



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

KAEVETÖÖDE JÄRGSELT TAASTATUD TEEKATTE DEFORMEERITAVUSE JA TASASUSE SEIRE

MONITORING THE DEFORMABILITY AND FLATNESS OF THE RESTORED ROAD SURFACE POST-EXCAVATION

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Anton Lomaško

Üliõpilaskood: 221499EAXM

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.

"....." jaanuar 2024.a.

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." jaanuar 2024.a.

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." jaanuar 2024.a.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Anton Lomaško (sünnikuupäev: 14.03.1991.a)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„KAEVETÖÖDE JÄRGSELT TAASTATUD TEEKATTE DEFORMEERITAVUSE JA TASASUSE SEIRE“,

mille juhendaja on Ain Kendra ja kaasjuhendaja Riho Eichfuss,

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.

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Anton Lomaško, 221499EAXM
Õppekava, peaariala: EAXM15/22 – Hooned ja rajatised, teede- ja sillaehitus
Juhendaja: Ain Kendra, ain.kendra@taltech.ee, 5171055
Kaasjuhendaja: Riho Eichfuss, riho@t-konsult.ee, 53365546

Lõputöö teema:

Kaevetööde järgselt taastatud teekatte deformeeritavuse ja tasasuse seire
Measuring the deformability and flatness of the restored road surface post-excavation

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade deformeeritavuse ja tasasuse kontrolliks kasutatud mõõteseadmetest.
2. Karel Vergi magistritöös valitud katseobjektidel sooritatud deformeeritavuse kordusmõõtmiste tulemuste analüüs.
3. AS Tallinna Vee avariikaevetööde kaeviku kaldega üleminekualaga katseobjektidelt mõõdetud deformeeritavuse ja tasasuse tulemuste analüüs.
4. AS Tallinna Vee avarikaevetööde kaeviku järsu üleminekualaga katseobjektidelt mõõdetud deformeeritavuse ja tasasuse tulemuste analüüs.
5. Ettepanekud kaevetööde eeskirja täiendamiseks ja mõõtetulemuste analüüs.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Välitööd uutel objektidel ja kordusmõõtmised	05.11.2023
2.	Mõõtetulemuste analüüs	05.12.2023
3.	Järeldused	20.12.2023

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....." jaanuar 2024.a.

Üliõpilane: Anton Lomaško "....." jaanuar 2024.a.
/allkiri/

Juhendaja: Ain Kendra "....." jaanuar 2024.a.
/allkiri/

Kaasjuhendaja: Riho Eichfuss "....." jaanuar 2024.a.
/allkiri/

Programmijuht: Simo Ilomets "....." jaanuar 2024.a.
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1 Kaevetööde liigid ja kvaliteedikontroll	10
1.1 Plaanilised kaevetööd	10
1.2 Avariikaevetööd	11
1.3 Õigusruum	12
1.4 Kaeviku rajamise tehnoloogiad	16
1.4.1 Astmeliselt laiendatud kaevik	16
1.4.2 Kaldega üleminekualaga rajatud kaevik	17
1.4.3 Järsu üleminekualaga rajatud kaevik	17
1.5 Tihendamine . Tihedus. Kandevõime.	18
1.5.1 Tihendamine	19
1.5.2 Kandevõime mõõtmine	30
2 Kasutatud mõõteseadmed	45
2.1 Käsiprofilomeeter Gapman	45
2.2 Deflektomeeter Dynatest 3032 LWD	49
3 Korduvmõõtmised 2019 katseobjektidel	51
4 Kaldega üleminekualaga objektid	68
5 Järsu üleminekualaga objektid	97
6 Järeldused ja ettepanekud	135
6.1 Järeldused	135
6.2 Ettepanekud	142
6.2.1 Uus meetodika garantiülevaatuse jaoks	142
6.2.2 Kontroll ning proovivõtt avariikaevetööde objektidel	142
6.2.3 Muudatused Tallinna linna kaevetööde eeskirja	143
KOKKUVÕTE	149
Summary	151
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	153
Lisad	155

EESSÕNA

Magistritöö on koostatud Eestis, Tallinnas. Magistritöö teema pakkus välja Tallinna Tehnikaülikooli lektor Ain Kendra. Magistritöö autor avaldab suurt tänu juhendajatele, AS Tallinna Vesi (edaspidi ASTV) tehnilise teeninduse juhile Urmas Kütile uuringu võimaldamise eest ning kursusekaaslastele Simmo Talpas-Taltsepp abi eest mõõtmisprotsessis.

Magistritöö autor töötas uuringu ja mõõtmiste ajal ettevõttes OÜ Watercom. OÜ Watercom on AS Tallinna Vesi tütarettevõtte. Luba katseobjektidel mõõtmiseks on saadud tingimustel, et käesolev magistritöö ei kuulu avalikustamisele ja on konfidentsiaalne.

Käesolev magistritöö on Karel Vergi poolt koostatud magistritöö „Kaevetöödejärgse katendi taastamise kvaliteedi kontroll läbi deformatsioonide mõõtmise Dynatest LWD seadmega“ jätk. Töö eesmärgiks on anda ülevaade avariikaevetööde järgselt taastatud katendite deformeeritavuse ja tasasuse näitajatest AS Tallinna Vesi objektide näitel järsu ja lauge kaevikuseina kasutamisel ja hinnata deformeeritavuse ning tegelike deformatsioonide erisusi. Sooritada korduvmõõtmised Karel Vergi katseobjektidel ning võrrelda 2019. aasta ja 2023. aasta deformatsioonide tulemusi. Anda põhjalik ülevaade deformatsiooni ja tasasuse mõõteseadmetest, millega teostati mõõtmised taastatud katenditel.

Märksõnad: Deflektomeeter, Dynatest, LWD, käsiprofilomeeter, Gapman, taastatud katend, deformatsioonid, tasasused, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

AKÖL – Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus

LWD – Kergdeflektomeeter (Light Weight Deflectometer)

ASTV – AS Tallinna Vesi

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

FWD – Langeva raskusega deflektomeeter (Falling Weight Deflectometer)

MPa – Megapaskal

PLT – Plate Load Test – plaatkoormuskatse

E_v – deformatsioonimoodul

EVS – Eesti vabariigi standard

Tallinna Linnavolikogu määrus nr 32 "Tallinna linna kaevetööde eeskiri" – TLM m32

Majandus ja taristuministri määrus nr 101 "Tee ehitamise kvaliteedi nõuded" – MTM m101

Tallinna Linnavalitsuse määrus nr 27 "Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooni teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded" (Tallinna tüüpkatendid) – TLM m27

Majandus ja taristuministri määrus nr 92 "Tee seisundinõuded" – MTM m92

SISSEJUHATUS

Tallinnas esinevad iga päev veevariid, vee- ja kanalisatsioonitoru lekked ning kaevude ja kapede vajumine. Kirjeldatud tehnovõrkude omanikuna, kohustub ASTV need avariid likvideerima. Veevariide likvideerimiseks on vajalik teostada kaevetöid ning vajalikud tööd tuleb teostada 48 tunnises ajaaknas. ASTV põhieesmärk on avariid likvideerida nii kiiresti kui võimalik. Avariikaevetööde käigus kaevatakse kaevik mis on piisavate parameetritega, et teostada parandustööd avariid likvideerimiseks, seejärel tehakse kaevikus tagasitäide ning taastatakse konstruktsioonikihid ja asfaltkate.

Paraku ilmneb, et mõne aja pärast peale katendi taastamist kaevetööde piirkonnas tekivad erinevad defektid tee pinnal. Defektideks taastatud kattel on pikivajumid, roopad ning vajumid vuugikohas (kaeviku üleminekuualas). Kuna kirjeldatud defektid põhjustavad liiklusohu ja toovad kaasa majanduslikku kahju tee kasutajale siis otsustas töö autor probleemi sügavust hinnata sooritades kaevetööde järgselt taastatud katetel deformeeritavuse ja tasasuse seiret.

Deformeeritavuse mõõtmiseks kasutati kergdeflektomeetrit Dynatest 3032 LWD. Tasasuse mõõtmised viidi läbi Gapman käsiprofilomeetriga. Välitööd teostati 2023 aasta suvel. Katseobjektideks valiti nii 2023. aastal taastatud objektid kui ka 2021. aastal taastatud objektid mille garantiiäeg oli välitööde läbiviimise ajaks lõppenud.

Käesoleva magistr töö esimene eesmärk oli kontrollida Karel Vergi magistr töö teatud järeldustel baseeruvat teooriat, et kaeviku üleminekuualad on nõrgemad kui kaeviku telg ja vana kate. Teine eesmärk oli leida seoseid Gapman käsiprofilomeetriga sooritatud tasasuse mõõtmistulemustes. Viimane eesmärk oli analüüsida lappidel tekkinud roobaste ja pikivajumite tekkepõhjuseid.

Käesolevas magistr töö on antud ülevaade tihendamise tehnoloogiatest ja materjali tiheduse kontrollist, kandevõime mõõtmistest ja Tallinna tüüpkatendite dokumendis esitatud nõuetest konstruktsiooni kandevõimele.

Selleks et kontrollida Karel Vergi teooriat teostati korduvmõõtmised tema töö raames uuritud objektidel, tingimustel et objektidel on olukord säilinud ligilähedaselt 2021 olukorrale.

Karel Vergi töö on märgitud nii kaevetööde ulatuse teema kui lahtiraputatud materjali madalama tihendusteguri tõttu puudulik kandevõime üleminekuualal. Karel Vergi vaadeldud objektidel ei esinenud juhtumeid, kus kaevetööde ala oleks ühtlaselt nõrgem vanast katendist. Käesolevas magistr töö autor võttis laiemat eesmärki, et saada

kindlust järeldeste adekvaatsuses suurema valimiga, sest Karel Vergi magistratöö raames on välja toodud vaid seitse objekti Tallinnas ning võrdlusjuhtum Tartust. Käesoleva magistratöö autor valis eelkõige objektid, mille katendi taastamise kohta oli ASTV poolt olemas vajalik info ka tegeliku kaevetöö sisu ja kasutatud tehnoloogia kohta.

1 KAEVETÖÖDE LIIGID JA KVALITEEDIKONTROLL

Tänapäeval jagatakse kaevetööd kaheks liigiks: plaanilised kaevetööd, avariikaevetööd.

1.1 Plaanilised kaevetööd

Plaanilised kaevetööd on ette planeeritud kaevetööd, millele antakse piisavalt aega tööde teostamiseks. Plaaniliste kaevetööde käigus ehitatakse erinevaid trasse:

- Sidetrass
- Elektritrass
- Vee- ja kanalisatsioonitrass
- Sademeveetrass

Kaevaja tagab kaevetöö tegemise kohas kaevetöö iseloomust olenevalt järgmised dokumendid [1]:

- Kaevetööluba;
- Ehitusprojekt koos transpordiameti poolt kooskõlastatud liikluskorralduse ajutise skeemiga;
- Transpordiameti käskkiri ühistranspordiliinide ümbersõidu marsruutide kohta;
- Tänavajutise sulgemise luba koos kehtiva liiklusskeemiga;
- Tehnovõrkude valdajate load kaevetööks vastavate tehnovõrkude kaitsevööndis;
- Töö toimumise ajagraafik;
- Raieluba;
- Ehitustööde päevik paberil;
- Kaetud tööde aktid ja foto(d) akteeritud tööde kohta.

1.2 Avariikaevetööd

Avariikaevetööd on mitte planeeritud tööd, millised on vajalikud tehnovõrgu avarii likvideerimiseks juhul kui (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008) [1]:

- Kaevetöö alustamisega viivitamine seab ohtu vastava teenuse osutamise tarbijatele;
- Tehnovõrgu avarii ohustab liiklejaid;
- Tehnovõrgu avarii ohustab ehitisi, keskkonda või elanikkonda;
- Tehnovõrgu rike võib põhjustada teekatte sissevajumise või lokaalse üleujutuse. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012).

Nõuded avariikaevetöö teostamise kohale [1]:

- Avariikaevetöö koht ümbritsetakse ohupiiretega ja tähistatakse liikluskorraldusvahenditega vastavalt eeskirja § 16 lg 1 nõuetele.
- Avariikaevetöö teostamise kohta paigaldatakse käesoleva eeskirja § 16 lg 2 nõuetele vastav teabetahvel.
- Avariikaevetöö teostamise kohas tagab vastutav isik järgneva dokumentatsiooni olemasolu:
 - 1) avariikaevetöö akt või selle koopia;
 - 2) tehnovõrkude valdaja luba kaevetööks vastava tehnovõrgu kaitsevööndis;
 - 3) avariilise tehnovõrgu asukoha joonised või skeemid.
- Avariikaevetöö puhul kehtivad kõik kaevetööle esitatavad nõuded. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008).

Avariikaevetööde käigus taastatakse mingisugune väike osa kas sõiduteest, kõnnitest või haljasalast. Linnas enamasti taastatud alad ehk lapid aeg ajalt vajuvad – vajuvad lapi servad, lapil tekkib igasugused vajumid sealhulgas augud, lapil tekkivad roopad.

Probleem ilmneb enamasti sõidutee lappidel. Probleem puudutab osalevaid erineva tüüpi transpordiga liiklejaid sõiduteel. Juba vajunud lapid võivad teha kahjustusi liikleja transpordile või isegi teha liiklusõnnetusi. Ühe sõnaga vajunud lapid mõjuvad liiklejate ohutusele.

Tihti vajumi tekkimise põhjuseks on kehv ehituskvaliteet. Paigaldatakse täitekihi rohkem kui 0,5 m, tihendatakse ebapiisavalt täitekihid, kaevikuid ei laienda astmeliselt, kihtide ehitamisel ei tagata nõutava tihedust sidumata materjalidele. Seega taastamistööde käigus ei tagata teekonstruktsioonile nõutavat kandevõimet.

Plaaniliste ja avariikaevetööde erinevus

Väga oluline erinevus plaaniliste kaevetööde ja avariikaevetööde vahel on ajalised piirangud. Plaaniliste kaevetööde puhul antakse piisavalt aega tööde teostamiseks ning avariikaevetööde puhul antakse ainult 48 tundi tööde teostamiseks.

Kui avariikaevetöö kestab üle kolme ööpäeva, taotleb avariilise tehnovõrgu valdaja haldajalt lihtmenetlusega kaevetööloa [1].

Avariikaevetööde teostaja kohustub 48 tunni jooksul likvideerida avariid, taastada kogu kaevikut ning lõplikult asfalteerida lappi. Kuna avariikaevetööde teostajal on väike ajaline piirang, siis püüab avariikaevetööde teostaja teostada töid võimalikult kiiresti. Kiirustamine mõjutab lõpuks ehituskvaliteeti. Halb ehituskvaliteet põhjustab erinevate defektide tekkimist teekattel – pikivajumid, roopad, vajumid kaeviku vuugikohas (kaeviku üleminekualas).

1.3 Õigusruum

Õigusruumiks on erinevatega astmega normatiivdokumendid. Täna Tallinnas kehtib Tallinna Linnavolikogu määrus nr 32 "Tallinna linna kaevetööde eeskiri" (vastu võetud 02.09.2004), mis reguleerib kaevetööde teostamist. Tallinna linna kaevetööde eeskirjas on dubleeritud Majandus ja taristuministri määrus nr 101 "Tee ehitamise kvaliteedi nõuded" tekst ning kahjuks ajalise nihkega Tallinna linna kaevetööde eeskirja pole siiani uuendatud.

Reeglina soovitakse katendi taastamisel juhinduda tüüplahendustest (kataloogikatendid), linn peaks ette andma, millist tüüpi kasutada.

TLM m32-s on vastuolud ja rudimendid säilinud – see vajab uut redaktsiooni. Kõige parem viis on Tallinna Linnavalitsuse määruse nr 27 „Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetoonega teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded" (lühendatult: Tallinna tüüpkatendid) rakendamine TLM m32-sse.

Filtratsioonimoodul

TLM m32-s on kirjas, et 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. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012) [1].

MTM m101-s on kirjas, et kaevik täidetakse ja tihendatakse kuni 2 meetri sügavuses samaväärsete omadustega materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa. [RT I, 20.11.2020, 1 - jõust. 23.11.2020] [2].

MTM m101-s on välja võetud filtratsioonimoodul, kuid TLM m32-s on siia maani kehtima jäänud dubleeritud MTM m101 tekst filtratsioonimooduli kohta.

Filtratsioonimooduli nõuet ei ole TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhises ega MTM m101-s, mõistlik on esitada vaid peenosiste sisalduse nõue – 5% paekiviliival, 7% looduslikul liival.

Tiheduse mõõtmise laboratoorne õiend

TLM m32-s on kirjas, et iga kihi kohta esitatakse kaevaja poolt haldajale tiheduse mõõtmise laboratoorne õiend, mis on väljastatud vastavat tegevusluba omava isiku poolt. Laboratoorsete uuringute kulud kannab kaevaja. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008; Tvk m 20.05.2010 nr 28, jõustumine 29.05.2010) [1].

Ei ole olemas sellist tegevusluba, vaid liivadel saab dünaamilise penetromeetriga mõõta tihenduskvaliteeti, kuid mitte tihedust. Jääb arusaamatuks miks peab see olema laboratoorne õiend kui tegu on välitöödega. Inspector-seadmega mõõtmist teevad ka ise ehitajad, kusjuures omanikujärelevalve kohustub juures viibima. Saab ka mõõtetööd tellida, kuid pole piiratud kellelt.

Laboratoorne õiend täitepinnase kohta

TLM m32-s on kirjas, et haldajal ja haldaja esindajal on õigus nõuda kaevajalt laboratoorset õiendit täitepinnase omaduste kohta. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012) [1].

On labori sõelkõver, võib ka esitada karjääri poolt tellitud laborianalüüsi protokoll.

Tihendustegur

TLM m32-s on kirjas, et 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. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012) [1].

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhises on kirjas, et muldkeha aluspinnas ja täitematerjali kihid peavad olema nõuetekohaselt tihendatud. Tihendusteguri kontrolliks võib kasutada ka Inspector-seadmeid, muldkeha tihendustegur peab olema vähemalt 0,92 (üksikmõõtmistel 0,90) [3].

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhisest rakendada TLM m32-sse liivpinnase muldkeha tihendusteguri vähim väärtuseks 0,92 (üksikmõõtmistel 0,90) püsi- ja kergkatendiga teedel.

Elastusmoodul

TLM m32-s on kirjas, et killustikaluse tihendamist kontrollitakse elastusmooduli mõõtmise teel tihendatud aluse pinnal seadmega Inspector ja Loadman vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Kui projektis ei ole elastusmooduli nõuet esitatud, siis peab see olema >170 MPa. Talveperioodil ehitatud tee aluskonstruktsioon võetakse vastu pärast jäätunud maapinna sulamist. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008) [1].

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhises [3] on kirjas:

- Kandevõime mõõtmiseks ei kasutata Soome koolkonna kergseadmeid (Loadman, Inspector), mis sobivad vaid tihendus kvaliteedi hindamiseks.
- Kui kasutatakse sidumata segu, peaks sillutiskatete all olema kandevõime Ev2 vähemalt 120 MPa, koormussagedusel üle 300 000 normtelje katendi kasutusaja kohta vähemalt 150 MPa (Saksa tüüpkatendite alusel). Seotud alusel sõidukiliikluse alas peab killustikaluse kandevõime olema vastavalt 100 ja 120 MPa, kergliiklusteedel sidumata alusel 100 MPa.
- Kuni juhendis ei ole sätestatud täpsemaid nõudeid kõigi teekatendite kandevõime kohta, kontrollitakse käesolevas juhendis eraldi mainimata juhtudel nende kvaliteeti majandus- ja taristuministri määruse nr 101 alusel, kasutades tihendamiskvaliteedi kontrolli Inspector- või Loadman-tüüpi seadmega.

- Vastavuses MKM määrusega nr 101 võib Inspector/Loadman seadme asemel kasutada teistsuguseid seadmeid, kuid siis tuleb vastavate seadmetega saadud tulemus korrutada üleminekuteguriga. Taani koolkonna kergdeflektomeetrite (Dynatest, Prima) puhul on üleminekuteguriks 1,3 eeldusel, et liival teostatakse mõõtmised 100 kPa režiimis 300 mm tallaga ja killustikul 300 kPa režiimis 150 mm tallaga. $E_{\text{Inspector}} = 1,3 * E_{\text{Dynatest}}$.

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhiseist rakendada TLM m32-sse, et killustikaluse kandevõimet kontrollitakse Dynatest 3032 LWD kergdeflektomeetriga 300 kPa režiimis 150 mm tallaga. Kui kasutatakse sidumata segu, peaks sillutiskatete all olema kandevõime E_{v2} vähemalt 120 MPa, koormussagedusel üle 300 000 normtelje katendi kasutusaja kohta vähemalt 150 MPa (Saksa tüüpkatendite alusel). Seotud alusel sõidukiliikluse alas peab killustikaluse kandevõime olema vastavalt 100 ja 120 MPa, kergliiklusteedel sidumata alusel 100 MPa [3].

Muldkeha kandevõime

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhises [3] on kirjas:

- Külmakerkelised ja nõrgad aluspinnased tuleb eemaldada ja asendada nõuetekohase täitematerjaliga või kasutada pinnase stabiliseerimise tehnoloogiaid ning geosünteeite. Geosünteedid peavad vastama NorGeoSpec 2012 nõuetele. Liivpinnastest muldkeha tihendamist tuleb kontrollida tee või tänava ristlõike kolmes punktis iga 50 m tagant. Geosünteedide kasutamisel kahaneb ehitusprotsessis mõõdetava kandevõime väärtus sõltuvalt geosünteedi katva kihi paksusest kuni 30% (vähemalt 20 cm kihipaksuse korral – suurema kihipaksuse korral võib piirväärtuse interpoleerida eeldusel, et geosünteedi mõju ulatub 50 cm-ni). Selle puudujäägi taastab kasutuse käigus toimuv järeltihenedamine.
- Tihendatud muldkeha täitematerjali pealmise kihi pealt tuleb saavutada kandevõime $E_{v2} > 45$ MPa. Selle nõude täitmiseks tuleb rakendada vastavaid geotehnika võtteid (dreenimine, stabiliseerimine, geosünteedide paigaldamine, osaline aluspinnase asendamine jne). Kui seda nõuet ei ole võimalik täielikult järgida, siis on vaja saavutada kandevõime liivakihi pealt 59 MPa (E5 puhul 57 MPa).

Kuna TLM m32-s puudub muldkeha kandevõime nõuet, siis TLM m27 Tallinna tüüpkatendite juhiseist rakendada TLM m32-sse, et liival teostatakse mõõtmised Dynatest 3032 LWD kergdeflektomeetriga 100 kPa režiimis 300 mm tallaga. Tihendatud

muldkeha täitematerjali pealmise kihi ja liivakihi nõuetekohane kandevõime on $E_{v2} > 45 \text{ MPa}$.

1.4 Kaeviku rajamise tehnoloogiad

MTM m101-s on kirjeldatud ainult üks tehnoloogia, kuidas laiendatakse kaevikut astmeliselt.

ASTV ei laienda kaevikut astmeliselt. ASTV teeb kaldega üleminekualaga ja järsu üleminekualaga kaevikud - ASTV tehnoloogiad ei ole õiged ja ei vasta MTM m101-le.

Kuna käesoleva magistritöö deformeeritavuse ja tasetasuse mõõtmised olid tehtud ASTV katseobjektidel, siis vaadeldakse kokku 3 kaeviku ehituse tehnoloogiat:

- Astmeliselt laiendatud kaevik
- Kaldega üleminekualaga ehitatud kaevik
- Järsu üleminekualaga ehitatud kaevik

AC 20 surf (graniitkillustik, LA15, AN10)	h=5cm
AC 16 bin (LA25)	h=5cm
AC 32 base (LA30)	h=7cm
PAEKILLUSTIKUST ALUS 16/32 KOOS KIILE- KILLUSTIKUGA 8/12 KULUGA 25kg/m ² (Emin 170MPa)	h=10cm
PAEKILLUSTIKUST ALUS 32/63	h=20cm
LIIVALUS Kt. 1.00, kf≥0.5m/ööp	h=20cm
TÄITELIIV (VAJADUSEL) Kt 0.98, kf≥0.2m/ööp	

Joonis 1.1 Astmeliselt laiendatud, kaldega üleminekualaga ehitatud ja järsu üleminekualaga ehitatud kaevikute ristlõigete tingmärgid.

Üleminekuala - kaeviku ja vana katte üleminekukoht. Kaldega üleminekuala - umbkaudne 45° nurgaga ehitatud üleminekukoht. Järsk üleminekuala - umbkaudne 90° ehk vertikaalselt sirgelt ehitatud üleminekukoht.

1.4.1 Astmeliselt laiendatud kaevik

MTM m101-s [2] on kirjeldatud astmeliselt laiendatud kaeviku tehnoloogia:

- Kaevik täidetakse ja tihendatakse kuni 2 meetri sügavuses samaväärsete omadustega materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa. [RT I, 20.11.2020, 1 - jõust. 23.11.2020]

- Tee katend taastatakse vastavalt taastatavatele kihipaksustele kihtide kaupa, astmeliselt. Iga järgnev katendi kiht peab olema ülekattega alumise suhtes vähemalt 30 cm.



Joonis 1.2 Astmeliselt laiendatud kaeviku ristlõige.

1.4.2 Kaldega üleminekualaga rajatud kaevik

Üleminekuala - kaeviku ja vana katte üleminekukoht. Kaldega üleminekuala - umbkaudne 45° nurgaga ehitatud üleminekukoht.

Kaevik täidetakse ja tihendatakse kuni 2 meetri sügavuses samaväärsete omadustega materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa [2]. Kaeviku laiendamine toimub vaid nurga all. Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus astmeliselt laiendamata.



Joonis 1.3 Kaldega üleminekualaga kaeviku ristlõige.

1.4.3 Järsu üleminekualaga rajatud kaevik

Üleminekuala - kaeviku ja vana katte üleminekukoht. Järsk üleminekuala - umbkaudne 90° ehk vertikaalselt sirgelt ehitatud üleminekukoht.

Kaevik täidetakse ja tihendatakse kuni 2 meetri sügavuses samaväärsete omadustega materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa [2]. Kaeviku laiendamine ei toimu.

Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus astmeliselt laiendamata.



Joonis 1.4 Järsu üleminekualaga kaeviku ristlõige.

1.5 Tihendamine . Tihedus. Kandevõime.

Täna sel päeval teostatakse varem ette planeeritud kaevetööd ning iga päev avariikaevetööd. Avariikaevetööd on mitte planeeritud kaevetööd. Kaevetööde käigus taastatakse mingisugune väike osa kas sõiduteest, kõnnitist või haljasalast. Linnas enamasti taastatud alad ehk lapiid aeg ajalt vajuvad – vajuvad lapiid servad, lapiid tekkib igasugused vajumid sealhulgas augud, lapiid tekkivad roopad.

Probleem ilmneb enamasti sõidutee lapiid. Probleem puudutab osalevaid erineva tüüpi transpordiga liiklevaid sõiduteel. Juba vajunud lapiid võivad teha kahjustusi liikleja transpordile või isegi teha liiklusõnnetusi. Ühe sõnaga vajunud lapiid mõjuvad liiklejate ohutusele.

Tihti vajumi tekkimise põhjuseks on kehv ehituskvaliteet. Paigaldatakse täitekihi rohkem kui 0,5 m, tihendatakse ebapiisavalt täitekihid, kaevikuid ei laienda astmeliselt, kihtide ehitamisel ei tagata nõutava tihedust sidumata materjalidele. Seega taastamistööde käigus ei tagata teekonstruktsioonile nõutavat kandevõimet.

Alapeatükkides antakse ülevaadet kehtivatest nõuetest, tihendamise ja tiheduse kontrollist ning teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmisest.

1.5.1 Tihendamine

Tihendamine on pinnase pooride osakaalu vähendamine mehhaaniliselt pinnase konstantse niiskusesisalduse juures.

Tihendamise põhieesmärkideks on:

- pinnase nihketugevuse ja sellega seotult kandevõime tõstmine;
- pinnase jäikuse suurendamine ja sellega seotult võimalike tulevaste püsivate deformatsioonide vähendamine;
- pinnase pooride mahu ja sellega seotult võimaliku tulevase niiskusesisalduse ja külmakerke vähendamine.

Tihendamisel saavutatav pinnase tihedus sõltub paljudest erinevatest mõjuteguritest:

- pinnase olemus ja tüüp, näiteks liiv või savi, terastikuline koostis, plastsus;
- pinnase niiskusesisaldus ja tihendamiseks kulutatud aeg;
- kohalikud tingimused, näiteks ilm, objekti asukoht, tihendatava pinnasekihi paksus;
- tihendamiseks tehtav töö: kasutava seadme tüüp (mass, vibratsioon, korduslähikute arv).

Tihedus on füüsikaline suurus, mis näitab aine massi ruumalaühikus. Tiheduse tähis on ρ (kg/m³). Tiheduse leidmiseks kasutatakse valemit (1.1):

$$\rho = m / V \quad (1.1)$$

kus:

m – aine mass, kg

V – ruumala, m³

Tihendus on suhe maksimaalsesse tihedusesse.

Tihendusmasinad valitakse sõltuvalt tihendatava kihi paksusest ja tihendatava pinnase omadustest. Teedehituses kasutatakse pinnase tihendamiseks tavaliselt rulle, mille tüübid sõltuvad tihendava mehhaanilise jõu pinnasele üle kandmise mehhanismist. Põhilised teedehituses kasutatavad pinnaste tihendusmasina tüübid on:

- staatilised rullid;
- pneumorullid;
- tapprullid;
- vibrorullid;
- muud seadmed tihendamiseks kitsastes oludes.

Pinnase tiheduse määramise meetodid.

Eksisteerib kuus põhilist pinnase tiheduse lokaalse määramise meetodit:

- Liivakoonuse meetod – täpne, kasutatakse radioaktiivse isotoobiga tihedusmõõtjate kalibreerimiseks, ebatäpne poorsetes pinnastes;
- Kummiballooni meetod – ei ole laialdaselt kasutusel, kuid täpne, sarnane liivakoonuse meetodile;
- Radioaktiivse isotoobiga tihedusmõõtja – võib tekkida probleeme killustiku, karbonaatsete materjalide ja süvendite puhul;
- Penetratsiooni meetod – kasutusel Eestis, sobib liivpinnastele;
- Lõikerõngas või –silinder – ei sobi jämedateralistele materjalidele;
- Dünaamilise koormamise meetod.

Liivakoonuse meetod

Pinnase tiheduse määramisel liivakoonuse meetodil:

- Määratakse mahuti, koonuse ja mahutit täitva liiva mass (W_1).
- Tihendatud pinnasekihti kaevatakse väike süvend.
- Süvendist kaevatud niiskele pinnasele määratakse mass (W_2) ja niiskusesisaldus (w_c , %).
- Arvutatakse süvendist kaevatud pinnase kuiv mass (W_3) vastavalt valemile (1.2):

$$W_3 = W_2 / (1 + w (\%)/100) \quad (1.2)$$

- Peale süvendi kaevamist asetatakse liivaga täidetud mahuti süvendi kohale ja lastakse liival voolata süvendisse ja koonusesse.
- Seejärel määratakse mahuti, koonuse ja mahutisse jäänud liiva mass (W_4).
- Arvutatakse süvendi ja koonuse täitmiseks kulunud liiva mass (W_5) vastavalt valemile (1.3):

$$W_5 = W_1 - W_4 \quad (1.3)$$

- Kaevatud süvendi maht (V) arvutatakse vastavalt valemile (1.4):

$$V = (W_5 - W_c) / \gamma_{d(sand)} \quad (1.4)$$

kus:

W_c = ainult koonuse täitmiseks kulunud liiva mass

$\gamma_{d(sand)}$ = kasutatud liiva kuiv mahumass

W_c ja $\gamma_{d(sand)}$ määratakse laboris.

- Tihendatud pinnase kuiva mahumassi saab arvutada vastavalt valemile (1.5):

$$\gamma_d = \text{süvendist kaevatud pinnase kuiv mass} / \text{süvendi maht} = W_3 / V \quad (1.5)$$

Kummiballooni meetod

Kummiballooni meetod on põhimõtteliselt sarnane liivakoonuse meetodile, kuid liiva asemel kasutatakse süvendi täitmiseks kummiballooni täitvat vett.

Lõikerõnga meetod

Lõikerõnga meetodi puhul lõigatakse tihendatud pinnasest teatud kindla ruumalaga (V) rikkumata struktuuriga proov. Tihendatud pinnase kuiva mahumassi saab arvutada kasutades seost ($\gamma_d = \text{süvendist kaevatud pinnase kuiv mass} / \text{süvendi maht} = W_3 / V$) lõigatud pinnaseproovi kuiva massi ja lõikerõnga ruumala (V) suhtena.

Penetratsiooni meetod

Liivaste pinnaste tihedus määratakse kas staatilise või dünaamilise penetromeetriga. Penetromeetrid on instrumendid, mis koosnevad koonilisest peast, mis on kinnitatud metallvarda otsa ja mis süvistatakse pinnasesse. Staatiliste penetromeetrite puhul süvistatakse koonilise otsaga metallvarras pinnasesse staatilise koormusega, dünaamiliste penetromeetrite puhul dünaamilise (lööki-)koormusega. Koonilise pea pinnaühikule pinnase poolt tekitatud takistusjõudu nimetatakse pinnase vastupanujõuks (penetrometer soil strength - PSS). Mida suuremat takistusjõudu avaldab pinnas penetromeetri koonilisele peale, seda suurem on pinnase vastupanujõud.

Eestis kasutatakse liivaste ja kruusaste pinnaste tiheduse kontrolliks dünaamilist penetromeetrit D-51 (Beldornii), mis koosneb:

- tööotsikuga vardast (tööotsiku koonuse nurk on 60° ja max diameeter 16 mm);
- langevast raskusest massiga 2,5 kg;
- langeva raskuse lööki vastu võtvast alusest;
- käepidemest.

Koonus süvistatakse langeva raskuse abil pinnasesse 30 cm, lugedes vajaliku raskuse löökide arvu süvistamiseks sügavuselt 20 cm kuni 30 cm.

Pinnase tinglik dünaamiline vastupanujõud P_D vastavalt valemile (1.6):

$$P_D = K \cdot E \cdot N_{20-30} / h \quad (1.6)$$

kus:

K – tegur, mis arvestab löögi energiakadu;

E – kineetiline energia, N/cm;

N_{20-30} – löökide arv, mis on vajalik koonuse süvistamiseks pinnasesse 20-30 cm;

h – koonuse süvistamissügavus, 10 cm.

Pinnase vastupanujõud (P_D) määratakse ühel kohal (40x40 cm) 3-5 korda. Keskmise P_D väärtuse järgi määratakse tareerimisgraafikult liiv- või kruuspinnase tihedus. Penetromeeter tareeritakse liiv- ja kruuspinnastele, kasutades kiht-kihilt erineva

tiheduseni tihendatud pinnaseid. Tareerimise tulemusena koostatakse tareerimisgraafik, mis iseloomustab pinnase tiheduse sõltuvust pinnase tinglikust dünaamilisest vastupanujõust.

Tootja Englo OÜ sõnul dünaamilised penetromeetrid võimaldavad ehitusobjektidel operatiivselt määrata peeneteraliste pinnasekihtide tihedust [4].

Dünaamiline penetromeeter PM-1 (joonis 1.5) 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 [4].

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 tiheduskoefitsient [5].



Joonis 1.5 Dünaamiline penetromeeter PM-1 [4].

Dünaamilise koormamise meetod

Dünaamilise koormamise meetodil kasutatakse pinnase tiheduse määramiseks Loadman ja Inspektor tüüpi seadet, millega mõõdetakse langeva raskuse poolt tekitatud pinnase vertikaalset deformatsiooni.

Deflektomeetreid Loadman ja Inspektor saab kasutada praktiliselt kõigil ehitusobjektidel igat tüüpi materjalide E-mooduli ja tiheduse mõõtmiseks.

Loadman

Loadman deflektomeetreid (joonis 1.6) 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 [6].



Joonis 1.6 Deflektomeeter Loadman II [6].

Mõõdetud tulemustena esitatakse punkti maksimaalne deformatsioon, arvutatud kandevõime elastsusmoodulina, koormamise impulsi pikkus ja tihendustegur. Tihendustegur – suhe esimese ja viimase katse (maksimaalse) deformatsioonide vahel. [7]

Inspector

Inspector deflektomeetrite (joonis 1.7) tootmisega ning nende müügiga tegeleb Eestis ettevõtte Englo OÜ. Esialgselt oli Inspector seade konstrueeritud Maanteeameti tellimusel, mille aluseks oli võetud Soome analoog Loadman [7].

Inspector seadet pidevalt arendatakse ning tänase päevaga seadme viimase mudeli nimi on Inspector-5.



Joonis 1.7 Deflektomeetrid Inspector-3 ja Inspector-4 [8].

Tootja Englo OÜ sõnul võimaldab Inspector-3 seadmega hinnata pinnase elastsusmoodulit, pinnase maksimaalset deformatsiooni, elastsusmoodulite suhet ja deformatsiooni aega [7].

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 [7].

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 [7].

Loadman ja Inspector tehniliste omaduste võrdlus

Hetkel teedeehituse objektidel kasutatakse tihti enamlevinud Inspector-3 seadet. Inspectori viimaseks mudeliks on Inspector-5. Kuna Inspector-seadmed olid konstrueeritud Loadman-seadme eeskujul, siis saame neid võrrelda. Tabelis 1.1 on esitatud Loadman II, Inspector-3 ja Inspector-5 tehnilised andmed.

Tabel 1.1 Loadman II, Inspector-3 ja Inspector-5 tehnilised andmed

Tehnilised andmed			
Seade	Loadman II	Inspector-3	Inspector-5
Kogukaal	16 kg	16 kg	10,8 kg
Kõrgus	117 cm	115 cm	103 cm
Taldade diameetrid	132 ja 300 mm	140, 200, 300 mm	140, 200 mm
Kukkuva raskuse mass	10 kg	10 kg	6 kg
Raskuse kukkumiskõrgus	80 cm	80 cm	67 cm
Mõõtediapasoon	0,1 - 5 mm	-	-
Mõõteimpulsi pikkus	25 - 30 ms	-	-
E-mooduli mõõtevahemik	-	5 - 900 Mpa	5 - 300 Mpa

On näha, et Inspector-5 on olulisealt väiksem ja kergem, kui Loadman ja teised Inspectori-seadmed, mida kergendab teha mõõtmisi objektidel.

Pinnase optimaalne niiskus ja maksimaalne tihedus

Pinnase suurim ehk maksimaalne tihedus δ_0 ja optimaalne niiskus w_0 määratakse pinnase standardse tihendamisega. Pinnaste standardseks tihendamiseks kasutatakse standardset Proctorteimi (joonis 1.8).



Joonis 1.8 Proctor katse seadmed.

Pinnase optimaalse niiskuse ja maksimaalse tiheduse laboratoorne määramine toimub järgnevalt:

- Uuritava pinnase proovile lisatakse enne tihendamist teatud kogus vett (kokku 4-6 korda). Alustama peaks õhkkuiva pinnase niiskusest pisut suuremast niiskusest, kuid 8-10% alla optimaalse niiskuse.

