



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Instituudi nimetus

## **EESTI TEEDE E HITUSE KVALITEEDI KONTROLLI EESMÄRK JA ETTEPANEKUD**

### **PURPOSE AND PROPOSALS ON ESTONIAN ROAD CONSTRUCTION QUALITY CONTROL MAGISTRITÖÖ**

Üliõpilane: Sander Rits

Üliõpilaskood 211456 EAXM

Juhendaja: Ain Kendra

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Sander Rits

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Eesti teede ehituse kvaliteedi kontrolli eesmärk ja ettepanekud“ mille juhendaja on Ain Kendra.
    - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
    - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
  2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
  3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
- 

29.05.2023

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# Ehituse ja arhitektuuri instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Sander Rits, 211456EAXM

Õppekava, peeriala: Hooned ja rajatised, teede-ja sillaehitus. kood ja nimetus)

Juhendaja: lektor, Ain Kendra, 5171055

**Lõputöö teema:** EESTI TEEDE E HITUSE KVALITEEDI KONTROLLI EESMÄRK JA ETTEPANEKUD

PURPOSE AND PROPOSALS ON ESTONIAN ROAD CONSTRUCTION QUALITY CONTROL

**Lõputöö põhieesmärgid:**

- 1.
- 2.
- 3.

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

**Töö keel:** ..... **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." .....2023.a

**Üliõpilane:** ..... "....." .....2023.a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... "....." .....2023.a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... "....." .....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... "....." .....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA.....	7
Lühendite ja tähiste loetelu .....	8
1.    SISSEJUHATUS.....	9
2.    TEORIA EHK ALUSED .....	10
2.1 Mõisted.....	10
2.2 L. Rothenburgi märkused N.L. katendisüsteemi kohta.....	12
2.3 Määrus 101 .....	13
3.    DIMENSIONEERIMINE.....	14
3.1 Eesti teed on aladimensioneeritud.....	14
3.1.1 Asfaldi kihi paksused erinevad reglementide põhjal.....	17
3.2 Eesti katendi süsteem tugineb 1983 NL juhisele.....	18
3.3 Eesti nõuded .....	19
3.3.1 Soome ja Vene süsteemid .....	20
3.3.2 Võrdlus Soome süsteemiga .....	20
3.4 Koormused Eesti teedel tõusevad. ....	21
3.5 Kandevõime arvutused ja mõõtmistulemus .....	22
3.5.1 Kandevõime arvutused FWD-ga .....	22
3.5.2 Alar Tooming´u kandvõime mõõtmise tulemuste analüüs .....	23
3.6 Soome arvutuslik lahendus Odemarki valemiga.....	24
3.6.1 Soome nõuded InfraRYL-i põhjal.....	27
3.7 Ettepanekud .....	28
4.    EHITUSTEHNOLOOGIAD.....	29
4.1 Projekt pole kunagi 100% täpne .....	29
4.2 Katend.....	29
4.2.1 Alus/teeküna .....	29
4.2.2 Stabiliseerimine.....	32
4.2.2.2 Erinevate stabiliseeritud kihtide jaotuse muldkehas. ....	32
4.2.3 Dreenkihi ehitus .....	35

4.2.4	Killustikaluse ehitus .....	37
4.3	Ettepanekud .....	40
5.	EHITUSE KVALITEEDI KONTROLL .....	41
5.1	Kvaliteedikontrolli süsteemist.....	41
5.2	Kvaliteedi kontrolli protseduurid.....	41
5.2.1	Strateegia kvaliteedi kontrollis.....	42
5.3	Tihenduskontroll .....	44
5.4	Kandevõime kontroll.....	44
5.4.1	Elastsusmooduli mõõtetulemus sõltub pingest.....	47
5.4.2	Geosünteedid kahandavad mõõtetulemust.....	48
5.5	Ettepanekud.....	50
6.	MÕÕTESEADMED .....	51
6.1	Erinevad seadmed ja nende funktsioonid.....	51
6.2	Kergseadmed.....	56
6.3	Kergseadmega tihendus kvaliteedi hindamine.....	61
7.	ETTEPANEKUD .....	62
	KOKKUVÕTE .....	63
	SUMMARY .....	64
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	65
	LISAD .....	66
Lisa 1	Määrus 101 lisa 10 tabel .....	67
Lisa 2	Kandevõimete mõõtetulemuste tabel .....	68
Lisa 3	Liivpinnaste külmumissügavuste tabel .....	69
Lisa 4	Elva pst tänava olemasoleva liiva katseprotokollid .....	70

## **EESSÕNA**

Lõputöö teema on sõnastatud juhendajaga koostöös lähtudes teema aktuaalsusest ning magistrandi praktikast ja kogemustest teetööde kvaliteedikontrollis.

Töös antakse ülevaade Eestis kehtivatest teedehituse kvaliteedinormidest, nende vastuoludest ning kandevõimetest ja katendi dimensioneerimisest. Lisaks tehakse ettepanekuid kuhu suunas liikuda lähtudes naaberriikidest.

Avaldamata uuringu kasutamise ja konsulteerimise eest soovin tänada Alar Tooming´ut (KMG OÜ). Nõuannete eest teema valikul tänan Jaanus Taro(AS Trefnord). Intervjuude eest soovin tänada Allar Kauge´t, Vaabo Annus´t (AS Taalri varahaldus) Andre Künnapuud(AS TREF),

Võtmesõnad: elastsusmoodul, katend, tihendamine, kandevõime, magistritöö.

## Lühendite ja tähiste loetelu

AKÖL - Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus

BCI - FWD indeks (Base Curvature Index)

BDI - FWD indeks (Base Damage Index)

DIN - Saksamaa standardiseerimisinstituut

EVS - Eesti Vabariigi Standard

FDR - Täielik taaskasutus (full depth recycling)

FWD - Järelveetav deflektomeeter (Falling Weight Deflectometer)

HWD - Raske FWD (kasutusel lennunduses) (Heavy Weight Deflectometer)

KAP - Katendiarvutamise programm

LWD - Kergdeflektomeeter (Light Weight Deflectometer)

SCI - FWD indeks (Surface Curvature Index)

TKTK - Tallinna Tehnikakõrgkool

TTÜ - Tallinna Tehnikaülikool

VSN - Üleliiduline ehitusnorm

ÜT - Ülemineku tegur



# 1. SISSEJUHATUS

Teede seisukord on olnud aktuaalseks ja palju vaidlusi tekitanud teemaks pikka aega. Kandevõime roll teekatendi konstruktsioonide erinevates kihtides on väga oluline kogu katendi kvaliteedi ja püsimise seisukohalt, seda eriti suure liikluskoormusega lõikudel, niisketes piirkondades. Suure kandevõimega teekonstruktsioon annab teele pikema eluea ja paremad tingimused liiklejaile. Lisaks on see ka majanduslikult ja keskkonnahoiu jaoks mõistlik. Seetõttu on enne konstruktsiooni rajamist väga tähtis teada konstruktsiooni aluse omadusi ehk geoloogiat ning sinna paigaldatavate materjalide omadusi. Siin muutubki aktuaalseks tehnoloogia, aluse kandevõime ja materjali omaduste täpne määramine ja optimeerimine, et valida ehitamiseks optimaalsed meetodid. Seejuures aitab tehnoloogia ja materjalide valik ning õige kvaliteedi kontroll kasutada ressursse võimalikult säästlikult.

Eesti katendi projekteerimise süsteem tugineb 1983 NL juhisele mis on 40 aastat vana, koormused on selle perioodi jooksul oluliselt kasvanud millega süsteem ei ole arvestanud, seega ei ole selle süsteemi järgi kavandamine enam mõistlik ja vajab uuendamist. Katendi dimensioneerimise osas toon välja naaberriigis Soomes kasutatava Odemarki valemil baseeruva süsteemi võimalused ja selle perspektiivid mida OÜ T-Konsult on arendanud. Kvaliteedi kontroll ning täpsed tehnoloogiad aitavad valida konstruktsiooni rajamiseks optimaalse keskkonnasäästlikuma lahenduse, mis tagab katendile esitatud nõuete täitmise.

Töös analüüsin Eesti teedehituse kvaliteedinõudeid ja kitsaskohti ning võrdlen neid välisriikidega. Teen ettepanekud katendi erinevate kihtide ehituse osas, väljaarvatud asfaldi osa. Ettepanekutes tuginen erinevatele teadusartiklitele ja uuringutele lisaks ka ühele avaldamata uuringule kandevõime FWD-ga mõõtmise tulemuste analüüsist. Toon näiteid praktiliste juhtumite näol. Eraldi peatükkidena käsitlen kandevõime ja tiheduse mõõteseadmeid. Viimase peatükina toon välja ettepanekud olukorra parendamiseks.

## 2. TEOORIA EHK ALUSED

### 2.1 Mõisted

**Aluspinnas** on looduslik pinnas või kalju, ümbertöötatud looduslik või tehispinnas, millele rajatakse või millel paikneb tee konstruktsioon või millesse kaevatakse või on kaevatud tee süvend. [5] lk11

**Kandevõime.** Konstruktsioonil on kandevõime. Kandevõime iseloomustamiseks kasutatakse elastsusmoodulit. Elastsusmoodul (E) on sisuliselt deformatsiooni ja pinge vaheline seos ja iseloomustab pinnase omadust avaldada vastupanu deformeerumisele pingeseisundi muutudes. [1]

Kandevõimet ja elastsusmoodulit mõõdetakse sama põhimõtte alusel. Kui mõõteseadme mõjuulatus on väiksem, kui ülemise ehk mõõdetava kihi paksus ning materjal on nõuetekohaselt tihendatud, on need kaks näitajat võrdsed. Kandevõime iseloomustab konstruktsiooni, elastsusmoodul üht materjali.

Probleem: dünaamilised ja staatilised mõõteseadmed annavad siiski erinevaid tulemusi, sõltuvalt pinnastest.

**Elastusmoodul** e. Young'i moodul (E) on materjali elastseid omadusi iseloomustav võrdetegur, normaalpinge ja suhtelise deformatsiooni suhe, määratakse pinge-suhtelise deformatsiooni graafiku lineaarselt osalt.  $E = \sigma / \epsilon$ . [6]

**Tihendamine.** Tihendamisseadmed on teerullid ja vibroplaadid.

Tihendusvaliteeti mõõdame kas tihendusseadme endaga ehk sisse ehitatud mõõteseadmed või penetromeetriga.

Tihendusvaliteeti saame kontrollida otseselt Loadman ja Troxler-seadmetega, kaudselt FWD ja PLT seadmetega. Reeglina võrreldakse realselt saavutatud tihedust Proctor-katsega laboris saadud tihedusega.

Probleem: Proctor katse sobib piiratud materjalidele/pinnastele, kuna katse käigus mõjutatakse katsetatavat materjali haamritega, mis pehmema kivimaterjali puhul muudavad materjali terastikulist koostist enam, kui realsel objektil kasutatav tihendustehnoloogia.

**Stabiliseerimine** on pinnase või katendi kihtide tugevdamine erinevate lisandite ehk keemiline stabiliseerimisega ja materjalide segamisega ehk mehaanilise stabiliseerimise teel.

**Roobas** on tee pinna piki suunaline sõidujäljes olev pinnavorm mis on tingitud kas deformatsioonist erinevatest kihtidest või ülakihi kulumisest.

**Filtratsioon** ehk veejuhtivus on pinnase omadus juhtida endast vett läbi, mille tagavad pinnases olevad poorid. Seejuures mõjutavad veejuhtivust väga suurel määral gravitatsioon, aga ka kapillaarjõud, temperatuur, osmootiline rõhk või mõni muu tegur.[1] Eristame horisontaalset veejuhtivust ja vertikaalset veejuhtivust. Lisaks tuleb eristada ka veejuhtivuse suunda tihendatud kihi suuna suhtes. Kas piki tihendatud kihti või risti tihendatud kihiga.

**Külmakerge** on pinnasesse kogunenud niiskuse külmumise ning selle paisumise tagajärjel tekkinud pinnase kerkimine ülespoole. Külmakerke tekkeks peavad esinema korraga külmakerkeline pinnas ja vesi. Külmakindel pinnas ei saa paisuda, külmakerkeline pinnas ilma veeta samuti.

**Tüüplahendus** on pinnaserühmadesse liigitatud pinnaste tüüpomaduste abil arvutatud ja projekteeritud lahendus. Näiteks KAP ja Odemark lahend kus projekteerija teostab arvutused. Tüüplahendused on klassifitseeritud pinnastest või materjalidest rajatud struktuurid. Projekteerimisel ja projekti vastu võtmisel kontrollitakse tüüplahenduse vastavust aluspinnasele ja tee liikluskoormusele.

Ehitamise ajal kontrollitakse kasutatud pinnaste ja materjalide vastavust pinnase või materjali rühmale, mida projektis kasutati. Samuti kontrollitakse paigaldatud materjali tihedust ja kihi paksuse vastavust projektile. Geosünteedide korral kontrollitakse kihtide paksust ja paigaldatud geosünteedi vastavust projektile.

Tüüplahendused:

- materjali vastavus projektsele (materjali tootja kinnitus ja labori protokoll)
- kihi paksuse kontroll (mõõdistus)
- materjalide kontroll (lõimistegur, veejuhtivus kui projektis on see nõutud)
- tiheduse kontroll vastavalt standardi soovitusel sageduse osas
- Kehtib nii tüüp kui kataloogilahendustele. [14]

**Kataloogilahendus** on tüüplahenduse erijuht, esitatud pinnaserühmadena liigitatud materjalide järgnevuste ja kihi paksustena. Kataloogilahendid arvutab kataloogi koostaja, projekteerija kontrollib vaid, et kataloogilahendi valiku eeldused on täidetud.

**Erilahendus** on lahendus, kus ei ole kasutatud tüüppinnaseid ja/või nende tüüpomadusi. Arvutuste aluseks on väljas või laboris mõõdetud numbrilised näitajad. Erilahendused on klassifitseerimata pinnastest või materjalidest rajatud struktuurid. Projekteerimine tehakse katsetöödel saadud andmetele tuginedes. Katselõigul testitakse materjale ja saavutatud kandevõimet, vajadusel muudetakse projektlahendust või vahetatakse välja materjalid.

Ehitamise ajal kontrollitakse saavutatud kandevõimet. Kontrollitakse kuni saavutatakse vajalik kandevõime.

Erilahendused:

- kihi paksuse kontroll mõõdistus
- kandevõime kontroll staatilise plaatkoormus või dünaamilise katsega
- vajadusel korrigeeritakse lahendust kihtide paksuse muutmise või materjalide väljavahetamisega
- kontrolli teostatakse kuni lahendus saavutab vajaliku kandevõime. [14]

## **2.2 L. Rothenburgi märkused N.L. katendisüsteemi kohta**

FSU ehk tollase N. Liidu juhendite kohased ehitusprojektid on näinud ette asfaldikihtide paksused, mis on liiga õhukesed ja jätavad aluse ning lisakihid kevadise sulamise ajal kaitsmata. [15]

FSU projektide kalduvus rajada paksud liivakihid ja õhukesed asfaltkatted on tõenäoliselt seotud kulude ja materjalide kättesaadavusega. Samuti eeldatakse, et paksud liivakihid tagavad piisava külmakaitse. On ebatõenäoline, et eelnimetatud kriteeriumid saavutatakse FSU projektide puhul. Kanada kogemused näitavad, et enamasti on liivakihid külmale vastuvõtlikud isegi siis, kui materjalide valikul on arvestatud mõistliku hoolikusega. Näiteks Jaapanis, kus võimalikud külmaprobleemid on sama tõsised kui FSU-s ei kasutata liiva teekonstruktsioonis. [15]

Tuleks tõsiselt kaaluda liivapõhiste aluste lisakihtide projekteerimisest loobumist võimalike külmakergete ja pehmete aluspinnastega piirkondades. [15]

Lisaks ilmselgetele kulukaalutlustele on paksemate granuleeritud aluste rõhutamine FSU-s ilmselt seotud kaitsega külmakergete eest. VSN-46-83 kohaselt ei ole vaja spetsiaalset külmakaitsekihti, kui kõigi teekatte kihtide kogupaksus on suurem kui 2/3 külmumissügavusest, tingimusel, et alus ise ei ole külmakerke tundlik. Näiteks Moskvast on külmumise sügavus 1,4 m. [15]

Arvutustes kasutatakse 10-tonnise normtelge kuigi paljudes lääneriikides on normtelg 8-tonnine, näitavad võrdlused, et reeglipäraselt dimensioneeritud konstruktsioon talub vaid 30% kavandatud koormusest.

Üsna ranged jäikuskriteeriumid täidetakse, valides sidumata granuleeritud kihtide paksused asfaldi paksuse arvelt. Kuigi asfaldikihid on piisavalt paksud, et vältida väsimusest tingitud pragunemist, ei ole nende paksus piisav, et kaitsta aluspinnaseid

liigsete deformatsioonide eest kevadise sula ajal ja sellele järgneval taastumisperioodil. Kriitiliste kevadiste perioodide ajal teede sulgemine või teljekoormuse piiramine on FSU-s väga levinud. Sama kehtib sageli ka kõrvalmaanteede puhul paljudes lääneriikides. Siiski on selline projekteerimine prioriteetsete teede puhul vastuvõetamatu. [15]

Kuigi FSU projekteerimiseeskirjad sisaldavad aluspinna ülepinge kontrolli, tehakse arvutused eeldusel, et sidumata granuleeritud kihtide elastsusmoodulid ei ole mõjutatud hooajalisest niiskusest. Samuti ei ole FSU projekteerimismenetlustes arvestatud aluskihi võimaliku külmakartlikkusega. [15]

## **2.3 Määrus 101**

MKM määrus 101 „Tee ehitamise kvaliteedinõuded“ on seadusandlik dokument millest lähtuda, kuid täna esinevad seal Loadman või Inspector seadmega mõõdetavad numbrilised väärtused millel pole selget alust, viidet uuringule või teiste riikide juhistele. Varasemas InfraRYL redaktsioonis on veel viited Loadman kergseadme mõõtetulemustele ning ainus veel toimiv juhise on PANK 9001 2002.a. ,mis kirjeldab vaid Loadman-seadmega mõõteseria käigus kahanenud deformatsioonide või nendest arvutatud elastsusmoodulite suhtarvu alusel tihendusteguri määramist Emax/E1. Puuduvad igasugused viited Loadman-seadmega mõõdetavale arvulisele väärtusele või selle seostele teiste seadmetega mõõdetavasse või arvutatavasse. Eestis levinud Inspector seade on sisuliselt kopeeritud Loadman. Seega loob see dokument kitsendusi. Tänapäevases M101 toodud kandevõime väärtused MPa ei tugine arvutustel ja ei ole alati põhjendatud. Seega on mõistlik määrusest numbrilised väärtused eemaldada.

PANK 9001 järgi on Loadman-seadme mõju-ulatus 20...50 cm, seega ei saa seadmega mõõtetulemuste alusel teha järeldusi enamaks kui vaid seadme mõjupiirkonna tihendamise kohta ja seda ei näita arvutatud elastsusmoodul vaid selle muutus katserea jooksul. [17]

Killustike sidumata segude osas, määruses esitatud nõuete osa Lisa 10, proovide keskvaartuste sõelkõvera väli peaks paiknema määruse nr 74 lisas, mitte M101 lisas. M101 tabelid peaksid olema need, mis kehtivad vaid üksikproovile, sealhulgas paigaldatud kihist võetud proovile mis vajab omakorda proovivõtu reglementi. [5]LK 15

### 3. DIMENSIONEERIMINE

#### 3.1 Eesti teed on aladimensioneeritud

Viimase 12 aasta kahetised arengud. Alates 2010.a. on teedehituses kasutatud hea veejuhtivuse ehk filtratsiooniga liivasid mille tõttu oleme kaotanud kandevõime ressursi. Hea veejuhtivusega liivad on raskesti tihendatavad ja väiksema kandevõimega. Suurendatud siirdeegurid 2015-2017.a. on tõstnud nõudeid kuid marginaalselt.

