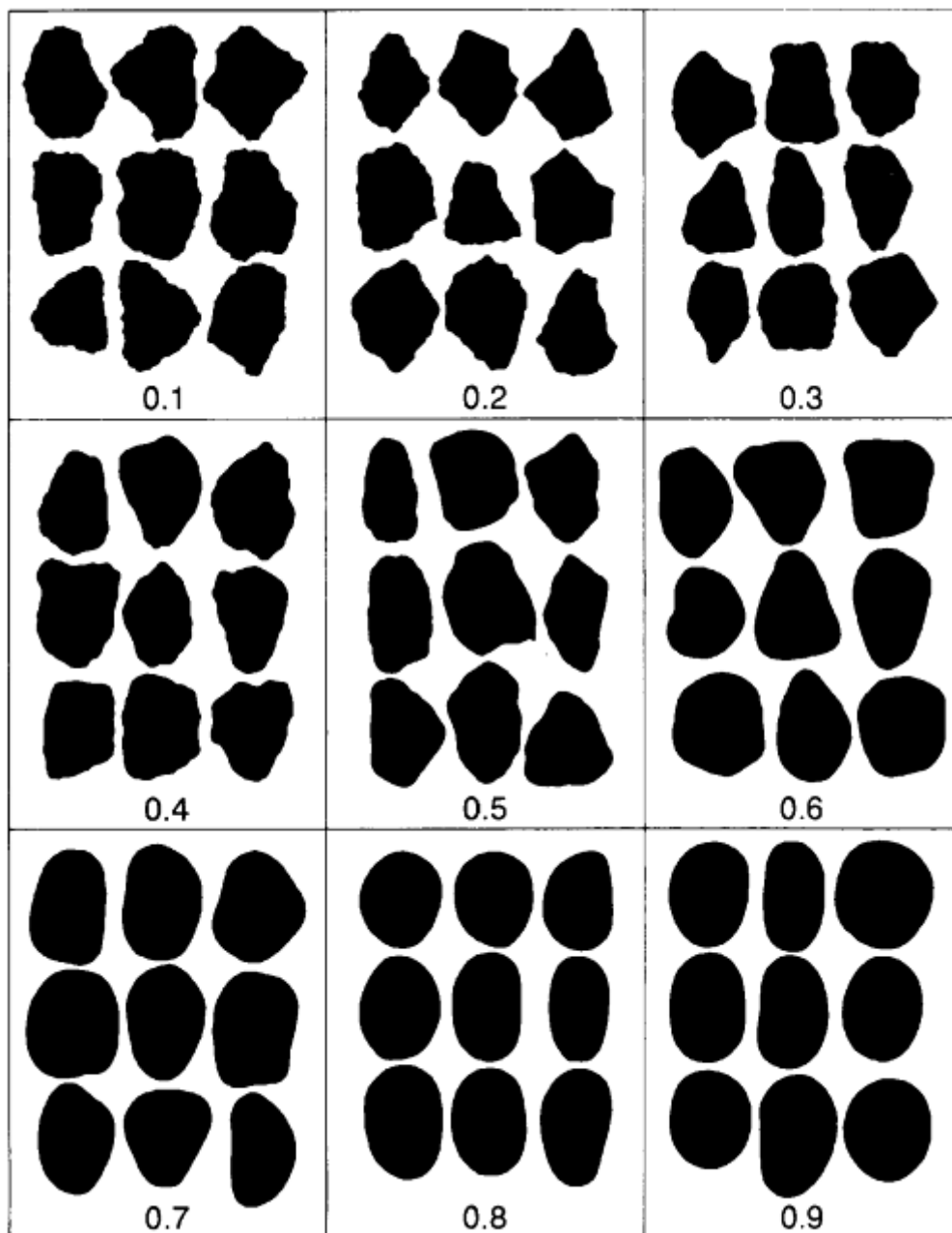
Kuna sfäärilisus varieerub looduslikel liivadel vähe ning pinnastruktuur kui mikroskoopiline omadus on teisejärgulise tähtsusega, leiab praktikas leiab enim kasutust ümardatus [9] ehk see, kui nurgelised või ümardunud on osakesed. Ümardatuse iseloomustamiseks on võimalik kasutada mitmesuguseid indekseid, mis arvestavad näiteks kõverusraadiust ja osakese pikimat mõõdet, kuid lihtsam võimalus on kasutada väljatöötatud graafilist võrdlusmaterjali, näiteks Krumbeini skaalat, mis on toodud *Joonisel 1*.

Nurgelised osakesed haakuvad üksteisega paremini, seetõttu on sellistel pinnastel suurem sisehõrdenurk võrreldes siledade ja ümardunud osakestega [3], kui muud omadused on samad. [8] uurisid erinevate looduslike ja tehislüvade ümardatuse ja tugevusomaduste vahelisi seoseid ning leidsid, et ümardatuse (R , *Joonis 1*) ja *critical state* sisehõrdenurga (φ_{cs}) vahel on tugev seos:

$$\varphi_{cs} = 42 - 17R$$

Selle valemi põhjal on väga nurgeliste osakestega ($R=0,1$) liiva sisehõrdenurk ca 40° , täiesti ümardunud teradega liival aga 25° . Seejuures ei mõjutanud tulemust see, kas osakesed olid sfäärilised või lapikud [8]. **Enamasti pole looduslikud liivad siiski sedavõrd ekstreemsete ümardatuse väärtustega ja praktiliseks kasutamiseks mõeldud juhistes (standardites) esitatakse ümardatuse mõju mõnevõrra väiksemana (vt. ptk. 2.1.5).**

Ümardatus sõltub peamiselt sellest, milline on liiva geoloogiline genees. Mida kauem ja pikema tee on osakene enne settimist läbinud, seda ümardunum see on. Samuti ümardab terasid pikaajaline lainetuse mõjutsoonis olemine (kuni 5 m veesügavuseni rannajoonest) ja edasikandumine tuule mõjul (kõrbedüünides võib liiv olla sedavõrd ümardatud teradega, et liival on võimalik suusatada).



Joonis 1. Krumbeini skaala pinnaseosakeste ümardatuse määramiseks [10].

2.1.3. Lõimiseline sorteeritus

Sorteeritus näitab, kui erineva suurusega on pinnast moodustavad osakesed. Kõige tavalisemaks näitajaks, mida sorteerituse väljendamiseks kasutatakse, on lõimisetegur (c_u) [3]:

$$c_u = D_{60}/D_{10}$$

D_{60} ja D_{10} on diameetrid, millest vastavalt 60% ja 10% osakestest (massi järgi) on peenemad.