Liival on Sojuzdornii seadmega määratud optimaalne niiskus umbes 8-10%, savisel/möllisel liival 9-15%, liivasel savil/möllil 12-22% ja savil/möllil 16-26%.

- Vajaliku niiskuse jaoks lisatav vee hulk (Q, g) vastaval valemile (1.7):

$$Q = P(w_n - w_a)0,01 \quad (1.7)$$

kus:

P – tihendatava pinnase mass, g;

w_n, w_a – nõutav ja algniiskus, %.

- Pinnas asetatakse silindrisse ja tihendatakse kihtide kaupa nõutud löökide arvuga.
- Tihendatud pinnase niiske mahumass (γ , g/cm³) vastavalt valemile (1.8):

$$\gamma = (P_1 - P_2)/V \quad (1.8)$$

kus:

P_1 – silindri ja tihendatud pinnase üldmass;

P_2 – tühja silindri mass, g;

V – silindri maht, cm³.

- Tihendatud pinnase niiskuse määramiseks võetakse 15-20 g pinnast proovikeha pealt, keskelt ja alt ning saadud proov kaalutakse ja kuivatatakse.

Tihendatud pinnase niiskusesisaldus (w, %) vastavalt valemile (1.9):

$$w = (M_1 - M_2) * 100 / M_2 \quad (1.9)$$

kus:

M_1 – märja pinnaseproovi mass, g;

M_2 – kuivatatud pinnaseproovi mass, g.

- Pinnase tihedus ehk kuiv mahumass (δ , g/cm³) vastavalt valemile (1.10):

$$\delta = \gamma / (1 + 0,01 \cdot w) \quad (1.10)$$

kus:

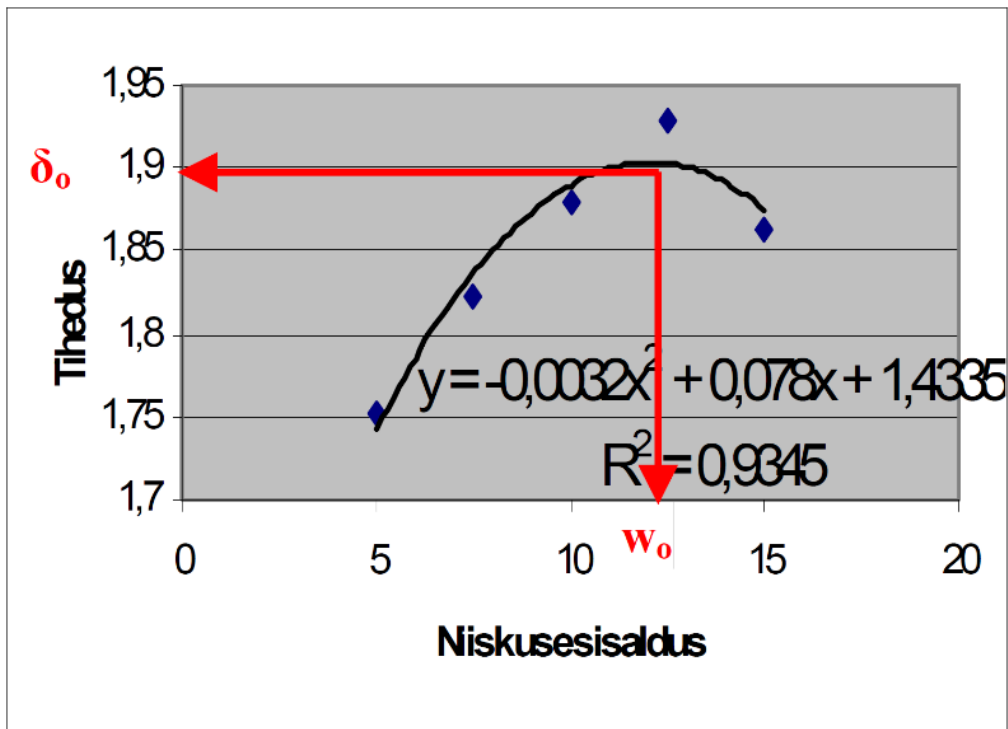
γ – tihendatud pinnase mahumass, g/cm³;

w – tihendatud pinnase niiskusesisaldus, %.

- Saadud tulemuste alusel joonistatakse standardse tiheduse graafik, mille järgi määratakse suurim tihedus (δ_0) ja sellele vastav optimaalne niiskus (w_0) (joonis 1.9).

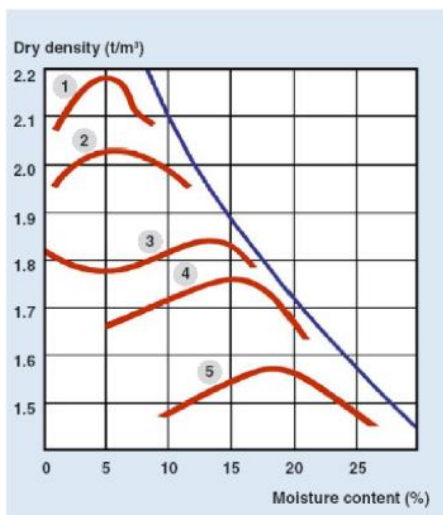
Tabel 1.2 Proctor seadmete põhiparameetrid.

Seadme põhiparameetrid	EVS-EN 13286-2:2004			
	Standard Proctor		Modifitseeritud Proctor	
Tambi mass, kg	2,5		4,5	
Tambi langemiskõrgus, mm	305		457	
Tihendatavate kihtide arv	3		5	
Pinnasesilindri läbimõõt, mm	100	150	100	150
Silindri kõrgus, mm	120		120	
Igale kihile langevate löökide arv:	25	56	25	56
Katsetatava pinnase maksimaalne teraläbimõõt, mm	16 või 31,5		16 või 31,5	



Joonis 1.9 Standardse tiheduse graafik (maksimaalne tihedus δ_0 ja sellele vastav optimaalne niiskus w_0).

Pideva sõelkõveraga sõmerpinnaste kuiv mahumass (tihedus) on suurem, kui savistel pinnastel. Järsu tipuga Proctor-kõver on tavaliselt iseloomulik pideva sõelkõveraga sõmerpinnastele ja ühtlane lame Proctor-kõver aga iseloomustab ühtlast terakoostist (joonis 1.10).



Joonis 1.10 Erinevate pinnaste Proctor-kõverad.

Joonisel 1.10 numbrite tähendused: 1 - liivane kruus; 2 - kruusane liiv; 3 - ühtlane liiv; 4 - liivane möll; 5 - raske savi.

Proctor-katset on ülemaailmselt tuntud standardkatse niiskusesisalduse - tihendusjõu - tiheduse suhte määramiseks. Tegelikult on see väga lihtne test. Uuritav materjal pannakse terasvormi, mille siseläbimõõt on 101,6 mm ja kõrgus 126,4 mm, kolmes kihis, igaüks umbes 40 mm paksune. Selle võimaldamiseks on vormi peale vaja 60 mm kõrgust ja sama siseläbimõõduga pikenduskraed. Kõik kolm kihti tihendatakse silindrilise metallist rammija 25 löögiga, mille mass on 2,5 kg. Rammi läbimõõt on 50,8 mm ja kukkumiskõrgus 305 mm. Sel viisil tehtud testi nimetatakse standardseks (tavaliseks) Proctor-katseks [9].

Modifitseeritud (raske) Proctor-katses tihendatakse proov viieks kihiks, millest igaüks on umbes 25 mm paksune, metallist rammijaga, mille mass on 4,54 kg, samal ajal kui kukkumiskõrgus on 457 mm [9].

Terasvormi läbimõõt on üsna väike ja seetõttu sõelutakse ka selles katses välja jämedad osakesed [9].

Üldiselt on liivade Proctori kõverad üsna lamedad. Teiste materjalide puhul võib niiskusesisalduse ja tiheduse vahel olla palju selgem seos [9].

Proctor-katse kasutamine

Proctor-katset kasutatakse muuhulgas optimaalse veesisalduse määramiseks, selleks tehakse mitu katset, peale tihendamist lõigatakse vormi pind tasaseks (materjal on seega fikseeritud ruumalaga) ja kaalutakse vorm koos materjaliga. Materjal kuivatatakse ja kaalutakse uuesti. Tulemuseks saamegi kuivtiheduse. Katset korratakse erineva veesisaldusega et leida optimaalne [10].

Proctor-katse sobib materjalidele, mille terastikuline koostis on lähedane optimaalsele – materjal, mida annab kokku pakkida nii, et õhuvahed täidetakse peenemate osistega. Kuid selgub et katsel on piirid. Ühelt poolt, kuna tihendamine toimub haamriga, siis pehmemad kivimaterjalid purunevad mistõttu võib muutuda materjali terastikuline koostis katse käigus (rohkem kui võimalik ehitusprotsessis), teiselt poolt, paneb piirid anuma suurus. Siit tulenevalt, ei sobi katse kindlasti paekillustikule kõigis selle võimalikes esinemisvormides [10].

1.5.2 Kandevõime mõõtmine

Tee kandevõime on konstruktsiooni elastsusmoodul. Tee kandevõime arvestatakse mPa-ga ja koormuseks loetakse auto ehk liikluskoormus. Kandevõime ja tiheduse vahel ei ole mingit seost.

Kandevõime mõõtmisel kasutatakse järgmised seadmed:

- PLT (Plate Load Test) – plaatkoormuskatse;
- LWD (Light Weight Deflectometer) – kerge deflektomeeter;
- FWD (Falling Weight Deflectometer) – langeva raskusega deflektomeeter.

PLT (Plaatkoormuskatse)

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) [11].

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 [11].

Plaatkoormuskatse läbiviimiseks on vaja: koormusplaat koos raamiga, hüdrotungraud, mõõteseade koos anduritega, mis mõõdavad rakendatavat jõudu ja vajumi suurust, arvuti elastsusmooduli arvutamiseks ning vasturaskust [11].



Joonis 1.11 Plaatkoormuskatse seade 762mm plaadiga ning vastukaal (rataslaadur) [11].

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) [11].

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 [11].

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 [11].

Deformatsioonimooduli E_v arvutus põhineb koormus-vajumi graafikutel (joonis 1.12). Need arvutatakse ruutfunktsioonilt vastavalt valemile (1.11) [11].

$$s = a_0 - a_1 \cdot a_2 \cdot \sigma_0^2 \quad (1.11)$$

kus:

σ_0 - keskmine normaalpinge plaadi all, MN/m²:

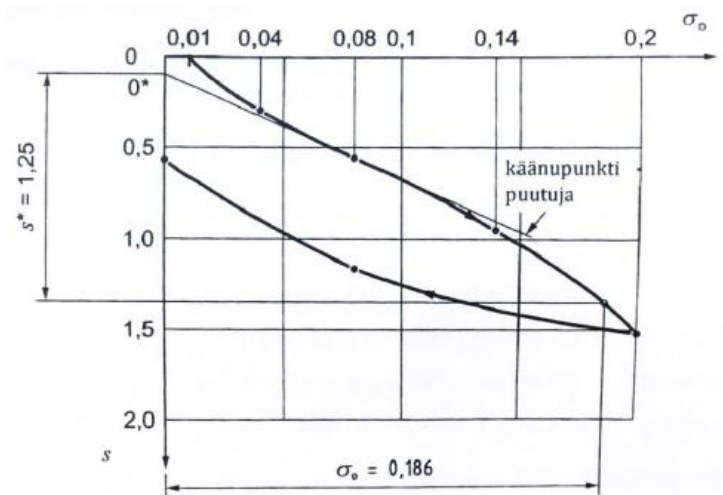
s - koormusplaadi vajum, mm:

a_0 - ruutfunktsiooni konstant, mm:

a_1 - ruutfunktsiooni konstant, mm/(MN/m²):

a_2 - 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 $0,3 \cdot \sigma_{0max}$ ja $0,7 \cdot \sigma_{0max}$ vahelt. [11]



Joonis 1.12 Koormus-vajumi graafik [11].

Deformatsioonimoodul E_v väärtused arvutatakse vastavalt valemile (1.12), kus E_v tähist täiendatakse vastavalt koormustsüklikele 1 ja 2 [11].

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{0max}} \quad (1.12)$$

kus:

E_v – deformatsioonimoodul, MN/m³;

r – koormusplaadi raadius, mm;

σ_{0max} – maksimaalne keskmine normaalpinge plaadi all esimese koormustsükli ajal MN/m²

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

Westergaardi moodul k_s ehk pinnase reaktsioonimoodul arvutatakse vastavalt valemile (1.13) [11]:

$$k_s = \sigma_0 / s \quad (1.13)$$

kus:

k_s – pinnase reaktsioonimoodul MN/m³,

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

s – koormusplaadi vajum (1,25 mm).

Mõnedel juhtudel võidakse soovida hinnata pinnaste jäikusmoodulit kindla koormuse juures. Ligikaudu võib jäikusmooduli E_s (saksa keeles *steifemodul*) määrata eksperimentaalse väärtuse põhjal, kasutades valemit (1.14) [11]:

$$E_s = \sigma_0 * d/s \quad (1.14)$$

kus:

σ_0 = keskmine normaalpinge plaadi all MN/m²

d = plaadi diameeter mm

s = koormusplaadi vajum m

LWD (Light Weight Deflectometer)

Plaatkoormuskatsele alternatiivseks lahenduseks ehitusobjektidel oinaste 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 [7].

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite esitavates nõuetes on kirjas, et Inspectori-seadme asemel saab kasutada Taani koolkonna LWD seadmeid (Dynatest, Prima etc). Käesoleva magistritöö praktilises osas kasutati Dynatest 3032 LWD deflektomeetrit kaevetööde järgselt taastatud teekatte deformeeritavuse mõõtmiseks ja hindamiseks. Dynatest LWD seadmest on antud ülevaade peatükis 2.2 "Deflektomeeter Dynatest 3032 LWD".

FWD (Falling Weight Deflectometer)

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 [7].

Dynatest 8000 FWD

Dynatest FWD 8000 (joonis 1.13) 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 [12].

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 [12].

Eestis Dynatest 8000 FWD raske deflektomeeter on olemas ainult Teede Tehnokeskusel.



Joonis 1.13 Dynatest FWD 8000 deflektomeeter [12].

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite kandevõimenõuded

Sidumata teekatendi konstruktsiooniliste kihtide kandevõime määratakse staatilise plaatkoormuskatsega standardi EVS 934:2016 alusel (tõlge standardist DIN 18134:2004). Katse tulemusena esitatakse deformatsioonimoodul (E-moodul) E_{v2} . Täidetud peab olema tingimus $E_{v2}/E_{v1} < 2,3$ [3]:

kus:

E_{v1} – esmasel koormamisel määratud staatiline deformatsioonimoodul

E_{v2} – teisel koormamisel määratud staatiline deformatsioonimoodul

Lisaks plaatkoormuskatsele tohib kandevõime mõõtmiseks kasutada Taani koolkonna kergseadmeid (Dynatest LWD2, Prima 100) või Saksa koolkonna seadmeid GDP (German Dynamic Plate – Zorn, HMP, Terratest). Kogu konstruktsiooni kandevõimet on võimalik mõõta vaid FWD seadmega [3].

Kandevõime mõõtmiseks ei kasutata Soome koolkonna kergseadmeid (Loadman, Inspector), mis sobivad vaid tihenduskvaliteedi hindamiseks. Liivpinnaste tihedust võib mõõta ka penetromeetriga [3].

Kergseadme töö on kiire (hinnanguliselt 2 minutit punkti kohta) erinevalt plaatkoormuskatsest, milleks kulub 20...80 minutit punkti kohta ja selleks ajaks on hõivatud ka vasturaskusena kasutatav tehnika [3].

Tabelis 1.3 on toodud ainult Dynatest LWD jaoks minimaalselt vajalikud väärtused, mis peavad olema tagatud viie järjestikuse mõõtmise keskväärtusena ja üksiku absoluutväärtusena, sõltuvalt projektis ehk tüüpjoonisel fikseeritud Ev2 väärtusest [3].

Tabel 1.3 PLT (plaatkoormuskatse) ja Dynatest 3032 LWD seadme võrdlus [3].

Ev ₂ – PLT	180	150	120	100	80	70	60	50	45
Evd – Dynatest@100 kPa-AVG	132	115	99	82	66	58	50	45	41
Evd – Dynatest@100 kPa-MIN	106	92	79	66	53	46	40	36	33

Kui kasutatakse sidumata segu, peaks sillutiskatete all olema kandevõime Ev₂ vähemalt 120 Mpa, koormussagedusel üle 300 000 normtelje katendi kasutusaja kohta vähemalt 150 Mpa (Saksa tüüpkatendite alusel). Seotud alusel sõidukiliikluse alas peab killustikaluse kandevõime olema vastavalt 100 ja 120 Mpa, kergliiklusteedel sidumata alusel 100 Mpa [3].

Kuni juhendis ei ole sätestatud täpsemaid nõudeid kõigi teekatendite kandevõime kohta, kontrollitakse käesolevas juhendis eraldi mainimata juhtudel nende kvaliteeti majandus- ja taristuministri määruse nr 101 alusel, kasutades tihendamiskvaliteedi kontrolli Inspector- või Loadman-tüüpi seadmega [3].

Vastavuses MKM määrusega nr 101 võib Inspector/Loadman seadme asemel kasutada teistsuguseid seadmeid, kuid siis tuleb vastavate seadmetega saadud tulemus korrutada üleminekuteguriga. Taani koolkonna kergdeflektomeetrite (Dynatest, Prima) puhul on

üleminekuteguriks 1,3 eeldusel, et liival teostatakse mõõtmised 100 kPa režiimis 300 mm tallaga ja killustikul 300 kPa režiimis 150 mm tallaga. $E_{inspector} = 1,3 \cdot E_{dynatest}$ [3].

Tabel 1.4 Kasutatavate materjalide elastsusmoodulid – E [3].

Materjali nimetus	E, MPa
Killustikmastiksasfalt (SMA)	3200
Asfaltbetoon (AC surf, AC bin)	2500
Tsementstabiliseerimine (survetugevus 3...5 MPa)	1500
Korebetoon (survetugevus 5...10 MPa)	3500
AC base ja vanad asfaltbetoonkatted	1650
Lubjakivikillustikust alus	280 (LA<35), 240 (LA≥35)
Liiv (Männiku mõõdukalt ühtlaseteraline uMSa)	70
Jäme kerge saviliiv	65
Peenliiv	50

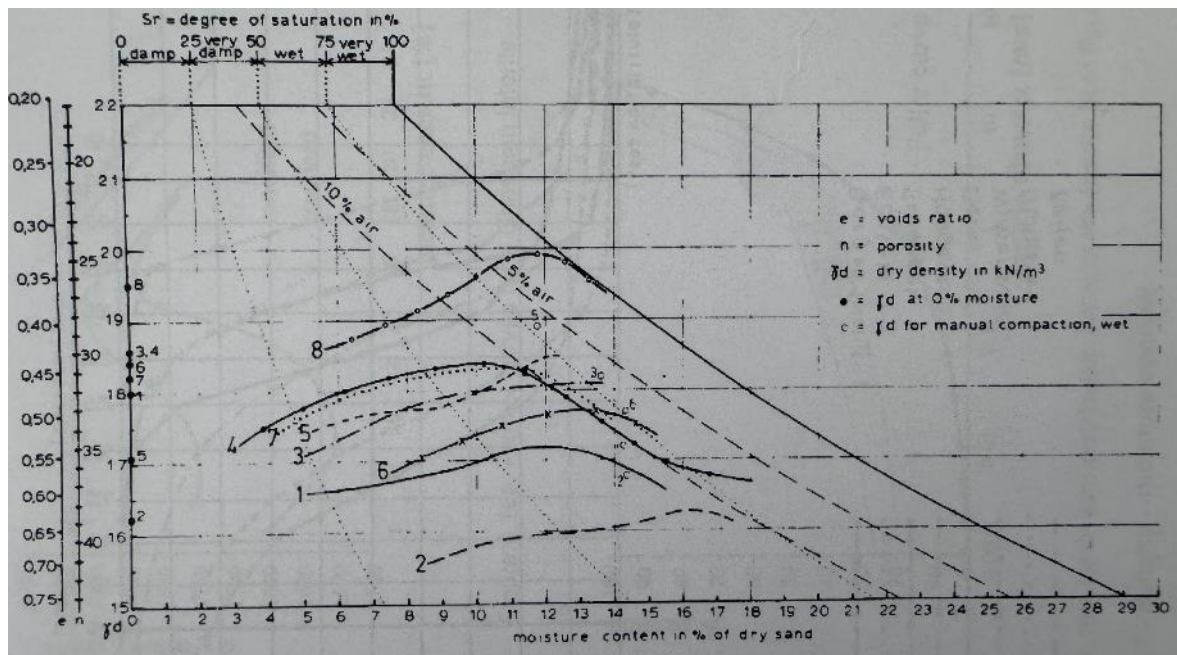
Tihedus – niiskusesisaldus – kandevõime

On selge, et teravilja skeleti suurem tihedus toob kaasa suurema kandevõime. Seda on lihtne seletada, kuna tiheduse suurenedes väheneb pooride maht ja suureneb terade vaheliste kontaktpunktide arv, mis toob kaasa suurema hõõrdumise terade vahel ja ka suurema vastupidavuse nihkekahjustusele [9].

Juba mainitud, et ka niiskuse (vee)sisaldusel on üsna suur mõju. Seda saab hästi illustreerida, kui arvestada liiklemisvõimet rannas. Luidete lähedal on rattaga sõitmine üsna võimatu, sest liiv on väga kuiv ja ei ole ühtlane. Ka kõrgveemärgi lähedal puudub liiv kandevõime, kuna see on liiga märg; ka siin vajub ratas liiva sisse. Kuivatusalal on aga tsoon, kus kapillaarjõud, imemisjõud, on nii suured, et viljaskalett on ehk eelpingestatud. Läbi selle suletuse omandab liiv teatud tugevuse ja rattaga sõitmine pole üldse probleem [9].

Teatud niiskusesisalduse juures on liival optimaalne kandevõime [9].

Võimalikult suure tiheduse saavutamiseks on vaja muidugi tihendamist, aga ka teatud niiskusesisaldust. Niiskus toimib terade vahel määrdeainena. Joonisel 1.14 on esitatud mitme Hollandi liiva puhul niiskussisalduse ja kuivaine tiheduse vaheline seos, mis on määratud nii nimetatud Proctor-katsega [9].



Joonis 1.14 Proctori kõverad mitme Hollandi liiva jaoks [9].

Torujuhtme kraavi tagasitäite katsetamine

Tulemused näitavad, et „vananenud“ täitematerjalidel on väiksem jäikus ja tugevus võrreldes looduslike häirimatute muldadega. Selle tähtsus seisneb selles, et torude ja pinnase vastastikmõjul täitematerjalides on pinnase piiramine väiksem ja suuremad deformatsioonid võrreldes eeldustega, mis põhinevad häirimatute looduslike muldade omadustel [13].

Looduslikud puutumata pinnased nii liiva- kui ka savimuldade puhul on oluliselt kõrgemate jäikuse väärtustega võrreldes „vananenud“ ja „värskete“ täitematerjalidega. Lisaks käituvad „vananenud“ täitematerjalid nii liivase kui ka savise pinnase jaoks jäigemalt kui „värsked“ täitematerjalid. Seetõttu ilmneb aja jooksul „vananemiseffekt“, mis on tõenäoliselt seotud hooajaliste niisutus- ja kuivamistsüklitega, sealhulgas potentsiaalselt külmumine-sulamine nendel madalatel sügavustel [13].

Üldiselt näitavad katsetulemused täitematerjalide tugevuse ja jäikuse olulist vähenemist võrreldes looduslike häirimata muldadega. Mõõdukalt paraneb täitematerjalid aja jooksul. Kuid isegi „vananenud“ täitematerjalil on palju väiksem tugevus ja jäikus võrreldes looduslike häirimatute muldadega [13].

Maantee ristäravoolude kaevikute täitetööde hindamine

Välihinnangud näitasid, et teekatte pinna languse korral oli selle all olev kaeviku täitepind pehmem kui külgnev aluspõhja pinnas [14].

Üks võimalik viis sillutise vajumise ärahoidmiseks rist äravoolu juures on muuta tagasitäide külgnevatest aluspõhja pinnastest jäigemaks. Täielike laboratoorsete katsete tihendustulemused näitasid, et liiva ei kasutata maanteede rist äravoolude jaoks alati edukalt selle halva gradatsiooniga ja tihendamiskeskuste tõttu. Teised materjalid, nagu purustatud lubjakivi ja taaskasutatud asfaltkate, on head alternatiivid, kuna neil on hea töödeldavus ja tihendamine on väga jäik [14].

Katendi kaldeprobleemi saab ära hoida, kui kaeviku tagasitäite jäikus on suurem kui külgneva aluspõhja pinnase jäikus. See maanteede ristäravoolude kvaliteedikontrolli kriteerium peaks olema täidetud rist äravoolu tagasitäite ehitamisel [14].

Seni probleemsetes kohtades läbiviidud välisondeerimiskatsed näitasid, et katendi languse esinemine sõltus suuresti kaeviku täitematerjalide suhtelisest jäikusest nende külgneva loodusliku pinnase suhtes. Kui katendi pinna langus toimus, oli selle all olev kaeviku tagasitäide alati vähem jäigem kui külgnevad aluspinnased. Kui aga kaeviku täitepind oli vähem jäigem kui külgnev aluspõhja pinnas, võib teekatte pinna languste esinemine ja ulatus sõltuda muudest teguritest, nagu katendi konstruktsioonide jäikus ja veoautode liikluskoormus [14].

Välisjuhtumite analüüside tulemused näitavad, et üks võimalik viis katendi vajumise ärahoidmiseks rist äravoolu juures on muuta kaeviku tagasitäide külgneva aluspõhja pinnasest jäigemaks [14].

Täielike laboratoorsete katsete tihendustulemused näitavad, et liiva ei kasutata maanteede ristuvates äravooludes alati edukalt selle väga halva gradatsiooniga ja tihendamiskeskuste tõttu. Nende hea töödeldavuse ja tihendamisel suurema jäikuse tõttu on vaja kaaluda alternatiive, nagu lubjakivipuru ja taaskasutatud asfaltkate materjalid [14].

Kaldega üleminekualaga kaevikutes pingajaotus

Kui jäigemate seinte vahele asetatakse suhteliselt pehme täitematerjal, kipub esimene kaevikusse settima, samal ajal kui tugiseinad hoiavad täitematerjali paigal, mis viib koormuse ülekandumiseni täitematerjalilt seintele nihkepingete tõttu, mis võib areneda mööda liideseid. Seda pingeülekannet, mida nimetatakse kaarjaks, kohtab geotehnilises inseneritöös tavaliselt siis, kui deformeeritav tahkete osakeste materjal asetatakse piiravasse konstruktsiooni, nagu silohoidlad ja prügikastid, tugiseinad, kaevanduspeatused ja kitsad kaevikud [15].

Praktikas on aga tavaliselt vaja kaldega üleminekualaga kaevikuid, et vältida või vähendada ehituse ajal pinnase purunemise (nii nimetatud koopad) ohtu [15].

Tavaliselt eeldatakse, et kaevikusse paigutatud tagasitäide on pehmem (deformeeruvam) kui juba paigas olev ümbritsev pinnas. Kui täitematerjal on jäigem kui kaeviku seinu moodustav külgnev pinnas, näitavad siin tehtud arvutused, et täitepinnas on pinge ülekandmine väike ja „negatiivne kaardumine“ puudub. Olukord võib aga olla erinev, kui täitepinna ja sellega külgneva pinnase peale rakendatakse lisatasu. Seda näitasid Brachman ja Krushelnitzky, kes viisid läbi elastse lõplike elementide analüüsi kaalutu tagasitäidetud kaevikus, mille pinnale avaldati ühtlast survet [15].

Simulatsioonitulemused näitavad ka, et loodusliku pinnase sisehõõrdenurk piki seinu ei mõjuta oluliselt pingejaotust tagasitäites, kui materjali nihketugevus on suure sidususe tõttu kõrge (100 kPa). Olukord võib aga olla hoopis teistsugune, kui ühtekuuluvus on palju väiksem. Näiteks näitavad simulatsioonid, et pingete jaotumist piki kaeviku vertikaalset keskjoont mõjutab hõõrdenurk väga väikese ühtekuuluvuse korral (0,1 kPa). Sellistel juhtudel võib ümbritseva materjali madal hõõrdenurk muuta seinad ebastabiilseks, mis toob kaasa konvergenti, mis surub tagasitäite kokku ja põhjustab suuremaid horisontaalseid pingeid. Kui seina hõõrdenurk suureneb (30° kuni 40° , nagu praktikas eeldatakse), vähenevad horisontaalsed pinged. Vertikaalseid pingeid ei mõjuta nii palju seinte sisehõõrdenurk, kuna vertikaalsuunas võib mõningane pingeleevendus toimuda [15].

Simulatsioonid näitavad, et vertikaalsed pinged suurenevad kaeviku laiuse suurenemisega või seina kaldenurga vähenemisega. Lisaks näitavad tulemused, et vertikaalsed pinged vähenevad tagasitäite hõõrdenurga suurenemisega [15].

Kui seina kaldenurk on järsk, võib madala tugevusega looduslik pinnas (hõõrdenurga ja ühtekuuluvuse osas) tekitada seina koondumise, mis põhjustab suuri horisontaalseid pingeid. Samuti näitavad tulemused, et pingeid võib mõjutada ka seinamaterjali Youngi moodul. Need pinged on siin vaadeldavate tingimuste puhul palju vähem tundlikud seinamaterjali Poissoni suhte muutuste suhtes [15].

Võrdlused kvaliteedikontrollis

Inspector-ja Dynatest 3032 LWD

Inspector-seadme katseseeria käigus tihendatakse materjal rohkem, kui reaalse ehitustehnikaga kontrollitaval kihil. Absoluutselt kõikidel sõiduteedel nõutakse kandevõimet 170 mPa killustikalusel. Puudub mingisugune põhjus miks üldse tuli number 170 mPa. Kandevõime 170 mPa killustikalusel näitab taset, kuid see nõue on

võrdne 1. klassi maanteel ja külavaheteel eeldusel, et mõlemale teele rajatakse uus asfaltkate.

Inspector- ja Loadman-seadmetega saab kontrollida tihendamise kvaliteeti, kuid mitte kandevõimet. Inspector-seade on ette nähtud ehitusprotsessis saavutatud tihendusteguri mõõtmiseks.

Tihendustegur on reaalselt saavutatud tiheduse suhe laboris saavutatud Proctor-standardtihedusse.

Tihendustegurit väljendatakse läbi kandevõime mõõtmise, mõõteseeria korduvkoormamiste jooksul muutunud kandevõime väärtuste kaudu, ei tee Inspector-seadet veel kandevõime mõõteseadmeks. Põhjuseks on Inspector-seadme töörežiim. Kandevõime arvutame konkreetse konstruktsiooni koormamisel tekkinud vajumi kaudu, sisuliselt on kandevõime konstruktsiooni koormamisel saavutatud elastsusmooduli väärtus. Koormamisel tekivad vajumid igas kihis, seega igal kihil on ka oma elastsusmoodul. Paraku on iga kihi tööolukord (pingerežiim, koormus pinnaühiku kohta) erinev sõltuvalt kihi asendist konstruktsioonis. Kui sügaval koormuse rakendamiskohast ehk konstruktsiooni pinna tasemest kiht paikneb – kuigi lisandub ülakihtide omakaal, jagab iga kiht koormused laiemale pinnale. Kuigi Inspector-seadme koormuseks on 10 kg, kasutatakse seadmes suhteliselt jäika puhvrit, mistõttu pinge seadme talla all on oluliselt suurem, kui reaalselt tööolukorras konkreetsetes konstruktsioonikihtides esinev. Lisaks sõltub materjali elastsusmoodul mõõtmisel kasutatavast pingest – mida suurema pinge all seda mõõta, seda suhteliselt väiksem on mõõdetav deformatsioon ehk suurem materjali elastsusmoodul. Lihtsustatult võib öelda, et Inspector-seadmega mõõdetav konstruktsioonikiht tihendatakse mõõtmisprotsessis oluliselt rohkem, kui reaalselt ehitusprotsessis ja pingerežiim ületab oluliselt tööolukorras võimaliku piirid – samas saab tõepoolest, katse käigus toimunud muutuse järgi hinnata, kui hästi kiht tihendatud on [10].

Inspector-seadmega mõõtmise väikse kaeviku pealt – elastsusmooduli tulemus tuleb parem, kui mõõta näiteks kogu sõidutee laiuses ehitatud liiva- või killustikukihi pealt. Elastsusmooduli parema tulemuse põhjuseks on väikse kaevikus tekitanud nihkepinge nii materjali küljest, kui ka ülevalt alla teiste paigaldatud tihendatud kihtidest.

Deformatsiooni ja kandevõime vahel seos on lineaarne. Näiteks kui on teada, et vana ja uue katendi üleminekualas deformatsioon on kahekordne võrreldes korralikult tihendatud alaga, siis on tegemist kahekordse kandevõimevahega. Koormussageduse ja kandevõime vahel seos on logaritmiline. Siis on tegemist juba olulise ressursikahanemisega. Need kehtivad ka Dynatest 3032 LWD seadmega mõõtmistele.

TLM m27 Tallinna tüüpkatendite esitavates nõuetes on kirjas, et kandevõime mõõtmiseks ei kasutata Loadman-seadet ja Inspector -seadet, mis sobivad vaid tihendusvaliteedi hindamiseks. Inspector-seadme asemel saab kasutada Dynatest 3032 LWD seadet kandevõime mõõtmiseks. Liivpinnaste tihedust võib mõõta ka penetromeetriga, aga penetromeeter sobib mõõtmiseks puhta peenosistega liiva pealt. Dynatest 3032 LWD deflektoomeetriga teostatakse mõõtmised liival 100 kPa pingerežiimis 300 mm tallaga ja killustikul 300 kPa pingerežiimis 150 mm tallaga [3].

Inspector-seadmega tehakse mõõtmised killustikukihil pingerežiimis 1500 kPa. Raskeõidukil liikluskormuse all tekib killustikalusele pingerežiim 300 kPa. Killustikaluse mõõtmisel Inspector-seadmel on kolm korda kõrgem pingerežiim kui Dynatest 3032 LWD seadmel. Inspector-seadmega mõõtmise ajal mõõtmisprotsessis tihendatakse mõõdetud ala oluliselt rohkem pingerežiimiga 1500 kPa. Seega saab järeldada, et Inspector-seade ei ole usaldusväärne seade.

PLT-seade

PLT-seadmega saab teostada mõõtmisi ainult sidumata konstruktsiooni kihtidel. Plaatkoormuskatse on väga aeganõutav – ühe punkti mõõtmine võtab ligikaudu ühe tunni, mõõtmiseks on vaja umbes kümnetonnist koormust. Koormuseks tavaliselt valitakse kas täislaetud materjaliga raskeveokit või pinnaserulli – valik sõltub kasutatavast koormusplaadist. Katse jaoks vajalik koormus on vahemikus 50 – 90 kN [10].

LWD-seade

Dynatest 3032 LWD-seadmega saab teostada mõõtmisi sidumata või ka seotud konstruktsioonikihtide tihendatuse ning elastsusmooduli hindamiseks. Seadmega saab mõõta ka asfaltkattelt [7]. Dynatest 3032 LWD seadme koormus imiteerib sõiduauto ratta mõju katendikonstruktsioonile.

FWD-seade

FWD-seadmega saab mõõta vajumit, kus katse käigus FWD-seade imiteerib raskeveoki ratta dünaamilist koormust teekattele. Lisaks mõõdetakse ka vajumit seadme anduritega, mille tulemusena saab informatsiooni konstruktsiooni alumiste kihtide kohta – vajumikauss ja FWD-indeksid [10].

PLT, LWD ja FWD võrdlus

PLT-seadmega, LWD-seadmega ja FWD-seadmega teostatakse kõik mõõtmised plusstemperatuuridel ning vähemalt seadme mõjusügavuse ulatuses ei tohi maapind külmunud olla. PLT-seadme ja LWD-seadme puhul see tähendab umbes 60 cm ulatust ning FWD-seadme puhul kuni 1,5 m [10].

Nii PLT-seadmega kui ka LWD-seadmega saab tihenduskvaliteeti kontrollida. PLT-seadme puhul tähendab kontrolli läbi (E_{v2} / E_{v1}) deformatsioonimoodulite suhtega.

Plaatkoormuskatse on väga aeganõutav. Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga võrreldes plaatkoormuskatsega teostada mõõtmisi kiiremini. Dynatest 3032 LWD deflektomeeter mõõdab ühe punkti 5 katsetega umbes 2 minutit. Dynatest 3032 LWD seadet saab transportida isegi sõiduautoga, seade kaal on suht väike, mida võimaldab kiiresti teostada mõõtmisi erinevatel punktidel.

Dynatest 3032 LWD seadmega saab mõõta raskesti ligipääsetavates asukohtades – näiteks kaevikutes ning erinevates kitsastes kohtades, kus plaatkoormuskatset oleks võimatu sooritada.

Seoses sellega saab järeldada, et plaatkoormuskatsele alternatiiviks Dynatest 3032 LWD deflektomeeter on kõige parem mõõteseade deformatsiooni ja kandevõime mõõtmiseks.

Tiheduse määramine

Hetkel ei ole olemas sobivat meetodit tiheduse määramiseeks korraga erinevatele materjalidele. Uuringud näitavad, et Proctor-katse ei ole adekvaatne kivimaterjalidele, eriti pehmemate killustike tihendamiseks.

Lisaks Proctor-katse ei sobi nii pestud kui ka pesemat paekillustikutele [10].

Proctor-tihendamine toimub kihtide kaupa ja haamriga. See tegelikult tähendab et pehmemad kivid purustatakse tihendamise käigus. Ning materjali terastikuline koostis pärast standardset tihendamise protsessi erineb oluliselt nii sellest, mida tihendama hakati kui ka sellest, missuguseks materjal saab välitingimustes objektil tihendades, kus kasutatakse staatilisi või vibrorulle. Uuringud on näidanud, et tihenduskontrolli etaloniks, st millega konkreetset objektil saavutatut võrrelda, tuleks kasutada just sellele materjalile sobilikku tihendusmeetodit. Selleks on näiteks mitmesugused vibrostendid või vibrohaamrid. Viimasel juhul tihendatakse materjali standardses Proctor-vormis ning vastava standardi kohaselt tavalisel juhul 30 sekundit kihile,

suurema vormi puhul 60 sekundit kihile. Liivadega on see kontrollitud, saame võrdsed tulemused Proctor-haamritega tihendamisega. Killustikel jääb see aga valdavalt 90-92% vahele. Mis kajastab just seda, et vibrotehnoloogiaga materjali ei lõhuta. Ning tihendamine ei peaks ju tähendama materjali lõhkumist. Katsel püüakse materjali omaduste üle otsustamiseks seda eelnevalt just standardselt tihendada.

