



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**KAEVETÖÖDEJÄRGSE KATENDI TAASTAMISE  
KVALITEEDI KONTROLL LÄBI  
DEFORMATSIOONIDE MÕÕTMISE DYNATEST  
LWD SEADMEGA**

**QUALITY CHECK OF RESURFACED PAVEMENTS  
THROUGH DEFORMATION MEASUREMENTS WITH  
DYNATEST LWD**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karel Vergi

Üliõpilaskood: 176432EAXM

Juhendaja: Ain Kendra

Kaasjuhendaja: Riho Eichfuss

# 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.

"....." ..... 202.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 202.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

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

Mina Karel Vergi (sünnikuupäev: 29.12.1989 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
KAEVETÖÖDEJÄRGSE KATENDI TAASTAMISE KVALITEEDI KONTROLL LÄBI  
DEFORMATSIOONIDE MÕÕTMISE DYNATEST LWD SEADMEGA,  
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.

---

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

# EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Karel Vergi 176432EAXM  
**Õppekava, peeriala:** EAXM15/15 teedeehitus  
**Juhendaja(d):** lektor Ain Kendra, 5171055  
**Konsultant:** Riho Eichfuss, insener, T-KONSULT OÜ, 533 655 46

### Lõputöö teema:

(eesti keeles)  
(inglise keeles)

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tuua välja kehtivaid nõudeid katendite taastamisele ning anda ülevaade seadmetest kvaliteedi kontrollis.
2. Katseobjektidelt mõõdetud deformatsioonide tulemuste analüüs.
3. Ettepanekud katendite taastamise kvaliteedi parandamiseks.
4. Kokkuvõtte eesti keeles
5. Kokkuvõtte inglise keeles

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülevaade kehtivast reglemendist	01.04.20
2.	Välikatsed deflektomeetriga	01.05.20
3.	Ettepanekud kaevetööde reglemendi täiendamiseks	11.05.20

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....202....a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Kaasjuhendaja:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....202....a  
/allkiri/

# SISUKORD

Sissejuhatus .....	8
1 Katendite taastamistöodele esitatavad nõuded .....	10
1.1 Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded .....	11
1.2 Tee ehitamise kvaliteedi nõuded .....	12
1.2.1 Muldkeha ehitamisel .....	13
1.2.2 Dreenkihil.....	14
1.2.3 Aluste ehitamisel.....	14
1.2.4 Äärekivide ja voolurennide alustel .....	14
1.3 Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis.....	15
1.4 Killustikust katendikihtide ehitamise juhis.....	16
1.5 Nõuded Tallinna linna näitel .....	16
1.5.1 Tallinna linna kaevetööde eeskiri .....	16
1.5.2 Tallinna tüüpkatendid .....	18
1.6 Nõuded välisriikide näitel.....	20
1.6.1 Soome .....	20
1.6.2 Saksamaa .....	21
1.6.3 Inglismaa .....	22
2 Kvaliteedikontrollis täna kasutusel olevad seadmed .....	24
2.1 Plaatkoormuskatse .....	24
2.2 Penetromeetrid .....	27
2.2.1 Dünaamiline Penetromeeter PM-1.....	27
2.3 Kerged deflektomeetrid (LWD).....	27
2.3.1 Soome koolkond .....	28
Loadman .....	28
Inspector.....	29
2.3.2 Saksa koolkond.....	30
Zorn ZFG 3000 GPS LWD.....	30
Terratest 5000 BLU LWD .....	31
HMP LFG LWD .....	31
2.3.3 Taani koolkond.....	32
Prima 100 LWD .....	32
Dynatest 3032 LWD .....	33
2.4 Rasked deflektomeetrid.....	34
2.4.1 Dynatest 8000 FWD.....	35
3 Katseobjektid.....	36
3.1 Lootuse puiestee veetorustiku rajamine .....	36

3.2	Väike – Patarei tänaval kanalisatsioonitorustiku rekonstrueerimistööd .....	39
3.3	Marsi tänava soojustorustiku rajamise ehitustööd .....	42
3.4	Vabriku tänav 45 liinipinge muutmine .....	45
3.5	Ankru tänav 4a elektrivarustuse rajamine .....	48
3.6	Endla tänava veeavarii järgsed katendite taastamistööd .....	51
3.7	Taastatud katendite deformatsioonide mõõtmised Tartu linnas.....	53
3.8	Mõõdetud koondtulemused ja järeldused .....	54
4	Ettepanekud kaevetööde tehnilisele regulatsioonile ja kontrollimeetodikale ....	57
4.1	Regulatsiooni ettepanekud.....	57
4.2	Ettepanek taastatud katendi kvaliteedi hindamise meetodikale.....	59
	Nõrgema üleminekuala mõju katendi ressursile .....	59
	Kokkuvõte .....	61
	Summary .....	62
	Kasutatud kirjanduse loetelu .....	63
	Lisad .....	66

## Lühendite ja tähiste loetelu

AKÖL – Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus

DIN – Saksamaa standardiseerimisinstituut

DPI – penetratsiooni tähis DCP seadmega mõõtmisel

DPS – koormusplaadi vahetuse tehnoloogia Dynatest LWD seadmel (Dual plate system)

$E_{v1}$  – plaatkoormuskatse esmasel koormamisel määratud staatiline deformatsioonimoodul

$E_{v2}$  – plaatkoormuskatse teisel koormamisel määratud staatiline deformatsioonimoodul

EVS – Eesti vabariigi standard

FWD – Langeva raskusega deflektomeeter (Falling Weight Deflectometer)

HWD - Raske deflektomeeter (Heavy Weight Deflectometer)

IRI – tasasusindeks (International Roughness Index)

KKL – Koormusklassi tähis Soome maanteenormides

LWD – Kerge deflektomeeter (Light Weight Deflectometer)

MPa – Megapaskal

PLT – Plate Load Test - plaatkoormuskatse

## SISSEJUHATUS

Kaevetöödega puutub kokku praktiliselt iga liikluses osalev inimene - kas jalakäija, jalgratturi, mootorratturi, autojuhi või muu liikumisvahendi juhina. Kaevetööde järgse katete taastamise kvaliteet mõjutab otseselt meie liikluskeskkonda. Kehtivad normatiivid käsitlevad katete taastamisele esitatavaid nõudeid ühtemoodi, olenemata objekti iseloomust või asukohast ning seeläbi ei ole mõõdetavad parameetrid ega katsemeetodid alati asjakohased. Käesolevas töös uuritakse kaevetööde järgsete taastamistööde kvaliteeti läbi katendi deformeeritavuse mõõtmise, kasutades deflektomeetrit Dynatest 3032 LWD. Kuna kandevõime ja deformeeruvus dünaamilisel koormamisel on lineaarses seoses, võime teha järeldusi nii kandevõime kui ka katendi vastupidavuse (ressursi) kohta erinevates mõõtepunktides.

Kaevetöid võib liigitada kahte kategooriasse – varasemalt ette planeeritud kaevetööd ning avariikaevetööd, mille teostamise aega, täpset kohta ega ulatust ei saa reeglina ette planeerida. Enamike kaevetööde põhjuseks on kas olemasolevate tehnovõrkude rekonstrueerimine, uute rajamine või avariiliste trasside parandustööd, kuid samuti ka teede osas plaanilahenduslike olukordade ümberehitused. Lisaks nimetatud liigitustele saab kaevetööks loomulikult nimetada ka üldisemaid teede rekonstrueerimistöid. Üksikute kaevetööde järgseid taastatud lappe paistab tänavapildis silma väga palju ning sama palju, kui on teostatud taastamistöid, on ka erineva kvaliteediga tulemusi. Ei saa üheselt väita, et kõik taastamistööd on teostatud alati vastavalt normatiividele ning paljuski sõltub tööde teostamine ka inimfaktorist.

Töö koostamise lähteandmete kogumiseks on teostatud Tallinnas ja Tartus erinevatel objektidel deformatsioonide mõõdistused. Erinevatel objektidel varieerusid kaevikute asukohad teel. Samuti varieerusid ka tehnovõrkude rajamise suunad tee suhtes ning millest omakorda sõltusid kaevikute asetused ning ulatused. Katseobjektideks on valitud nii sõiduteede taastamisi, kui ka kõnniteedel teostatud töid. Deformatsioonide mõõtmiseks kasutati Dynatest 3032 LWD seadet ning katsed teostati 2019. aasta ja 2020. aasta kevadel. Objektide iseloomud on valitud üksteisest erinevad, et koguda andmeid võimalikult erinevatest situatsioonidest.



Käesoleva töö eesmärk on analüüsida mõõdetud deformatsioonide andmeid ning teha järeldusi tulemuste erinevuste või kattuvuste põhjustest. Tuua välja erinevates normatiivides nõutud parameetrid, millistele parameetritele peavad erinevad katendikonstruktsioonid vastama ning milliseid meetodikaid kasutatakse katete taastamise kontrollis. Anda ülevaade Eestis ja välismaal kasutatavatest seadmetest, mida kasutatakse teedehituses erinevate katendikihtide kvaliteedi kontrolliks.

Võtmesõnad: LWD, katendite taastamine, deformatsioonid, kaevetööde normatiivid, magistritöö.

# 1 KATENDITE TAASTAMISTÖÖDELE ESITATAVAD NÕUDED

Normdokumentide hierarhias on kohustuslikud seadused ning nende raames välja antud ministri määrused. Standardid on kohustuslikud sedavõrd, kuivõrd nende kohustuslikkusele on viidatud kas seadustes, määrustes või konkreetse töö lähteülesandes sätestatud normdokumentides ja ka otseselt lähteülesandes.

Riigiteedel rakendatakse täiendavaid nõudeid Maanteeameti peadirektori poolt kinnitatud nõuetega, mis esitatakse käskkirjade või juhiste vormis. Viimasel juhul on dokument kinnitatud samuti käskkirjaga. Tee omanik rakendab kõrgemaid nõudeid või lisaks käesolevas määruses sätestatud nõuetele täiendavaid nõudeid, kui see on vajalik ehitusseadustikus ja liiklusseaduses sätestatud nõuete täitmiseks või muude vajalike tee parameetrite tagamiseks. Sellised nõuded on tee ehitusprojekti koostajale ja teetööde tegijale kohustuslikud. [2]

Iga teeomanik võib rakendada oma nõudeid, näiteks on RMK kehtestanud oma normatiivi metsateedele („RMK metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend“ 2014) ja kohalikud omavalitsused teedele ja tänavatele. Näitena Tallinna linna kaevetööde eeskiri, mis on kinnitatud Tallinna Linnavolikogu 15. detsembri 2011 määrusega nr 42.

Seega, määrused on üldkehtivad, täiendavad nõuded kehtivad vastavuses lähteülesandele.

Tihti võib tänavapildis kohata taastatud katteid, mis juba mõne aja möödudes ei ole enam võrreldavad alles remonditud olukorraga. Võivad tekkida vajumised kattes, katte purunemised vuukide asukohtades, vajumised kaevupäistel (joonis 1.1).



Joonis 1.1 Deformeerunud ning mitmeid kordi lapitud sõidutee

Põhjuseid taastatud katete lagunemisele võib otsida erinevatest kohtadest. Kui väita, et tööd teostatakse alati vastavalt kehtivatele normatiividele, saaks inimfaktori välistada ning süüdistada ainult norme ja juhiseid. Kindlasti sellist olukorda ei ole võimalik saavutada, kus kvaliteet ei sõltuks töö teostajast ning seetõttu koosneb tulemus mitmest erinevast aspektist. Et tagada töö kvaliteet rohujuure tasandilt peavad alusdokumendid olema koostatud asjatundlikult ja uute teadmiste valguses saama piisavalt tihti uuendatud - see on esimene samm parema katendite taastamise kvaliteedi suunas.

Tallinna linna näitel teostati ainuüksi 2018. aastal 2331 kaevetööd, millest 591 olid plaanilised ning 1740 vormistatud kui avariikaevetööd. Järgneval 2019. aastal ei erinenud suurusjärk oluliselt ning kokku teostati 2269 kaevetööd, millest 545 olid plaanilised ja 1724 avariikorras tehtud teetööd.[1]

## **1.1 Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded**

MKM määrus nr 82 „Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded“ sätestab nõuded avalikult kasutatava tee ja avalikkusele ligipääsetava eratee, välja arvatud tehnovõrgu, ehitusprojekti dokumentatsioonile. Tee ehitusprojektile ehitusloa taotlemiseks tuleb esitada tee eelprojekt või põhiprojekt. Juhul kui ehitusloa taotlemisel esitatakse tee eelprojekt, siis peab see olema koostatud mahus, mis võimaldab väljastada ehitusloa.

Määruse §15 järgi tuleb eelprojekti mahus esitada sõidutee eeldatav koormussagedus ja katendi vajalik üldine elastsusmoodul, viide katendi tugevusarvutusele või valitud

tüüpkatendile ning katendi materjalid koos kihtide paksustega. §20 järgi lisanduvad põhiprojekti staadiumis tee-ehitusmaterjalidele kvaliteedinõuded ning nõuded katendikihtide ehitamisele.[3] Katendite taastamise projektides on enamasti tegu põhiprojektiga.

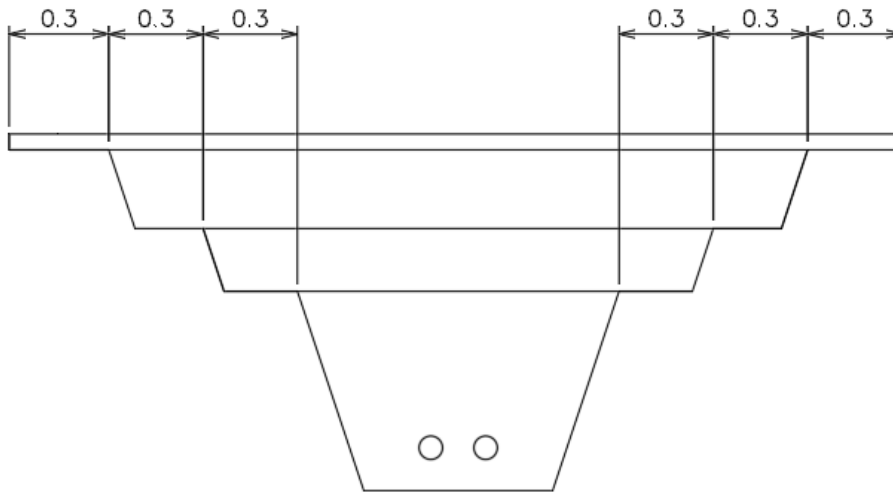
## **1.2 Tee ehitamise kvaliteedi nõuded**

Tee ehitamise kvaliteedi nõuded - määrusega reguleeritakse avalikult kasutatavate teede kvaliteedi nõudeid. Tee ehitustööde kvaliteet peab teetööde ja nende vaheetappide vastuvõtmisel vastama vähemalt antud määrusega sätestatud nõuetele.[2]

Määruses sätestatakse üldised nõuded teetööde teostamisele, teetöödel kasutatavatele materjalidele, kontrollmõõdistuste katsemetoodikale, erinevate katendikihtide kandevõimele, tasasusele ning kalletele.

§ 26. Kaevetöödele järgnev katendi taastamine käsitleb konkreetsemalt nõudeid just kaevetööde järgsele katendi taastamisele. Punkt 2 käsitleb kaeviku täitmist katendikonstruktsiooni aluse pinnani. Kuni 2 meetri sügavuses tuleb kaevik täita ja tihendada vähemalt samaväärse ja mitte külmakerkeohtliku materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa. Filtratsioonimoodul peab olema vähemalt 0,5 meetri ööpäevas vastavalt standardile EVS 901-20. Siinkohal on tegu vastuoluga MKM määruses nr 1 „Tee projekteerimise normid“ sätestatud nõudega, kus töökihi ülemise 1 meetri ulatuses tuleb kasutada pinnaseid, mille filtratsioonimoodul on vähemalt 0,5 meetrit ööpäevas ning alumises 0,5 meetri ulatuses pinnaseid filtratsiooniga vähemalt 0,2 meetrit ööpäevas.

