

**MULDE KANDEVÕIME JA TIHENDUSNÕUETE
KONTROLLIMETOODIKATE ARENDAMINE
KASUTAMISEKS RIIGIMAANTEEDE
REKONSTRUEERIMISEL JA E HITAMISEL**

I OSA

TEADUS- JA ARENDUSTÖÖ ARUANNE

**RIIGIMAANTEEDEL 2017 TEOSTATUD
PLAATKOORMUS-KATSETUSTE PRAKTIKA
ANALÜÜS JA TEISTE RIIKIDE KOGEMUSED
PLAATKOORMUSKATSE RAKENDAMISEL**

Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Projektijuht:

Marek Truu

Töös osalesid:

Gerhard-Markus Trumm (Teede Tehnokeskus)

Veiko Tikas (Teede Tehnokeskus)

Karmen Kütt (Teede Tehnokeskus)

Töö valmimisele aitasid andmete täpsustamisega kaasa:

Taavi Tõnts, Alo Kippar, Gregor Reimets, Urmas Robam, Meelis Laanpere,
Andrus Õis, Heiko Ojavee, Marko Aava, Toomas Tõnurist, Mario Kirt, Roger Voll,
Siim Remmelgas, Antti Armin Pärna, Vello Voolaid, Priit Moor, Allan Toim, Rein Kuusk,
Erkki Mikenberg, Erko Puusaag,

© Maanteeamet, 2017

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

Teadus- ja arendustöö
„Mulde kandevõime ja tihendusnõuete
kontrollimetoodikate arendamine kasutamiseks
riigimaanteede rekonstrueerimisel ja ehitamisel

I osa
Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-
katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide
kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel“

ARUANNE

Projektijuht:

Marek Truu

Teadus- ja arendustöö „Mulde kandevõime ja tihendusnõuete kontrollimetoodikate arendamine kasutamiseks riigimaantee-de rekonstrueerimisel ja ehitamisel

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel“ ARUANNE 2017.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

SISUKORRD

SISUKORRD	1
SISSEJUHATUS	2
1. Plaatkoormuskatse	3
Üldist.....	3
Plaatkoormuskatse seade	3
Katsetingimused	4
Mõõtmise protsess.....	4
Deformatsioonimoodul E_v	5
Westergaardi moodul k_s	7
Jäikusmoodul.....	7
2. Teiste riikide nõuded	8
Saksamaa	8
Soome.....	11
Norra.....	13
Rootsi.....	13
3. Plaatkoormuskatsete tulemused.....	14
4. Täiendavad katsed	20
5. Võrdlus KAP'ga	29
Maantee 49 objekt	29
Maantee 55 objekt	29
6. Tähelepanekud katsearuannetes	32
Katsearuannete puudused	32
Muud soovitusel	34
Plaatkoormuskatse nõuete kujundamine Eesti tingimustesse.	36
7. Kohtumine Saksamaa ekspertidega	37
8. Kehtivate nõuete analüüs.....	38
9. Järeldused ja ettepanekud.....	40
10. KOKKUVÕTE	43
11. KASUTATUD KIRJANDUS	44
12. LISAD	45
LISA1. Katseprotokoll	46

SISSEJUHATUS

Käesolev uuring on tellitud Maanteeameti poolt, saada ülevaade Eestis 2017 ehitatavate rekonstrueerimisobjektide kandevõime ja tihendustegurite mõõtmiste tulemustest, kõrvutada neid teiste riikide kogemustel tuginevate nõuetega ning teha ettepanekud (koostada tegevuskava) muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise nõuete väljatöötamiseks, eesmärgiga tagada muldkeha kihtide piisav tihendus ja kandevõime vältimaks katendi hilisemaid deformatsioone ja puudulikust kandevõimest tingitud defekte.

Alates käesolevast aastast (2017) kontrollitakse ehitusobjektidel (sh. rekonstrueerimine) mulde kihtide kandevõimet plaatkoormusseadmetega (vastavalt 2016.a. Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhisele p.4.18 ja 4.19).

Varasemad, 2017 aasta esimeses pooles mõõdetud tulemused on näidanud, et mõõdetavad tulemused varieeruvad väga suurtes piirides. Nii saadi ühel objektil tulemus, kus E_{v2}/E_{v1} suhe oli mulde kohta üsna suurte väärtuste juures ca 8x ($E_{v1}=259\text{MPa}$, $E_{v2}=2064\text{ MPa}$), samas kui teisel objektil mõõdeti E_{v2}/E_{v1} suhteks 4.25x ($E_{v1}=40\text{MPa}$; $E_{v2}=168\text{MPa}$).

Käesoleva töö eesmärk on saadud tulemusi analüüsida ning otsida seoseid muude mõõdetavate parameetritega, nt. pinnase omadused.

Samuti on töö üheks oluliseks eesmärgiks tuua välja probleemid plaatkoormuskatsete teostamisel ning vajadusel täpsustada juhiseid, mis tagaksid katsetetingimuste kirjelduste selguse.

1. Plaatkoormuskatse

Üldist

Plaatkoormuskatset kasutatakse pinnaste (aga ka sidumata tarindikihtide) deformeeritavuse kaudu kandevõime ning tihendatuse määramiseks. Väga üksikasjalikult kirjeldatud standardite tõttu on see kõige täpsem pinnasetööde katse, millel on kõrgeim korratavus. Plaatkoormuskatse on kirjeldatud standardis EVS 934:2016 PINNAS. Katsemeetodid ja katseseadmed. Plaatkoormuskatse, mis tõlge Saksa standardist DIN 18134:2012-04 (Plate Load Test).

Plaatkoormuskatsega määratakse vajumi sõltuvus koormusest (koormus-vajumi graafik), saadud graafiku alusel määratud deformatsioonimooduli E_v (saksa keeles *Verformungsmodul*) ja aluse reaktsioonimooduli (k_s abil saab hinnata pinnaste deformeeritavust ja tugevust [1].

Plaatkoormuskatse seade

Plaatkoormuskatse läbiviimiseks on vaja: koormusplaat koos raamiga, hüdrotungraud, mõõteseade koos anduritega, mis mõõdavad rakendatavat jõudu ja vajumi suurust, arvuti elastsusmooduli arvutamiseks ning vasturaskust (vt. joonis allpool).



Joonis 1. Plaatkoormuskatse seade 762mm plaadiga ning vastukaal (rataslaadur)

Katsetingimused

Plaatkoormuskatset võib teha jämeda- ja segateralistel pinnastel, samuti sitketel kuni kõvadel tihedatel peeneteralistel savipinnastel. Koormusplaati ei tohi asetada vahetult teradele, mille suurus ületab neljandiku plaadi läbimõõdust. Kiiresti kuivavate pinnaste korral tuleb eemaldada pealmine, kobestunud kiht. [1]

Samuti on võimalik plaatkoormuskatset viia läbi tee tarindi muudel kihtidel, kaasa arvatud drenkihil (reeglina heade filtreerivate omadustega liivpinnas) ning alusekihtidel (nii fraktsioneeritud täitematerjalist kui sidumata segudest). Vajadusel kasutatakse pinna tasandamiseks õhukest liivakihti (mõni millimeeter).

Mõõtmise protsess

Koormusplaadi koormamist alustatakse eelkoormamisega (5-10 kPa), seejärel koormatakse (koormust 1 minuti vältel konstantsena hoides) ühtlaste juurdekasvudega (vähemalt 6) maksimaalse normaalpingeni, vähendatakse koormust 3 astmena ning seejärel toimub teine juurdekasvudega koormamine (esimese tsükli eelviimase koormuseni). [1]

Teekonstruktsioonide deformatsioonimoodulite määramisel kasutatakse 300mm koormusplaati ning koormust suurendatakse normaalpingeni 500 kPa. Juhul kui enne maksimaalse normaalpinge saavutamist ületab vajum 5 mm, loetakse vastav normaalpinge suurimaks ning korratakse katset. 600 mm plaadi korral loetakse vastavaks piirväärtuseks vastavalt normaalpinget 250 kPa ja 10 mm ning 762 mm plaadi korral 200 kPa ja 13 mm [1].

Erinevates riikides on plaatkoormusekatse jaoks erinevad standardid, kus on kasutusel erinevad koormamistingimused. Enamlevinud plaatkoormuskatsetes leitavad näitajad on deformatsioonimoodul eraldi esimesel ja teisel koormamistsükli (vastavalt E_{v1} ja E_{v2}), nende deformatsioonimoodulite suhe (E_{v2}/E_{v1}), jäikusmoodul (k_s) ning pinnase reaktsioonimoodul (tuntud ka kui Westergaard'i moodul), viimane on peaaesjalikult välja töötatud kasutamiseks betoonkatendite projekteerimisel.

Deformatsioonimoodul E_v

Deformatsioonimooduli E_v arvutus põhineb koormus-vajumi graafikutel. Need arvutatakse ruutfunktsioonilt vastavalt valemile:

$$s = a_0 - a_1 \cdot a_2 \cdot \sigma_0^2$$

kus

σ_0 on keskmine normaalpinge plaadi all MN/m²,

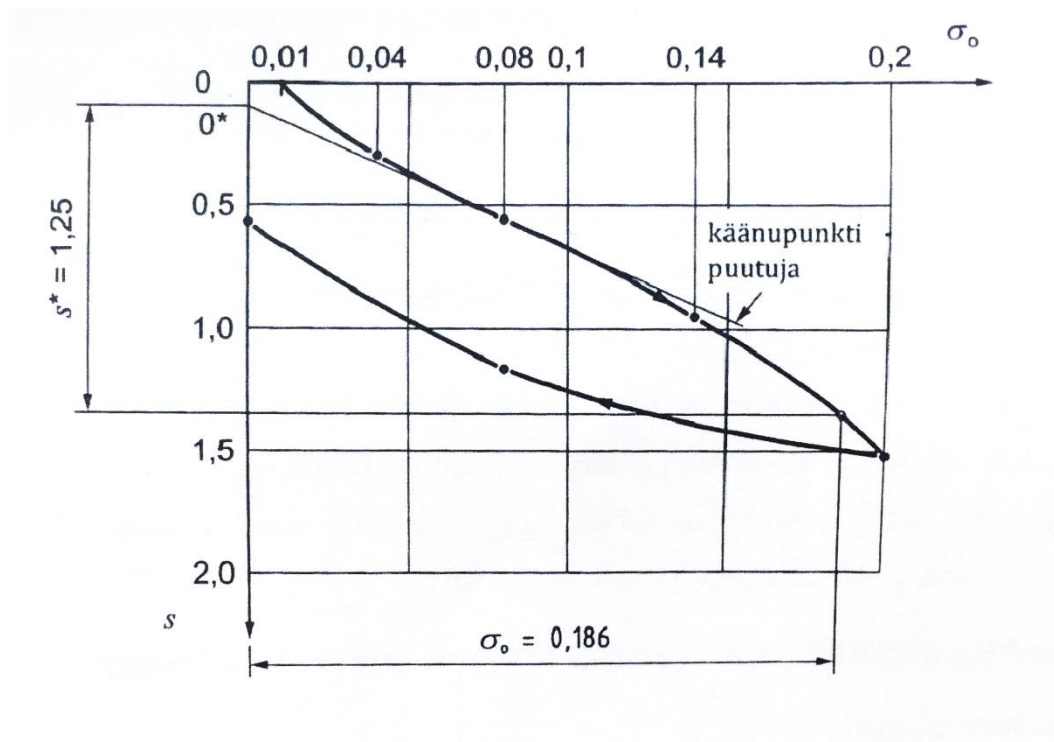
s on koormusplaadi vajum mm,

a_0 on ruutfunktsiooni konstant mm,

a_1 on ruutfunktsiooni konstant mm/(MN/m²)

a_2 on ruutfunktsiooni konstant mm/(MN²/m⁴)

E_v on parameeter, mis iseloomustab pinnase deformeeritavust ning mis leitakse koormus-vajumi graafikult esimese või korduva koormustsükli väärtuste põhjal punktide $0,3 \cdot \sigma_{0\max}$ ja $0,7 \cdot \sigma_{0\max}$ vahelt.



Joonis 2. Koormus-vajumi graafik [1]

E_v täiendatakse alaindeksitega 1 ja 2, mis tähistavad vastavalt esimest ja teist koormustsükli.

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 - a_2 \cdot \sigma_{0\max}}$$

kus

E_v on deformatsioonimoodul MN/m^3 ,

R on koormusplaadi raadius mm ,

$\sigma_{0\max}$ on maksimaalne keskmine normaalpinge plaadi all esimese koormustsükli ajal MN/m^2 .

Võrdluseks, näiteks AFNOR NF P94-117-1 standardi kohaselt määratakse E_{v2} 600mm plaati kasutades (0.25/0.2MPa) Boussinesq võrrandiga:

$$E_{v2} = \frac{\pi}{2} \cdot (1 - \nu^2) \frac{p \cdot r}{z_2}$$

Westergaardi moodul k_s

Westergaardi moodul ehk pinnase reaktsioonimoodul

$$k_s = \frac{\sigma_0}{s *}$$

kus

k_s on pinnase reaktsioonimoodul MN/m³,

σ_0 on keskmine normaalpinge MN/m² (vastab vajumile 1,25 mm),

$s *$ on koormusplaadi vajum (1,25 mm).

Jäikusmoodul

Mõnedel juhtudel võidakse soovida hinnata pinnaste jäikusmoodulit kindla koormuse juures. Ligikaudu võib jäikusmooduli E_s (saksa keeles *steifemodul*) määrata eksperimentaalse väärtuse põhjal, kasutades valemit

$$E_s = \sigma_0 * d/s$$

kus:

σ_0 = keskmine normaalpinge plaadi all MN/m²

d = plaadi diameeter mm

s = koormusplaadi vajum m

2. Teiste riikide nõuded

Allpool on toodud ülevaade Saksa plaatkoormuskatse metoodikast ja nõuetest ning põgus ülevaade Põhjamaade – Soome, Rootsi ja Norra nõuetesse.