Liivakoonuse meetod on küll täpne, aga samas ebatäpne poorsetes pinnastes. Kummiballooni meetodit täna Eesti ei ole kasutusel. Radioaktiivse isotoobiga tihendusmõõtlja ei sobi killustikule, karbonaatsete materjalide ja süvendite puhul. Penetratsiooni meetod on ette nähtud peeneteraliste pinnaste tiheduse kontrollimiseks, kus fraktsiooni 5–10 mm osakaal ei ületa 15 % ning ei sobi jämedamate fraktsioone sisaldavate pinnaste tiheduse kontrollimiseks [7]. Lõikerõngas või silinder ei sobi jämedateralistele materjalidele. Dünaamilise koormamise meetod üldse ei sobi materjali tiheduse kontrollimiseks, vaid sobib ainult tihendustegurite määramiseks.

Liiva tihedus

Kui on väga niiske või väga kuiv liiv, siis tihedust ei ole. Seoses sellega vibroplaadiga või pinnaserulliga ei saa sellist liiva tihendada. Nii niiskes kui ka kuivas liivas vibroplaat või pinnaserull uputab materjalis. Teatud optimaalse niiskesisaldusega saab tihendada liiva ning seejärel peale tihendamist liiv saab optimaalse kandevõimet.

2 KASUTATUD MÕÕTESEADMED

Karel Vergi ja ASTV katseobjektidel kasutati deformeeritavuse ja tasasuse mõõtmisel järgmiseid seadmeid:

- Käsiprofilomeeter Gapman
- Deflektomeeter Dynatest 3032 LWD seade

Antud mõõteseadmed olid väljastatud ettevõtte T-Konsult OÜ poolt uurimistöö läbiviimiseks.

2.1 Käsiprofilomeeter Gapman

Gapman on käsimõõtesead, mis on loodud erinevate pindade profiilide mõõtmiseks. Seade on võimeline automaatselt arvutama ja salvestama erinevaid pinna ebatasasuse parameetreid, sealhulgas keskmist kaldenurka, roopa sügavust ja tee tasasuse indeksit ehk IRI-t. Seade ise on võrdlemisi lihtne ning koosneb juhtseadmest ja andurimoodulist, mis on ühendatud reguleeritava pikkusega käepidemega. Andurimoodul on ratastel ja seadme kasutaja saab seda hõlpsalt üle mõõdetava pinna lükata [16].

Gapmani tööpõhimõte on lihtne, pinnaprofiili mõõtmiseks kasutatakse kahte andurit. Üheks neist on rataste telje küljes olev andur, mis loeb rataste pöördeid ja seeläbi suudab ta mõõta distantssi. Teiseks on kaldeandur, mis mõõdab seadme kallet. Läbitud distantssi ja kaldenurga abil on võimalik kalkuleerida kõikvõimalikke ebatasasusi [16].

Seadme tehnilised andmed on toodud alljärgnevalt [17]:

- Toide: 2 x AA alkaline.
- Tööaeg patareitoitel: 18 tundi (alkaline patareid, GPS sisse lülitatud).
- Kaitstuse aste: IP65 (vihma- ja pritsmekindel).
- Mälumaht: 40 km (oleneb valitud mõõtesammust. Tihedama sammu korra maksimaalse mõõdetava pinna pikkus väheneb).
- Töötemperatuur: -10 kraadi C kuni +50 kraadi C
- Profiili mõõtmise samm: 100mm või 50mm
- Profiili kõrguse mõõtmise lahutusvõime: 0,1 mm

- Kalde mõõtmise lahutuvõime: $0,01^\circ$ või $0,01\%$
- Maksimaalne kalle: $\pm 30^\circ$ ($\pm 50\%$)
- Andmeedastus: USB, Bluetooth.
- GPS täpsus: $\pm 2,5$ m.
- Iga katse on varustatud kellaaja ja kuupäevaga.



Joonis 2.1 Gapman käsiprofilomeeter [16].

Gapmani juhtimismoodul võimaldab mitmeid seadistus- ja juhtimisvalikuid ning kuvab reaalaaja hetkes mõõdetud tulemusi. Mõõdetud profiilid on võimalik salvestada arvutisse USB või Bluetooth ühenduse kaudu täiendavaks andmetöötluks. GAPMANil on ka sisse ehitatud GPS-moodul, mis salvestab iga mõõtmise koordinaadid. Kogu konstruktsioon

on klassifitseeritud IP65 standardi IEC 60529 standardi järgi ja on pritsme ja tolmukindel [16].

Gapmanil on väga mitmed eelised standardse 3 meetrise latiga mõõdistamise ees ja ideaalis võiks viimast asendada ka roopasügavuse määramisel. Kõige suurema eelisena saab välja tuua seadme väikesed mõõtmised, mõõtmise mugavuse ja kiiruse ning võimaluse mõõta väga erinevaid pindasid ja näitajaid. Lisaks on mõõtetööd Gapman-seadmega kiiremad mis tagab suurema ohutuse mõõtmiste ajal ning andmete analüüs on võimalik digitaalselt – nii saavutame parema kvaliteediga andmed [16].

Gapman-seadme mõõtmised ning mõõtmismugavus

Latiga roobaste mõõtmise puhul peab see ulatuma üle ühe sõiduraja, mistõttu latt on tüüpiliselt 3m pikk. Isegi kui lati saab nii öelda kokku pakkida on seda endiselt keerulisem kaasas vedada kui Gapman-seadet. Profilomeetri mõõtmised on 70 x 40 x 20 cm ning kaal 3 kg [16].

Roobaste mõõtmisel on tähtis mõõtmise kiirus. Tihti ei ole võimalik valida head hetke, millal liiklus mõõdetaval tee osal oleks nii väike, et oleks võimalik viia läbi mõõdistusi. Gapman seade tuleb küll enne mõõdistust kalibreerida, kuid seda saab teha mistahes vähemalt 1 m pikkusega sirgel alal. Seejärel saab Gapmaniga soovitud tee ristlõike läbi jalutada ning kõik vajalikud andmed on olemas. Latiga mõõtmine on aga oluliselt ajakulukam ning vajab vaikse liiklusega hetke, liikluse peatamist või ümbersuunamist tööde tegemise ohutuse tagamiseks [16].

Mõõtmiste võimalused

Mis puudutab käsiseadmeid, siis latiga on võimalik mõõta roobaste sügavust „jalgiva meetodiga“ ja pinna kallet ainult lati pikkuse ulatuses. Tihti on tehtud tööde vastuvõtmisel vajadus kohapeal kontrollida pindade kaldeid ja ka taset. Gapman seade võimaldab väga mobiilselt mõõta pinna kallet. Pinna pikkust jääb piirama vaid seadme tööaeg patarei toitel, mis on 18h, või siis seadme sisemälu, mis võimaldab salvestada kuni 40km andmeid (tihedama mõõtesammu puhul vähem). Roobaste mõõtmisel on eeliseks mõõtmise mugavus, ehk toiminguid saab teha kiiresti kohe ülevaatus käigus ning seade kuvab saadud tulemused mõõtmise lõpetamisel ekraanil. Lisaks mugavusele saab Gapmanil kasutada erinevaid roobaste mõõtmise viise ning mõõta saab ka pinna taset ehk IRI-t [16].

Seadme miinuste alla saab paigutada peamiselt kaks olulist punkti. Üheks neist on seadme maksumus. Gapman on disainitud ning toodetud Eestis ettevõtte Englo OÜ poolt

ning seadme maksumus on ca 6000 eurot. Mõõtelati hind on võrreldes sellega kordades odavam [16].

Teiseks miinuseks on Gapmani poolt väljastatavad andmed. Seda kirjeldatakse lähemalt järgmistest peatükkides ning käesoleva töö üks eesmärk on lihtsustada kogutud algandmete edasist töötlust [16].

Gapmani mõõterežiimid

Seadmele on sisse ehitatud erinevaid mõõtmisrežiime, mis tõlgendavad pinnatasasuse andmeid erinevalt. Režiime saab seadmes valida vaid enne mõõtmist. Mõõtmise lõpetamisel kuvatakse tulemused vastavalt valitud meetodile. Saadud režiimipõhist tulemust automaatselt hiljem muuta ei saa [16].

Gapmani pinnatasasuse mõõterežiimid on järgmised [16]:

- Kiil, lõikav meetod
- Kiil, lati all
- Tasasus 2 m latiga
- Roopa sügavus, lõikav meetod
- Roopa sügavus, jälgiv meetod
- Kalle, regressioon
- Tee tasasuse IRI mõõterežiim

Gapmaniga mõõtmine

Alustamisel tuleb seade kalibreerida. Sisuliselt peab lükkama käsiprofilomeetrit ühe vähemalt 1 m pika enamvähem tasase lõigu peal edasi ja tagasi, ning seade kalibreerib enda kaldeanduri. Mõõtmist tuleb alustada selliselt, et soovitud alguspunkt jääks seadme andurimooduli keskpunktiga kohakuti. Seejärel tuleb vajutada START ja lükata seade üle mõõdetava pinna. Seejuures pidada silmas järgmist [16]:

- Seadet tuleb kiirendada ühtlaselt, vältides äkilisi kiiruse muutusi.
- Mõõtmise kiirus tuleb valida vastavalt pinna tasasusele. Mida ebatasasem on pind, seda madalam peab olema kiirus.
- Soovituslik maksimaalne kiirus on 1 m/s ehk 3,6 km/h.

- Kui seadme rattad hakkavad mõõtmise ajal pinnast lahti hüppama, siis on mõõtmise kiirus liiga suur.

Katse lõpetamiseks tuleb seade seisma jätta ning vajutada STOPP nuppu [16].

2.2 Deflektomeeter Dynatest 3032 LWD

Dynatest LWD deflektomeetreid toodetakse ning turustatakse Taani ettevõtte Dynatest International A/S poolt. Tootja sõnul sobib Dynatest 3032 LWD (joonis 2.2) 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 [7].

Erinevalt Prima 100 LWD seadmest on võimalik Dynatest 3032 LWD-ga sooritada ühelt punktil mõõtmisi erinevate tallasuurstega, 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 [7].



Joonis 2.2 Dynatest 3032 LWD deflektomeeter [7].

Seadme koormusrežiimi on võimalik reguleerida erinevate seadistustega [7]:

- Muutes talla diameetrit – 100, 150, 200 ja 300 mm
- Koormuse raskus – 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 [7].

Mõõtetulemused saab edastada arvutisse või mõnda teise nutiseadmesse bluetooth mooduli vahendusel. Spetsiaalses tarkvaras (LWDmod) kajastuvad mõõtetulemused kohe peale katse sooritamist. Tulemustele on võimalik lisada ka koordinaadid ühendatud nutiseadme GPS-i abil [7].

3 KORDUVMÕÕTMISED 2019 KATSEOBJEKTIDEL

Karel Vergi teostas mõõtmisi 7-l katseobjektil 2019. aasta kevadel. Korduv- mõõtmiste eesmärgiks oli võrrelda toonaseid tulemusi olukorraga 2023. aastal – kas taastatud katendi deformeeritavus läks suuremaks või toimus aastatega järeltihenemine ehk deformatsiooni arv vähenes. Tabelis 3.1 välja toodud korduvmõõtmiste katseobjektid.

Kõik deformatsiooni mõõtmised olid teostatud T-Konsult OÜ poolt välja antud Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga. Deflektomeetri mõõterežiim katsetes 700 kPa, 20 kg kukkuva raskusega ja 150 mm tallaga. Deflektomeetri sama mõõterežiimi kasutas ka enda mõõtmistel Karel Vergi.

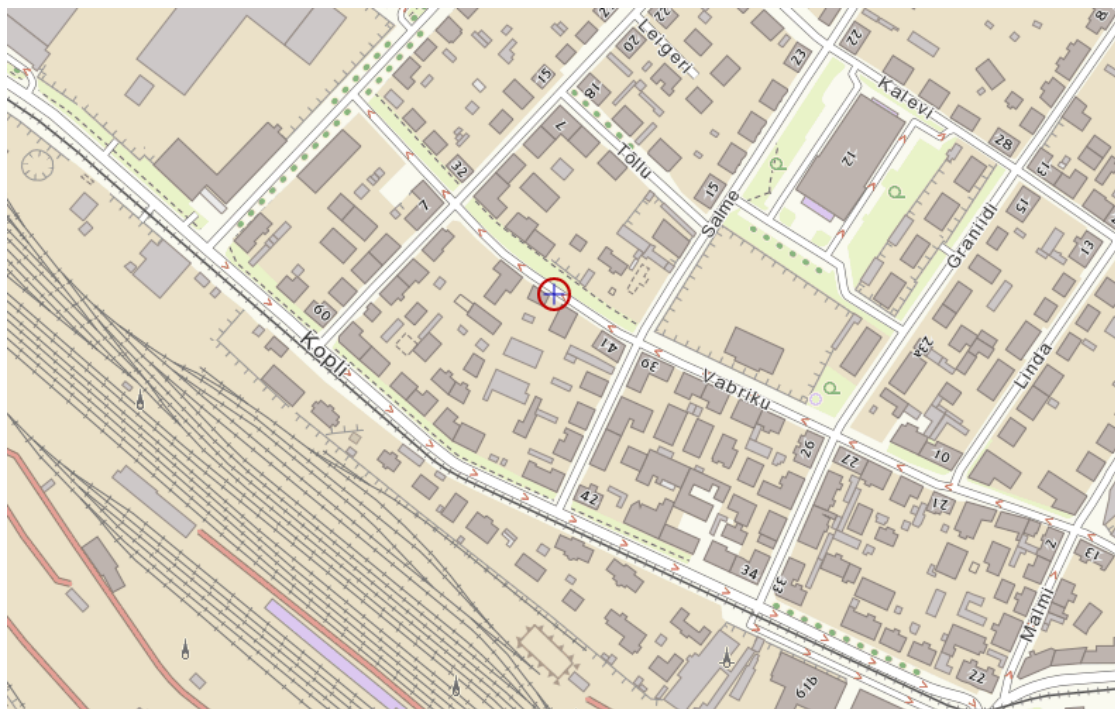
Tabel 3.1 Korduvmõõtmiste katseobjektid

Nr.	Objekti aadress	Deformeeritavuse mõõtmise kuupäev (Karel Vergi)	Korduv deformeeritavuse mõõtmise kuupäev (Anton Lomaško)	Teostatud taastamistööd	Kaeviku ülemineku ala	Teostatud töö	AKÖL autot/ööp
1	Vabriku tn 45	02.05.2019	14.10.2023	2019. aasta märtsis	Astmeline	Liinipinge muutmine	5240
2	Ankru tn 4a	02.05.2019	14.10.2023	23.04.2019	Astmeline	Elektrivarustuse rajamine	380
3	Väike-Patarei tn	02.05.2019	14.10.2023	2018. aasta novembris	Astmeline	Kanaliseerimisitorustiku rekonstrueerimine	1460
4	Lootuse pst 62	2019. aasta kevad	14.10.2023	2018. aasta novembris	Astmeline	Veetorustiku rajamine	1780

Vabriku tänav 45

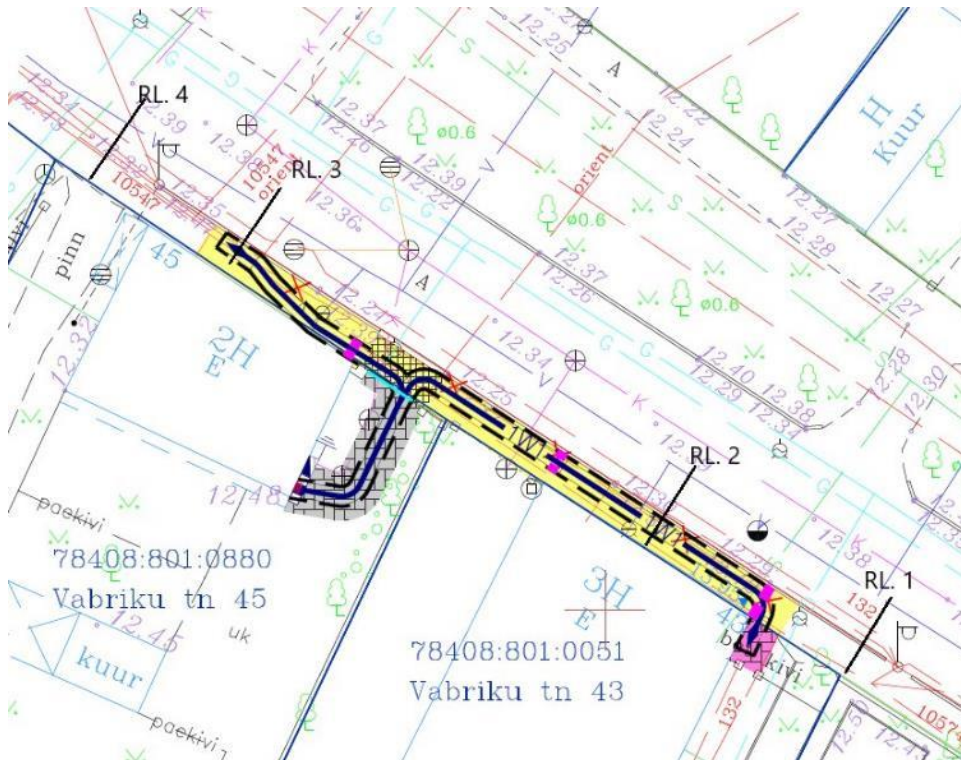
Vabriku tn 45 liinipinge muutmise raames paigaldati Vabriku tn 43 kuni Vabriku tn 45 kinnistute ulatuses kõnnitee alale madalpinge maakaabelliin kaitsetorus. Taastamistööd hõlmasid kõnniteel kaeviku taastamisel asfaltkatendi taastamist ning ka olemasolevate betoonist veerennide paigaldust. Kaevetöödega äärekiive ega sõidutee katendit ei lõhutatud. Taastamistööd teostati 2019. aasta märtsis [7].

Karel Vergi teostas mõõtetöid 2. mai 2019. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 5°C [7].

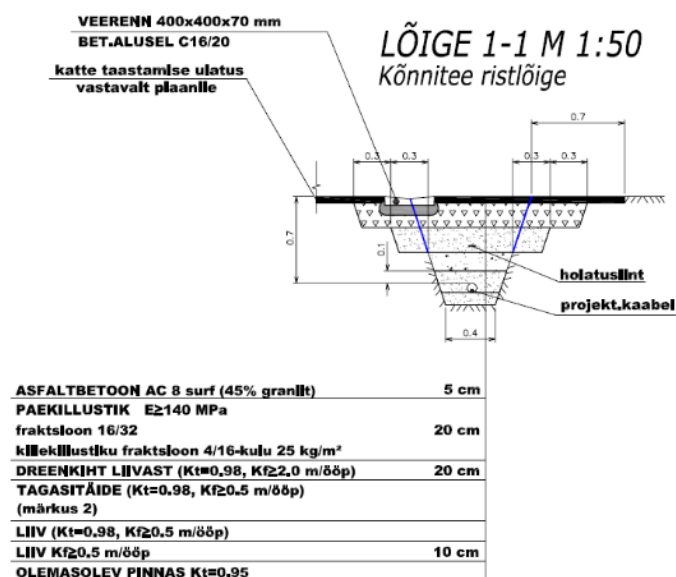


Joonis 3.1 Vabriku tänava mõõtetööde asukohaskeem [7].

Deformatsioonide mõõtmistega kõnniteel ja sõiduteel oli eesmärgiks välja selgitada, kas sõidutee servas vahetul äärekivi taha kaeviku rajamine mõjutab sõiduteel katendikonstruktsiooni omadusi. Taastatud alaga võrdluseks on teostatud kahes ristlõikes mõõtmised ka kaevetöödest puutumata aladel [7].



Joonis 3.2 Ristlõigete asukohtade skeem [7].



Joonis 3.3 Kohtlõige kõnniteest Vabriku tänaval [7].

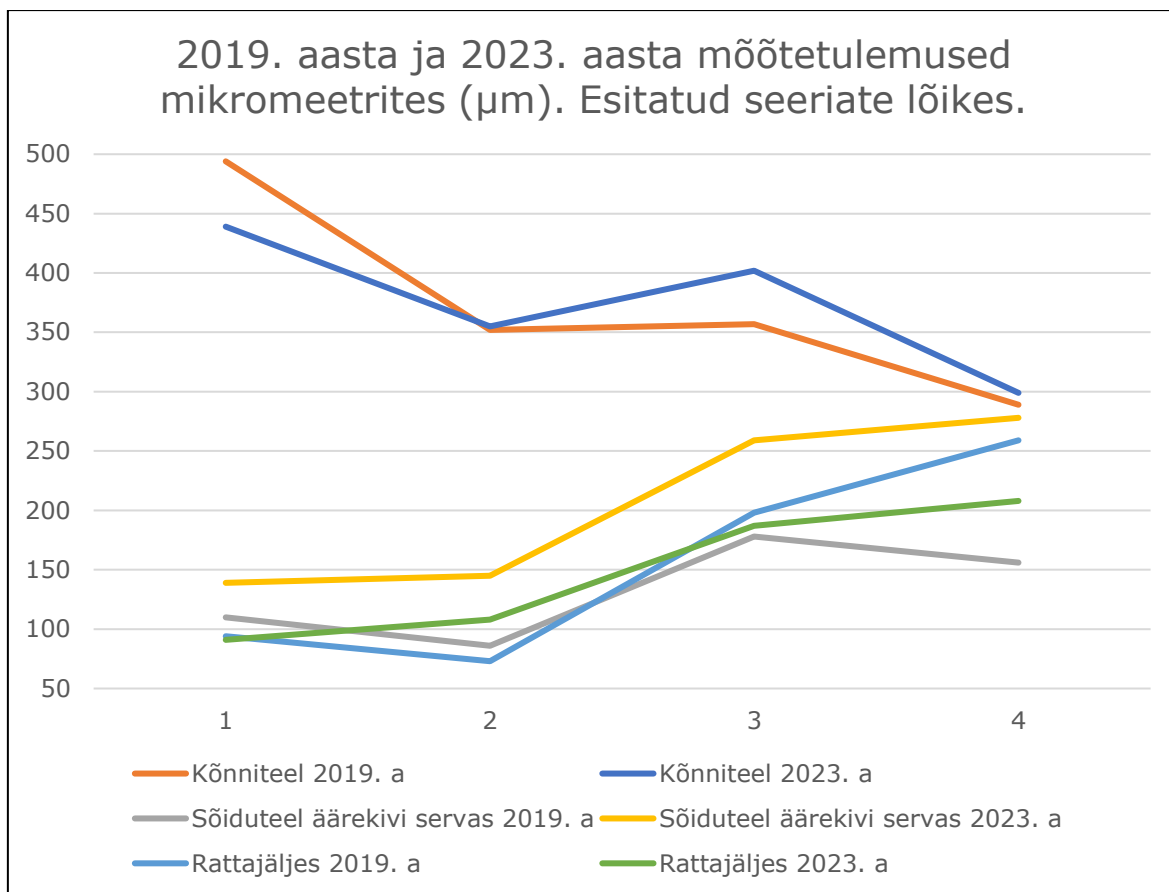
Mõõtetulemustest nähtub, et ristlõikes 1 ja 2 on kõnniteelt mõõdetud deformatsioonid väga sarnased, kuid vanal kattel erinevad pea poole võrra. Sõiduteel teostati mõõtmised kahes punktis, kus üks seeria asus vahetult äärekivi kõrval ning teine sõiduraja rattajäljes. Ristlõigete omavahelised deformatsioonide 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 [7].

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. AKÖL antud katseobjektil on 5240 autot/ööp.

Uued mõõtetööd teostati 14. oktoobril 2023. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 14°C. Kõik mõõtmised teostati samades ristlõigetes, samades asukohtades.

Tabel 3.2 Aastate kaupa mõõdetud deformatsiooni tulemused mikromeetrites (µm).

	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a
	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
Ristlõige 1	494	439	110	139	94	91
Ristlõige 2	352	355	86	145	73	108
Ristlõige 3	357	402	178	259	198	187
Ristlõige 4	289	299	156	278	259	208



Joonis 3.4 Aastate kaupa mõõdetud deformatsioonide väärtused vastavalt seeriade asukohtadele, mis on kujutatud teega pikisuunas.

Vanade ja uute mõõtmisteaajavahemik on 4,5 aastat.

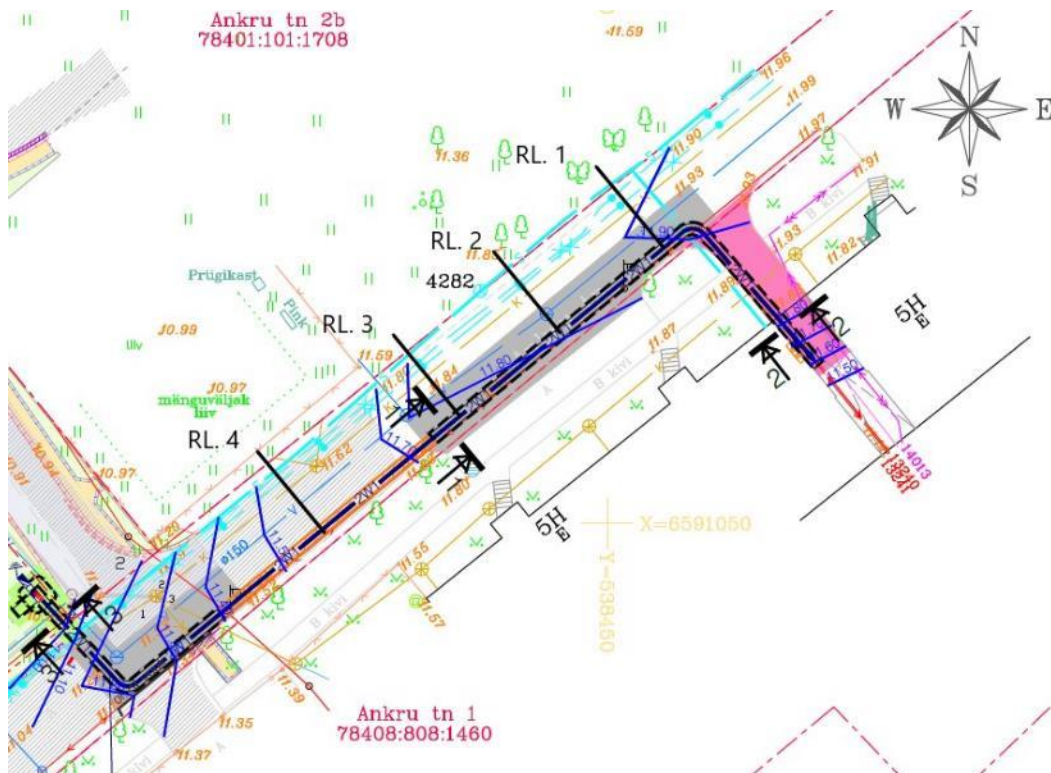
Kaeviku asukoht oli kõnniteel. Mõõtetulemustest saab näha et kõnniteel deformatsioon ei muutunud, põhjuseks võib olla liikluskoormuse puudumine. Sõiduteel äärekivi servades mõõdetud deformatsioon suurenes. Rattajäljes ristlõigetel 1 ja 2 deformatsioon ei muutunud, kuid ristlõikes 2 suurenes ja ristlõikes 4 vähenes. Ristlõige 4 rattajälje deformatsioon vähenes ja põhjuseks võiks olla järeltihenedamine liikluskoormuse all.

Ankru tänav 4a

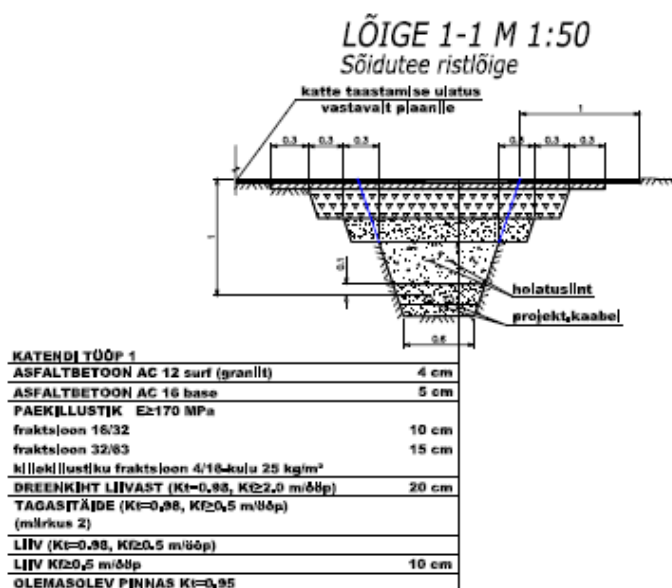
Ankru tänava sõidutee taastamistööd teostati Ankru tn 4a kinnistu elektrivarustuse ehitustööde raames. Ehitustööd nägid ette kahe madalpingekaabli paigalduse kaitsetorus ning lisaks veel kahe reservtoru paigalduse. Projektlahendus (joonis 3.7) nägi ette paigaldustööd lahtise kaevikuga, välja arvatud II väärtusklassiga puude juurekaitsealas, kus teostati paigaldustööd kinnisel meetodil. Taastamistööd teostati 23. aprillil 2019. aastal [7].

A detailed map of the Kopli district in Tallinn, Estonia. The map shows various streets such as Kalluri, Susta, Ketta, Sepa, Marati, Kiibi, Maleva, Xurvisse, Anni, Vasara, Alasi, Sirbi, Kõplikranna, Kangru, Lõime, Puuvilla, Nidi, Ena, Randla, Tuulemaa, Pelgu, and Klaasi. A red circle highlights a specific location near the intersection of Anni and Vasara streets. The word "TALLINN" is prominently displayed in the upper right corner of the map area.

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 tsenter ja kaablikaitsetorude asukohad lokaliseeriti horisontaalse kauguse järgi äärekivist vastavalt projektlahendusele [7].



Joonis 3.6 Ristlõigete asukohtade skeem [7].



Joonis 3.7 kohtlõige Ankrutähe sõidutee taastamisest [7].

Mõõtetulemustest selgus, et antud objektil osutusid deformatsioonid taastatud konstruktsioonil suuremaks kui üleminekualal ning olemasoleval kattel. Kaevikualas teostatud mõõteseeriad peegeldavad oma tulemustelt ka kinnise meetodiga rajatud kaitsetorude kohal mõõdetud deformatsioone. Kuna Ankrutähe objektile tekkinud tulemuste suhe võrreldes teiste analoogsete katseobjektidega on selline, kus taastatud

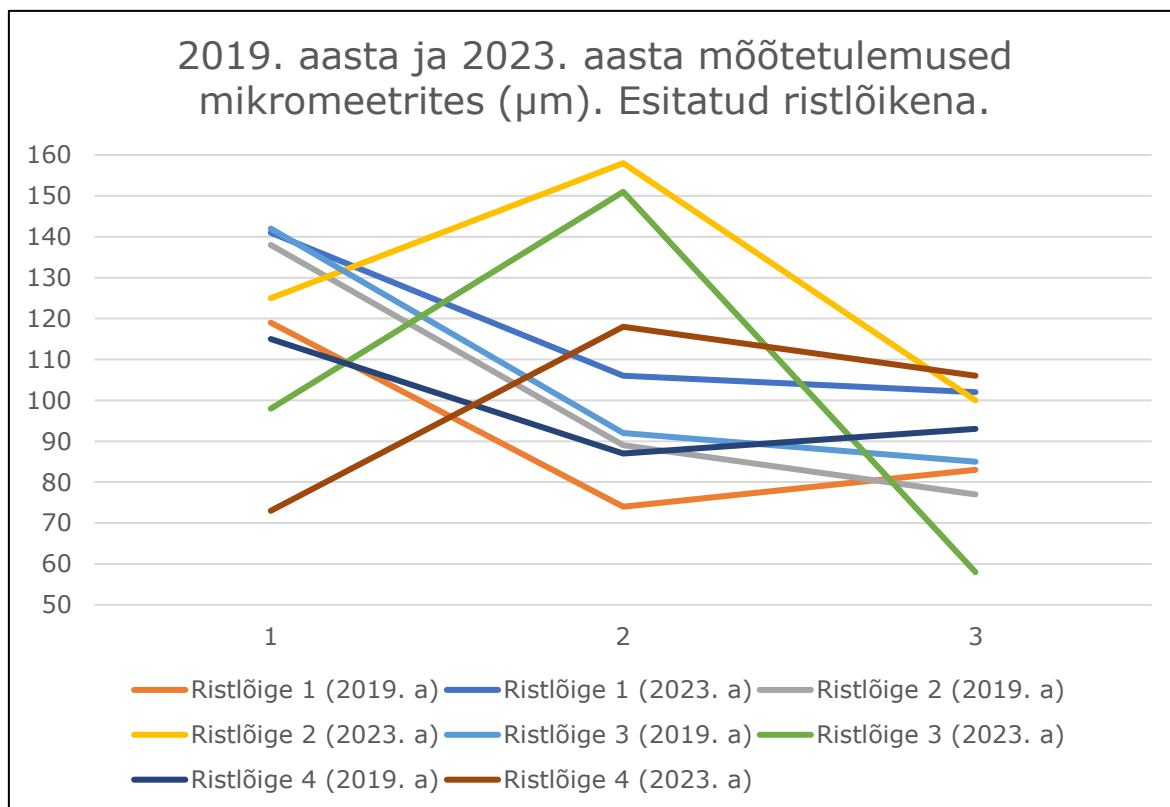
konstruktsioonil on deformatsioonid suuremad puutumata kattest, võib järeldada, et tagasitõitel pole erinevate kihtide tihendamisel saavutatud nõutud parameetreid [7].

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. AKÕL antud katseobjektil on 380 autot/ööp.

Uued mõõtetööd teostati 14. oktoober 2023. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 14°C. Kõik mõõtmised teostati samades ristlõigetes, samades asukohtades.

Tabel 3.3 Aastate kaupa mõõdetud deformatsioonide tulemused mikromeetrites (µm).

	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a	
	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		
Ristlõige 1	119	141	74	106	83	102	Taastatud kaevik
Ristlõige 2	138	125	89	158	77	100	Taastatud kaevik
Ristlõige 3	142	98	92	151	85	58	Taastatud kaevik
Ristlõige 4	115	73	87	118	93	106	Kinnise meetodi ala
	Trassi kohal		Kaeviku nõlv/ üleminek		Ol.olev olukord		



Joonis 3.8 Aastate kaupa mõõdetud deformatsioonide väärtused vastavalt ristlõigetele.

Vanade ja uute mõõtmiste tulemuste ajavahemik on 4,5 aastat.

Kaeviku ehk trassi asukoht oli punktis 1. Punktis 1 ristlõigetes 1 ja 2 deformatsioon ei muutunud, kuid ristlõigetes 3 ja 4 deformatsioon vähenes.

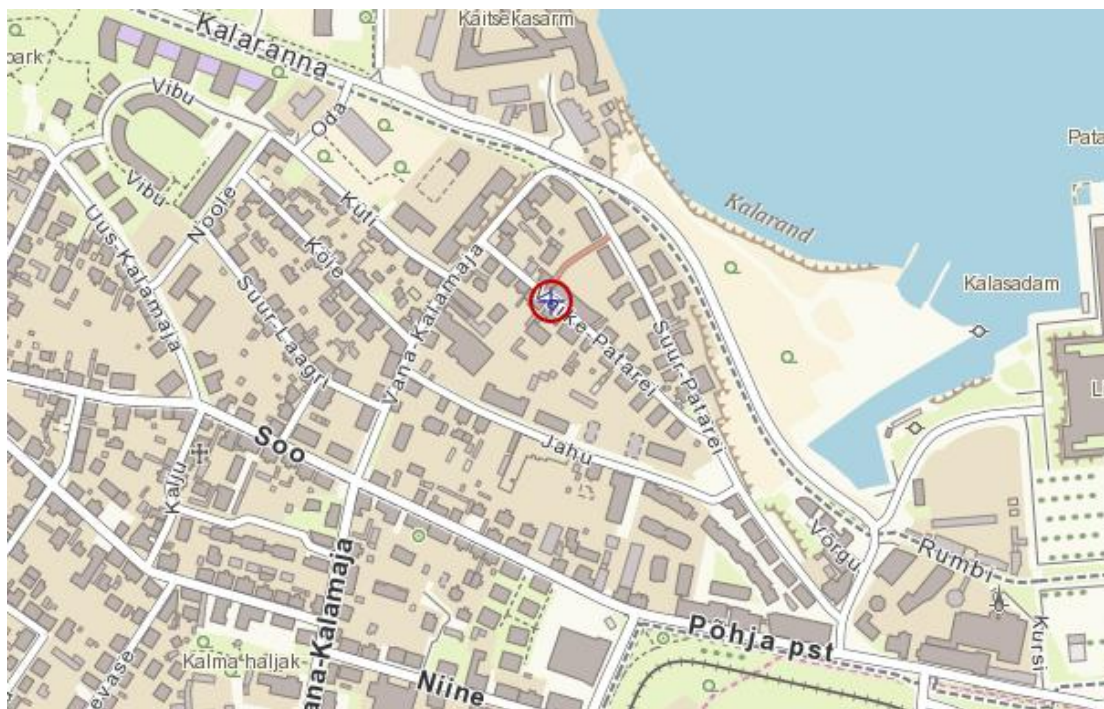
Kaeviku nõlv ehk kaeviku üleminekuala oli punktis 2. Punktis 2 kõikides ristlõigetes deformatsioon suurenes. Järelduseks võiks olla halvasti tihendatud kaeviku üleminekualad taastamise ajal ehk hõrenenud kaeviku üleminekualad vajusid.

Olemasolev olukord vanal kattel oli punktis 3. Punktis 3 ristlõigetes 1, 2 ja 4 deformatsioon suurenes liikluskoormuse all ja ristlõikes 3 vähenes puu varjus olemise tõttu.

Väike – Patarei tänav

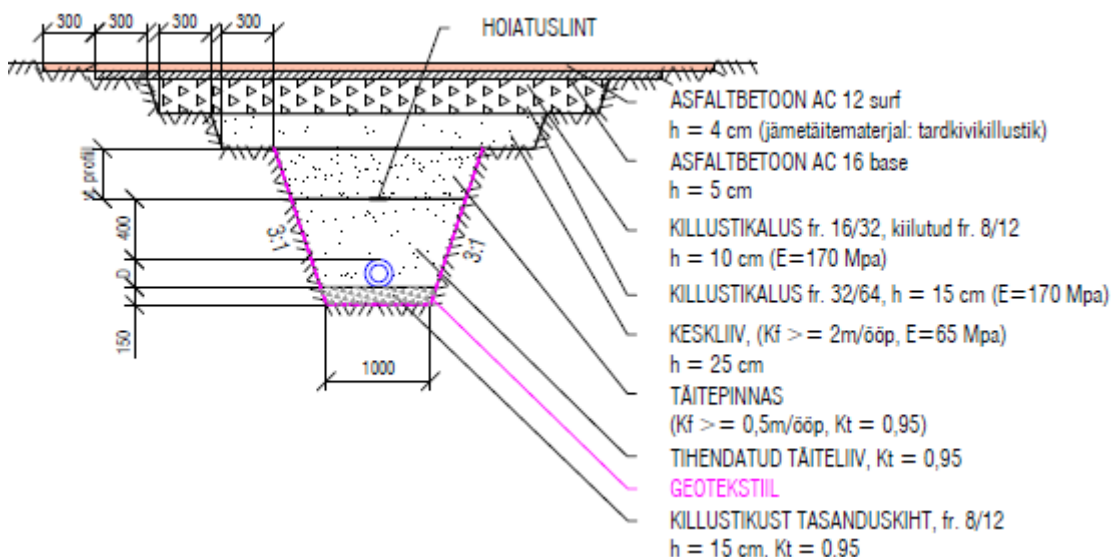
Väike – Patarei tänav taastamistööd teostati seoses ühiskanalisatsiooni peatrassi rekonstrueerimisega. Sõidutee taastati Väike – Patarei 1 kuni Väike – Patarei 15 vahelises lõigus kogu tee laiuses, kuid kogu konstruktsioon vahetati välja ainult torustiku rajamisel kaeviku ulatuses. Taastamistööd lõpetati 2018. aasta novembris [7].