Võttes tulemused tabelina kokku, saame võrdluse kui aluspinnaseks on liiv. Siin on selgelt näha, kuivõrd õhemad on Eesti reeglite järgi dimensioneeritud katendid ning ka killustikalused on õhemad. Eesti katendid on praktiliselt kõigis teeliikides nõrgimad, kusjuures vahe võrreldud variantide keskmisega on eriti suur põhimaanteedegrupis Vt tabel 3.1 [7]

Tabel 3.1 [7]

T11	EST	FIN/m	FIN/l	RUS	DEN	GER	SW E	avg	
Asfaldid	17+1	24	19	20	26	26	21		
killustikud	35	43	45	10 im +15	39	20	50		
<b>Odemark:</b>	<b>375</b>	<b>543</b>	<b>462</b>	<b>407</b>	<b>555</b>	<b>436</b>	<b>517</b>	<b>47 1</b>	
T15	EST	FIN/m	FIN/l	RUS	DEN	GER	SW E	avg	
Asfaldid	11+1	14	16	18	17	16	12		
Killustikud	33	43	45	15	29	15	50		
<b>Odemark:</b>	<b>260</b>	<b>361</b>	<b>406</b>	<b>289</b>	<b>354</b>	<b>262</b>	<b>342</b>	<b>32 5</b>	
T11220	EST	FIN/m	FIN/l	RUS	DEN	GER	SW E	avg	
Asfaldid	5,5+ 1	10	9	12	16	14	4, 5		
Killustikud	26	43	45	25	24	15	50		
<b>Odemark:</b>	<b>160</b>	<b>285</b>	<b>272</b>	<b>255</b>	<b>314</b>	<b>234</b>	<b>208</b>	<b>24 7</b>	

Eesti katend on reeglina oluliselt väiksema kandevõimega võrreldes teiste riikide tüüp- ja kataloogikatendite kandevõimega. Silma hakkab asfaldikihi väga väike paksus ja see on võrreldav vaid asfaldi paksusega Rootsi katendis. Kuid Rootsis on asfaldi all tüüpiline 50 cm graniitkillustiku kiht, samal ajal kui Eestis on see vaid 26...35 cm. Soome katendites on asfaldi paksus 3...6 cm suurem ja killustiku paksus 8...17 cm suurem. Isegi Venemaa kataloogilahendused on suurema kandevõimega, võrreldes Eestis kasutatavatega. [7] LK 32

Arvestades Eesti teede koormust ja seisundit siis Eestis võiks põhiteede kandevõimed olla 400+Mpa.

## **Tehnokeskuse 2017.a. PLT töö järgi on kandevõime nõuded täidetud 17% mõõdetud juhtumitest.**

2017.a. rekonstrueerimisobjektidel teostatud plaatkoormuskatsetuste, katendite ja geoloogia andmed süstematiseeriti ja analüüsiti nii statistiliste kui sisuliste seoste saamiseks. Esialgsete järelduste põhjal toodi välja peamised võimalikud probleemkohad:

- Fraktsioneeritud killustikust aluste kandevõime ja tihedus.
- Ühtlaseteraliste liivade kandevõime ja tihedus.
- Mullete kandevõime ja tihedus ning selle tõenäoline seos mulde niiskusrežiimiga.

Lühidalt kokkuvõttes ei pruugi tee tarindikihid olla sageli kandevõime ja tihedusega, mis tagaksid tarindi pikaealisuse. Uuringust selgus ka, et soovitud kandevõime ja tiheduse näitajate saavutamine on teatud materjalide puhul ebatõenäoline ning kaaluda tuleks tarindites kasutatavate materjalide muutmist. [12]

### **3.1.1.1 Eesti katendi arvutusmetoodika kaasajastamine**

Järgnevalt toon välja liikluskoormusele vastava tee vajaliku arvutusliku kandevõime väärtuse leidmise. Tee vajalik kandevõime on koormuse vastuvõtmiseks piisav elastsusmoodul tee pinnal. Arvutuslik tähendab, et vajalik kandevõime tuletatakse liiklussageduse, liikluse loenduse ja siirdetegurite kaudu leitud liikluskoormuse jaoks kindla eeskirja ehk valemi abil arvutades. Arvutus sisaldab mitmeid empiirilisel leitud tegureid ja kordajaid, mis võtavad arvesse tee laiust, sõiduradade arvu, tee muldkeha nõlvust jm. [8]

Eesti juhendis leitakse vajalik kandevõime logaritmseosest kujul:

$$E_{vaj} = a \cdot \log(Q) + b,$$

*Kus* -  $a = 70$  ja  $b = 56$  ning  $Q$  on taandatud koormussagedus ehk 20 aasta summaarne koormus jagatud konstandiga 5000.

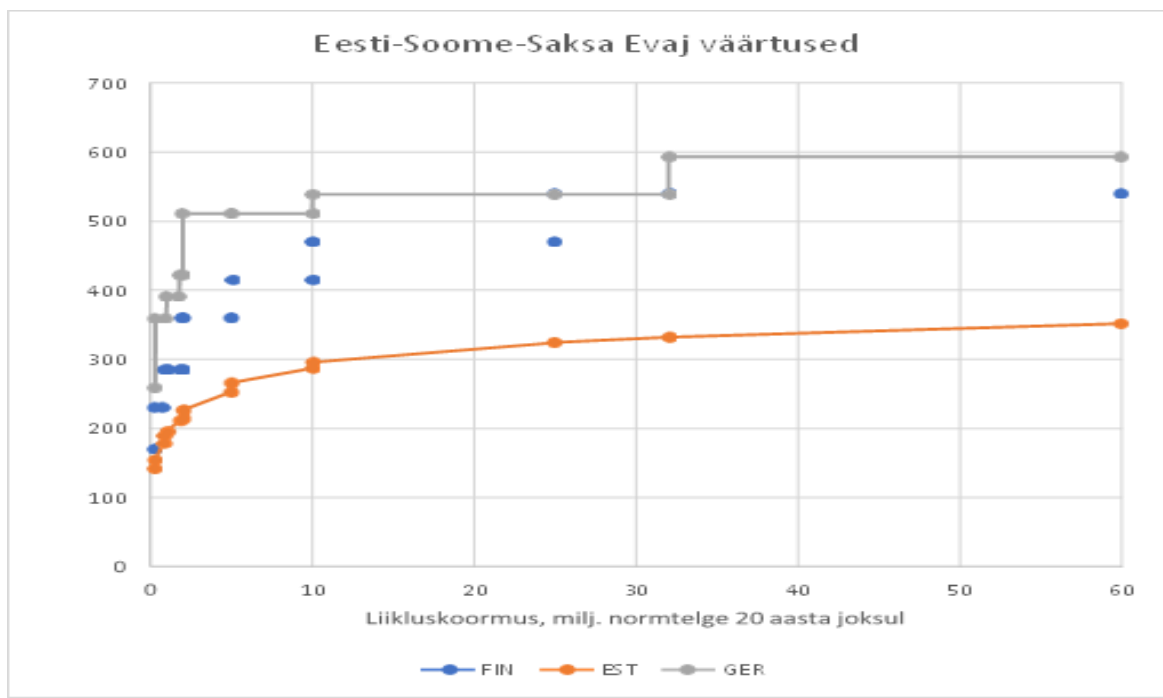
Hilisemas katendiarvutuses kontrollitakse, et arvutatud  $E_{üld}$  ei oleks väiksem kui  $E_{vaj} \cdot K_{tt}$  kus  $K_{tt}$  on tugevustegur mis sõltub tee klassist ja katte liigist.

Soome süsteemis on tegemist astmelise reglemendiga, mistõttu vajalik kandevõime väärtus on sätestatud koormussageduse vahemiku jaoks arvestusega, et sageduskahvli ülempiiri juures on varu minimaalne ja kahvli alampiiris maksimaalne.

(Joonisel 3.1) ja (Tabelis 3.2) on esitatud vajaliku kandevõime väärtused liikluskoormusest sõltuvalt: (Joonisel 3.1) üldiselt, Soome ja Saksa vajaliku

kandevõime väärtused vastavalt liiklusklassidele ja Eesti vajaliku kandevõime väärtused ülaltoodud logaritmseosest. Tabelis 3.2 Soome ja Eesti vajaliku kandevõime vastavalt registreeritud liiklussagedusele (AKÖL) Eestis. Arvestada tuleb, kui Eestis saadakse  $E_{vaj} < 180 \cdot K_{tt}$ , tuleb lähtuda viimasest väärtusest. Olulised järeldused on järgmised: Eesti ja Soome arvutuseeskirjades on sama normtelje koormus ja rehvirõhk, sama katendi arvutuslik eluiga. Eesti kasutab oluliselt suuremaid siirdetegurid, mis viib suurema prognoositud ülesõitude normtelgede arvule. Hoolimata väiksemast normtelgede ülesõitude arvust on Soome eeskirja kohane vajalik kandevõime oluliselt suurem, kui Eesti eeskirja kohane. [8]

Eesti kasutatav valem  $E_{vaj}$  arvutamiseks aastast 1983 ei ole enam ajakohane. Vahepeal on oluliselt muutunud liiklusintensiivsus, samuti raskeveokite ja veokite ning autorongide kaal ja telgede arv. (Joonise 3.1) põhjal võime väita, et siirdetegurite muutmisega  $E_{vaj}$  väärtust oluliselt tõsta ei ole võimalik ja muutmist vajaks valemi parameetrid  $a$  ja  $b$ . [7] LK 44



Joonis 3.1: Vajalik kandevõime  $E_{vaj}$  Soome ja Eesti normi kohaselt arvutatuna liikluskoormusest. [7] LK 44



Tabel 3.2. Vajalik kandevõime Evaj Soome ja Eesti eeskirja kohaselt arvatuna Eesti riigiteede tänase keskmise liiklussageduse kaudu arvatuna[7] LK34

Liiklussagedus	Tee klass	Ktt	Eesti 2015				Soome 2018		
			Milj. normtelge	Q	Evaj, MPa	180*Ktt, MPa	Milj. normtelge	Evaj, MPa	Emi n, MPa
<b>14500+</b>	1	1,03	28,7	5733	329	185	20,0	461	470
<b>6000-14500</b>	2	1,00	18,3	3660	305	180	13,8	433	470
<b>3000-6000</b>	3	0,95	6,9	1376	262	171	5,1	361	415
<b>500-3000</b>	4	0,90	1,8	359	211	162	1,3	263	285
<b>50-500</b>	5	0,85	0,21	41	144	153	0,15	102	170
<b>0-50</b>	6	0,79	0,03	6	86	142	0,02	-45	170

### 3.1.1 Asfaldi kihi paksused erinevad reglementide põhjal.

Järgnevalt toon võrdlusena erinevate reglementide põhjal tabelitena välja nõutud asfaldi kihi paksused.

Määrus 106-e kohustuslik asfaldikihtide paksus mida ei täideta tabel 3.3.

Stabiliseeritud kihid asendavad asfaldi 20...30% kihi paksusest mitte 50%.

MA 2017-003 soovituslik asfaldi paksus on suurem kui määrus 106-s.

Tabel 3.3 asfaldi kihi paksused erinevate koormuste ja reglementide põhjal

Evaj , Mpa(2021)	<125	125-180	180-220	220-250	250-300	300+
Tegelikud asfaldi paksused cm	7,3	7,8	8,6	9,9	12,7	13,0
+ Stabi 0,5-ga arvestatuna	7,8	9,4	10,6	12,3	13,6	14,5
Määrus 106 kohustuslikud asfaldi kihi paksused cm	4,0	6,0	8,0	10,0	13,0	16,0
MA 2017-003 Bituumensideainega töödeldud katendi ülakihtide soovituslikud kogupaksused cm	4-6	7-12	13-18	19-24	Ca 25	

## 3.2 Eesti katendi süsteem tugineb 1983 NL juhisele

KAP-i pinnaste liigitus on määratletud Vene GOSTiga, mis ei ühildu EN ISO skeemiga.

Katendiarvutuseks on seni kasutatud Excel-rakendust KAP, mis vastab TrAm juhendile MA 2017-003 ja selle eelkäijale MNT 2001-52 mis omakorda tugineb Nõukogude Liidu 1983 juhendile BCH 46-83. Erinevate analüüside käigus on tuvastatud rida probleeme. Esiteks, oleme tõenäoliselt kaugel väljas algsest koormusdiapasoonist, teisisõnu, koormused millele katendit tuleb arvutada, on oluliselt suuremad sellest, millega arvestasid kunagi juhendi koostajad. Logaritmivalem, mis seob vajaliku kandevõime koormussagedusega, on liiga lauge tõusuga ning alates teatud koormuste tasemest on arvutuslik kandevõime tõus koormuse suurenemisel liiga väike. Teiseks, kasutatakse arvutustes eriti liivade jaoks liiga kõrgeid elastsusmooduli väärtusi, mis realselt looduses ei ole mistahes mõõteseadmetega saavutatavad – seetõttu ei ole ka KAP arvutustulem ühegi teadaoleva seadmega ehitusprotsessis mõõdetav ehk kontrollitav. Kolmandaks, kuigi arvutatakse kriitilised väärtused peale üldelastsusmooduli/kandevõime ka mitmete muude parameetrite osas, on aluseks lisaks valemitele ka nomogrammide. KAP-i puhul on need digitaliseeritud ja arvutuse aluseks on graafikutelt interpoleeritud väärtused, siis oleme ka siin tõenäoliselt väljunud algsetest nomogrammide tööpiirkondadest pikendades graafikujooni teljestikuni alas, mida algselt nii mõeldud ei ole. See kõik on toonud kaasa ebaloogilisi tulemusi ja ka vajaduse asendada KAP süsteemiga, mille arvutustulemused peaksid olema mõõdetavad. [10]

KAP-i mootoris on jätkuvalt vene nomogrammide, mida käsitsi kasutades suudeti tõlgendada, automaatses inter- ja ekstrapoleerimises aga saame inseneriloogikaga mitteseletatavaid tulemusi. Kui see nihkepingete teema tõepoolest probleem peaks olema, oleks ka selleks olemas odavamad lahendused kui ainult muldkeha paksuse suurendamine. Näiteks, olemasoleva teekonstruktsiooni stabiliseerimine (Full Depth Recycling) või geosünteedide kasutus. Kuna geovõrgud ja geokärjed võimaldavad ühtlustada võimalikud külmakerked, siis saaks sel teel ka muldkeha paksust kahandada. Geotekstiil on siiski vaid eristav, külmakerkeliste savipinnaste eristamiseks kontrollitud kvaliteediga materjalidest konstruktsioonist. Tõsi, geosünteedidega ei ole arvestatud katendiarvutustes – järelkult, tuleks meetodikat arendada. Projekteerimisel arvutame maksimaalse külmakerke ulatuse – kuid kriitiline ei ole mitte külmakerge kui selline, vaid ainult ebaühtlane külmakerge – kui kogu konstruktsioon muudab ühetaoliselt kõrgust, ei juhtu veel midagi. [7] LK12

### 3.3 Eesti nõuded

Kooskõlastusfaasis on uus teede projekteerimismäärus. Selle järgi tuleb konstruktsioonid projekteerida lähtudes ehitustehnilise projekteerimise põhimõtetest kooskõlas standardisarja EVS-EN 1990–1997 nõuetega. Tee konstruktsiooni projekteerimisel tuleb lähtuda standardisarjas EVS-EN ISO 14688 ja standardis EVS-EN ISO 14689 sätestatud pinnaste identifitseerimisest ning standardis EVS EN 16907-2 sätestatud liigitusest. Tee konstruktsiooni mullatööde osa projekteerimisel tuleb arvestada standardisarja EVS EN 16907 nõudeid. Projektlahenduse koostamisel tuleb arvestada aluspinnase kandevõimet ja ühtlust ning vajadusel rakendada meetmeid ehitusaegse liikluse võimaldamiseks. Eeldatakse, et ehitusmasinate ehitusaegse liikluse korraldamiseks on piisav aluspinnase arvutuslik kandevõime 45 MPa või rohkem. KAP v2.0 ei vasta eeltoodud standarditele, sest 2014 TTÜ töö tulemusena ei õnnestunud leida üheselt määratletavat üleminekuskeemi. [18]

Portatiivsete seadmetega Inspector ja Loadman on võimalik suhteliselt adekvaatselt hinnata kandevõimet drenkihil eeldusel, et kasutatakse 300 mm talda, kuid juba killustikaluse osas on mõõtetulemused tegelikust ja arvatust 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. [13]

KAP arvatud kandevõime väärtused ei ole kontrollitavad ühegi teadaoleva seadmega Odemarki valemiga arvatatu peaks olema kontrollitav plaatkoormuskatse ja FWD-ga. Sideainega kihid arvestada poole paksusega.

Kihipaksused just suuremates koormusgruppides on tegelikult väiksemad.

M106 – Evaj vastavalt tee klassile ja katte liigile.

Tagasihoidlik nõue on varuteguri kasutus. Täna on vene süsteemides lisategurid, mis tõstavad vajaliku taseme ca 2 korda kõrgemaks.

MA 2001-52 ja MA 2017-003 – logaritmvalem  $Evaj = fQ^{15}$ .

### **3.3.1 Soome ja Vene süsteemid**

Vene süsteemis on lisateguritega viidud vajalik kandevõime väga palju kõrgemaks, kuid neid tegureid ei rakendata koormusele vaid juba logaritmvalemiga arvatud kandevõimele. Tänapäevaks on Vene normides lisandunud ka kandevõime nõue muldkehal Ev2 60 MPa (teises kliimavööndis) - 2021 vene juhendis. Samas puudub igasugune seos arvutusliku ja mõõdetava vahel [7] LK12

Senine süsteem mis tugineb BCH 46-83 juhendil, annab igal juhul nõrgad tulemused, üleminek mistahes teisele süsteemile eeldab paksemat konstruktsiooni ka juhul, kui koormused ei tõuse. Põhimõtteline valik on kataloogikatend mis vastab ka Soome astmelisele reglemendile ja tüüpkatendile millisel juhul nõude konkreetne väärtus leitakse logaritmfunksiooni vahel.

Soome skeem võimaldab paremat kvaliteedikontrolli, kandevõime mõõdetavuse kaudu paindlikumat lähenemist materjalikasutusele ja CO2 säästu kohalike materjalide efektiivsema kasutuse läbi.

### **3.3.2 Võrdlus Soome süsteemiga**

Soome skeem on oluliselt lihtsustatud, kuid sätestab kõrgemaid nõudeid. Alates killustikust on materjalide arvutusparameetrid lähedased. Vene süsteemis liivade elastsusmoodulid vahemikus 75...130 MPa, Soome süsteemis 20...70 MPa. Killustiku kihid on paksemad, vesi viiakse välja killustikukihis. Killustikest on kasutuses suureteralised 0/32...0/80 segud piiratud peenosisega. Seda soodustab asjaolu, et Soomes kasutatakse tardkivimikillustiku. Kuna liivade arvutusparameetrid on madalad, siis kasutatakse kandevõime saamiseks paksemaid killustikukihte ja need kihid toimivad ka vett konstruktsioonist välja viiva ehk drenkihina. Liiva kasutatakse kapillaartõusu katkestamiseks ja külmakaitseks filterkihis mis võib ka paikneda muldkeha alakihis mitte killustiku all.

KAP on puudulik. Kui Soome konstruktsioon arvutada samale koormusele siis saadakse 1,5 korda suurem number sellest mis oleks vaja.

#### **Aluskonstruktsiooni ja katte välisriikide nõuded:**

Üldine tendents on see, et aluspinnasel on fikseeritud kandevõime.

N: Saksa RStO 12 – Ev2 - 45 Mpa, selle peal purustatud kivimaterjalist külmakaitsekiht.

N: Vene uus norm: muldkeha ehk töökihi peal on nõutud Ev2 60 Mpa.

N: Soome – liivadega tagatakse Ev2 - 35 Mpa külmakaitse ja kapillaartõusu takistav ühtlustamine.

Soome: Jagav kiht – Ev2 - 90 Mpa. Kohalik kruus ja kehvem killustik.

Eesti: külmakaitse- ja drenikiht ehk liiv – 65 Mpa Inspectoriga mõõdetud, kuid ainult ehituses, mitte projektis ehk projektile pole nõudeid antud.

Kandevkonstruktsioon on fikseeritud kandevõimega või fikseeritud konstruktsiooniga.

N: Soome: killustikalus Ev2 - 160 Mpa, TS-alus - 290 Mpa.