Saksamaa

Saksamaal viiakse plaatkoormuskatsed läbi DIN 18134 kohasel (Eestis kasutatava katsestandardi algupärane versioon). Tüüpiline minimaalne katsete maht enesekontrolliks (töövõtja enda poolt teostatav kontroll) on RStO ja ZTV E-StB kohaselt 1 katset iga 1000 m² mõõdetava kihi kohta aluspinnasel (minimaalselt 2 katset ala kohta) ning RStO ja ZTV SoB-StB kohaselt 1 katse iga 6000 m² mõõdetava kihi kohta tarindikihtidel (minimaalselt 2 katset ala kohta) kuid sõltub siiski mõõdetava objekti iseloomust ja ühe alana vastu võetava objektiosa suuruselt. Suurema ala kohta on katsete arv pindalaühiku kohta väiksem. Tööde vastuvõtmisel teostatakse tellijapoolne kontroll katseala nõuetele vastavuse hindamiseks, mille puhul katsete maht on ca 3 korda väiksem ja keskseks hindamisaluseks on kvaliteediarv Q. Nõuetele vastavuse saavutamiseks peab üleantava ala kvaliteediarv vastama tingimusele $Q > 0.88$.

Aritmeetiline keskmine ($\bar{x}$) ja standardhälve (s) arvutatakse katsete tulemuste (x_i) järgi. Kvaliteediarv Q arvutatakse välja tihendusastme maksimumkvantiili ja deformatsioonimooduli miinimumkvantiili T_M 10% järgi. [2]

$$Q = \frac{\bar{x} - T_M}{s}$$

Saksamaa standardite ZTV kohaselt saab kasutada plaatkoormuskatset ka tihendusastme määramiseks. Allolevas tabelis on välja toodud seosed Proctor tihendusastme (D_{Pr}) leidmiseks deformatsioonimooduli E_{v2} ja E_{v2}/E_{v1} suhtarvu kaudu. See kehtib teedehituses tarindites kasutatavate, jämeda- ja segateraliste pinnaste korral, milles peenosise ($< 0.063\text{mm}$) osakaal on väiksem kui 15%.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Tabel 1. Pinnase ja materjalide tiheduse hindamine plaatkoormuskatsega

Pinnase liik (grupp ¹)	D _{Pr} [%]	E _{V2} [MN/m ²]	E _{V2} /E _{V1} [-]
Kruuspinnased GW, GI (C_u>6)	≥ 100	≥ 100	≤ 2.3
	≥ 98	≥ 80	≤ 2.5
	≥ 97	≥ 70	≤ 2.6
Kruuspinnas GE (C_u<6) ja Liivpinnased SE, SW ja SI	≥ 100	≥ 80	≤ 2.3
	≥ 98	≥ 70	≤ 2.5
	≥ 97	≥ 60	≤ 2.6

Suurema vastupanuvõimega pinnaste korral kus E_{V1} väärtus ulatub 60%-ni eelnevas tabelis toodud E_{V2} väärtusest, on lubatud eeltoodust suuremad E_{V2}/E_{V1} suhtarvu väärtused.

Juhul kui liiv- ja kruuspinnaseid kasutatakse külmakaitse kihi ülaosas, peavad need olema tihendatud vastavaks D_{Pr}=100%.

Nõuded teede erinevatele kihtidele on kirjeldatud juhendis ZTV-StB [2]

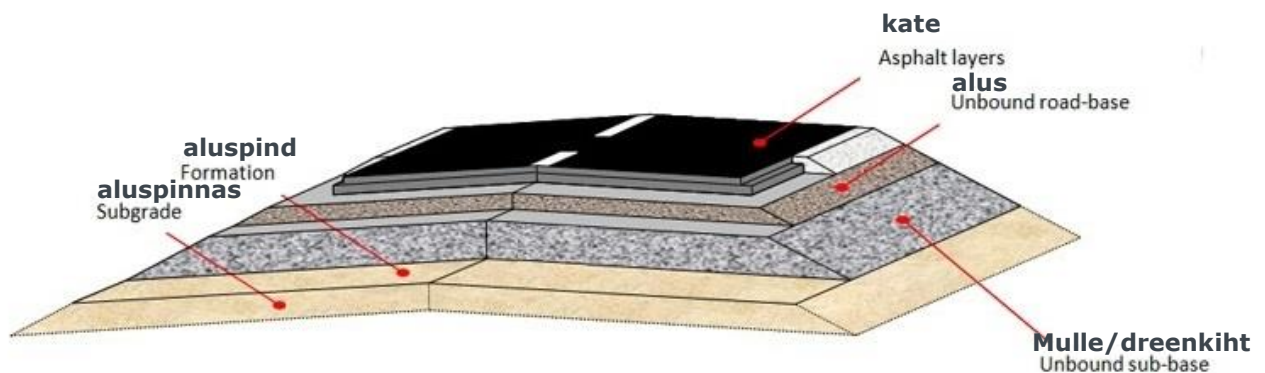
Tabel 2. Saksamaa nõuded kihi pinnale

Nõuded kihile pinnal		Klass SV, I - IV, (V)		Klass V, VI ja muud	
		E _{V2} [MN/m ²]	E _{V2} /E _{V1}	E _{V2} [MN/m ²]	E _{V2} /E _{V1} 1
Alus	Kruus ≥ 20 cm	≥ 150	≤ 2.2	≥ 120	≤ 2.5
	Kruus ≥ 25 cm	≥ 180	≤ 2.2	≥ 150	≤ 2.5
	Kill. ≥ 15 cm	≥ 150	≤ 2.2	≥ 120	≤ 2.5

¹ Pinnasegrupid määratleb DIN 18196 (https://de.wikipedia.org/wiki/DIN_18196)

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

	Kill. ≥ 20 cm	≥ 180	≤ 2.2	≥ 150	≤ 2.5
Külmakaitse-kihi ülaosa (kuni 0,2m)	Kruus GW, GI ja tehisiiv, killustik ning sidumata segud 0/5 kuni 0/56	≥ 120	≤ 2.2	≥ 100	≤ 2.5
	Kruus GE ja liiv SE, SW, SI	≥ 100	≤ 2.5	≥ 100	≤ 2.5
Muldkeha	Kõik	≥ 100	≤ 2.5	≥ 100	≤ 2.5
Aluspinnas		≥ 45	-	≥ 45	-



Joonis 3. Teetarindi läbilõige

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Soome

Soomes rakendatakse plaatkoormuskatselt 3.5 KN eelkoormust ning koormust tõstetakse 10kN sammudega 60kN'ni. Iga koormamise tulemused fikseeritakse kui deformatsioonikiirus on aeglustunud alla 0,01 mm/min. Pärast maksimaalset koormust (60 kN) koormus eemaldatakse ja seejärel rakendatakse samm-sammult uuesti, nagu eespool kirjeldatud. Esimese koormamistsükli alusel leitakse E_1 ja teis põhjal E_2 . Allolevad nõuded on kehtestatud plaatkoormuskatsetele Soomes InfraRYL 2010's.

Tabel 3. Nõuded jagava kihi (aluse alakiht) tihendustegurile sõltuvalt kandevõimest

Kandevõime, MPa	Tihendustegur E_2/E_1
<125	≤ 2.2
125...134	≤ 2.3
135...144	≤ 2.4
145...154	≤ 2.5
155...164	≤ 2.6
165...174	≤ 2.7
175...184	≤ 2.8
>185	≤ 2.9

Tabel 4. Nõuded kandevkihile (alus)

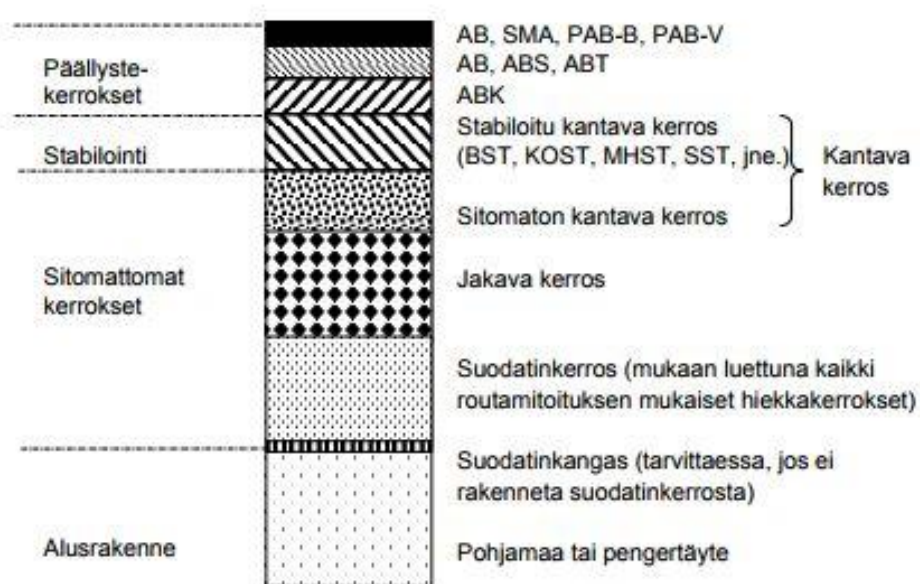
	Kvaliteediklass 1	Kvaliteediklass 2
Vähim tihendusteguri üksikväärtus, %	≥ 92	≥ 89
Vähim kandevõime üksikväärtus, %	$E_2 \geq 120$	$E_2 \geq 100$
Tihendustegur plaatkoormuskatsega, E_2/E_1 MN/m ²	≤ 2.0	≤ 2.0

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Tabel 5. Nõuded kandva kihi (aluse) tihendusteguritele

Kandevõime, MPa	Tihendustegur E_2/E_1
<145	≤ 2.0
146...159	≤ 2.1
160...174	≤ 2.2
175...189	≤ 2.3
190...204	≤ 2.4
205...219	≤ 2.5
220...234	≤ 2.6
≥ 235	≤ 2.7

Soomes kasutatavad kihtide nimetused on toodud alloleval joonisel. Reeglina ei ole kõik kihid samas tarindis esindatud.



Joonis 4. Soomes kasutatavad teede kihtide nimetused

Norra

E-mooduli/kandevõime mõõtmiseks ja tihendusteguri kontrollimiseks rakendatakse enne katse algust mõneks sekundiks rõhk 20 kN/m^2 , misjärel läbivajumi lugem nullitakse. Seejärel rakendatakse astmeliselt koormust 5 sammuga: 50 - 180 - 300 - 420 - 600 kN/m^2 . Seejärel koormus eemaldatakse ning teostatakse samade koormustega uus koormamine.

Norras rakendatakse kandevkihile (alus) plaatkoormuskatsete korral nõuet $E_2 > 150 \text{ MPa}$ ning $E_2/E_1 \leq 2.5$. Kruusast ja liivast rajatavate kihtide puhul (muldkeha) on vastavad nõuded $E_2 > 120 \text{ MPa}$ ning $E_2/E_1 \leq 3.5$.

Rootsi

Plaadi koormamine toimub *Metodbeskrivning 606:1993* kohaselt sammudega 0.08, 0.16, 0.24, 0.32, 0.40 ja 0.50 MPa, misjärel koormus vähendatakse astmelisel 50%, 25% ja 0%-ni maksimaalsest koormuses. Teisel koormamisel rakendatakse koormust kuni 90%-ni esimese koormamise koormusest. Sisuliselt on selline meetud kõige lähedasem Eestis kasutatavale. Sarnasel Saksa juhenditele kirjeldatakse ka Rootsi juhendites statistilist vastuvõtumeetodi, aktsepteerides üksikkatsetel mõningaid hälbeid. Nõuete osas ei õnnestunud Rootsi ekspertidelt kommentaari saada, seetõttu olgu alltoodu esitatud väikese reservatsiooniga, st vajaks kontrollimist:

Tihendusteguri E_{v2}/E_{v1} nõue sõltub *VV Publ 1994:25 VÄG94 Obundna överbyggnadslager* kohaselt E-mooduli väärtusest:

- Kui $E_{v2} \leq 120 \text{ MPa}$ rakendub suhtarvule nõue $E_{v2}/E_{v1} \leq 2.8$ ning
- Kui $E_{v2} > 120 \text{ MPa}$ rakendub suhtarvule nõue $E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0.015 \cdot E_{v2}$

Seega $E_{v2} 120 \text{ MPa}$ korral on nõue $1 + 0.015 \cdot 120 = 2.8$ ning nt. 180 MPa korral on see juba 3.25. E_{v2} nõuded sõltuvad kasutamise kihist ning statistilise meetodiga saadud tulemuste hajuvusest ning on muldel $E_{v2} \geq 120 + 0.68 \cdot s_{E_{v2}}$ st. kui mõõtmiste hajuvus (standardhälve) on suurem, on nõue kõrgem.

3. Plaatkoormuskatsete tulemused

Käesolevas töös koguti andmebaasi kõik 2017 aastal teostatud ja Maanteeametilt analüüsiks saadud plaatkoormuskatsete andmed. Kokku saadi 17 objektilt 337 katse andmed, millest 246 olid muldelt (sageli olemasolevalt muldelt, millelt oli kate eemaldatud), 51 drenkihilt ja 41 aluselt. Tegemist on hinnanguga kuna paljudel juhtudel polnud protokollis märgitud kiht vaid materjal, mistõttu pole võimalik üheselt kihti välja tuua.

Aluselt teostati katsed katsearuannete põhjal valdavalt freespuru pealt, mida ilmselt oli kasutatud aluse materjali kiilumiseks, üksikutel juhtudel (3) puudus märke freespuru kohta. Keskmine E_{V1} aluse pealt oli 56 MPa, E_{V2} 177 MPa ning E_{V2}/E_{V1} suhtarv 3.9. Sarnased tulemused on drenkihil märkega „killustik“ vastavalt E_{V1} 38 MPa, E_{V2} 148 MPa ning E_{V2}/E_{V1} suhtarv 4.8. **Saksa nõuetele tuginedes võib sellist kihti pidada antud suhtarvu põhjal sisuliselt mittetihendatuks.** Sõltuvalt sellise kihi all olevast materjalist võib praktikas õnnestuda kihi tihendamine kuid see võib lubjakivikillustiku puhul toimuda suuresti materjali purunemise arvelt. Vajaks selgitamist, kas selline kiht vastab tegelikult soovitudle.