Karel Vergi teostas mõõtetöid 2. mai 2019. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 5°C [7].



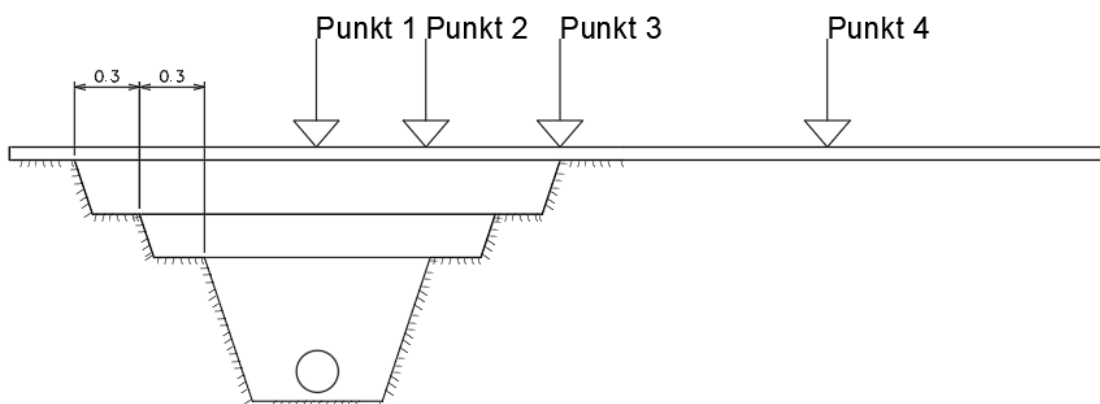
Joonis 3.9 Väike – Patarei tn mõõtmiste asukohaskeem [7].

Projektlahendus (joonis 3.10) nägi ette kaeviku kohal kahekihilise asfaltkattega 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 [7].

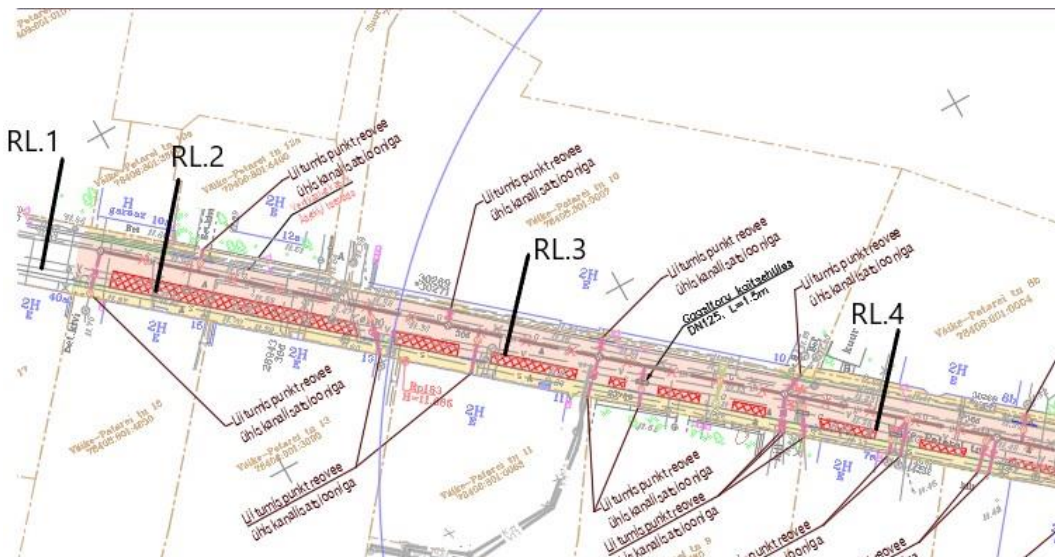


Joonis 3.10 Projektlahenduses ette nähtud katendikonstruktsioon [7].

Seeriaste 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 üleminekualal ning viimane olemasolevate aluskihtidega ülekattega alal. Mõõtmised on teostatud kokku neljas ristlõikes (joonis 3.12), kus taastatud tänavaga võrdluseks on ühe ristlõike tulemused mõõdetud ka olemasolevalt taastamata katendilt [7].



Joonis 3.11 Seeriaste hinnangulised asukohad tänava ristlõikes [7].



Joonis 3.12 Ristlõigete asukohtade skeem [7].

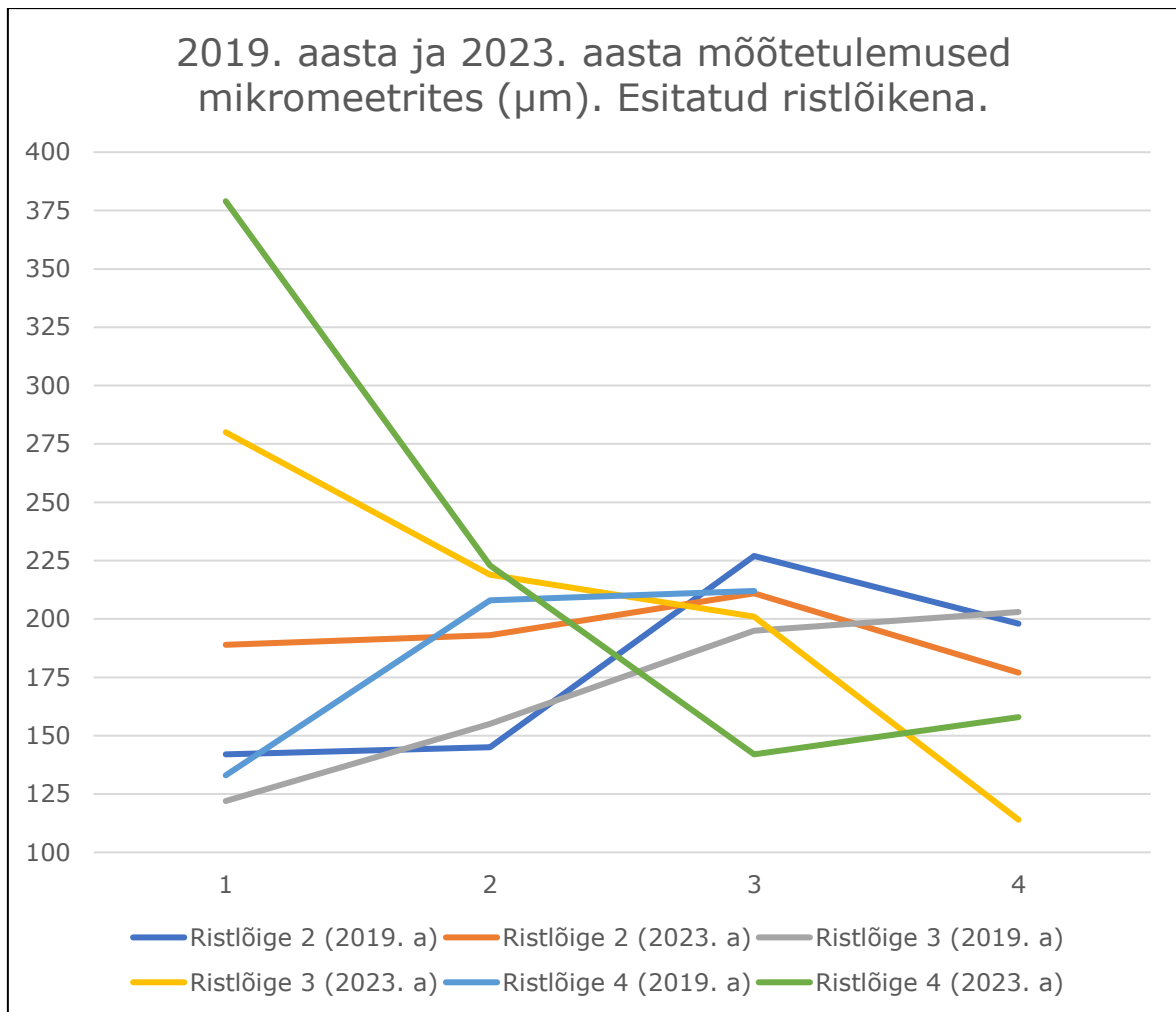
Mõõtetulemustest (tabel 3.4) on näha olukord, kus taastatud alal on väiksemad deformatsioonid kui olemasoleva aluskonstruksiooniga osas ning reeglina osutub nõrgimaks kahe erineva ala üleminek. On ka teada, et antud lõigus on osaliselt sõidutee täitena kunagi kasutatud ehitusjäätmekäik ja seeläbi on ka olemasoleva alusega punktidele mõõdetud tulemused oluliselt kehvemad [7].

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. AKÖL antud katseobjektil on 1460 autot/ööp.

Uued mõõtetõid teostati 14. oktoober 2023. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 14°C. Kõik mõõtmised teostati samades ristlõigetes, samades asukohtades.

Tabel 3.4 Aastate kaupa mõõdetud deformatsioonide tulemused mikromeetrites (µm).

	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a	2019. a	2023. a
	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3		Punkt 4	
Ristlõige 1 (vana kate)	198	230	211	122	118	116	-	111
Ristlõige 2	142	189	145	193	227	211	198	177
Ristlõige 3	122	280	155	219	195	201	203	114
Ristlõige 4	133	379	208	223	212	142	-	158



Joonis 3.13 Aastate kaupa mõõdetud deformatsioonide väärtused graafikul esitatud vastavalt ristlõigetele.

Vana ja uute mõõtmiste tulemuste ajavahemik on 4,5 aastat.

Olemasoleva olukorda hindades saab öelda, et punktides 3 ja 4 vana kattel kogu aeg pargitakse autosid, seega põhiliiklus toimub punktides 1 ja 2.

Asfalteeriti ainult pool sõiduteed. Reeglite järgi kaeviku servast on vaja teha vähemalt 0,5 m ulatuses tasandusfreesimist enne asfalteerimist. Seega kaeviku tsenter asub punktis 1, kaeviku üleminekuala asub punktis 2 ning vana kate asub punktides 3 ja 4.

Liikluskoormuse tõttu deformatsioon halvenes kaeviku tsentris ja kaeviku üleminekualal. On teada, et vana kate oli kunagi osaliselt ehitatud ehitusjäätmest. On teada, et vana kattel pargitakse autosid, kus tegelikult puudub pidev liikluskoormus. Enamasti vana kate deformatsioonid pole muutunud.

Lootuse puiestee 62

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 [7].

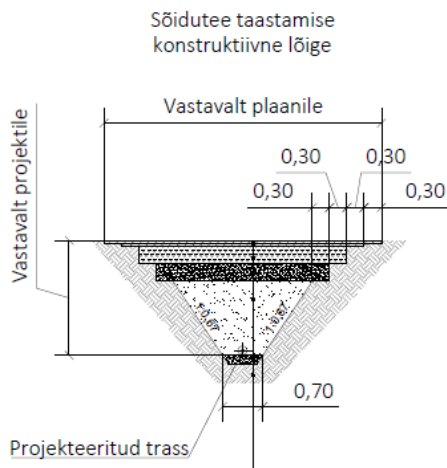
Karel Vergi teostas mõõtetöid kevadel 2019. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 4°C [7].



Joonis 3.14 Lootuse pst mõõtmiste asukohaskeem [7].

Taastatud konstruktsioonid sõiduteel (joonis 3.15) [7]:

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



Joonis 3.15 Kaeviku lõige projektdokumentatsioonist [7].

Mõõdetav ala oli jagatud ridadeks ja veergudeks, mis iseloomustab katsete teostamise järjekorda. Igale seeriale on lisatud rea number ning selle teostamise järjekorra number.(Tabel 3.5) [7].

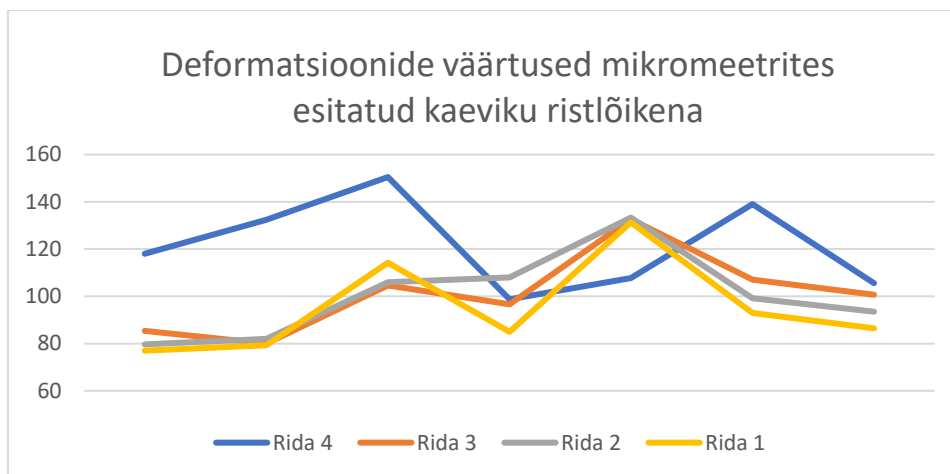
Tabel 3.5 Seeriade asukohti selgitav skeem [7].

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 3.6, kus musta joonega ümbritsetud ala tähistab taastatud katendit ning vastavalt tulemustele esitatud graafikul joonis 3.16 [7].

Tabel 3.6 Mõõdetud deformatsioonid taastatud ja vanalt katendilt [7].

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 3.16 Illustreeriv graafik deformatsioonide väärtuste järgi kaeviku ristlõikena [7].

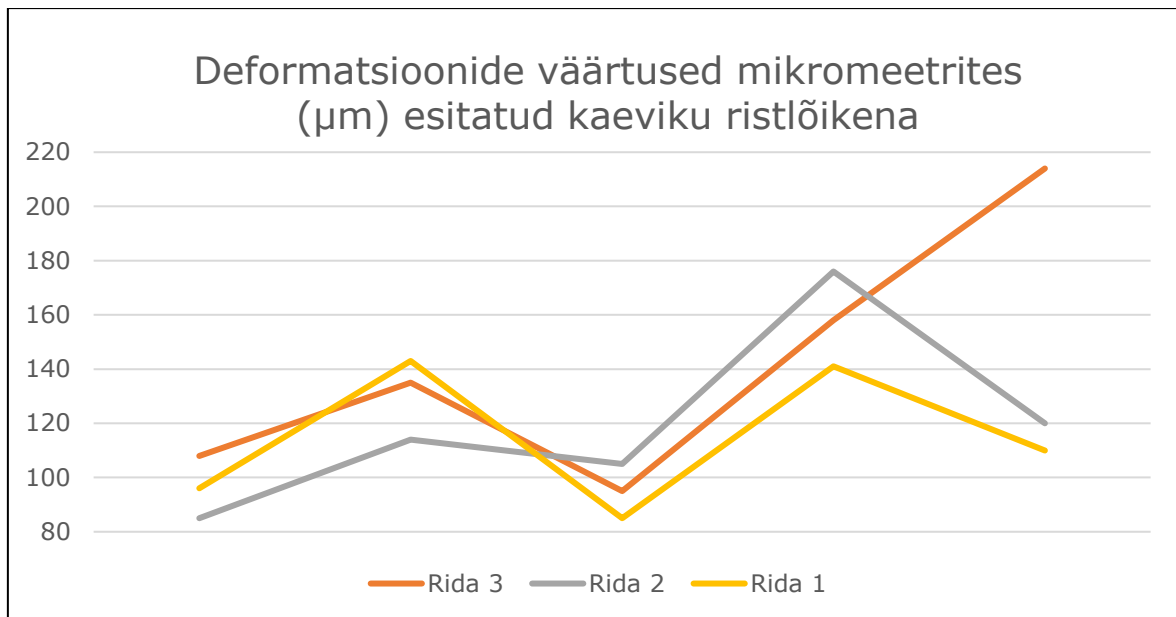
Mõõtetulemustest joonistuvad välja selgelt suuremate deformatsioonidega katendite üleminekualad, kus mõõdetud deformatsioonid erinevad nii taastatud kui ka olemasolevalt kattelt mõõdetud deformatsioonidest. Eeldades, et üleminekualal on konstruktsioonide kokkuviimised teostatud astmeliselt vähemalt kvaliteedimääruses sätestatud ulatuses, ei taga selline meetod kaevikute servades samaväärset tulemust [7].

Katseobjekt asub Nõmme linnaosas. AKÖL antud katseobjektil on 1780 autot/ööp.

Uued mõõtetöid teostati 14. oktoober 2023. aastal. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: vihm, temp 14°C. Kõike mõõtmisi teostati samades ristlõigetes, samades asukohtades.

Tabel 3.7 Korduv mõõdetud deformatsioonid taastatud ja vanalt katendilt.

108	135	95	158	214
85	114	105	176	120
96	143	85	141	110



Joonis 3.17 Illustreeriv graafik korduv mõõdetud deformatsioonide väärtuste järgi kaeviku ristlõikena.

Vana ja uute mõõtmiste tulemuste ajavahemik on 4,5 aastat.

Kaeviku mõlemate üleminekualade deformatsioon suurenes. Kaeviku telje deformatsioon ei muutunud. Vana katte deformatsioon samuti ei muutunud.

Teooria et kaeviku üleminekualad on nõrgemad, kui kaeviku telg ja vana kate, vastab tõele. Kaeviku üleminekuala kandevõime on madalam kui uue konstruktsiooni kandevõime kaeviku teljel ja vanal tööstest mõjutamata konstruktsioonil. Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus laiendamata. Kaeviku üleminekualadel aastatega tekivad vajumid. Võiks eeldada et ehitaja ei laiendanud kaevikut taastamise ajal astmeliselt ja tegi kaeviku üleminekualad järsud või kaldega. Lisaks vuugikohas tekib paratamatult mittehomoogeensus ja vaatamata jõupingutustele olukorda parandada jääb see tõsiasi alati taastamistööde kvaliteeti piirama.

Järeldused

Deformatsiooni mõõtmisi võivad mõjutada järgmised keskkonnategurid – õhutemperatuur; vihm. Antud katseobjektidel arvutuse käigus selgus, et nimetatud keskkonnategurid pole mõjutanud deformatsiooni mõõtmisi. Deformatsioonide väärtuste erinevus tehtud 2019. aastal ja 2023. aastal mõõtmistel oli vähem, kui 12%.

Mõõtetulemustest on näha, et enamasti katseobjektidel kaeviku ala deformatsioonid suurenesid. Suure tõenäosusega ehitajad ei laiendanud kaeviku astmeliselt – seda

näitavad enamasti katseobjektide nõrgad kaeviku üleminekuvalad. Seda olukorda on näha reaalajas – kitsad asfalteeritud lapid. Näiteks, Vabriku tänaval ja Väike – Patarei tänaval ehitajad pidid laiendama kaeviku astmeliselt, seega kaevik pidi olema nii sõiduteel, kui ka kõnniteel. Vabriku tänaval sõidutee vana katte konstruktsioon oli puutumata; Väike – Patarei tänaval sõidutee äärekivid ja kõnnitee konstruktsioon olid puutumata - seoses sellega saab kindlasti järeldada, et mõlematel katseobjektidel kaevikud ei olnud astmeliselt laiendatud.

Probleemid:

- Ehitajal prioriteediks on kiirus, et võimalikult kõik taastamistööd teha nii kiiresti, kui võimalik;
- Ehitaja alati proovib minimaalselt materjali paigaldada konstruktsioonis;
- Ehitaja ei laienda kaeviku astmeliselt;
- Kahtlus, et omanikujärelevalve ei viibi ehitustööde juures; keegi ei kontrolli taastäidetud materjali ega ei võtta materjalist proovi, sest piisab tehase poolt väljastatud materjali sertifikaadist;
- Ehitaja säästab nii aega, kui ka raha, seoses sellega halveneb tehtud tööde kvaliteet;
- Ehitaja ei jälgi töö tehnoloogiast.

Magistritöö autori arvamusel Karel Vergi lähenemine mõõtmistel oli piisavalt hea, kuid teha järeldusi nende andmete põhjal ei saa, kuna oli mõõdetud vaid seitse objekte. Magistritöö autori arvamusel pidi Karel Vergi katsetama kaks või isegi kolm korda rohkem objekte, et teha saadud andmete põhjal järeldusi.

4 KALDEGA ÜLEMIN EKUALAGA OBJEKTID

Tallinna linnas on magistraalid ja juurdepääsuteed (Tabel 4.1). Magistraalide hulka kuuluvad kiirteed, põhitänavad ja jaotustänavad. Juurdepääsuteede hulka kuuluvad kõrvaltänavad, veotänavad, väljakud, parkimisplatsid ja kvartalisised tänavad.

Tabel 4.1 Kattega tänavade seisunditase [18].

Tänavade liik	Nõutav seisunditase
Magistraalid	
Kiirtee	4
Põhitänav	3
Jaotustänav	2
Juurdepääsuteed	
Kõrvaltänav	2
Veotänav, väljak, parkimisplats	1
Kvartalisine tänav	1

Magistraal - keskne suure liiklusega linnatee või tänav. Kiirtee - kõrge teenindustasemega ja suurt ühenduskiirust tagav tee linna eri osade vahel. Põhitänav - magistraaltänav liikluseks linna eri osade vahel. Jaotustänav - linnaosa sisest liiklust võimaldav tänav, mis ühendab juurdepääse magistraalidega. Juurdepääs - mittekeskne, ainult teatud piirkonda magistraalidega ühendav tänav. Kõrvaltänav - mittekeskne, elamuala tänav (juurdepääs), mis võib olla ühenduses jaotustänavaga. Veotänav - tööstusala tänav, mis suunab seal tekkiva liikluse kõrgema liigi tänavale. Kvartalisine tee - kõrvaline, magistraalidest eemale jääv elamuala sisene tänav (juurdepääs) [19].

Üleminekuala - kaeviku ja vana katte üleminekukoht. Kaldega üleminekuala - umbkaudne 45° nurgaga ehitatud üleminekukoht. Järsk üleminekuala - umbkaudne 90° ehk vertikaalselt sirgelt ehitatud üleminekukoht.

ASTV prioriteediks on kiirus, sest on ette antud nelikümmend kaheksa tundi avarikaevetööks. ASTV ei laienda astmeliselt kaevikuid juurdepääsuteedel, sest selleks on ette nähtud tänavade sulgemine, kus ei jõua ühe ööga kaevikut taastäita ja asfalteerida, et liiklus peale lasta sealhulgas ka bussid. Samuti ASTV ei laienda astmeliselt kaevikuid magistraalidel, sest ASTV säästab enda raha ja aega. Seoses sellega ASTV püüab alati kaldega teha kaeviku üleminekualasid, võimalikult kiire ja säästlikult. Kuid uurimistöö käigus selgus et AS Tallinna Vesi tegi kaldega ja järsu üleminekualadega kaevikuid.

Selles peatükis analüüsiti kaldega üleminekualadega tehtud kaevikud. Kokku katsetati kümmet katseobjekti. Tabelis 4.2 välja toodud katseobjektide nimekiri.

Tabel 4.2 Kaldega üleminekualadega tehtud kaevikud.

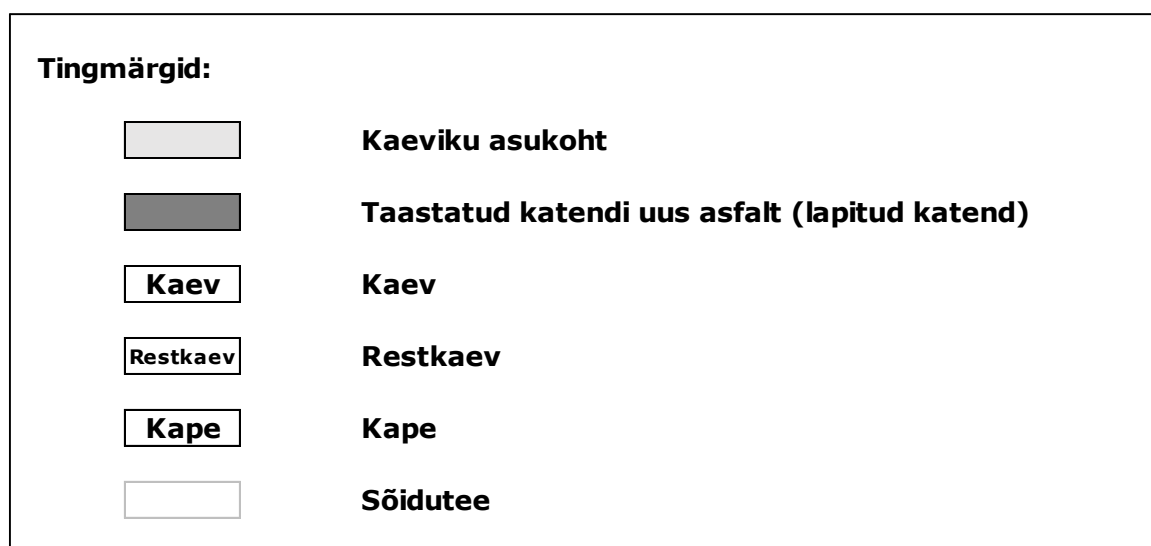
Nr.	Objekti aadress	Deformeeritavuse mõõtmise kuupäev	Tasasuse mõõtmise kuupäev	Kaevetööde algus	Asfalteeritud	Kaeviku sügavus (m)	Kaeviku üleminekuala	Teostatud töö	AKÖL autot/ööp
1	Kopli tn 48	31.07.2023	-	24.07.2023	26.07.2023	1,20	Kaldega	Varda vahetus	20
2	Mulla tn 2	31.07.2023	-	19.07.2023	21.07.2023	1,10	Kaldega	Kaevu remont	3150
3	Keemia tn 16	31.07.2023	-	27.06.2023	29.06.2023	1,10	Kaldega	Veetoru remont	3500
4	Räägu tn 13	31.07.2023	-	19.06.2023	21.06.2023	1,92	Kaldega	Veetoru remont	4740
5	Lasnamäe tn 32	20.07.2023	-	21.04.2023	23.04.2023	1,40	Kaldega	Veetoru remont	-
6	Tondi tn 3	31.07.2023	-	09.02.2023	11.02.2023	2,82	Kaldega	Kanalitoru remont	16920
7	Suur-Sõjamäe tn 6	01.08.2023	01.08.2023	21.09.2021	23.09.2021	2,15	Kaldega	Veetoru remont	37400
8	Ehitajate tee, Õismäe tee 179	01.08.2023	01.08.2023	19.04.2021	21.04.2021	1,50	Kaldega	Kaevu remont	29960
9	Looga tn 15	01.08.2023	01.08.2023	05.04.2021	07.04.2021	1,85	Kaldega	Veetoru remont	-
10	Härjapea tn 23	01.08.2023	01.08.2023	17.02.2021	19.02.2021	1,96	Kaldega	Veetoru remont	1200

Kõik deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud T-Konsult OÜ poolt välja antud Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga. Deflektomeetri mõõterežiim katsetes 700 kPa, 20 kg kukkuv raskusega ja 150 mm tallaga.

On oluline taastatud katendi deformeeritavuse mõõtmisi teostada väikese ajalise nihkega, mille jooksul katendikihid jõuavad jahtuda ümbritseva keskkonna temperatuurile, sest asfaldi elastsusmoodul on väga tugevas pöördseoses temperatuuriga.

Kõik tasasuse mõõtmised olid teostatud T-Konsult OÜ poolt välja antud Gapman käsiprofilomeetriga. Käsiprofilomeetri mõõterežiim oli kiil lati all 50 mm sammuga.

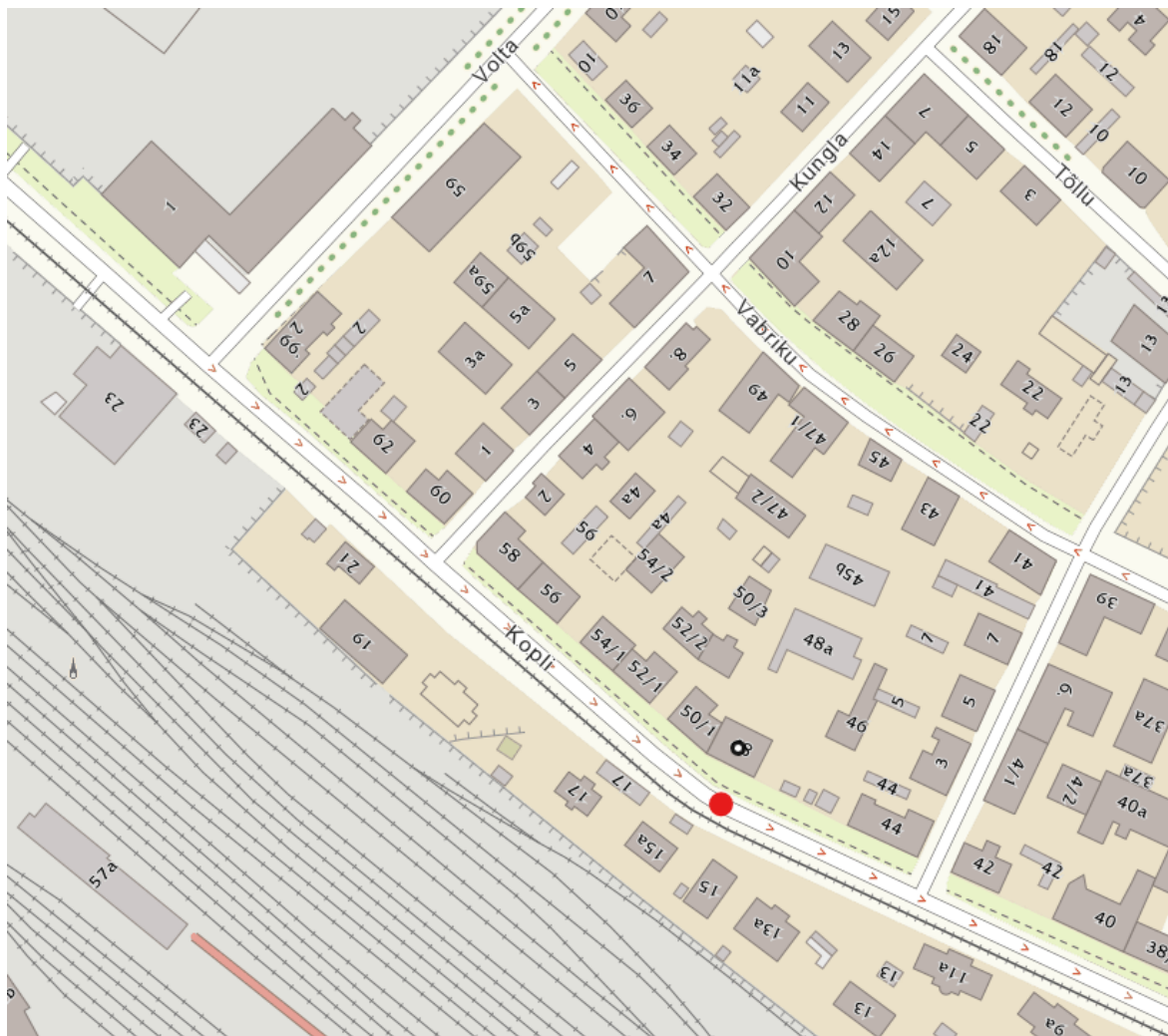
Kõik tasasuse mõõtmise katsete algus-punktid ja lõpp-punktid asusid vanal kattel ja katse käigus ületati taastatud katendiga lõik.



Joonis 4.1 Deformeeritavuse skeemi tingmärgid.

Kopli tänav 48

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiaeg. AKÖL antud katseobjektile on 20 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 24.07.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 26.07.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 31.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



Joonis 4.2 Kopli tänava 48 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,20 m. Teostatud tööde käigus vahetati varrast.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonisel 4.3, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud

Haljasala

Äärekivi

Candidate	Votes
Haljasala	119
Kõnnitee	162
Other Candidates	235

Äärekivi

Kõnnitee

Deformeeritavuse väärtused mikromeetrites (μm) esitatud taastatud kaeviku ristlõikena (pikiprofiil)

Profile Point	Deformability Value (μm)
1	120
2	210
3	235
4	218
5	228
6	162

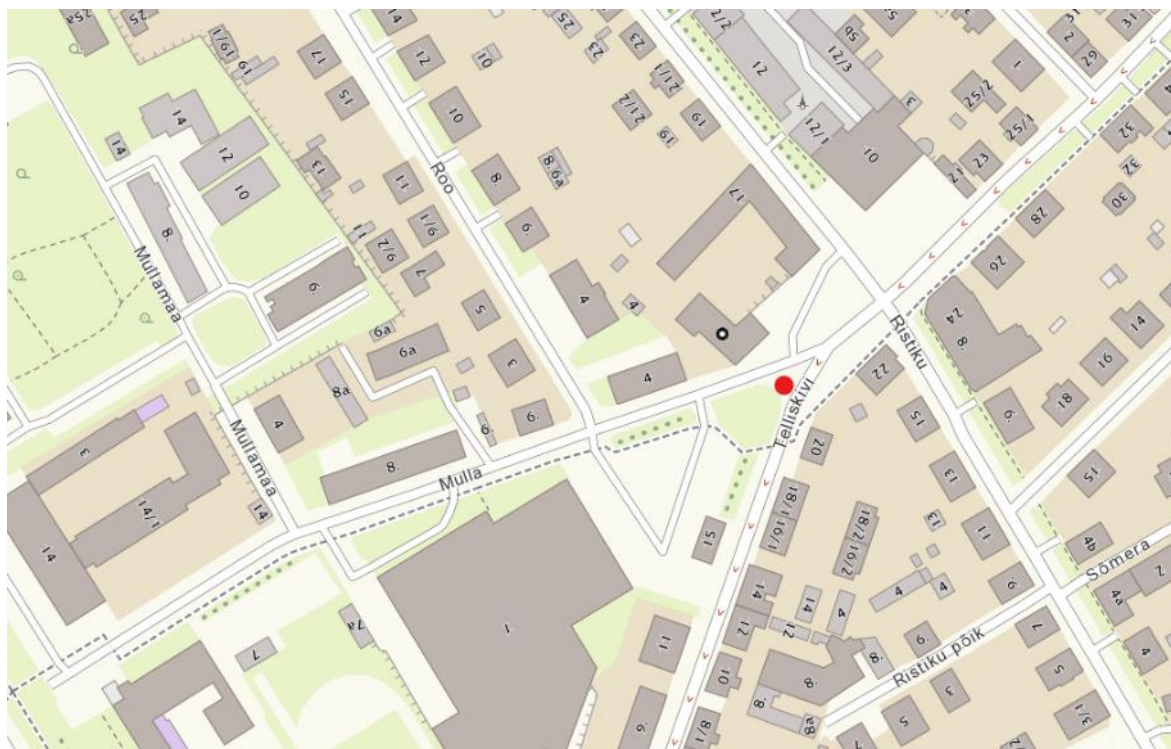
Rida 1

Vana kate – selle katseobjekti puhul ülekattega ala. Kapede juures esinevad suured deformatsioonid, põhjuseks võiks olla tehnoloogiliselt halvasti tihendatud taastäitmiseks materjal. Kaeviku üleminekualadel ja kaeviku teljel on ühtlased deformatsioonid. Kogu kaeviku ala deformatsioonid on peaaegu kaks korda suuremad, kui vanalt kattelt mõõdetud deformatsioonid. Kaeviku üleminekualade ja kaeviku telje kandevoimed on nõrgemad, kui vana katte kandevoime.

Taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on kaks korda väiksem, kui vana katendikonstruktsiooni kandevõime. Seoses sellega saab järeldada et taastatud katendi ressurss on kaks korda väiksem, kui vana katendi ressurss, seoses sellega taastatud katendi eeldatav tööiga kahaneb ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala 1,5 korda kiiremini, kui vana katend.

Mulla tänav 2

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiaaeg. AKÖL antud katseobjektile on 3150 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 19.07.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 21.07.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 31.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.