N: Rootsi: purustatud kaljupinnas 22 cm stabi all või 42 cm asfaldi all + 8 cm (tasandus/kiilumine, 0/40...0/80)

Ev2/Ev1 sõltub Ev2 tasemest

N: Saksa: Ev2 - 100...180 Mpa sõltuvalt katendi liigist ja koormusest.

Kattekihtide asfaldi, betooni ja kivisillutise paksused sõltuvad koormusest.

### 3.4 Koormused Eesti teedel tõusevad.

Kasutusele võetakse suuremad pikemad, raskemad veokid 60 tonni, 20,75...25,25 meetrit, 8+ telge – veok+eelik+standardne poolhaagis.



Joonis 3.2: 8 teljeline veok

EMS rahvusvahelistel trassidel standardsetest moodulitest komplekteeritud autorongid, kahjuks super-single rehvidega. Siseriiklikult metsavedu, puistematerjalid ja tavaveokid. Suurema koormuse tingimus on paarisrattaste kasutus, lisateljed ja pikem summaarne baas. 76 tonni, 34,5 meetrit, 11 telge – poolhaagis + eelik +poolhaagis.

EMS2, Duo2 – standardiseerimine tulemas, sellest sõltub KUUH need lubatakse.



Joonis 3.3: 11 teljeline veok [10]

Arvutused näitavad, et telgede lisandumisega suureneb küll siirdetegur ehk üksiku sõiduki mõju teekonstruktsioonile, kuid summaarne normtelgede arv sama kaubakoguse vedamiseks kahaneb. Sildade kaitseks on koormus vaja jagada pikemale pinnale. Siseriiklikes vedudes lubada kuni 60 tonni tänasest pikematel sõidukitel, kui on rohkem telgi ja paarisrattad. Nõrgemate teede kattekonstruktsiooni kaitseb

paarisrataste kasutus. Teedelagunemise periood vajab suuremat tähelepanu ja kaitset. [10]

Täismass ja pikkus tõusevad, teedel kus ei saa piirata SS-kasutust 385 mm üksikrehv on vajalikud paksemad/tugevamad konstruktsioonid just SS-tõttu asfaldikihid peaksid olema üle 20 cm killustikalusel või veidi õhemad stabiliseeritud alusel.

Teistel teedel on võimalik koormust suurendada ainult paarisrataste ja lisatelgede kasutusega, kuid tänaseid legaalseid kooslusi kuni 40/44 tonnini keelata ei saa. Paarisrataste kasutus koos lisatelgedega leevendab koormust. [10]

Suuremate sõidukite kasutusele võtt eeldab ka suuremaid pöörde raadiuseid ning sellest johtuvalt laiemaid ristmike.

## **3.5 Kandevõime arvutused ja mõõtmistulemus**

### **3.5.1 Kandevõime arvutused FWD-ga**

FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel.

Räägitakse, et vajumiskausi parameetreid otseselt katendikihtide elastsusmoodulite määramiseks kasutada ei ole võimalik, küll aga iseloomustab vajumiskausi kuju üldiselt katendi tugevust. Samas on leitud, et eksisteerivad FWD vajumiskausi deformatsioonide alusel arvutatavad näitajad, mille väärtuseid on võimalik kasutada katendi erinevate konstruktsiooniosade seisukorra hindamiseks:

Seotud kihtide puhul – Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur –FWD läbivajumis andurite D1 ja D2 lugemite vahe  $d_0 - d_{300}$ ; SCI väärtus iseloomustab katte pinnast kuni 300 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [5]

Aluse puhul – Base Damage Index BDI e. aluse vigastustegur – FWD läbivajumis andurite D2 ja D3 lugemite vahe ( $d_{300} - d_{600}$ ); BDI väärtus iseloomustab katte pinnast 300 kuni 600 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [5]

Aluspinnase puhul – Base Curvature Index BCI e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumis andurite D6 ja D7 lugemite vahe  $d_{1200} - d_{1500}$ ; BCI väärtus iseloomustab katte pinnast 1200 kuni 1500 mm sügavusel asuva kihi seisukorda. [5]

Töö „FWD mõõtmistulemuste kasutamine teekatendi remondiprojektide koostamisel“ Informatsioonis 2 esitatu näitab ilmekalt parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutusvõimalusi, kuid puuduvad nimetatud parameetrite piirväärtused, mille leidmist eelnimetatud leping ette ei näinud. Nimetatud parameetritele piirväärtuste leidmine kasutamiseks

katendikonstruktsiooni seisukorra hindamisel oleks oluline samm FWD mõõtmistulemuste laialdasemaks praktilisemaks kasutamiseks. [5]

Töös „Riigimaanteede ja sildade tugevdamise maksumuse hindamine tulenevalt 52 t veoste aastaringse liikumise võimalusest“ (MA 2011-18) raames on võrdluseost uuritud p 5.5.2 ja leitud püsi- kerg- ja siirdekateenditele tegurid a ja b igale katendiliigile iga FWD indeksi kasutamiseks valemis  $E=a*X^b$ , kus E on katendi kandevõime väärtus ja X vastava indeksi väärtus. Selle järgi on võimalik hinnata, kas vastava FWD indeksi aluseks olnud andurite vahekauguse sügavuses paiknev kiht vastab eeldatavale kandevõimele, ehk siis, piirväärtus, millisele katendi kandevõimele vastab konkreetses sügavuses paiknev kiht.

### **3.5.2 Alar Tooming´u kandvõime mõõtmise tulemuste analüüs**

Alar Tooming´u avaldamata uuringust on selgunud järgnev:

Korrelatsioon esineb FWD kandevõime, BCI deflection 600...900 mm USA liigituse järgi ja roopasügavuse vahel. Miskipärast on meil otsustatud, et BCI indeksi väärtuseks on valitud vahemiku 1200-1500 mm andurite vahe, seda otsust ei ole põhjendatud. Probleem on pigem 60...90 cm sügavusel katte pinnast. FWD – andurite vahe näitab samal sügavusel paikneva kihi seisundi. Reeglina on selles vahemikus täiteliiv. 60...90 cm sügavuse vahe on väga heas korrelatsioonis roopasügavuse arenguga. Saab järeldada ,et kosmeetiline remont ehk ülakihi asendamine ei likvideeri põhjust vaid leevendab seda. Defektid kaetakse pindamise või ülakihi uuendusega, sest naastrehvi tõttu uuendatakse ülakihti tihedalt see aga varjab vajumid ja näiliselt on kõik korras. Liivakiht on kõige nõrgem lüli Eesti teedel.

All toon välja graafilise tõlgenduse ja järeldused mille andmed põhinevad Alar Tooming´u Eesti põhiteede kandevõimete mõõtmis tulemustel FWD seadmega Vt lisa 2.

All olevas tabelis 3.4 on toodud välja esimeses veerus valik põhi maanteedest. Igal real on andmed erineva maantee kohta. Teises veerus on välja toodud maantee pikkus kilomeetrites. Kolmandas veerus aasta kaalutud keskmine ööpäevane liiklussagedus. Neljandas veerus FWD-ga mõõdetud viie kilomeetrise lõikude kaalutud keskmised kandevõime väärtused. Viiendas veerus nõrgema 10% piir. Kuuendas nõrgema 10% keskmine. Seitsmendas toon välja kandevõime mis peaks sellel lõigul olema Odemarki valemi arvutuse järgi. Kaheksandas toon välja protsendi mis sellel lõigul Odemarki valemi arvutusele vastab. Üheksandas veerus toon välja kandevõime mis vastab selle lõigu puhul KAP-iga arvutatule ning kümnes veerus toon välja protsendi mis sellel lõigul KAP-i arvutusele vastab.

Tabel 3.4 mõõtmistulemuste analüüs

PMNT	km	AKÖL	FWD	10% piir	10% tase	Odemark	OK km %	KAP	OK km %
1	179	8020	478,3	311	195	403,3	62%	290,6	85%
2	250	7807	440,7	315	280	403,9	57%	289,2	95%
3	208	3573	348,6	231	202	340,5	60%	248,9	85%
4	177	8298	475,6	345	295	463,1	50%	313,7	94%
5	159	3054	401,6	289	255	345,3	71%	249,9	97%
6	121	2241	331,8	226	196	316,1	53%	234,4	90%
7	21	453	390,8	312	284	277,5	95%	208,7	100%
8	35	7826	450,6	302	273	371,6	65%	278,8	95%
9	56	5092	404,6	289	259	320,5	78%	253,2	97%
10	132	2497	339,8	224	198	293,7	69%	225,2	91%
11	34	17052	413,9	304	274	491,6	19%	341,2	80%
92	106	3011	361,2	265	242	299,5	76%	233,0	97%

### 3.6 Soome arvutuslik lahendus Odemarki valemiga

Soome katendite projekteerimisjuhendis on toodud lihtne valem joonis 3.2.

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}$$

Joonis 3.2: Odemarki valem

kus  **$E_p$**  on kandevõime arvutatava kihi peal,  **$E_a$**  selle all,  **$E$**  materjali elastsusmoodul,  **$h$**  kihi paksus  **$m$**  ja  **$a$**  konstant 0,15 m.

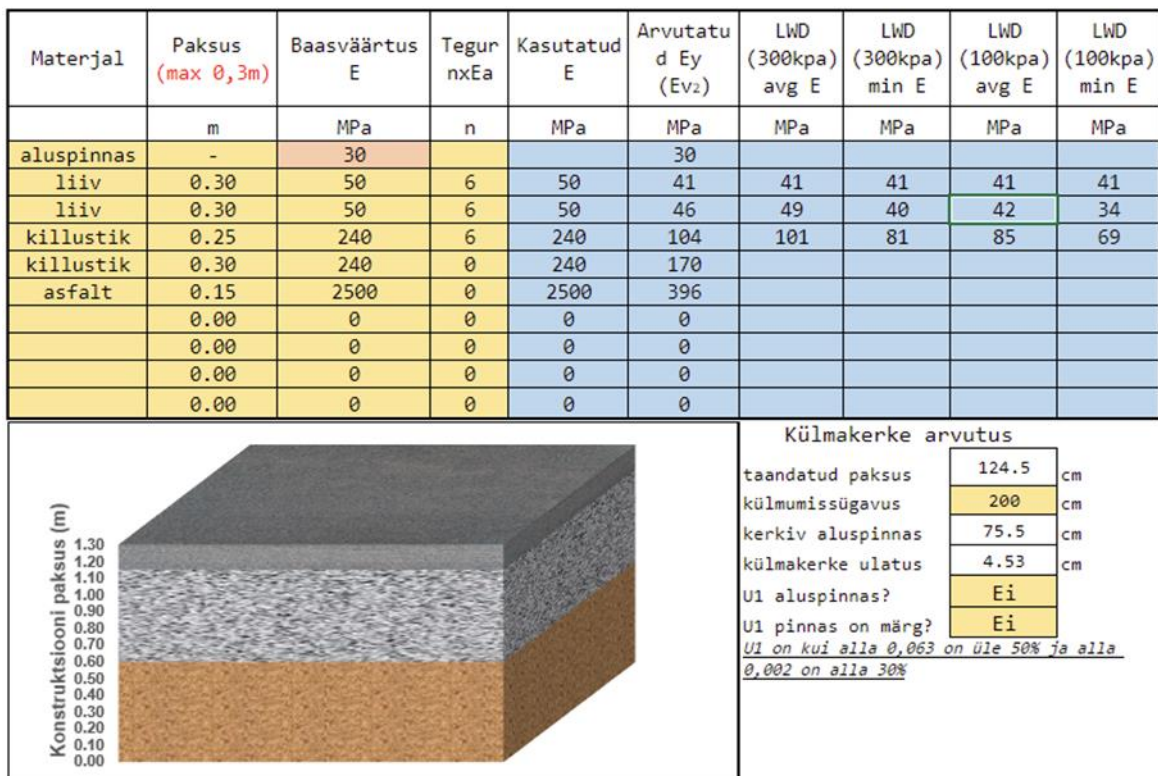
Odemarki valem annab võimaluse juhul, kui tegelikult aluspinnaselt mõõdetud kandevõime väärtus ei rahulda vajalikku nõuet 45 MPa. Seejärel saab korrigeerida konstruktsiooni asendades arvutatava paksusega aluspinnase kihi materjaliga.



Odemarki valemiga arvatud peaks olema mõõdetav plaatkoormuskatsega. Tegemist on sihtväärtusega mitte vastuvõtunõudega.

Insener kontrollib väärtusi, kui mõõdetud tulemus on nõrgem teeb uue arvutuse kasutades tegelikult tuvastatud materjalide elastsusmooduli väärtust ja tegelikult ehitatud kihipaksust. Saadud tulemuse alusel teeb insener otsuse.

Soome algoritmide alusel on koostatud inseneri töövahend mis on kasutatav nii arvutis kui nutiseadmes. Algsele valemile saab algoritmide alusel lisada ka külmarkerke arvutuse vt joonis 3.4. Lisaks ka kasutaja sõbralikum liides.



Joonis 3.4: KAP v3 beeta veebi versioon [10]

Mõned reeglid või eeldused Odemarki valemi kasutuseks:

Sidumata konstruktsioonikihte saab arvutada 15...30 cm paksuste kihtidena, kui vajame paksemat kihti, näitame materjali arvutustes mitme eraldi kihina - tegur n – sidumata kihtidel on see 6. Asfaldi puhul loetakse elastsusmoodul kõigile kuumadele tehasesegudele võrdseks 2500 ning eeldusel, et kihtide paigaldamise vahel ei ole teed avatud liikluseks, käsitletakse asfaldikihte ühe summaarse paksusega kihina kaalutud keskmise elastsusmooduliga. Kui aluspinnas on U1 alla 0,063 mm on üle 50% ja alla 0,002 mm on alla 30% siis on tegemist kõige külmaohtlikuma pinnasega ja lisaks E-

väärtusele E-20. Kui see pinnas on külmumiseelselt märjas, on paisumistegur t 16%. Kõigil muudel juhtudel on paisumistegur otse seotud elastsusmooduliga.

Seni kasutatakse külmumissügavusena üle Eesti 125 cm, kuid tegelikult tuleks valida objektile lähima ilmajaama liivpinnaste külmumissügavus vt lisa 3- aluseks on Mart Olmani lõputööd TKTK ja TTÜ. [10]

Odemarki valemi rakendus			Baasväärtus	Tegur nxEa	Kasutatud	Arvutatud
Materjal	Kiht	Paksus	E	n	E	Ey
		m	MN/m <sup>2</sup>		MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
aluspinnas	<b>Aluspinnas</b>		30			30
H1	<b>Filterkiht</b>	0.30	50	6	50	41
16/32, LA35	<b>jagav kiht</b>	0.30	50	6	50	46
16/32, LA35	<b>jagav kiht</b>	0.25	240	6	240	104
KOST1	<b>kandev kiht</b>	0.30	240	18	240	114
AC surf, base	<b>Asfalt</b>	0.15	2500		2500	300
<b>Märkused</b>						
	1	Sidumata kihtide paksus vahemikus 0,15-0,30 m - kui kogupaksus on suurem, käsitleme eraldi ridadel				
	2	Teguri n leiame juhendi 2018-38 tabelist 19, sidumata kihtidel on see 6				
	3	Ridu võib vajadusel vahele lisada, kuid valemid tuleb siis kontrollida				
	4	Filterkiht ei ole drenikiht				
	5	Muuta võib väärtusi kollases alas, aga ka materjalide-kihtide nimetusi				
	6	Arvutatud Ey väärtus peaks olema mõõdetav, sidumata kihtidel plaatkoormuskatsega, seotud kihtidel pigem FWD seadmega. Tegemist on sihtväärtusega, mitte vastuvõtutingimusega. Insener teeb vajadusel kontrollarvutused ja otsustab vajalikud meetmed, kui kandevõime ei ole piisav.				
	7	Aluspinnaste elastsusmoodulid on juhendi tabelis 6. Katendikihtide materjalide elastsusmoodulid juhendi peatükis 4.5				
	8	Asfaldikihina käsitletakse summaarset korruga paigaldatud komplekti kaalutud keskmise e-mooduliga				

Joonis 3.5: Odemarki valemi rakenduse eestikeelse versiooni näide seletustega [6]

Soomes on küll püütud arendada APAS-nimelist tarkvara, kuid riik/amet on otsustanud kasutada lihtsamat lahendust, Odemarki valemit. See on ka lähiriikidest ainus lahend, mille puhul peaksid arvutustulemused olema mõõdetavad plaatkoormuskatsega või ka teiste seadmetega, kui need on plaatkoormuskatsega võrreldud. Oluline on siiski märkida, et arvutustulemus on sihtväärtus, mitte konstruktsioonikihi vastuvõtutingimus. Meetodi detailsema kirjelduse leiab Soome juhise 38/2018, mis on ka tõlgitud eesti keelde ja leitav Transpordiameti kodulehelt. Tõlke kvaliteet jätab soovida ja seetõttu on keeleoskajal mõistlikum originaalteksti kasutada). [10]

Odemarki valemi kasutamisel, üldjuhul, alustatakse sellest, et liivadega tuleb saavutada vähemalt E35. Kruusa ja killustikuga jagav kiht E90 ja killustikuga kandevkiht E160. Kui kandvas kihis on tsementstabi, tuleb sellega saavutada E290. Need ei ole tegelikult kohustuslikud väärtused, sest kui lisada materjalide ühikmaksused, võib osutuda soodsamaks näiteks killustikuga alustada varem. [10]

### **3.6.1 Soome nõuded InfraRYL-i põhjal**

Mõõtmiste tihedus – üks mõõtmine 500 m<sup>2</sup> kohta ja vähemalt üks mõõtmine tihendatava kihi kohta, kui kasutatakse alternatiivseid tehnilisi vahendeid st, mitte radioaktiivse elemendi, PLT või FWD seadmetega mõõtmine, tuleb alternatiivse seadme tulemuste seosed eelnevalt kontrollida. [15]

Filterkiht – liiv, milles on peenosiseid alla 0,063 kuni 15% ja üle 0,25 mm vähemalt 30% (kõveraväli on küll täpsemalt määratletud). Keskmine tihendustegur 92%, minimaalne üksik-katsel 90%. [15]

Jagav kiht – kruus ja kruuskillustik f9 või killustik f7 üksikproovis ei tohi peenikest rohkem olla, keskmine tihendustegur 95%, minimaalne üksik-katses 92%. Nõuded Ev2/Ev1 suhtele analoogsed, PLT puhul suhtarvu max 2,2...2,9 ja FWD puhul 1,9...2,6. [15]

Kandevkiht – killustik f7, tihenduskontroll – PLT, kuni 145 MPa – Ev2/Ev1 kuni 2,0 ja iga 15 MPa kandevõime kohta tõuseb suhtarvu piir 0,1 võrra kuni – Ev2 üle 235 MPa suhtarv kuni 2,7. Ning FWD puhul suhtarvu diapasoone 1,7...2,4 samas skaalas. Mõõtmised juhuslikult valitud kohtades arvestusega et iga 500 m<sup>2</sup> kohta on mõõtmine. InfraRYL järgi tihendustegur 95% üksikkatsel 92%. [15]

Reeglina kontrollitakse, et aluspinnase kandevõime on vähemalt projektis eeldatud tasemel sest kui ei, on tegemist lisatöödega ja ei ole võimalik projekti täiendamata tagada projektse lahenduse peal nõutud kandevõimet. Ning kontrollitakse kandevkihi peal. Kõik teised vahepealsed mõõtmised on põhimõtteliselt vajalikud vaid selleks, et kontrollida, et protsess vastab projektile. Kandevkihi peale rajatakse juba kattekihid ning seda teeb tavaliselt teine osapool, lisaks on kandevkihi tasemel ilmnenud puudujääke väga kallis lappida kattekihtides. Sidumata konstruktsiooniosade väljavahetamine on võimalik, seotud osade vahetamine võib minna liiga kalliks. [15]

Kaevikute taastäitmine – "algtäide" – keskmiselt 95%, üksikmõõtmisel 92% Proctorist, Loadman 132 mm tallaga Emax/E1 kuni 2,5 üksikjuhtumiga kuni 2,8. Lõpptäite tihendamisel Loadman 132 mm kuni 2,9 suhtarv. [15]

### 3.7 Ettepanekud

Määrus 101 ja 106 numbrilised väärtused tuleks eemaldada ,et me ei piiraks end määruses toodud numbriliste väärtustega erinevate lahenduste pakkumisel.