Drenkihilt tehtud muud katsetulemused on E_{V1} osas võrreldavad aluse omadega – keskmiselt 57 MPa, E_{V2} osas on tulemused aga oluliselt madalamad, jäädes keskmiselt 147 MPa juurde ning E_{V2}/E_{V1} suhtarv on 2.6...2.7. See näitab, et materjali tihenemispotentsiaal (võrreldes killustikuga) on väiksem, samuti ilmselt ei purune selline materjal märkimisväärselt. Probleemne oli katsetulemus ühel objektil, kus tuvastati ühtlase terastikulise koostisega liiva kasutamine. **Ühtlase terastikulise koostisega liivade kasutamine vajaks edaspidi suuremat tähelepanu. Terastikulise koostise ühtluse hindamiseks on mulde ja drenkihi materjalidel edaspidi soovitatav nõuda efektiivdiameetrite d_{10} , d_{30} ja d_{60} ning lõimise- ja jaotustegurite määramist.**

Muldkeha puhul on E_{V1} keskmiselt 83 MPa, E_{V2} 186 MPa ning E_{V2}/E_{V1} suhtarv 2.4.

Keskmsed tulemused on koondatult toodud alljärgnevas tabelis. Seejuures võivad erinevused kohast sõltuvalt olla väga suured. Ilmselt mängib siin suurt rolli pinnase veesisaldus aga ka lõimise.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Tabel 6. Plaatkoormuskatsete keskmised näitajad kihtide kaupa

Kiht/omadused	Ev1 (MN/m ²)	Ev2 (MN/m ²) ²	Ev2/Ev1	Katseid
Muldkeha	85	192	2.4	210
Muldkeha (stabi)	78	182	2.5	23
Muldkeha (stabi/liiv)	84	192	2.5	13
Muldkeha keskmine	84	191	2.4	246
Alus (killustik/liiv)	46	196	4.6	2
Alus (freespuru)	52	173	4.0	34
Alus (kild)	120	230	2.0	3
Alus (freespuru/liiv)	41	148	3.7	2
Aluse keskmine	56	177	3.9	41
Dreenkiht	59	156	2.7	18
Dreenkiht (liiv)	61	140	2.6	25
Dreenkiht (killustik)	38	148	4.8	8
Dreenkihi keskmine	57	147	3.0	51
Keskmine	76	183	2.7	338

Keskmised näitajate kõrval pakub huvi näitajate varieeruvus, mida võib lihtsustatult vaadelda ka normaaljaotuse kaudu. Näitajate standardhälbed on koondatult toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 7. Plaatkoormuskatsete näitajate standardhälbed kihtide kaupa

Row Labels	StdDev Ev1 (MN/m ²)	StdDev Ev2 (MN/m ²)	StdDev Ev2/Ev1	Katseid
Muldkeha	44	80	0.8	210
Muldkeha (stabi)	27	34	0.8	23
Muldkeha (stabi/liiv)	27	30	1.0	13
Mulde keskmine	42	75	0.8	246
Alus (killustik/liiv)	15	15	1.8	2
Alus (freespuru)	31	66	1.5	34
Alus (kild)	37	42	0.4	3
Alus (freespuru/liiv)	14	24	0.7	2
Aluse keskmine	34	63	1.5	41
Dreenkiht	32	41	1.1	18
Dreenkiht (liiv)	36	43	1.3	25
Dreenkiht (killustik)	25	30	1.9	8
Dreenkihi keskmine	34	40	1.6	51
Keskmine	42	71	1.2	338

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Siit selgub, et kõige suurem varieeruvus on muldkeha materjalil kuid palju alla ei jää freespurust aluse materjali oma. Põhjuseid tuleb ilmselt otsida asjaolust, et neid katseid on ka kõige rohkem ja väga erinevatelt objektidelt, mistõttu tuleks põhjuseid otsida juba objektide andmetest. Kõige suurem E_{v2}/E_{v1} suhtarvu varieeruvus on killustikust aluste ja drenkihtide juures. Nähtavasti on just aluste tihendamine kõige komplitseeritum, sõltudes omakorda alloleva pinnase tihedusest, mis omakorda on sõltuv mulde niiskusraamist. Vähemtähtsad ei ole aluse enda tihendamise viisid, sh. kiilumiseks kasutatav materjal ja meetod ning tegelik tihendatus. Muidugi omab tähendust ka tihendatava kihi materjal. Lubjakivist killustikaluse tihendamise käigus muutuvad purunemise tagajärjel tõenäoliselt ka kihi omadused. Kuigi ka objektsiseselt võivad eeltoodud tegurid muutuda, peaks samal objektil olema kõige tõenäolisemalt sarnased tingimused, materjalid ja töövõtted, mistõttu on allolevas tabelis toodud välja mulde, aluse ja drenkihi plaatkoormuskatsete tulemused.

Tabel 8. Plaatkoormuskatsete keskmiste väärtuste jagunemine objektide kaupa

Objekt	Ev1 (MN/m ²)	Ev2 (MN/m ²) ²	Ev2/Ev1	Katseid
5	84	239	3.0	27
10	42	146	3.5	1
36	89	196	2.3	28
39	81	199	2.4	33
43	82	183	2.5	31
49	107	224	2.1	5
90	81	186	2.5	36
11392	25	143	3.2	4
13102	127	178	1.4	9
13103	94	150	1.7	21
13147	58	125	2.1	15
19203	88	180	1.9	13
11125	54	168	3.3	7
92	102	260	2.8	16
Mulde keskmine	84	191	2.4	246
5	35	146	4.7	22
55	88	237	2.8	8
11106	46	196	4.6	2
11392	120	230	2.0	3
19203	61	176	2.8	6

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Aluse keskmine	56	177	3.9	41
10	44	156	4.4	15
36	38	166	4.3	4
55	72	153	2.2	14
11260	74	131	2.1	18
11392	7			
Dreenihi keskmine	57	147	3.0	51

Hindamaks eelnimetatud eelduste paikapidavust, on allolevas tabelis välja toodud plaatkoormuskatsete näitajate ühtlus standardhälvena.

Tabel 9. Plaatkoormuskatsete standardhälbed

Objekt	StdDev Ev1 (MN/m ²)	StdDev Ev2 (MN/m ²) ²	StdDev Ev2/Ev1	Katseid
5	28	69	0.8	27
10				1
36	29	47	0.7	28
39	47	75	0.7	33
43	42	42	0.8	31
49	17	34	0.3	5
90	27	32	0.9	36
11392	21	8	0.0	4
13102	30	29	0.2	9
13103	46	67	0.3	21
13147	27	45	0.4	15
19203	51	82	0.2	13
11125	36	43	1.0	7
92	73	171	0.8	16
Muldkeha	42	75	0.8	246
5	18	40	1.3	22
55	23	21	0.8	8
11106	15	15	1.8	2
11392	37	42	0.4	3
19203	26	110	1.1	6
Alus	34	63	1.5	41
10	25	39	1.8	15
36	5	48	1.1	4
55	26	40	0.3	14
11260	34	38	0.8	18
11392	7			
Dreenkiht	34	40	1.6	51

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Allolevas tabelis on toodud välja need plaatkoormuskatseandmed muldel, kus oli kuni 100m kaugusel teostatud geoloogiline puurimine ning $E_{v2} < 100\text{MPa}$. Selliseid kohti oli kokku 12.

Tabel 10. Väikese E_{v2} mooduliga plaatkoormuskatsete geoloogiline taust

E_{v1} (MN/m ²)	E_{v2} (MN/m ²)	E_{v2}/E_{v1}	Kaugus plaatkoormuskatse kohast (m) ja kihid ning need paksused (cm) geoloogias
29	53	1.86	13m 93_Kruusliiv ja kruus/45_Tolmliiv/85_Kerge tolme liivsavi (moreen)
18	54	3.04	4m 74_Rohke liivaga möllikas kruus/3_Asfalt (vana teekate)/77_Kruusaga mölline peenliiv
54	66	1.24	0m 14_Kruus (mulle-jämepurd)/65_Jämepurd-Kruus (mulle)/20_Muld
29	77	2.67	0m 10_Rohke kruusaga möllikas keskliiv/5_Asfalt (vana teekate)/17_Kruusaga mölline keskliiv
37	80	2.17	0m 23_Kruus (mulle-jämepurd)/55_Jämepurd-Kruus (mulle)/30_Kruus (mulle-jämepurd)
38	81	2.15	35m 114_Kruusliiv ja kruus/30_Tolmliiv/85_Kerge tolme liivsavi (moreen)
20	89	4.50	4m 3_Õliga immutatud kruus/10_Kruusliiv (keskliivaga)/65_Mullasegune liiv
20	89	4.50	25m 18_Rohke liivaga möllikas kruus/5_Asfalt (vana teekate)/40_Rohke liivaga savikas kruus
44	91	2.05	0m 20_Liivane kruus/40_Liivaga mölline kruus/30_Muld
51	96	1.88	0m 30_Liivane kruus/35_Kruusaga mölline liiv/10_Muld
53	97	1.84	0m 22_Kruus (mulle-jämepurd)/45_Jämepurd-Kruus (mulle)/20_Kruus (mulle-jämepurd)
57	98	1.72	0m 24_Kruus (mulle-jämepurd)/20_Jämepurd-Kruus (mulle)/65_Kruus (mulle-jämepurd)

Kui üksikud erandid välja arvata, siis geoloogilistes uuringutes määratud kihinimetused ei anna selgust madalate kandevõime väärtuste põhjustele. Tõenäoliselt saaks sellele vastuse kui uurida nende kohtade veerežiimi. Geoloogiliste uuringute ajal valitsenud veerežiim ei pruugi neile põhjustele siiski viidata. Kui E_{v2} puhul võib üldistavalt öelda, et pigem on toodud tulemused katendiarvutustes toodud E-mooduli näitajatega kooskõlas, siis allolevas tabelis on toodud välja kohad, kus E_{v2}/E_{v1} suhtarv muldel viitab kihi puudulikule tihedusele, sõltumata kasutatud materjalist.

Tabel 11. Kõrge E_{v2}/E_{v1} suhtarvuga plaatkoormuskatsete geoloogiline taust

E_{v1} (MN/m ²)	E_{v2} (MN/m ²)	E_{v2}/E_{v1}	Kaugus plaatkoormuskatse kohast (m) ja kihid ning need paksused (cm) geoloogias
27	149	5.61	34m 33_Kruusliiv/90_Peenliiv/15_Mullane peenliiv

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

20	89	4.50	4m 3_Õliga immutatud kruus/10_Kruusliiv (keskliivaga)/65_Mullasegune liiv
20	89	4.50	25m 18_Rohke liivaga möllikas kruus/5_Asfalt (vana teekate)/40_Rohke liivaga savikas kruus
66	297	4.50	0m 20_Kruus/20_Tardkivi veeristik/175_Peenliiv
37	165	4.45	4m 92_Kruusliiv/30_Muld/45_Kerge saviliiv
40	168	4.25	17m 20_Kruusliiv/50_Keskliiv/25_Kruusliiv
39	161	4.17	0m 12_Kruus/5_Tardkivi veeristik/95_Keskliiv
37	153	4.16	50m 40_Kruus/20_Keskliiv/220_Kruus
38	151	3.98	8m 6_Õliga immutatud kruus/185_Jämeliiiv/115_Turbamuld/turvas
56	218	3.93	0m 21_Rohke kruusaga möllikas keskliiv/5_Asfalt (vana teekate)/25_Kruusaga möllikas keskliiv
30	118	3.90	29m 62_Kruusliiv/80_Peenliiv/60_Tolmliiv
48	182	3.78	29m 13_Kruusliiv/115_Keskliiv/25_Mullane peenliiv
55	207	3.78	0m 8_Rohke liivaga savikas kruus/12_Asfalt (vana teekate)/16_Kruusaga mölline keskliiv
84	313	3.72	0m 50_Kruus/15_Peenliiv/80_Kruus
111	412	3.70	0m 40_Kruus/30_Keskliiv/200_Kruus
58	207	3.59	32m 59_Kruusliiv/200_Keskliiv/40_Kruusliiv
176	626	3.56	0m 22_Rohke liivaga savikas kruus/7_Asfalt (vana teekate)/35_Kruusaga mölline keskliiv
63	223	3.55	0m 25_Kruus/20_Tardkivi veeristik/45_Peenliiv
90	313	3.47	100m 8_Kruus/10_Tardkivi veeristik/55_Kruus
42	146	3.46	0m 131_Savine keekliiv/30_Muld/70_Kruusaga ja rohke liivaga savimöll
63	218	3.46	25m 128_Kruusliiv (mulle)/40_Muld/55_Peenliiv
75	258	3.46	4m 75_Kruusliiv/15_Muld/80_Tolmliiv
47	163	3.43	29m 12_Kruusliiv/110_Peenliiv/5_Mullane peenliiv
46	153	3.30	16m 27_Kruusane jämeliiv/175_Kruusaga kerge saviliiv/25_Jämeliiv
56	183	3.30	67m 4_Õliga immutatud kruus/38_Kruusliiv (keskliivaga)/110_Jämeliiv
63	204	3.22	4m 15_Kruusliiv/108_Jämeliiv (mulle)/10_Muld
48	152	3.14	34m 24_Kruusliiv/25_Peenliiv/25_Kerge saviliiv
56	175	3.13	4m 39_Kruusliiv/70_Keskliiv/10_Muld
40	123	3.12	0m 48_Peenliiv/100_Kruus/125_Liivane savimöll
81	248	3.07	25m 44_Rohke liivaga möllikas kruus/5_Asfalt (vana teekate)/20_Rohke liivaga savikas kruus
18	54	3.04	4m 74_Rohke liivaga möllikas kruus/3_Asfalt (vana teekate)/77_Kruusaga mölline peenliiv
66	200	3.04	0m 45_Kruusane kerge saviliiv (mulle)/75_Kruusliiv (mulle)/25_Muld
82	248	3.04	43m 4_Õliga immutatud kruus/9_Killustik ja paesõelmed/85_Kruusliiv (keskliivaga)

Kuigi ka siit ei selgu kehvade tulemuste põhjused, võib neid aimata, kui keskenduda kohtadele, kus katse kaugus geoloogilisest tulbast on väike. Valdavalt on just neil juhtudel muldes ja selle all pinnased nagu: muld, kruusane kerge

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

saviliiv, rohke liivaga möllikas kruus, savine keskliiv, tardkivi veeristik, rohke kruusaga möllikas keskliiv, rohke liivaga savikas kruus, mölline peenliiv. Kokkuvõtvalt kihid, mis on tundlikud niiskusele, st. sõltuvalt tegelikust niiskuse režiimist võivad omada väga erinevat kandevõimet ja olla erineva tihedusega. Veelgi enam – nende kihtide kandevõime mõjutab ka peale ehitatavate kihtide, nt. drenkihi ja aluse tihendamist ja tihedust.