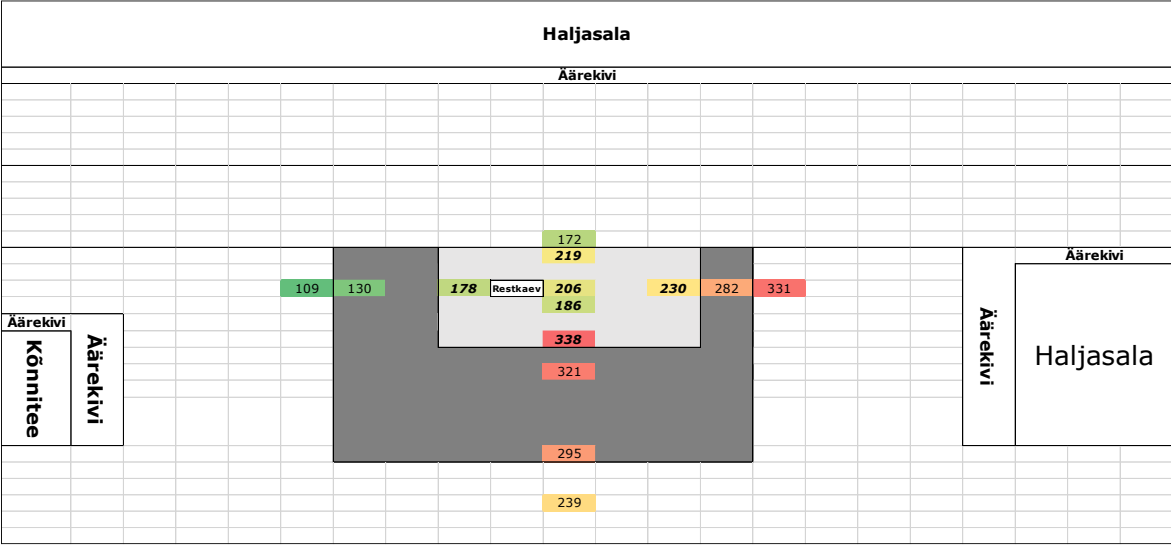


Joonis 4.5 Mulla tänava 2 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

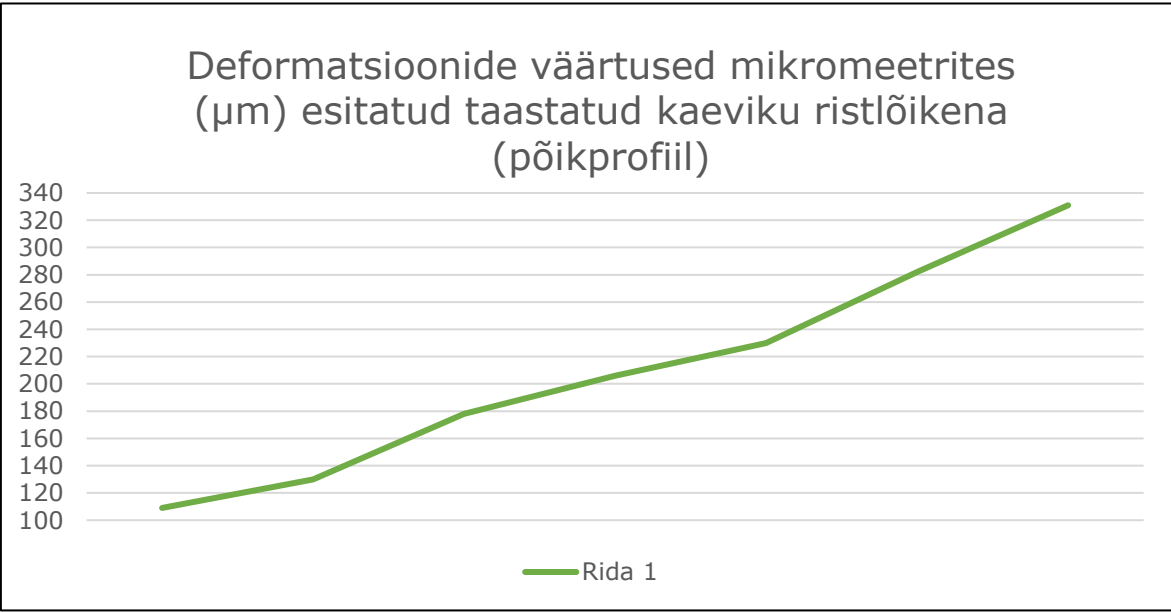
Kaeviku sügavus oli 1,10 m. Teostatud tööde käigus teostati restkaevu remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.6, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonistel 4.7 ja 4.8 on esitatud deformeeritavuse

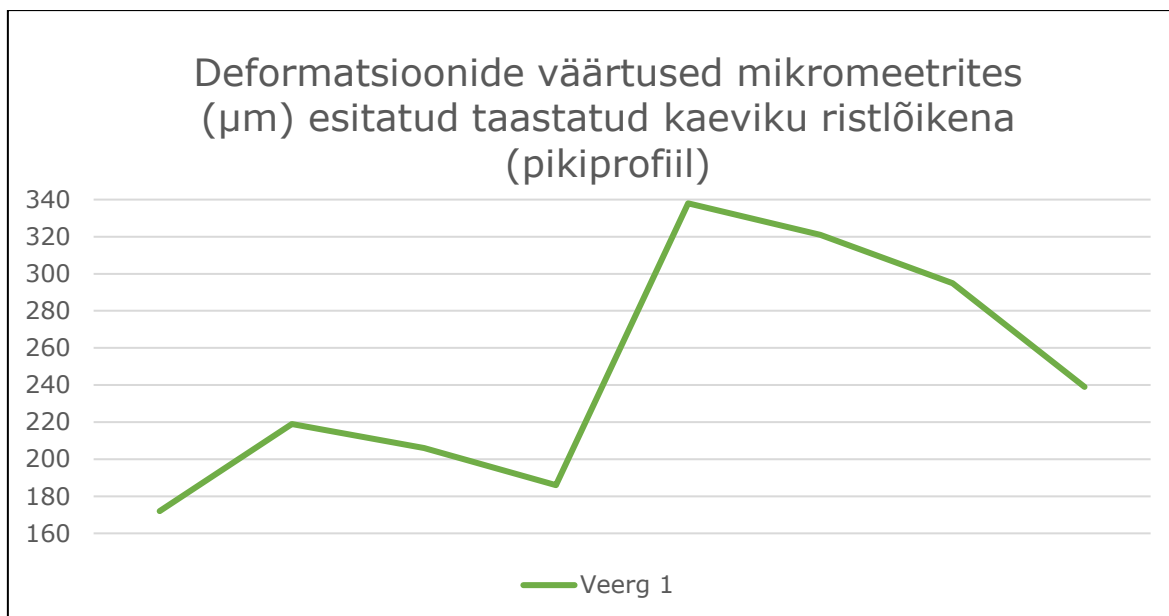
väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 4.6 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



Joonis 4.7 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

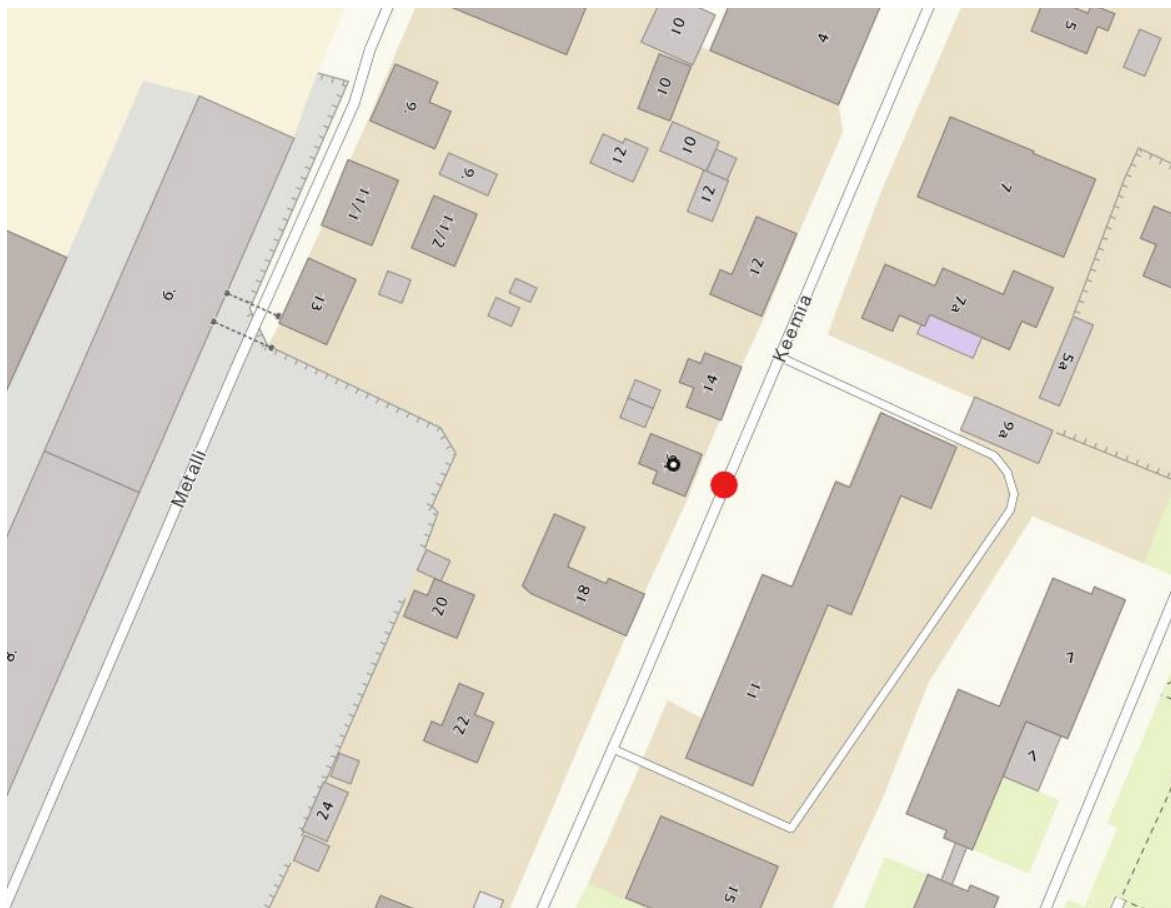


Joonis 4.8 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Kaeviku üleminekuvaladel ja kaeviku teljel on ühtlased deformatsioonid, välja arvatud deformatsiooni väärtus 338 (μm). Deformatsioonid vana kattelt kaeviku üleminekuvaladel 338 (μm) ja 230 (μm) juures näitavad et vana kate on juba ära väsinud. Ülejäänud teistel üleminekuvaladel 178 (μm) ja 219 (μm) juures saab järeldada et nende kaeviku üleminekuvalade kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Kuna ühelt küljelt vana katte deformatsioon samaväärne Telliskivi tänava sõidutee deformatsiooniga, siis teiselt küljelt vana kate on juba ära lagunenenud ning seoses sellega väga raske hinnata seda katseobjekti ja teha mingi järeldus tehtud kaeviku kohta.

Keemia tänav 16

Katseobjekt asub Kristiine linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiaeg. AKÖL antud katseobjektile on 3500 autot/ööp. Kaivetööde algus oli 24.07.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 27.06.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 29.06.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



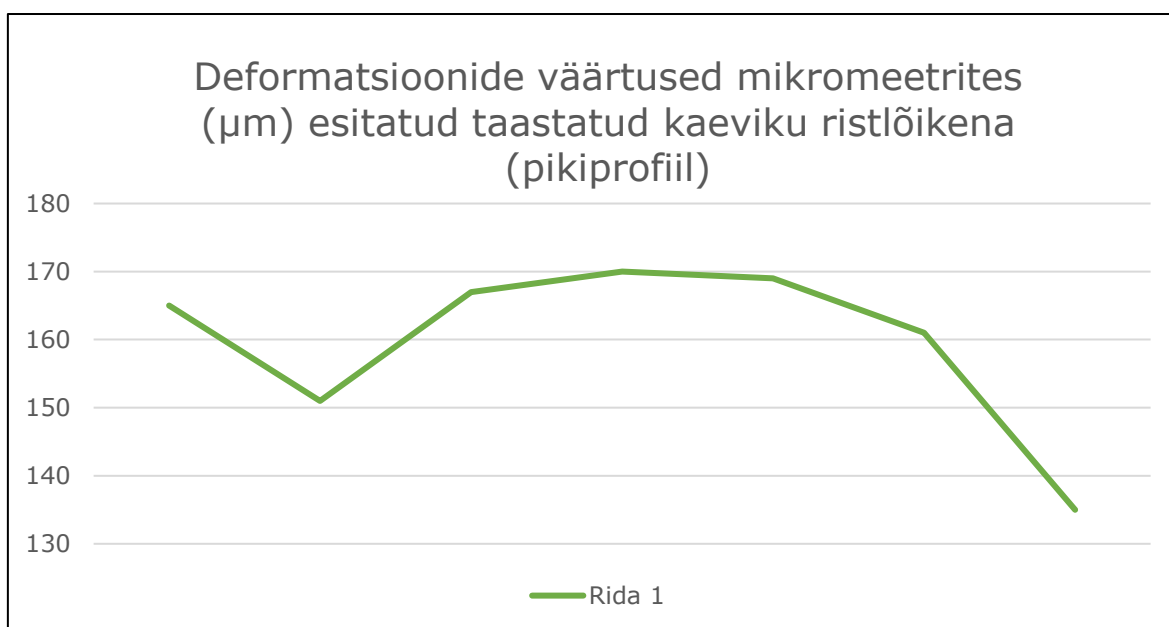
Joonis 4.9 Keemia tänava 16 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,10 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.10, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.11 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

Kõnnitee														
Äärekivi														
			165	151						167	170	169	161	135
Äärekivi														
Kõnnitee														

Joonis 4.10 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



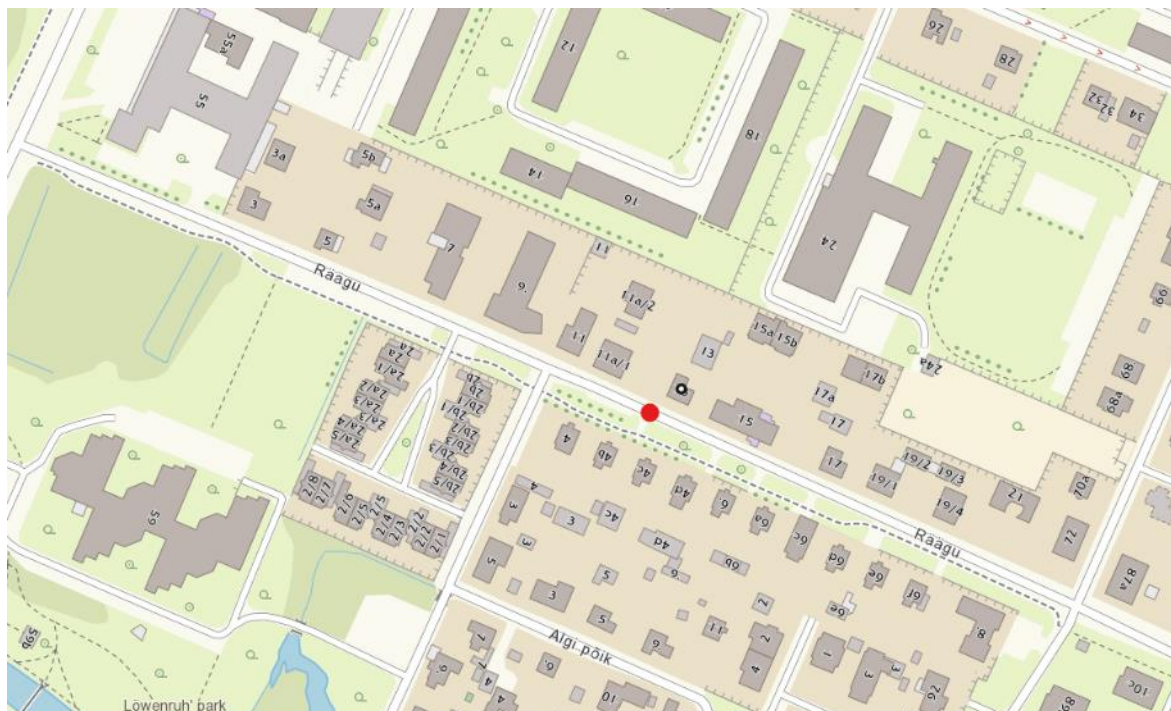
Joonis 4.11 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformeeritavuse mõõtmised teostati sõiduteel asuva kaeviku asukoha ja vana katte pealt. Deformeeritavuse mõõtmised ei olnud teostatud kõnnitee pealt, sest puudub kõnniteel mingisugune liikluskoormus ja ei saa hinnata adekvaatselt kõnnitee deformeeritavust.

Kogu kaeviku ala deformatsiooni väärtused on ühtlased ja samaväärsed vana katte deformatsiooni väärtustega. Tuleb järeldus et taastatud kaeviku kandevõime on võrdne vana katte kandevõimega ning tulevikus taastatud kaevik ja vana kate lagunevad ühtlaselt.

Räägu tänav 13

Katseobjekt asub Kristiine linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiiaeg. AKÖL antud katseobjektile on 4740 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 19.06.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 26.07.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 21.06.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



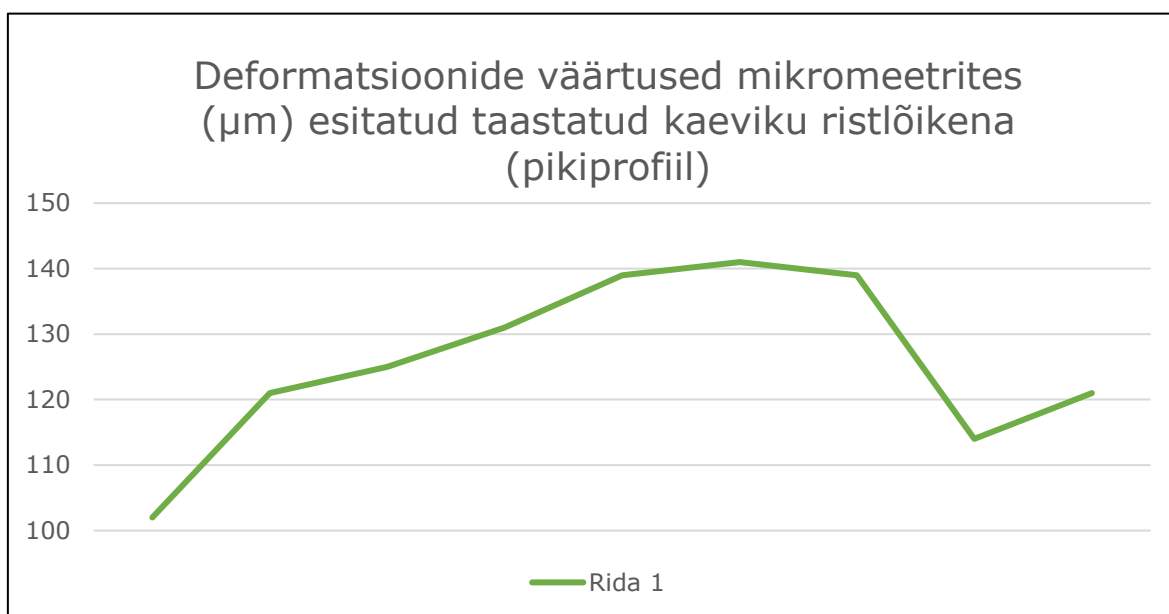
Joonis 4.12 Räägu tänava 13 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,92 m. Teostatud tööde käigus veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.13, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.14 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

Könnitee		
Äärekivi		
102	121	125 131 139 141 139 114 121
Äärekivi		Äärekivi
Parkimistasku		Mahasõit

Joonis 4.13 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi pealt.



Joonis 4.14 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformeeritavuse mõõtmised teostati sõiduteel asuva kaeviku asukoha ja vana katte pealt. Deformeeritavuse mõõtmised ei olnud teostatud kõnnitee pealt, sest puudub kõnniteel mingisugune liikluskoormus ja ei saa hinnata adekvaatselt kõnnitee deformeeritavust.

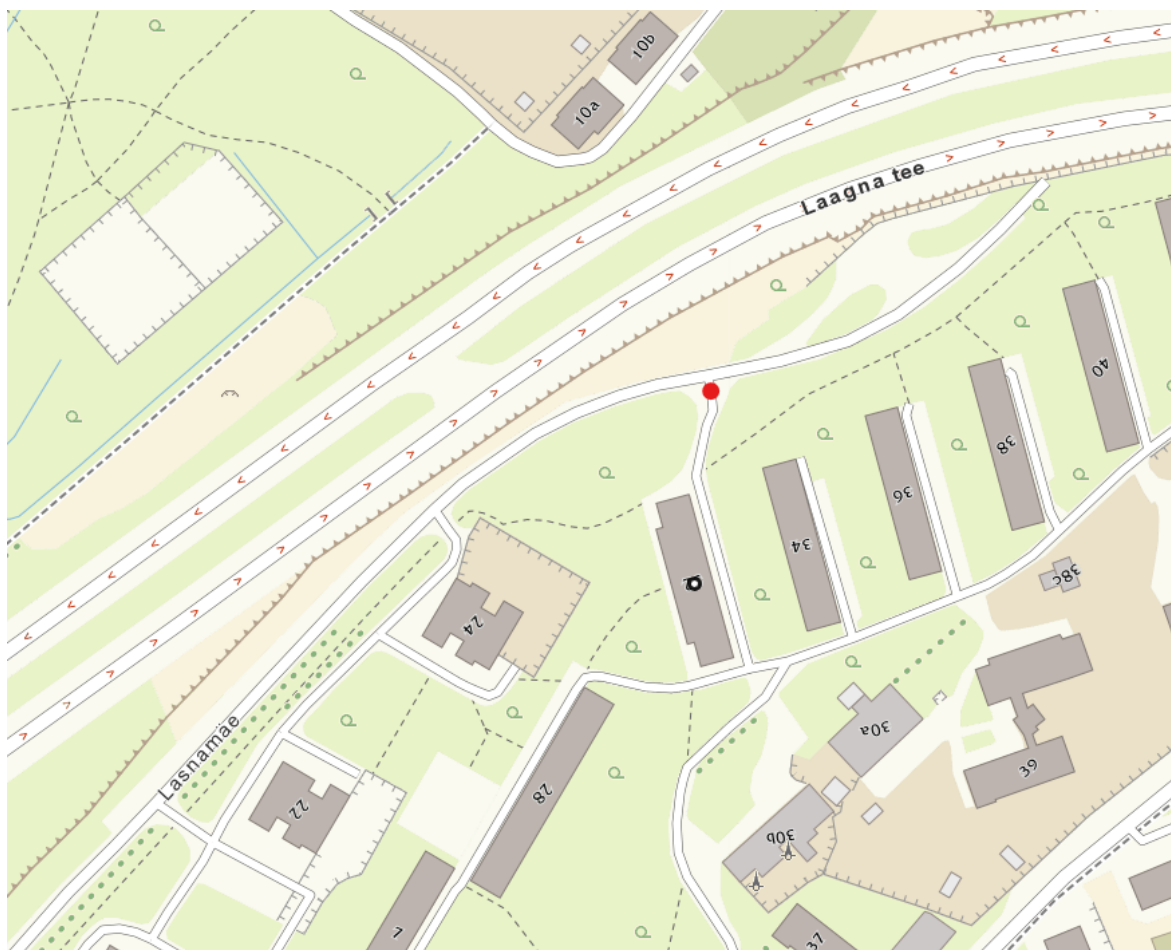
Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

Kaeviku üleminekuvalade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud

katendi ressurs on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Lasnamäe tänav 32

Katseobjekt asub Lasnamäe linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiiaeg. AKÖL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 21.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 23.04.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.

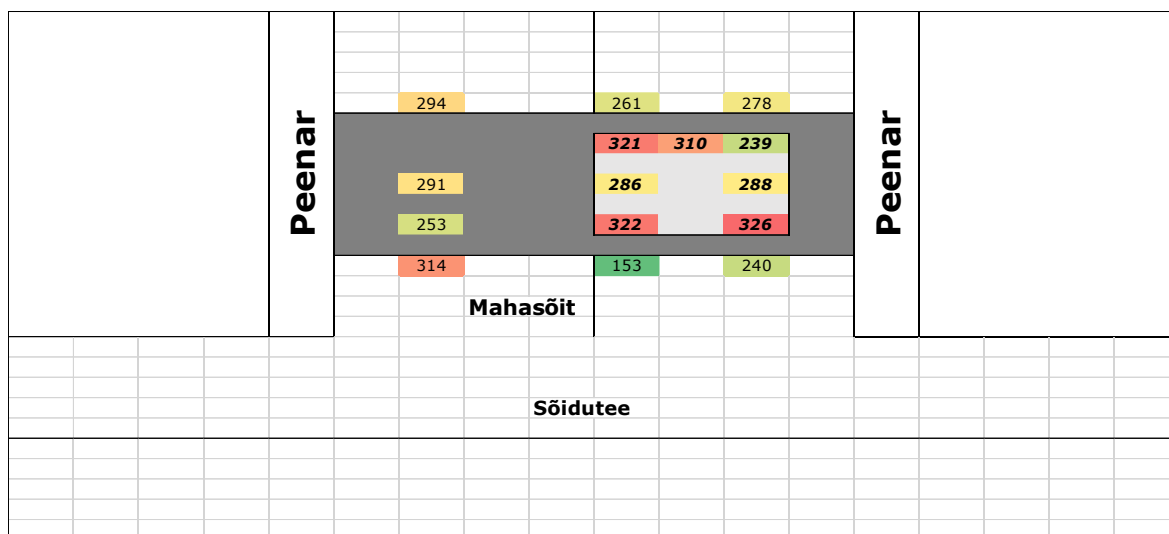


Joonis 4.15 Lasnamäe tänava 32 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

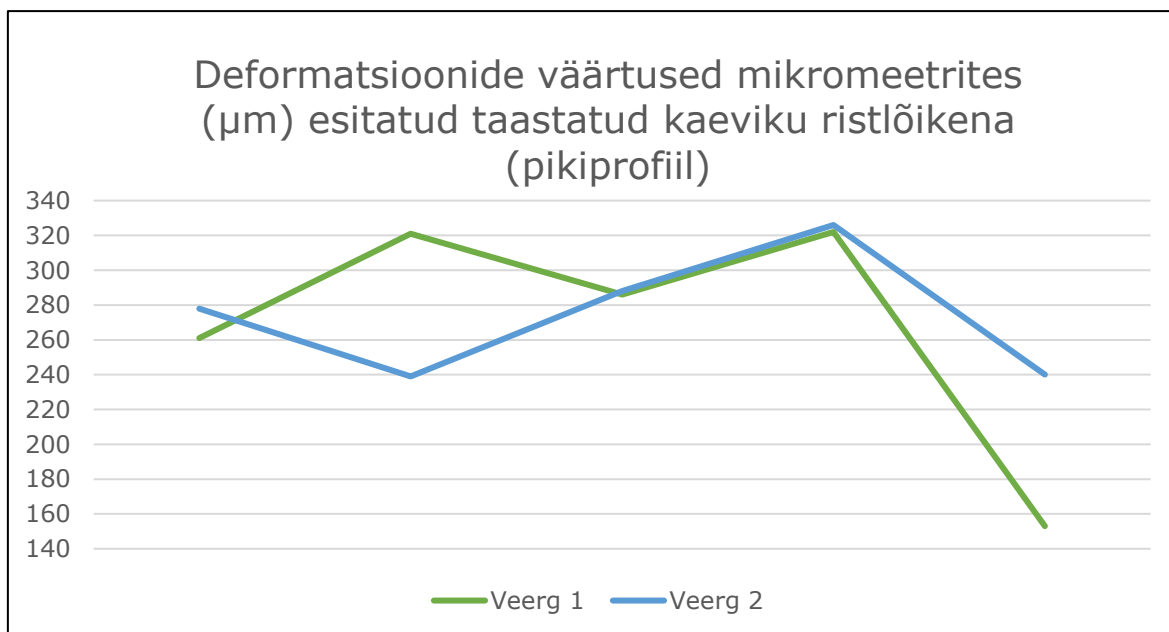
Kaeviku sügavus oli 1,40 m. Teostatud tööde käigus veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.16, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid

mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.17 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 4.16 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi pealt.



Joonis 4.17 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikenäuna.

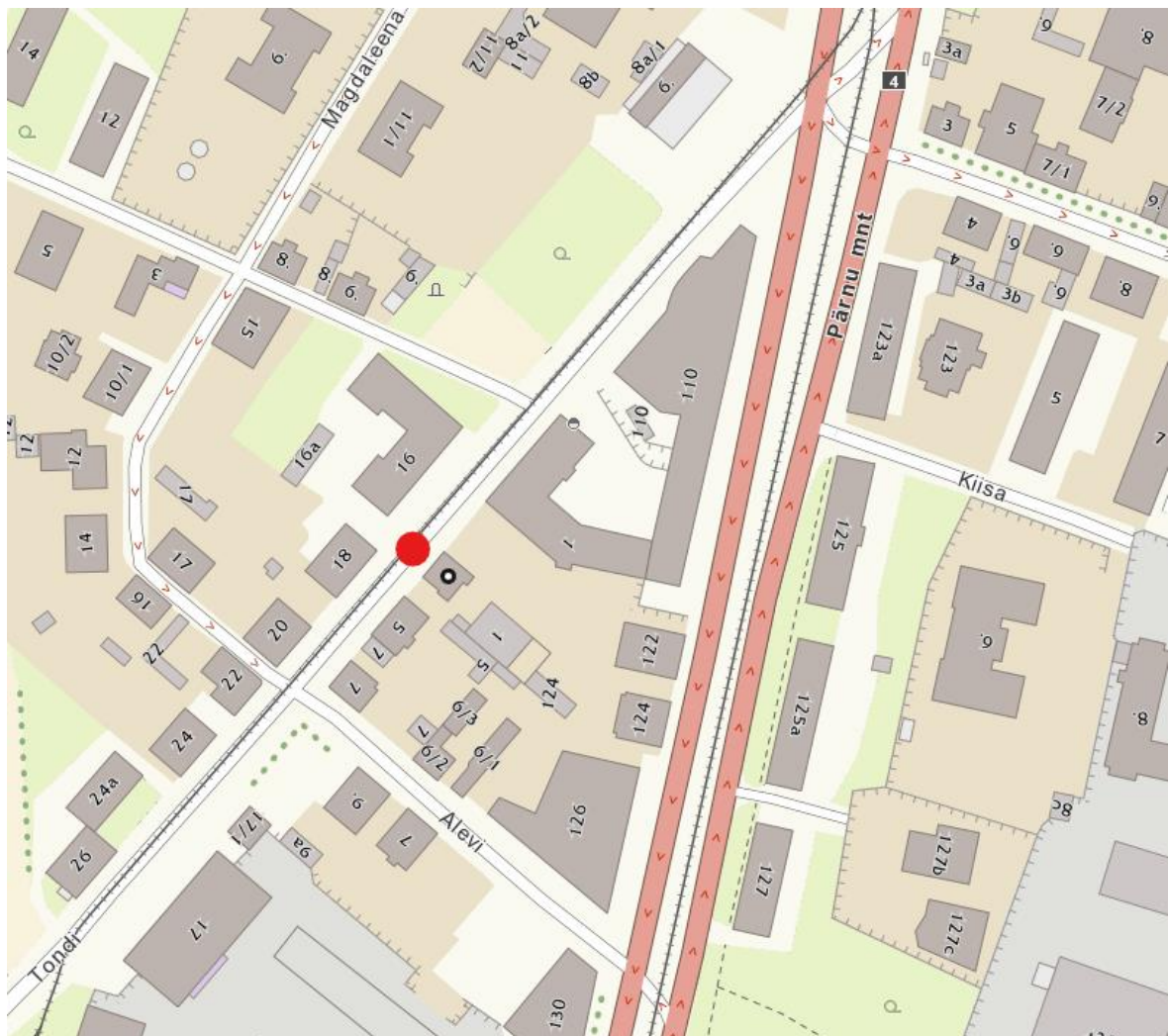
Vana kate deformatsioonid on nõrgad ja vana kate on juba ära väsinud ning tulevikus hakkab lagunema.

Deformatsioonide väärtuste mõõtetulemustest on näha et kaeviku üleminekualad on nõrgemad, kui nii kaeviku telg, kui ka vana kate. Sel katseobjektil töötab Karel Vergi teooria, et kaeviku üleminekuala kandevõime on madalam kui uue konstruktsiooni

kandevõime kaeviku teljel ja vanal tööst mõjutamata konstruktsioonil. Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus laiendamata.

Tondi tänav 3

Katseobjekt asub Kesklinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantii. AKÖL antud katseobjektile on 16920 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 09.02.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 11.02.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 31.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



Joonis 4.18 Tondi tänava 3 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 2,82 m. Teostatud tööde käigus teostati kanalitoru remonti.

[illegible]

Deformatsioonide väärtused mikromeetrites (μm) esitatud taastatud kaeviku ristlõikena (pikiprofiil)

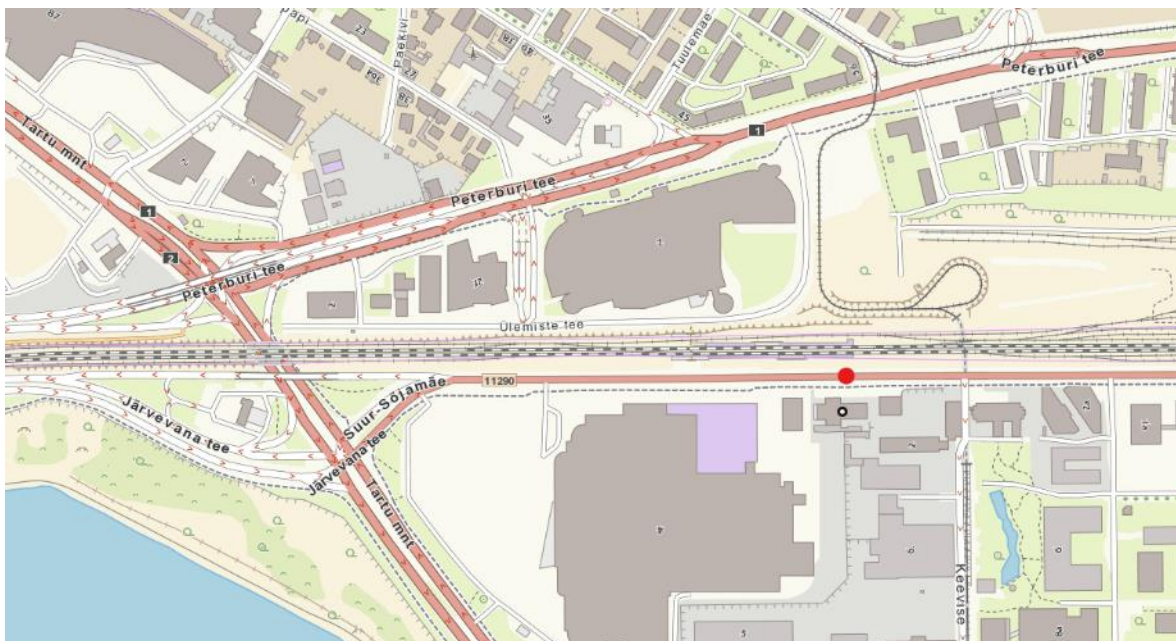
Distance (m)	Deformation (μm)
0	120
25	160
50	159
75	157
100	115

Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

Kaeviku üleminekulade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurs on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Suur-Sõjamäe tänav 6

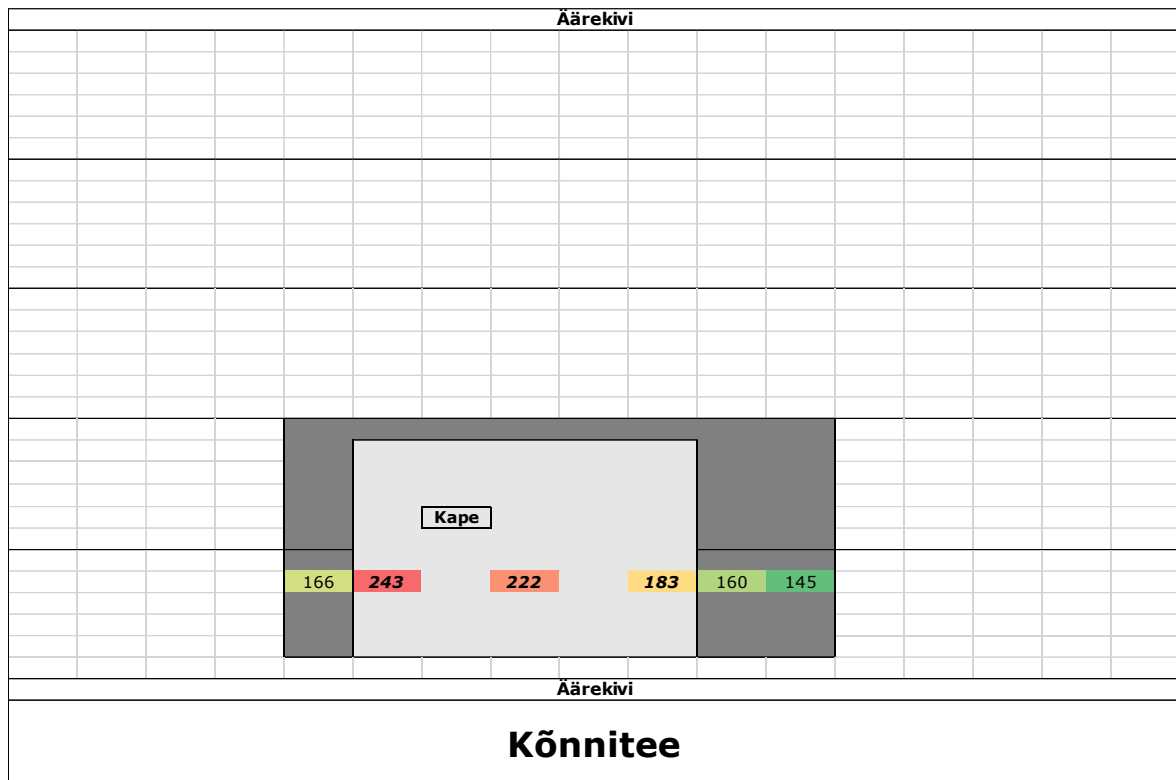
Katseobjekt asub Lasnamäe linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiaeg on juba möödunud. AKÖL antud katseobjektile on 37400 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 21.09.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 23.09.2021. Deformeeritavuse ja tasetuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



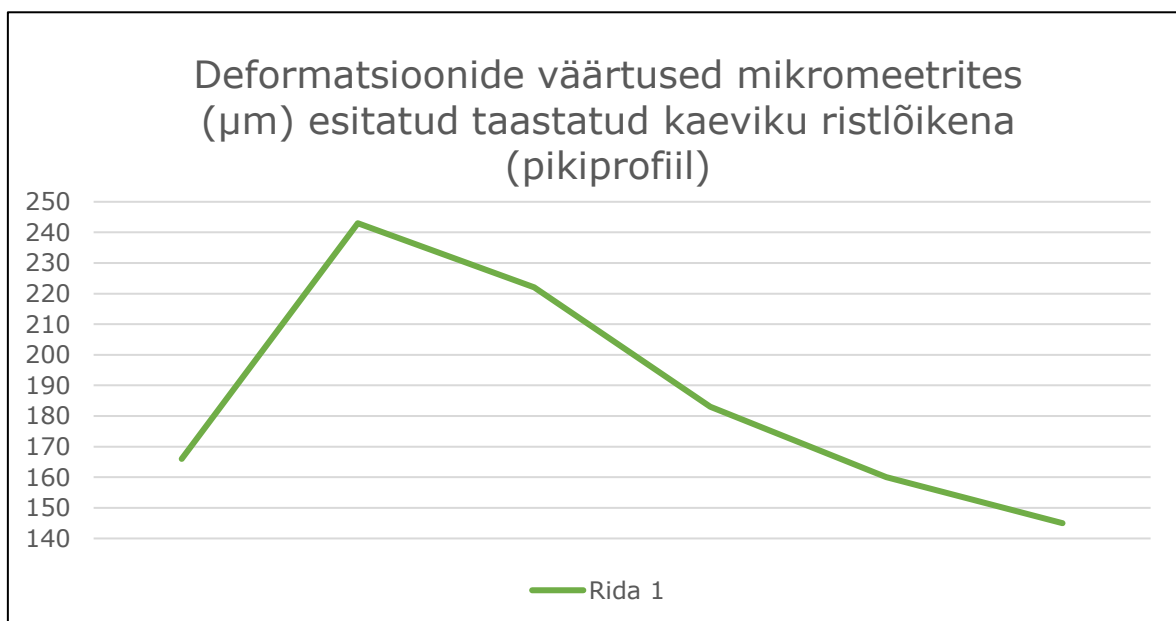
Joonis 4.21 Suur-Sõjamäe tänava 6 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,20 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.22, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.23 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 4.22 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi pealt.