Katendi arvutamisel tuleb lähtuda kasvavatest koormustest teedel. Lähtuda tuleks soome nõuetest. Arvesse tuleks võtta uuringute andmeid ,et mitte ehitada teid mis koormusele vastu ei pea.

Kandevõime määrab projekteerija vastavuses projekteerimisjuhendiga ja kvaliteedinõuetes seda ei saa sätestada. Lahendus on ainult projekteerija poolt määratu kontroll, kuid see eeldab, et arvutatu on mõõdetav. Seega, esmalt tuleks jõustada Odemarki valemi kasutus koos Soome materjalide arvutusparameetritega.

Kandevõime on sihtväärtus, mitte vastuvõtutingimus - kui see ei vasta, teeb Insener arvutused ja põhjendatud ettepaneku. Tolerantsid käsitletakse nii, et Insenerile jääb ka otsustuskoht.

Kasutusele tuleks võtta Odemarki valemi ja Soome katendiprojekteerimise põhimõtted.

## **4. EHITUSTEHNOLOOGIAD**

### **4.1 Projekt pole kunagi 100% täpne**

Ajalugu on näidanud, et alati on vajalikud projekti muudatused. Tihti juhtub, et geoloogia samm pole piisav. Valitud geoloogia punktid ei pruugi olla iseloomulikud ega ekstreemsed. Muudatused on seotud ühikhindadega, ära jäävate või lisanduvate tööde maksumuse hindamisega. Eesti praktika on, et TrAm sanktsioonide süsteem on tinginud mitteametlike ühikhindade deklareerimine pakkumustes. Läti amet hoiab üldkasutatavana regionaalsete ühikhindade kataloogi, trahvide ja mahaarvamiste tariifid on marginaalsed ja ei mõjuta pakkumishindu.

### **4.2 Katend**

#### **4.2.1 Alus/teeküna**

Tee aluse probleemiks on tihti kehv kandevõime ja ebaühtlane aluspinnas. Ebaühtlaseks loetakse seda kui horisontaalsed kihid teekonstruktsiooni lõikavad ning muldkeha laiendused. Määratlus on ebaselge ning see selgub ehituse faasis. Projekteerija on valinud iseloomulikud/ekstreemsed olukorrad geoloogilistest profiilidest. Geoloogia võib oluliselt varieeruda. Vajadus aluspinnast asendada või tugevdada, kui pinnase kandevõime on väiksem arvutuslikust kandevõimest. Võimalus aluspinnast mitte asendada, kui aluspinnase kandevõime on piisav ja puuduvad muud põhjused ehk aluspinnas on piisavalt homogeenne ning külmakerke arvutus vastab nõutule. Huvitatud osapooliks on ilmselt ehitaja. Otsuste vastuvõtmiseks on kompetentne FIDICu järgi – insener. Eestis on otsustusõigus peamiselt koondunud Transpordiametile. Varieeruva geoloogiaga teeküna korral tuleb kandevõimete mõõtetpunktide sagedust reguleerida madalate mõõtetulemuste esinemise sagedusest lähtuvalt. See tähendab, et juhul kui nt esimese viie mõõtetpunkti tulemused on väga kõikuvad siis tuleb mõõtetpunktide sagedust tihedamaks muuta, et määrata täpsemalt võimalike variatsioonide ehk madala kandevõimega/riski kohti. Vajadusel tuleb teekünapõhja stabiliseerida, et mitte teha põhjalikumalt väljakaevet. Erinevad variandid sõltuvalt aluspinnase iseloomust – Perma-Zyme; kustutamata lubi, põlevkivituhk, tsement ja lisandid. Eesmärk on ühtlustada erisused ehk homogeniseerimine ja tõsta kandevõime tasemele, et järgmiste kihtide rajamiseks vajalik tehnoloogiline tase oleks tagatud iga ilmaga. Odemarki ja LWD kombinatsioon kvaliteedikontrolliks. Ühtluse kontrolliks sobib ka Inspector/Loadman.

Projektis ei ole võimalik olemasolevat olukorda piisavalt täpselt kirjeldada. Seega on vajalik inseneri seisukoht tööde ajal reaalse olukorra hindamisel ja lahenduste pakkumisel. Üks lahendustest oleks tellida objektile teenusena spetsialiseerunud firmalt

insener kes pakub peale olemasoleva olukorra määramist/mõõtmist ja arvutusi optimaalsemad tehnoloogilised lahendused vajaliku kandevõime saavutamiseks.

#### **4.2.1.1 Lahendus nõrgale aluspinnasele**

Aluspinnase stabiliseerimisega ühtlustatakse erisused ,et tagada ehitustöödele vajalik kandevõime 45 Mpa. Nõrk aluspinnas on turvas ja turvastunud pinnas ning selline savipinnas, mille dreenimata nihketugevus looduslikus olekus on alla 40 kilopaskali või mille üld elastsusmoodul on alla viie megapaskali. See on spetsiifiline geotehniline ülesanne, mida ei lahenda teede insener vaid geotehnika ekspert. Tugevdamised vahemikus 5..45 Mpa on teede inseneri ülesanne, kuid mitte katendi projekteerimise osa, vaid muldkeha projekteerimise/ehitamise teema.

Lahendusena on sisuliselt kolm varianti. Stabiliseerimine, väljakaevamine, geosünteedide kasutamine.

Üldine tendents on ,et aluspinnasel oleks fikseeritud kandevõimeks 45Mpa.

Välisriikide näiteid nõutud aluste kandevõimetele:

- N: Saksa RStO 12 – Ev2 45 Mpa, selle peal purustatud kivimaterjalist külmakaitsekiht
- N: Vene uus norm: muldkeha ehk töökihi peal Ev2 60 Mpa
- N: Soome – liivadega tagatakse 35 Mpa külmakaitse, kapillaartõusu takistav, ühtlustamine

#### **4.2.1.2 Näide aluse stabiliseerimisest**

Aluse stabiliseerimine Kalajärve karjääri teel Alar Tooming´u kogemuslikul näitel.

Selle asemel, et ehitada ca 20cm killustikalus ja freespurust katend, pakkus Alar Tooming KMG OÜ-st välja segada liiv tsemendiga läbi, mis tekitab kunstliku ehk lahja betooni. Ligi 200m teelõik valmis ühe päevaga. Esmalt eemaldati 10cm kasvukihti ja planeeriti olemas oleva liivaga teelõik sirgeks ning tihendati vibrorulliga. (joonis 4.1)



*Joonis 4.1: Aluse stabiliseerimine Kalajärve karjääris*

Laotati ca **5%** tsementi vana nimetusega HRB 32,5E tänapäevane nimetus TAS 32,5. Sideaine kogus oli seetõttu suur, et liival on palju eripinda, mis vajab oluliselt rohkem sideainet (joonis 4.2).



*Joonis 4.2: tsemendi laotamine Kalajärve karjääris*

Olemasolev liiv ja tsement segati 1990 aasta CAT stabilisaatoriga (joonis 4.3). Segamine toimus kaks korda, kuna peenemad materjalid vajavad rohkem segamist. Tulemus oli väga hea.



Joonis 4.3: Olemasoleva liiva ja tsemendi segamine 1990 aasta CAT stabilisaatoriga

## 4.2.2 Stabiliseerimine

### 4.2.2.1 Keemilise stabiliseerimise erinevad liigid

- Kaltsiumkloriidiga stabiliseerimine
- Naatriumkloriidiga stabiliseerimine
- Naatriumsilikaadiga stabiliseerimine
- Polümeeridega stabiliseerimine
- Kroomligniiniga stabiliseerimine

### 4.2.2.2 Erinevate stabiliseeritud kihtide jaotuse muldkehas.

Alar Tooming OÜ KMG: „Internetis on väga palju juttu stabiliseerimisest ja seetõttu peab teadma millises kihis mingit tehnoloogiat kasutatakse. 95% „haritud“ teede ehitajatest tegelikult ei tea kus mingit tehnoloogiat kasutatakse. Seetõttu koostas A. Tooming joonise 4.5 ja lihtsa seletuse, et sellest paremini aru saada.

Stabiliseerimisega on selline võimalus, et kui projekteerija ütleb ette kandevõime numברי kihi peal siis selle järgi määratakse sideaine kogus. Sideaine koguse määramisel on oluline teada stabiliseeritava materjali eripinda.

Esmalt Cold in Place Recycling CIR või CIP) võib olla ka ainult asfaltkatte segu koostise muutmise tehnoloogia.

**Full-Depth Reclamation** FDR ehk WR> Cold Recycling> „Katendikihtide stabiliseerimine KKS“ > tugevusnõue >7-p UCS >2,1 kuni 5,5 MPa joonis 4.4





Joonis 4.4: Full-Depth Reclamation

Enamasti vanadest asfaltkatetest koosnev stabiliseeritud kiht. Taaskasutab vana asfaldi ja selle alusmaterjali, et luua uuele teele tugevam alus.

Tegemist on meie kompleksstabiliseerimise KS või tsementstabiliseerimise TS või bituumenstabiliseerimisega BS

**Cement-Treated Base** (CTB) ehk (WR> Soil Stabilization) > „Muldkeha stabiliseerimine MKS > tugevusnõue >7-p UCS >2,1 kuni 5,5 MPa

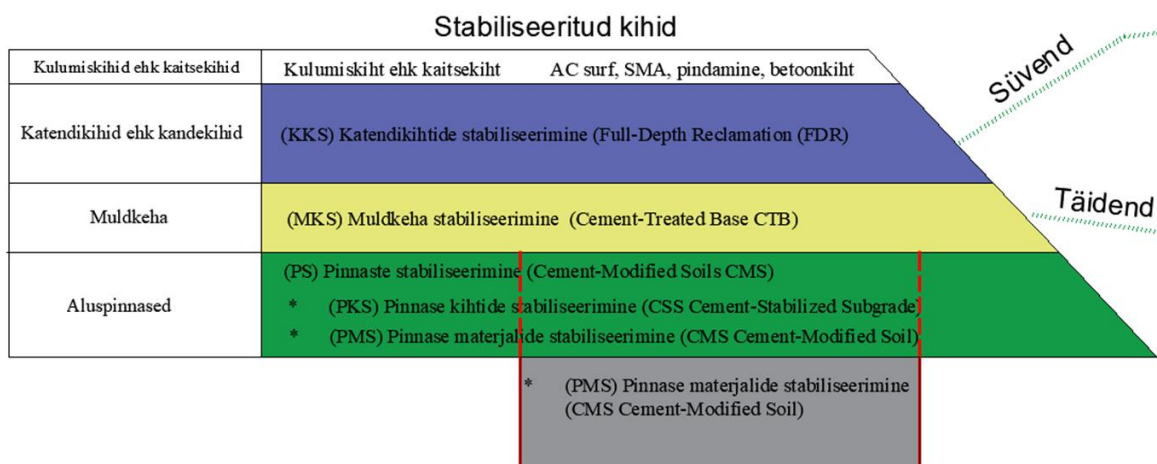
Tegemist on muldkeha tugevdamise protsessiga. Võib sisaldada väiksemas mahus freespuru. Samuti nimetatakse muldkeha stabiliseerimiseks protsessi, kus kruusateede katend muudetakse stabiliseeritud mulde kihiks. Ehk siis kruusateel olev katendi materjal segu nr 5 või segu nr 6 segades seda sideainetega muutub see kiht sõnaliselt muldkeha osaks ning selle stabiliseeritud kihi peale laotame juba uue katendi kas siis pinnatud katendikihi või asfaltkattega. MKS kihtide ülesanne on vähendada või tõkestada vee liikumist katendi alla. Kui liikluskoormus on väga väike siis sellele kihile ei paigaldata katendikihti ehk asfalt või pinnatud kihti. Samas võib selle kihi ülesanne olla ka jäiga ehk siis betoonikihi ülesanne, kus alumistesse kihtidesse ei tohi vajumeid tekkida. See tähendab, et see kiht segatakse väga suure hulga sideainega 8-12% ja selle kihi peale tuleb alati ehitada FDR kiht või sidumata segust kiht, mis ei lase mahukahnemise pragudel ülesse tõusta. See on sama kui betooniga teele laotada omakorda 0/32 kiht. Sellel kihil on väga palju variatsioone, aga ta peab tagama tugevuse ja veeläbilaskvuse. Täitematerjal või pinnas, mis on segatud mõõdetud koguste tsemendi ja veega, kõveneb

pärast tihendamist, moodustades kunstliku vastupidava aluskihi ehk suurte sideainete korral nimetatakse seda ka „lahja betoonkiht“.

**Cement-Modified Soils** CMS ehk (WR> Soil Improvement) > „Pinnaste stabiliseerimine (PS)“, mille ülesanne on ühtlustada kihi tugevust läbi kihi ja anda minimaalne kandevõime edasiseks ehitamiseks või konstruktsiooni taluvuseks (WR> 45MPa). Ehk sellest kihist algab alati konstruktsiooni arvutus. Mida tugevamaks selle kihi saame seda tugevam on meie lõpptulemuse konstruktsioon. Samas ei saa seda teha kohe ühe korraga, sest ilmselgelt kui segame väga pehmet savikat kihti siis tihendades see kiht pidevalt murdub ja seetõttu tekivad sideainetega ümbritsetud nõ kuulid, mistõttu pinnas hakkab koheselt paremini kandma. CMS jaguneb omakorda kaheks ehk kas on tegemist terve kihi või üksiku lokaalse koha segamisega, samas on CMS nõ pinnase parendamine ja kui me seda teeme kogu ulatuses siis nimetatakse omakorda CSS kihiks .

**CSS Cement-Stabilized Subgrade** > „Pinnase kihtide stabiliseerimine (PKS)“ > mille ülesanne muldkehas on muldkeha aluspinnase kihi ühtlustamine ja tugevdamine läbi ristlõike. >7-p UCS >(0,7 kuni 2,1 MPa). PKS kihi ehitusega pakseneb kogu konstruktsiooni kiht ja seetõttu kaasatakse teda konstruktsiooni arvutusse. Nt Odemarkis võetakse aluskihi tugevuseks 65MPa siis töövõtja peab sinna kihti lisama nii palju sideainet, et plaatkoormuse tulemus on suurem kui arvutuses.

**CMS Cement-Modified Soil** CMS > Pinnase materjalide stabiliseerimine PMS > võimaldab PKS kihi ehitamise, mille tulemusel saab PKS kihti tihendada. See on üksikute lokaalsete kohtade ehk väga pehmete kohtade parendamine. Samas on see ka nt vahelaos oleva täitematerjali kõlblikuks muutmine ja mingisse mulde kihti asetamine.



Joonis 4.5: erinevate stabiliseeritud kihtide asetus muldes(A.Tooming)

Itaalias mõõdetakse kandevõimet peale stabi segamist ja tihendamist. Nelja tunni jooksul peab olema saavutatud 60 mpa kandevõimet peale paigaldust. Kui tulemuseks 24h jooksul on 200 mpa siis ei tehta sõelkõvera katset.

**Itaalia: spetsifikatsioon (lepingu lisa):**

LWD ASTM E2583-07 – 300 mm / 70 kPa / 30 ms

TS – tehasesegu – 4h – 60 Mpa, 24h – 200 Mpa reeglina 20 cm

TS – teel segatud – 4h - 50 Mpa, 24h – 180 Mpa

KS – teel segatud – 4h – 50 Mpa, 24h – 180 Mpa 20-25 cm

KS – tehasesegu – 4h – 45 Mpa, 24h – 170 Mpa 15-20 cm

Kui objektil on 4h/24h näitajad saavutatud, pole vaja laboris proove katsetama hakata. Reeglina ei tohiks stabi kiht saada tugevamaks kui 12...15 MPa survetugevus, sest see võib tuua kaasa põikpragude tekke ja seetõttu konstruktsioonikiht vajada vuuki. Survetugevuse tõus ehk järel kivinemine on suhteliselt aeglane aga suur just põlevkivituhaga seoses. Mõistlik on taotleda tugevat stabi kihti mitte proovitulemust. Aluspinnaste kõvendamine tsementstabiliseerimisega on hea lahendus ,et aluspinnase variatsioone maha võtta. Seda lahendust praktiseeritakse palju Poolas.

#### **4.2.3 Dreenikihi ehitus**

Dreenikiht on erand, kehtivas M106-s kirjeldatud juhtumil. Kui nimetame kihi dreenukihiks on kohustuslik filtratsiooninõue 2/3 m/ööp, Vene kehtivas määruses 1/2 m/ööp. Seda ei saa mõõta killustikel, meetod EVS 901-20 sobib ainult ühtlaseteralistele liivadele ja liiva kasutus killustiku all on ebasobivaks hinnatud ka eelpool mainitud Rothenburgi 1993.a. teoorias.

Siirdekiilu lahendis tuleb kaks kolmandiku külmakindla materjaliga täita, Soome truubi tüüplahendis kuni konstruktsioonikihini. Sinna ei tasu panna hea filtratsiooniga materjali kuna siis on külmakerge ebaühtlane.

Itaalia: spetsifikatsioon lepingu lisa. Sidumata segud 0/63 – 95% Proctor = 60 Mpa.

Soome: Jagav kiht – 90 Mpa kohalik materjal, kruus ja kehvem killustik.

Kui teekonstruktsiooni ülemises meetris on kasutatud pinnaseid/materjale, mille filtratsioon on vähemalt 0,5 m/ööp (siin ja edaspidi, filtratsiooni määramise meetodika on kirjeldatud standardis EVS 901-20), ei ole vaja eraldi dreenukihti ehitada. Teekonstruktsiooni töökihis 1,5 m katte pinnast peab kasutama pinnaseid/materjale mille filtratsioon on vähemalt 0,2m/ööp. Dreenikihi paksus vähemalt 20 cm, kolmandas niiskuspaikkonnas vähemalt 30 cm. Dreenikihi 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 keeruline ja kulukas kompenseerida ülemiste kihtide konstrueerimisel.[13]

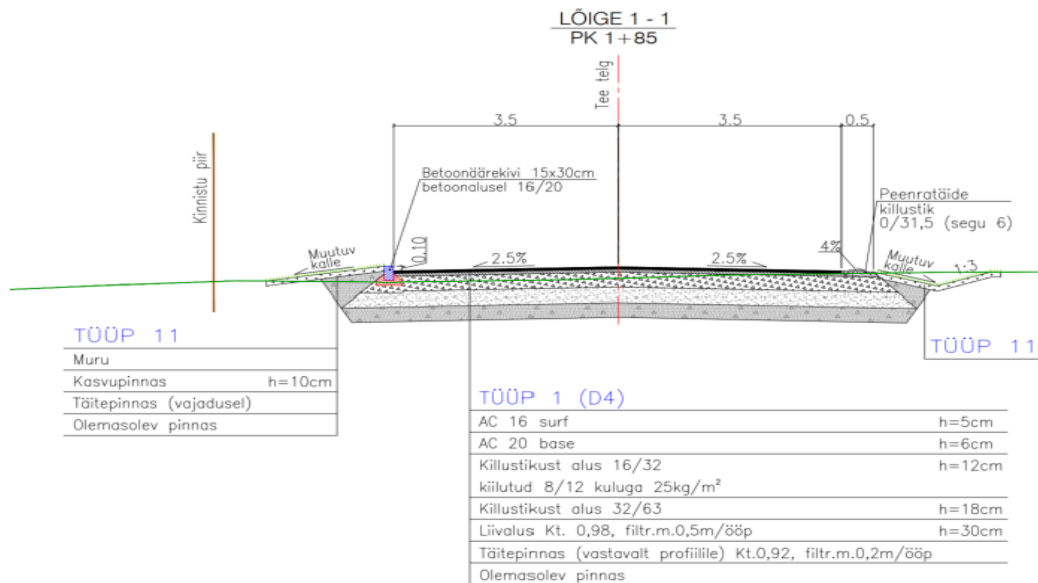
#### **4.2.3.1 Kogemuslik näide olemasoleva liiva säilitamisest**

Järgnevalt toon isiklikust kogemusest näitena Elva Puiestee tänava objekti kus on näha olemas olevat liiva joonisel 4.6 ning projekti konstruktiivne lõige joonisel 4.7. Kõnealusel objektil võtsime koos Töövõtjaga olemasolevast liiva materjalist proovid laborikatsetuseks, et määrata selle filtratsioonimoodul. Vaata katseprotokolle lisa 4-s.