Punktis 3 on esitatud nõue katendite astmelisele taastamisele, kus iga järgnev katendikiht tuleb taastada ülekattega alumise suhtes vähemalt 30 cm (joonis 1.2), võib olla käesolevas diplomitöös selgunud katsetulemuste peamine põhjus. Majandus- ja taristuministri 5. augusti 2015. a määruse nr 106 „Tee projekteerimise normid“ kohaselt hõlmab mõiste katend endas mitmekihilist konstruktsiooni, mis koosneb kattest, alusest ja vajadusel drenkihist ning lisakihtidest. Kuna konstruktsioonikihtide aluse täitmist reguleeritakse ainult tihendatavate kihipaksuste osas, ei pöörata kaevetöödel tähelepanu olemasolevatele pinnastele ja nende sidumisele täidetava materjaliga. Tagasitäite tihendamisel olemasolevad nõlvad varisevad ning vastupidiselt tagasitäitematerjalile kaotab allesjäänud materjal tihedust ning väheneb ka kandevõime.



Joonis 1.2 Illustratsioon kaeviku taastamisest vastavalt astmelise taastamise nõudele

Määruses käsitletud elastsusmoodulite väärtused on mõõdetavad INSPECTOR või LOADMAN seadmetega, mõne teise analoogse seadme kasutamisel peavad selle lugemid olema eelnevalt võrreldud Loadman-tüüpi seadmega ja mõõtetulemused korrutatud üleminekuteguriga. [2]

Määrus sätestab nõutud elastsusmoodulid teeliikide järgi (järgnevalt on välja toodud vaid need lõigud ja jaotised, mis eelduslikult on olulised katendi taastamisel):

### 1.2.1 Muldkeha ehitamisel

Muldkeha aluse tihedustegur peab olema  $\geq 0,94$ . Tee muldkeha pinnase tihedust kontrollitakse tihendatavate kihtide kaupa ristlõike kolmes punktis, muldkehal kõrgusega kuni 3 meetrit iga 100 meetri järel ja muldkehal kõrgusega üle 3 meetri iga 50 meetri järel. Liivpinnasest muldkeha tihedustegur peab vastama määruse lisas 6 toodud nõuetele. Muudest pinnastest ehitatud muldkeha kihil kontrollitakse tihedust elastsusmooduli mõõtmise teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega. Mõne teise analoogse elastsusmooduli mõõteseadme kasutamisel peavad selle lugemid olema eelnevalt võrreldud LOADMAN-tüüpi seadmega ja mõõtetulemused korrutatud üleminekuteguriga. Elastsusmoodul ei tohi olla väiksem projektis ettenähtust. Elastsusmoodulit mõõdetakse tee teljelt ning mõlemalt poolt vähemalt ühe meetri kaugusel mulde servast.

### **1.2.2 Dreenkihil**

Liivpinnasest dreenikihi tihendustegur, mis on pinnaseskeleti tegeliku mahumassi ja sama pinnase optimaalse niiskuse juures määratud maksimaalse mahumassi suhe, peab olema vähemalt 0,98. Liivpinnasest dreenikihi elastsusmoodul, mõõdetuna teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega, peab olema vähemalt 65 MPa.

Muudest täitematerjalidest ehitatud dreenkihil kontrollitakse tihedust elastsusmooduli mõõtmise teel LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmega. Elastsusmoodul dreenikihi pinnal ei tohi olla väiksem projektis ettenähtust

### **1.2.3 Aluste ehitamisel**

Sidumata segust, mustkillustikust, ridakillustikust või fraktsioneeritud täitematerjalist kiilumismeetodil ehitatud aluse tihendamist kontrollitakse vähemalt iga 100 m järel ristlõike kolmes punktis.

Elastsusmoodulid tihendatud aluste pinnal peab olema:

- sõiduteel  $\geq 170$  MPa
- kõnniteel  $\geq 140$  MPa
- jalg- ja jalgrattateel  $\geq 140$  MPa
- jalg- ja jalgrattateel, mida kasutatakse teenindava transpordi jaoks  $\geq 170$  MPa
- eraldussaarel  $\geq 120$  MPa

### **1.2.4 Äärekivide ja voolurennide alustel**

Äärekivid ja voolurennid paigaldatakse killustikust või kruusast alusele ja betoonist sängituskihile ning toestatakse betooniga viisil, mis ei takista teiste konstruktsioonelementide paigaldamist ja ehitamist. Elastsusmoodulid mõõdetuna LOADMAN- või INSPECTOR-tüüpi seadmetega peavad olema:

- voolurenni ja kõnnitee sõiduteepoolse äärekivi alusel  $\geq 140$  MPa
- kõnnitee välimise äärekivi alusel  $\geq 120$  MPa

## **1.3 Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhised**

„Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhised“ on kinnitatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga nr 0001 ning rakendatakse kõikidel Maanteeameti teeprojektide projekteerimisele ja ehitustöödele sõlmitud lepingutele. [4]

Juhises sätestatud nõuded kandevõimele:

- 2.2.10 Projektis peavad olema määratud drenkihi, mulde kihtide ja mulde aluspinnase nõutav kandevõime.
- 2.2.15 Juhul kui drenkiht projekteeritakse, siis drenkihi kandevõime peab olema määratud vastavalt katendiarvutusele.
- 4.11 Aluspinnase tugevus pärast tihendamist peab vastama katendiarvutuses eeldatud aluspinnase tugevusele. Aluspinnase kandevõimet võib hinnata aluspinnase tüübi järgi näiteks InfraRYL Osa 1 tabel 18110:T1 järgi arvestades aluspinnase veesisaldust.
- 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.

## 1.4 Killustikust katendikihtide ehitamise juhised

„Killustikust katendikihtide ehitamise juhised“ on kinnitatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga nr 0215 ning rakendatakse kõikidel Maanteeameti teeprojektide projekteerimisel ja tööde teostamisel.[5]

Juhises sätestatud nõuded kandevõimele:

- 4.5.9 Aluse tihendatust kontrollitakse vastavalt kvaliteedimääruses kirjeldatule. Sõidutee aluse või jalg- ja jalgrattatee (mida kasutatakse teenindava transpordi jaoks) aluse tihenduse vastavust nõuetele võib kontrollida ka plaatkoormuskatsega (EVS 934) ning sellisel juhul peab elastsusmoodul  $E_{V2}$  tihendatud kihi pinnal olema  $\geq 150$  MPa ning  $E_{V2}/E_{V1}$  suhe peab olema  $\leq 2,5$ .
- 5.3.5 Immutatud aluse ja katte tihendamist kontrollitakse elastsusmooduli mõõtmise teel tihendatud kihi pinnal LOADMAN või Inspector seadmega, vähemalt iga 100 meetri tagant ristlõike kolmes punktis (tee teljel ja aluse mõlemast servast 1,0 meetri kaugusel). Elastsusmoodul tihendatud aluse pinnal peab olema  $\geq 170$ MPa.

## 1.5 Nõuded Tallinna linna näitel

### 1.5.1 Tallinna linna kaevetööde eeskiri

„Tallinna linna kaevetööde eeskiri“ on kinnitatud Tallinna Linnavolikogu 1. jaanuari 2012 määrusega nr 42 ning määrab kindlaks kaevetööde üldise korra Tallinna linna avalikult kasutataval teel, väljakul või haljasalal.

Taastamistöde meetodikat reguleerib eeskiri sõltuvalt kaevetööde iseloomust järgmiselt:

- Piki kõnniteed tehtava kaevetöö korral taastatakse katted kogu ristlõike ulatuses ning vajaduse korral reguleeritakse või vahetatakse välja ka äärekivid.
- Asfaltkate tuleb taastada 0,5 meetri ulatuses üle kaeviku otsaservade.
- Alla 5 aastaste katendite puhul tänava suhtes risti või diagonaalis tehtava kaevetöö korral tuleb sõiduteel asfaltkatte pealiskihht taastada sõiduraja laiuselt vähemalt 10 meetrise paigana. Kui tänavaga risti rajatavate tehnovõrkude telgede vahe on alla 20 meetri või kui 100 meetri ulatuses on kolm või enam



ristisuunalist kaevamist, tuleb asfaltkate nende kohal taastada asfaldilaoturiga ühtse paigana.

- Diagonaalis paigaldavate tehnovõrkude kaevikute taastamisel tuleb teekatted taastada risti liikumissuunaga.
- Alla 5 aastaste katete puhul piki sõiduteed tehtava kaevetöö korral taastatakse betoon- ning sillutiskatted kogu tänava laiuselt. Asfaltkatted taastatakse asfaldilaoturiga kuni 6,5 meetri laiustel teedel kogu laiuses, üle 6,5 meetri laiustel teedel, kus on ühel suunal kaks või enam sõidurada, taastatakse asfaltkate vähemalt 10 meetrise paigana sõiduraja laiuselt, kus kaevetöid teostatakse.
- Vanemate katete puhul kui 5 aastat, taastatakse kate üle kaeviku servade 0,5 meetri ulatuses ning sõiduraja laiuses.
- Asfaltkate erinevate kihtide vaheline pind, samuti ka uue asfaldikihi ja vana asfaldikihi vaheline kontaktpind krunditakse eelnevalt puhastades bituumeni või bituumenemulsiooniga. Vuukide liitekohad töödeldakse bituumeni, bituumenemulsiooni, vuugiliimi või vuugilindiga. Kogu teekatte konstruktsiooni taastamisel ristlõike laiuses paigaldatakse asfaltkate sooja vuugiga.

Kaevetöötrassi täitmisele esitatakse eeskirjas järgmised nõuded:

- Teekatte alla jääva kaevetrassi täitmist alustatakse kaevetrassi põhja tihendamiseks, mis vajaduse korral tehakse enne tehnovõrgu paigaldamist. Kaevetrass täidetakse liivapinnasega (kui projektis ei ole ette nähtud teisiti) kihtide kaupa, igat kihti eraldi tihendades. Tihendatava kihi paksus sõltub kasutatava tihendusseadme tehnilistest näitajatest, kuid ei tohi ületada 30 cm.
- Teekatte alla jääva kaevetöötrassi täitematerjalina kasutatakse liiva, millega on võimalik saavutada stabiilset tee kandevõimet, mis on hea filtreeruvusega ning võimaldab nõuetekohast tihendamist kergete tihendusseadmetega ja ei kahjusta tehnorajatisi. Filtratsioonimoodul peab olema kontrollitud ja vastama normile.
- Nõuetele mittevastava paigaldatud täitepinnase peab kaevikust eemaldama. Kui projektis ei ole asjakohaseid nõudeid esitatud, võib liivpinnasest muldkeha tihendusteguri vähim väärtus püsikatendiga teel olla 0,98 ja kergkatendiga teel 0,95.

Eeskirjas on sätestatud tihendamise normatiive ainult killustikalusele elastsusmooduli mõõtmise teel, mida kontrollitakse tihendatud aluse pinnal INSPECTOR või LOADMAN seadmetega vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Kui projektis ei ole elastsusmooduli nõuet esitatud, siis peab see olema >170 Mpa. [9] Siinkohal pole täpsustatud eraldi nõudeid sõiduteele ega kõnniteedele. [9]

### **1.5.2 Tallinna tüüpkatendid**

„Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooniga teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded LISA 1“ juhendmaterjali (lühendatult: tüüpkatendid) on koostanud T-Konsult OÜ Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalameti tellimisel ning on kinnitatud Tallinna Linnavalitsuse 18. septembri 2019 määrusega nr 27. Käsitlev dokument on uuendatud versioon 2016. aastal kinnitatud juhise.

„Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooniga teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded“ (18.09.2019 nr 34, edaspidi tüüpkatendite juhise) rakendatakse avalikult kasutatavate Tallinna linna omandis olevate teede ja avalikult kasutatavate erateede projekteerimisel, rajamisel ja remontimisel. Avalikkusele ligipääsetavate erateede projekteerimisel, rajamisel ja remontimisel on juhise nõuete järgimine soovituslik.[10]

Tüüpkatendite juhises määratakse tüüpkonstruktsioonid koormusklasside alusel. Liiklus- ja koormussageduse arvutamisel võetakse aluseks konkreetse teelõigu liiklusloendus või Tallinna linna kompetentsete ametkondade aktsepteeritud liiklusmudel konkreetsel ajal. Projekteerija tellib liiklusuuringu või kasutab liiklusmudelit, et selgitada välja liiklussagedus ja koostada arengusuundi arvesse võttes 15 aasta prognoos. Kui puuduvad täpsemad alused, võib lihtsustatult arvestada liiklus- ja koormussageduse 20% kasvuga 15 aasta jooksul. 15 aasta perspektiivis esinev maksimaalne aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus mõlemal liikumissuunal summeerituna ja määrab tänava ristlõike. Viieteistkümnenda aasta liiklussageduse järgi (AKÖL15) otsustatakse kulumisvaru vajadus ja ulatus. Tuginedes 15 aasta liiklusprognoosile, leitakse summaarne normtelgede arv enam koormatud sõidurajale 35 aasta jooksul ja maksimaalne aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus tänava või tee ristlõikes. Tuginedes 15 aasta liiklusprognoosile, leitakse summaarne normtelgede arv enam koormatud sõidurajale 35 aasta jooksul. Seejuures arvestatakse viieteistkümnenda aasta prognoosi (korrutades seda 35 aasta ja 365,25 päevaga). Saadud tulemuse alusel valitakse tüüpkatend. Vastavalt koormusklassidele on tähistatud tüüpkonstruktsioonid

A1, B2, C3, D4, E5 ja KLT. Tabelis 1.1 on välja toodud lähtudes liiklussagedusest koormusklassid ning vastavatele katendikihtidele esitatavad kandevõime nõuded.[11]

Tabel 1.1 Tüüpkatendi koormusklassid ja nendele esitatavad nõuded [11]

<b>Tänavakoormusklass</b>	<b>A1</b>	<b>B2</b>	<b>C3</b>	<b>D4</b>	<b>E5</b>	<b>KLT</b>
<b>Liiklussagedus (2+2)</b>	30,000+	10,000-30,000				
<b>Liiklussagedus (1+1)</b>		8000+	2500-8000	500-2500	0-500	
<b>Koormussagedus (35 a) (miljonit telge)</b>	40 ja üle	10-40	2-10	0,7-2	<0,7	
<b><math>E_{vaj}</math>MPa &gt;</b>	510	420	325	245	165	135
<b>Aluskonstr. <math>E_{v2}</math> MPa &gt;</b>	159	150	130	130	117	103
<b>TS32 aluse all <math>E_{v2}</math> MPa &gt;</b>	127 93	127				
<b>Liivakiht <math>E_{v2}</math> MPa &gt;</b>	59 55	59	59	59	57	55
<b>Teekatendi aktiivtsooni ülemise osa all <math>E_{v2}</math> MPa &gt;</b>	45	45	45	45	45	45

Tüüpkatendite juhiskäsitleb sidumata katendikihtide kandevõime määramisel standardi EVS 934:2016 alusel staatilist koormamist plaatkoormuskatsena. Katse tulemusena esitatakse deformatsioonimoodul  $E_{v2}$ . Katse koosneb kahest koormamisest ning täidetud peab olema tingimus  $E_{v2}/E_{v1} < 2,3$ . [11]

Lisaks plaatkoormuskatsesele võib sidumata katendikihtide kandevõime mõõtmiseks kasutada Taani või Saksa koolkondade kergseadmeid. Kogu konstruktsiooni on võimalik mõõta ainult FWD seadmega. Kergseadmetega mõõtes, kus 300 mm koormustalla all 100 kPa pingerežiim, peab viie viimase mõõtmise keskmine väärtus olema vähemalt nõutud kesktasemel ja ükski tulemus ei tohi olla alla miinimumtaseme. Tabelis 1.2 on välja toodud Taani koolkonna LWD seadme ja plaatkoormuskatsega mõõdetavate väärtuste võrdlus.

Tabel 1.2 Plaatkoormuskatse ja Taani koolkonna LWD võrdlus [11]

E <sub>v2</sub> - PLT	180	150	120	100	80	70	60	50	45
E <sub>vd</sub> – Dynatest@100 kPa-AVG	132	115	99	82	66	58	50	45	41
E <sub>vd</sub> – Dynatest@100 kPa-MIN	106	92	79	66	53	46	40	36	33

Tüüpkatendite juhises kandevõimele esitatavaid nõudeid ei mõõdeta Soome koolkonna kergseadmetega LOADMAN või INSPECTOR. Nimetatud seadmeid võib kasutada tüüpkatendite juhises eraldi mainimata juhtudel ning võttes aluseks Majandus- ja taristuministri määruse nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“.