Mida suurem on c_u väärtus, seda ebaühtlasema terasuurusega (eriteralisem) on pinnas. Üldiselt loetakse ühtlase terasuurusega pinnaseid, mille $c_u < 3$ [3]. **Tavaliselt on eriteralisemad liivad mõnevõrra tugevamad võrreldes ühtlaseteralistega (sisehõordenurga ϕ' väärtus suurem ca 2 ° võrra), kuna osakesed saavad seal tihedamalt**

paigutuda. Peenemad osakesed liiguvad jämedamate vahele, kokkuvõttes on kontaktpind suurem, mis annab suurema tugevuse. **Olemasolevad standardid (ptk 2.1.5) hindavad löimiselise sorteerituse mõju isegi suuremaks.**

2.1.4. Suhteline tihedus

Mida tihedamalt paiknevad osakesed, seda suurem on liiva tugevus. Suhteline tihedus (D_r) väljendab konkreetse pinnase olekut tema kõige kohevama ja tihedama oleku suhtes ja on tihti informatiivsem kui tiheduse absoluutne väärtus [3]:

$$D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}) \cdot 100\%,$$

kus $e_{\max}$ ja $e_{\min}$ on vastavalt pinnase suurim ja vähim poorsustegur ja e poorsustegur.

Mida väiksem on suhteline tiheduse väärtus, seda kohevamas olekus on pinnas. Vastupidi, mida suurem see väärtus on, seda tihedam on pinnas. Suhteline tihedus mõjutab sisehõõrdenurga suurel määral. Mida suurem on suhteline tihedus, seda suurem on kontaktpind pinnaseosakeste vahel ja seda tugevam on pinnas.

Tabelis 1 on toodud mõned näited Geotechdata [11] poolt koostatud koondtabelist, mis on mõeldud orienteeruvate hinnangute andmiseks erinevatele pinnastele.

Tabel 1. Näited liivade sisehõõrdenurga väärtus sõltuvalt suhtelisest tihedusest [11].

Pinnas	Suhteline tihedus	Sisehõõrdenurk, °
liivane kruus	kohev	35
	tihe	50
eriteraline liiv, nurgeline	kohev	33
	tihe	45
ühtlaseteraline liiv, ümardunud	kohev	27
	tihe	34
liiv	kohev	29-30
	keskmise	30-36
	tihe	36-41

Tabelist 1 tuleb selgelt välja seos, et suurema suhtelise tiheduse juures on sisehõõrdenurk suurusjärgus 7–10° kõrgem, kruusa ning ka eriteralise nurgelise liiva puhul lausa >10°. USA-s läbi viidud uurimuses leiti, et sisehõõrdenurk on samuti 11–12° võrra suurem, kui võrrelda suhtelise tihedusega $D_r=20\%$ ja $D_r=100\%$ proove [12]. Nimetatud töös kasutati 54 erineva liivaga tehtud >500 kolmetelgse survetugevuse katse tulemusi.

2.1.5. Liiva tugevuse (sisehõõrdenurga) väärtus Briti Standardi (BS 8002:1994) kohaselt

BS 8002:1994 [13] annab silikaatse liiva ja kruusa sisehõõrdenurga (*critical state*) arvutamiseks järgmise valemi (BS 8002:1994 p.2.2.4):

$$\varphi' = 30 + A + B,$$

kus A on ümardatust ja B sorteeritust näitav tegur, mille väärtused on toodud *Tabelis 2*.

Tabel 2. Tegurite A ja B väärtused BS 8002:1994 [13] järgi.

A		B	
Ümardunud	0	Ühtlaseteraline	0
Osaliselt ümardunud	2	Keskmiselt sorteeritud	2
Nurgeline	4	Eriteraline	4

Critical state sisehõõrdenurka φ' kasutatakse suurte deformatsioonide poolt esilekutsutud purunemisolukordade arvutamiseks (näiteks nõlvade, sh kõrgete või nõrkadele pinnastele rajatud teetammide püsivus maalihkele).

Liikluskoormuse mõjul maanteetammi toimuvad deformatsioonid on geotehnilises mõistes üliväikesed. Väikeste deformatsioonide (siirete) korral iseloomustab pinnase tugevust maksimaalne sisehõõrdenurk $\varphi'_{\max}$. BS 8002:1994 [13] annab silikaatse liiva ja kruusa maksimaalse sisehõõrdenurga arvutamiseks järgmise valemi (BS 8002:1994 p.2.2.4):

$$\varphi'_{\max} = \varphi' + C = 30 + A + B + C,$$

kus C on liiva tihedust iseloomustav tegur, mille väärtused on toodud *Tabelis 3*.

Tabel 3. Teguri C väärtused BS 8002:1994 [13] järgi.

C	
$N_{30}^* < 10$	0
$N_{30} = 20$	2
$N_{30} = 40$	6
$N_{30} = 60$	9

* N_{30} – löökide arv SPT katsel (*Standard Penetration Test* vastavalt BS 1377-9).

2.1.6. Geoloogiline genees

Liivad on erineva geoloogilise päritoluga (tekkelooga) ning seetõttu erinevad ka nende lõimise, sorteerituse, ümardatuse ja teised näitajad. Liiv võib olla tekkinud liivakivi murenemisel (näiteks aluspõhjalised Devoni tehnoloogilise liiva lasundid), kuid enamuse Eesti liivalasundeid on tekkinud Kvaternaari ajastul kas liustiku tegevuse tõttu või pärast jääaega.

Mida pikema maa pinnaseosakesed enne settimist läbinud on seda, seda ümardunumad nad on, ja vastupidi, mida lähemale lähtekohast materjal jääb, seda nurgelisem ta on. Siinkohal tuleb lisaks arvestada ka seda, milline on algne materjal – kas ümardunud vana sete või kivimist lahti murenenud nurgelised tükid. Seetõttu ei saa üheselt väita, et ühel või teisel viisil settinud liiv on kindlasti nurgeline või ümardunud, kuid mõningaid seaduspärasusi saab siiski välja tuua.

Fluviaalsed ja glatsiofluviaalsed liivad-kruusad on settinud jõe- ja liustikujõe sängides ning liivaterade ümardatus on seda suurem, mida pikema teekonna on osakesed enne settimist läbinud. Terasuurus ja sorteeritus jällegi sõltub vee voolukiirusest ning –ühtlusest. Mida aeglasem vool, seda peenemad osakesed on välja settinud. Ühtlase voolukiiruse juures on

settinud ühtlaseteralised, ebaühtlase juures aga eriteralised setted. Jõgede ja liustikujõgede suudmealadel levivad ulatuslikud liivalasundid, kus teoreetiliselt on osakesed rohkem ümardunud kui sängisetetes. Seevastu sanduriliivad, mis tekivad tingimustes, kus liustiku ette settib materjal liustikust välja tunginud veest, võivad sageli olla nurgelisemad kui fluviaalsed setted [9].

Eoolsed (tuuletekkelised) liivalasundid on sageli küllaltki ühtlase terasuurusega ja ümardunud, kuid sõltuvalt materjali päritolust ja transpordi teekonnast ei pruugi see alati nii olla. Mereliste liivade sorteeritus ja ümardatus sõltub samuti sellest, kui pika teekonna on nad enne settimist läbinud ning kas hiljem on jäänud osakesed aktiivsesse lainetusevööndisse või mitte. Aktiivses lainetusevööndis toimub intensiivne kulutamine ja liivaosakesed saavutavad oluliselt suurema ümardatuse võrreldes nõ keskmise merelise liivaga.