4. Täiendavad katsed

Täiendavad mõõtmised viidi läbi ühel 2017 aasta maantee remondiobjektidel drenkihi peal. Mõõtmised tehti ristlõikes 3 kohas, tee välisservas (1 m kaugusel) tähistusega P1, sõiduraja keskel tähistusega P2 ja tee kesktelje juures (1 m kaugusel) tähistusega P3.

Nimetatud kohtades viidi läbi plaatkoormuskatsed, mõõtmised kergete langeva raskusega seadmetega ja dünaamilise penetromeetriga ning proovivõtt lõikerõngaga ja laboratoorsed katsed.

Plaatkoormuskatsete eesmärk oli võrrelda katsetulemuste erinevust tee ristlõikes, hindamaks mõõtmiskoha mõju tulemustele.

Tehtud plaatkoormuskatsed näitasid, et stabiilseid kuid väga madalaid tulemusi (E_{v1} 14.0-14.3 MPa), sõltumata mõõtmiste paiknemisest tee ristlõikes. Madalad tulemused tähendasid ühtlasi seda, et katseid ei olnud võimalik standardse normaalpinge juures lõpuni viia ning need tuli katkestada. Saadud tulemused on sedavõrd madalad, et uute katsete tegemine väiksema normaalpingeni ei omaks sisulist mõtet.

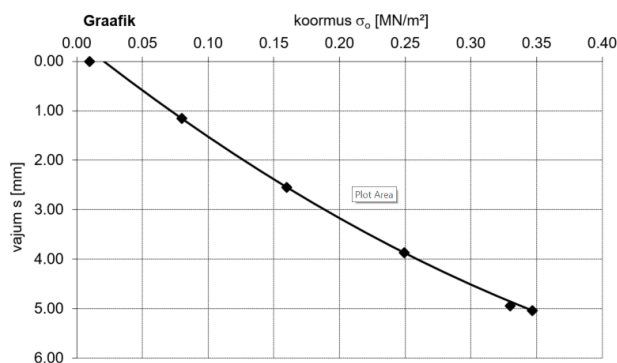
Tabel 12. Plaatkoormuskatse tulemused uuringukohas

Nr.	Kuupäev	Aeg	σ_{1max} [MN/m ²]	E_{v1} [MN/m ²]	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v2}/E_{v1}	Märkused
P2	10.08.2017	14:00	0.3467	14.30			
P1	10.08.2017	14:23	0.3495	14.10			
P3	10.08.2017	14:48	0.3293	14.00			

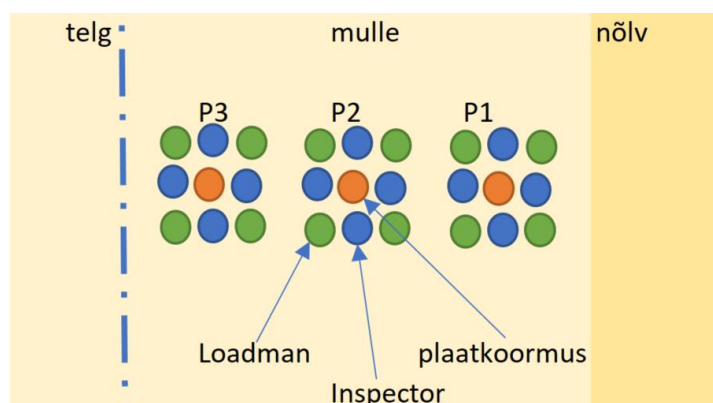
I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Tabel 13. Plaatkoormuskatse tulemused kohas P2

Nr	Koormus σ_0 [MN/m ²]	Vajum s [mm]
esimene koormamine		
1	0.0098	0.00
2	0.0798	1.15
3	0.1600	2.55
4	0.2494	3.87
5	0.3301	4.94
6	0.3467	5.04
koormuse vabastamine		
teine koormamine		



Kergele langeva raskusega seadmetega mõõtmiste eesmärk oli hinnata selliste seadmetega saadud tulemuste võrreldavust plaatkoormusseadme tulemusega, kihi ühtlust E-mooduli ja tihendusteguri ning variatsiooniteguri kaudu ja Eestis kasutatavate seadmete - Loadman ja Inspector mõõdetavate tulemuste omavahelist võrreldavust. Igas kohas tehti 4 mõõtmist kummagi seadmega, kokku 24 mõõtmist. Sama eesmärki täitis dünaamilise penetromeetriga mõõtmine.



Joonis 5. Mõõtmiste skeem

Tabel 14. Mõõtmistulemused Loadmani, Inspectori ja penetromeetriga

Nr	Koht	Seade	E1	E2	E6-8	E6-8/E2	TT
1	P1	Loadman	34	53	73.7	1.39	0.96
2	P1	Loadman	54	72	86.3	1.20	0.99
3	P1	Loadman	45	65	92.0	1.42	0.95
4	P1	Loadman	42	67	87.0	1.30	0.97
5	P1	Inspector	26	42	56.7	1.35	0.97
6	P1	Inspector	16	30	56.0	1.87	0.91

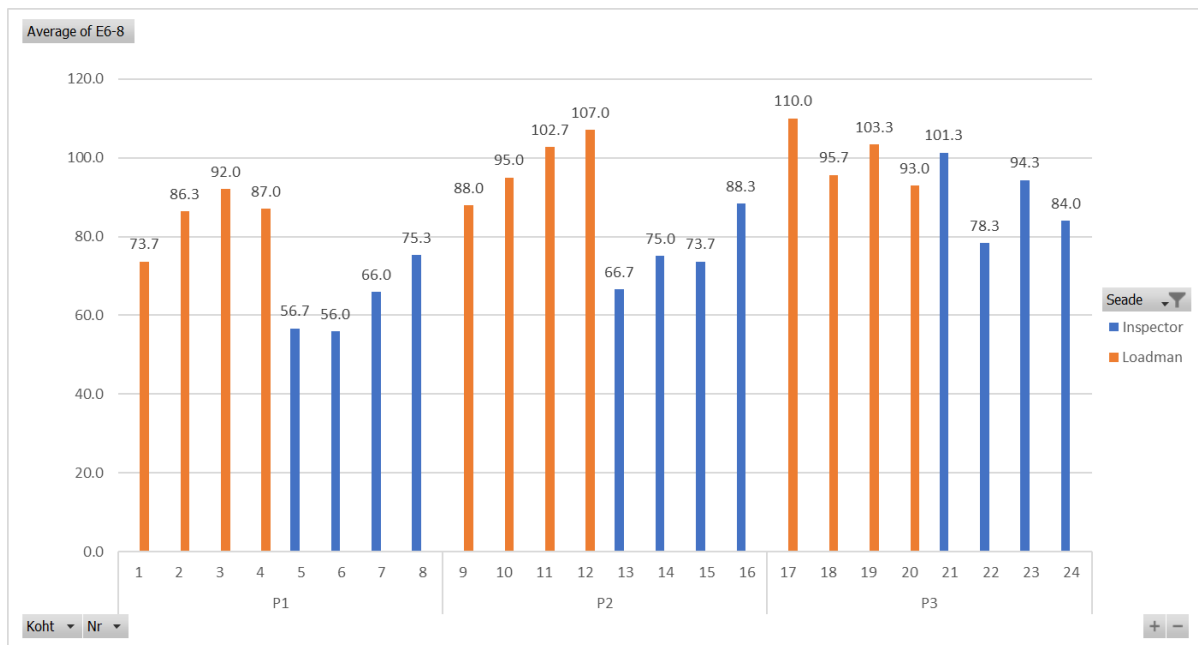
I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

7	P1	Inspector	26	47	66.0	1.40	0.97
8	P1	Inspector	33	44	75.3	1.71	0.93
9	P2	Loadman	33	57	88.0	1.54	0.93
10	P2	Loadman	36	69	95.0	1.38	0.96
11	P2	Loadman	34	40	102.7		
12	P2	Loadman	45	81	107.0	1.32	0.97
13	P2	Inspector	20	43	66.7	1.55	0.95
14	P2	Inspector	24	49	75.0	1.53	0.95
15	P2	Inspector	33	58	73.7	1.27	0.98
16	P2	Inspector	30	54	88.3	1.64	0.94
17	P3	Loadman	41	85	110.0	1.29	0.97
18	P3	Loadman	33	61	95.7	1.57	0.93
19	P3	Loadman	35	66	103.3	1.57	0.93
20	P3	Loadman	39	69	93.0	1.35	0.96
21	P3	Inspector	33	62	101.3	1.63	0.94
22	P3	Inspector	39	54	78.3	1.45	0.96
23	P3	Inspector	26	55	94.3	1.72	0.93
24	P3	Inspector	25	57	84.0	1.47	0.96
25	P1	Penetromeeter				6	0.91
26	P1	Penetromeeter				6	0.94
27	P1	Penetromeeter				8	0.94
28	P1	Penetromeeter				6	0.91
29	P2	Penetromeeter				8	0.94
30	P2	Penetromeeter				11	0.95
31	P3	Penetromeeter				11	0.95
32	P3	Penetromeeter				8	0.94

Allolevatelt graafikutelt on näha, et Loadmani ja Inspector seadme poolt mõõdetavad E-moodulid on mõnevõrra erinevad, samuti võib täheldada mõningast tendentsi E-moodulite vähenemisel tee välisserva suunas.

Üksikmõõtmiste vahel on näha erinevusi (varieeruvust), samas kohas tehtud mõõtmiste standardhälve jääb nii Loadmani kui Inspectori korral 10MPa piiresse.

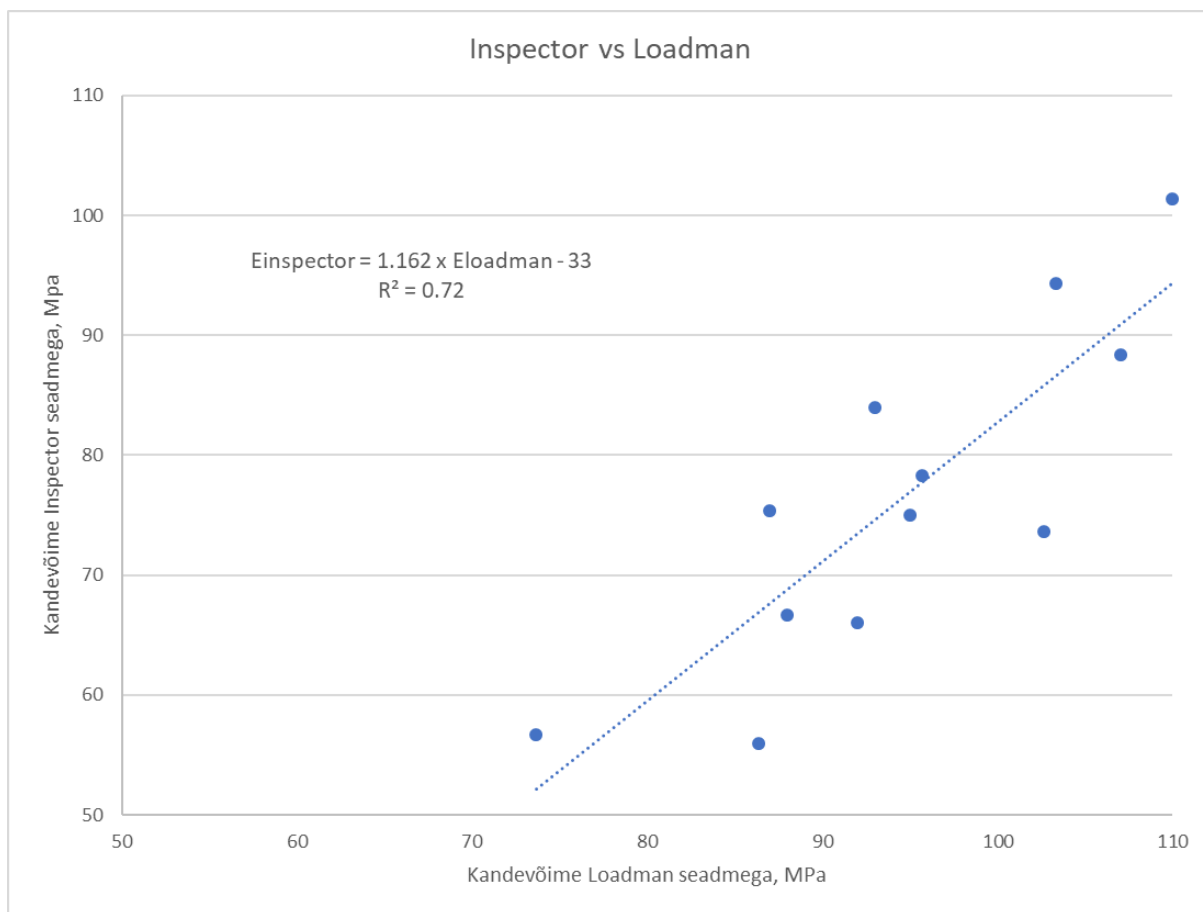
I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE



Joonis 6. E-moodulid (üksikmõõtmiste tulemused)