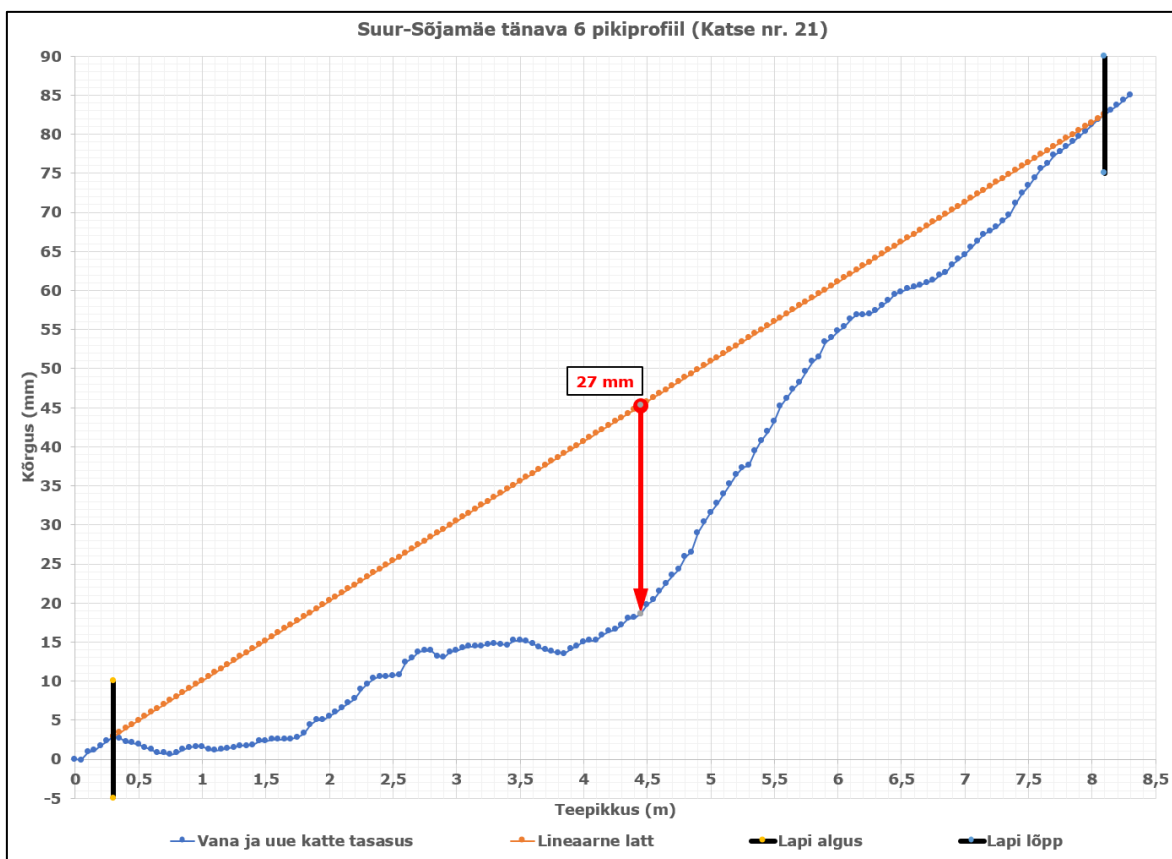
Joonis 4.23 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

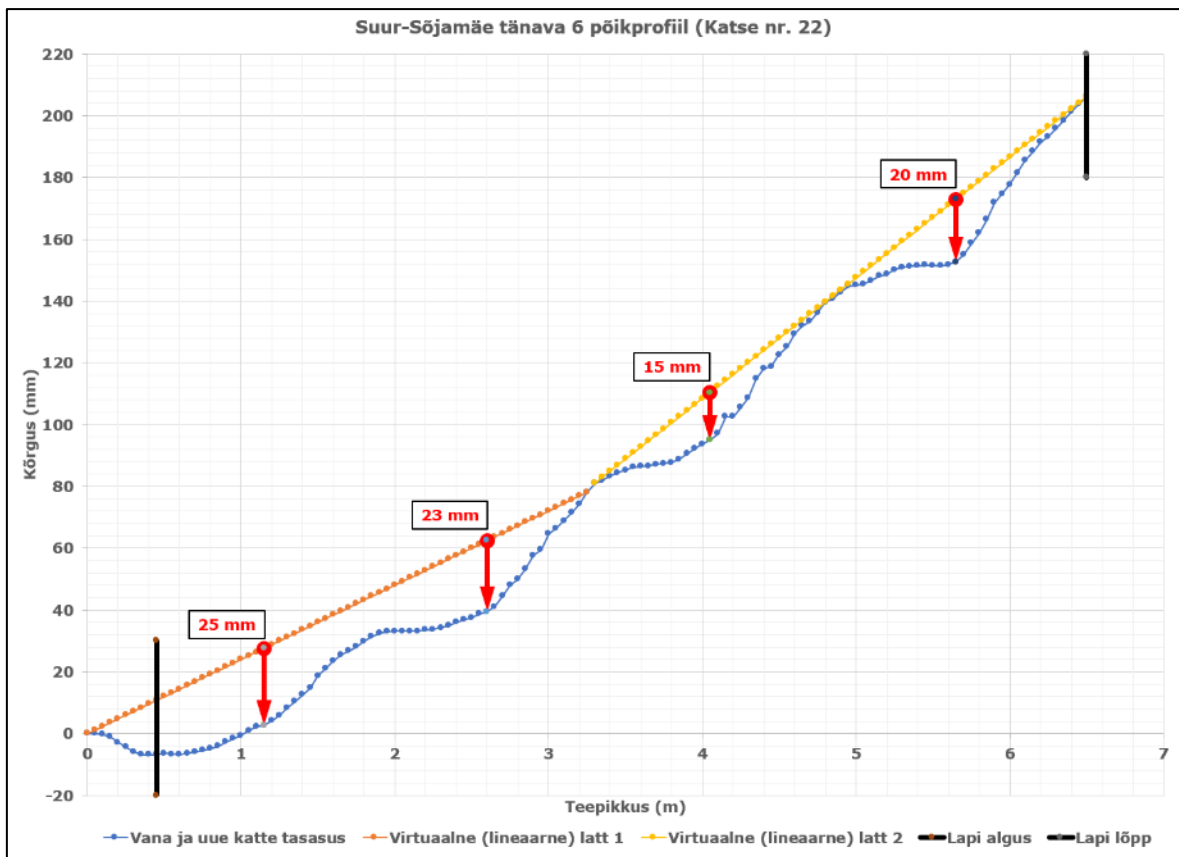
Kaeviku üleminekuvalade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on

vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonistel 4.24 ja 4.25, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 4.24 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 4.25 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 21 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil paremal sõidurajal. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 27 mm ning see asub kaeviku teljel. Ristmiku poole on näha et kaeviku üleminekuala ja vana katte deformatsioonid lähevad väiksemaks ning graafikust on näha olukord et pikivajumid läksid ka väiksemaks (umbes 4 korda väiksem).

Katse nr. 22 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil paremal ja vasakul sõiduradadel. Äärekivi juures parempoolisel sõidurajal esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 25 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 23 mm. Vasakpoolisel sõidurajal esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 15 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 20 mm. Roopad asuvad kaeviku kohal.

Parempoolisel sõidurajal roobastel rattavahe on 1,5 m. Seega tasasuse graafikult loeb välja, et jäljed parempoolisel sõidurajal on sõiduauto jäljed ehk kulumine, mitte teekatte läbivajumine.

2 aastaga taastatud katendil esinevad suured pikivajumid ja roopad. Esineb probleem taastatud katendi konstruktsiooni liiva- ja killustiku kihtides, kus arvatavasti olid

halvasti tihendatud need kihid. Teekatte seisukord on halb, kuna juba esinevad roopad vahemikus 20-30 mm.

Roopad on teekattel selgelt eristatavad ja nad hakkavad mõjutama nii sõidutrajektoori kui ka kiirust. Vihmase ilmaga koguneb roobastesse palju vett ja tekib oht sattuda vesiliugu. Roopad tuleks kõrvaldada [20].

Ehitajate tee, Õismäe tee 179

Katseobjekt asub Haabersti linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantii on juba möödunud. AKÖL antud katseobjektile on 29960 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 19.04.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 21.04.2021. Deformeeritavuse ja tasetuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.

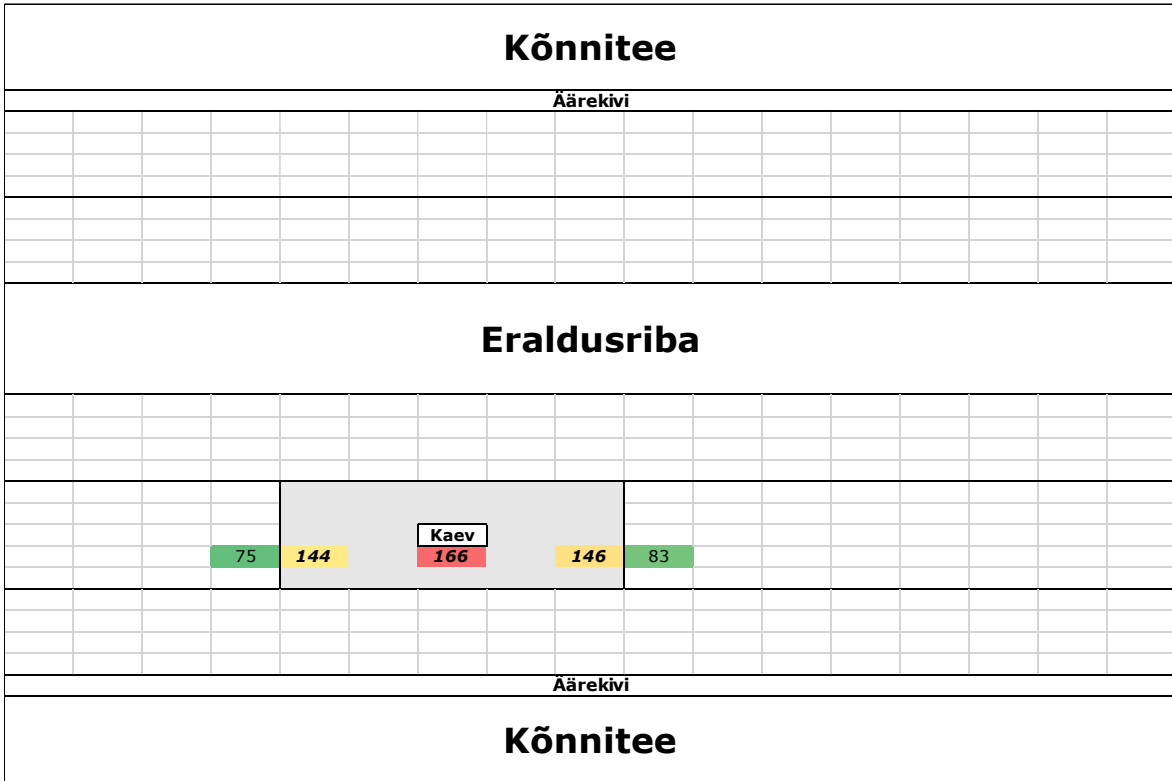


Joonis 4.26 Ehitajate tee, Õismäe tee 179 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

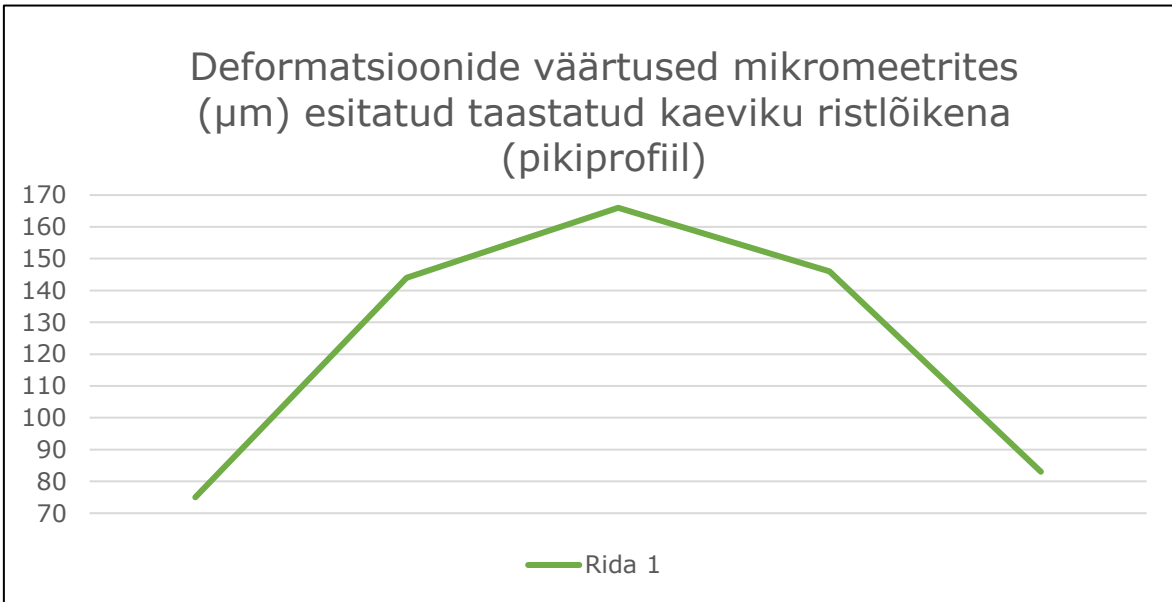
Kaeviku sügavus oli 1,50 m. Teostatud tööde käigus teostati kaevu remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.27, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.28 on esitatud deformeeritavuse

väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 4.27 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



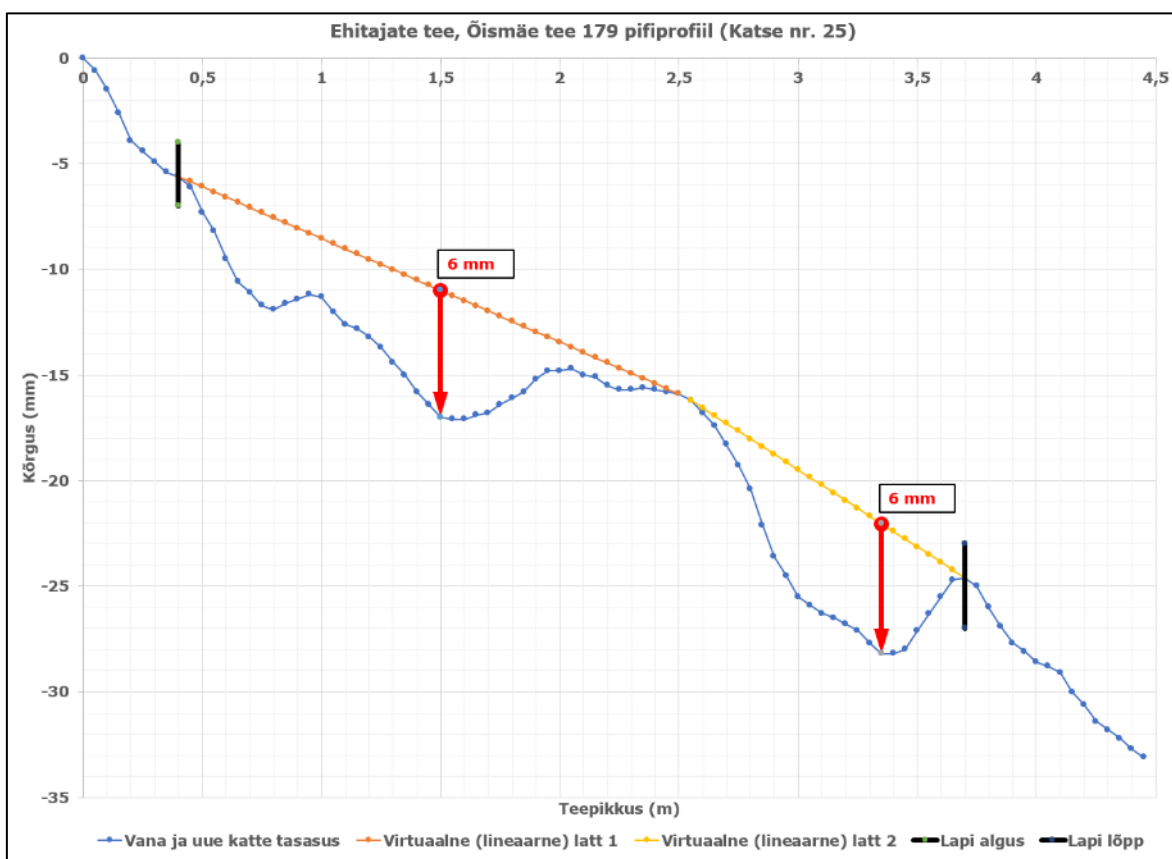
Joonis 4.28 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Kaevu juures esineb kõige suurem deformatsioon, põhjuseks võiks olla tehnoloogiliselt halvasti tihendatud taastäitmiseks materjal. Kaeviku üleminekuvaladel ja kaeviku teljel

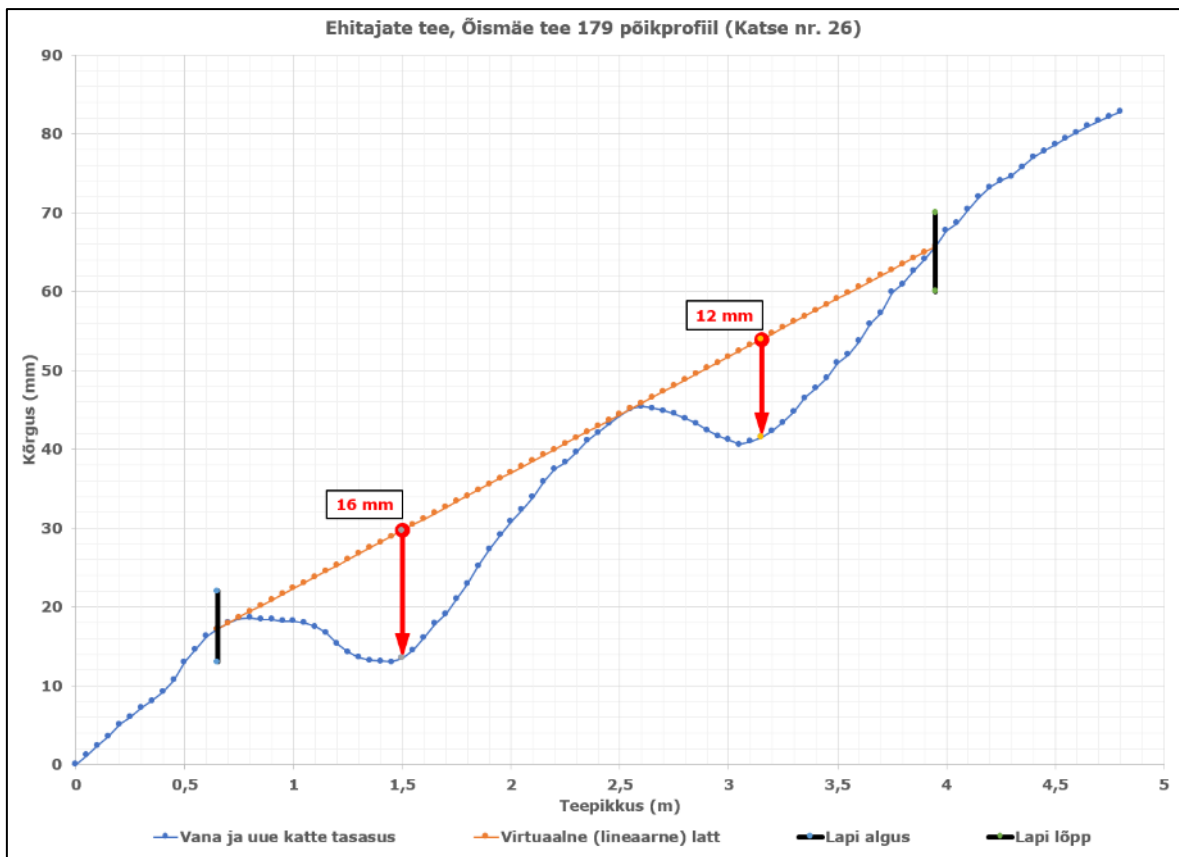
on ühtlased deformatsioonid. Kogu kaeviku ala deformatsioonid on kaks korda suuremad, kui vana kattelt mõõdetud deformatsioonid. Kaeviku üleminekualade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime.

Taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on kaks korda vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime. Seoses sellega saab järeldada et taastatud katendi ressurss on kaks korda vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonistel 4.29 ja 4.30, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 4.29 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 4.30 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 25 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil keskmisel sõidurajal. Maksimaalsed pikivajumi sügavused olid 6 mm ning need asuvad kaeviku üleminekuvaladel. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud vasakul ja paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine mõlemal poolel ja kaeviku kaks korda nõrgemad üleminekuvalad, kui vana kattel.

Katse nr. 26 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil keskmisel sõidurajal. Keskmisel sõidurajal esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 16 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 12 mm. Roopad asuvad kaeviku kohal. Graafikus on näha olukord, kus lapitud katendi servast äärekivi juures parempoolsel sõidurajal tekkinud vajum ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine ja kaeviku nõrk üleminekuvala.

Keskmisel sõidurajal roobaste rattavahe on 1,65 m. Seega tasasuse graafikult loeb välja, et jäljed keskmisel sõidurajal on paarisratastega raskesõiduki jäljed ehk kulumine, mitte teekatte läbivajumine.

2 aastaga taastatud katendil esinevad keskmised pikivajumid ja roopad. Teekatte seisukord on rahuldav, kuna juba esinevad roopad vahemikus 10-20 mm.

Teekattes olevad roopad on märgatavad. Vihmase ilmaga hakkab roobastesse kogunema vesi. Teekasutaja hakkab sõidutrajektoori valima. 1-3 aasta jooksul tuleks roopad kõrvaldada [20].

Looga tn 15

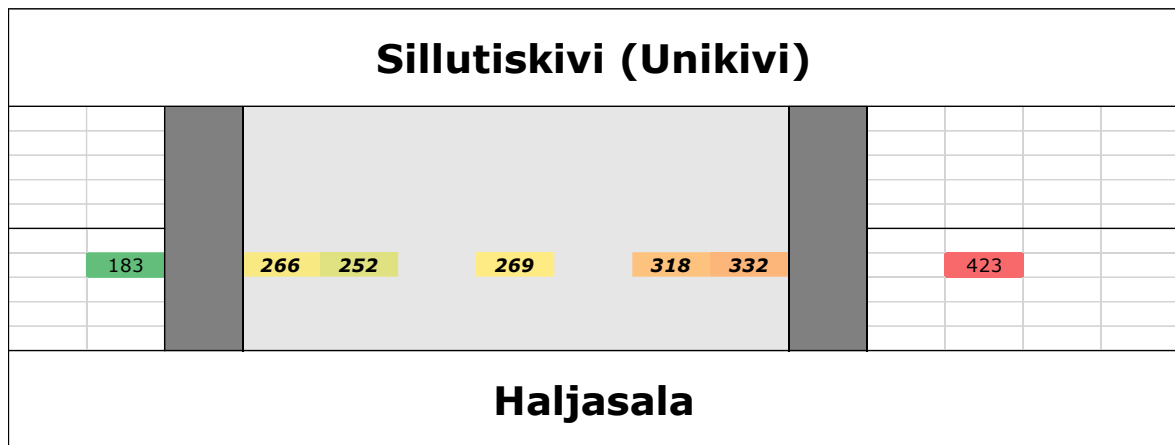
Katseobjekt asub Haabersti linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantii on juba möödunud. AKÕL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 05.04.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 07.04.2021. Deformeeritavuse ja tasetuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



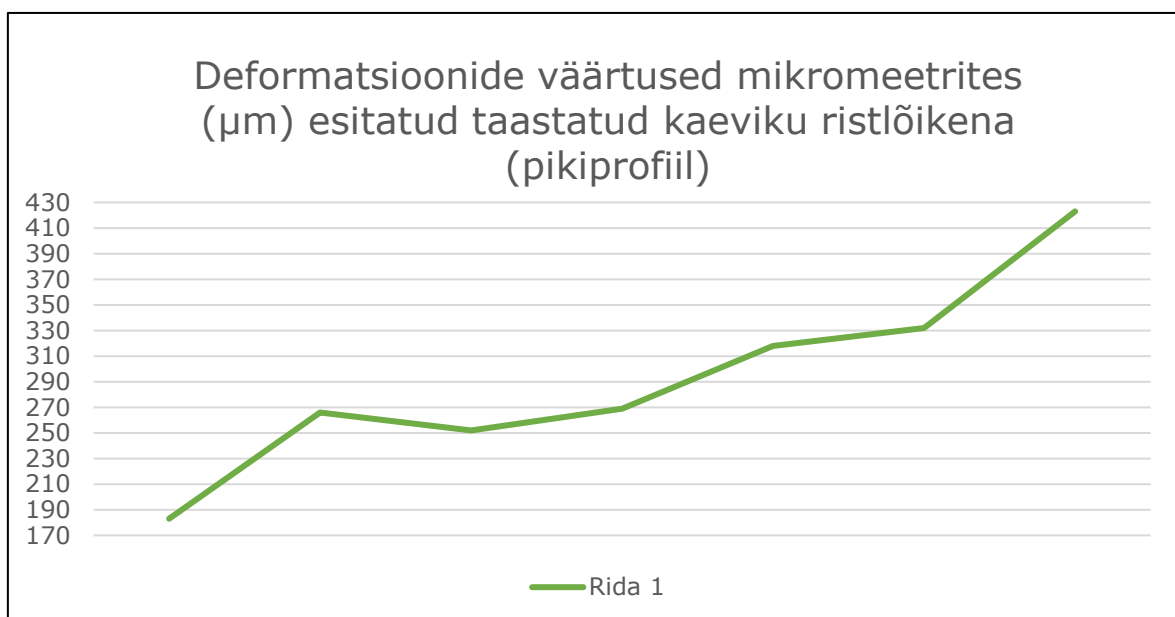
Joonis 4.31 Looga tänava 15 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,85 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.32, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.33 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 4.32 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.

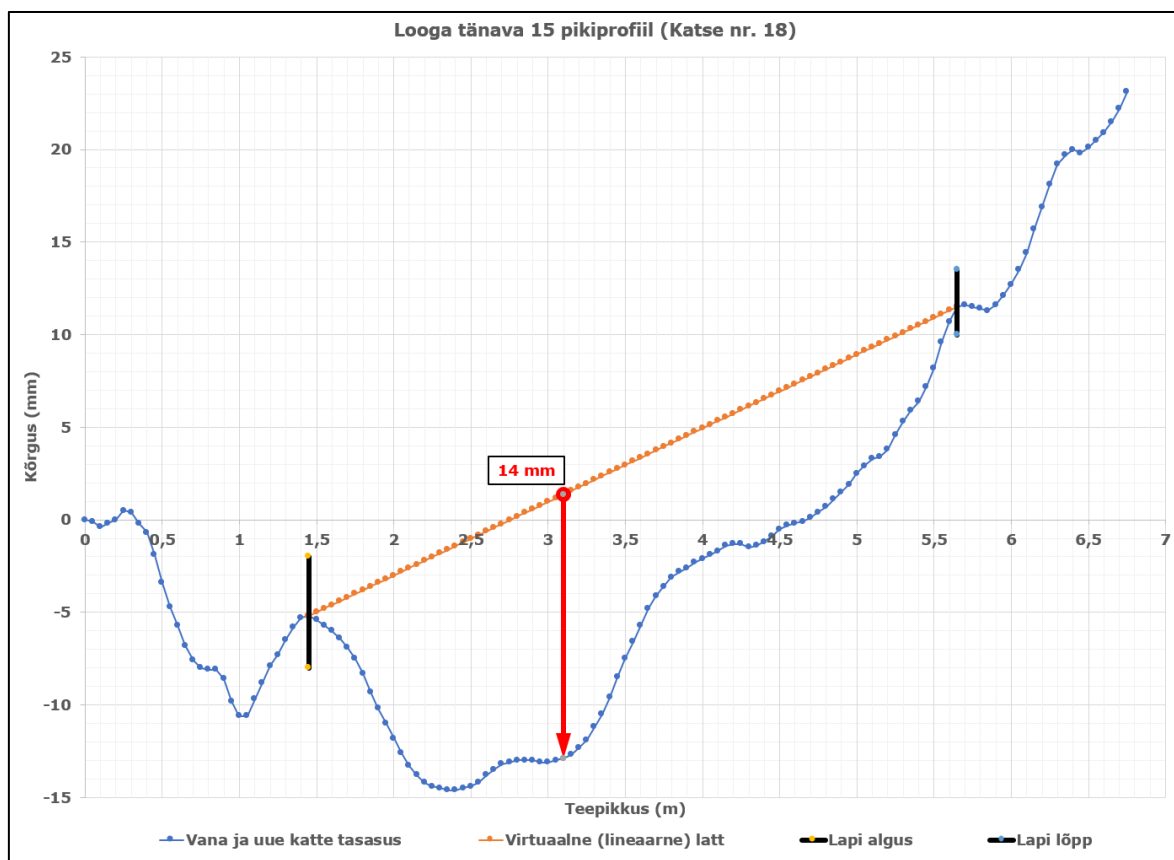


Joonis 4.33 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformeeritavuse mõõtetulemustest on näha kuidas deformatsioonid hakkavad järjest suuremaks minema alates vasakpoolse vana kattest, edasi uuel kattel ja lõppevad parempoolisel vana kattel. Vasakpoolse vana katendi kandevõime on 2,3 korda suurem, kui parempoolne katendi kandevõime. Olemasoleva olukorda hindades parempoolisel vana kattel on rohkem defekte, kui vasakpoolsel vana kattel ning see võib olla põhjuseks, miks tuleb nii suur erinevus deformatsioonides mõlemate vana katate vahel.

Selle katseobjekti kohta ei ole võimalik teha järeldus deformeeritavuse kohta, sest deformatsioonid väärtused järest lähevad suuremaks nii vana katetel, kui ka uuel taastatud kattel.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasetasuse väärtused on esitatud joonisel 4.34, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 4.34 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasetasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 18 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 14 mm ning see asub kaeviku üleminekualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud vasakul ja paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on nõrk vana kate paremal poolel ja kaeviku nõrk üleminekuala vasakul (ristmiku poole), kui vana kattel.

2 aastaga taastatud katendil esinevad suured pikivajumid. Esineb probleem taastatud katendi konstruktsiooni liiva- ja killustiku kihtides, kus arvatavasti olid halvasti tihendatud need kihid.

Härjapea tänav 23

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiaeg on juba möödunud. AKÖL antud katseobjektil on 1200 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 17.02.2021 ja taastatud katend oli

asfalteeritud 19.02.2021. Deformeeritavuse ja tasetasuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



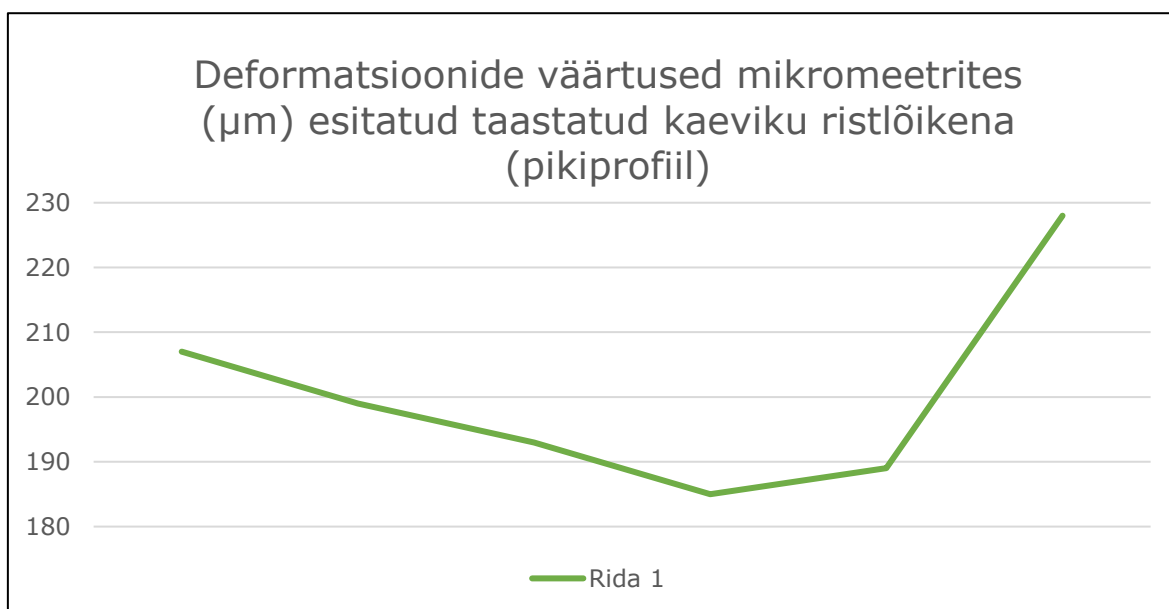
Joonis 4.35 Härmajõe tänava 23 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,96 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 4.36, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 4.37 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

[illegible]

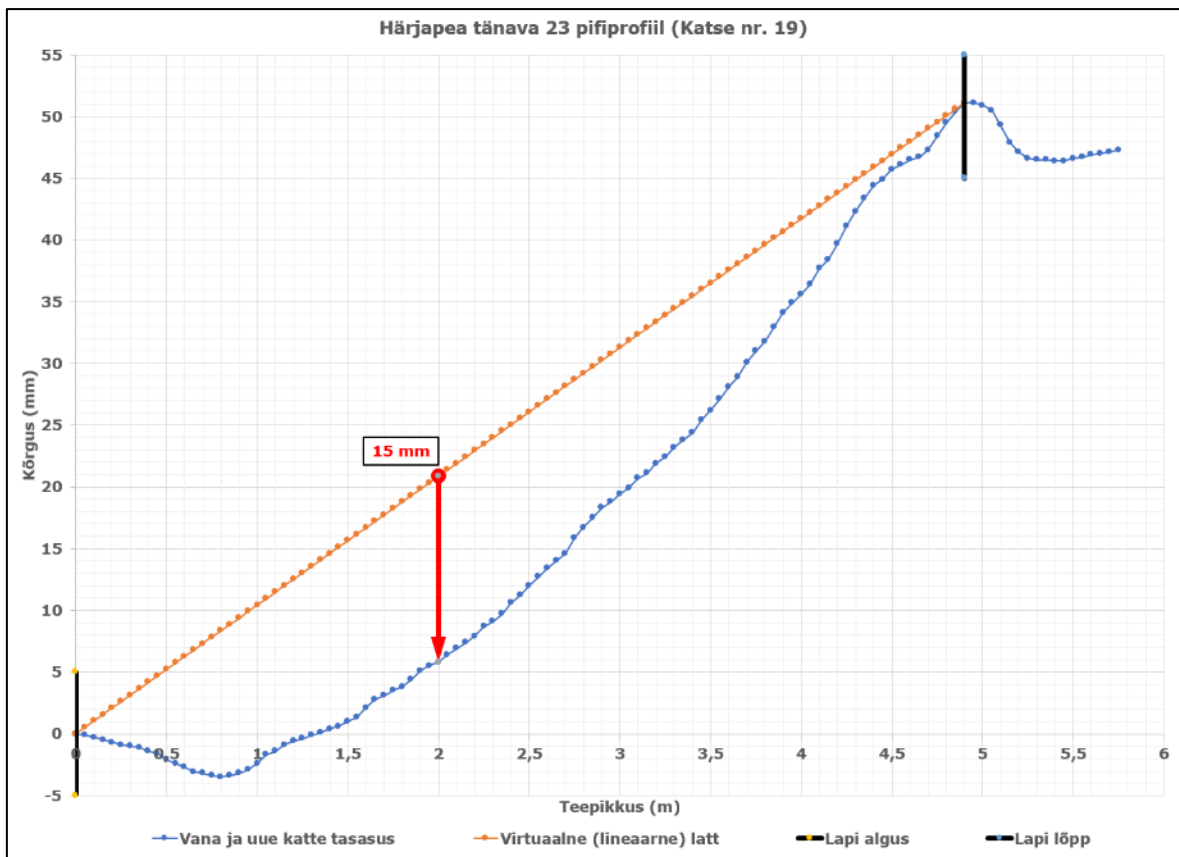
Joonis 4.36 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



Joonis 4.37 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformeeritavuse mõõtmised said tehtud ainult alumisel sõidurajal, sest ülemisel sõidurajal kate on lapitud mitmeid kordi. Deformatsiooni mõõtetulemustest saab näha et nii vana katte, kui ka uue katte deformatsioonid on ühtlased. Selle katseobjekti kohta ei ole võimalik teha järeldus deformeeritavuse kohta, sest deformatsioonid väärtused on ühtlased vana ja uuel katetel.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonisel 4.38, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 4.38 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 19 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 15 mm ning see asub kaeviku üleminekualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast ühel poolel vana kate on ära vajunud ning selle tekkimise põhjuseks on nõrk vana kate mõlemal poolel.

2 aastaga taastatud katendil esinevad suured pikivajumid. Esineb probleem taastatud katendi konstruktsiooni liiva- ja killustiku kihtides, kus arvatavasti olid halvasti tihendatud need kihid. Kuna vana kate on nõrk, siis lisaks saab järeldada et tegemist on ka nõrga aluspinnasega antud tänaval ning tulevikus tekkivad vajumid ka kõikides tehtud ja tulevastes kaevikutes ning kogu tänaval.

5 JÄRSU ÜLEMIN EKUALAGA OBJEKTID

Selles peatükis analüüsiti järsu üleminekuvaladega tehtud kaevikud. Kokku katsetati kümme katseobjekti. Tabelis 5.1 välja toodud katseobjektide nimekiri.

Tabel 5.1 Järsu üleminekuvaladega tehtud kaevikud.

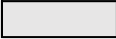
Nr.	Objekti aadress	Deformeeritavuse mõõtmise kuupäev	Tasasuse mõõtmise kuupäev	Kaevetööde algus	Asfalteeritud	Kaeviku sügavus (m)	Kaeviku üleminekuala	Teostatud töö	AKÖL autot/ööp
1	Komeedi tn 4	17.07.2023	17.07.2023	30.06.2023	02.07.2023	2,15	Järsk	Veetoru remont	-
2	Paasiku tn 6	20.07.2023	-	25.04.2023	27.04.2023	2,66	Järsk	Veetoru remont	-
3	J. Vilmsi tn 32	20.07.2023	20.07.2023	20.04.2023	22.04.2023	2,11	Järsk	Veetoru remont	9160
4	Sügise tn 8	20.07.2023	-	18.04.2023	20.04.2023	1,74	Järsk	Veetoru remont	980
5	Randvere tee 51	20.07.2023	20.07.2023	16.04.2023	18.04.2023	1,73	Järsk	Veetoru remont	7660
6	Vabriku tn 4	20.07.2023	20.07.2023	14.04.2023	16.04.2023	1,65	Järsk	Veetoru remont	4520
7	Vabriku tn 6	20.07.2023	-	14.04.2023	16.04.2023	1,85	Järsk	Veetoru remont	4520
8	Õismäe tee 8	01.08.2023	01.08.2023	29.07.2021	31.07.2021	1,91	Järsk	Kaevu remont	16680
9	Sõpruse pst 219	01.08.2023	01.08.2023	08.06.2021	10.06.2021	2,00	Järsk	Kaevu remont	36380
10	Rästa tn 2a	01.08.2023	-	31.03.2021	02.04.2021	1,20	Järsk	Kaevu remont	-
11	Puuvilla tn 32	01.08.2023	01.08.2023	20.01.2021	22.01.2021	2,15	Järsk	Kanalitoru remont	-

Kõik deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud T-Konsult OÜ poolt välja antud Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga. Deflektomeetri mõõterežiim katsetes 700 kPa, 20 kg kukkuva raskusega ja 150 mm tallaga.