2.1.7. Kokkuvõte

1. Liiva tugevus (sisehõrdenurk) on muude tegurite hulgas määratud lõimiselise sorteerituse poolt. Kirjanduse andmetel on eriteralise liiva sisehõrdenurk ca 2° võrra suurem, võrreldes ühtlaseteralise liiva sisehõrdenurgaga samadel tingimustel. BS 8002:1994 [13] annab praktiliseks kasutamiseks isegi suurema mõju – kuni 4°.
2. Sorteerituse mõju tugevusele on aga oluliselt väiksem kui terade ümardatusel või liiva tihendatusel (tihedusastmel). Kirjanduse andmetel mõjutab liivaterade ümardatus sisehõrdenurga väärtust kuni 15° võrra. Kuna looduses äärmuslikult nurgelised ja ümarad terad üldjuhul puuduvad, siis annab BS 8002:1994 [13] selleks mõjuks taas kuni 4°. Liiva tihedus mõjutab sisehõrdenurka BS 8002:1994 soovitude kohaselt 9° ulatuses.
3. Kokku määravad sorteeritus, ümardatus ja tihedus liiva sisehõrdenurga 17° ulatuses, suurim mõju on tihedusel (9°).
4. Liivaterade ümardatus on määratud (karjääri) geoloogilise tekkelooga. Liiva settimiseaegsete ja järgsete geoloogiliste tingimuste tundmine võimaldab eeldatavat terade ümardatust hinnata. Vähesel terade ümardatusega liiva vajadusel tuleb selleks leida sobiv karjäär, liivaterade ümardatust muuta ei saa.
5. Liiva lõimiselise sorteeritus on samuti määratud geoloogilise tekkelooga. Liiva lõimiselist sorteeritust saab parandada sõelumise ja eriti peenosise väljapesemisega.
6. Liiva tihedust saab parandada tihendamisega. Ühtlaseteralise materjali tihendamisel tuleb arvestada aga erinõuetega, eriti kui liivaterad on ümardatud (vt. pkt 3).

2.2. Eesti liivpinnaste nihketugevuse määrangute analüüs

Kirjanduses toodud seoste kontrollimiseks analüüsiti Eesti liivpinnaste omadusi, kasutades juhuslikult valitud tööde materjale maa-ameti Ehitusgeoloogia Andmekogust (endine Ehitusgeoloogia Fond). Kokku kasutati andmeid 11 tööst, mis haaravad valdavalt merelise ja jääjõelise geneesiga **kesk- kuni jämeliivu** Tallinnas Mustamäel (merelised), Männikul (jääjõelised), Haapsalus (merelised), Lihulas (merelised) ja Otepääl Väikesel Munamäel

(jääjõelised). Kasutatud tööde nimekiri on toodud aruande lõpus peatükis „Kasutatud materjalid“.

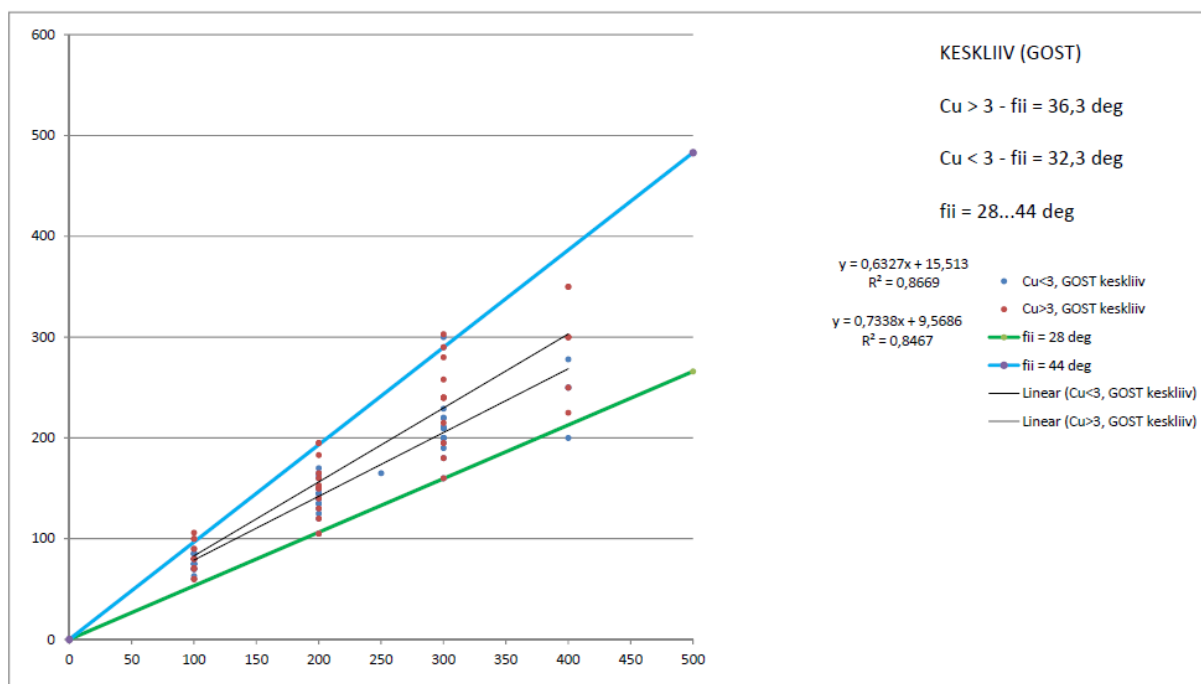
Analüüs hõlmab 22 jämeliiva ja 40 keskliiva proovi andmeid. Liivad grupeeritud lõimiseteguri (c_u) järgi:

- jämeliiva proovid:
 $c_u < 3$: 13 proovi, nihketeime 7
 $c_u > 3$: 9 proovi, nihketeime 10
- keskliiva proovid:
 $c_u < 3$: 22 proovi, nihketeime 19
 $c_u > 3$: 18 proovi, nihketeime 13.