## 1.6 Nõuded välisriikide näitel

### 1.6.1 Soome

Soome Transpordiameti normatiivi „Tierakenteen suunnittelu“ 28.11.2018 (38/2018) kohaselt esitatakse arvutuslikke nõudeid katendikihtide kandevõimele eelnevalt määratud koormusklasside (KKL) alusel. Tabelis 1.3 on võetud kokku vastavalt koormusklassidele esitatavad nõuded kandevõimele ning ka arvutatud paksused asfaldile. [12]

Tabel 1.3 Arvutuslikud nõuded kandevõimele ja asfaldikihi paksustele [13]

<b>KKL</b>	<b>60</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>
AKÖL10 (1000a) 1+1/2+2	35+/50 +	14- 35/20- 50	6,7- 14/<20	3-6,7	1,3-3	0,45-1,3	<0,45
Tee kandevõime	540/ 545	470/ 520	415/ 495	360/ 470	285/ 420	230/ 400	170
Asfaldi paksus cm	24/14	20/13	17/12	14/11	10/9	8/8	4
Aluse kandevõime	160/ 290	160/ 290	160/ 290	160/ 290	160/ 290	145/ 290	145

Tabelis on murrujoonega eristatud nõuded killustikaluse / stabiliseeritud aluse korral. Normitekstis on olemas ka kergkatendite lahendus, mida käesolevas töös ei käsitleta. Kergliiklusteede ja kõnniteede nõudeid käsitletakse eraldi sõltuvalt sellest, kas tee paikneb sõiduteega ühtsel muldkehal või mitte. Kui kahte eri liiki teed eraldab kogu pikkuses vähemalt 2 meetri laiune katteta ala, siis kasutatakse dimensioneerimiseks tabelis 1.3 välja toodud koormusklassi 0,3.

Kruusateedele esitatakse vastavad nõuded kandevõimele ja konstruktsioonide paksustele tee koormusklassi ning tee kasutuse eripäradest. Juhises välja toodud väärtused kandevõimele:

- Üldkasutatav tee, palju raskeid sõidukeid, tähtis koht teedevõrgus - 80 Mpa
- Avalik tee või eratee, palju raskeid sõidukeid, ei oma tähtsat positsiooni teevõrgus - 70 Mpa
- Vähe raskeid sõidukeid, ei oma positsiooni teevõrgus - 60 Mpa
- Oluline kergliiklustee - 70 Mpa
- Vähemtähtis kergliiklustee - 50 MPa

### **1.6.2 Saksamaa**

Saksamaal on kasutusel tüüpkatendite juhise „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen“ – RstO 12, mis käsitleb tüüpseid katendilahendusi asfaldist, betoonist ja sillutiskivist katendikihtidega konstruktsioonidele. Nõuded on esitatud plaatkoormuskatsele vastavalt DIN 18134 standardile. Kandevõime nõuded esitatakse aluspinnasele ning katte alusele. Aluspinnasel tuleb sooritada katseid iga

1000 m<sup>2</sup> kohta 1, või minimaalselt ala peale 2. Katte alusel teostada 6000 m<sup>2</sup> kohta 1 katse või samuti minimaalselt ala peale 2 katset.

Aluspinnasele on esitatud  $E_{v2}$  nõue vähemalt 45 Mpa. Katte all valitakse vastav nõue sõltuvalt koormussagedusest ja teisalt valitud katendi konstruktsioonist. Koormussagedused jagunevad seitsmesse klassi. Riho Eichfussi 2018. aasta lõputöös on vastavalt välja toodud Saksamaa nõuded kihtide pinnalt tabelina 1.4.

Tabel 1.4 Saksamaa nõuded kihtide pinnalt

Nõuded kihile pinnal		Klass SV, I - IV, (V)		Klass V, VI ja muud	
		Ev2 [MN/m <sup>2</sup> ]	Ev2/Ev1	Ev2 [MN/m <sup>2</sup> ]	Ev2/Ev1
<b>Alus</b>	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
	Kill. ≥ 20 cm	≥ 180	≤ 2.2	≥ 150	≤ 2.5
<b>Külmakaitsekiht kuni 0,2 m</b>	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
<b>Muldkeha</b>	Kõik	≥ 100	≤ 2.5	≥ 100	≤ 2.5
<b>Aluspinnas</b>		≥ 45	-	≥ 45	-

Märkus: Eestis plaatkoormuskatsele kehtestatud nõue –  $E_{v2}$  vähemalt 150 MPa ja  $E_{v2}/E_{v1}$  mitte üle 2,5 on tõenäoliselt koostatud Saksamaa nõuete baasilt, kuid Tehnokeskuse uurimustöös „Mulde kandevõime ja tihendusnõuete kontrollmetoodikate arendamine kasutamiseks riigimaanteede rekonstrueerimisel ja ehitamisel“ on selgitatud, et sellisel kujul on nõuded harva täidetavad.

### 1.6.3 Inglismaa

Inglismaal on aluseks teede projekteerimisel juhendmaterjal HD25 (Draft). Juhises on määratud teekonstruktsiooni tüüpalused 4 klassi, mille alustele on esitatud nõuded vastavatele kandevõimetele:

- Klass 1 ≥ 50 MPa
- Klass 2 ≥ 100 MPa

- Klass 3  $\geq$  200 MPa
- Klass 4  $\geq$  400 MPa

Alustes kasutatavad materjalid on jagatud kolme kategooriasse:

- Sidumata segud
- Kiirelt kivistuvad segud
- Aeglaselt kivistuvad segud

Aeglaselt ja kiirelt kivistuvate segude erinevus seisneb nende survetugevuse saavutamise ajas. Kiirelt kivistuvatel segudel loetakse 50% määratud survetugevuse saavutamiseks 28 päeva ning aeglaselt kivinevatel segudel sama aja jooksul vähem kui 50% määratud survetugevusest. [14]

Tabelis 1.5 on esitatud nõuded vastavalt klassidele ning materjalide kategooriatele. Klass 1 on lubatud teedele, kus koormus on kuni 20 miljonit normtelge. Inglismaa juhises arvestatakse normteljeks 8- tonnist telge. Klassi 2 ei ole lubatud kasutada sidumata segudega juhul kui tee normtelgede arv ületab 80 miljonit normtelge. Keskmise jooksva kandevõimega mõistetakse viie viimase katse keskmist tulemit, kus 80% pikaajalisest ehk arvestuslikust ja minimaalne mis on 50% pikaajalisest ehk arvestuslikust kandevõime väärtusest.[13]

Tabel 1.5 Inglismaa juhises esitatud nõuded aluste kandevõimele

		Aluse kandevõime [Mpa]			
		Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4
<b>Tööolukorras eeldatav kandevõime</b>		$\geq 50$	$\geq 100$	$\geq 200$	$\geq 400$
Keskmise jooksev kandevõime	Sidumata segud	40	80	-	-
	Kiirelt kivistuvad segud	50	100	300	600
	Aeglaselt kivistuvad segud	40	80	150	300
Minimaalne kandevõime	Sidumata segud	25	50	-	-
	Kiirelt kivistuvad segud	25	50	150	300
	Aeglaselt kivistuvad segud	25	50	75	150

Märkus: Inglise juhises toodud põhimõtte libiseva keskmise ja üksikmõõtmise miinimumväärtuse kohta on aluseks ka Tallinna tüüpkatendite juhises toodud lahendusele.

## **2 KVALITEEDIKONTROLLIS TÄNA KASUTUSEL OLEVAD SEADMED**

Eestis on kasutusel kandevõime mõõtmiseks mitmeid eri liiki seadmeid, mida saab liigitada vastavalt konkreetsete pinnasekihtide kandevõimete mõõtmiseks ning ka nende tööpõhimõtete järgi. Erinevate seadmetega koormatakse pinnaseid vastavalt seadmetele kindlas pingerežiimis ning tulemustena saavutatakse vastavad vertikaalsed deformatsioonid pinnastes.

Kandevõimele lisaks kontrollitakse vastavalt määrustele ning juhiste erinevatel katendikihtidel projektile vastavust näiteks ka kaldenurki, kõrguslikku vastavust ja asfalt- ja mustkattega teedel ka IRI väärtust. Teedel, mille iseärasuste tõttu ei saa tasasusindeksit mõõta, kontrollitakse tasasusi 3 meetrise latiga.

### **2.1 Plaatkoormuskatse**

Vastavalt Eestis kehtivatele teedehituse normatiividele on viimastel aastatel võetud kasutusele plaatkoormuskatse. Vastavate seadmetega pakuvad Eestis teenust mitmed ettevõtted ning katsemeetod on leidnud ehitusobjektidel aktiivset kasutust (joonis 2.1). Mõõteseadmed ei pärine ainult ühelt tootjalt, kuid kuna nende ehitus on reguleeritud vastavate juhistega, ei erine nende töö funktsionaalsus.

Plaatkoormuskatset kasutatakse pinnaste (aga ka sidumata tarindikihtide) deformeeritavuse kaudu kandevõime ning tiheduse 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 on ühene tõlge Saksa standardist DIN 18134:2012-04 (PLT). [15]

Plaatkoormuskatse läbiviimiseks on vaja mõõteseadet ning vasturaskust, kus seade omakorda koosneb järgnevatest komponentidest: koormusplaat koos raamiga, hüdrotungraud, mõõteseadme andurid rakendatava jõu ja vajumi suuruste mõõtmisteks ning arvuti elastsusmooduli arvutamiseks.

Katse mõõtmise protsessis koormatakse ümmargust koormusplaati kahes tsüklis. Plaati pinnasel koormatakse kõigepealt eelkoormamisega, peale mida koormust kasvatatakse ühtlaste juurdekasvudega kuni maksimaalse normaalpingeni ning seejärel vähendatakse koormust kolme astmena. Tsükli teise osana toimub juurdekasvudega koormamine kuni esimese tsükli eelviimase koormuseni. Juhul kui enne maksimaalse



normaalpinge saavutamist ületab vajum 5 mm, loetakse vastav normaalpinge suurimaks ning korratakse katset. [15]



Joonis 2.1 Plaatkoormuskatse teostamine objektil, kus vajalikuks vasturaskuseks on valitud pinnaserull. [16]

Teekonstruktsioonide deformatsioonimoodulite määramisel kasutatakse 300 mm diameetriga koormusplaati, kus normaalpinge ulatub kuni 500 kPa. Vastavalt DIN 18134 normatiivile kasutatakse plaatkoormuskatses kolme erineva diameetriga koormusplaate, kus igal tallamõõdul rakendatakse vastavat normaalpinget.

- 300 mm plaat – 500 kPa
- 600 mm plaat – 250 kPa
- 762 mm plaat – 200 kPa

Deformatsioonimoodulite  $E_v$  arvutused põhinevad koormus-vajumi graafikutel (joonis 2.2) ning need arvutatakse ruutfunktsioonilt vastavalt valemile (2.1). Graafikult vaadeldakse punktide  $0,3 \cdot \sigma_0 \text{ max}$  ja  $0,7 \cdot \sigma_0 \text{ max}$  vaheliselt alalt vastavalt esimesele või teisele koormamistsüklile.

$$s = a_0 - a_1 \cdot a_2 \cdot \sigma_0^2 \quad (2.1)$$

kus:  $\sigma_0$  - keskmine normaalpinge plaadi all, MN/m<sup>2</sup>:

s - koormusplaadi vajum, mm:

$a_0$  - ruutfunktsiooni konstant, mm:

$a_1$  - ruutfunktsiooni konstant, mm/(MN/m<sup>2</sup>):

$a_2$  - ruutfunktsiooni konstant,  $\text{mm}/(\text{MN}^2/\text{m}^4)$ .

Deformatsioonimoodul  $E_v$  väärtused arvutatakse vastavalt valemile (2.2), kus  $E_v$  tähist täiendatakse vastavalt koormustsüklitele 1 ja 2.

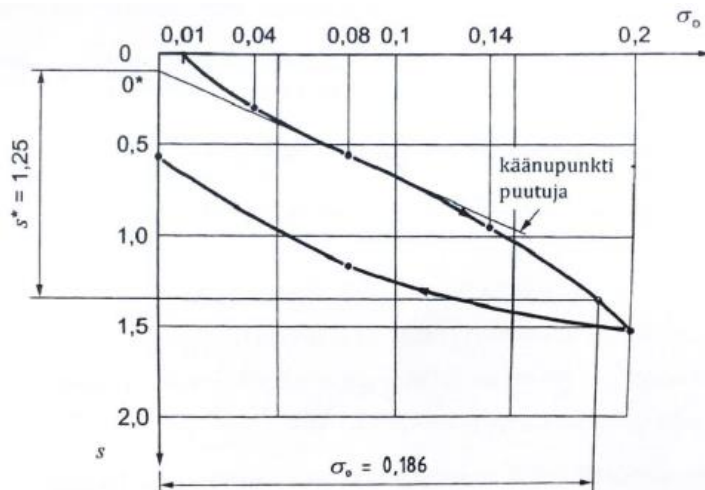
$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{0\max}} \quad (2.2)$$

kus:

$E_v$  – deformatsioonimoodul,  $\text{MN}/\text{m}^3$ ;

$r$  – koormusplaadi raadius,  $\text{mm}$ ;

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



Joonis 2.2 Koormus-vajumi graafik [15]

Et sisuliselt arvutatakse elastsusmooduli väärtused koormuse vahemikust 0,3-0,7 maksimaalsest, võib hinnata, et elastsusmooduli väärtus kehtib pingel ca 50% maksimaalsest.

## 2.2 Penetromeetrid

Dünaamilised penetromeetrid võimaldavad ehitusobjektidel operatiivselt määrata peeneteraliste pinnasekihtide tihedust.

### 2.2.1 Dünaamiline Penetromeeter PM-1

Penetromeeter PM-1 (joonis 2.3) on ette nähtud peeneteraliste pinnaste tiheduse kontrollimiseks, kus fraktsiooni 5–10 mm osakaal ei ületa 15 %. Jämedamaid fraktsioone sisaldavate pinnaste mõõtmisel on tulemused hajuvad ja ebatäpsed. [17]

Pinnasetihedust kontrollitakse koonilise seadmeotsiku süvistamiselt pinnasesse. Süvistamiseks kukutatakse 2,5 kg kaaluv raskus 30 cm kõrguselt vastu seadme keskosas asuvat alasit. Vastavalt sooritatud löökide arvule määratakse tabeli või graafiku järgi tiheduskoefitsent. [18]



Joonis 2.3 Dünaamiline penetromeeter PM-1 [17]

## 2.3 Kerged deflektomeetrid (LWD)

Plaatkoormuskatsele alternatiivseks lahenduseks ehitusobjektidel pinnasekihtide kandevõime ning tihendatusse mõõtmiseks kasutatakse ka kaasaskantavaid kergseadmeid. Light Weight Deflectometer ehk LWD on katse iseloomult oluliselt kiirem ning lihtsamal käsitletav kui plaatkoormuskatse ning seeläbi on võimalik ühe plaatkoormuskatse ajaga teostada mõõtmisi oluliselt rohkematel punktidel. LWD seadmeid saab liigitada kolme põhilisse kategooriasse – Soome, Saksa ning Taani koolkonna seadmed.

### 2.3.1 Soome koolkond

Soome koolkonna seadmeid võib liigitada fikseeritud kõrge pingerežiimiga seadmeteks, kus seadet on võimalik reguleerida vastavalt ainult talla diameetrit muutes. Kinnises korpuses on langeva raskuse mass ja kukkumise kõrgus fikseeritud. Soome koolkonna seadmetega ühelt punktilt mõõtes tuleb seeriana sooritada konkreetne arv katseid. Peale iga katset tuleb seade uuesti vinnastada seda mõõdetavalt punktilt üles tõstes, et raskus uuesti seadme ülemises osas lukustada. Kuna seade tuleb vinnastamiseks punktilt eemaldada, ei pruugi alati talla asetamine 100% samale asukohale õnnestuda ning seeläbi võivad ka katse tulemused seeläbi varieeruda. Lisaks võib talla jäljele ka variseda kõrvalt kohevat pinnast.