Objekti algusest PK:00 kuni PK:2+60 jäeti alles olemasolev liivpinnas tänu millele vähenes ehituseks sobimatu pinnase kaevandamise maht ca 1300 m<sup>3</sup> ja muldekeha ehitamine juurde veetavast pinnasest ca 700m<sup>3</sup> ning liivaluse filtratsiooni mooduliga 0,5m/ööp maht vähenes ca 900 m<sup>3</sup>.



*Joonis 4.6: Elva Puiestee tn olemasolev liiv*



Joonis 4.7: Puiestee tn ja Vaikne tn rekonstrueerimine konstruktiivne lõige TEEDEPROJEKT OÜ

Töövõtja sõnul oli analoogne juhtum ka Tartu Puiestee tänaval.

#### 4.2.4 Killustikaluse ehitus

Peeter Talviste on enda uurimuses väitnud, et peaks kasutama ridamaterjale: 0/32 ja 0/63 mille peenosis ei või olla üle 7%. Sel juhul võib kasutada nõrgemaid ehk väiksema purunemiskindlusega materjale kuna kontaktpind on suurem kui fraktsioneeritud materjalil. Aheraine killustiku võib kasutada kui liiva osakaal on kuni 30% kuna siis puutuvad veel killustiku terad omavahel kokku ehk moodustub kandev skelett.

Killustikukihi juures tuleb silmas pidada, et fraktsiooni 16...32 mm korral võime lugeda keskmiseks kontaktide arvuks, kus pinge realiseerub umbes 500...1000, fraktsiooni 32...64 korral on kontaktide arv osakeste vahel 8 korda väiksem. Näiteks jämeliiva korral on liivaterade vaheliste kontaktide arv ca 1000 korda suurem, peenliiva korral ca 30000 korda suurem. Nendele kontaktide kohtadele rakendub koormus. Mida suurem on kontaktide arv, seda väiksem on kontaktpinge. Seega on kontaktpinged osakeste vahel killustikus tuhandeid kordi suuremad kui liivas. Killustiku osade enda tugevus muutub oluliseks, sest purunemised kontaktides viivad mahu kahanemiseni. See väljendub jäävdeformatsioonides, mis omakorda põhjustab asfaldikahjustusi. [7] LK32

Killustiku Fr 0-64 kraam milles on kuni 7% peenosist on parem kandevõime kui fraktsioneeritud killustik materjalil. Liiv positsioon 50 kuni 15% peenikest, positsioon 70 kuni 7% peenosist ehk <0,063mm osakesed.

#### **4.2.4.1 Näited killustiku kandevõime nõuetest mujal.**

Kandevkonstruktsioon fikseeritud kandevõimega või fikseeritud konstruktsiooniga.

Soome: killustikalus Ev2 160 Mpa, TS-alus 290 Mpa.

Rootsi: purustatud kaljupinnas 22 (stabi all) või 42 (asfaldi all) + 8 (silumine/kiilumine, 0/40...0/80).

Ev2/Ev1 sõltub Ev2 tasemest.

Saksa: Ev2 120...150 Mpa sõltuvalt katendi liigist.

#### **4.2.4.3 Kergliiklustee konstruktsioonist**

Kui kergliiklustee on põhitee muldel, laienevad sellele põhitee aluse nõuded

SF: 4 cm AC, kattel 150 Mpa, alusel 130 MPa

Kui tee on lahutatud mururiba 2+ meetrit, leebemad nõuded

SF: Külmakerge kuni 70 mm 30 mm; 4 cm AC, kattel 120 Mpa, alusel 100 Mpa

Igal juhul huumusega kiht eemaldada. Kui hooldustehnika on piiratud 3,5 tonniga, võib kasutada kerg konstruktsiooni: tasanduskiht, tugevam geotekstiil, 15 cm killustik 5 cm AC.

SF: Kruusatee

kandev kruus, kulumiskiht kruuskillustik, sõelmed. Geotekstiil asendab 10 cm kruusa.

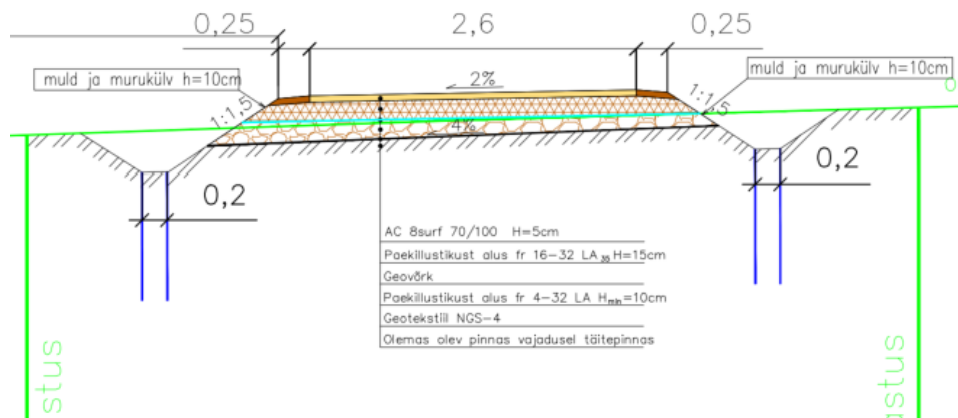
JK+PP 50 Mpa – E50: 7+10+tex; E20: 5+26+tex; E10: 5+44+tex

JK+PP 70 Mpa – E50: 7+13+tex; E20: 7+38+tex; E10: 7+57+tex

#### **4.2.4.4 Praktiline näide Kohila-Hageri-Sutlema kergtee ehitusest**

Kohila-Hageri kergliiklusteele on projekteeritud kerg konstruktsioon vt joonis 4.8, mille aluseks on:

- Geotekstiil eristamaks aluspinnast konstruktsioonist.
- 10 cm paekillustikku 32/63 LA 35, mis täidab drenkihi funktsiooni.
- Geovõrk.
- 15 cm paekillustikku 16/32 tugevusega LA 35 aluse funktsioonis.
- 5 cm asfaltkatet AC 8.



Joonis 4.8: Sutlema-Hageri-Kohila kergtee ristprofiil

Konsultatsioonid geosünteedide maaletoojatega kinnitavad, et geovõrgu kasutamisel tavakonstruktsioonides sõidutee peaks olema killustiku paksus võrgul vähemalt 20 cm, kuid tootjad ei erista erinevaid koormusrežiime. Seega kergliiklusteedel on võimalik kasutada 15 cm killustikalust geovõrgul, kui seejuures killustiku tihendamine toimub staatilise koormuse režiimis.

Soome projekteerimisnormid Tierakenteen suunnittelu, TIEH 2100029-04, tabel 15 näevad ette killustikalusel asfaltkattega kergliiklusteedele kaks varianti:

- Sõiduteega samal muldkehal, tõstetud kergliiklusteel – alusel 130 MPa, 4 cm asfaltkattel 150 MPa.
- Eraldi muldkehal kaugus põhitee kattest vähemalt 2 meetrit, alusel 85 MPa, 4 cm asfaltkattel 100 MPa.

Soome katendarvutus tugineb Odemarki valemil ja konstruktsioonikihtide mõõdetav kandevõime peaks vastama plaatkoormuskatse tulemustele. Kohtades, kus kergliiklustee ristub autoliiklusega, on võrku kattev killustikalus paksem. Kasutus hooldus juhendisse on lisatud klausel 3,5-tonnine hooldussõiduki piirang. Antud lahendustel on mõistlik kasutada vedelama nt 250-se bituumeniga asfalti. Lubatud on suuremad deformatsioonid.

## 4.3 Ettepanekud

Pinnase stabiliseerimine tsemendi, tuha ja teiste sideainetega, vähendades seeläbi uute mineraalmaterjalide vajadust.

Rekonstrueerimisel ja ka uue tee ehitamisel maksimaalselt kasutada olemasolevaid materjale/pinnaseid, et mitte kaevata välja olemasolevat liiva ja asendada seda sarnaste omadustega materjaliga. Olemasolevast liivast võtta proove ning katsetada laboris, et selgitada selle omadused ning määrata selle sobivus teekonstruktsiooni.

Loobuda tuleks massiivsest suure filtratsiooniga liivade kasutusest teedehituses.

Kasutada tuleks fraktsioneeritud killustike asemel optimaalse koostisega segusid, kontrollides seejuures peenosiste sisaldust.

Geosünteedide laialdasem kasutus.

Asfaldikihtide paksuse optimeerimiseks enam kasutada stabiliseeritud aluseid.

### **Ettepanekud kasutatavate materjalide näol:**

- Liiv – ainult peenosise kontroll, ainult külmakaitsekihi funktsioon ja lihtsustatud ainult <0,063 mm sisalduse alusel.
- Kruus – Soome sõelkõverate järgi; kruuskillustik – laias terasuuruse nomenklatuuris lisada peenemad.
- Aheraine killustik – liivagasegatuna suhtega 70/30 ja ainult max veetasemest kõrgemal.
- Killustik – drenkihi rollis, pigem sidumata seguna; alternatiivid šlaki killustik ja Paldiski gneiss.
- Stabiliseerimine – sõelkõver ekstraheerimata segudel, küsitav on kuivõrd tuleb arvestada freespuru bituumeniga.

Esitades vajalikud nõuded kandevõimele, on võimalik leevendada materjalinõudeid ning võtta kasutusele alternatiivseid materjale ja tehnoloogiaid ning soodustada selle läbi rohepöörde eesmärkide täitmist.



## **5. EHITUSE KVALITEEDI KONTROLL**

### **5.1 Kvaliteedikontrolli süsteemist**

Hetkel on Eestis kehtivas vastuvõtu eeskirjas asfaltsegude plokk hästi reguleeritud. Asfaldi alla jääva osa regulatsioon on sisuliselt kui ei vasta siis vaheta välja, tee ümber. Järgnevalt toon välja lahendused, et mida võiks muuta. Palju küsimusi on tekitanud filtratsiooni moodul. Soovituslik on minna üle peenosise hindamisele mis annab objektiivsema ülevaate materjali sobivusest katendi kihti. Killustik aluste osas tekib küsimus „Mida teha kui killustikul on LA nt 32 kuigi nõutud on 30?“ Sellisel juhul ei ole alati kihi väljavahetamine mõistlik vaid arvestada tuleks proovide keskmist tulemust. Eriti veel kui võtta arvesse keskkonna jalajälge ja rohepöörde eesmärke.

Eestis pealiskaudselt reguleeritud teemad on materjalid ja nende paigaldus. Liivadel filtratsioon, peenosise, lõimistegur, kandevõime, tihendus, drenkihid, killustikalused, killustiku fraktsioonid, LA(purunemiskindlus).

Erinevate konstruktsiooni kihtide kontrollkatsed tuleb teha pingete juures, mis neile rakenduvad hilisemalt eksploatatsiooni ajal. Liiga suured pinged tihendavad liiva ja purustavad killustikku ning annavad seetõttu eksitava tulemuse. [5] LK 25

### **5.2 Kvaliteedi kontrolli protseduurid**

EVS-EN 16907-2:2018 Lisa A sisaldab detailset loetelu mullatööl kasutatavate katsete ja nende standardite osas. Vastavalt vajadusele kontrollitakse kuni 40 näitajat, iga kontrollkatse kohta on olemas Euroopa standard ja on täpsustatud millise pinnase või materjali tüübi jaoks meetod sobib. [11]

Mullatööde kvaliteedi kontrolli käsitlev standardi osa 5 – EVS-EN 16907-5:2018 Mullatööd. Osa 5: Kvaliteedi kontroll – käsitleb kvaliteedi kontrolli protseduuri loetledes selle erinevad osad vastavalt ajalisele järgnevusele:

Kvaliteedi tagamise programm (QA/QC programm), kirjeldab süsteemi ja koostatakse enne tööde algust. Kvaliteedi kontrolli kava on detailne tööde kirjeldus (sagedus, meetodid, standardid, tulemuste vastavuse hindamise kord jne. Kvaliteedi kontrolli ajal materjalide kontrollimine, see on mullatööl kasutatavate materjalide iseloomustamine standardi EN 16907-2 kohaselt. Tihendamise kontrolli käsitus, so. meetodi või lõpptoote spetsifikatsiooni kohaselt. Vastavuskatsete valiku põhjendus ja läbi viimine, so. konkreetsete kontrollkatsed objektile, nende tulemuste esitamine ja teostusprotokollide koostamine, täite rajamise järelevalve tööde jälgimisena ehitusobjektile. Vaid kvaliteedi

kontrolli protseduuri täielik järgimine so. Standardi EVS-EN 16907-5:2018 kõikide osade läbi viimine kvaliteedi kontrolli jooksul, tagab muldkeha ja kattekihtide kvaliteedi. [11]

### **Plaatkoormuskatse killustikalusel**

- Fix sihtväärtus Ev2 150 Mpa, Ev2/Ev1 suhe on kuni 2,5.
- Tehnokeskuse töö järgi nõuded täidetud 17% mõõdetud juhtumitest.
- Mõõtmistulemuse sõltuvus pingest mõõtes erinevate seadmetega.
- GB ja GC kahvlid, üksik mõõtmistulemustes kruus 9 ja killustik 7%, geomeetria ja kandevõime on vastavalt projektile.
- Suurema pingega mõõtmisel saame suurema kandevõime teralisi materjale mõõtes kuna teralistel materjalidel on väga tugev pingesõltuvus. Tera hakkab vastu töötama. Selletõttu ei saa inspectoriga kätte arvutustes kasutatavaid numbreid.
- Inglise on 4 tüüp alust: arvutuslik pikaajaline moodul kandevõimel, libisev viie keskmine 80% ja üksik tulemus mitte alla 50%.
- Mõõdetav kandevõime ja tihedus protsent pole nii lineaarselt seotud kui siamaani on arvatud.

### **Seos Fwd indeksite piirväärtuse ja vajaliku kandevõime vahel**

Vajumikausi parameetrid on heas korrelatsioonis FWD mõõtmistulemuste põhjal arvutatava katendi üldise elastsusmooduliga. Tugevad seosed esinevad enam katendikihtide seisukorda kirjeldavate parameetrite (SCI ja BDI) ja katendi üldise elastsusmooduli E-üld vahel. Nõrgemad seosed esinevad aluspinnase seisukorda kirjeldava parameetri BCI ja E-üld vahel. Analüüsiga konstateeriti fakti, et Eesti maanteede katendite mitterahuldava seisukorra põhjustavad erineva tugevusega aluste ja aluspinnaste kihid. Sellest võib järeldada, et korrektne alusekihtide ehitamine tagab koormuse ühtlasema jaotumise aluspinnasele. [5]

#### **5.2.1 Strateegia kvaliteedi kontrollis**

Etalonseadmeteks on PLT ja FWD.

Erilahenduse välja töötamise ajal võib osutuda vajalikuks tööstuslike katsetööde läbi viimine. Tööstuslike tihendamiskatseid võib kasutada konkreetse materjali jaoks sobiva tihendamismeetodi valimiseks (eelkatsed) või ,et kontrollida, kas valitud tihendamisprotsess annab konkreetse materjali jaoks oodatud tulemuse (vastuvõtukatse). Sisuliste tulemuste saamiseks tuleb katsed eelnevalt kavandada ja hoolikalt korraldada. Katse eesmärgid tuleb selgelt sõnastada koos tulemuste hindamiseks kasutatavate kvantitatiivsete andmetega. [5] LK 30-32

Täpsustatakse järgmist:

- pinnase liik;
- kihi paksus (tihendamata ja tihendatud);
- tihendaja tüüp, töörežiim ja tihendamise energia;
- ülesõitude arv jne;
- kasutatud mõõtmismeetodid ning mõõtmiste arv, asukoht ja jaotumine;
- tulemuste analüüsimiseks ja järelduste tegemiseks kasutatav meetod.

Tulemuseks on katseprogramm. Katseprogrammis määratakse kindlaks katsetööde arv ja asukoht, kasutatav täitematerjal, selle kohale toimetamise ja kihiti paigaldamise viis, tihendamise protseduur ja mõõtmised. Määratakse kindlaks vajalik personal ja pädevus. Tihendamisseadmeid kontrollitakse vastavalt tootja spetsifikatsioonidele ja märgitakse kõik lahknevused. Proovitöö minimaalsed mõõtmed on pikkus 30 m ja laius kolmekordne tihendaja laius, kusjuures kihi paksuse mõõtmised tehakse keskmisel sõidurajal. Paigaldada tuleb vähemalt neli tihendatud kihti ja mõõta *in situ* tihedus kogu katsealal ühtlaselt jaotatud kohtades.[5] LK 30-32

Katsete tulemused kogutakse ja analüüsitakse keskmise väärtuse ja standardhälbe alusel. Tulemused esitatakse aruandes, mille sisu täpsustatakse eelnevalt. Tavaliselt on tihendamiskatse esmane eesmärk näidata vastavust tihendamise nõuetele. Siiski võib uurida ka teisi parameetreid või materjali käitumisega seotud küsimusi, näiteks:

Deformatsioonimoodul plaatkoormuskatsete abil. Sellisel juhul tuleb katsed teha plaadi läbimõõdust vähemalt kaks korda suurema tihendatud täite paksusega, et vältida vastastikust mõju aluspinnasega;

Niduspinnaste nihketugevus *in situ* tiivikkatsete, penetratsiooni katsete või rikkumata proovide kogumise abil;

teraliste pinnaste suhteline tihedus penetratsioonikatsete abil;

*in situ* CBR väärtused;

liigeldavuse toimimine;

tihendamisprotsessi põhjustatud granulomeetrilise koostise muutused. [19]

## 5.3 Tihenduskontroll

### Proctor, fraktsioneeritud ja optimaalse terastikuga killustik

Proctor tihendamine on kui etalon, millega võrreldakse tööde kvaliteeti objektil. Haamriga kihiline tihendamine. Killustiku terastikuline koostis muutub tihendamise protsessis, eriti pehmemate kivimaterjalide puhul. Alternatiiviks on vibro tihendamine, mis on lähedasem objektile kasutatavale tehnoloogiale ehk vibrorullidele. Probleemiks on killustiku peenosiste sisaldus (ka Soomes) tihendatud kihist võetud proovis ei tohi peenosist olla üle 7% ,kruuskillustikul 9%. Fraktsioneeritud killustikul on kontaktpunkte vähe, koormuse all pinged killustikutele teravikul suur ning toimub killustiku lagunemine. Optimaalse terastikuga killustikul on kontaktpunkte palju, pinged materjali teravikel oluliselt madalamad ning materjal laguneb sama koormuse all oluliselt aeglasemalt. Paekillustiku Proctor-standardi kohane tihendamine vormis lõhub killustiku, sellele materjalile võib paremini sobida vibrotihendus. Tulemusena, ilma materjali struktuuri lõhkumata on võimalik saavutada ca 90-93% tihendustegur Proctori suhtes sest võrreldav haamritega tihendatud Proctori tulemus on rikutud proov. Vaatame Soome kvaliteedi kontrolli ja Eesti oma. Näiteks Eestis on 170 mpa fikseeritud, kuid see ei ole objektiivne lähenemine. Välismaal mõõdetakse igalt kihilt erikoormusega kandevõimet. Fraktsioneeritud paekivikillustik on vale valik kuna see saab koormuse all kokku vajuda ehk mahus kahaneda. See on üks tee roobaste tekkimise põhjus. [9]

## 5.4 Kandevõime kontroll

Kandevõime määramise etalonseadmeks on plaatkoormuskatse, mis on ajamahukas ja kallis. Kergseadmega jõuab sama aja jooksul teha oluliselt suurema hulga katseid. Selle tõttu on erinevate riikide standardites suurendatud vajalike katsete sagedust kergseadmega katsetamisel. Näiteks Saksa normides on määratud mõõtetiheduseks plaatkoormuskatsel 1 katse 6000 m<sup>2</sup> kohta, kergseadmega 1 katse 600 m<sup>2</sup> kohta. Siit tulenevalt, võiks plaatkoormuskatse asemel kergseadme kasutusel mõõtepunktide arv olla vähemalt kümne kordne. Selline lähenemine annab lisaks kandevõime väärtusele olulise info ka konstruktsiooni homogeensuse kohta ning võimaldab defektsed ehk puuduliku kandevõimega alad kontuurida ja korda teha enne järgmise kihi paigaldust. [9]