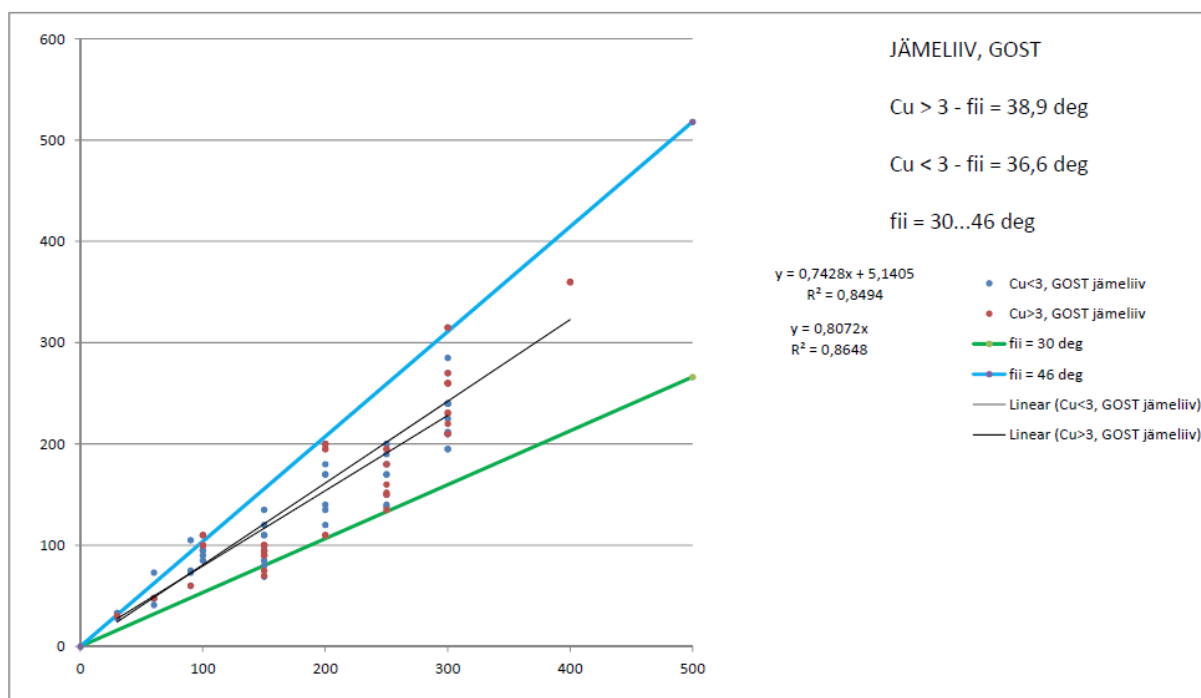
Katsete tulemused koondati koondgraafikutele (*Joonised 2 ja 3*). Juhusliku valikuga moodustatud andmekogumi töötlus võimaldab teha järgmised järeldused:

1. **Ühtlaseteralise liiva** ($C_u < 3$) keskmine sisehõõrdenurk on keskliival 4° võrra ja jämeliival $2,3^\circ$ võrra **väiksem** kui eriteralisel liival ($C_u > 3$). See on kooskõlas nii kirjandusest leitud andmetega kui ka BS 8002:1994 [13] soovitustega.
2. **Jämeliiva** keskmine sisehõõrdenurk on $2,3^\circ$ võrra eriteralisel liiva puhul ja $4,6^\circ$ võrra ühtlaseteralisel liiva puhul **suurem** kui keskliiva keskmine sisehõõrdenurk. Üldiselt on geoloogiliste protsesside tagajärjel moodustunud terad seda nurgelisemad, mida suuremad nad on, põhjustades suurema sisehõõrdenurga.
3. Katsepunktide pilv koondgraafikutel on väga suure hajuvusega. **Jämeliiva** puhul jäävad määrangud joonte vahele, mis on määratud sisehõõrdenurga väärtustega $\varphi' = 30^\circ$ ja $\varphi' = 46^\circ$. **Keskliiva** puhul jäävad määrangud joonte vahele, mis on määratud sisehõõrdenurga väärtustega $\varphi' = 28^\circ$ ja $\varphi' = 44^\circ$. See on kooskõlas BS 8002:1994 tabelväärtustega, mis määratlevad sisehõõrdenurga väärtused $30\text{--}47^\circ$ sõltuvalt terade ümardatusest, sorteeritusest ja liiva tihedusest.

Seega ei erine Eesti liivpinnased nihketugevuse osas publikatsioonides käsitletud liivadest ning nendele saab rakendada näiteks BS 8002:1994 [13] soovitatud lähenemist liiva tugevuse eksperthindamisel.



Joonis 2. Keskliiva nihketeimide koondgraafik. Vertikaalteljel määratud nihketugevus, horisontaalteljel rakendatud efektiivpinge.



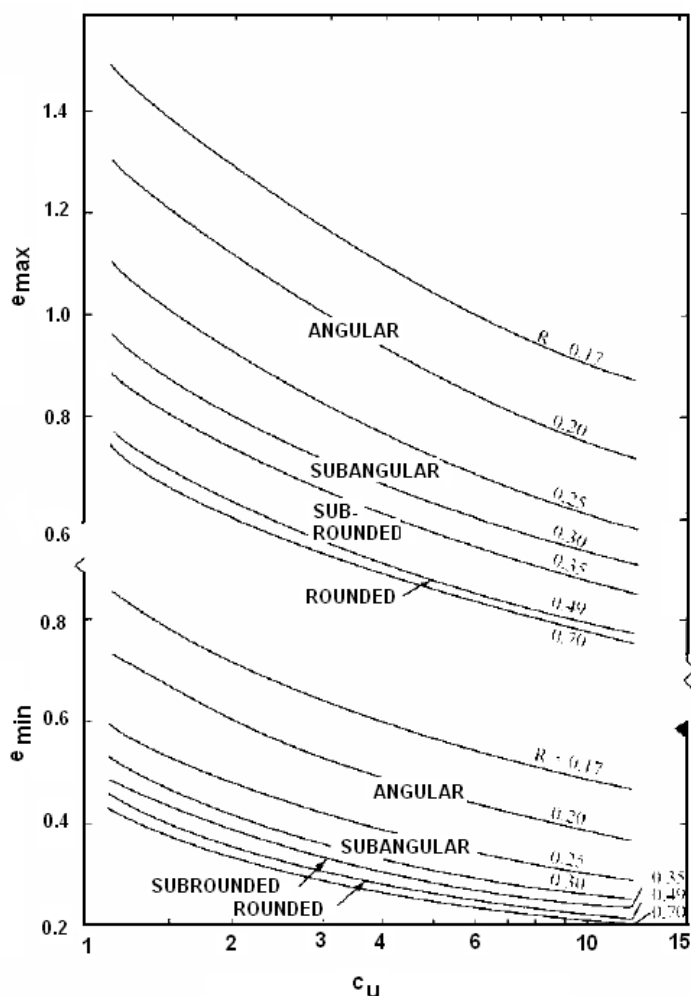
Joonis 3. Jämeliiva nihketeimide koondgraafik. Vertikaalteljel määratud nihketugevus, horisontaalteljel rakendatud efektiivpinge.

3. LÕIMISTEGURI MÕJU TIHEDUSELE (POORSUSELE) JA TIHENDATAVUSELE

3.1. Teoreetiline ülevaade

Algselt koheva pinnase tihendatavus sõltub üldjoontes samadest teguritest nagu nihketugevuski – pinnase lõimiselisest sorteeritusest, osakeste kujust, osakeste ümardatusest ning osakeste mineraalselt koostisest. Mineraalkoostise mõju tihendatavusele selle uuringu raames ei käsitleta.