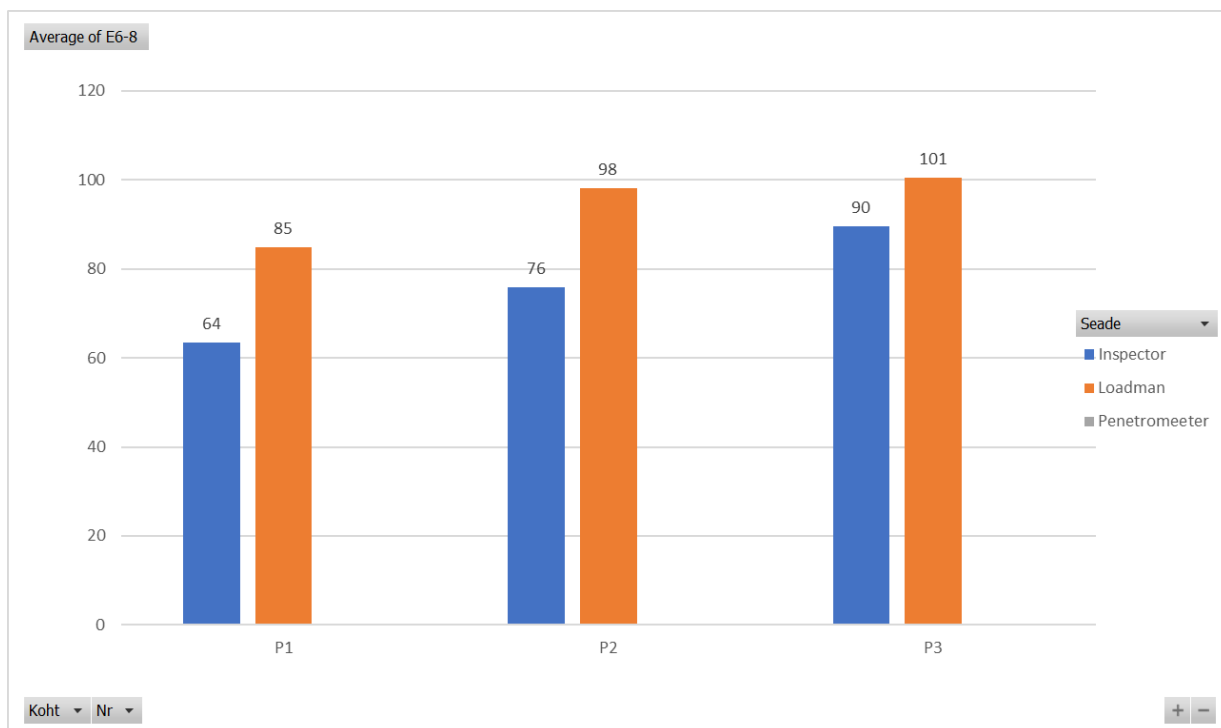
Iga koha keskmiste E-moodulite põhjal on näha, et Loadman seadmega mõõdetud E-mooduli väärtused on 10-20 MPa suuremad kui Inspector seadmega mõõdetud väärtused. Samuti on lihtne näha, et E-moodulite väärtused vähenevad tee välisserva suunas, jäädes tee välisservas 15-25 MPa väiksemaks tee keskel olevatest väärtustest. Saadud tulemuste põhjal saab välja tuua Inspector-ja Loadman-seadmega saadavate tulemuste võrdlemiseks ühtlaseteralistel liivadel esialgse seose, mis võimaldab erinevate seadmetega saadud tulemusi omavahel sarnastes tingimustes võrrelda.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

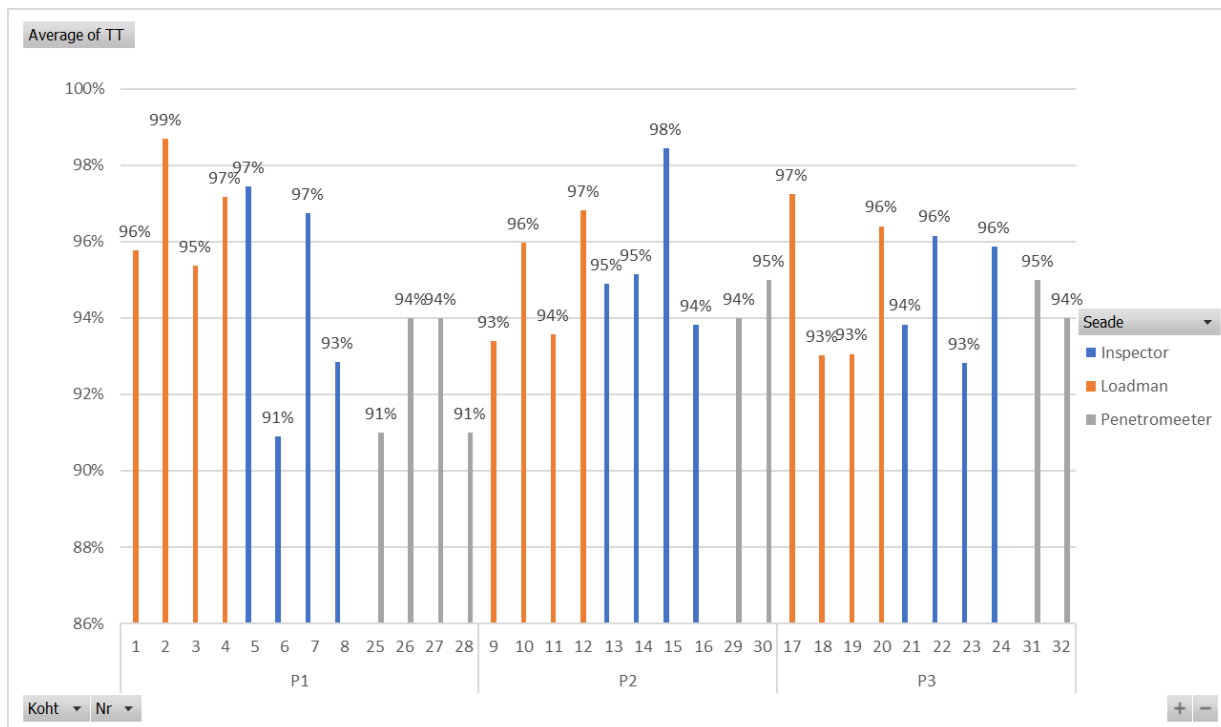


Joonis 7. Loadman ja Inspector seadmega saadud E-moodulite võrdlus ja üleminekuvõrrand

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

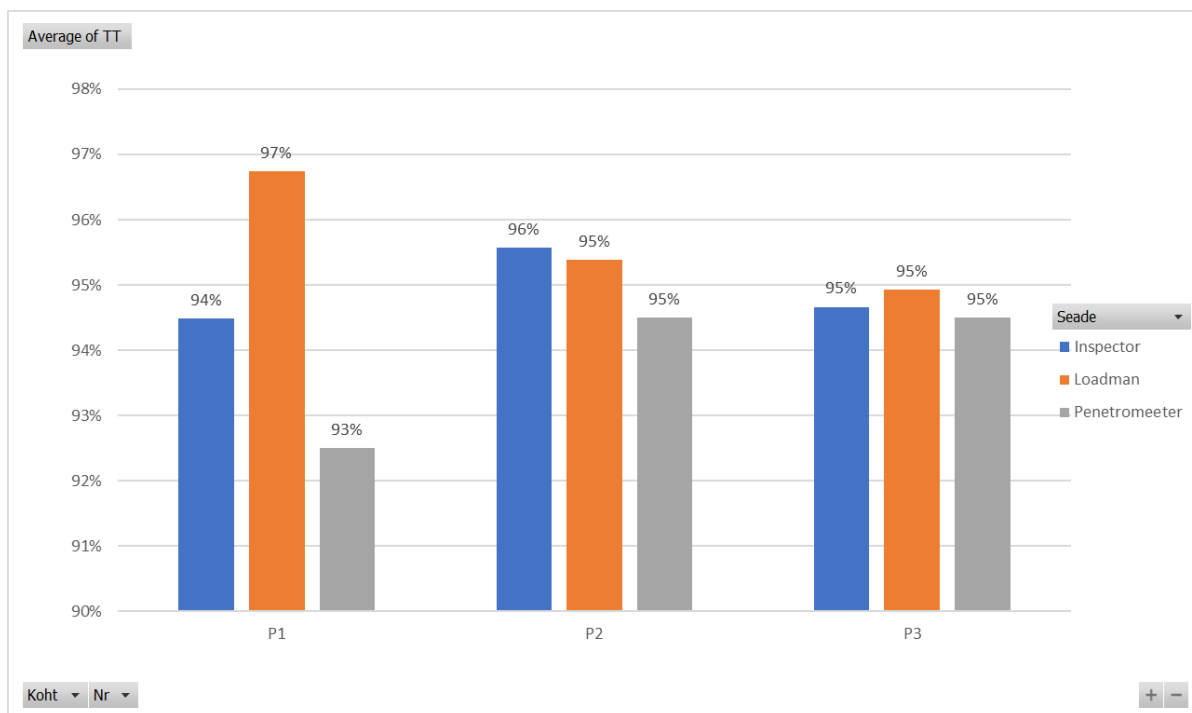


Joonis 8. E-moodulid (kohtade keskmised)



Joonis 9. Tihendustegurite võrdlus (üksikmõõtmised)

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE



Joonis 10. Tihendustegurite võrdlus (kohtade keskmised)

Materjaliproovid võeti samadest kohtadest ülemise 20-30 cm kihi materjalist ning määrati materjali lõimis, jaotustegur (kõverategur) Cc ja lõimisetegur Cu, kuivtihedus (mahumass), niiskussisaldus, optimaalne niiskusesisaldus, maksimaalse kuivtihedus (standardne Proctor), ning tihendustegur, samuti määrati filtratsioonimoodul. Katsetulemused on esitatud katseprotokollis ning koondatult allolevates tabelites.

Tabel 15. Objektilt võetud proovide tulemused

Omadus	P1	P2	P3	Keskmine
Filtratsioonimoodul, K_{10} (m/ööp)			0.7	0.7
Keskmine mahumass, Mg/m³	1.54	1.44	1.54	1.51
Keskmine veesisaldus, w (%)	6.8	13.7	9	9.83
Maksimaalne kuivtihedus, p_d (Mg/m³)	1.72	1.64	1.705	1.69
Optimaalne veesisaldus, w_0 (%)	13.4	13.8	13.75	13.68
Peenosiste sisaldus (<0,063), f (%)			3.1	3.1
Tihendustegur (filtratsioon)			1.02	1.02
Tihendustegur D_{pr} %	90%	88%	90%	89%

Tulemustest on näha proovide veesisalduse suur erinevus, arvestades proovitatud ala väiksust (katseprotokollist võib näha veel ka iga proovivõtukohta veesisalduste

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

suurt varieeruvust). Võetud proovidest määrati täies ulatuses vaid 1 terakoostis, kuid võib arvata, et erinevate veesisalduste põhjuseks on erinevate proovide erinev peenosise sisaldus, mis ilmselt avalduks ka üksikproovide filtratsioonitegurites.

Tabel 16. Terastikuline koostis ja lõimise ning jaotustegur

Omadus	Tulemus	d60	0.36
64	100	d30	0.21
32	97	d10	0.14
16	93	Cu	2.54
8	91	Cc	0.90
4	89		
2	88		
1	86		
0.5	78		
0.25	38		
0.125	7		
0.063	3.1		

Jämedateralise pinnase ühtlust saab hinnata EVS-EN ISO 14688-1:2002 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 kohaselt lõimiseteguri C_u ja jaotusteguri C_c järgi:

$$C_u = d_{60}/d_{10}$$

$$C_c = d_{30}^2/(d_{10} \cdot d_{60})$$

Teostatud katse kohaselt on lõimisetegur C_u $2.54 < 6$ ja jaotustegur C_c $0.90 < 1.0$, mis tähendab, et mõlema näitaja järgi on tegemist ühtlaseteralise pinnase/materjaliga, mis on heade filtreerivate omadustega materjali (filtratsioonitegur $K_{10} = 0.7$ m/ööp) puhul ootuspärane.

Kuigi plaatkoormuskatse tulemuste sõltuvus koha paiknemisest tee ristlõikes ei leidnud kinnitust, olid saadud tulemused äärmiselt väikesed, viidates suurele lokaalsele, drenkihi piires toimunud läbivajumisele, mistõttu tee alumiste kihtide mõju ja pinnase/mulde vastusurve ei pääsenud mõjule. Käesolevas töös tehtud katseid on suuremate üldistuste tegemiseks selgelt liiga vähe kuid tulemused ja tendentsid on üldiselt ootuspärased ning töö alguses püstitatud hüpoteesid on vähemalt käesolevas töös suuresti kinnitust.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel“ ARUANNE

5. Võrdlus KAP'ga

Arvutuste tegemiseks oli algselt valitud välja järgmised 5 objekti, igas 5 geotulba kohta kus on tehtud plaatkoormuskatsed ja ka projektikohased katendiarvutused kuid arvutuste käigus selgus, et kui lähtuda üksnes projektis toodud katendiarvutustest ja geoloogilisel profiilil toodud infost, jäävad need arvutused pealiskaudseks, sest ei sisalda reeglina piisavalt usaldusväärset infot tegeliku veereziimi (nt. pinnasevee kõrgust) kohta konkreetses kohas. Seetõttu piirduti näitlike arvutustega vaid 2 kohas – maantee 49 pk 483+50...489+50 ja maantee 55 pk 3+00...12+50. Aluseks võetakse olemasolev katendiarvutus ja kontrollitakse seda 5 erinevas geotulba kohas vastavalt tegelikele pinnastele ja nende paksustele.

Maantee 49 objekt

Kuna plaatkoormusmõõtmised on tehtud mulde pealt, keskendub ka katendiarvutus just muldele. Allolev teoreetiline arvutus näitab, et E-moodul KAP'is sõltuks suuresti kasutatavast kihipaksusest, kuid viimaseid ei saa rakendada, sest kriitiliseks muutuvad nihkepinged aluses. Arvutused on toodud aruande lisa x.