Kuna materjalid on alati teatud määral mittehomogeensed, siis hajuvad ka mõõtetulemused. Lisaks, saavutab konstruktsioon projekteeritud omadused pärast kõigi kihtide paigaldust ja järel tihenemist. Eriti liivade (vähemal määral ka killustiku korral) katsetamisel ilmneb fakt, et konstruktsioonikihi pinnakihi omadused on erinevad

võrreldes olukorraga, kus enne mõõtmist seade süvistatakse pinnast veidi sügavamale. Selline skeem on kirjeldatud ka plaatkoormuskatse standardis. [9]

Tulenevalt nii mõõtetehetke pinnase niiskuse erisusest sügavuti, aga ka reaalsest sihtkoht on taseme muutusest sügavuti, on loogiline, et mõõtmistulemus võib jääda madalamaks arvutuslikust. [9]

Inglismaa normides on rakendatud nn. 80%/50% põhimõtte. Kui kandevõimet mõõdetakse vahetult kihi peal, on tõenäoliselt kihti kandevõime sügavamal 100% tagatud, kui kihi pinnal mõõdetakse keskmiselt 80% projektsest kandevõimest. Kergseadmega mõõtes tehakse ca 10 korda rohkem mõõtmisi kui plaatkoormuskatsega mõõtes. Tulemused hajuvad ning seetõttu rakendatakse 80% nõue viie viimase mõõtepunkti keskmise libisev keskmine. Samal ajal ei tohi ühegi punkti tulemus olla väiksem kui 50% projektsest kandevõimest. NB- isegi sel juhul on lubatud üle 50% madalama tulemuse korral läbi viia korduskatse esimesele mõõtepunktile suhteliselt lähedal, et veenduda, kas anomaalia oli juhuslik või süsteemne. Seega tuleb kvaliteedi kontrolli projektis kirjeldada, kas kontrollkatsed tehakse kihi pinnalt või sügavamal ja võiks pindmise katsetamise korral sisaldada nõuet katsetulemustele arvestades 80 ja 50% taset keskväärtusele ja minimaalsele väärtusele seerias. [9]

Soome praktika on lähedane – jagaval kihil on lubatud keskväärtusena vähemalt 85% projektsest kandevõimest ja kandval kihil 90% projektsest kandevõimest. Lisaks on Soome juhises kirjeldatud, et projektis toodud arvutuslik vajalik kandevõime väärtus muldkeha vahekihtidel on sihtväärtus. Kui saavutatud mõõtetulemus jääb sellele alla, tuleb kontrollida materjali määratlust ja kihipaksus ning teostada kontrollarvutused Odemarki valemiga. Kui ka siis jääb arvutatud tulemus projektis kirjeldatule alla, tuleb inseneril otsustada edasised tegevused näiteks asfaldikihi paksuse suurendamine. Seega ei ole tegemist üheselt kihi vastuvõtutingimusega. [9]

Suur kergseadmetega tehtavate katsete arvu rakendamisel kvaliteedi kontrollis on ülal kirjeldatud statistilisel lähenemisel põhimõtteliselt oluline erinevus tänase Eestis rakendatud praktikaga, mis on kirjutatud MKM määrusesse nr 101, 03.08.2015 kehtiv sihtkoht on 23.11.2020 "Teede ehitamise kvaliteedinõuded".

Tabel 5.1 lähtub esimesel real kirjeldatud arvutuslikust või plaatkoormuskatsega määratud kandevõimest Ev2 ning arvestab katsetingimusi dünaamilise seadmega ja pingerežiimi katsel ning 80%/50% põhimõtet. [9]

*Tabel 5.1: Kontrollväärtused erineva koormsurežiimi rakendamisel kandevõime kontrollil. Määramise viis killustikul või liival ÜhikEv2(Tallinna tüüpkatend) [9]*

<b>Vajalik Ev2 /või plaatkoormuskatsest</b>	<b>Mpa</b>	<b>180</b>	<b>150</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>45</b>
Dyna_100kPa (300 mm tald) keskmine*	Mpa	132	115	99	82	66	58	50	45	41
Dyna_300kPa (150 mm tald) keskmine*	Mpa	156	136	117	97	78	68	59	53	48
Dyna_100kPa (300 mm tald) min**	Mpa	106	92	79	66	53	46	40	36	33
Dyna_300kPa (150 mm tald) min**	Mpa	125	109	93	78	63	54	47	42	39

\*5 mõõtmise jooksev keskmine

\*\*minimaalne lubatud väärtus katseseerias

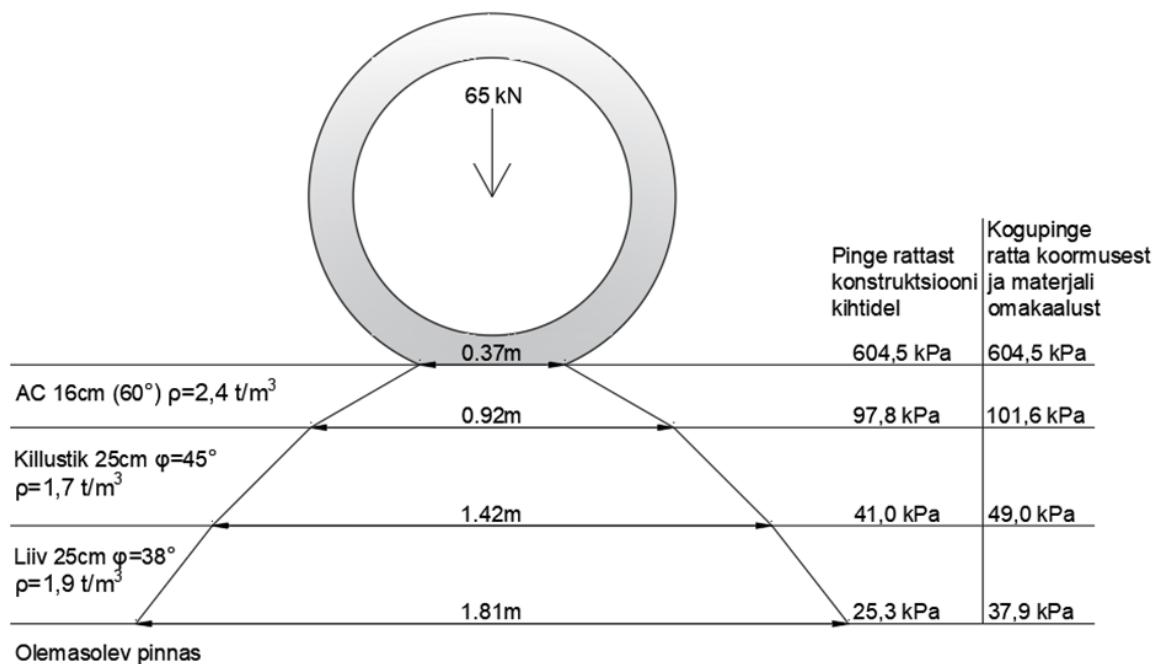
Lisaks plaatkoormuskatsele, on teatud tingimustel võimalik kandevõimet mõõta ehitusprotsessis ka kergseadmetega. Kuna teralistel materjalidel sõltub elastsusmoodul mõõtmisel rakendatud pingest, siis see piirab näiteks Inspector- või Loadman-seadme kasutusvõimalusi ja praegu oleme võrrelnud Taani koolkonna kergdeflektomeetrite jaoks mõõtetulemusi eeldusel, et põhimõtteliselt rakendatakse erinevate konstruktsioonikihtide mõõtmisel erinevat pinget režiimi. Üldistades tuleks liivadel ja aluspinnastel mõõtes kasutada 100 kPa pinget, killustikul 300 kPa. Inspectoril ja Loadmanil on need pinged kordades suuremad, mille tõttu on mõõtetulemus killustikul oluliselt suurem sest mõõdetakse deformatsiooni reaalsest olukorrast palju suurema pinget all. Tallinna tüüpkatendite kasutamisel oleme tekitanud üleminekutabeli Taani koolkonna LWD-seadmetega mõõdetava ja plaatkoormuskatse (Ev2) tulemuste võrdlemiseks. [10]

Etalonseadmena saab käsitleda sidumata kihtidel staatilist plaatkoormuskatset, kuid kõigil kihtidel dünaamilise seadmena ka FWD-seadet. Plaatkoormuskatse miinuseks on ajakulu ja vastu raskuse vajadus rasketehnika näol, FWD seade aga on kallis. Eestis leidub neid vaid üks, Teede Tehnokeskuses. Sidumata kihtidel peaks nende tulemused olema lähedased. Dünaamiline seade (FWD) aga ei pruugi adekvaatselt reageerida vedelama aluspinnase peale, mis staatilise seadmega katsetades selgemalt ilmneb. Samas, seotud kihtidel plaatkoormuskatset ei kasutata ja kui püüda arvutada kandevõimet, siis dünaamilise seadmega mõõtes mõjutab oluliselt asfaldikihtide elastsus, seadme löögi-impulss võetakse vastu elastsetes kihtides ning kui palju sellest impulsist jõuab alakihitidesse, sõltub nii asfaldikihtide paksusest kui temperatuurist. Siit tulenevalt, saame 46sihtkoht adekvaatselt rääkida vaid sidumata kihtide kandevõime mõõtmisest, kuigivõrd ka õhukeste katendite mõõtmistest ja olukorrast, kus me täpselt teame, mis ja kui paksult, konstruktsioonis paikneb. Paraku tuleks teemat veel uurida et seoseid täpsustada (arvutatava Ev2 tasemest FWD seadmega mõõdetava E leidmiseks, mis arvestaks nii mõõteaja asfaldikihtide temperatuure kui asfaldi kihipaksust, aga tõenäoliselt ka erinevate asfaldikihtide erinevaid omadusi). [10]

### 5.4.1 Elastusmooduli mõõtetulemus sõltub pingest

Kui soovime, et arvutustulemus oleks mõõdetav, tuleks mõõta režiimis, mis on lähedane tööolukorrale. Mida teralisem materjal, seda selgem sõltuvus pingest mõõtmisel. [1]

Pinged jagunevad konstruktsioonis sügavamatele kihtidele vastavalt materjali sisehõõrdenurga ( $\varphi$ ) suurusele ja moodustub niinimetatud survekoonus vaata joonis 5.1. Selline pingete jagunemine on põhjuseks, miks tee konstruktsioon ehitatakse kihtidena, kus sügavamal kasutatakse nõrgemaid ja odavamaid materjale vastavalt vajalikule kandevõimele. [1]



Joonis 5.1: Paksu asfaltbetoonkattega tee katendikonstruktsiooni survekoonus [1]

Eestis kasutatakse teede projekteerimisel lähtekoormusena veoauto normtelge staatilise koormusega 100 kN mis tähendab, et paarisratas kannab teele 50 kN. Kuna sõiduki liikumisel tekivad koormused on dünaamilised, korrutatakse need dünaamika teguriga 1,3 ja lõplik arvutuslik koormus on 65 kN ning rattajälje arvutusdiameeter 37 cm. [1]

Taani ekspertide kogemused kandevõime mõõtmisel on viinud järeldustele, et iga konstruktsiooni kihti tuleks mõõta pingerežiimis, mis vastab selle kihi reaalsele tööolukorrale. Soovituslikud pingetasemed vastavalt konstruktsioonikihtidele on järgmised: [1]

- Killustikalus 200 – 300 kPa

- Mulde kiht aluse all 100 – 200 kPa
- Tugev aluspinnas 50 – 100 kPa
- Nõrk aluspinnas 10 – 60 kPa

Tuleb silmas pidada, et Taanis kasutatavad konstruktsioonid ja materjalid on ilmselt erinevad ja võib olla vajalik, neid numbreid Eesti oludele vastavusse viimiseks korrigeerida. [1]

Killustikel ja teistel jämedateralistel materjalidel (paeliiv, purustatud ehitusmaterjal jne.) on mõõdetav kandevõime sõltuvus pingerežiimist oluline. Mida suurema maksimaalse terasuurusega on materjal, seda markantsem on mõõdetava kandevõime sõltuvus pingest. Põhjuseks on katseplaadi mõjutsooni jäävate pinnaseosakeste kontaktide arv, mille kaudu koormus edasi kantakse. Mida väiksem kontaktide arv, seda suurem kontaktpinge kontakti kohas. Mida suuremad pinnaseosakesed, seda väiksem kontaktide arv. Suure kontaktpinge tõttu osakesed võivad kontaktpinnal puruneda, suurendades kontaktpinna suurust, osakesed võivad ka ümber paigutada selliselt, et suureneks kontaktide arv jne. Sellised protsessid on intensiivsemad koormamise alguses, esimestel väikestel koormustel. Uue, suurema koormuse rakendumisel, on kirjeldatud protsessid väiksema mõjuga ja mõõdetav kandevõime väärtus kasvab. [9]

Nii liiva kui killustiku katsetamisel viib suure koormusrežiimi rakendamine kandevõime ülehindamisele. [9]

#### **5.4.2 Geosünteedid kahandavad mõõtetulemust**

Eesti kvaliteedinormid ei käsitle geosünteetidega kaasneva erisusi. Seetõttu on vajalik kohandada olemasolevaid kvaliteedinorme, mis võtaksid arvesse geosünteetide kasutamise kaasnevat kandevõime iseärasusi katendi konstruktsiooni erinevates kihtides. Väliskirjandus andmetel võib väita, et konstruktsioonikihid tihenevad täiendavalt tee eksploatatsiooni käigus ja selline järel tihenemine esineb geosünteetide kasutamisel ning mõõdetav kandevõime kasv (geosünteetide kasutuse efekt) ilmneb pärast järel tihenemist. Samas on vajadus hinnata tihendustööde kvaliteeti ehitusprotsessi käigus, arvestades nõutava kandevõimetaseme määramisel juba ka eeldatava järel tihenemisega, mis tähendab geosünteedi peale paigaldatud kihtide liigist ja paksusest tulenevat parandust kvaliteedikontrollis nõutud mõõtmistulemusele. [4]

Katsed annavad kinnitust, et kandevõime tulemust mõjutab geosünteetide lisamine tee konstruktsiooni. Kui geovõrgu lisamisega suuri muutusi ei esine, välja arvatud õhematel kihtidel ehk alla 25 cm paksustel kihtidel, siis geotekstiili lisamisega on kandevõime



erinevused suuremad. Geovõrguga killustikaluse puhul tuleb ära märkida, et alla 25 cm kihtide rajamisel esineb kandevõime kadu kuni 25%. See on tingitud asjaolust, et õhukese kihi korral ei suruta killustikku piisava jõuga võrgu avadesse, et see lukustuks ning geovõrk ei täida oma ülesannet. Seetõttu tuleks alla 25 cm kihtide muutumist katsetada pikema aja jooksul, et vaadelda, kas geovõrguga kihi kandevõime paraneb. [4]

Geotekstiili muutused sõltuvad ka paigaldatavast materjalist. Kui killustikaluses on kandevõime sõltuvus kihipaksuseks ehk mida õhem kiht seda suurem kandevõime kadu, siis liival avaldub see kõige enam 30 cm kihil. Katsete tulemuste põhjal on koostatud risttabel (Tabel 5.2 ja 5.3), kus on välja toodud, millisel juhul kui palju nõuetes kandevõime normi vähendada võiks. Taoline tabel võiks sisalduda ka kvaliteedinormi dokumentides. [4]

Tabel 5.2: Killustiku kandevõime vähenemise % geotekstiili paigaldamisel liiva ja killustikukihi fr.16/32 vahele

Mõõteseade	Talla diameeter mm	Pinge kPa	Killustikukihi paksused cm			
			15	25	35	4 5
			Geotekstiilist tingitud kandevõime vähenemine %			
Dynatest LWD	300	100	29	26	8	0
Dynatest LWD	150	250	26	22	11	2
Inspector	140	1500*	29	25	15	8

\* Inspectori ligikaudne pinge talla all on 1500 kPa [4]

Tabel 5.3 Liiva kandevõime vähenemise % geotekstiili paigaldamisel liiva kihi vahele[4]

Mõõteseade	Talla diameeter mm	Pinge kPa	Liivakihi paksused cm					
			10	20	30	40	50	60
			Geotekstiilist tingitud kandevõime vähenemine %					
Dynatest LWD	300	50	6	6	17	12	12	3
Dynatest LWD	300	100	12	12	18	12	10	2

## 5.5 Ettepanekud

- Mõõtmised teostada kõigil kihtidel reaalses pinge režiimis, alates aluspinnasest.
- Katselõigu valik on probleem – aluspinnaste varieerumise tõttu raske valida.
- Kergseadme mõõtetulemused igal kihil võrrelduna etaloniga.
- Iga kihi/materjali jaoks võivad kujuneda erinevad seosed.
- Reeglina, vajalik hiljem saavutada 80% PLT võrreldud tasemest
- Tihendustehnoloogial arvestada tihendaja läbikute arvu kontrollitud katselõigul. Sel juhul piirdume viimasel sidumata kihil PLT mõõtmistega.

Kontrollida kandevõimet, mitte sätestada detailseid nõudeid materjalile. Anda ehitajale valiku võimalus kuidas saavutada pealiskihil nõutud kandevõime.

Probleem on kui aluseid teevad erinevad osapooled/ettevõtted kes seisavad igaüks enda majandusliku poole eest. Kui alusel jääb kandevõimest puudu siis trahviga kompenseeritakse järgmise kihi vajaminevat kandevõimet. Rakendama peaks kandevõime ülemise ja alumise piiri näiteks katendi aluse kandevõime vahemik peaks olema 35-45 Mpa. Vastasel juhul võib esineda olukordi kus asfaldi alusel stabi kihil saavutatakse kandevõimeks nii suur number ,et asfaldi peab paigaldama väga õhukese kihina. Majanduslikult on see Töövõtjale kasulik.

Kontrollida materjale paberite kaudu ja tihendustegurit. Eelduseks on paberitele vastavad materjalid ning adekvaatne tiheduskontrolli süsteem etalonina on selleks Troxler. Lisaks saab tihedust kontrollida tihendusruulliga. Kandevõime võtmeks on plaatkoormuskatse, kuid tuleb püüda kasutada ka kergseadmeid. Ehitaja ei saa vastutada, kui paberid ei vasta tegelikkusele.

Peale kasvupinnase eemaldamist kandevõime kontroll või väga tiheda puuraukude võrguga geoloogia. Saksa reglemendis – 600 m<sup>2</sup> kergseadmega või 6000 m<sup>2</sup> PLT kontroll.

Sobib kontroll ka rulli mõõdikute järgi, rull annab tihendusteguri pidevas protsessis.

Erinevate konstruktsiooni kihtide kontrollkatsed tuleb teha pingete juures, mis neile rakenduvad hilisemalt eksploatatsiooni ajal. Liiga suured pinged tihendavad liiva ja purustavad killustikku ning annavad seetõttu eksitava tulemuse. [7] LK 32

## 6. MÕÖTESEADMED

### 6.1 Erinevad seadmed ja nende funktsioonid

#### Plaatkoormuskatse

Plaatkoormuskatse seadmeid (joonis 6.1) toodavad paljud ettevõtted. Seadmete ehitamisel järgitakse normdokumente, seega on eri tootjate toodang funktsionaalsuselt väga sarnane, erisused on elementide värvis ja disainis. Eestis on plaatkoormuskatse viimastel aastatel laialt kasutuses olnud. Plaatkoormuskatse – sidumata kihtide ja aluspinnase kandevõime (Ev2) ja tihendus kvaliteet (Ev2/Ev1)

Süvistamine – lubatud kuni 30 cm. Vastu raskuse kaugus koormusplaadist – >75 cm  
300 mm tallal. Mõõteõla pikkus on 1,5-1,6 m. Üks katse max koormaga (talla all 500 kPa), 2 katse 80% tasemeni.