Maksimaalne ja minimaalne poorsustegur (või poorsus) määravad pinnase tihendatavuse. Muldesse paigaldatud tihendamata liiva poorsustegur on lähedane maksimaalse poorsustegurile ja tihendatud liiva poorsustegur on lähedane minimaalsele poorsustegurile. Maksimaalse ja minimaalse poorsusteguri määravad aga osakeste ümardatus ja lõimiseline sorteeritus (Joonis 4).



Joonis 4. Maksimaalse (e_{max}) ja minimaalse poorsusteguri (e_{min}) sõltuvus lõimistegurist (C_u) ja terade ümardatusest [14].

Mida ümaramad ja sfäärilisemad on osakesed, seda tihedamalt on nad võrreldes nurgeliste ja kandiliste osakestega paigutunud. Põhjuseks on see, et nurgelised ja kandilised osakesed

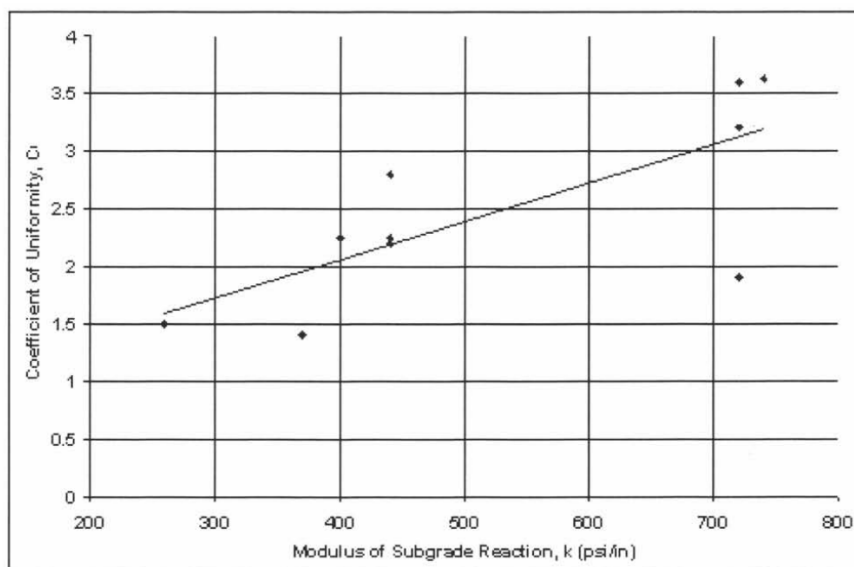
lukustuvad omavahel, mis takistab nende tihedamat paigutumist võrreldes ümarate ja sfääriliste osakestega [8].

Mida eritalisem (suurem C_u väärtus) on liiva lõimis, seda väiksem on nii minimaalne kui maksimaalne poorsustegur. Põhjuseks on see, et pisikesed osakesed täidavad suuremate osakeste vahelise pooriruumi, vähendades seeläbi tühja ruumi (poorsustegurit).

Mida väiksem on pinnase poorsus, seda väiksem on tema kokkusurutavus ja suurem kokkusurutavuse iseloomustamiseks kasutatav näitaja, olgu selleks elastsusmoodul või deformatsioonimoodul. Põhjuseks on asjaolu, et inimese poolt rakendatavate koormuste suhtes loetakse pinnaseosakesed kokkusurumatuteks ja deformatsioonid toimuvad pooriruumi vähenemise arvel.

3.2. Tihedus ja kokkusurutavus

Eritalised liivad-kruusad koosnevad erineva terasuurusega osakestest ning enamasti saavad väiksemad osakesed liikuda suuremate vahele suurtesse pooridesse. Tulemusena saavutatakse suurem tihedus (väikesem poorsus või poorsustegur, vt. *Joonis 4*) ja seeläbi suurem kontaktide hulk pinnaseosakeste vahel, mis omakorda vähendab edasiste deformatsioonide võimalust. See avaldub ka eritalise liiva ($C_u > 3$) suuremas elastsusmooduli ehk Young'i mooduli (E) väärtuses, mis näitab pinge ja elastse deformatsiooni suhet või suuremas sängitusmooduli (k) väärtuses (*Joonis 5*), mis näitab koormuse ja siirde suhet.



Joonis 5. Sängitusmooduli k sõltuvus lõimistegurist C_u [14].

Konkreetne elastsusmooduli väärtus sõltub lisaks sorteeritusele ka suhtelisest tihedusest, osakeste nurgelisusest ja teistest teguritest, mis mõjutavad tugevust, kuid mõned indikatiivsed Young'i mooduli (E) väärtused on järgmised [15]:

Pinnas	E (MPa)
ühtlaseteraline kruus	20–80
eritaline kruus liivaga	50–300

ühtlaseteraline liiv	30–200
eriteraline liiv mölliga	100–1000

Samas Eesti erinevate liivpinnaste kompressioonikatsetel määratud elastusmooduli (E , MPa) väärtused kahes pingevahemikus olid järgmised:

	100–200 kPa	400–800 kPa
Eriteraline liiv ($c_u > 3$)	27,1	79,7
Ühtlaseteraline liiv ($c_u < 3$)	33,8	85,6

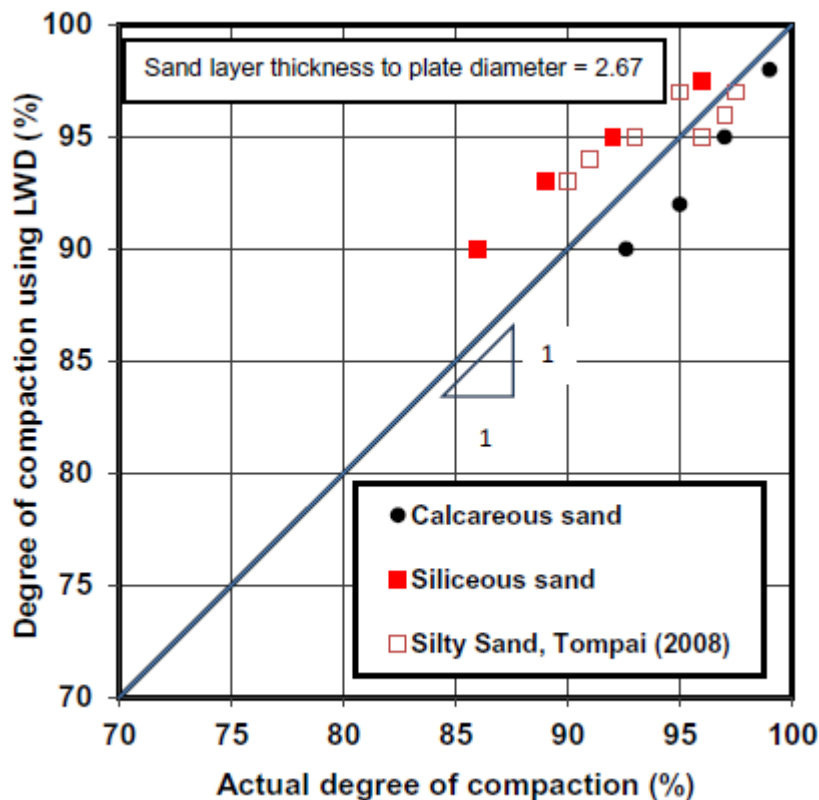
Ilmselt on põhjus katsemetoodikas – kompressioonikatse on tehtud ödomeetris, kus määratakse vaid vertikaalset deformatsiooni külglaienemise võimaluseta (silindris). Silindris puudub pinnasel külgliikumise võimalus. Kuna eriteralise liiva puhul on võimalik väikeste osakeste paigutumine suuremate osakeste vahelistesse pooridesse, ühtlaseteraliste liivade puhul aga on see võimalus väiksem või puudub äärmuslikul juhul täiesti (absoluutselt ühesuguse suurusega terade puhul) siis saab eriteralist liiva kompressiooniaparaadis efektiivsemalt kokku suruda. Tulemuseks on eriteralise liiva veidi suurem deformatsioon ja väiksem arvutatud elastusmoodul.