PK	Katendi kiht	Kihi paksus	Katendi E	Ev1 (MN/m ²)	Ev2 (MN/m ²)	Ev2/Ev1	KAP E-üld (muldel)
Projektis		49					93
489+50	Kruusliiv ja jämeliiv	90	91	134	274	2.04	250
487+50	Kruusliiv ja jämeliiv	102	91	97	244	2.51	282
485+50	Kruusliiv ja jämeliiv	110	91	99	209	2.12	302
483+50	Kruusliiv ja jämeliiv	180	91	112	192	1.72	485

Maantee 55 objekt

Kas siin tehtud arvutused näitavad eelmisega sarnast tendentsi.

PK	Katendi kiht	Kihi paksus	Katendi E	Ev1 (MN/m ²)	Ev2 (MN/m ²)	Ev2/Ev1	KAP E-üld (muldel)
Projektis		25	91				93
3+00	Muldkeha	59	91	101	186	1.84	107
6+00	Muldkeha	98	91	77	204	2.65	272
8+00	Muldkeha	168	91	79	162	2.05	443

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

12+50	Muldkeha	115	91	85	170	1.99	313
--------------	-----------------	------------	-----------	-----------	------------	-------------	------------

Need arvutused näitavad ka, et kihtide paksust ei saa lõpmatuseni suurendada ja sellega E-moodulit kasvatada. KAP'iga ei saa võtta arvesse ja arvutada E-moodulid paksude katendikihtidega, seetõttu võetakse paksem muldekiht aluspinnaseks. Alloleval arvutuslehel on näidatud Maantee 55 koormuse näitel, et mulde paksusel 115 cm on nihkepinged aluspinnases 120% varuga tagatud ning E-üld 532 MPa. Veidi allpool on mulde paksust suurendatud 5 cm, mille tulemusena E-üld mulde peal kasvab 549 MPa'ni kuid nihkepingete varu muutub juba 22% negatiivseks.

Hinnanguliselt on mõeldav lähtuda nõutud E_{v2} määramisel katendiarvutusest. Seda põhimõttel, et E_{v2} muldel peab tagama etteantud katendiga arvutusliku E-vajaliku. Seega tuleks projekteerijal katendiarvutuste põhjal eraldi välja tuua E-vajalik mulde peal ja drenkihi korral drenkihi peal ilma E-üld varu arvestamata, st. tuleks välja tuua E-vajaliku saavutamiseks vajalik minimaalne E-üld muldel. Näiteks juhul kui E-vajaliku 180 MPa saavutamiseks katendil on valitud katendiks on AC surf 3+1cm + ACbase 4 cm + paekillustik 20 cm, tuleks saavutada E_{v2} minimaalselt 110 MPa sõltumata kasutatavast pinnasest või materjalist. Üldjuhul ei ole samal objektil vajalik/otstarbekas projekteerida erinevaid katendeid, va. Liikluskoormuse järsu muutumise kohtades.

Tabel 17. Näitlik katendiarvutus. Arvutuslik minimaalne E_{v2} nõue muldel.

Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast- susmoodul E_{kv} arvutamiseks	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe- pinged R_{max}	Lubata- vad tõmbe- pinged R_{lub}	Sise- hõõrde- nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Tihe asfaltbetoon AC 16 surf	3.0	2400	1200	3600					
2	Poorne asfaltbetoon AC 20 base	4.0	1400	800	2200	1.4835	2.3232			
3	Paekillustik (LA≥35)	20.0	240							
ALUS	F - kruusa- või killustikusegu E-110		110.0					36.0	0.020	7.0

ARVUTUSE TULEMUSED

ARVUTUSE TULEMUSED									
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja			Üldine elastus- moodul MPa	Vajalik elastus- moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv	
			Kriteerium	Nihkepinged MPa					Varu %
				t _{3rv}	t _{lub}				
			Üldine elastusmoodul			6.6%	180.36	180.00	
1	Tihe asfaltbetoon AC 16 surf	3.0					180.36		
2	Poorne asfaltbetoon AC 20 base	4.0	Asfaltbetooni tõmbepinged			36.1%	171.10		
3	Paekillustik (LA≥35)	20.0					151.97		
	F - kruusa- või killustikusegu E-110		Nihkepinged aluspinnasel	0.0343	0.1077	68.2%			-
	Katendi kogupaksus	27.0					Parandustegur A		

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Kuna katend arvutatakse kevadisele nõrgimale olukorrale, ei ole Ev2 nõude täitmine üldjuhul raske. Tõenäolisimalt tekivad probleemid olukordades, kus ei ole õnnestunud tagada katendiprojektis pinnasevee taseme kaudu arvestatud veereziim (sõltumata selle põhjustest) või ei kajasta mõõtmiste kohas tegelikult paiknevad pinnased katendiarvutustes arvestatud pinnast (on arvestatud tugevam). Nähes plaatkoormuskatsete tulemuste suurt varieeruvust on üsna selge, et rekonstrueeritavate teede olemasolevad mulded ei ole kuigi ühtlased, ning katendiarvutustes tuleb paratamatult võtta mingi tunnetuslik keskmine ehk teha kompromiss. Sellel kompromissil on aga kaks tagajärge – kohati liiga tugev ja, mis veel halvem kohati liiga nõrk katend ning see avaldab konkreetset mõju katendi elueale tulevikus – katendi lagunemine algab just nendest aladimensioneeritud kohtadest.

Seetõttu ei ole küsimus selles, kas plaatkoormuskatse kasutamine on põhjendatud kuid probleem on selles, kuidas tagada soovitud tulemused – soovitud kandevõime mulde või drenikihi peal. Lahenduste otsimine ehitamise etapis on enamasti liiga kallid ning ajamahukad, st. vajadus on tuvastada probleem ja leida lahendused juba projekteerimise faasis. Eeldades, et täna on projekteerimise faasis leitud lahendused piisavad, saab seniste tulemuste alusel seada piirväärtused (vähemalt indikatiivsed), arvestades küll katendiarvutustes nõutavat kuid lisades võimaluse hõlbida tulemustes „allapoole“.

Selleks on soovitatav rakendada piirväärtusi koos kvantiilidega, mis võimaldavad leida kvaliteediarvu, milles omakorda on arvestatud, et tulemuste nõuetelevastavus ei pea olema 100%-ne.

Nagu eelnevalt on selgunud, puuduks drenikihi ühtlaseteralistest liivadest rajatud drenkihtide võrdlus mõte kuivõrd tulemustes on väga suured erinevused. Tüüpiliselt on sellise drenikihi peal arvutuslik E-moodul 70...90MPa, paatkoormuskatse korral küünivad aga Ev1 väärtused harva üle 20 MPa, mistõttu katse tuleb katkestada ning mille puhul Ev2 saamine 80 MPa suurusjärku tähendaks Ev2/Ev1 suhet üle 4.0. Viimane omakorda viitab äärmiselt madalale tihendustegurile, arvatavasti vahemikus 80...90%, kui püüda tuletada seda kaudselt Saksa juhendistes toodu väärtustest Proctor-tihedusele 97...100%. Usaldusväärsete järelduste tegemiseks tuleks kaasata rohkem andmeid.

6. Tähelepanekud katsearuannetes

Teostatud plaatkoormuskatsete aruannete analüüsil selgus, et nendes esines mitmeid puudusi, mis võivad põhjustada saadud tulemuste väärat tõlgendamist ning on edasiseks analüüsimiseks kasutud. Seetõttu on oluline, et toodud puuduste likvideerimiseks saaksid kehtestatud asjakohased nõuded. Sama oluline on jälgida nendest nõuetest kinnipidamist.

Katsearuannete puudused

Peamised puudused on toodud välja allpool ning püütud hinnata ka tekkimise võimalikke põhjuseid. Põhjuste teadmine annab võimaluse rakendada meetmeid nende vältimiseks.

1. Puudub või on eksitavalt kirjeldatud tarindikihi nimetus. Näiteks on katsearuannetes toodud ainult materjali nimetus „kruus“ või „paekillustik“. Selliste nimetuste puhul ei viita nimetus üksi piisavalt kindlalt kihile, mida katsetati. Viimane on aga just oluline, et hinnata tarindi nõuetekohasust, kuna mulde, drenikihi ja aluse peal olla erinevad nõuded.
2. Puudub või on eksitavalt kirjeldatud tarindikihi materjali nimetus. Näiteks „freespuru“. Selline materjal ei ole tavapärane kihi materjal. Tõenäoliselt on antud freespuru veetud välja eesmärgiga kasutada seda stabiliseerimises. Sellisel juhul tekitab küsitavusi sellise kihi mõõtmise mõttekus.
3. Puudub või on eksitavalt kirjeldatud katse tegemise koht: koht tee piki ja põhisuunas ning, kas katse on teostatud vahetult kirjeldatud kihi peal või süvendis (nt. läbi ülevalasuva kihi ning millisel tasapinnal paiknes seade – kas ülemise kihi või katsetatava kihi peal. Piki teed koha märkimisega teedel enamasti probleeme ei teki kuna teedel on reeglina väljamärgitud piketaaz (sageli küll hooldamata ja teepealt mitte nähtavad). Põiki teed on kasulik märkida ligikaudne asend tee telje suhtes, nt teljest 2m paremal vms. Platside ja tähistamata objektide puhul lihtsustab asukoha kirjeldamist GPS-koordinaat (sõltuvalt asukohast viga võib olla siiski väga suur).
4. Puudub või on eksitav info ilmastikutingimuste kohta. Eesti kliimas on oluline teada katse toimumisel valitsenud tingimusi, temperatuur, tuul, sademed, päike jms. Samuti on oluline lisada märkus mõõtmisele eelnenud

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

erakorralistele oludele, nt. eelnevate külmakraadide või rohkete sademete kohta, mis võivad avaldada mõju pinnaste mõõtmistulemustele.

5. Eksitav teave. Mitmetes katsearuannetes oli ebaselgeid või võõrkeelseid väljendeid või sõnu. Näiteks märges „excavation“ või koguni „exc.“ – võib tähendada nii seda, et katse teostati süvendis (mitte muldes), truubi jaoks kaevatud süvendi põhjas, ülakihti tehtud „augus“ vms. Lahendused on selgitatud eespool.
6. Muud puudused. Ebaselge objekti kirjeldus, puuduv info: viide katsestandardile, katse läbiviija, katse tellija, kuupäev ja kellaaeg.
7. Seadme väljatrükid. Need on ideaalsed töövahendid objekti kvaliteedi vahetuks kontrollimiseks ja otsuste tegemiseks kuid dokumenteerimiseks ja analüüsiks on nendel peaaegu alati eelnimetud probleemid garanteeritud.

Üldise märkusena tasub välja tuua, et katsestandard reguleerib ainult katse läbiviimist valitud kohas aga ei reguleeri katsetega seonduvat protseduuri – koha valikut, katsete mahtu, katsetingimuste ja tulemuste kirjeldamist jms. Seega on teoreetiliselt võimalik, et ühe konkreetse katse tulemust jäävad kirjeldama vaid see näitaja või näitajad mis on tellitud ja kirja pandud.

Vastutus oluliste näitajate katsearuandesse saamise eest lasub katse tellijal. Töövõtjast sõltumatu mõõtja ei pruugi teada kihi tegelikku nimetust ega muid tulemuste hindamiseks olulisi näitajaid, selles olevat materjali ega isegi asukohta ning katsed kirjeldatakse nii nagu tellija seda soovib. **Seega on vajalik koostada juhend, mis kirjeldab nõudeid plaatkoormuskatsetele. Allpool on kirjeldatud mõned sätestamist vajavad elemendid.**

Nõuded plaatkoormuskatsete aruannetele

Üldine põhimõte on, et katsearuanne sisaldab endas kogu informatsiooni töö kvaliteedi hindamiseks (olemasoleva kihi korral sisuliselt algolukorra hindamiseks):

1. Viide katsele: plaatkoormuskatse, viide plaadi diameetrile, viide katsestandardile
2. Plaatkoormuskatse tellija andmed

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

3. Mõõtja ettevõtte, katse läbiviija ja ning kontrollija andmed, kasutatud seade, läbiviimise kuupäev ja kellaaeg
4. Andmed objekti ja mõõtmiskoha kohta (teedel km või pk ning paiknemine tee ristlõikes, nt. telje suhtes), katsesügavus (katseseadme paiknemine mõõdetava kihi suhtes, katsetatava kihi nimetus ning materjali nimetus (mitme materjali korral kihis nimetada kõik), vajadusel märkusena viide erakorralisele katsele (nt. vahemõõtmise korral, mis pole teostatud vastuvõtmiseks esitatava tarindikihi – mulle, drenkiht, alus - pealt)
5. Iga katse mõõtmistulemused: E_{v1} , E_{v2} , E_{v2}/E_{v1} ning iga koormamise andmed (normaalpinge ja vajum) tabelina ja graafiliselt
6. Plaatkoormuskatsete koondtabel
7. Arvutada kvaliteediarv, näidata nõutud minimaalne E_{v2} ja maksimaalne E_{v2}/E_{v1} kvantiil ning tuua välja kvaliteediarv: $Q=.....$
8. Katse eest vastutava isiku allkiri ja aruande kuupäev

Muud soovitused

2017 läbiviidud mõõtmistel tehti aeg-ajalt mõõtmisi olemasoleva mulde pealt või väljakaevet, mis ei olnud (ei jäänud) kihi pinnaks. Samas ei eristatud neid mõõtmisi ka kihi pinnalt tehtud mõõtmistest. Näiteks oli olukordi kus olevale muldele veeti pärast mõõtmisi peale veel tasanduskiht 0-50cm pikiprofiili korrastamiseks, mille pealt uusi mõõtmisi kas ei tehtud või ei ole need andmetest selgelt eristuvad. Näiteks teha nende mõõtmiste juurde märke „erakorraline“, mis viitab mõõtmise erandlikule iseloomule kuivõrd ei ole teostatud kihi (nt mulle) lõppkõrguselt.