On oluline taastatud katendi deformeeritavuse mõõtmisi teostada väikese ajalise nihkega, mille jooksul katendikihid jõuavad jahtuda ümbritseva keskkonna temperatuurile, sest asfaldi elastsusmoodul on väga tugevas pöördseoses temperatuuriga.

Kõik tasasuse mõõtmised olid teostatud T-Konsult OÜ poolt välja antud Gapman käsiprofilomeetriga. Käsiprofilomeetri mõõterežiim oli kiil lati all 50 mm sammuga.

Kõik tasasuse mõõtmise katsete algus-punkt ja lõpp-punkt asusid vana kattel. Alguspunkti ja lõpp-punkti vahel tasasuse mõõtmine oli taastatud katendi asfaldil ehk lapitud katendil.

Tingmärgid:	
	Kaeviku asukoht
	Taastatud katendi uus asfalt (lapitud katend)
	Kaev
	Restkaev
	Kape
	Sõidutee

Joonis 5.1 Deformeeritavuse skeemi tingmärgid.

Komeedi tänav 4

Katseobjekt asub Kesklinna linnaosas. Tegemist värsket katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiiaeg. AKÖL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 30.06.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 02.07.2023. Deformeeritavuse ja tasetuse mõõtmised olid teostatud 17.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 22°C.



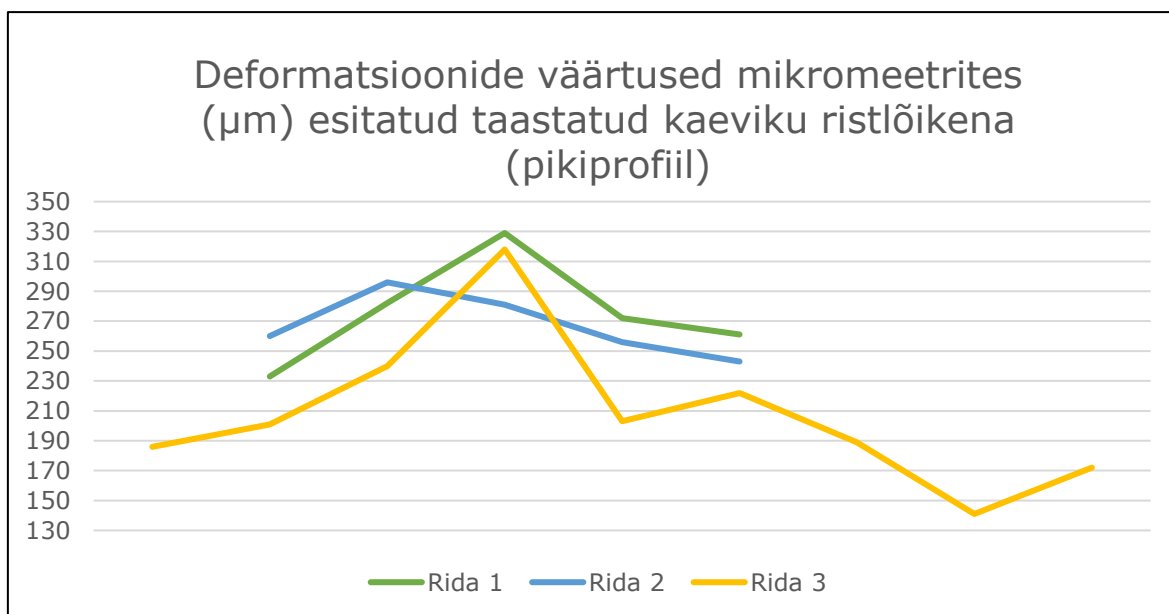
Joonis 5.2 Komeedi tänava 4 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 2,15 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.3, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.4 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

Kõnnitee														
Äärekivi														
					233	282		329		272	261			
					260	296		281		256	243			
			186		201	240		318		203	222	189	141	172
Äärekivi														
Kõnnitee														

Joonis 5.3 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.

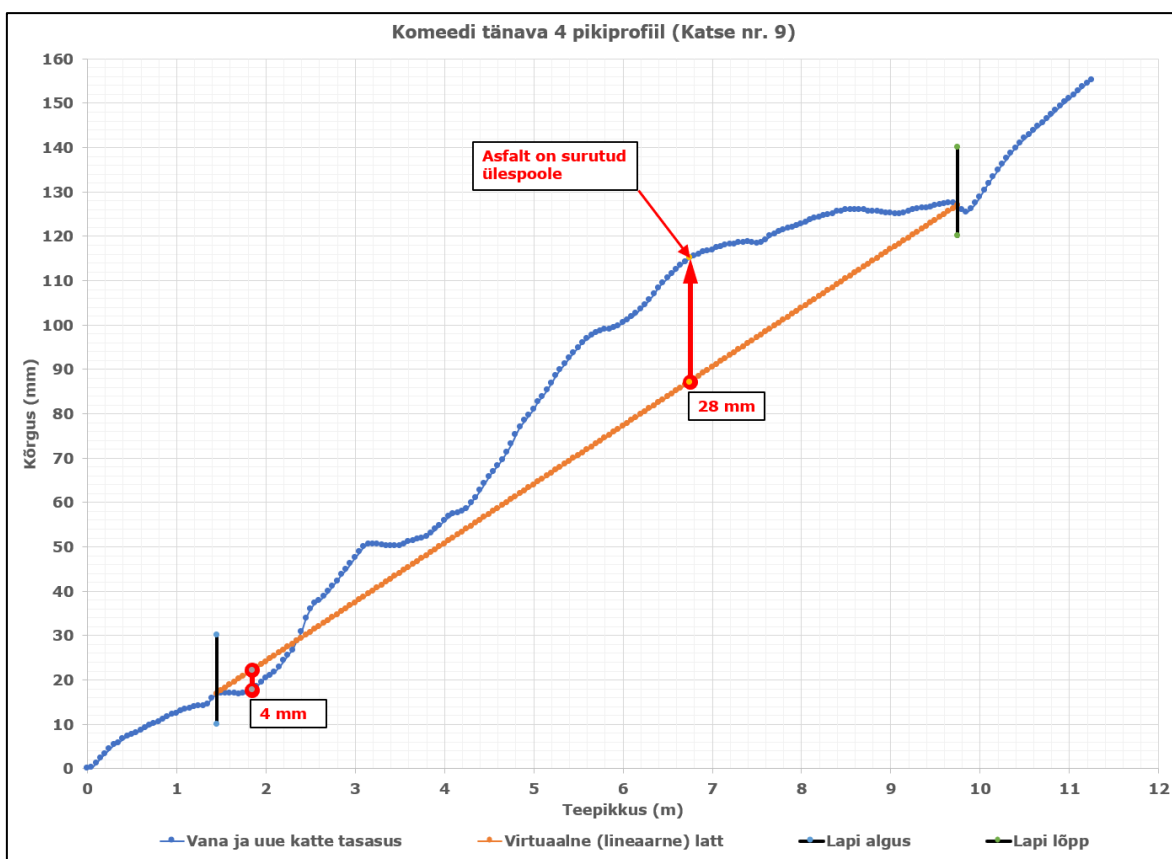


Joonis 5.4 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformatsioonide mõõtetulemustest on näha et kaeviku telje kandevõime on nõrgem, kui kaeviku mõlemate üleminekualade kandevõimed. Samas kogu kaeviku ala deformatsioonid on suuremad, kui vana katte deformatsioonid.

Kaeviku üleminekuvalade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonisel 5.5, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.5 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 9 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 4 mm ning see asub kaeviku teljel kaeviku üleminekuvalal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast ühel vana kate on ära vajunud vasakul ja paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on kaeviku nõrgad üleminekuvalad, kui vana kattel.

Mõõtmised olid teostatud kahe nädala pärast alates sellest, kui taastatud katend said asfalteeritud. Nii et on tegemist väga värske objektiga ja juba esineb väike pikivajum. Graafikust on näha, et virtuaalselt lattist asfalt on surutud 28 mm ülespoole. Seoses

sellega tuleb ainuke järeldus, et lapitud katendil oli asfalteerimise viga. Lisaks esineb probleem taastatud katendi konstruktsiooni liiva- ja killustiku kihtides, kus arvatavasti olid halvasti tihendatud need kihid.

Paasiku tänav 6

Katseobjekt asub Lasnamäe linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantii. AKÖL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 25.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 27.04.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



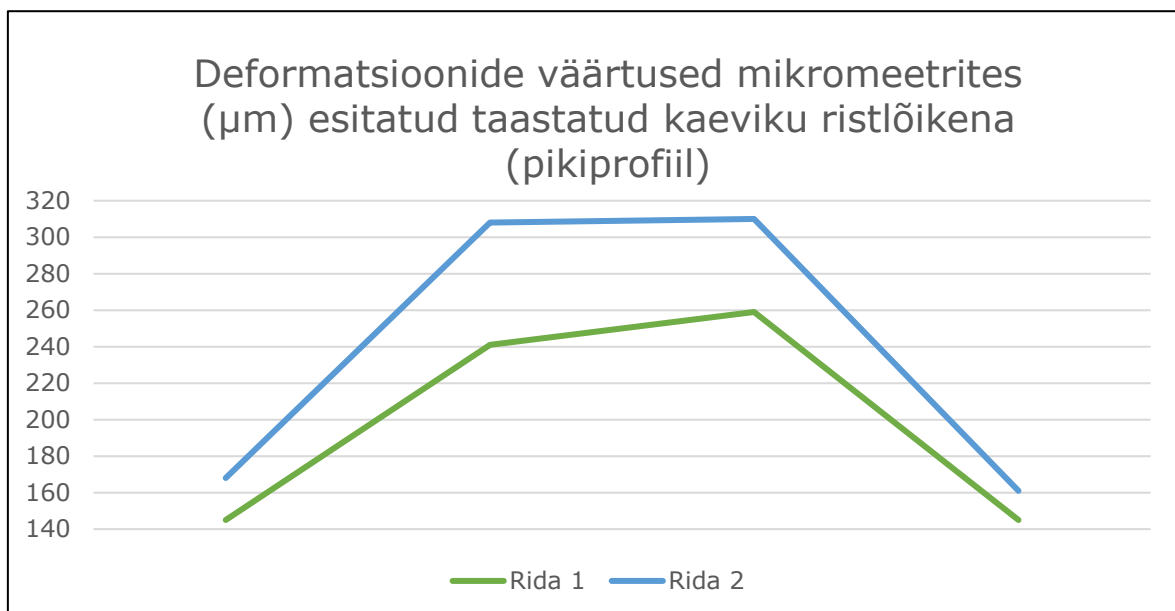
Joonis 5.6 Paasiku tänava 6 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 2,66 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.7, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.8 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

[illegible]

Joonis 5.7 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



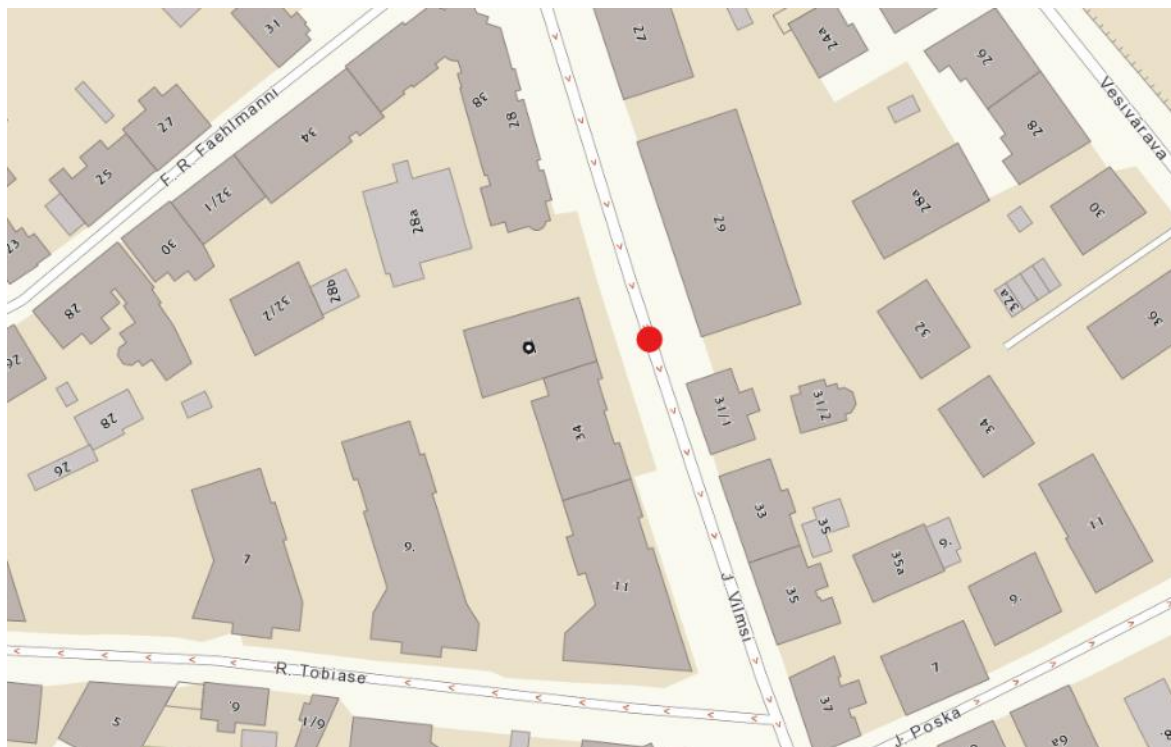
Joonis 5.8 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformatsioonide mõõtetulemustest on näha et kogu kaeviku ala deformatsioonid on suuremad, kui vana katte deformatsioonid.

Koge kaeviku kandevõime on nõrgem, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

J. Vilmsi tänav 32

Katseobjekt asub Kesklinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiiaeg. AKÖL antud katseobjektile on 9160 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 20.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 22.04.2023. Deformeeritavuse ja tasetasuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C.



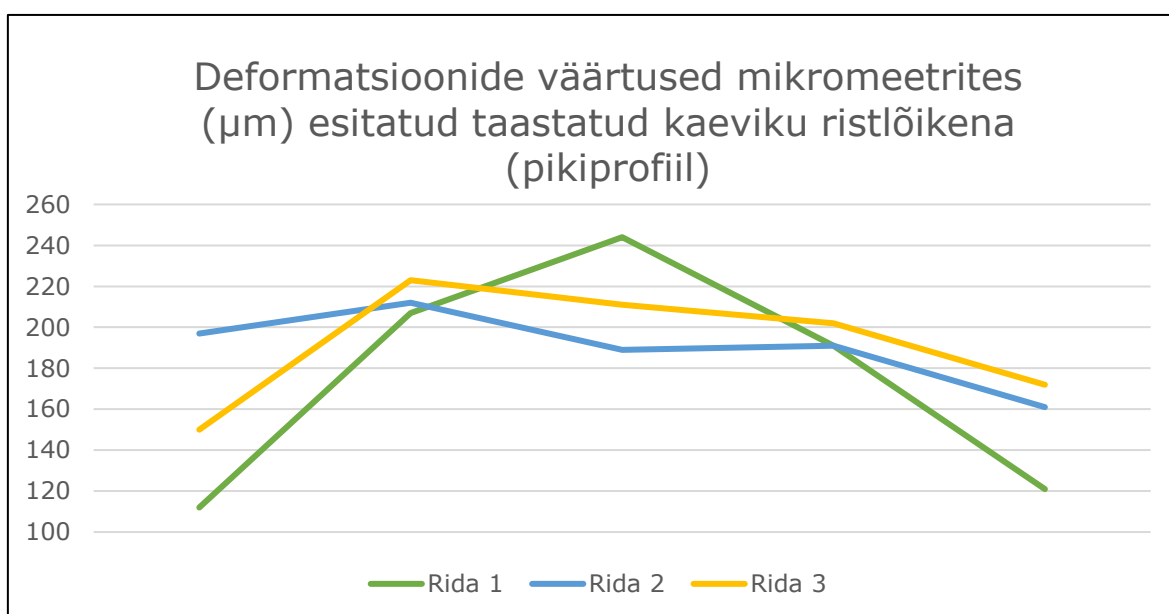
Joonis 5.9 J. Vilmsi tänava 32 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 2,11 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

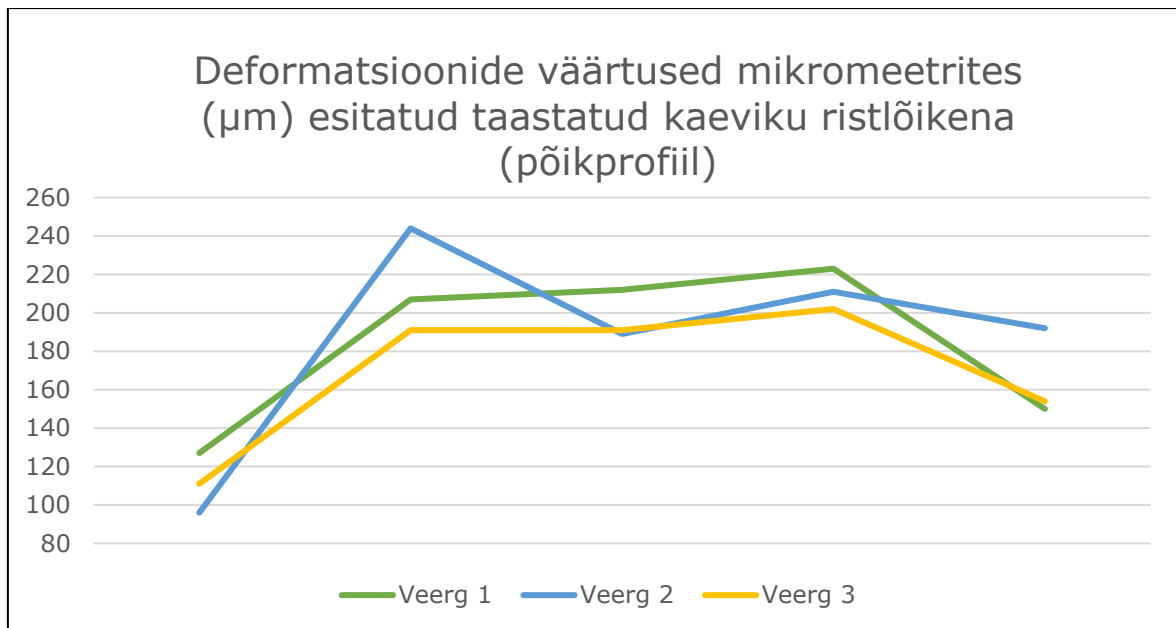
Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.10, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonistel 5.11 ja 5.12 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

Kõnnitee											
Äärekivi											
				112	127	96	111				
				207	244	191	121				
				210							
				197	212	189	191	161			
					223	211	202	172			
				150		192	154				
Äärekivi											
Kõnnitee											

Joonis 5.10 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



Joonis 5.11 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

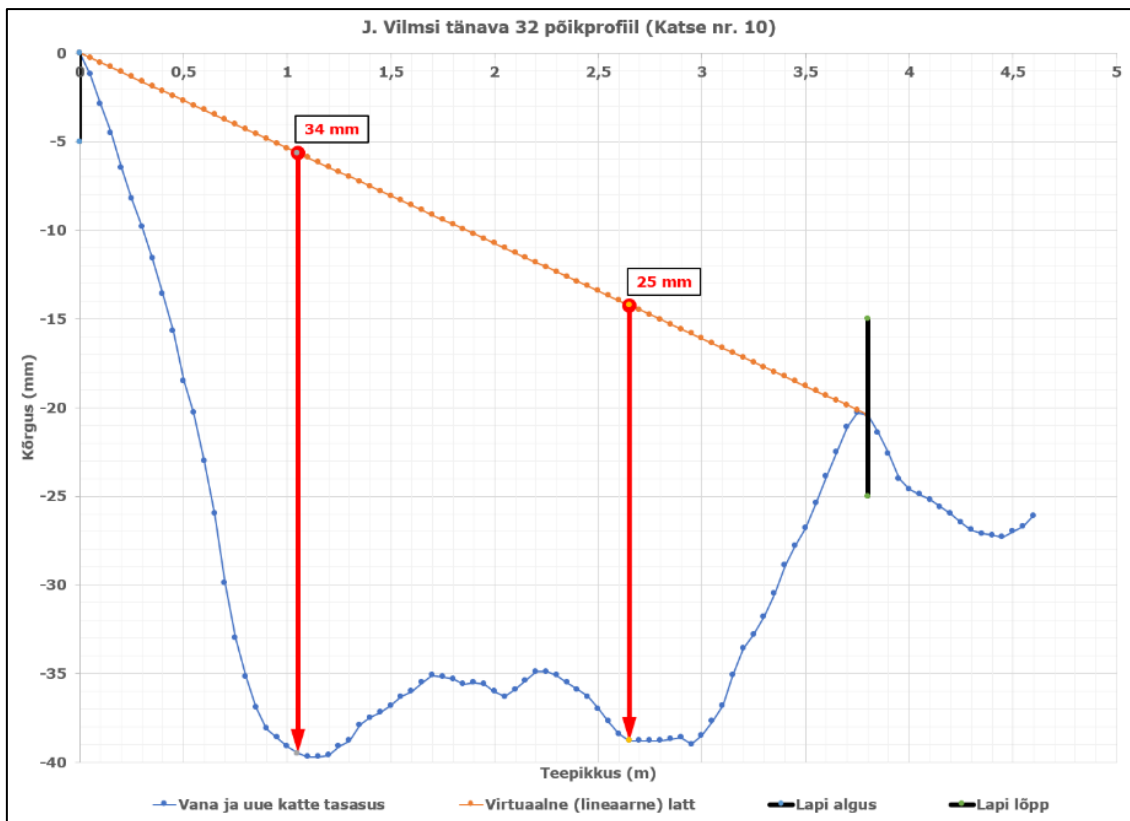


Joonis 5.12 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

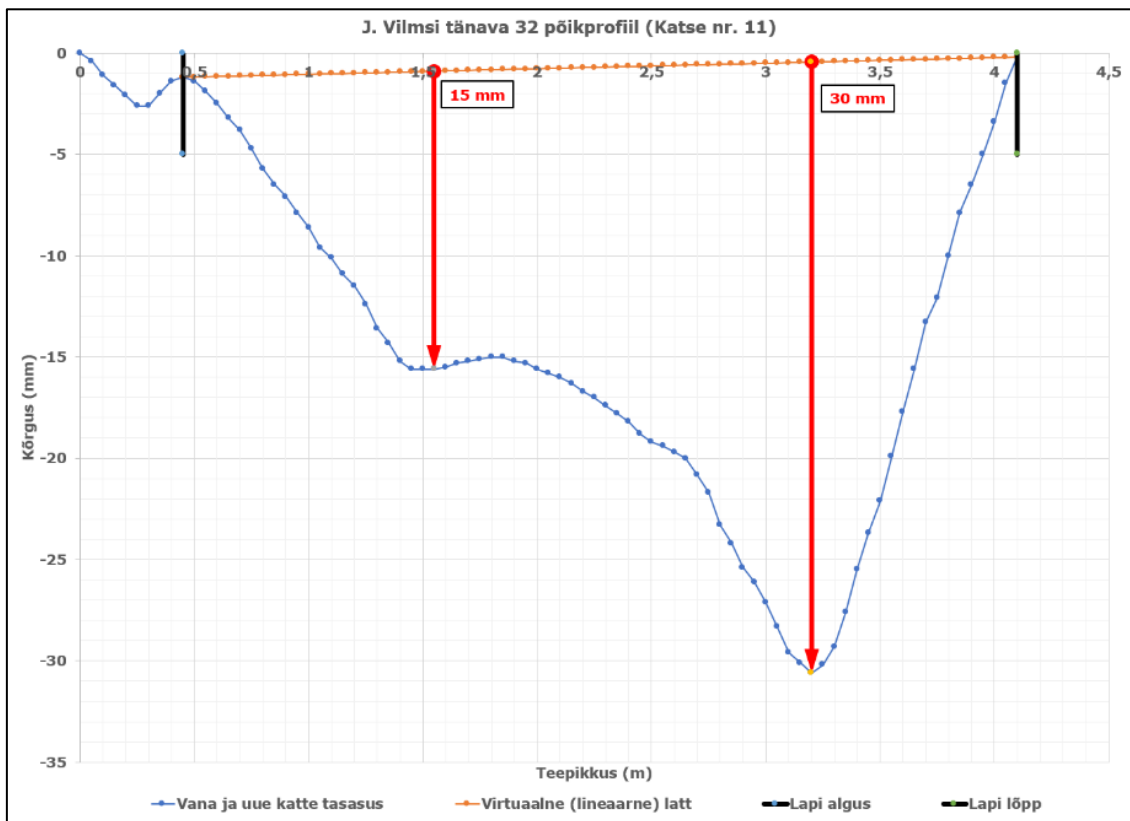
Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

Kaeviku üleminekualade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

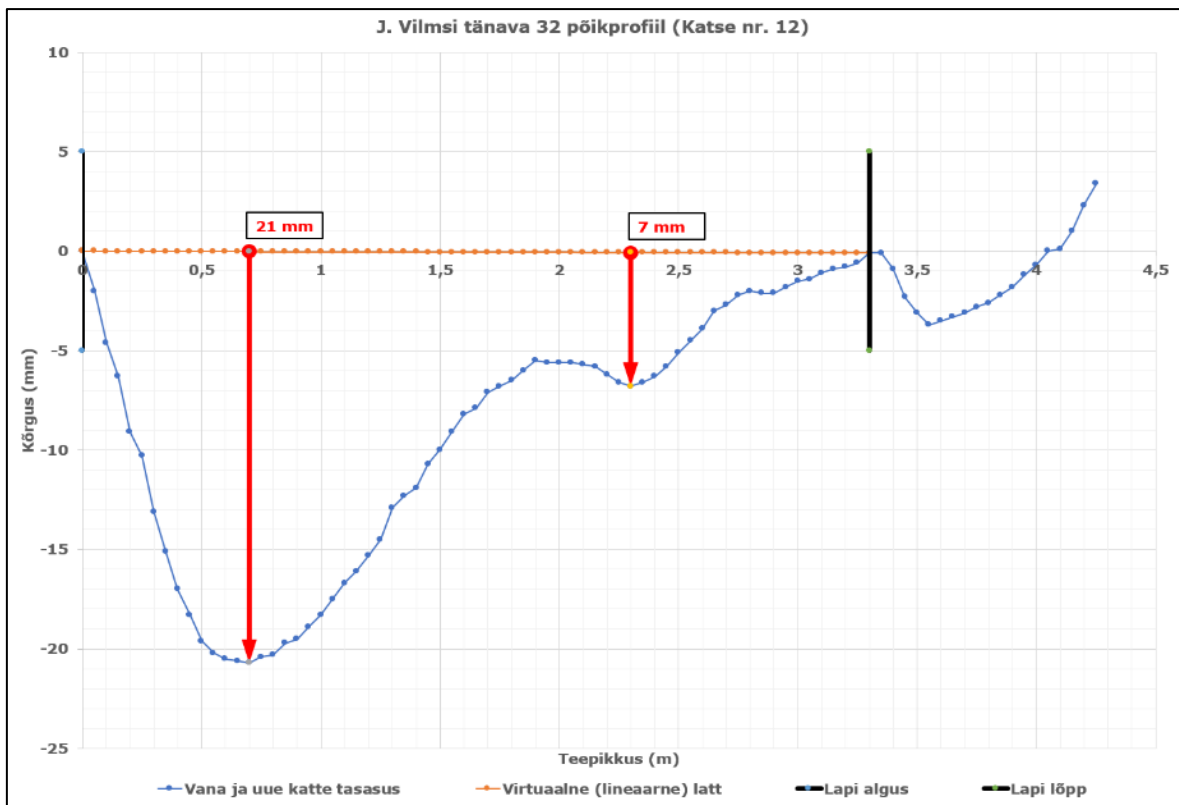
Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasetuse väärtused on esitatud joonistel 5.13, 5.14 ja 5.15, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.13 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.14 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.15 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Tegemist on kanaliseeritud liiklusega tänu pargitud autodele J. Vilmsi tänaval 32.

Katse nr. 10 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil ühesuunalisel sõidurajal. Ühesuunalise sõiduraja lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 25 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 34 mm. Roopad asuvad kaeviku üleminekuualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine ja kaeviku nõrgemad üleminekuualad, kui vana kattel.

Katse nr. 11 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil ühesuunalisel sõidurajal. Ühesuunalise sõiduraja lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 15 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 30 mm. Roopad asuvad kaeviku üleminekuualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine ja kaeviku nõrgemad üleminekuualad, kui vana kattel.

Katse nr. 12 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil ühesuunalisel sõidurajal. Ühesuunalise sõiduraja lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 7 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 21 mm. Roopad asuvad kaeviku teljel. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära

vajunud paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine ja kaeviku nõrgemad üleminekuvalad, kui vana kattel.

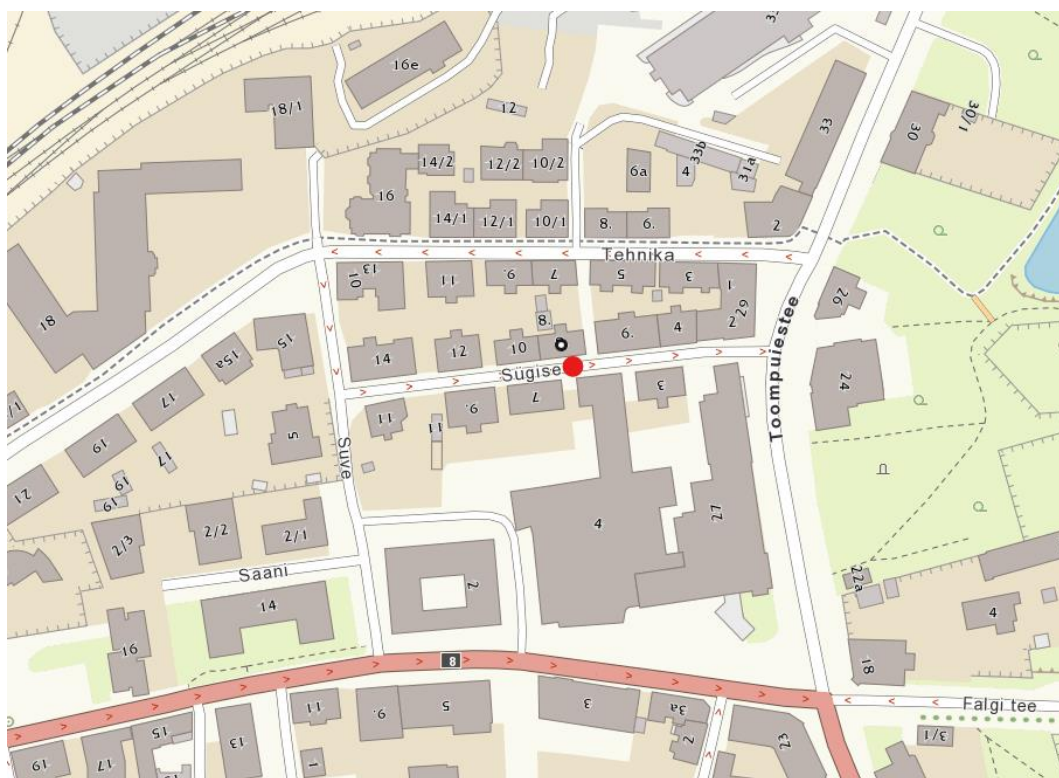
Ühesuunalise sõidurajal roobaste rattavahe on 1,6 m. Seega tasasuse graafikutelt loeb välja, et jäljed ühel sõidurajal on sõiduauto jäljed ehk kulumine, mitte teekatte läbivajumine.

3 kuuga taastatud katendil esinevad suured roopad. Teekatte seisukord on väga halb, kuna juba esinevad roopad >30 mm.

Teekattel olevad roopad on selgelt eristatavad ja nad mõjutavad sõidutrajektoori, kiirust ja ohutust. Roopad tekitavad teekasutajale liiklusohtlikke olukordi nii vihmase ilmaga kui ka kuivaga. Roopad tuleb koheselt kõrvaldada [20].

Sügise tänav 8

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantii. AKÖL antud katseobjektile on 980 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 18.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 20.04.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



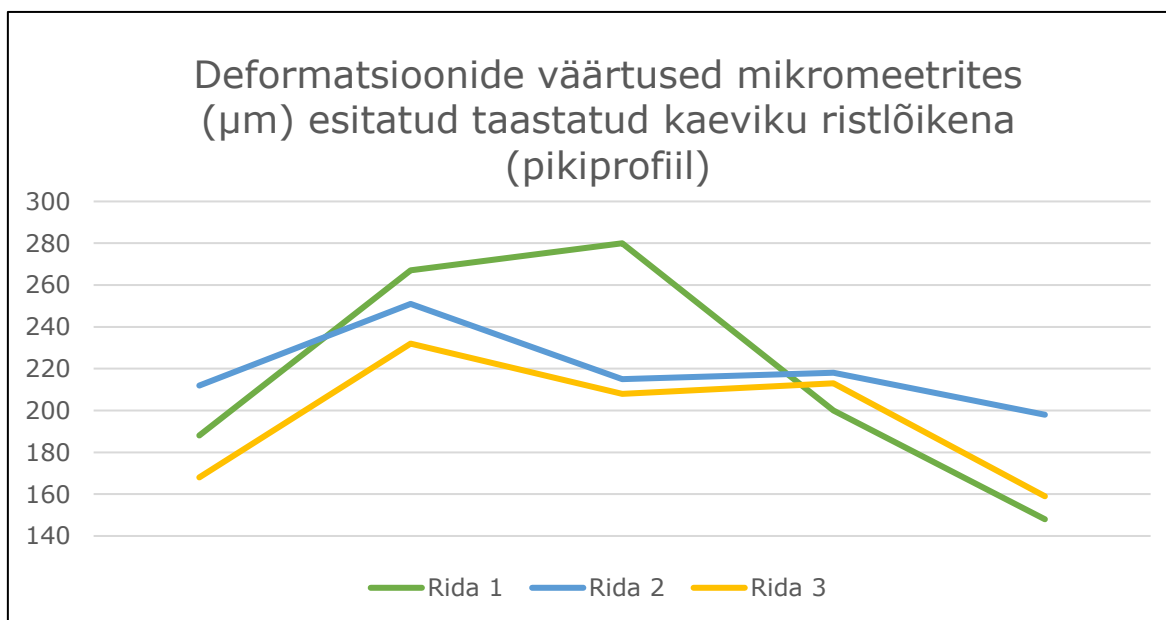
Joonis 5.16 Sügise tänava 8 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,74 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.17, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.18 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

Kõnnitee											
Äärekivi											
					188	267	280	200	148		
					212	251	215	218	198		
					168	232	208	213	159		
Äärekivi											
Kõnnitee											

Joonis 5.17 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



Joonis 5.18 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Vana katte deformatsioonid on ühtlased ja madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid. Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased välja arvatud äärekivi poolse üleminekuala

deformatsiooni väärtused 267 (μm) ja 280 (μm). Suure deformatsiooniga äärekivi poolse ülemineku ala põhjuseks võiks olla väga halvasti tihendatud taastäitmiseks materjal.

Kaeviku üleminekuvalade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Randvere tee 51

Katseobjekt Pirita linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantii. AKÖL antud katseobjektile on 7660 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 16.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 18.04.2023. Deformeeritavuse ja tasasuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C.