### Loadman

Loadman deflektomeetreid (joonis 2.5) toodetakse Soome ettevõttes AL-Engineering Oy, mis tootja andmetel sobib ehitusobjektidel pinnasekihtide tiheduse mõõtmiseks. Lisaks saab seadet kasutada ka laboritingimustes. Tänapäevaks on tootevalikus ka esimese Loadman seadme edasiarendatud versioon Loadman II, millele on lisatud funktsioonina mõõdetud andmete edastamine arvutisse läbi Bluetooth'i. [20]



Joonis 2.5 Deflektomeeter Loadman II [20]

Mõõdetud tulemustena esitatakse punkti maksimaalne deformatsioon, arvutatud kandevõime elastsusmoodulina, koormamise impulsi pikkus ja tihendustegur. Tihendustegur – suhe esimese ja viimase katse (maksimaalse) deformatsioonide vahel. Seadme tehnilised andmed tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Loadman seadme tehnilised parameetrid

<b>Loadman seadme tehnilised andmed</b>	
Kogukaal	16 kg
Kõrgus	117 cm
Taldade diameetrid	132 ja 300 mm
Kukkuva raskuse mass	10 kg
Raskuse kukkumiskõrgus	80 cm
Mõõtediapasoon	0,1 - 5 mm
Mõõteimpulsi pikkus	25 - 30 ms

## Inspector

Inspector deflektomeetrite (joonis 2.6) tootmisega ning nende müügiga tegeleb Eestis ettevõtte Englo OÜ. Esialgselt oli Inspector seade konstrueeritud Maanteeameti tellimusel, mille aluseks oli võetud Soome analoog Loadman. Inspector seadet on ajas pidevalt edasi arendatud ning käesolevaks hetkeks kannab viimane mudel nime Inspector-4.



Joonis 2.6 Deflektomeetrid Inspector-3 ja Inspector-4 [17]

Tootja sõnul võimaldab seadmega hinnata pinnase elastsusmoodulit, pinnase maksimaalset deformatsiooni, elastsusmoodulite suhet ja deformatsiooni aega.

Seadmesse on võimalik salvestada kuni 200 mõõteseria tulemused, kus igas seerias sooritatakse 8 katset. Seadme mälust saab mõõtetulemusi arvutisse edastada kas Bluetoothi või USB ühenduse kaudu. Seadme tehnilised andmed tabelis 2.2.

Tabel 2.2 Inspector seadme tehnilised parameetrid

<b>Inspector seadme tehnilised andmed</b>	
Kogukaal	16 kg
Kõrgus	115 cm
Taldade diameetrid	140, 200, 300 mm
Kukkuva raskuse mass	10 kg
Raskuse kukkumiskõrgus	80 cm
E-mooduli mõõtevahemik	5 - 900 Mpa

Inspector-seadmeid on Eestis turustatud üle 300 eksemplari, 300 mm tald on kataloogi lisandunud käesoleval aastal ja juhendmaterjalid selle kasutust veel ei kata. Erinevalt originaalist (Loadman) loetakse tihendusteguriks kolme viimase katse keskmise suhte teise katse tulemusse.

### **2.3.2 Saksa koolkond**

Saksa koolkonna mõõteseadmeid võib liigitada madala pingerežiimiga deflektomeetriteks, kus reeglina on pingerežiim 100 KPa. Mõõtetallad on 300 mm diameetriga ning langev raskus 10 kg. Sõltuvalt seadmest on võimalik kasutada ka lisaraskuseid. Puhvritena on kasutusel metallist vedru. Võrreldes Soome koolkonna seadmetega ei pea seerias katsete sooritamisel mõõtetalda katsepunktist vahepeal üles tõstma.

### **Zorn ZFG 3000 GPS LWD**

Zorn ZFG 3000 GPS LWD (joonis 2.7) deflektomeetreid toodetakse Saksamaa ettevõttes nimega Zorn Instruments GmbH & Co.KG. Tootja hinnangul sobib deflektomeeter kasutamiseks pinnasekihtide kandevõime ning tiheduse mõõtmiseks.

Standardkomplektsuses sisaldub mõõteseadmele ka arvuti, mis salvestab kuni 10000 katset ning võimaldab mõõtetulemused ka kohe objektil välja printida. Lisaks on võimalik igale mõõtepunktile lisada GPS koordinaadid. Baasseades, kus kasutatakse 10 kg raskust, on võimalik määrata elastsusmoodulit  $E_{vd}$  vahemikus 15 – 70 MPa. Lisana on võimalik juurde osta 15 kg raskus, millega on mõõtetulemistele vahemik 70 – 105 MPa. [21]



Joonis 2.7 Zorn ZFG 3000 GPS objektil [21]

### **Terratest 5000 BLU LWD**

Terratest 5000 BLU LWD (joonis 2.8) deflektomeetreid toodetakse Saksamaa ettevõttes nimega Terratest GmbH. Algseadetes deflektomeetriga, mille koormavaks raskuseks on 10 kg, saab kandevõimet mõõta usaldusväärses vahemikus  $E_{vd}$  15 – 70 MPa. Võimalus on ka kasutada 15 kg koormavat raskust, mille puhul mõjub tallale 14,14 kN suurune dünaamiline koormus ning pinge talla all on 200 kPa. Sellises mõõterežiimis loetakse usaldusväärses mõõtevahemikuks 70 – 120 MPa. [22]

### **HMP LFG LWD**

HMP LFG deflektomeetreid (joonis 2.9) toodetakse Saksamaa ettevõttes HMP Magdeburger Prüfgerätebau GmbH. Tootja sõnul sobib seade pinnasekihtide kandevõime ning selle tihendatuse hindamiseks. Analoogselt teistele kergseadmetele on ka HMP LFG mõõteseade väga operatiivselt käsitsetav ning katseid on võimalik läbi viia ühe inimese poolt.

Mõõdetava pinnasekihi suurimaks terasuuruseks on lubatud kuni 63 mm. Seadme mõõtediapasoon on  $E_{vd} < 225$  MPa. Deflektomeetriga baasseadistuses on komplektis ka katse tulemusi salvestad seade, kuhu on võimalik korruga salvestada kuni 500 katseseeriat. Lisainstrumendiga on ka võimalus ka mõõtetulemused otse objektil välja printida. Instrumendist saab andmeid arvutisse või nutiseadmetesse edastada kaabli, bluetoothi, mä lupulga abil. Baasseadme järgmises kompleksuses lisandub ka mõõtetulemustele GPS koordinaatide lisamise võimalus.[23]

### 2.3.3 Taani koolkond

Taani koolkonna deflektomeetreid eristab Saksa koolkonnast nende suuremad võimalused seadme ümberseadistamisel. Taani koolkonna seadmetel on võimalik mõõtorežiimi reguleerida vastavalt erineva mõõtudega taldade, erinevate raskuste ning selle kukkumiskõrguse muudatustega. Ka reguleeritakse erinevatel raskustel vastavaid puhvreid, mis erinevalt Saksamaa seadmetel kasutatud metallist vedrudest, on valmistatud reeglina vahtkummist. Erinevalt Soome koolkonna seadmetest ei pea seeria sooritamiseks seadme talda mõõdetavast punktist vahepeal eemaldama.

#### Prima 100 LWD

Prima 100 LWD (joonis 2.10) deflektomeetreid toodab ning turustab Taani ettevõtte Sweco Denmark A/S. Kuna antud seadmeid tootev ettevõtte on mitmeid kordi omanikke vahetanud, on ka seade kandnud varasemalt erinevaid nimesid. Samal seadmel võib kohata varasemate nimedena näiteks CarlBro ja Phoenix.



Joonis 2.10 Sweco Prima 100 LWD deflektomeeter [24]

Seadme koormusrežiimi on võimalik reguleerida erinevate seadistustega:

- Muutes talla diameetrit – 100, 200 ja 300 mm
- Koormuse raskus – 10, 15 või 25 kg
- Raskuse kukkumise kõrgus kuni 850 mm

Vastavalt koormuse raskusele muudetakse ka kooniliste puhvrite arvu. Sõltuvalt koormuse muutmisest on võimalik jäljendada pingeid erinevatel konstruktsioonikihtidel



nende reaalses tööolekus. Põhiseadmele saab juurde lisada eraldi talaga ka kaks sensorit, mis võimaldab mõõta vajumiskausi kuju ning suurust. [24]

Mõõtetulemusi saab arvutisse või nutiseadmesse edastada kaabli ning bluetooth vahendusel. Peale iga katset kuvatakse soorituse tulemused deflektomeetriga ühendatud seadme ekraanile. Prima 100 LWD seadet saab osta ka GPS valmidusega, mille abil saab igale mõõtepunktile lisada koordinaadid.

### **Dynatest 3032 LWD**

Dynatest LWD deflektomeetreid toodetakse ning turustatakse Taani ettevõtte Dynatest International A/S poolt. Tootja sõnul sobib Dynatest 3032 LWD (joonis 2.11) deflektomeeter sidumata või ka seotud konstruktsioonikihtide tihendatuse ning elastsusmooduli hindamiseks. Kandevõimet on võimalik mõõta ka õhukestelt asfaltkatenditelt. Analoogselt teistele kergseadmetele on ka Dynatest 3032 LWD seadet võimalik kasutada raskesti ligipääsetavates asukohtades – näiteks kaevikute põhjas ja muude kitsastes kohtades, kus plaatkoormuskatset oleks võimatu sooritada.

Erinevalt Prima 100 LWD seadmest on võimalik Dynatest 3032 LWD-ga sooritada ühelt punktil mõõtmisi erinevate tallasuurustega, ilma seadet kohapealt üles tõstmata. Mainitud funktsiooni nimetatakse DPS tehnoloogiaks, kus saab suurema talla (300 mm) lihtsasti seadmest lahti ühendada ning katse sooritada väiksema (150 mm) mõõtetallaga. Kui reeglina mõõdab LWD seadmetel deformatsioone tallaga ühendatud sensor, siis Dynatest LWD seadmetel toetub sensor mõõdetavale pinnasele tallast sõltumatult. Vajadusel on võimalik ka sensor lukustada ka tallaga sõltuvaks. Vahtkummist puhvreid valitakse vastavalt koormavale raskusele. Sõltuvalt seadme koormusrežiimist ulatub pingerežiimi ulatus kuni 1,5 MPa-ni. [25]



Joonis 2.11 Dynatest 3032 LWD deflektomeeter

Seadme koormusrežiimi on võimalik reguleerida erinevate seadistustega:

- Muutes talla diameetrit – 100, 150, 200 ja 300 mm
- Koormuse raskus – 5, 10, 15 või 20 kg
- Raskuse kukkumise kõrgus kuni 850 mm

Põhiseadmele on võimalik juurde lisada kaks lisasensorit, mis analoogselt Prima 100 LWD seadmele, annab võimaluse vajumiskausi suuruse ja kuju määratlemiseks.

Mõõtetulemused saab edastada arvutisse või mõnda teise nutiseadmesse bluetooth mooduli vahendusel. Spetsiaalses tarkvaras (LWDmod) kajastuvad mõõtetulemused koheselt peale katse sooritamist. Tulemustele on võimalik lisada ka koordinaadid ühendatud nutiseadme GPS-i abil.

## 2.4 Rasked deflektomeetrid

Raskeid deflektomeetreid (FWD) kasutatakse erinevate teekatendite kandevõime hindamiseks. Seadmed sobivad nii elastsete katendite kui ka jäikade ja komposiitsete katendite kandevõime hindamiseks. FWD seadmeid kasutatakse erinevatel sõiduteedel, lennuväljadel, sadamaaladel ning ka raudteedel kandevõime määramiseks. Oma

ehituselt moodustavad FWD seadmed üldjuhul järelveetava haagise, kuid on olemas ka lahendusi, kus vastav seade on integreeritud eraldi sõidukisse.

### **2.4.1 Dynatest 8000 FWD**

Dynatest FWD 8000 (joonis 2.12) järelveetavaid deflektomeetreid toodetakse ning turustatakse Taani ettevõtte Dynatest International A/S poolt. Tootja hinnangul on võimalik seadmega sooritada tunnis kuni 60 katset, milleks piisab ühest inimesest.[25]

Nõ mittepurustava katsemeetodi käigus kukub raskus puhvrile, mis on ühendatud 300 mm diameetriga tallaga. Katse simuleerib liikuva veoki ratta poolt tekitatud koormust katendikonstruktsioonile. Kukkuva koormuse mõju katendile saab mõõta kuni 15 anduriga. Seadmel on reguleeritav lai koormusdiapasoon 4 – 120 kN erinevate katenditüüpide kandevõime mõõtmiseks. Teekattel teostatud mõõtetulemusi analüüsitakse spetsiaalses tarkvaras Dynatest ELMOD, kus saab määrata ka igal katenditüübil vastavad elastsusmoodulid ja nendele mõjuvad pinged. [25]

Eestis on selline seade Teede Tehnokeskusel.



Joonis 2.12 Dynatest FWD 8000 deflektomeeter [25]

### 3 KATSEOBJEKTID

Eesmärgiga välja selgitada hüpoteesi paikapidavust, et kaevetööde järgselt taastatud katendite kandevõime on reeglina väiksem kui olemasoleva katendi oma. Selleks valiti Tallinna ja Tartu linnas välja erineva iseloomuga objektid kus mõõdeti katendite deformeeritavust dünaamilise koormamise käigus. Kuna kandevõime ja deformatsiooni suurus koormamise ajal on lineaarses seoses saame kergseadmega mõõdetud deformatsioonidest teha järeldusi kandevõime erisusest erinevates ristlõike punktides. Deformatsioonid kattel eristavad selgelt ära erinevused olemasoleva, taastatud konstruktsioonide ning üleminekulade vahel. Katsed teostati 2019. aasta kevadel, kus polnud enam ohtu külmunud pinnase mõjule. Võrdluskatsed on teostatud T-Konsult OÜ Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga. Seadme mõõtorežiim antud katsetes 700 kPa, 20 kg kukkuvat raskusega, 150 mm tallaga.

#### 3.1 Lootuse puiestee veetorustiku rajamine

Lootuse puiestee objektil oli tegemist erakinnistule vee- ja kanalisatsiooniliitumiste väljaehitamisega, millega kaasnes ka sõidutee taastamine Lootuse pst-l. Projektlahenduses oli ette nähtud kahekihilise asfaltkatendi taastamine koos lubjakivikillustikust teepeenraga. Taastamistööd olid teostatud 2018. aasta novembris. Olukord mõõtmise hetkel: kuiv, temp 4°C.



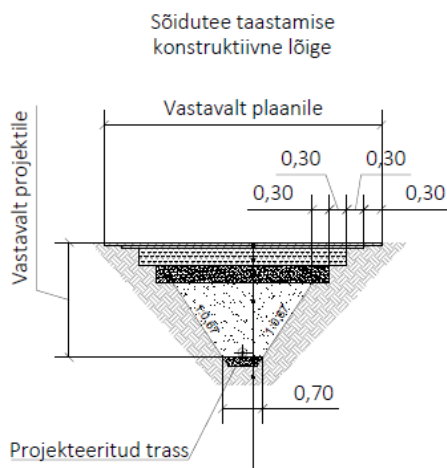
Joonis 3.1 Lootuse pst mõõtmiste asukohaskeem [26]



Joonis 3.2 Mõõtetööd Lootuse pst taastatud kattel

Taastatud konstruktsioonid sõiduteel (joonis 3.3):

- AC16 surf 5 cm;
- AC16 base 6 cm;
- lubjakivikillustikust alus fr. 32/63 30 cm;
- drenikiht 30 cm, filtratsiooniga  $\geq 1\text{m}/\ddot{o}\ddot{o}\text{p}$ , tihedus  $k_t=0,98$
- täitepinnas filtratsiooniga  $\geq 0,5\text{m}/\ddot{o}\ddot{o}\text{p}$
- liivalus 15 cm, tihedus  $k_t=0,98$



Joonis 3.3 kaeviku lõige projektdokumentatsioonist

Mõõdetav ala oli jagatud ridadeks ja veergudeks, mis iseloomustab katsete teostamise järjekorda. Igale seeriale on lisatud rea number ning selle teostamise järjekorra number.(Tabel 3.1)

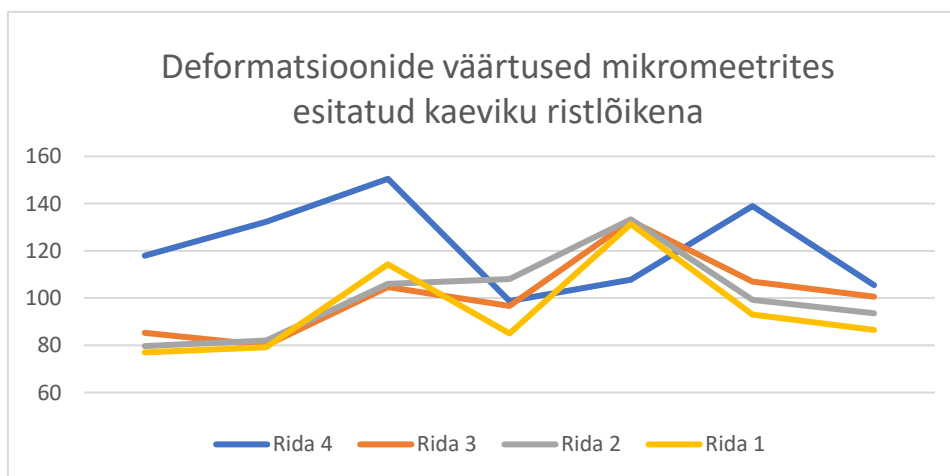
Tabel 3.1 Seeriaste asukohti selgitav skeem

4.7	4.6	4.5	4.1	4.2	4.3	4.4
3.7	3.6	3.5	3.1	3.2	3.3	3.4
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
1.7	1.6	1.5	1.1	1.2	1.3	1.4

Dyantest 3032 LWD seadmega mõõdetud deformatsioonid on esitatud mikromeetrites (µm) tabelis 3.2, kus musta joonega ümbritsetud ala tähistab taastatud katendit ning vastavalt tulemustele esitatud graafikul joonis 3.4

Tabel 3.2 Mõõdetud deformatsioonid taastatud ja vanalt katendilt.