*Joonis 6.1: Plaatkoormuskatse seade mõõtmisolukorras, kus vastu raskuseks on valitud rasketehnika*

## Katsemetoodika

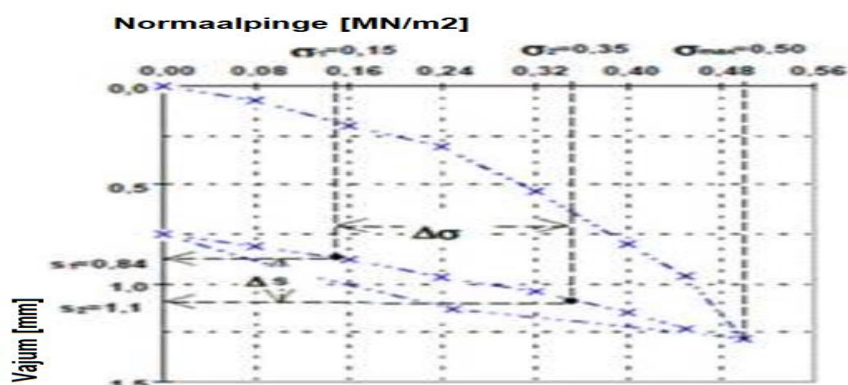
Plaatkoormuskatse käigus koormatakse ümmargust plaati testitaval pinnasel staatilise koormusega. Plaadi tohib süvistada mõõdetavasse pinda kuni 30 cm sügavusele. Koormust kasvatatakse ja vähendatakse astmeliselt kahes järjestikus tsüklis. Vajaliku koormuse saavutamiseks on vaja vasturaskust, millega peab saama tekitada vähemalt 10 kN suuremat jõudu kui katse käigus vaja (tavaliselt kasutatakse ehitusmasinaid või raskeveokeid). Koormuse suuruse hindamiseks peab kasutama vastavat mõõteseadet. Plaat tekitab pinnasele deformatsioone. Deformatsioon mõõdetakse talla keskosast suhtelise vertikaalse siirdena. Mõõtmiste tulemusel on teada pinge seadme talla all ning pinnase deformatsioon ja nende suhtena arvutatakse elastsusmoodul  $E_V$ . [1]

## Kasutatavad mõõtetallad

Vastavalt normile DIN 18134 (Plaatkoormuskatse katse protseduurid ja katse seadmed EVS 934:2016) on seadmel 300, 600 ja 762 mm diameetriga tallad. 300 mm tall on sobiv tee-ehitusala jaoks mõõtmiseks, kus normaalpinge on kuni 500 kPa (3,6 t), kui deformatsioon 5 mm ületatakse enne 500 kPa-d, siis vastav pinge loetakse maksimaalpingeks. 600 mm tallaga tõstetakse pinget kuni 250 kPa-ni (7,2 t) ja kui deformatsioon ületab 8 mm enne pinge 250 kPa saavutamist, siis vastav pinge loetakse maksimaalpingeks. Ilmselt sobiks selline pingerežiim liivast konstruktsioonikihtidel mõõtmiseks. Aluspinnase reaktsiooni (subgrade reaction  $k_s$ ) mõõtmiseks kasutatakse 762 mm diameetriga tald, mille all pinge ei ületa 200 kPa (9,3 t). Kui 200 kPa-d ei saavutata enne deformatsiooni 13 mm saavutamist, siis loetakse vastav pinge maksimaalseks pingeks. [1]

## Arvutusmetoodika

Elastsusmooduli  $E_V$  arvutamine baseerub pinge - deformatsiooni graafikul (joonis 6.2). Vaadeldakse ala, mis jääb vahemikku  $0,3 \cdot \sigma_{0 \max}$  ja  $0,7 \cdot \sigma_{0 \max}$  ( $\Delta\sigma$ ).



Joonis 6.2: Pinge – deformatsiooni graafik koos arvutuses vaadeldava vahemikuga  $\Delta\sigma$

## FWD mõõtmine

Teekonstruktsiooni kandevõime määramisel kasutame langeva raskusega koormusseadet Dynatest FWD-8002 (joonis 6.3), mida kasutatakse nii elastsete kui ka komposiitsete ja jäikade katendite katsetamisel. Dünaamilised koormamisseadmed, nende seas ka Dynatest FWD-8002, on maailmas laialdaselt kasutusel ja see on üks väheseid mõõteseadmeid, mis võimaldab uurida teekonstruktsiooni ilma seda lõhkumata. Seade simuleerib liikuva veoki ratta poolt tekitatud koormust teatud kõrguselt teatud kaaluga koormuse langemisega 300 mm läbimõõduga koormusplaadile. [16]



Joonis 6.3: FWD seade haagisena auto taga [16]

Koormuse mõjul tekkinud teekatte deformatsiooni (nn. vajumikaussi) mõõdetakse seitsme anduriga, milledest üks on paigutatud koormusplaadi keskpunkti ja ülejäänud viimasest vastavalt 300, 600, 750, 900, 1200 ja 1500 mm kaugusele. Andurite poolt mõõdetud läbivajumised registreeritakse ja salvestatakse arvutisse. [16]

Katendi üldise E-mooduli määramine FWD-seadme mõõtmistulemuste alusel põhineb 2003. a valminud dr A. Aaviku poolt teostatud uurimistööl „Methodical Basis for the Evaluation of Pavement Structural Strength in Estonian Pavement Management System“ tulemustel. [16]

FWD-seadet on võimalik kasutada:

Läbivajumise väärtuste ja läbivajumiskausside kuju võrdlemiseks.

Kandevõime (katendi üldise elastsusmooduli) määramiseks.

Katendi erinevate kihtide elastsusmoodulite määramiseks.

Mida täpsemad lõpptulemusi vajatakse, seda täpsemad ning konkreetsemad peavad olema ka lähteandmed. Näiteks katendi erinevate kihtide elastsusmoodulite määramiseks on vaja teada nende paksust, mis eeldab puurimiste tegemist või uuringuid maaradariga. [16]

Dynatest FWD-8002 seade on regulaarselt osalenud üle-euroopalisel FWD-seadmete võrdlustestimisel Hollandis ja Saksamaal. Võrdlustestid kinnitavad, et seadme mõõtetulemused on võrreldavad teiste sarnaste seadmete mõõtetulemustega üle Euroopa. [16]

## **Troxler**

Radioaktiivsel elemendil põhinev seade mis määrab tihendusteguri ja veesisaldust (joonis 6.4). Uue seadme hind jääb 15k euro kanti.

Tuumamõõturite kasutamine on tööstusliku radiograafia tüüp. Radiograafia on kiirguse kasutamine pildi saamiseks. See on sarnane meditsiinilisele röntgenikiirgusele mis kasutab luude kujutiste saamiseks kiirgust. [3]

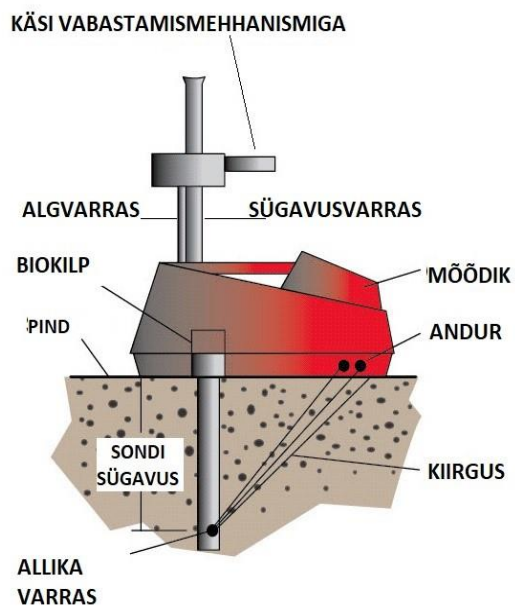
Tuumamõõturid mõõdavad kolme peamist asja: paksust, tihedust ja täitetaset. Tootmises kasutatakse paksusmõõtureid, et tagada, et kogu toode või materjal on kogu ulatuses sama paksusega või et materjali kattekiht oleks ühtlane. Tihedusmõõtureid kasutatakse tsemendi-, nafta- ja teedetööstuses, et veenduda, et materjali tihedus on sama. [3]

Tuumamõõturitel on radioaktiivne allikas, mis on kaetud kiirgust blokeeriva kilbiga. Mõõdikud võivad sisaldada gamma-, beeta- või neutronkiirguse allikat. Olenevalt sellest, mida tuumamõõtur mõõdab, kasutatakse erinevaid allikaid. Tuumamõõturi kiirgus ei muuda mõõdetavaid materjale radioaktiivseks. [3]

All oleval pildil on näha kasutusel olev niiskustiheduse mõõtur ja diagramm, mis näitab, kus on mõõdiku erinevad osad.

Tuumamõõturid on kavandatud töötajate ohutust silmas pidades. Kõik tuumamõõturid peaksid olema korralikult märgistatud, et anda teile teada, et need sisaldavad radioaktiivseid materjale. Seadmed on suletud kiirgusallika ümber vooderdatud pliivarjestusega, mis kaitseb keskkonda kiirguse eest. Kasutamise ajal peaks kilp olema avatud ainult aktiivsete mõõtmiste ajal. Kilp on suletud, kui mõõturit ei kasutata. Kehtestatud ohutusmeetmete tõttu saavad töötajad tuumamõõturitelt tavaliselt kiirgust vähe või üldse mitte. Nõuetekohase kasutamise korral ei avalda tuumamõõturid kiirgust. [3]

## NIISKUSE JA TIHEDUSE MÕÕTUR



TIHEDUSNÄIDIK NÄITAB KAS ALUS SOBIB KOORMUSE KANDMISEKS

Joonis 6.4: Troxler [3]

Tihedusastme kontrollimiseks kasutakse maailmas laialdaselt Troxler-seadet, mis mõõdab tihendatud materjali niiskuse ja mahukaalu, mille kaudu leitud kuivmahukaalu võrreldakse tihedusastme kontrollimiseks Proctor katsega laboris määratud maksimaalse kuivmahukaaluga. [7] LK42-43

## 6.2 Kergseadmed

### Zorn ZFG 3000 GPS LWD

Zorn LWD (joonis 6.5) on toodetud Saksamaal ettevõttes Zorn Instruments GmbH & Co. KG. Seade on mõeldud pinnasetöödel kasutamiseks, et määrata pinnase kandevõimet ja hinnata selle tihendatust. [1]



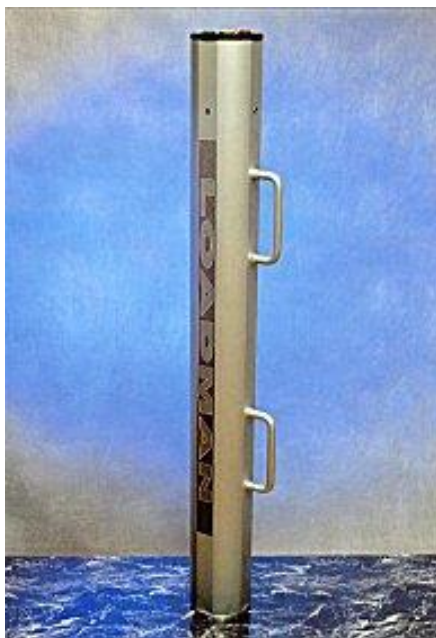
Joonis 6.5: Zorn ZFG 3000 GPS LWD [1]

Baasseades on võimalik määrata elastsusmoodulit  $E_{vd}$  vahemikus 15-70 MPa. Lisatarvikuna saab tellida ka 15 kilost koormust, millega mõõtes saab usaldusväärseid mõõtetulemusi vahemikus 70-105 MPa. Juhtme abil ühendatakse LWD-ga arvuti, mis võimaldab tulemuste kohest välja printimist ja igale katsekohale GPS koordinaatide lisamist. Katse andmed salvestatakse SD mälukaartile. [1]



## Loadman

Loadman (joonis 6.6) on Soome ettevõtte AL-Engineering Oy poolt toodetav deflektomeeter. Seade on mõeldud tootja sõnul tihedusteguri mõõtmiseks. [1]



Joonis 6.6: Kaasaskantav deflektomeeter Loadman [1]

Mõõtetulemusena esitatakse maksimaalne deformatsioon, arvutatud E moodul, impulsi pikkus ja tihedustegur (suhe esimese ja maksimaalse deformatsiooni vahel). Loadmani konstruktori hinnangul eraldi sängituslööki vaja pole kuna seadme paikapanekul mõõdetavale kihile tuleb seadet pöörata mõlemale poole et saavutada ühtlane kontakt mõõdetava pinnaga. Katse tulemused salvestatakse integreeritud mällu ja neid saab tänu USB ühendusele seadmest arvutisse saata. Loadman'i tehnilised karakteristikud on esitatud tabelis (6.1). [1]

Tabel 6.1 Loadman'i tehnilised näitajad [1]

Loadman'i tehnilised näitajad	
Üldkaal	16 kg
Kõrgus	117 cm
Taldade diameeter	132 ja 300 mm
Raskuse mass	10 kg
Raskuse kukkumiskõrgus	80 cm
Mõõtediapasoon	0.1 - 5 mm
Impulsi pikkus	25 - 30 ms

## Inspector

Inspector (joonis 6.7) on toodetud Eesti ettevõtte Englo OÜ poolt, mis tegeleb ka selle müügi ja hooldusega. Inspector-seade konstrueeriti Maanteeameti tellimusel, võttes aluseks Loadman seadme (maksmata seejuures litsentsitasusid) ning seadmed kalibreeritakse Loadman'i järgi. Erinevalt Loadmanist on väiksema talla diameeter 140 mm (Loadmanil 132) ja standardvarustuses olev suurem tald on väiksem (200 mm) kui Loadmanil (300 mm).



Joonis 6.7: Kaasaskantav deflektomeeter Inspector-4 [1]

Mõõtetulemused kuvatakse peale katset LCD-talool, sealhulgas pinnase elastsusmoodul ja tihedustegur. Seadme mälus säilib kuni 200 mõõteseeriat, kusjuures igas seerias on kuni 8 katset. Katsete tulemused saab arvutisse edastada USB või Bluetooth ühenduse abil. Tabelist (6.2) näeme Inspector-4 tehnilisi karakteristikuid. [1]

Tabel 6.2: Inspector-4 tehnilised näitajad

Inspector-4 tehnilised näitajad	
Üldkaal	16 kg
Kõrgus	115 cm
Taldade diameeter	140 ja 200 mm
Raskuse mass	10 kg
Mõõtediapasoon	5-900 MPa

Seadme pingerežiim (pinge talla all) 140 mm talla puhul on ligikaudu 1500 kPa ja 200 mm talla puhul 700 kPa kui arvestada, et raskus tekitab tallale dünaamilise koormuse 23 kN.

Soome – Loadman, Inspector

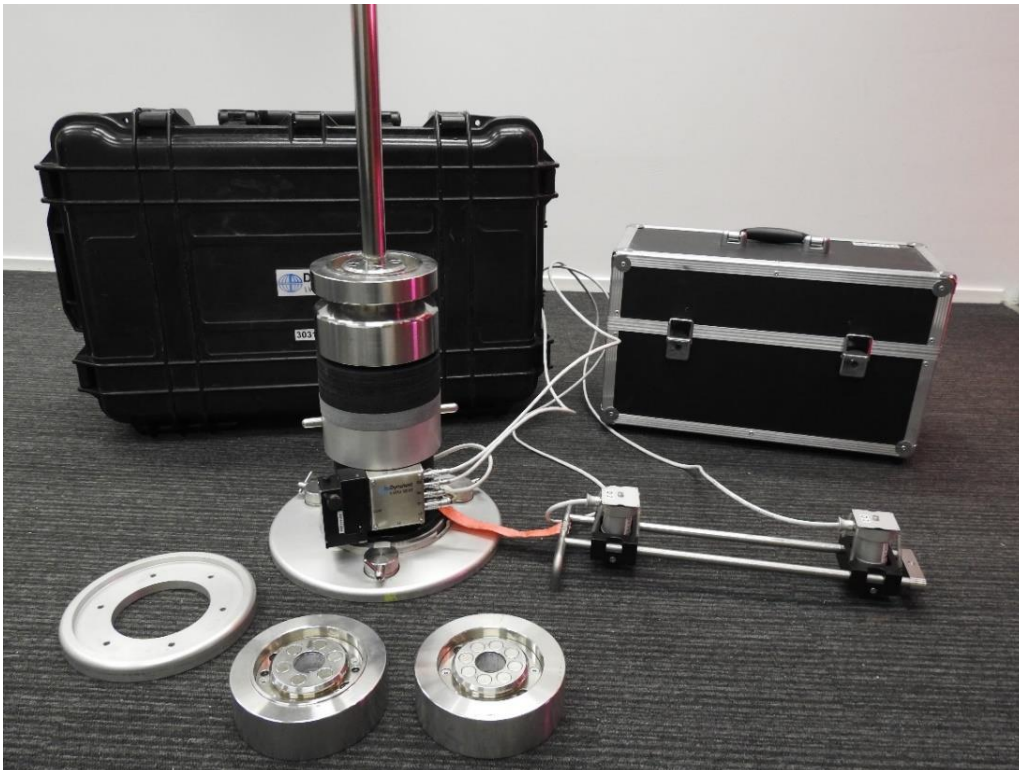
Ca 600/1500 kPa (10 kg)

Ainult tihenduskontroll

Loadman: Emax/E1; Inspector: E6...8/E2

### **Dynatest 3032 LWD**

Dynatest LWD (joonis 6.8) on toodetud Taani ettevõtte Dynatest poolt. Võimalik on kasutada Dual plate tehnoloogiat (mõõtmine samast punktist seadet paigalt tõstmata 300 mm ja 150 mm tallaga), konstruktsioonikihi elastsusmooduli määramiseks, kasutades tagasiarvutuseks Odemark'i meetodit (LWDmod). Lisaks saab teostada mõõtmisi kergkatenditel. [1]



*Joonis 6.8: Dynatest 3013 LWD koos lisavarustusega*

Kui tavaliselt toimub LWD seadmel deformatsiooni mõõtmine seadme tallaga ühendatud sensoriga, siis Dynatest seadmel on sensor eraldatud tallast ja toetub pinnasele sõltumatult talla liikumisest. Võimalik on sensor jäigalt tallaga ühendada (soovitav savipinnastel). Vahtkummist puhvrid on kettakujulised ja vastavalt raskuse massile vahetatavad. Koormusrežiimi saab muuta järgmiste seadistustega:

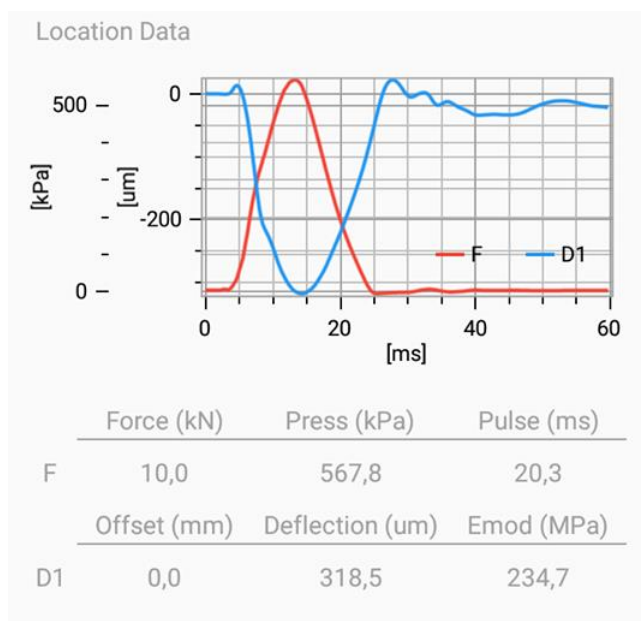
- Talla diameeter – 100, 150, 200 või 300 mm

- Raskuse mass – (5), 10, 15 või 20 kg
- Raskuse kukkumise kõrgus kuni 850 mm

Võimalus muuta eelpool mainitud seadeid annab Dynatest LWD-le suure pingediapasooni, mis ulatub kuni 1,5 MPa-ni. Viimasest tulenevalt saab teostada mõõtmisi konstruktsioonis realselt mõjuvate pingetega. [1]

Seade võimaldab kasutada ka kahte lisasensorit (soovitatud kaugusel 300 ja 600 mm tsentrist) vajumikausi määratlemiseks (analoogselt FWD-ga). Kirjanduse andmetel võib lisasensorite järgi arvatud kandevõime väärtus paremini korreleeruda FWD tulemustega kui keskse sensori alusel leitu.