Rekonstrueeritavate teede puhul vajab põhjalikumalt käsitlemist, kuidas tagada nende piisav kandevõime ja millised instrumendid on töövõtja käsutuses puuduliku kandevõimega piirkondade tuvastamises ja parendamises ning vastutuse mõistlikus jagamises. Ühelt poolt peab töövõtja kindlustama, et mulde pealt oleks tagatud nõutud kandevõime, teisalt on võimalik, et see pole tellija poolt ette antud projektse lahendusega ja ettenähtud materjalidega saavutatav põhjusel, et olemasoleva mulde kandevõime on liiga madal ja/või vett täis vms. Töövõtjal peab olema võimalik selline olukord tuvastada ja teha ettepanek lahendamiseks, samas peab tellija suutma hinnata uue lahendusega kaasnevat ettenägematut kulu.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Lühidalt vajab rekonstrueeritavate teede puhul lahendamist, kuidas mõistlikult jagada vastutus tee kandevõime saavutamise eest. Seni tuleks mõõtmisi jätkata plaatkoormuskatsete tegemist ja andmete analüüsimist. Edaspidi tuleks mõelda kuidas analüüsi juurde võtta katte pealt teostatud mõõtmiste andmed.

Täiesti uute ehituste korral tuleks kindlasti sisse viia ettevalmistatud (tihendatud) aluspinnase plaatkoormuskatsed suhteliselt tiheda sammuga, et veenduda aluspinnase piisavas kandevõimes. Saksa normides loetakse aluspinnase piisavaks kandevõimeks 45 MPa, mille mittesaavutamisel aluspinnas tugevdatakse (tsement, lubi, tuhad, polümeerid). Eestis ei ole selline lähenemine olnud tavapärane kuid lähenemisel on mitmeid eeliseid. Teede kihtide ehitusel on oluline jälgida, et oleks alati tagatud vee väljumise võimalus muldest, mis tähendab, et vettpidavamate kihtide ülapind on alati rajatud kaldega tee serva suunas. Nõrkade aluspinnaste korral on tõenäoline, et vajalikku põikkallet praktikas ei saavutata või see hävitatakse juba järgmise kihi ehitamisel, sama kehtib ka mulde laiendamise korral.

Kandevõimenõude sisseviimine aluspinnastele on mitme-etapiline protsess. Kõige lihtsam on mõõtmise nõude sisseviimine – selleks on vajalik kokku leppida vaid mõõtmiste protseduur – maht ja kohad (juhuvalim+puuraukude kohad?) ning vajadusel andmete kirjeldamine, kindlasti aga käsitlemine/kogumine ja edastamine analüüsiks. Esmane soovitus ongi viia koostada mõõtmisprotseduur, hakata mõõtmisi tegema ning koguda andmeid ja kaardistada tekkinud probleemid ning hinnata edaspidi hinnata, kas aluspinnaste mõõtmistega jätkata või mitte. Keerulisem osa on mulde ehituse nõuete täpsustamine ja nendest kinnipidamise tagamine. On suur oht, et tööde käigus paisatakse nõrk aluspinnas segamine aga tagata vajalikku põikkallet külgkraavi suunas. Üheks probleemiks võib kujuneda aluspinnaste ettevalmistuse toimumine talvel, mil pinnase külmunud olles ei saadaks objektiivset tulemust. Teiseks takistuseks võivad osutuda vee alla jäävad pinnad, mille ettevalmistamine ja seega mõõtmine ei ole ilma esmase muldekihi rajamiseta või veetaseme alandamiseta võimalik. Need vajavad tehnoloogilisi lahendusi. Mõõtmised peavad ainult kinnitama lahenduste sobivust.

Katseandmete operatiivne analüüs. Katseandmed viidi tellijalt saabudes koheselt andmebaasi ning tehti esmane analüüs ning anti operatiivselt tagasisidet,

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

kogunenud andmetest, tekkinud seostest, probleemidest mõõtmistel ning anti soovitused, nt. plaatkoormuskatsete suunamiseks sobivamasse kohta (geoloogiliste puurtulpade asukohta). Samas on mõistetav, et keset hooaega on nende soovituste siseseviimine mitte küll võimatu kuid üsna keeruline, samuti toimus info liikumine mõningase viitega, mistõttu sageli oli „operatiivse“ tagasiside ajaks kõik plaatkoormuskatsed objektile juba teostatud.

Plaatkoormuskatse nõuete kujundamine Eesti tingimustesse.

Saksa nõuded plaatkoormuskatsete tulemustele võiks Eesti kihtide jaoks sobitatuna ja üldistatuna välja näha sellisena:

Tabel 18. Saksamaa nõuete lihtsustatud tõlgendus

Nõuded kihile pinnal	>1.5mln standardtelge		<1.5mln standardtelge	
	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v2}/E_{v1}	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v2}/E_{v1}
Kivisillutise all	$\geq 150 \dots 180$	≤ 2.2	$\geq 120 \dots 150$	≤ 2.5
Katte all	$\geq 100 \dots 120$	$\leq 2.2 \dots 2.5$	≥ 100	≤ 2.5
Muldel	≥ 100	≤ 2.5	≥ 100	≤ 2.5
Aluspinnasel	≥ 45 (70)	-	≥ 45 (70)	-

Kõige ebatõenäolisemalt sobituvad sellisesse tabelisse seniste kogemuste põhjal fraktsioneeritud killustikust alused ning ühtlaseterastikulised liivad. Indikaatorina võiks eeltoodut siiski rakendada. Võimaluse korral tasuks mõõtmistel rakendada ka kvaliteediarvu Q , 10% kvantiilide juures.

7. Kohtumine Saksamaa ekspertidega

Töö raames korraldati kohtumisi Saksamaa ekspertidega Skype teel Saksa plaatkoormuskatsete rakendamise praktikaga tutvumiseks. Selleks kohtuti järgmiste ekspertidega:

- Dipl.-Ing. **Holger Kosin** M.Eng. ASPHALTA Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH
- Dipl.-Ing. **Matthias Weingart**, Anix GmbH

Kohtumisel käsitleti järgmisi punkte:

1. Plaatkoormuskatsete tegemise õiguste litsentside andmine
2. Saksamaal plaatkoormuskatsetes kasutatav juhendite raamistik
3. Praktilised näited juhendite rakendamiseks

Kohtumiste tulemusi on kasutatud käesolevas töös Saksamaa praktika kirjeldamisel peatükis 2 - Teiste riikide nõuded. Saksamaa.

8. Kehtivate nõuete analüüs

Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise (2015) peatükk 4 „Mulde ja drenkihi ehitamine" sätestab järgmist:

4.18 Paigaldatud ja tihendatud täitepinnase ja täitematerjali kandevõime peab vastama katendiarvutustes toodud näitajatele. Kuna kandevõime määramine LOADMAN- või INSPECTOR tüüpi seadmega ei ole mõeldud näitamaks katendiarvutustes toodud kandevõime väärtusi, siis tuleb vajadusel hinnata kandevõime vastavust katendiarvutusele plaatkoormus katsega DIN 18134.

4.19 Muldkeha ja drenkihi tihedust kontrollitakse LOADMAN-või INSPECTOR-tüüpi seadmega elastsusmoodulite suhte mõõtmise teel. Katendiarvutustes kasutatud elastsusmoodulite määramiseks ei sobi LOADMAN- või INSPECTOR tüüpi seade ja sellega ei mõõdetata ei aluspinnase, mulde ega drenkihi pinnal vastavat elastsusmoodulit. Katendiarvutuses ettenähtud vastava kihi kandevõimet saab kontrollida plaatkoormuskatsega DIN 18134 ja see ei tohi olla väiksem katendiarvutuse projektis ettenähtud vastava kihi kandevõime nõutavast väärtusest.

Arvestades plaatkoormuskatse uudsust ja kasutuskogemuse vähesust on ettepanek mitte loobuda mõõtmistest kergetest kandevõime seadmetest KKS (vt. selgitus allpool) ning lisada kogemuste saamiseks nõue plaatkoormuskatse teostamiseks, samuti tuleks kustutada kordused ning asendada viidatud standard EVS 934:2016'ga:

4.18 Paigaldatud ja tihendatud täitepinnase ja täitematerjali kandevõimet hinnatakse kerge kandevõime seadmega (KKS)², nt. Loadman või Inspector, määrates E-mooduli EKKS³ ja plaatkoormuskatsega⁴ EVS 934:2016 kohaselt, määrates E_{v2} . Mõõtmised viiakse läbi kihi (mulle ja drenkiht) pealt. EKKS peab kihi pinnalt mõõdetuna vastama kehtestatud nõuetele ja E_{v2} peab kihi pinnalt

² KKS - kerge langeva raskusega kandevõime mõõtmise seade

³ EKKS - 8'ist mõõtmisest koosneva mõõteseria 3 viimase mõõtmise keskmine E-moodul

⁴ plaatkoormuskatsega mõõtmise vajadus tekkis kuna kandevõime määramine KKS'ga ei ole mõeldud näitamaks katendiarvutustes toodud kandevõime väärtusi

mõõdetuna olema võrreldud katendiarvutustega leitud minimaalse E-mooduliga vastava kihi pinnal.

4.19 Muldkeha ja drenkihi tihedust kontrollitakse KKS'ga elastsusmoodulite suhte mõõtmise teel. Lisaks hinnatakse tarindi tihendatust plaatkoormuskatsega suhtarvu E_{v2}/E_{v1} alusel. Mõõtmised viiakse läbi kihi (mulle ja drenkiht) pealt. EKKS peab kihi pinnalt mõõdetuna vastama kehtestatud nõuetele ja E_{v2}/E_{v1} peab kihi pinnalt mõõdetuna olema võrreldud etteantud tihendustegurile vastava E_{v2}/E_{v1} väärtusega.

Saksamaa eeskujul tuleks plaatkoormuskatsete tulemuste hindamiseks ette näha ka kvaliteediarvu Q leidmine, andes E_{v2} ja E_{v2}/E_{v1} puhul ette nõude koos vastavalt miinimum- ja maksimumkvantiiliga (tavaliselt 10%). See eeldab, et plaatkoormuskatseid viiakse läbi ja hinnatakse mitte ainult üksikatsena vaid ka „üleantavate“ alade kaupa kusjuures katsete arv ala kohta on ette antud. Hetkel on Maanteeameti juhistes ette nähtud teostada igal kihil 4 mõõtmist 1 km kohta. Arvestades minimaalset katsete arvu 2, saaks sellele vastav minimaalne hinnatav ala suurus olla 500m. Selline lähenemine ei pruugi siiski hästi kokku minna tänase praktikaga rekonstrueerimisloikude puhul kus juba projektselt võib olla ette nähtud lühikestel lõikudel materjalide väljavahetamine, mistõttu ka katsed teostatakse praktikas sageli operatiivselt, selliste lõikude kaupa. Uute teede ehitamisel selliseid takistusi ei tohiks olla aga nende osakaal ehituses on suhteliselt väike.

Killustikaluste ehitamise juhendis on E_{v2}/E_{v1} suhtarvu ülempiir 2.5 kehtestatud, mis peaks tagama aluse piisava tugevuse ja tihendatuse, kuid alloleva ebapiisava mulde tihenduse korral ei pruugi see alati olla saavutatav ja võib isegi tunduvalt suurema väärtuse korral olla nõ „purustav“.

2017 aasta rekonstrueerimisobjektidel oli selline E_{v2}/E_{v1} suhtarv tagatud vaid 6 juhul 37'st (16% killustikalustest). Need katsed ei pruugi siiski näidata killustik aluste tegelikku olukorda – vähemalt ühel juhul tuvastati, et katsed viidi läbi stabikihi peale välja veetud freesipuru pealt.

9. Järeldused ja ettepanekud

2017 võttis Maanteeamet kasutusele plaatkoormuskatsed mulde, drenkihi ja aluste kandevõime ning tihendtegurite hindamiseks ehitusprotsessis. Kogemuste hankimiseks käivitati paralleelselt käesolev uuring, saamaks ülevaadet katse tulemustest erinevates tingimustes. Uuring näitas, et katsetulemused varieeruvad väga suurtes piirides ja seda nii mulde, drenkihi kui killustikaluste osas.

Suhteliselt kõige paremad keskmised tulemused saadi muldkeha pealt $E_{v2}=191$ MPa ning $E_{v2}/E_{v1}=2.4$ ning selliseid katseid oli ka kõige rohkem – kokku 246.

Killustikaluse (valdavalt freespuruga kiilutud) keskmine E moodul jäi mulde omale alla - $E_{v2}=177$ MPa ning suhtarv $E_{v2}/E_{v1}=3.9$ oli kõige kõrgem, ehk kihi järeltihendamise potentsiaal on suurim. Aluse katseid oli kõige vähem – kokku 41 (needki enamasti stabi freespuru pealt).

Drenkihi keskmine E_{v2} on väiksem killustikaluse omast kuid kui jätta välja killustikust rajatud drenkihid, on keskmine suhtarv $E_{v2}/E_{v1}=2.7$ pigem võrreldav muldkehal tehtud mõõtmiste omale kui killustikalusele. Drenkihi katseid oli kokku 51.

Saadud tulemuste võrdlemiseks teiste riikide standarditega peame paratamatult arvestama, et mitte alati ei ole tarindis kasutatavad materjalid võrreldavad. Nt. Saksa standarditega on osaliselt võrreldavad mulde materjalid kuid ühetaolise terasuurusega liivade kasutamine mulde ülaosas (drenkiht) oleks ilmselt välistatud. Samuti ei kasutata üldjuhul alustes fraktsioneeritud killustikku. Sama kehtib Soome kohta.

Nii on Saksa normides üldiselt sätestatud suhtarvu E_{v2}/E_{v1} nõudeks ≤ 2.5 kuid kõrgemate (E_{v2} väärtuste korral võib olla ka suurem) ning E_{v2} nõudeks sõltuvalt kihist ja koormussageduses: aluspinnasel 45 MPa, muldel 100 MPa, katte all 100...120 MPa ning kivi parketi alusel 150...180 MPa. Põhjamaades on nõuded E-moodulile samades suurusjärgudes kuid E-moodulite suhtarvudena on toodud välja ka väärtused 3.5 ning valemite kaudu võivad ulatuda ka kõrgemale.

Arvestades käesolevas uuringus saadud tulemusi, soovitame uuringut jätkata etapiga II. Suur osa muutustest tuleb ette näha ehitustööde protsessi selleks, et parendada töö II etapis kogutavad andmete kvaliteeti.

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

Projektis.