118	132	151	99	108	139	106
85	80	105	97	133	107	101
80	82	106	108	133	99	94
77	79	114	85	131	93	87



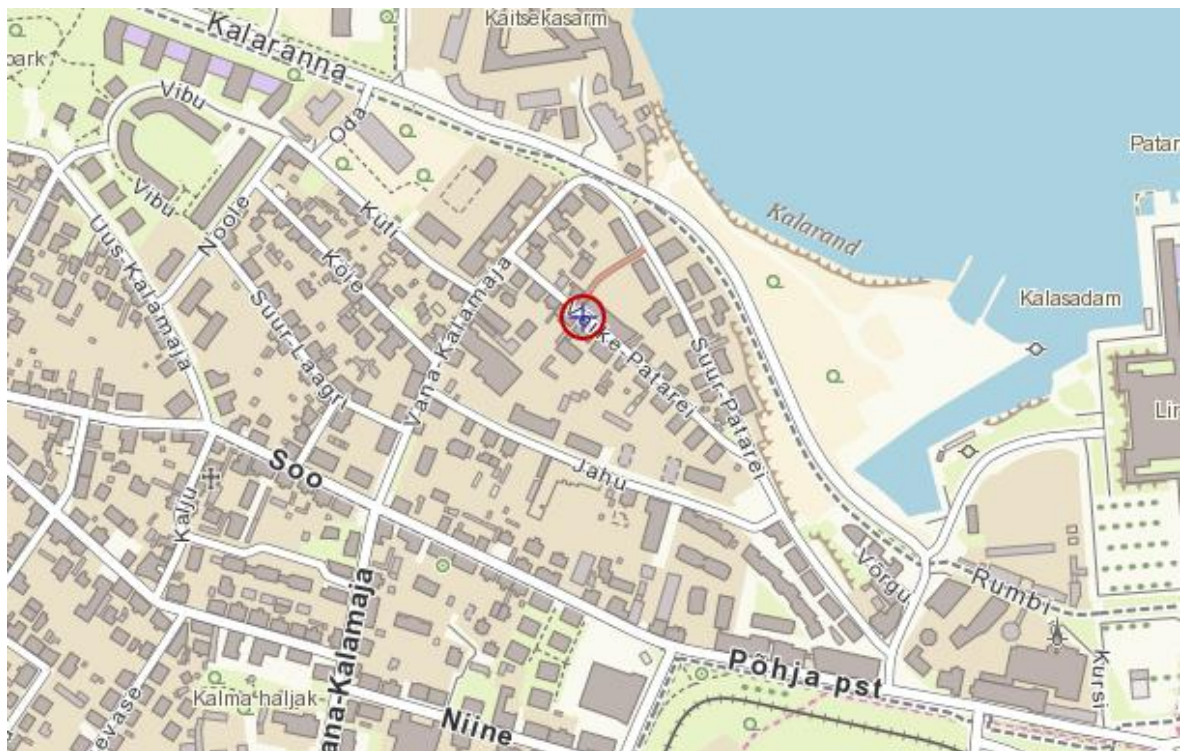
Joonis 3.4 Illustreeriv graafik deformatsioonide väärtuste järgi kaeviku ristlõikena

Mõõtetulemustest joonistuvad välja selgelt suuremate deformatsioonidega katendite üleminekuvalad, kus mõõdetud deformatsioonid erinevad nii taastatud kui ka olemasolevalt kattelt mõõdetud deformatsioonidest. Eeldades, et üleminekuvalal on konstruktsioonide kokkuviiemised teostatud astmeliselt vähemalt kvaliteedimääruses sätestatud ulatuses, ei taga selline meetod kaevikute servades samaväärset tulemust.



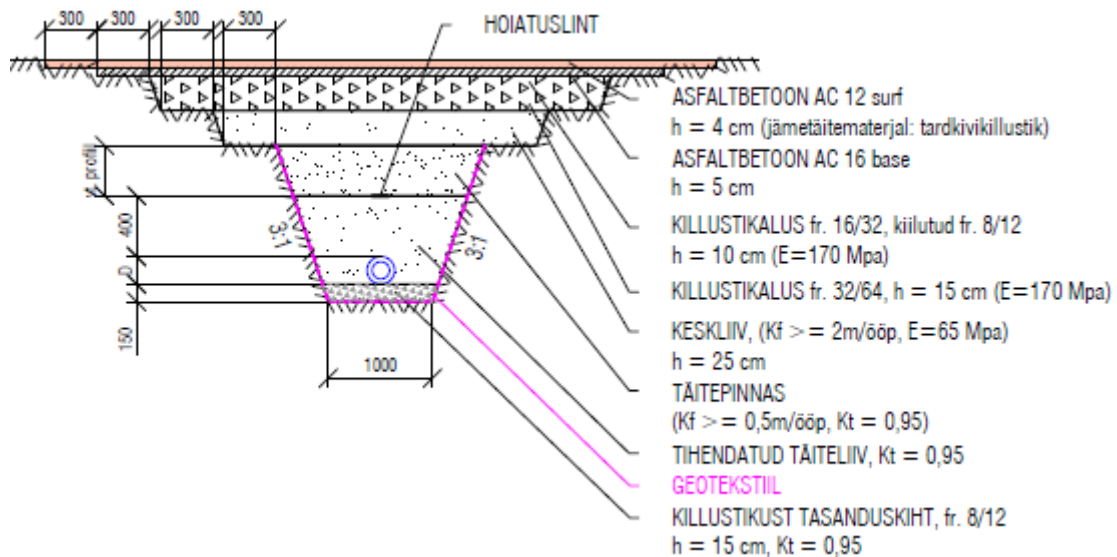
## 3.2 Väike – Patarei tänaval kanalisatsioonitorustiku rekonstrueerimistööd

Väike - Patarei tänav taastamistööd teostati seoses ühiskanalisatsiooni peatrassi rekonstrueerimisega. Sõidutee taastati Väike – Patarei 1 kuni Väike – Patarei 15 vahelises lõigus kogu tee laiuses, kuid kogu konstruktsioon vahetati välja ainult torustiku rajamisel kaeviku ulatuses. Taastamistööd lõpetati 2018. aasta novembris ning deformatsioonide kontrollmõõtmised teostati 2. mai 2019. Olukord mõõtmiste hetkel: kuiv, temp 5°C.



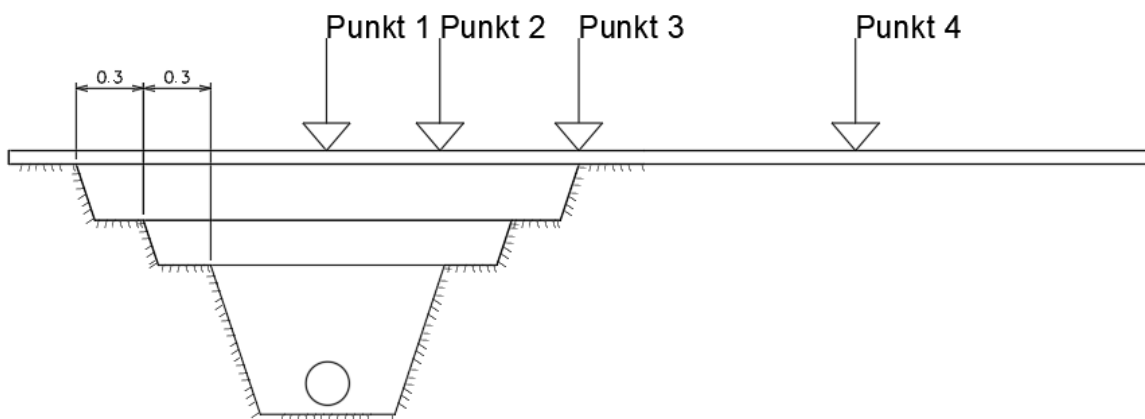
Joonis 3.5 Väike – Patarei tn mõõtmiste asukohaskeem [26]

Projektlahendus (joonis 3.6) nägi ette kaeviku kohal kahekihilise asfalkattega konstruktsiooni taastamise ning ülejäänud tänava ulatuses freesitud pinnale 4 cm paksuse kulumiskihi taastamise. Konstruktiivsel lõikel on selgelt näha ka vastavalt kvaliteedimäärusele astmeline katendikihtide taastamine, kus iga järgnev kiht on alumise suhtes ülekattes vähemalt 30 cm ulatuses.



Joonis 3.6 Projektlahenduses ette nähtud katendikonstruktsioon [27]

Seeriade asukohad on valitud selliselt, kus terves ulatuses uue konstruktsiooni alal on teostatud mõõtmise kaeviku tsentrist, mis lokaliseeriti kanalisatsioonitrassi kaevuluukide asukohtade järgi. Kaks punkti on valitud hinnangulisel kaeviku üleminekuosal ning viimane olemasolevate aluskihtidega ülekattega alal. Mõõtmised on teostatud kokku neljas ristlõikes (joonis 3.8), kus taastatud tänavaga võrdluseks on ühe ristlõike tulemused mõõdetud ka olemasolevalt taastamata katendilt.



Joonis 3.7 Seeriade hinnangulised asukohad tänava ristlõikes



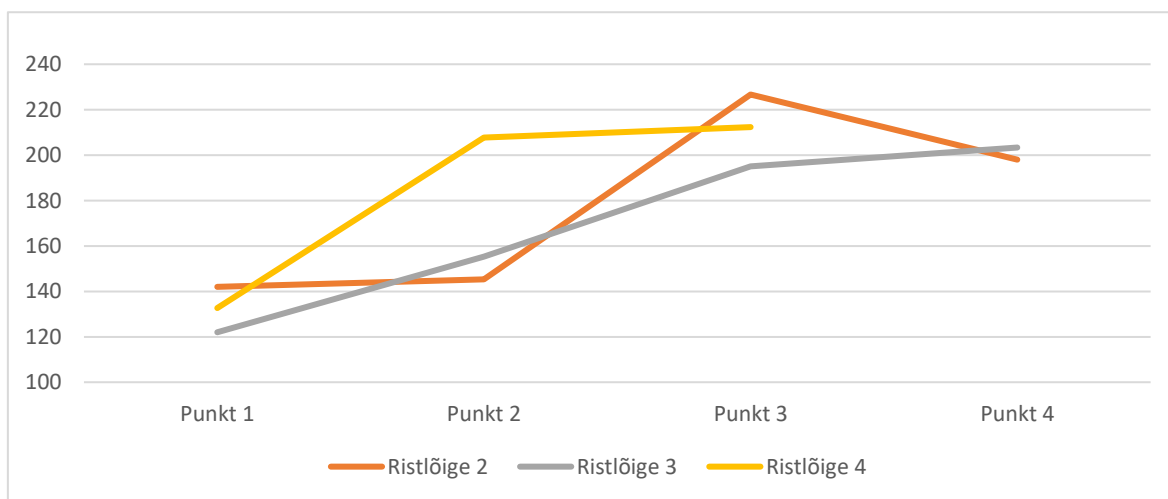


Joonis 3.8 Ristlõigete asukohtade skeem [27]

Mõõtetulemustest (tabel 3.3) on näha olukord, kus taastatud alal on väiksemad deformatsioonid kui olemasoleva aluskonstruktsiooniga osas ning reeglina osutub nõrgimaks kahe erineva ala üleminek. On ka teada, et antud lõigus on osaliselt sõidutee täitena kunagi kasutatud ehitusjäätmepind ja seeläbi on ka olemasoleva alusega punktidele mõõdetud tulemused oluliselt kehvemad.

Tabel 3.3 Mõõdetud deformatsioonid mikromeetrites

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
Ristlõige 1 (vana kate)	198	211	118	-
Ristlõige 2	142	145	227	198
Ristlõige 3	122	155	195	203
Ristlõige 4	133	208	212	-



Joonis 3.9 Deformatsioonide väärtused graafikul esitatud vastavalt ristlõigetele

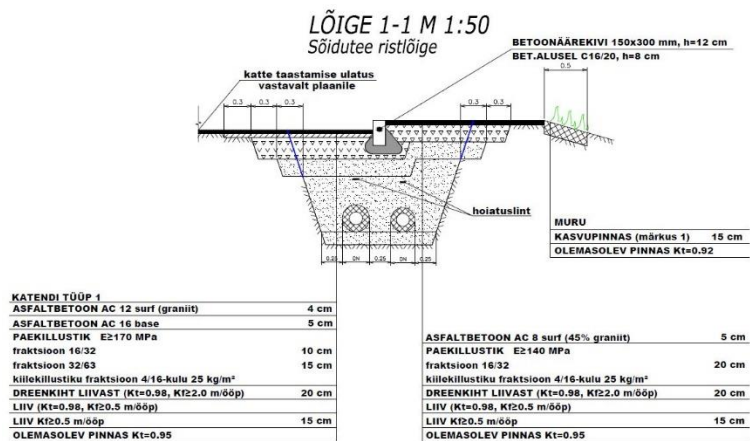
### 3.3 Marsi tänava soojustorustiku rajamise ehitustööd

Antud objektil teostati katendite taastamine Marsi tänaval kaugküttetorustiku rekonstrueerimise raames. Katendite taastamistööd teostati 2018. aasta augustis ning deformatsioonide mõõtetööd 29. aprill 2019. Kuna torustik paigaldati ühe sõidurajaga kohakuti, teostati ka kogu konstruktsiooni taastamine ainult ühel sõidurajal kaeviku ulatuses. Ülejäänud sõidutee osas paigaldati freesitud alusele uus kulumiskiht. Olukord mõõtmiste hetkel: kuiv, temp 4°C.

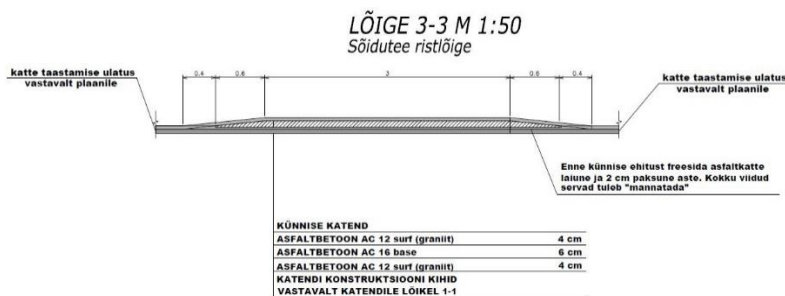


Joonis 3.10 Marsi tänava mõõtmistööde asukohaskeem [26]

Lisaks kõnnitee ja sõidutee põhikonstruktsioonide (joonis 3.11) taastamisele oli antud objektile ka taastamise alal künnis (joonis 3.12), millel kõrgendatud osa on rajatud lisa asfaldikihtidena. Kui põhikonstruktsioonis on kasutatud kahekihilist asfaltkatet AC 12 surf 4 cm + AC 16 base 5 cm, siis künnise osas lisandus 6 cm AC 16 base segu ja 4 cm AC 12 surf segu.