Katsetulemused saadetakse bluetoothi abil ühendatud seadmesse. Selleks võib olla arvuti, telefon või mõni muu mobiilne seade, mis toetab vajaminevat tarkvara. Selline ühendus võimaldab operatiivset info edastust ja töötlust töö ajal. Katsetulemus (joonis 6.9) kuvatakse ühendatud seadmesse kohe peale katse sooritamist. Kui ühendatud seade on GPS võimekusega, seotakse katsekoht ka koordinaatidega. [1]



Joonis 6.9: Riho Eichfussi mõõtetulemuse väljavõte Android mobiili äpist „Dynatest LWD“

Seadmega on kaasas tarkvara LWDmod, mis annab võimaluse mugavalt katsetulemusi töödelda (ELMOD modifitseeritud versioon).

## Penetromeeter

Klassikaline penetromeeter (joonis 6.10) võimaldab operatiivselt määrata muldkehade tihedustegurit pinnastes, kus fraktsiooni 5-10 mm osakaal ei ületa 15%. [2]



Joonis 6.10: Penetromeeter PM-1 [2]

### Katsemetoodika

Katse seisneb koonilise otsiku süvistamisel pinnasesse. Süvistamiseks kasutatakse 2,5 kg suurust raskust, mis langeb 30 cm kõrguselt vastu seadme keskel asuvat alasit. Sooritatud löökide arvu järgi määratakse tabeli või graafiku abil pinnase tiheduskoefitsent. [2]

## 6.3 Kergseadmega tihendus kvaliteedi hindamine

Kergseadmega saame hinnata kandevõimet, siis kui on võimalus kvaliteedikontrolliks, mitte abstraktsete numbrite vaid arvutatud kandevõime väärtuste alusel.

- Arvestada tuleb geosünteedide ajutist mõju mida kajastasin punktis 5.5.
- Tingimusel, et veetase mõõtmishetkel ei ulatu seadme mõjupiirkonda
- mõju ulatuseks hinnatakse kaks talladiameetrit (see mõjutab kuni 60 cm sügavuseni mõõdetavat konstruktsiooni kihti. Üle selle on konstruktsiooni mõjutatud osa kohta.
- Odemarki valemi kasutus annab võimaluse midagi ette võtta
- Aluspinnasest mingi osa asendamine

Ettepanek on ,et sügavamale kui 2 talla diameetrit peaks paigaldama andurid mille liikumise täpsus on mõõdetav mikromeetrites.

## 7. ETTEPANEKUD

Erinevate allikate analüüsis (Rothenburg, TTÜ 2016, IPT 2022) kui Alar Tooming´u töös tuleb selgelt välja, et Eesti teede põhimõttelised probleemid tulenevad nii liivade kasutamisest teekonstruktsioonis liiga kõrgel kui õhukestest seotud kihtidest, seega on oluline tõsta aluse kandevõimet. Üks viis selleks on katendite projekteerimissüsteemi aluste muutmine ja kõige lihtsam ning kiiremini rakendatav on Soome süsteem. See on lähiriikides kasutatavatest ka ainus, mille puhul on võimalik kvaliteedikontrolli süsteem rajada kandevõime mõõtmisele.

Insenerile on vaja anda lihtsalt kasutatavad töövahendid mõõtmisteks ja arvutusteks ning otsustusõigus – see eeldab ka vastutust, mis omakorda vajab vastutuskindlustust. Lepingu partnerile ehk insenerile võiks teha võimekuse testi nagu Soome seda teeb. Võimalik, et olukord riigiteede osas saab olla parem kui KOV teedel, kui TrAm suudab olla kompetentsikeskuseks, kahjuks täna tuleb tõdeda ,et tegemist on rohkem menetluskeskusega.

Projekti arendusfaasi tuleb palgata konsultant ning järelevalve ,et projekt saaks parima võimaliku lahenduse. Juhul kui tegemist on vana projektiga mida tuleb täiendada tuleks selle muutmiseks kaasata ka esialgne projekteerija.

Vajalik on ka projekteerija poolne tugi ehitusprotsessis, varasematel aastatel on selleks sõlmitud eraldi leping koos projekteerimislepinguga, see tagaks, et projekteerijal on jätkuvalt ka materiaalne huvi protsessis osalemiseks. Lepingus võiks olla etaloniks tähtaeg, raha, keskkond. Projekteerija peaks tooma välja alternatiivsete lahenduste võrdlused võttes aluseks need kolm etaloni.

Vajalik on taastada või luua usaldus osapoolte vahel, see puudutab otseselt kontuuri tellija-insener-projekteerija-ehitaja, kus insenerina mõeldakse konsultanti, kes osaleb nii projekteerimisprotsessis kui omanikujärelevalves. Samuti ka usaldus dokumentide suhtes, pidades siin silmas nii materjalidega tootja poolt kaasa antavaid sertifikaate ja laboratoorse kontrolli protokolle, kui ka kompetentsi tõendavate dokumentide suhtes ehk kutse tegelik sisu ja katvus.

## KOKKUVÕTE

Teede seisukorra ja selle seosest kandevõimega on arutatud palju ja pikalt. Kandevõime roll teekatendi konstruktsioonide erinevates kihtides on väga oluline kogu katendi kvaliteedi püsimise, liikleja mugavuse ning ohutuse seisukohalt. Madala kandevõime peamiseks põhjuseks on ammendunud katendi projekteerimise süsteem mis tugineb 40 aasta tagusele NL juhisele. Aegunud programm tuleb välja vahetada kuna see ei vasta tänapäevastele koormustele mis kasvavad veelgi.

Lahendusena tuleks kasutusele võtta naaberriikide lahendusi mis meie asukohast tulenevate eripäradega sobivad. Naaberriikidest on sobivaim Soome nii seetõttu, et ainsana erinevates töödes analüüsitutest, on arvatud tulemused mõõdetavad kättesaadavate seadmetega. Teiseks on Soome meile ka keeleliselt lähim ja seetõttu risk, et mõistame Soome juhendite tõlkimisel või tõlgendamisel midagi valesti, väike.

Kuna looduslikud ressursid on ammendumas tuleb kasutusele võtta uusi tehnoloogiaid. Aluste stabiliseerimisega annab oluliselt mineraalmaterjale säästa.

Projekti etaloniks võiks olla tähtaeg, raha ja keskkond. Nende eesmärkide saavutamiseks võiks anda suuremad volitused ehitajale ja insenerile. OJV peab saama tagasi algselt ettenähtud inseneri rolli.

## **SUMMARY**

The condition of the roads and its relation to the carrying capacity have been discussed a lot and at length. The role of bearing capacity in the various layers of the road pavement constructions is very important in terms of maintaining the quality of the entire pavement, the comfort and safety of road users. The main reason for the low bearing capacity is the outdated pavement design system based on the NL guideline of 40 years ago. The outdated program must be replaced because it does not meet modern loads, which are growing even more.

As a solution, the solutions of the neighboring countries should be adopted, which are suitable for the peculiarities arising from our location. Of the neighboring countries, Finland is the most suitable because it is the only one among those analyzed in various works, where the calculated results can be measured with available equipment. Secondly, Finland is also linguistically closest to us, and therefore the risk of misunderstanding something when translating or interpreting the Finnish instructions is small.

As natural resources are being depleted, new technologies must be introduced. By stabilizing the bases, it is possible to significantly save mineral materials.

The standard of the project could be deadline, money and environment. To achieve these goals, greater powers could be given to the builder and engineer. Engineer must return to the originally intended role of engineer.



## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. (R. Eichfuss), „Tee konstruktsiooni kihtide kandevõime ja selle mõõtmine seadmega Dynatest LWD,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.a.
2. Englo OÜ tootekataloog veebis. <http://www.englo.eu/tooted/> . 21. aprill 2023.a.
3. <https://www.epa.gov/radtown/nuclear-gauges/> / 21.aprill.2023.a.
4. (R. Kopti), „Geosüntetide mõju katendikihtide kandevõimele ja ettepanekud kvaliteedikontrolli nõuete korrigeerimiseks,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2018.
5. Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring. III etapp. Lõpparuanne 2022.a.
6. <https://t-konsult.ee/artiklid/m101-ja-kandevõime/>. 24.aprill.2023.a.
7. (Peeter Talviste, Ain Kendra), Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring. I etapi vahearuanne 2022.a.
8. (Peeter Talviste, Ain Kendra), Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring.II etapi vahearuanne 2022.a.
9. <https://t-konsult.ee/rd/> 30.aprill.2023
10. <https://t-konsult.ee/artiklid/eestil-ei-ole-raha-ega-maavarasid-22-teede-ehitamiseks/> 01.mai.2023
11. (Aavik, A). 2003. Methodical Basis for the Evaluation of Pavement Structural Strength in Estonian Pavement Management System (EPMS). Department of Transportation, Faculty of Civil Engineering, Tallinn Technical University
12. (Andrus Aavik). 2014 ELASTSETE TEEKATENDITE PROJEKTEERIMISE JUHENDI PINNASTE KLASSIFIKATSIOONI KOHANDAMINE EVS-EN ISO 14688-1 JA 2 KLASSIFIKATSIOONILE
13. (Ott Talvik) 2007 FWD mõõtmistulemuste alusel arvutatud parameetrite SCI, BDI ja BCI kasutamine teekatendi seisukorra hindamisel.
14. Rothenburgi aruanne (Maailmapank 1993).
15. Soome InfraRYL
16. <https://www.teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/kandevõime/fwd-mootmine/>
17. [https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/281\\_pank9001.pdf](https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/281_pank9001.pdf)
18. <https://transpordiamet.ee/media/3209/download>

**LISAD**

**Lisa 1 Määrus 101 lisa 10 tabel**

(üksikproovide lubatud väli)

		0,063	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45	63	90	125	180
		Kruusatee kulumiskihi materjal, kruuskillustikust															
0/16 (kulumis)		8...15	13...34	19...42	27...52	40...65		59...83		85...99	100						
		Jagava kihi materjal, kruus või kruuskillustik (0/32...0/63 ka väiksema koormusega kruusateede ja kergliiklusteede kandevkihis)															
0/32 (jagav)	Gc	<9	5...30	8...35	13...45	20...60		30...75		50...90		80...99	90...100	100			
0/45 (jagav)	Gc	<9	5...30	8...35	13...45		20...60		30...75		50...90		80...99	90...100	100		
0/63 (jagav)	Gc	<9		5...30	8...35	13...45		20...60		30...75		50...90		80...99		100	
0/90 (jagav)	Gc	<9		5...30	8...35		13...45		20...60		30...75		50...90		80...99		100
		Jagava kihi materjal, purustatud kivimaterjal (paekivi, graniit, gneiss jne)															
0/32 (jagav)	Gp	<7		3...32	6...42	12...53		23...66		43...81		80...99	90...100	100			
0/45 (jagav)	Gp	<7		3...32	6...42		12...53		23...66		43...81		80...99		100		
0/63 (jagav)	Gp	<7			3...32	6...42		12...53		23...66		43...81		80...99		100	
0/90 (jagav)	Gp	<7			3...32		6...42		12...53		23...66		43...81		80...99		100
		Kandevkihi materjal, kruuskillustik, väiksema koormusega teedele – suurema koormusega kruusateede, väiksema koormusega kerg- ja püsikatted															
0/32 (kandev)	Ga	<9	0...20	5...28	12...38	22...50		35...65		55...85		85...99	100				
0/45 (kandev)	Ga	<9	0...20	5...28	12...38		22...50		35...65		55...85		85...99	100			
0/63 (kandev)	Ga	<9		0...20	10...35	15...40		22...50		35...65		55...85		85...99	100		
		Kandevkihi materjal, purustatud kivimaterjal (paekivi, graniit, gneiss jne), asfaldi all															
0/32 (kandev)	Go	<7	0...20	6...26	10...35	18...46		31...60		50...78		85...99	100				
0/45 (kandev)	Go	<7	0...20	6...26	10...35		18...46		31...60		50...78		85...99	100			
0/63 (kandev)	Go	<7		0...20	6...26	10...35		18...46		31...60		50...78		85...99	100		



**Lisa 3 Liivpinnaste külmumissügavuste tabel**

<b>Meteoroloogiajaam</b>	<b>Liivpinnase keskmine külmumissügavus, m</b>
Jõgeva	1,19
Jõhvi	1,23
Kihnu	0,79
Kuusiku	1,09
Lääne-Nigula	0,97
Ristna	0,58
Ruhnu	0,83
Pärnu-Sauga	1,03
Sõrve	0,58
Tallinn-Harku	0,92
Tartu-Tõravere	1,10
Türi	1,11
Valga	1,08
Vilsandi	0,56
Virtsu	0,85
Võru	1,13
Väike-Maarja	1,25
Massumõisa	0,99
Oandu	0,98
Räpina	1,33

## Lisa 4 Elva pst tänava olemasoleva liiva katseprotokollid

### PK 1+70 VP proovi katseprotokoll



Andre Künnapu  
AS TREF  
Teguri tn 55, Tartu  
53544652  
andre@tref.ee



Meie:  
09.06.2022  
17-6/ETL/574

TALLINNA TEHNIKAJAAM

#### Katseprotokoll nr. 22/497

Tööülesanne:	Täitematerjali katsetamine		
Objekt:	Puistee tn, Elva linn		
Võtmise koht:	PK 1+70 VP	Proovi võtja:	Tõnis Tagel (AS TREF)
Materjal:	Olemasolev pinnas	Võtmise kuupäev:	31.05.2022
Tähistus:	-	Proovi tooja:	Sander Rits (Tarindiprof OÜ)
Labori reg.nr.:	388	Toomise kuupäev:	02.06.2022

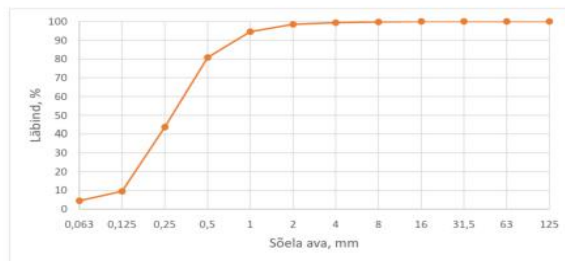
#### Katsetamine:

1.	Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus. Märg meetod	EVS-EN 933-1:2012
2.	Maksimaalne kuivtihedus ja optimaalne veesisaldus. Proctor-teim	EVS-EN 13286-2:2010
3.	Filtratsioonimoodul	EVS 901-20:2013

#### Tulemused:

##### 1. Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus / EVS-EN 933-1:2012

Sõel, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6,3
Läbim., %	4,5	9	44	81	95	98	99	100
Katsetamise kuupäev:	06/06/2022		07/06/2022					



Katseprotokollil osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Lk 1 / 2

Mäepealse 3, 12618 Tallinn

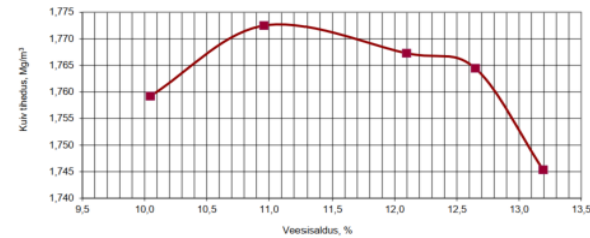
+372 512 1919



#### Katseprotokoll nr. 22/497

##### 2. Maksimaalne kuivtihedus ja optimaalne veesisaldus / EVS-EN 13286-2:2010

Veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m <sup>3</sup>	Märkus	Katsefr., mm	Opt.veesisaldus, %	Maks. kuiv mahumass, Mg/m <sup>3</sup>
10,0	1,76		0/4	11,1	1,77
11,0	1,77				
12,1	1,77				
12,6	1,76	vesi			
13,2	1,75				
Katsetamise kuupäev:		06/06/2022			



##### 3. Filtratsioonimoodul / EVS 901-20:2013

K <sub>10</sub> , m/ööp	Keskmine kuivtihedus, Mg/m <sup>3</sup>	Tihendustegur	Katsefraktsioon, mm
0,1	1,80	1,02	0/4
Katsetamise kuupäev:		08/06/2022	09/06/2022

Tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

/allkirjastatud digitaalselt/

Kristjan Lill

Laboratooriumi kvaliteedijuht

Katseprotokollil osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

+372 5302 2437

Lk 2 / 2

Mäepealse 3, 12618 Tallinn

+372 512 1919

# Pikett 6+20 PP proovi katseprotokoll



Andre Künnapuu  
AS TREF  
Teguri tn 55, Tartu  
53544652  
andre@tref.ee



Meie:  
09.06.2022  
17-6/ETL/575

TALLINNA TEHNIKAJUUREKOL

## Katseprotokoll nr. 22/498

Tooülesanne:	Täitematerjali katsetamine		
Objekt:	Puistee tn, Elva linn		
Võtmise koht:	PK 6+20 PP	Proovi võtja:	Tõnis Tagel (AS TREF)
Materjal:	Olemasolev pinnas	Võtmise kuupäev:	31.05.2022
Tähistus:	-	Proovi tooja:	Sander Rits (Tarindiprof OÜ)
Labori reg.nr:	389	Toomise kuupäev:	02.06.2022

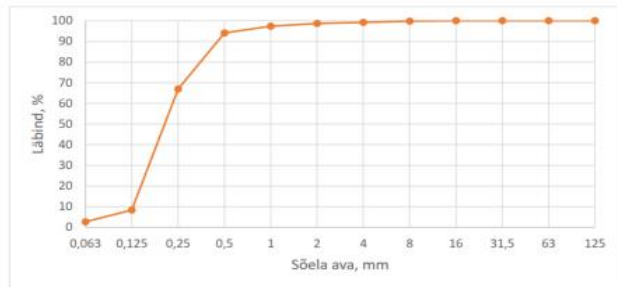
### Katsetamine:

1.	Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus. Märg meetod	EVS-EN 933-1:2012
2.	Maksimaalne kuivtihedus ja optimaalne veesisaldus. Proctor-teim	EVS-EN 13286-2:2010
3.	Filtratsioonimoodul	EVS 901-20:2013

### Tulemused:

#### 1. Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus / EVS-EN 933-1:2012

Sõel, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6,3
Läbind, %	2,7	8	67	94	97	99	99	100
Katsetamise kuupäev:	06/06/2022		07/06/2022					



Katseprotokollil osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Lk 1 / 2

Mäepealse 3, 12618 Tallinn

+372 512 1919



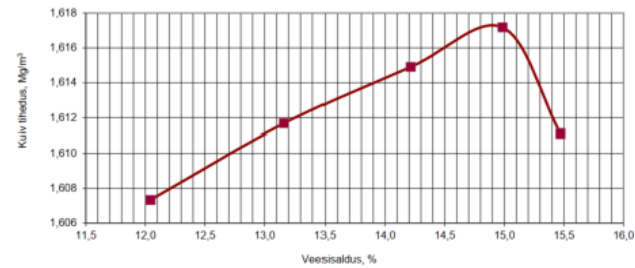
Andre Künnapuu  
AS TREF  
Teguri tn 55, Tartu  
53544652  
andre@tref.ee



## Katseprotokoll nr. 22/498

### 2. Maksimaalne kuivtihedus ja optimaalne veesisaldus / EVS-EN 13286-2:2010

Veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m <sup>3</sup>	Märkus	Katsefr., mm	Opt.veesisaldus, %	Maks. kuiv mahumass, Mg/m <sup>3</sup>
12,0	1,61		0/4	14,9	1,62
13,2	1,61				
14,2	1,61				
15,0	1,62				
15,5	1,61	vesi			
Katsetamise kuupäev:		06/06/2022			



### 3. Filtratsioonimoodul / EVS 901-20:2013

K <sub>10</sub> , m/ööp	Keskmine kuivtihedus, Mg/m <sup>3</sup>	Tihendustegur	Katsefraktsioon, mm
0,9	1,63	1,01	0/4
Katsetamise kuupäev:		07/06/2022	08/06/2022

Tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

/allkirjastatud digitaalselt/

Kristjan Lill  
Laboratooriumi kvaliteedijuht

+372 5302 2437

Katseprotokollil osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Lk 2 / 2

Mäepealse 3, 12618 Tallinn

+372 512 1919