1. Tuua katendiarvutustest välja tinglik E_{v2} nõue nii muldkeha, drenkihi kui aluse pinnalt, arvutades need vastavale kihi minimaalse E-üld mooduline katte E-vajaliku põhjal
2. Tuua välja tinglik E_{v2}/E_{v1} nõue nii muldkeha, drenkihi kui aluse pinnalt, arvutades need vastavale kihi minimaalse E-üld mooduline katte E-vajaliku põhjal

Ehitustööde ajal.

1. Plaatkoormuskatsed tuleks vastavate kihtide olemasolul näha „tavapärasena“ ette nii muldkeha, drenkihi kui aluse pinnalt ning kihi pinnalt mitte teostatavad mõõtmised tähistada märkega „erakorraline“ vms.
2. Plaatkoormuskatse tulemusi tuleks käsitleda eksperimentaalsena ning mitte siduda neid tööde vastuvõtmisega
3. Plaatkoormuskatsete teostamisel rakendada käesolevas töös kirjeldatud protseduuri
4. Plaatkoormuskatse tulemuste E_{v2} ja E_{v2}/E_{v1} kõrvutamiseks nõuetega tuua viimased katsearuannetes ära märkega „tinglik“ vms.
5. Mõõtmiskohad näha eranditult ette puuraukude asukohas $\pm 3m$ ning ülemistel kihtidel samades kohtades, kus teostati mõõtmised alumistel kihtidel, plaatkoormuskatse aruande lisas esitada kogu teave allolevate kihtide ja nende paksuste, samuti pinnasevee taseme ning pinnaste omaduste kohta.
6. Plaatkoormuskatse aruande lisana esitada väljavõtte ainult katse kohtades teostatud mõõtmiste kohta KKS'iga
7. Plaatkoormuskatse aruande lisana mõõdetavas kihis kasutatud materjali/materjalide katseprotokoll – terastikuline koostis koos efektiivdiameetrite ja lõimise- ning jaotusteguritega ning filtratsiooniga.

Võib avata, et 2018 aasta rekonstrueerimise objektid on valdavalt projekteeritud või on projekteerimine lõpufaasis ning eelnevalt kirjeldatud info on projektidest välja loetav. Kuna eeltoodud info lisamine projekti või ehitustööde käigus on

I osa. Riigimaanteedel 2017 teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused plaatkoormuskatse rakendamisel" ARUANNE

problemaatiline oleks üheks lahenduseks vajalik ettevalmistustöö teha 2018 kevad-talvisel, tööde eelsel perioodil. See tähendab, et plaatkoormuskatsete kohad valitakse uuringu raames ning vastavad nimekirjad valminud projektide osas esitatakse tellijale töö II etapi kevadperioodi lõpuks, nt. 15.04.2018

10. KOKKUVÕTE

Teadustöö laiemaks eesmärgiks on teiste riikide kogemusele ja konkreetsete objektide kandevõime ja tihendustegurite mõõtmiste ja analüüside põhjal välja töötada täpsemad muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise nõuded, eesmärgiga tagada muldkeha kihtide parem tihendus ja kandevõime, vähendamaks katendi hilisemaid deformatsioone.

Teadustöö optimaalseks läbiviimiseks on töö jaotatud osadeks, kus esimeses osas kontrolliti väiksemates mahtudes (piloteeriti) järgnevates osades läbiviidavate mõõtmiste, katsetuste ja analüüsimeetodite toimivust.

Teadustöö esimeses osa keskenduti peaaesjalikult teiste riikide kogemuste Eesti oludes rakendatavuse teoreetilisele hindamisele arvestades hetke praktikat Eestis mulde kandevõime ja tihendatuse hindamisel.

Töös koguti andmebaasi 2017a rekonstrueerimise objektidel teostatud plaatkoormuskatsetuste, katendite ja geoloogia andmed, süstematiseeriti need ja analüüsiti nii statistiliste kui sisuliste seoste saamiseks.

Lisaks teostati võrdluste saamiseks täiendavad mõõtmised objektil ja katsetati objektilt võetud proovid, esitati ülevaade Saksamaal ja osaliselt Põhjamaades kasutatavatest nõuetest plaatkoormuskatsetele, esitati esialgsed ettepanekud plaatkoormuskatsete läbiviimise protseduuri, muldkeha kandevõime ja tihendusteguri leidmise põhimõtete ning uuringu II etapi tegevuste kohta.

Esialgsete järelduste põhjal saab välja tuua peamised võimalikud probleemkohad:

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

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

11. KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] EVS 934:2016 PINNAS. Katsemeetodid ja katseseadmed. Plaatkoormuskatse
- [2] ZTV E-StB 17. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. FGSV 2017
- [3] ZTV SoB-StB 04. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau. FGSV 2007
- [4] RAP Stra 15. Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau. FGSV 2015
- [5] Muldkeha ja dreni kihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise. Maanteeamet 2015
- [6] Muldkeha remondi projekteerimise juhise. Maanteeamet 2006
- [7] Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismethodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemethodi standardiseerimine ning Teedeala standardimistegevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel. TTÜ Teedeinstituut 2012
- [9] Elastsete teekatendite arvutusmethodika arendamine. Teadus- ja arendustöö. TTÜ 2016.
- [10] Guidelines for the standardisation of pavement structures of traffic areas Edition 2012 Translation 2015 RStO 12. FGSV 2012
- [11] InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Osa 1 Väylät ja alueet. Rakennustieto Oy 2010
- [12] Radan eristys- ja välikerrosten tiiviys- ja kantavuustutkimus. Liikennevirasto 2011
- [13] VV Publ 1994:25 VÄG94 Obundna överbyggnadslager
- [14] Håndbok R211. Feltundersøkelser. Statens vegvesen 2014
- [15] Håndbok 018. Vegbygging. Statens vegvesen 2005
- [16] Håndbok N200. Vegbygging. Statens vegvesen 2014

12. LISAD

LISA1. Katseprotokoll

KATSEPROTOKOLL

NR 4802/17

14.11.2017 nr 7-6.4/5350

Lk 1/4

Tellija: Teede Tehnokeskus AS Arendus ja Uuringud osakond – Marek Truu

Töö ülesanne: Täitematerjali proovide katsetamine

Proovid:
Objekt 11392 Suurupi tee km 0,000-4,705

Võtmise koht vt tähistust

Võtmise aeg ja võtja

10.08.2017 09:00-14:00,

Henri Prank, Mark Meikas, Teede Tehnokeskus AS

Toomise aeg ja tooja

10.08.2017 15:00,

Henri Prank, Teede Tehnokeskus AS

Tellija poolne tähistus

Täitematerjal, tee välisserv, P1

Täitematerjal, keskelt, P2

Täitematerjal, kesktelje juurest, P3

Täitematerjal, kesktelje juurest, P3

Täitematerjal, liiv, tee välisserv, P1

Täitematerjal, liiv, keskelt, P2

Täitematerjal, kesktelje juurest, (filtratsiooniks), P3

Labori reg nr

4766-1 kuni 4766-6

4767-1 kuni 4766-6

4768-1 kuni 4768-6

4769

4770

4771

4772

Katsetamine ja tulemused Pinnaseproovide võtmiseks kasutati lõikerõngast diameetriga 99,3mm ja kõrgusega 99,0mm.

1. Veesisalduse määramine EVS-EN 1097-5

Reg nr 4766-1 kuni 4766-6

Veesisaldus 1, w (%)	6,4
Veesisaldus 2, w (%)	7,2
Veesisaldus 3, w (%)	6,3
Veesisaldus 4, w (%)	7,2
Veesisaldus 5, w (%)	6,0
Veesisaldus 6, w (%)	7,8
Keskmine mahumass, Mg/m ³	1,54

2. Veesisalduse määramine EVS-EN 1097-5

Reg nr 4767-1 kuni 4767-6

Veesisaldus 1, w (%)	7,3
Veesisaldus 2, w (%)	8,7
Veesisaldus 3, w (%)	12,5
Veesisaldus 4, w (%)	19,8
Veesisaldus 5, w (%)	15,5
Veesisaldus 6, w (%)	18,3
Keskmine mahumass, Mg/m ³	1,44

Saadud tulemused kehtivad ainult kirjeldatud proovide kohta.

Vastutav teostaja

Amet Labori juhataja asetäitja
Nimi Mark Meikas

/alkkirjastatud digitaalselt/

Protokolli osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba. Labor väljastab värvilise templiga või digitaalselt allkirjastatud katseprotokolle. Katseprotokollis ei pruugi kajastuda kõik katsestandardis nõutud taustandmed.

TEEDE TEHNOKESKUS AS

Väike-Männiku 26

11216 Tallinn, Eesti

Reg nr 10701123

Telefon: +372 677 1500

Faks: +372 677 1523

info@teed.ee

www.teed.ee

IBAN: EE962200221015207729

Swedbank, kood 767

SWIT/ BIC: HABAEEX

KMKR: EE100793262

3. Veesisalduse määramine EVS-EN 1097-5

Reg nr 4768-1 kuni 4768-6

Veesisaldus 1, w (%)	9,6
Veesisaldus 2, w (%)	7,5
Veesisaldus 3, w (%)	7,7
Veesisaldus 4, w (%)	7,3
Veesisaldus 5, w (%)	11,7
Veesisaldus 6, w (%)	10,4
Keskmine mahumass, Mg/m ³	1,54

4. Terastikulise koostise määramine (kuivisõelumine) EVS-EN 933-1

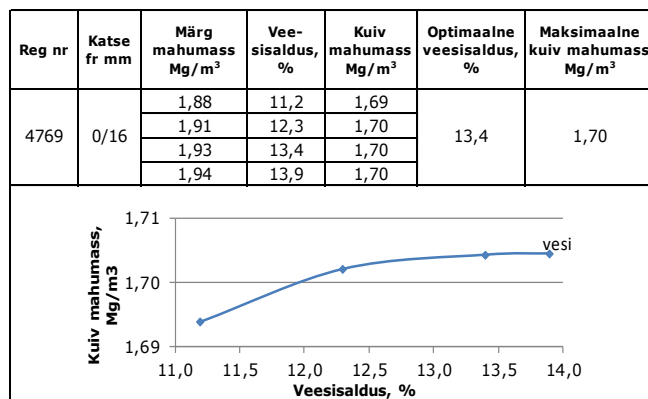
Reg nr 4769

Läbib sõela ava (mm)	63	31,5	16	8	4
Mass ümardatud (%)	100	97	92	90	89

5. Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2

Reg nr 4769

Vormi suurus	A
Haamri mass (Standart Proctor) (kg)	2,5
Maksimaalne kuivtihedus, ρ_d (Mg/m ³)	1,70
Optimaalne veesisaldus, w_0 (%)	13,4



6. Terastikulise koostise määramine (kuivisõelumine) EVS-EN 933-1

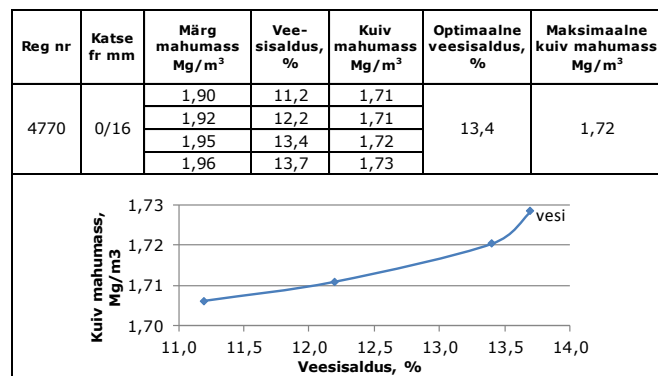
Reg nr 4770

Läbib sõela ava (mm)	63	31,5	16	8	4
Mass ümardatud (%)	100	97	92	90	88

7. Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2

Reg nr 4770

Vormi suurus	A
Haamri mass (Standart Proctor) (kg)	2,5
Maksimaalne kuivtihedus, ρ_d (Mg/m ³)	1,72
Optimaalne veesisaldus, w_0 (%)	13,4



8. Terastikulise koostise määramine (kuivisõelumine) EVS-EN 933-1

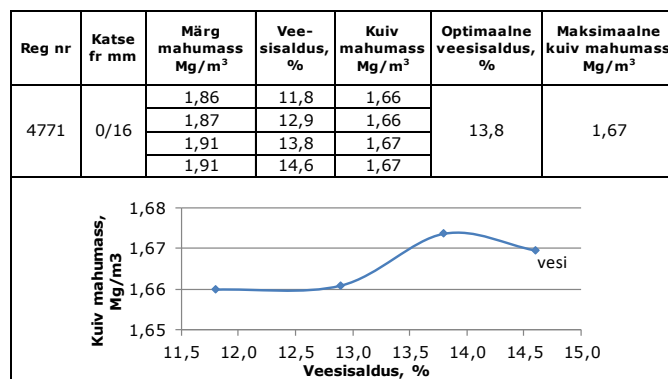
Reg nr 4771

Läbib sõela ava (mm)	31,5	16	8	4
Mass ümardatud (%)	100	96	95	92

9. Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2

Reg nr 4771

Vormi suurus	A
Haamri mass (Standart Proctor) (kg)	2,5
Maksimaalne kuivtihedus, ρ_d (Mg/m ³)	1,64
Optimaalne veesisaldus, w_0 (%)	13,8



10. Terastrukulise koostise määramine (pesemine ja sõelumine) EVS-EN 933-1

Reg nr 4772

Läbib sõela ava (mm)	63	31,5	16	12,5	8	6,3	4	2	1	0,5	0,25	0,125
Mass ümardatud (%)	100	97	93	92	91	90	89	88	86	78	38	7
Peenosiste sisaldus (<0,063), f (%)	3,1											

11. Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude katsetamine Proctor katse - Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus (max D = 63 mm) EVS-EN 13286-2

Reg nr 4772

Maksimaalne kuivtihedus, ρ_d (Mg/m ³)	1,71
Optimaalne veesisaldus, w_0 (%)	14,1
Katsefraktsioon (mm)	0/4

12. Filtratsioonimooduli määramine EVS 901-20

Reg nr 4772

Filtratsioonimoodul, K_{10} (m/ööp)	0,7
Tihendustegur	1,02
Katsefraktsioon (mm)	0/4