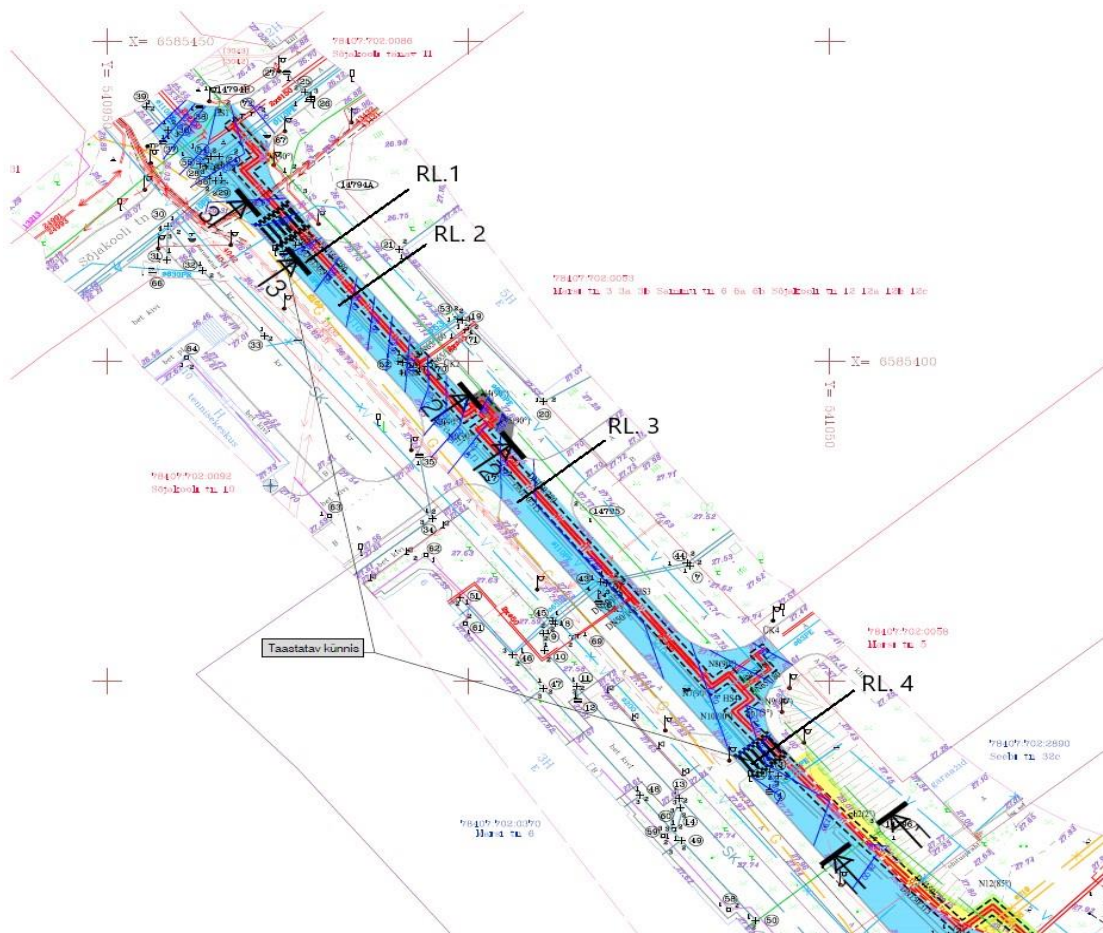


Joonis 3.11 Kohtlõige projektlahevusest. [27]



Joonis 3.12 Künnise ristlõige.[27]

Mõõtepunktide asukohad on valitud selliselt, kus ristlõike esimene seeria asub hinnanguliselt otse rajatud kaugküttetorustiku kohal kaeviku tsentris. Torustiku hinnanguline asukoht on fikseeritud horisontaalsest kaugusest äärekivist vastavalt projektlahevusele.



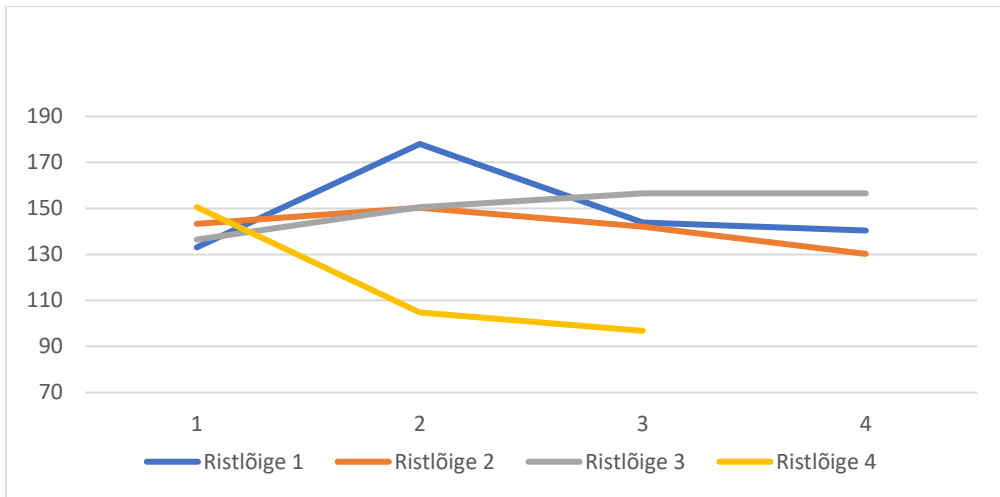
Joonis 3.13 Ristlõigete asukohtade skeem. [27]

Mõõtetulemustest selgunud kahe ristlõike väga väikeste erinevustega deformatsioonid võivad viidata täpselt normatiivide järgi teostatud ehitustöödele kui ka taastatud katendikonstruktsiooni identssele kattuvusele olemasolevaga. Marsi tänava lõik Sõjakooli tn kuni Seebi tn on rekonstrueeritud 2014. aastal ning selle konstruktiivne lahendus kattub kaugküttetorustiku ehitustööde raames taastatud katendiga. Künniselt mõõdetud deformatsioonid on teistest ristlõigetest väiksemad, kuna ülejäänud teelõigust on sellel ala paksem asfaldikiht ning kergseadme mõju ulatus on seeläbi väiksem. Võib järeldada, et kui on teada täpne olemasolev katendikonstruktsioon, siis on ka taastamistöödel lihtsam ühtlast tulemust saavutada.

Tabel 3.4 Mõõdetud tulemused mikromeetrites

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
Ristlõige 1	133	178	144	140
Ristlõige 2	143	150	142	130
Ristlõige 3	136	151	157	157
Ristlõige 4	151	105	97	
Ülekate				Künnisel

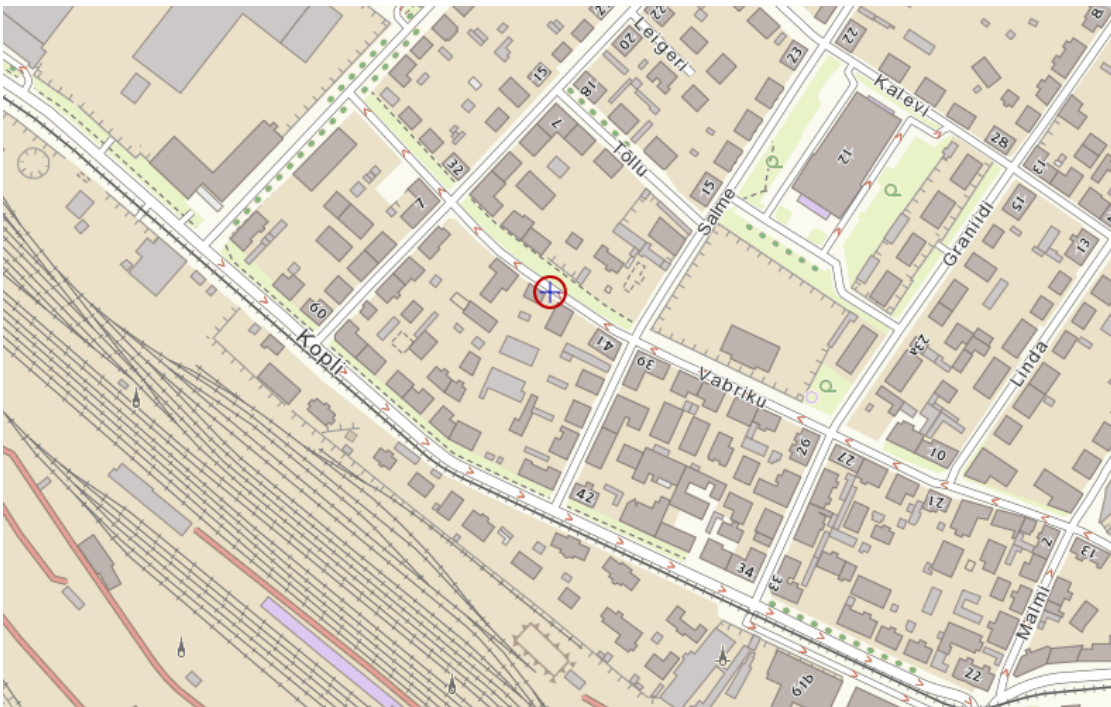




Joonis 3.14 Deformatsioonide väärtused graafikul esitatud vastavalt ristlõigetele

### 3.4 Vabriku tänav 45 liinipinge muutmine

Vabriku tn 45 liinipinge muutmise raames paigaldati Vabriku tn 43 kuni Vabriku tn 45 kinnistute ulatuses kõnnitee alale madalpinge maakaabelliin kaitsetorus. Taastamistööd hõlmasid kõnniteel kaeviku taastamisel asfaltkatendi taastamist ning ka olemasolevate betoonist veerennide paigaldust. Kaevetöödega äärekive ega sõidutee katendit ei lõhutud. Taastamistööd teostati 2019. aasta märtsis ning deformatsioonide mõõtetööd 2. mai 2019. aastal. Olukord mõõtmiste hetkel: kuiv, temp 5°C.



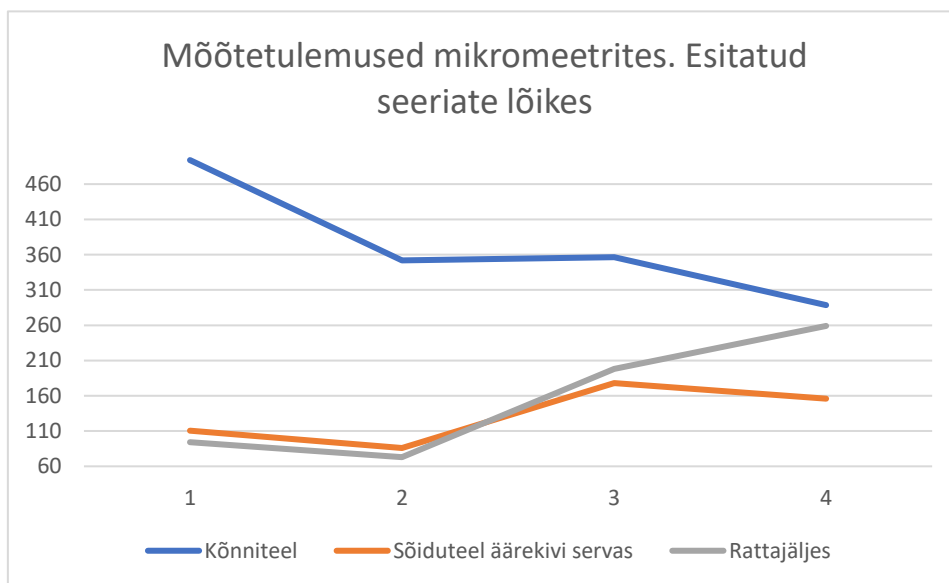
Joonis 3.15 Vabriku tänava mõõtetööde asukohaskeem [26]



Mõõtetulemustest nähtub, et ristlõikes 1 ja 2 on kõnniteelt mõõdetud deformatsioonid väga sarnased, kuid vanal kattel erinevad pea poole võrra. Sõiduteel teostati mõõtmised kahes punktis, kus üks seeria asus vahetult äärekivi kõrval ning teine sõiduraja rattajäljes. Ristlõigete omavahelised deformatsioonide väärtused on küll erinevad, kuid vahetult äärekivide kõrvalt mõõdetud tulemused ei erinenud oluliselt rattajäljest mõõdetud deformatsioonidest. Võib järeldada, et kõnniteel pikisuunas teostatud kaevetööd antud lõigus ei mõjutanud sõidutee konstruktsioonide omadusi.

Tabel 3.5 Mõõdetud deformatsioonide tulemused mikromeetrites

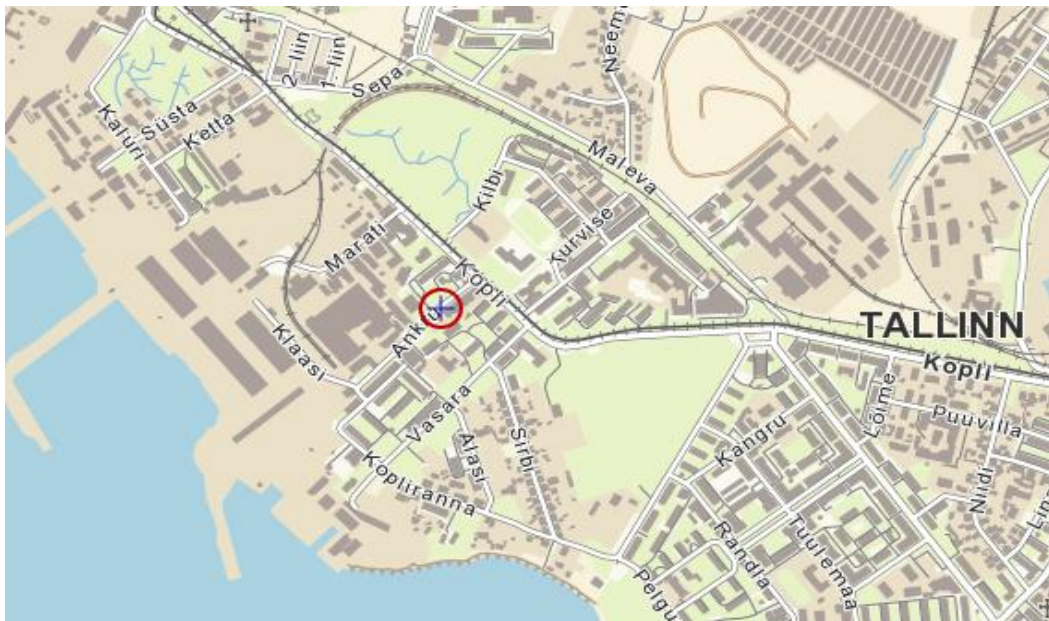
	p.1	p.2	p.3
Ristlõige 1	494	110	94
	p.1	p.2	p.3
Ristlõige 2	352	86	73
	p.1	p.3	p.2
Ristlõige 3	357	178	198
	p.1	p.3	p.2
Ristlõige 4	289	156	259



Joonis 3.18 Deformatsioonide väärtused vastavalt seeriade asukohtadele, mis on kujutatud teega pikisuunas.

### 3.5 Ankru tänava 4a elektrivarustuse rajamine

Ankru tänava sõidutee taastamistööd teostati Ankru tn 4a kinnistu elektrivarustuse ehitustööde raames. Ehitustööd nägid ette kahe madalpingekaabli paigalduse kaitsetorus ning lisaks veel kahe reservtoru paigalduse. Projektlahendus (joonis 3.20) nägi ette paigaldustööd lahtise kaevikuga, välja arvatud II väärtusklassiga puude juurekaitsealas, kus teostati paigaldustööd kinnisel meetodil. Taastamistööd teostati 23. aprillil 2019. aastal ning deformatsioonide mõõtmised 2. mai 2019. Olukord mõõtmiste hetkel: kuiv, temp 5°C.



Joonis 3.19 Ankru tänava mõõtetööde asukohaskeem [26]

Mõõtmised teostati seeriatena neljas ristlõikes, millest üks asus kinnisel meetodil rajatud kaablikaitsetorude kohal ning kolm kaeviku taastamise lõigus. Seeriade punktid olid valitud vastavalt taastatud kaeviku tsentris, hinnangulisel üleminekuvalal ning vanal kattel. Kaeviku tsepter ja kaablikaitsetorude asukohad lokaliseeriti horisontaalse kauguse järgi äärekivist vastavalt projektlahendusele.