Praktikas on ikkagi eriteralised liivad suurema elastusmooduli ja kandevõimega, kuna looduses reeglina ei ole osakeste külgsuunalised liikumised koormuse all välistatud ja mõõdetud siirded on toimunud vertikaal- ja horisontaalsuunaliste paigutuste kombinatsioon.

3.3. Tihendatavus vibromeetodil

Kuigi üldiselt on vibratsiooniga tihendamine jämedateralise pinnase puhul väga heaks meetodiks, võib leida ka viiteid, et ühtlaseteralise liiva ja kruusa puhul on vibrotihendamine vähese efektiga [16, 17]. Mõlemad autorid hindavad eriteralise liiva vibrotihendatavust heaks, $C_u < 2$ korral aga marginaalseks.

Kuigi teoreetiliselt peaks olema ümardunud osakestega pinnase tihendamine kergem (ei esine lukustumist, lihtsam pinnaseosakesi liigutada), siis tavaliselt on nurgelisemate osakestega pinnased peale tihendamist siiski tihedamad (*Joonis 6*) [18, 19].



Joonis 6. Ümarate teradega (sinine ring) ja nurgeliste teradega (punane ruut) liiva tihedusastme mõõtmine deflektomeetriga (*Light Weight Deflectometer*, LOADMAN-INSPECTOR tüüpi seadmega). Ümarate teradega liiva määratud tihedus on alati väiksem tegelikust, nurgeliste teradega liiva määratud tihedus on alati suurem tegelikust [19].

Põhjuseks on osakestevaheliste kontaktide väiksem hulk ühtlaseteralistes liivades, lisaks kontaktpindade siledus ümardatud osakestega pinnastes. Kontaktide väike arv tähendab suuremat kontaktpinget kokkupuutepunktis sama lauskoormuse korral, osakeste siledus vähendab aga hõõret osakeste vahel, mis kontaktpinged vastu võtma peab. Tihendamisel liigub rull või vibraator reeglina tihendatava kihi pinnal, kus nidususega liivade-kruusade nihketugevus on 0 või väga väike, sest nihketugevus sõltub efektiivpingest ($s = \sigma' \cdot \tan\varphi' + c'$). Kuna efektiivpinge pinnal (σ') on võrdne 0-ga ja 10-20 cm sügavusel vaid 2...4 kPa, siis nidususe puudumisel ongi nihketugevuse väärtus praktiliselt 0. Sellistes tingimustes sõltub tugevus suure osas just osakeste nurgelisuse poolt põhjustatud näivast nidususest, mis siledatel-ümarates osakestel aga puudub. Rakendades sellisele tugevusetule pinnasele tsüklilist koormust (vibratsioon), ei toimu tihenemist, vaid koormus purustab sidemed põhjustades vahetu pinnakihi kobestumist rulli all.

Tihendamisel staatilise rulliga mõjub koormus pikemat aega, võimaldades osakestel tihedamalt paigutuda (tiheneda). Pindmises kihis toimub endiselt pinnase kobestumine, kuid see ei ulatu sügavale.

Ülaltoodu valguses on allpool toodud „Teehoiutööde tehnoloogilised juhised. Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised“ 2006-41 (kinnitatud Maanteeameti direktori käskkirjaga nr. 264 29.12.2006.a.) [20] punktid 2.2.1.4 ja 2.2.4.4 eksitavad:

2.2.1.4. Pinnase tüüpidest sobivad staatilise rulliga tihendamiseks praktiliselt kõik sõmerpinnased, välja arvatud ühtlase terastikulise koostisega ja tolmsed liivad.

2.2.4.4. Kõige sobivamad on vibrorullid sõmerate liiv- ja kruuspinnaste tihendamiseks, aga ka raskete savide tihendamiseks. Ühtlase terastikulise koostisega liiva saab efektiivselt tihendada ainult vibrorulliga.

Ühtlaseteralise (ja eriti ühtlaseteralise ning ümardatud) liiva tihendamiseks sobib ainult staatiline tihendamine. Veelgi parem oleks ühtlaseteralise liiva tihendamine läbi teda katva (killustiku) kihi. Saavutatav efekt oleks võrreldav laste mänguväljaku „pallimerele“ vineerist katte paigutamise – tihendamise energia oleks üle kantud suuremale pinnale (suuremale kontaktide arvule) ja seetõttu väiksema kontaktpingega. Takistatud oleks osakeste vaba liikumine rulli alt vertikaalsuunas üles ja vähendatud sama liikumise ulatus horisontaalis (mis pinnalt tihendades pinnakihti kobestavad).

3.4. Tiheduse kontrolli meetodid

Maanteeameti praktika on näidanud, et tiheduse ja elastsusmooduli (kandevõime) määramine välikatsetega annab ühtlaseteralisele liivale ebaloomulikult madalad väärtused ning ühtlaseteralise liiva tihendamine vibratsiooniga ei ole efektiivne.

Välitingimustes määratakse elastsusmoodulit plaatkoormuskatsega. Plaatkoormuskatse tehakse otse kihi pinnalt ja pinnakihis on sisehõõrdepinnaste tugevus väike (vt. ptk 3.3). Seetõttu saavad katse käigus antava koormuse mõjul toimuda ka osakeste horisontaalsuunalised liikumised, mille käigus liivaosakesed piltlikult nõ voolavad või liiguvad plaadi alt koormuse mõjul ära. Seega mõõdetakse katse käigus summaarset deformatsiooni, mis on põhjustatud vertikaal- ja horisontaalsetest liikumistest. Neist ainult esimesed liikumised on seotud elastsusmooduliga ja horisontaalsuunaliste liikuste komponent vähendab arvutatud elastsusmooduli (kandevõime) väärtust. Mida ümardunuma ja ühtlaseteralisema pinnasega on tegemist, seda suurem on ilmselt sellise protsessi ulatus.