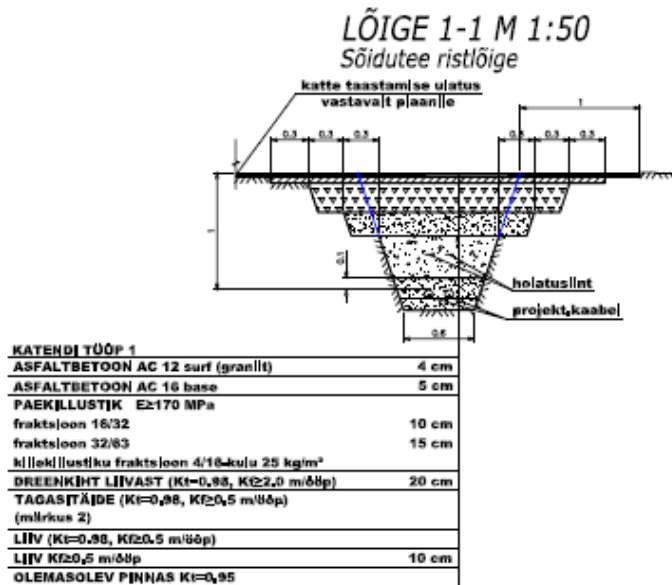




Joonis 3.20 Deformatsioonide mõõtmised Ankrü tänava sõiduteel



Joonis 3.21 Ristlõigete asukohtade skeem [27]

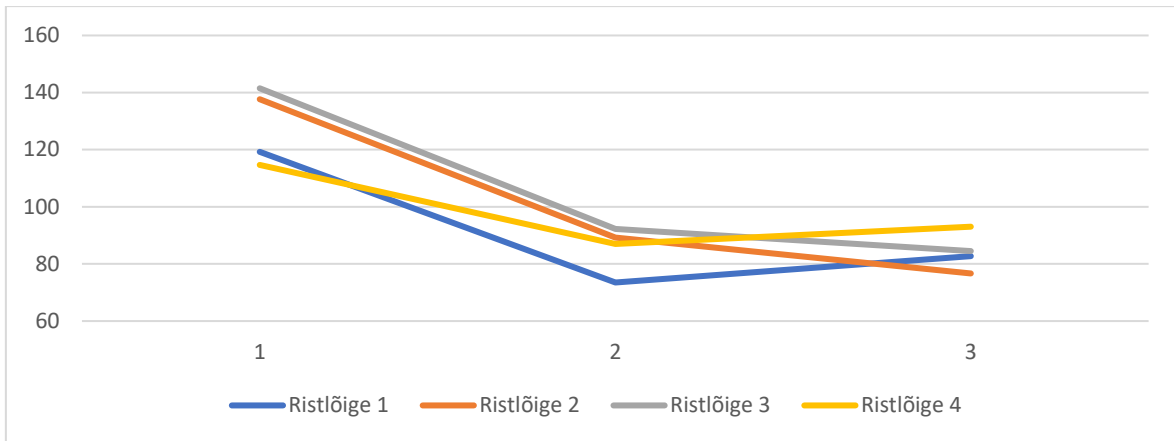


Joonis 3.22 kohtlõige Ankrü tänava sõidutee taastamisest [27]

Mõõtetulemustest selgus, et antud objektil osutusid deformatsioonid taastatud konstruktsioonil suuremaks kui üleminekuosal ning olemasoleval kattel. Kaeviku alas teostatud mõõteseriad peegeldavad oma tulemustelt ka kinnise meetodiga rajatud kaitsetorude kohal mõõdetud deformatsioone. Kuna Ankrü tänava objektil tekkinud tulemuste suhe võrreldes teiste analoogsete katseobjektidega on selline, kus taastatud konstruktsioonil on deformatsioonid suuremad puutumata kattest, võib järeldada, et tagasitäitel pole erinevate kihtide tihendamisel saavutatud nõutud parameetreid.

Tabel 3.6 Deformatsioonide tulemused mikromeetrites

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	
Ristlõige 1	119	74	83	Taastatud kaevik
Ristlõige 2	138	89	77	Taastatud kaevik
Ristlõige 3	142	92	85	Taastatud kaevik
Ristlõige 4	115	87	93	Kinnise meetodi ala
	Trassi kohal	Kaeviku nõlv/üleminek	Ol.olev olukord	



Joonis 3.23 Ankrude deformatsioonide väärtused vastavalt ristlõigetele

### 3.6 Endla tänava veevarii järgsed katendite taastamistööd

Endla tn 55 piirkonnas sõidutee alal toimunud veevariiiga kaasnenud katendite taastamine hõlmas kahel sõidurajal kogu kaeviku taastämist kuni avarii põhjustanud veetoruni. Ülekatet freesitud alusel laiendati kolmele sõidurajale. Kuna mõõtetööd toimusid taastamistöödega samal päeval ning taastatud asfaltkate temperatuur oli selgelt kõrgem puutumata kattedest, ei saa teha järeldusi deformatsioonist tuletatava kandevõime väärtuste suhtes uuel ja vanal kattel.

Tabel 3.7 Mõõdetud deformatsioonid mikromeetrites.

				493	434								
Sõidurada 2			456	381	447	456							
50	69	58	427	399	400	450	421	394	430	531	141	40	44
Sõidurada 1			290	319	412	386	502	446	441	489	167		
			416	394	343	394	437	422	385				
Bussirada				368	353	310	348						
					421	326							

Musta joonega ümbritsetud tulemused on mõõdetud taastatud asfaltkattelt ning võrdluseks nii taksopargi kui ka hipodroomi suunal teostatud 2 meetrise sammuga kokku 7 seeriat. Seeriade asukohad olid valitud igal sõidurajal rattajälgedesse ning pikisuunas eraldas mõõtepunkte 1 meeter.

Tulemustest joonistub välja selgelt suuremate deformatsioonidega ala taksopargi suunal. Vanal kattel erineb ülemineku ala kõrval kordades suurema deformatsiooniga seeria võrreldes taastatud alast kaugemate punktidega. Kuna kehtivad kvaliteedinõuded ei näe ette astmetena kaeviku laiendamist allpool katendi konstruktsioonikihte, ei ole antud juhul piisanud ainult konstruktsioonikihtide arvelt kaeviku laiendamisest. Kaeviku servas taastäite ajal ei tihendata olemasolevat materjali ning tekivad erinevused. Endla tänava avariikaevetööde objekt on ilmekas näide, et taastamistöodeks tuleb täiendada normatiive ka katendi aluse taastäite nõudete osas. Variandina laiendada kaeveala alates külmumispiirist.

Võib prognoosida, et taksopargi suunal suuremate deformatsioonidega välja joonistunud ala on kõige tõenäolisem, kus antud lõigus tekib vajum. Veetorustiku purunemisel uhtus vesi pinnase minema mööda torustikku ning ka kaeviku nõlvad muutusid seeläbi hõredamaks.



Joonis 3.24 Deformatsioonide mõõtmine bussiraja rattajäljest



## 3.7 Taastatud katendite deformatsioonide mõõtmised Tartu linnas

Tartu linnas teostatud mõõtetööl sooritati deformatsioonide mõõtmisi kokku kuuel erineval objektil. Võrdlusmomentid ristlõikes olid valitud taaskord punktidenal vanal kattel, hinnangulisel üleminekulal ning eeldataval kaeviku keskosal.



Joonis 3.25 Mõõtetööde asukohad Tartu linnas.

Esitatud tabelis 3.8 on lisaks mõõdetud deformatsioonidele, toodud välja protsentuaalselt erinevatel punktidel ristlõikes mõõdetud tulemused, kus etaloniks on võetud mõõtetulemus vanalt puutumata kattelt.

Tulemustest nähtub, et kõikide objektide puhul on tegemist olukordadega, kus üleminekuladel tekkisid suuremad deformatsioonid ning sellest sõltuvalt on ka nendel aladel nõrgem kandevõime. Ühe objekti puhul oli eeldatava kaeviku tsentri kohalt mõõdetud deformatsioonid väiksemad kui vanal kattel.

Tabel 3.8 Mõõdetud deformatsioonid mikromeetrites

<b>Narva maantee 69</b>		<b>Kommentaar</b>	<b>Kandevõime %</b>
Vana kate	114		100%
Üleminekuala	115		99%
Eeldatav kaeviku asukoht	159	Kaevik piki teed, mõõdeti eraldusribal	72%
Uuel kattel	120		95%
<b>Põllu 11</b>			
Vana kate	110		100%
Üleminekuala	156		71%
Eeldatav kaeviku asukoht	167		66%
<b>Põllu peatus</b>			
Vana kate	100		100%
Üleminekuala	151		66%
Eeldatav kaeviku asukoht	138		72%
Kõnnitee kate	296		34%
<b>Nikolai Lunini 17</b>			
Vana kate	189		100%
Üleminekuala	248		76%
Eeldatav kaeviku asukoht	185		102%
<b>Jalaka 2b</b>			
Vana kate	149		100%
Üleminekuala	200		75%
Eeldatav kaeviku asukoht	162		92%
<b>Kaupmehe 1</b>			
Vana kate	159		100%
Üleminekuala	251		63%
Eeldatav kaeviku asukoht	232		69%
Võrkpragu vanal kattel	278		57%
Pesula kate	257	Mõõdeti pesula alal erakinnistul	62%

### 3.8 Mõõdetud koondtulemused ja järeldused

Kergdeflektomeeter Dynatest 3032 LWD seadmega toimunud mõõtetööl kasutati 150 mm diameetriga mõõtetallal 700 kPa pingerežiimi, mis on lähedane standardtelje koormusele 600 kPa. Tabelis 3.9 esitatud deformatsioonid on vastavalt mõõteobjektidele võetud erinevate ristlõigete samade asukohtadega punktide keskmised väärtused, näiteks keskmised väärtused üleminekualal ning keskmised väärtused kaeviku tsentrist mõõdetud väärtused.

Tabel 3.9 Koondtulemused mõiõteobjektidel tagasitõite, üleminekuala ja vana katte võrdluses.

	<b>Vanal alusel</b>	<b>Üleminekuala</b>	<b>Eeldatav kaeviku tsender</b>	<b>Üleminekuala kandevõime % vanast alusest</b>	<b>Kaeviku kandevõime % vanast alusest</b>
Lootuse pst	81	108	97	74%	83%
Võike-Patarei tn	211	169	132	125%	160%
Marsi tn	148	160	137	92%	108%
Ankru tn	82	85	133	96%	61%
Narva mnt 69	114	115	159	99%	72%
Põllu tn 11	110	156	167	71%	66%
Põllu tn peatus Nikolai Lunini 17	100	151	138	66%	72%
Jalaka tn 2b	189	248	185	76%	102%
Kaupmehe tn 1	149	200	162	75%	92%
	159	251	232	63%	69%
Koondatud keskmine % kandevõimest objektidel				84%	88%

Mõõtetulemustest nõhtub, et üleminekualadelt mõõdetud deformatsioonid on 80 % katseobjektidel suuremad kui olemasoleva alusega katendilt mõõdetud tulemused. Võrreldes kogu kaeviku ulatuses tagasitõidetud materjaliga punktidel mõõdetud tulemustega nõhtub 60 % mõõteobjektidel, et deformatsioonid on üleminekualal suuremad.

Põhjuseid võib olla mitmeid, kuid põhiliste mõjuteguritena võib välja tuua paar olulisemat. Esiteks ei nõrgita tee ehitamise kvaliteedimõõdes esitatud nõuet astmelisele taastamisele, kus iga nõrgnev katendikiht peab olema alumise suhtes ülekattes vähemalt 30 cm ja realselt tehakse kaevikud maksimaalselt nõrsud, mille nõlvad varisevad ja mõnevõrra ka kaeviku seinad nõrenevad. Teiseks ei teostata mitmekihiliste asfaltkatendite taastamisel piisavat ülekatet eraldi igal kihil ning lisaks puudulikule kruntimisele ei kasutata vuugiliimi või kuuma vuugi meetodit. Lapidud katted hakkavad suure tõenäõsusega kõigepealt lagunema just vuukide asukohtadest.

Taastatud katendite ja olemasoleva olukorra kontrollitavate parameetrite erinevuste põhjuseks võib veel olla ka olemasoleva mulde materjalist erineva täitematerjali kasutamine kõlmumissõgavuse piires. Normatiivides esitatakse nõõded materjalide filtratsioonile ning see võlistab selliste materjalide kasutamisel kõlmakerked. Kui tee olemasolevas muldes on seejuures kõlmakartlikud materjalid ja muldesse satub niiskus, tekivad konstruktsioonis kõlmakerked, kuid mitte taastatud osas. Erisuste õhtlustamiseks tuleks rajada normikohane siirdekiil, mis omakorda eeldab kaevuala

laiendamist vastavas ulatuses või kasutada tagasitäitena olemasolevat pinnast või sarnaste omadustega materjali juhul kui see on tihendatav.



## **4 ETTEPANEKUD KAEVETÖÖDE TEHNILISELE REGULATSIOONILE JA KONTROLLIMETOODIKALE**

### **4.1 Regulatsiooni ettepanekud**

Kaevetööde regulatsioonis Tallinna linna näitel tekib vastuolu kahes dokumendis. Kui projektdokumentatsiooni koostamisel lähtutakse nii kehtivast Tallinna linna kaevetööde eeskirjast kui ka määrusest nr 101 Tee ehitamise kvaliteedi nõuded, tekivad kaeviku rajamise ning tagasitäite meetodites erinevused. Kui kvaliteedimäärus reguleerib vähemalt katendi osas astmelist taastamist, siis kaevetööde eeskiri kirjeldab ainult asfaldikihi taastamist kaeviku servast laiemalt kui 0,5 meetrit. Nõuet 0,5 meetrit laiemalt taastada tõlgendatakse selliselt, et kattesse kaevatakse võimalikult kitsas ning maksimaalselt järskude nõlvadega kaevik, mille ülekate asfaldikihiga ulatub kahele poole kaevikut 0,5 meetrit laiemalt. Ilma astmeteta taastamist saab lubada ainult haljasalal, mitte aga teedel.

Määrus 101 kavatakse uuendada, sest seal on mitmed nõuded vananenud, ilmselt on põhjust ka kaevetööde järgne teekonstruktsiooni taastamise osa lahti kirjutada.

Tehnoloogiliste ettepanekutena võib esitada kaevetöödeks erinevad parameetrid:

- Kaeviku laius valitakse vastavalt rajatava tehnovõrgu või muu rajatava objekti paigalduse sügavusest, kus põhja laius peab olema piisavalt lai, et objekti (torustiku) kõrvale mahuks 60 cm laiune vibroplaat.
- Kaeviku põhi peab olema tihendatud tasemele, mis vastab Inspector seadmel 64 Mpa ning näiteks Dynatest LWD seadmel 50 MPa (see on analoog laiemalt esitatud aluspinnase kandevõime nõudest tasemel  $E_{v2}$  45 MPa). Kui nõue ei ole tagatud olemasoleval pinnasel, tuleb põhi süvistada ning täita killustikuga.
- Kaeviku tagasitäitel kuni konstruktsioonikihtideni võib kasutada olemasolevat pinnast, mis ei sisalda orgaanikat ja ei ole külmakartlik. Analoogselt Soome normatiivile Tierakenteen suunnittelu 38/2018, võib kaeviku tagasitäitel alates 2/3 kõrguselt kaevetöid põhjustanud objekti kõrgusest (truubitoru) kasutada olemasolevat pinnast.
- Kaeviku tagasitäitel sügavamal kui 1,5 m võib kasutada ka olemasolevat pinnast, sealhulgas ka külmakartlikke materjale.

- Tagasitäite kihtide paksus ei tohi ületada 0,5 meetrit või ei tohi olla suurem kui tihendusseadme parameetritest tulenev maksimaalne tihendatav kihipaksus.
- Kui tagasitäitena kasutatakse uut materjali, ei tohiks see oluliselt erineda olemasoleva mulde materjalist, vajadusel võib materjale segada.
- Kui olemasoleva konstruktsiooni külmumissügavuses on külmakartlike materjale tuleb võimalusel taastamisel taaskasutada olemasolevat materjali, et vältida talvel lohu tekkimist ülejäänud tee tõusmise tagajärjel.
- Linnatingimustes tuleb katendikihtide kandevõimet ning tihedust kontrollida oluliselt lühematel vahemaadel kui sätestatud Maanteeameti juhistes. Ühe teega ristuva kaevetöö puhul näiteks ühe sõiduraja laiuses tuleks kontrollmõõtmisi teostada vähemalt kahes seerias.
- Kasutada kaevetööl analoogselt Soome normatiivis InfraRYL (2018) sätestatud nõuet kaevikute nõlvuse suhtele 1:3.
- Kaeviku laiendamise põhimõtet allpool katendikihte tuleks rakendada näiteks Tallinna linna tüüpkatendite juhises välja toodud koormusklasside tänavatel A1, B2 ja C3, kus vastavalt nõrgim tüüpkonstruktsioon on  $E_{vaj}=325$  MPa. Töökihi ulatuses laiendada kaevikut iga tihendatava kihiga 15 – 30 cm mõlemal nõlval, et kohevat materjali tihendada koos eemaldamata vana pinnasega.

Näide metoodikale:

1. 150 cm sügavusel on kaeviku laius 100 cm;
2. Tagasitäitekihil 120 – 150 cm sügavusel, enne uue materjali lisamist laiendatakse kaevikut 150 cm laiuseni, seejärel täidetakse ja tihendatakse;
3. Tagasitäitekihil 90 - 120 cm sügavusel, enne tagasitäitmist laiendatakse 150 -lt 200 cm -ni, seejärel täidetakse ja tihendatakse;
4. Tagasitäitekihil 60 - 90 cm sügavusel, laiendatakse 200 -lt 250 cm -ni, seejärel täidetakse ja tihendatakse;
5. Tagasitäitekihil 30 – 60 cm sügavusel, laiendatakse kaevik 300 cm -ni, seejärel täidetakse ja tihendatakse;
6. Killustikalus ja asfaldikihid laiendatakse vastavalt astmelise taastamis nõudele, kus mitmekihilisel asfaltkatendil krunditakse alus ning vuugid.

## 4.2 Ettepanek taastatud katendi kvaliteedi hindamise meetodikale

Taastamistöde järgsete katendite olukorda on võimalik kontrollida ka käesolevas töös käsitletud Dynatest 3032 LWD seadmega dünaamilise koormamisega tekitatud deformatsioonide läbi. Tõenäoliselt on see võimalik ka teiste punktis 2.3 toodud seadmetega, sest tegemist on seadme tekitatud deformatsioonide suhtel põhineva meetodiga, mitte absoluutväärtustega. Kuna taastatavad katendid peavad olema vähemalt samaväärsete kvaliteedinäitajatega kui on olemasolevas olukorras puutumata olukord, ongi võimalikuks meetodiks dünaamilisel koormamisel tekitatud deformatsioonide võrdlus. Et kandevõime ja deformeeritavus on omavahel lineaarses seoses, saab järeldusi teha ka nõrgemate kandevõimenäitajatega alade kohta.

Antud meetodiga teostatakse mõõtetööd andmete võrdluseks peale taastamistöde valmimist ning uuesti vahetult enne garantiiperioodi lõppu. Juhul kui teistkordsel mõõtmisel esineb kaevikul või üleminekuvalal vanalt kattelt mõõdetud deformatsioonidest nõrgemaid tulemusi kui 20 %, tuleks rakendada taastamistödele pikem garantiiperiood.

### Nõrgema üleminekuvala mõju katendi ressursile

Dünaamilise mõõteseadme ehk deflektomeetriga mõõtes sõltub kandevõime ehk konstruktsiooni elastsusmooduli väärtus lineaarselt koormuse mõjul toimuvast vajumist. Elastsete katendite projekteerimisjuhise järgi leitakse vajalik kandevõime logaritmvalemiga [29] (4.1):

$$E = 70 * \log(Q) + 56 \quad 4.1$$

kus:  $Q$  = 15-nda aasta arvutuslik koormussagedus enamkoormatud sõidurajal.

Lisatud tabelis on toodud kolm ülevaatlikku katendigruppi vastavalt kandevõimega - 300, 250 ja 200 MPa. Logaritmvalemi järgi on leitud (15-nda aasta) arvutuslik koormussagedus enamkoormatud sõidurajale, millise korral valitud kandevõime vastab arvutuslikule. Kehtiva juhendi järgi, kuna riigiteedel loetakse tööeaks mitte 15 vaid 20 aastat, vastab sellele arvutuslikule sagedusele summaarne koormus katendi tööea jooksul -  $Q_{15} * 5000$  (miljonit normtelge). Seejärel on arvutatud vastavad koormussagedused ja summaarsed koormused ning leitud, mitu protsenti katendi projektsest ressursist jääb järgi, kui katendi kandevõime on 10...30% madalam, samuti ka mitmele aastale see vastab eeldusel, et algselt on katendi tööeaks 20 aastat.

Viidatud logaritmvalemi korrektsuses võib kahelda seetõttu, et tõenäoliselt oleme ületanud valemi määramispiirkonna (valemi koostajad ei katsetanud tol ajal ebareaalseteks peetud koormustega, kuid realselt on tõusnud nii teljekoormused kui rehvisurved). Sellegipoolest on ka indikatiivsed tulemused kõnekad ja iseloomustavad kahju, mida põhjustavad ebapiisavalt tihendatud teekonstruktsioonid katendite taastamisel.

Tabel 4.1 Katendi elua seos ettenähtust madalamate kandevõimenäitajatega

<b>E-moodul</b>		<b>350</b>	<b>tööiga</b>		<b>300</b>	<b>tööiga</b>
<b>Q (15)</b>	15849	350,0	a	3060	300,0	a
<b>Milj.telge</b>	7,9E+07		20	1,5E+07		20,0
<b>5%</b>		332,5			285,0	
<b>Q (15)</b>	8912,5	332,5		1870,5	285,0	
<b>Milj.telge</b>	4,5E+07	56%	11,2	9352500	61%	12,2
<b>-10%</b>		315			270	
<b>Q(15)</b>	5011,8	315,0		1140,6	270,0	
<b>Milj.telge</b>	2,5E+07	32%	6,3	5703000	37%	7,5
<b>-20%</b>		280			240	
<b>Q(15)</b>	1584,9	280,0		425,2	240,0	
<b>Milj.telge</b>	7924500	10%	2,0	2126000	14%	2,8
<b>-30%</b>		245			210	
<b>Q(15)</b>	501,18	245,0		158,49	210,0	
<b>Milj.telge</b>	2505900	3%	0,6	792450	5%	1,0

<b>E-moodul</b>		<b>250</b>	<b>tööiga</b>		<b>200</b>	<b>tööiga</b>
<b>Q (15)</b>	590,8	250,0	a	114,1	200,0	a
<b>Milj.telge</b>	2954000		20,0	570300		20,0
<b>5%</b>		237,5			190,0	
<b>Q (15)</b>	392,1	237,5		82,1	190,0	
<b>Milj.telge</b>	1960500	66%	13,3	410500	72%	14,4
<b>-10%</b>		225			180	
<b>Q(15)</b>	259,6	225,0		59,1	180,0	
<b>Milj.telge</b>	1297900	44%	8,8	295400	52%	10,4
<b>-20%</b>		200			160	
<b>Q(15)</b>	114,1	200,0		30,6	160,0	
<b>Milj.telge</b>	570300	19%	3,9	153000	27%	5,4
<b>-30%</b>		175			140	
<b>Q(15)</b>	50,1	175,0		15,9	140,0	
<b>Milj.telge</b>	250585	8%	1,7	79250	14%	2,8

## KOKKUVÕTE

Teedeehitustööd ja lagunened katted on meie tänavapildis igapäevased nähtused ning mõjutavad liikluse kulgu. Täna kehtivad normatiivid teede projekteerimisele ning tööde teostamisele on üles ehitatud üldisena, arvestamata konkreetse objekti täpsemat iseloomu. Eesti Vabariigis reguleerivad taastamistöde juriidikat Majandus- ja taristuministri määrused, Maanteeameti juhised ning kohalike omavalitsuste poolt kehtestatud eeskirjad.

Käesoleva töö eesmärgiks oli võrrelda olemasoleva olukorra ning taastatud konstruktsioonide deformatsioone läbi dünaamilise koormamise, milleks kasutati kerget deflektomeetrit Dynatest 3032 LWD.

Teame, et taastatud ja lapitud katendid ei ole kunagi sellise kvaliteedi ning tugevusega kui monoliitne katend, kuid siiski ei kesta taastatud olukorrad tihti nendele seatud eluea pikkust. Põhjused võivad peituda nii normatiivides kui ka ettenähtud ehitusmetoodika ja tehnoloogia rikkumises. Käesoleva töö objektiks oli taastatud katendite kvaliteedi kontrollimine läbi deformatsioonide mõõtmise. Mõõtetööd on teostatud kerget deflektomeetriga Dynatest 3032 LWD, mis oli seadistatud 700 kPa pingerežiimi, kasutades 150 mm diameetriga talda. Pingerežiim on lähedane veoki standardteljele 600 kPa, ehk mõõtetulemused on lähedased reaalsesetes tingimustes mõjuvatele pingetele. Eeldades, et mõõteobjektidel on järgitud astmelise taastamise põhimõtet, kus iga järgnev katendikiht on alumise suhtes ülekattes vähemalt 30 cm ulatuses, ei ole see põhimõte kaeviku laiendamiseks tagasitäitel piisav. Mõõteobjektidest 80% juhtudel joonistus välja sarnane olukord, kus üleminekuala vanalt kattelt uuele tagasitäidetud alale oli suuremate deformatsioonidega ning 60% juhtudel ka oluliselt nõrgem kui puutumata alusega vana katend. Sellistel juhtudel on asfaldivuuk ja kaeviku nõlva asukoht esimesed, kus võivad tekkida vajumid. Ebatasasusi peale katete taastamisi põhjustab ka nõue kasutada kaeviku tagasitäitena kindla filtratsiooniga pinnast, kuid kui olemasolev muldkeha ei ole materjalist, millel on analoogne filtratsioon, tekivad materjali niiskudes läbi külmumistsüklite külmakerked.

Töös on esitatud ettepanekud taastamistöde regulatsiooni täiendamiseks, kaevikute tagasitäitmise metoodikale ning taastamistöde järgsele kvaliteedi kontrollile läbi dünaamilise koormamise saadud deformatsioonide võrdluse Dynatest 3032 LWD seadmega.

## SUMMARY

Road construction works and dilapidated pavements are an everyday phenomenon in our streets and affect the flow of traffic. Today, the standards in force for the design of roads and the execution of works are stated in general terms, without considering the more precise nature of a specific object. In the Republic of Estonia, the law of restoration works is regulated by the Minister of Economic Affairs and Infrastructure, instructions by the Road Administration and rules established by local governments.

The aim of this thesis was to compare the deformations of the existing situation and the restored structures through dynamic loading using a light deflectometer Dynatest 3032 LWD.

It is known that restored and patched overburdens are never of the same quality and strength as a monolithic surface, but still restored situations often do not last the lifespan set for them. The reasons may lie in standards and in the violation of the prescribed construction methods and technology. The study of this work was to examine the quality of the restored overburdens by measuring deformations. The measurements were performed with a light deflectometer Dynatest 3032 LWD set at a stress level of 700 kPa but using a 150 mm diameter soleplate. The stress level is close to the standard axle of a truck, which is 600 kPa, i.e. the measurement results are close to the stresses acting in real conditions. If the measured objects follow the principle of gradual restoration, where each subsequent overburden layer overlaps by at least 30 cm with respect to the bottom, this method is not sufficient to expand the trench on backfill. In 80% of cases, a similar situation emerged with the measured objects, where the transition area from the old surface to the new backfilled area had larger deformations and in 60% of the cases also weaker than the old overburden with an intact base. In such cases, the location of the asphalt joint and the slope of the trench are the first where subsidence may occur. Unevenness after the restoration of surfaces is also caused by the requirement to use trench backfill with a certain filtration surface, but if the existing embankment is not made of a material with similar filtration, cold crusts form when the material gets wet through freezing cycles.

The paper presents proposals for the regulations and methodology of trench backfilling and quality control after restoration works by comparing the deformations obtained by dynamic loading with Dynatest 3032 LWD device.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Tallinna operatiivinfo/Tallinn operational traffic information. [Online]  
<https://opinfo.tallinn.ee/statistika?m=109> (2020)
2. Majandus ja taristuministri määrus nr 101. Tee ehitamise kvaliteedi nõuded. Eesti Vabariik. (11.04.2016)
3. Majandus ja taristuministri määrus nr 2. Tee ehitusprojektile esitatavad nõuded. Eesti Vabariik. (01.02.2020)
4. Maanteeameti juhise. Muldkeha ja dreniikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise. Maanteeamet. (05.01.2016)
5. Maanteeameti juhise. Killustikust katendikihtide ehitamise juhise. Maanteeamet. (22.11.2016)
6. Maanteeameti juhise. Kergkatete ehitamise juhise. Maanteeamet. (12.12.2007)
7. Maanteeameti käskkirj. Maanteeameti peadirektori käskkirjade 12.12.2007 nr 255 p.2 ja 12.08.2005 nr 134 tühistamine ning juhistes sisalduvate nõuete edaspidine kasutamine. (18.06.2014)
8. Maanteeameti juhise. Stabiliseeritud katendikihtide ehitamise juhise. Maanteeamet (22.11.2016)
9. Tallinna Linnavalikogu määrus nr 32 LISA. Tallinna linna kaevetööde eeskiri. Tallinna Linnavalikogu (09.09.2004)
10. Tallinna Linnavalituse määrus nr 27. Teekatendi- ja kaevukonstruksioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded. (18.09.2019)
11. Tallinna Linnavalitsuse määrus nr 27 LISA 1. Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooniga teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded. Tallinna Linnavalitsus (18.09.2019)
12. Teekonstruktsioonide projekteerimine mitteametlik tõlge Soome Transpordiameti juhiseist Tierakenteen suunittel. Soome Transpordiamet (28.11.2018)
13. T-Konsult töödokument. Kandevõimenõuded tee-ehituses. Kehtivad reeglid ja lahendused. A.Kendra. (2020)

14. Inglismaa standard. IAN 73/06 Design guidance for road pavement foundations. draft HD 25. (2006)
15. Teede Tehnokeskuse teadus- ja arendustöö. Mulde kandevõime ja tihendusnõuete kontrollimetoodikate arendamine kasutamiseks riigimaanteedekonstruktsioonide ja ehitamisel. Teede Tehnokeskus AS. (2017)
16. Insitu Test Pty Ltd tootekataloog / Insitu Test Pty Ltd products. [Online] <https://www.insitutest.com.au/plate-load-test/overview/>
17. Englo OÜ tootekataloog. [Online] <https://et.englo.eu/products-estonian/PM-1>. (2020)
18. R. Eichfuss. Lõputöö. TEE KONSTRUKTSIOONI KIHTIDE KANDEVÕIME JA SELLE MÕÕTMINE SEADMEGA DYNATEST LWD. Tallinn. (2018)
19. DCP seadme kasutusjuhend. User Guide to the Dynamic Cone Penetrometer. Office of Minnesota Road Research. Ameerika Ühendriigid. (mai 1982)
20. AL-Engineering Oy tootekataloog. [Online] <http://www.al-engineering.fi/en/loadman.html>. (2020)
21. Zorn Instruments GmbH & Co.KG tootekataloog. [Online] <https://www.zorn-instruments.com/en/products/> (2020)
22. Terratest GmbH tootekataloog. [Online] <https://light-weight-deflectometer.com/products/>. (2020)
23. HMP Magdeburger Prüfgerätebau GmbH tootekataloog. [Online] <https://www.hmp-online.com/en/products> (2020)
24. Sweco Danmark A/S tootekataloog. [Online] <https://www.sweco.dk/en/our-offer/infrastructure/sweco-pavement-consultants/> (2020)
25. Dynatest International A/S tootekataloog. [Online] <https://www.dynatest.com/structural-evaluation-equipment> (2020)
26. Maa-ameti kaardirakendus [Online] <http://xgis.maaamet.ee/maps/XGis>. (2020)
27. Tallinna operatiivinfo objektide arhiiv/Tallinn operational traffic information archive. [Online] <https://opinfo.tallinn.ee/objekt?m=94>



28. T-Konsult OÜ mõõteprotokoll. Kaevetööde järgsete taastatud katendite tugevuse hindamine Tartu linnas. (15.05.2020)

29. Maanteeameti juhise "Elastsete teekatendite projekteerimise juhend". Maanteeamet. (29.03.2017)

## LISAD



Joonis 1: Mõõtetööd Ankrü tänava sõiduteel



Joonis 2: Mõõtetööd Marsi tänava sõiduteel





Joonis 3: Mõõtetööd Vabriku tänava kõnniteel



Joonis 4: Mõõtetööd Väike – Patarei tänava sõiduteel