Võib eeldada, et dünaamiliste meetodite puhul on see protsess on veelgi ulatuslikum, kuna horisontaalsuunaliste (nihke) deformatsioonide toimumiseks on takistus sama, aga rakenduv hetkeline dünaamiline koormus põhjustab suuremaid kontaktpingeid sarnaselt vibrotihendamisega (vt. ptk 3.3).

Horisontaalsuunalised nihkedeformatsioonid on suuremad ühtlaseteralistes ja eriti ümardatud liivades. Põhjuseks jälle suurem kontaktpinge sama lauskoormuse korral.

Võrdluseks – ödomeetrikatses on külgsuunalised deformatsioonid välistatud, deformatsioon toimub ainult vertikaalsuunas ning määratakse eelkõige pinnaseosakeste kokkusurumisest tulenevat deformatsiooni ning määratud elastsusmoodulid on ühtlaseteralistel liivadel suuremad kui eriteralistel liivadel (vt. ptk. 3.2 Eesti pinnaste kompressioonikatsete tulemused), ja võrreldes plaatkoormuskatsega on deformatsiooni väärtused väiksemad.

3.5. Plaadikatsed ühtlaseteralisel liival

Käesoleva uuringu raamides oli plaanis teha kuni 3 plaadi staatilise koormamise katset ühtlaseteralisel liival. 31. juulil tehti katse TOP-i ristmiku ehitusel, kergliiklustee rambil. Katse tehti ja mõõtmisandmed töödeldi DIN 18134 kohaselt. Tulemused on toodud alljärgnevas tabelis.

Objekt: TOP ristmik, Tallinn-Pärnu mnt.

Katse nr: 1

Asukoht: $x = 6578271$ $y = 534705$

Tellijä: Maanteeamet

Plaadi tüüp: Ø 30 cm

Metoodika: DIN 18134

Pinnas: tihendatud ühtlaseteraline liiv, kergliiklustee ramp

Katsetas: Aivo Averin

Kuupäev: 31.07.2014, 8:40-10:15

KATSEANDMED	1. koormamistsükkel	2. koormamistsükkel
$\sigma_{1\max}$ MN/ m ²	0,424	0,509
a_1 mm/(MN/m ²)	18,063	3,424
a_2 mm/(MN/m ⁴)	33,918	2,9808
$E = 1.5 * r * /a_1 + a_2 * \sigma_{1\max}$ MN/ m ²	6,9	45
$E_2/ E_1 =$	6,5	

Elastusmoodul EV_2 on 45MPa

Katse alusel on liiv tihendamata ($E_2/ E_1 > 1,25$), $E_2/ E_1 = 6,5$ näitab liiva head tihendatavust staatilise koormusega.

01.septembril üritati teha katse ka Luige ristmiku ehitusel, kuid katse tegemisest loobuti, kuna silma järgi oli liiv kohev (hoolimata ehitaja kinnitustest, et liiva on rulliga piisavalt tihendatud) ja liival kõndides vajus sellesse sisse.

Tehtud koormamise katse ja liiva visuaalselt kohev oleks Luige liiklussõlme ehitusel kinnitavad asjaolu, et ühtlaseteralise liiva (eriti Männiku karjääri ühtlaseteralise liiva) tihendamine vibraatorrulliga ei ole edukas.

3.6. Kokkuvõte

1. Liiva maksimaalne ja minimaalne tihedus (minimaalne ja maksimaalne poorsus või poorsustegur) sõltub liivaterade ümardatusest ja lõimise sorteeritusest.
2. Üldjuhul on eriteralise liiva elastusmoodul mõnevõrra suurem kui ühtlaseteralisel liival, seda selle tõttu, et osakesed paiknevad eriteralises liivas tihedamalt ja osakestevaheliste

kontaktide arv on seetõttu suurem (kontaktpingete suurus on seeläbi muude võrsete tingimuste juures väiksem).

3. Kompressioonitingimustes (külglaienemise võimaluseta) on aga eriteralise liiva elastsusmoodul väiksem kui ühtlaseteralisel liival. Seda selle tõttu, et eriteralise liiva pisemad terad saavad liikuda suurte terade vahelistesse poorides.
4. Ühtlaseteralise liiva tihendamine kihi pinnalt vibromeetodil ei ole võimalik. Väikese osakeste vaheliste kontaktide arvu tõttu on kontaktpinged suured ja väikese pinnakihi nihketugevuse tõttu paisatakse osakesed tihendava rulli alt eemale, tagajärjeks on ulatusliku pinnakihi kobestumine.
5. Ühtlaseteralise liiva tihendamiseks sobib staatiline rullimine. Veel efektiivsem on tihendamine läbi katva (killustiku) kihi.
6. Ühtlaseteralise liiva tiheduse kontrollimiseks sobib kas löikerõnga, radioaktiivse isotoobi, kummiballooni või liivakoonuse meetod. Elastsusmooduli määramiseks sobib staatiline koormamine, soovitatavalt läbi katva (killustiku) kihi. Vältida tuleb dünaamilisi meetodeid, mis reeglina annavad elastsusmoodulile vähendatud väärtused.

4. SOOVITUSED

Ühtlaseteralise liiva kasutamisega tee mulde konstruktsioonis kaasnevad paratamatult erinevad aspektid ja nüansid, mida sellise liiva tihendamisel ja hilisemal katsetamisel arvestama peab. Kuna ühtlaseteralised liivad settivad või kujunevad tavaliselt tingimustes, mis eeldab osakeste suurt kulutamist (lainetus rannavallide puhul, tuul luidete puhul) siis on ühtlaseteralised liivad tavaliselt ka suurema ümardatusega, mis omakorda komplitseerib nende tihendamist ja katsetamist.

Alljärgnevalt toome mõningad (alternatiivsed) soovitused, mille rakendatavust võiks teedeehituses kaaluda:

1. Loobuda SOJUZDORNII meetodil filtratsioonimooduli määramisest. Meetod sobib eranditult vaid ühtlaseteralise liiva filtratsioonimooduli määramiseks ja välistab väikese tolmu sisaldusega (kuni 3-5%) eriteraliste liivade kasutamise, mis ometi Lääne standardite kohaselt drenikihti sobiks. Alternatiiviks SOJUZDORNII meetodile on lõimise järgi pinnase sobivuse üle otsustamine.
2. Alustada eri konstruktsioonikihtidesse vajaliku liiva tootmist karjäärides sõelumise ja pesemise läbi. Reeglina on Eesti karjääride liiv eriteraline (üksikute eranditega). Enamus eriteralisi liivu peaks aga geneesi kohaselt olema väiksema ümardatusega kui ühtlaseteralised liivad. Pesemine võimaldaks toota ühtlaseteralist liiva, mis ei ole ümardatud teradega.
3. Teha Eesti liivakarjääride analüüs – hinnata nendest kaevandatava liiva geneesi ja terade ümardatust. Selliselt saaks hinnata liiva kasutatavust teatud eesmärkidel. Igal juhul tuleks teedeehituses eelistada väiksema ümardatusega teradega liivakarjääre.
 - a. Männiku liivakarjäär on üks suuremaid ühtlaseteralise liiva karjääre. Selles karjääris on kaht tüüpi liiva – ümardamata sanduriliiv (jääliustiku delta) ja hilisemalt lainetuse ja tuule poolt ümardatud rannavallide liiv ja luiteliiv. Tõenäoliselt on ümardatud terad karjääri ülemistes kihtides, see jaotus aga tuleks selgitada.
4. Ühtlaseteralise liiva tihendamine staatilise rulliga.
5. Ühtlaseteralise liiva tihendamine läbi katva (killustiku) kihi.
6. Ühtlaseteralise liiva tiheduse mõõtmine vaid otse mahukaalu määramist võimaldava meetodiga – lõikerõngas, liivakoonus, kummiballoon või radioaktiivsete isotoopide meetod. Ühtlaseteralise liiva elastsusmooduli mõõtmine vaid staatilise koormamisega, soovitatavalt läbi katva (killustiku) kihi.

5. KASUTATUD MATERJALID

5.1. Kirjandusallikad

1. Talvik, O. (2013). *Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi standardiseerimine ning Teedeala standardimistevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel*. TTÜ Teedeinstituut, 2012-17/L. Tallinn.
2. Talviste, P. (2011). *Pinnaste filtratsioonimooduli määramine SOJUZDORNII meetodil. Teoreetilised alused*. Ettekanne Eesti Geotehnika Ühingu koolituspäeval Tallinnas, 11.10.2011.
3. Coduto, D.P. (1999). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*. Prentice-Hall, Inc.
4. Terzaghi, K., Peck, R.B. & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd Edition. Wiley-Interscience
5. Semple, R.M. (1988). *The Mechanical Properties of Carbonate Soils*. Proceeding of International Conference on Calcarous Sediments, Perth. 807–836.
6. Grine, K. & Glendinning, S. (2007). *Creation of an artificial carbonate sand*. Geotechnical and Geological Engineering 25, 441–448.
7. Talviste, P. (2009). *Pestud paesõelmete (paeliiva) tihendamisest*. IPT Projektijuhtimine töö nr. 09-04-0844, Tallinn.
8. Cho, G.C., Dodds, J. & Santamarina, J.C. (2006). *Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sands*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 5, 591–602.
9. Barheiter, C.A., Edil, T.B., Benson, C.H. & Mickelson, D.M. (2008). *Geological and Physical Factors Affecting the Friction Angle of Compacted Sands*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 10, 1476–1489.
10. Evans, D.J.A. & Benn, D.I. (2004). *A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments*. Taylor & Francis.
11. Geotechdata.info, Angle of Friction, <http://geotechdata.info/parameter/angle-of-friction.html> (as of September 14.12.2013).
12. Andersen, K.H. & Schjetne, K. (2013). Database of Friction Angles of Sand and Consolidation Characteristics of Sand, Silt, and Clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 139, No. 7, 1140–1155.
13. British Standard (2001). BS 8002:1994. *Code of practice for Earth retaining structures*.
14. Soga, K. *Lecture 2: Microscopic Characterisation of Soils*. University of Cambridge.
15. Ingles, A.G. & Grant, K. (1975). *The Effect of Compaction on Various Properties of Coarse-grained Sediments*, 293–348. In: Developments in Sedimentology. Compaction of Coarse-Grained Sediments, I, editors Chilingarian, G.V. & Wolf, K.H.
16. Kirsch, K. & Kirsch, F. (2010). *Ground Improvement By Deep Vibratory Methods*. Spon Press.

17. Bement, R.A.P. & Selby, A.R. (1997). Compaction of granular soils by uniform vibration equivalent to vibrodriving of piles. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 15, 121–143.
18. Elhakim, A.F., Elbaz, K. & Amer, M.I. (2014). *The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction*. Housing and Building National Research Center Journal (in press).
19. Crum, J.R. *Engineering Properties of high sand content soils used in golf putting greens and sports fields*. Michigan State University Research Update, 59–66.
20. Maanteeamet. *Teehoiutööde tehnoloogilised juhised. Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised 2006-41* (kinnitatud Maanteeameti direktori käskkirjaga nr. 264 29.12.2006.a).

5.2. Aruanded liivade laborikatsetega

1. EGF 243. Väikesele Munamäele püstitatav suusahüppetrampliin. RPI Eesti Tööstusprojekt. Töö nr 265-64. Tallinn, 1964.
2. EGF 1999. Meditsiinilise Tehnika ja Abikäitiste Valitsuse Kauba-transpordibaas. PRI Eesti Tööstusprojekt. Töö nr 4106. Tallinn, 1966. Tallinn, Mustamäe tee, Kadaka tee ja Akadeemia tee vaheline ala
3. EGF 2115. TPI Kehalise kasvatuse ja Spordikateedri hoone. RPI Eesti Projekt. Töö nr KÕ-29. Tallinn, 1966. Tallinn, Mustamäe Ehitajate tee ja Sõpruse pst vaheline ala
4. EGF 4938. Tallinna Majaehituskombinaadi rekonstrueerimine. RPI Eesti Tööstusprojekt. Töö nr 4600. Tallinn, 1970.
5. EGF 14255. Tallinna Majaehituskombinaat. Ettevõtte osaline rekonstrueerimine. Tallinn, Silikaltsiidi 5. RPI Eesti Tööstusprojekt: Töö nr 5454. Tallinn, 1978. (vene keeles)
6. EGF 18403. Haapsalu, Lihula mnt 8. Haapsalu raj. KBK spets.-masinate baas, PI Kommunaalprojekt. T-297-82. Tallinn, 1982.
7. EGF 19866. “Männiku” tehase tsehhi nr 2 segusõlm. Pinnaste füüsikalise-mehaanilised omadused. TEPI “Eesti Tööstusprojekt”. Töö nr 2228. Tallinn, 1959.
8. EGF 19867. Tallinna Vineeri- ja Mööblivabrik. Männiku metsaladu. TEPI “Eesti Tööstusprojekt”. Töö nr 2745. Tallinn, 1960.
9. EGF 19868. Männiku tööstusrajooni detailplaneerimine. TEPI “Eesti Tööstusprojekt”. Töö nr 3106. Tallinn, 1962.
10. EGF 19869. Ehitusmaterjalide tehas “Männiku”. Raudbetoontoodete tsehh. TEPI “Eesti Tööstusprojekt”. Töö nr 3161. Tallinn, 1962.
11. EGF 23186. Vabariikliku Remondi- ja Ehitustrusti REV nr 2. Haapsalu, Lihula mnt 10. PI Kommunaalprojekt. T-1356-85 ja T-392-86. Tallinn, 1986.