Joonis 5.19 Randvere tee 51 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

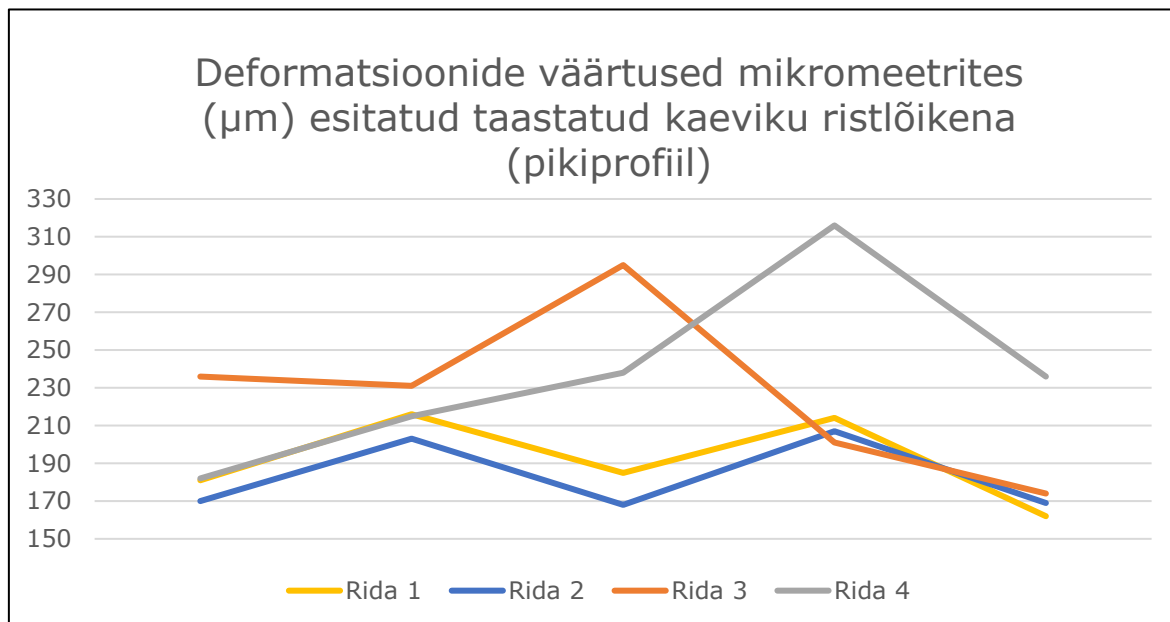
Kaeviku sügavus oli 1,73 m. Teostatud tööde käigus teostati veetoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.20, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid

möödetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.21 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt möödetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

				Kõnnitee			Kaev			
Äärekivi										
		181		216	185	214	162			
		170		203	168	207	169			
						Kaev				
		236		231	295	201	174			
		182		215	238	316	236			
Äärekivi							Äärekivi			
Äärekivi			Mahasõit				Äärekivi			

Joonis 5.20 Möödetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



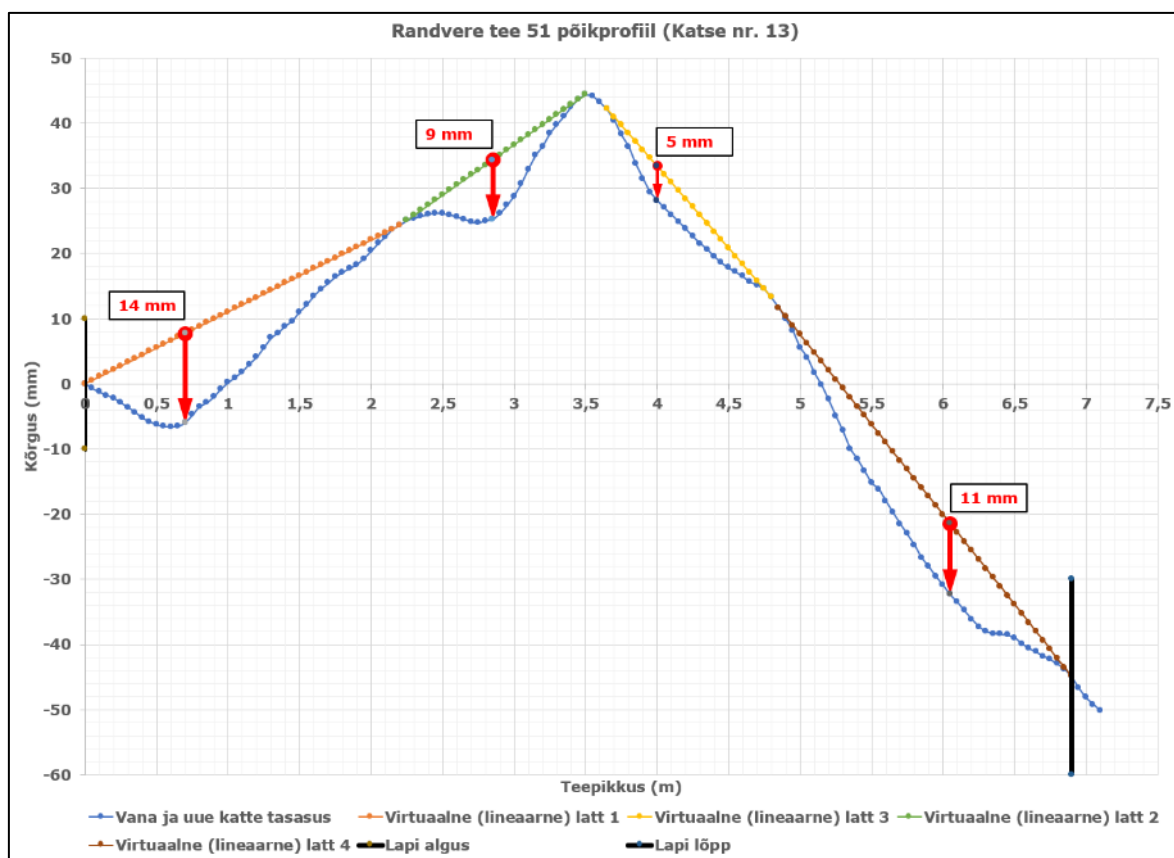
Joonis 5.21 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Kaeviku üleminekualade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud

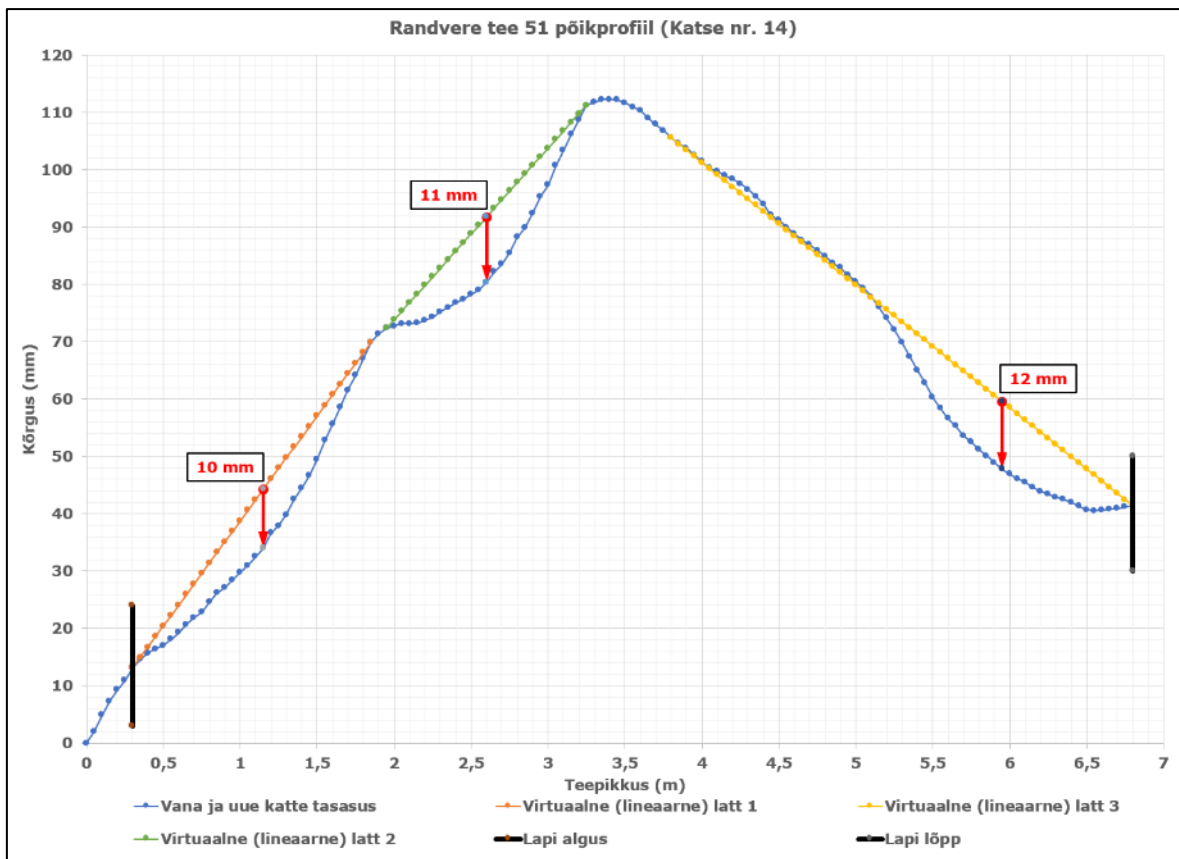
katendi ressurs on vähem, kui vana katendi ressurs ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Lisaks deformatsiooni väärtustest skeemi alumisel sõidurajal esinevad deformatsioonid nii vana kattel, kui ka uuel kattel ning võrreldes ülemise sõidurajaga alumise sõiduraja deformatsioonid on suuremad. Alumise sõiduraja all asuvad kaks kanalisatsiooni trasse ja kogu sõidutee laiusega (risti) asub veetoru, mis oli ka remonditud avariikaevetöö käigus. Arvatavasti alumise sõiduraja all nii vana katte, kui ka uue katte konstruktsiooni kihtides tekkis leke mõlemate kanalisatsiooni torudes. Sõidutee laiuses (risti) alumisel sõidurajal tekkis samamoodi leke veetorus. Remonditud veetoru võib lekkida seoses ebakvaliteetse veetoru remondiga. Kuna vesi koguneb konstruktsiooni kihtides ja teeb kihid pehmeks, siis need kihid vajuvad tulevikus ning juurde vajuvad ka asfaldikihid.

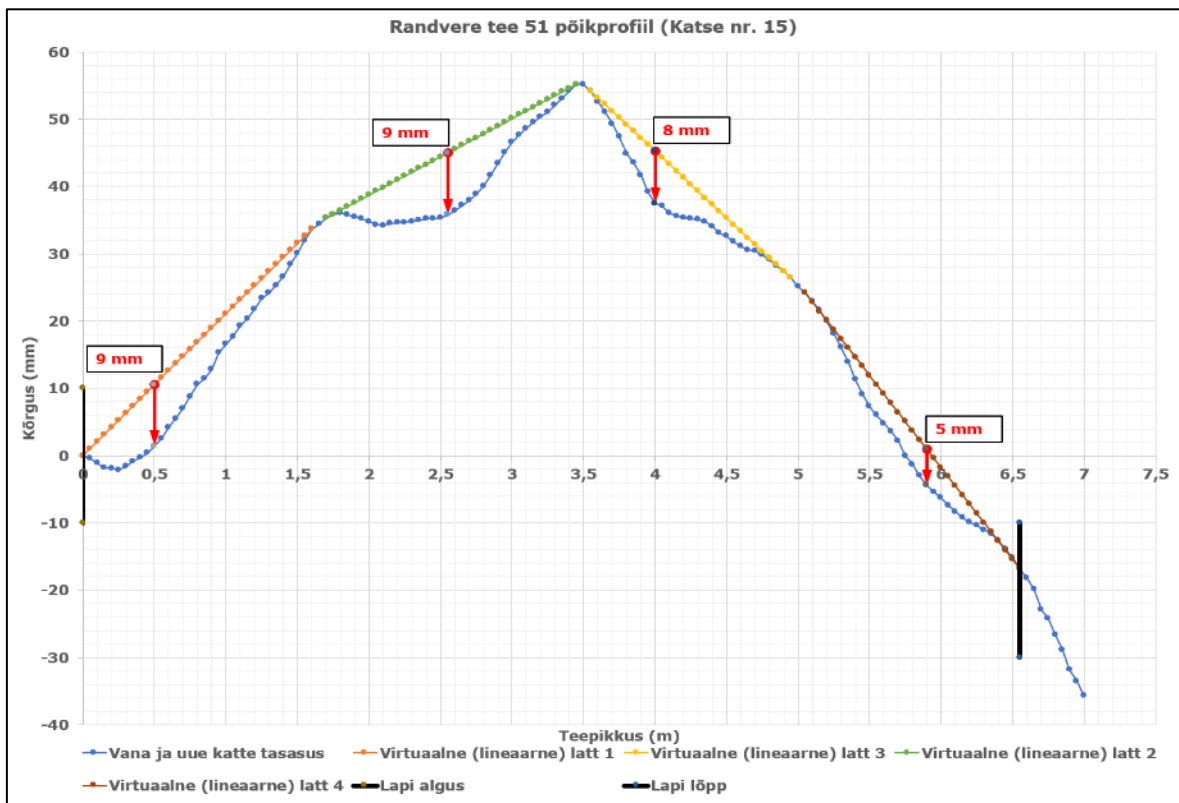
Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasetuse väärtused on esitatud joonistel 5.22, 5.23 ja 5.24, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.22 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasetuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.23 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.24 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 13 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil mõlematel sõiduradadel. Mahasõidu juures parempoolisel sõidurajal lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 11 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 5 mm. Vasakpoolisel sõidurajal lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 14 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 9 mm. Roopad asuvad kaeviku üleminekualal.

Katse nr. 14 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil mõlematel sõiduradadel. Mahasõidu juures parempoolisel sõidurajal lapitud katendil esineb parempoolne roobas sügavusega 12 mm ja vasakpoolne roobas puudub. Vasakpoolisel sõidurajal lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 10 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 11 mm. Roopad asuvad lapitud katendil, kus oli tehtud tasandusfreesimine.

Katse nr. 15 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil mõlematel sõiduradadel. Mahasõidu juures parempoolisel sõidurajal lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 5 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 8 mm. Vasakpoolisel sõidurajal lapitud katendil esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 9 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 9 mm. Roopad asuvad kaeviku teljel.

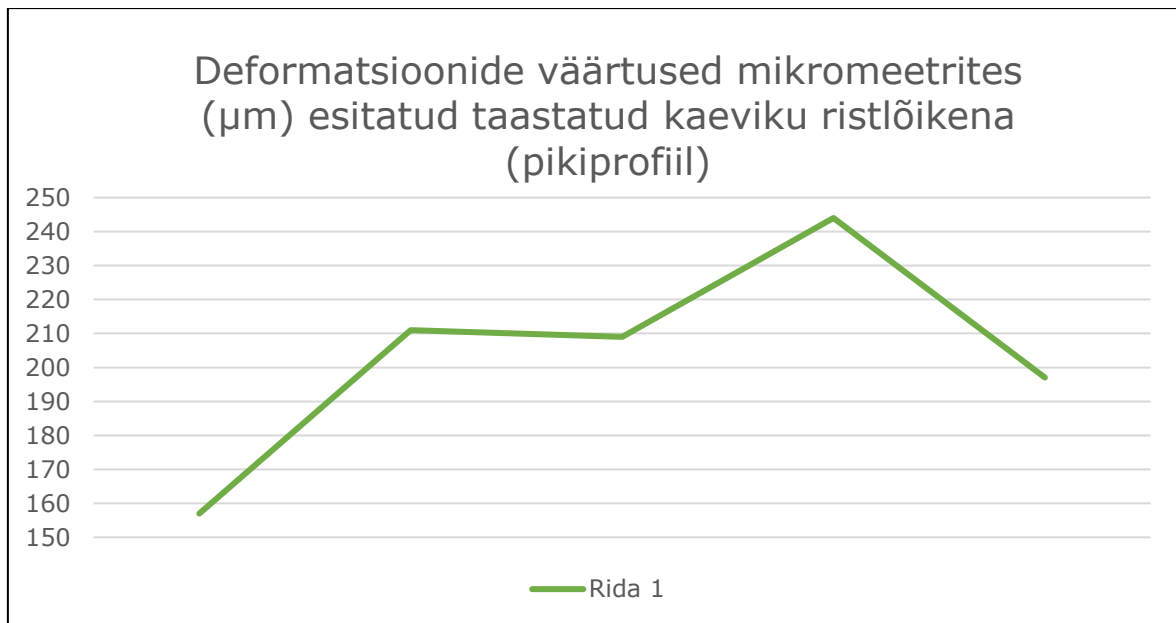
Mõlematel sõiduradadel roobaste rattavahe on 2 m. Seega tasasuse graafikutelt loeb välja, et jäljed mõlematel sõiduradadel on üksikratastega raskesõiduki jäljed ehk läbivajumine, mitte teekatte kulumine.

3 kuuga taastatud katendil esinevad keskmised roopad. Teekatte seisukord on rahuldav, kuna juba esinevad roopad vahemikus 10-20 mm.

Teekattes olevad roopad on märgatavad. Vihmase ilmaga hakkab roobastesse kogunema vesi. Teekasutaja hakkab sõidutrajektoori valima. 1-3 aasta jooksul tuleks roopad kõrvaldada [20].

Vabriku tänav 4

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantii. AKÖL antud katseobjektile on 4520 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 14.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 16.04.2023. Deformeeritavuse ja tasasuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C.

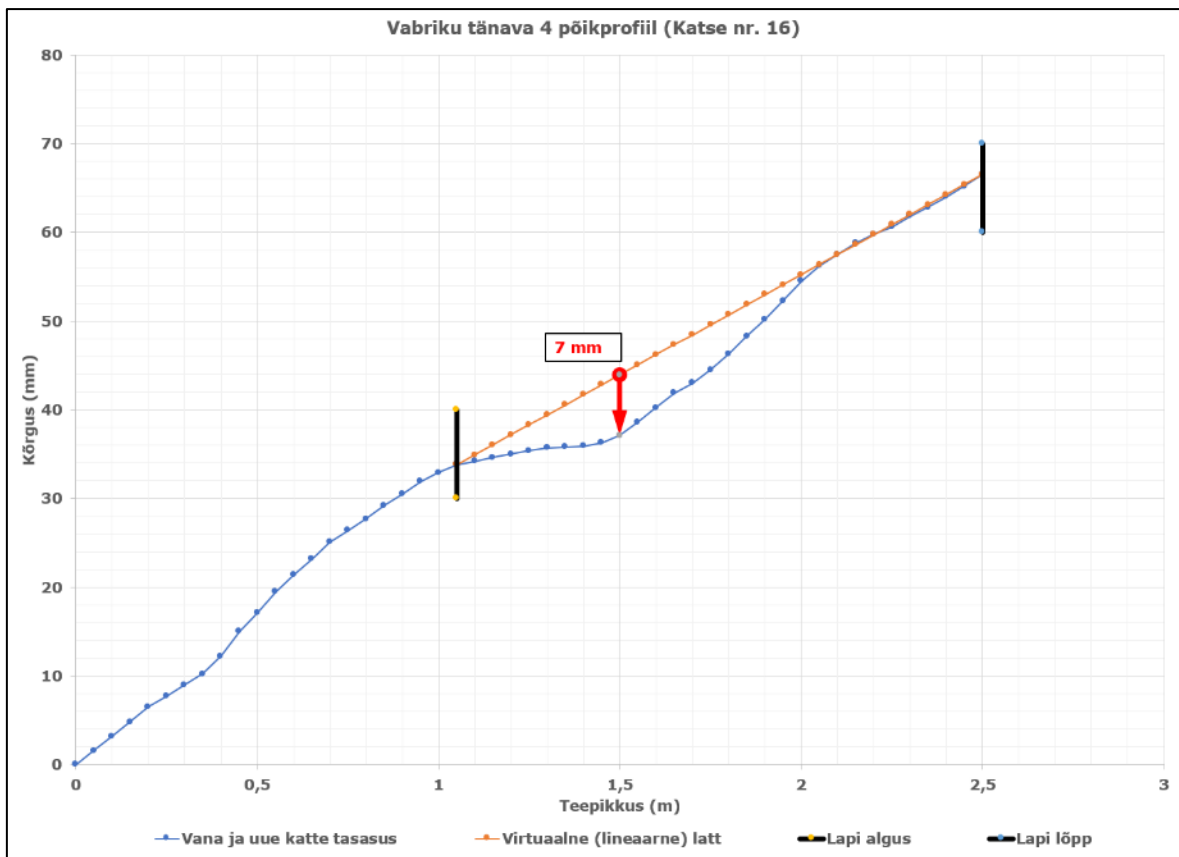


Joonis 5.27 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

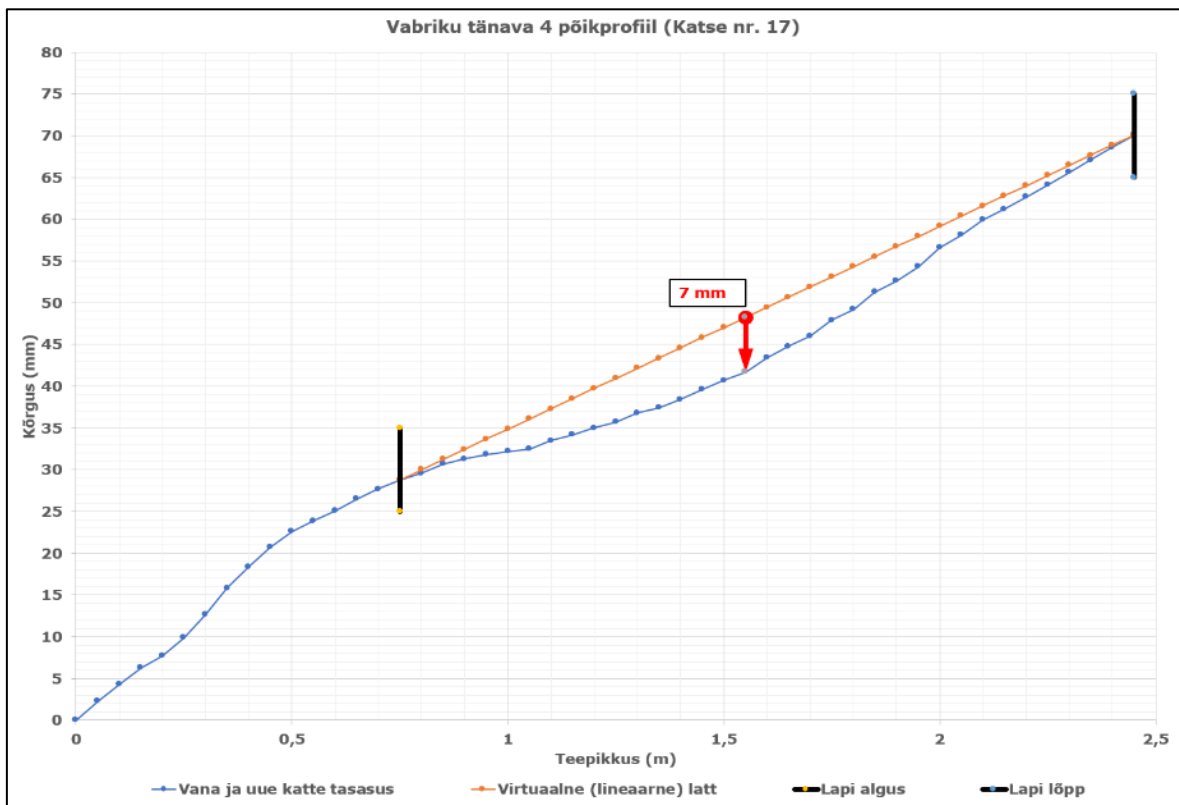
Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

Kaeviku üleminekuvalade ja kaeviku telje kandevõimed on nõrgemad, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonistel 5.28 ja 5.29, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.28 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.29 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 16 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil ühesuunalise liikluse pool sõidurajal. Lapitud katendil pool sõidurajal esineb roobas sügavusega 7 mm. Roobas asub kaeviku üleminekualal.

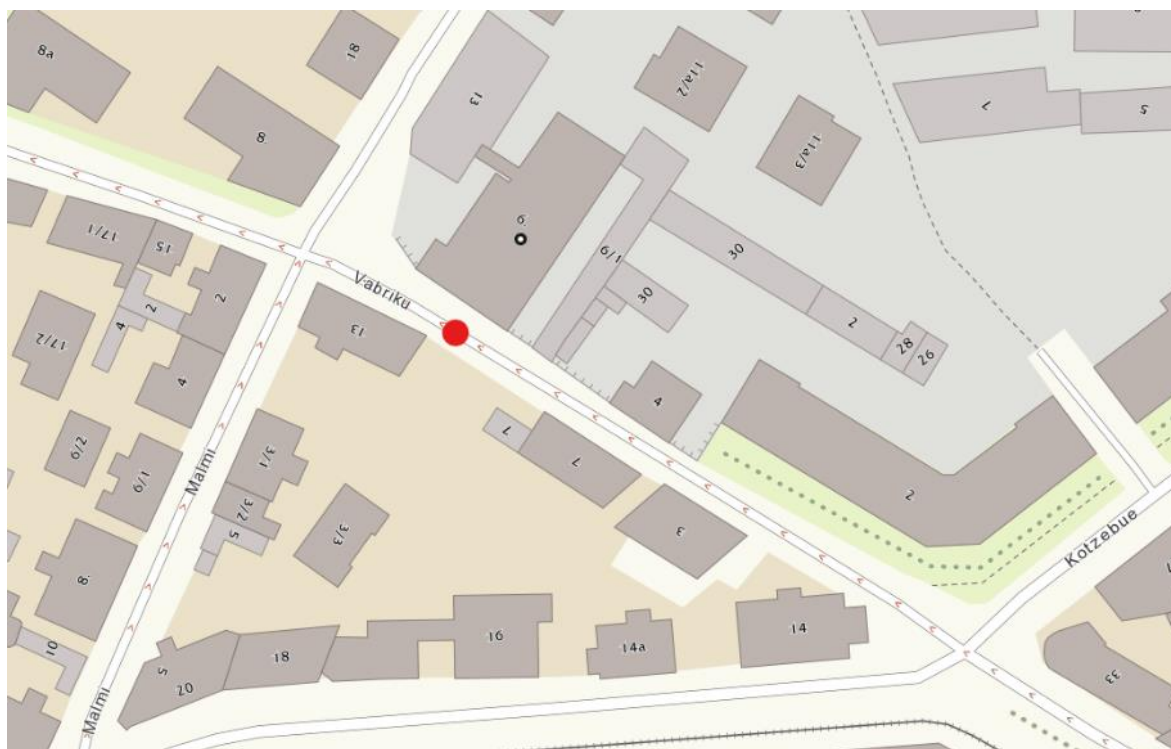
Katse nr. 17 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil ühesuunalise liikluse pool sõidurajal. Lapitud katendil pool sõidurajal esineb roobas sügavusega 7 mm. Roobas asub kaeviku üleminekualal.

3 kuuga taastatud katendil esineb väike roobas. Teekatte seisukord on hea, kuna juba esineb roobas vahemikus 5-10 mm.

Teekattel ei ole roopaid märgata ning nende sügavus ei avalda mõju teekasutajale [20].

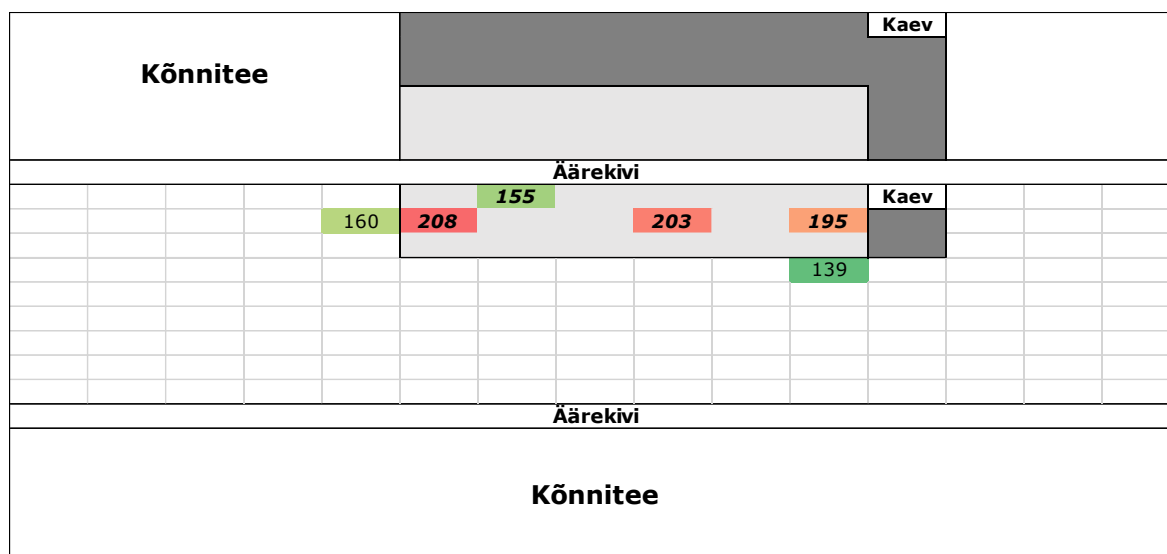
Vabriku tänav 6

Katseobjekt asub Põhja-Tallinna linnaosas. Tegemist värske katseobjektiga, mis on tehtud 2023. aastal ja kus veel kehtib 2-aastane garantiaeg. AKÖL antud katseobjektil on 4520 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 14.04.2023 ja taastatud katend oli asfalteeritud 16.04.2023. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 20.07.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 19°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



Joonis 5.30 Vabriku tänava 6 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.31, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.32 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Deformatsioonide väärtused mikromeetrites (μm) esitatud taastatud kaeviku ristlõikena (pikiprofiil)

Point	Deformation (μm)
1	160
2	208
3	205
4	140

Rida 1

Joonis 5.32 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

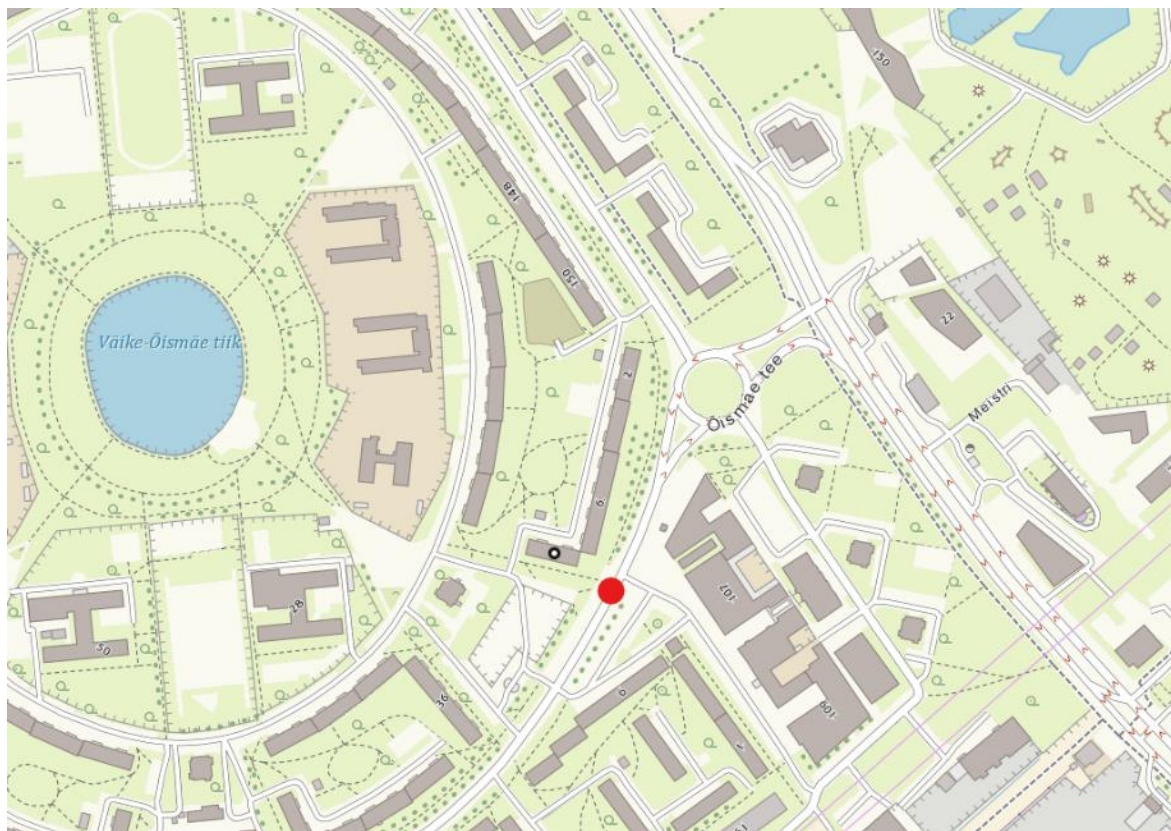
Kaeviku ala deformatsioonid on ühtlased välja arvatud äärekivi juures. Samas vana katte deformatsioonid on ka ühtlased, aga on madalamad, kui kaeviku ala deformatsioonid.

Deformeeritavuse mõõtmised ei olnud teostatud kõnnitee pealt, sest puudub kõnniteel mingisugune liikluskoormus ja ei saa hinnata adekvaatselt kõnnitee deformeeritavust.

Kogu kaeviku ala kandevõime on nõrgem, kui vana katte kandevõime. Järelduseks tuleb et taastatud katendi konstruktsiooni kandvõime on vähem, kui vana katendi konstruktsiooni kandevõime ning seoses sellega taastatud katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Õismäe tee 8

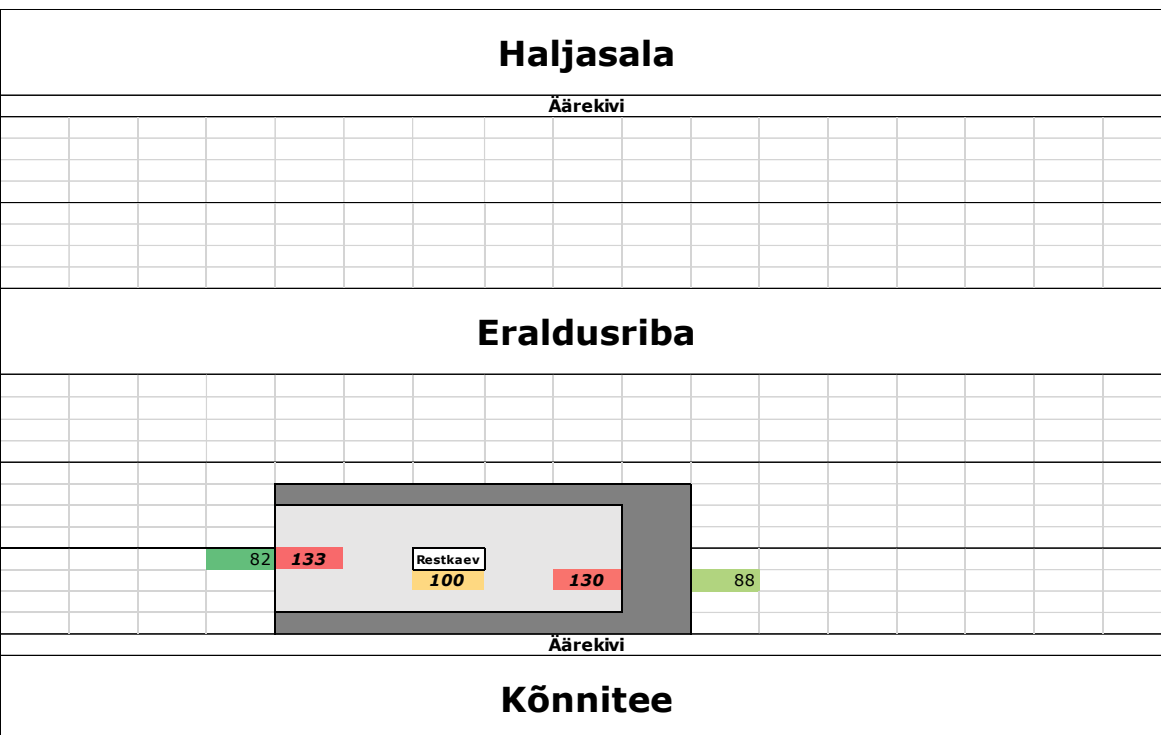
Katseobjekt asub Haabresti linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiaeg on juba möödunud. AKÕL antud katseobjektil on 16680 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 29.07.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 31.07.2021. Deformeeritavuse ja tasasuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



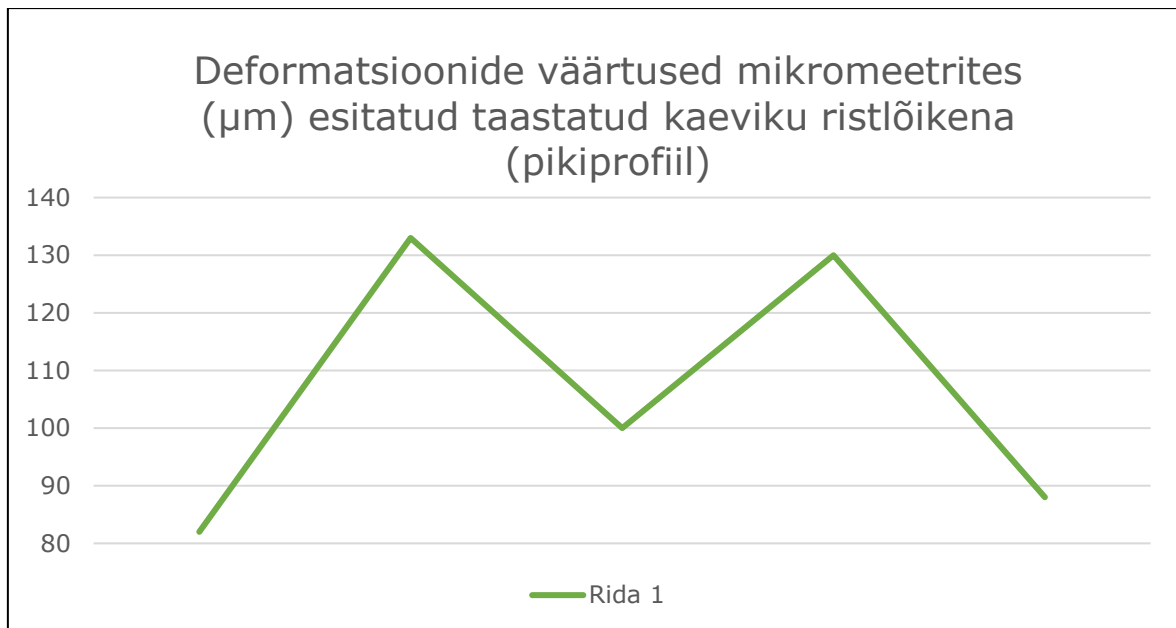
Joonis 5.33 Õismäe tee 8 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,91 m. Teostatud tööde käigus teostati kaevu remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.34, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.35 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



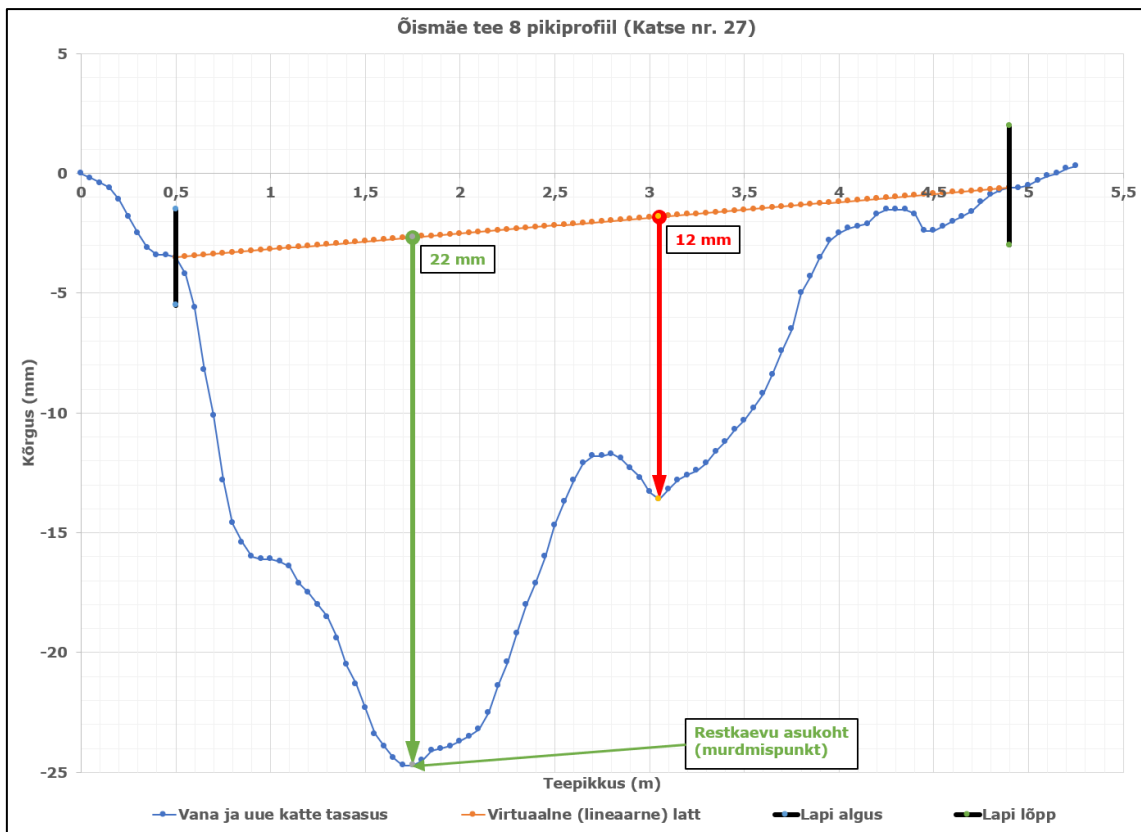
Joonis 5.34 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.



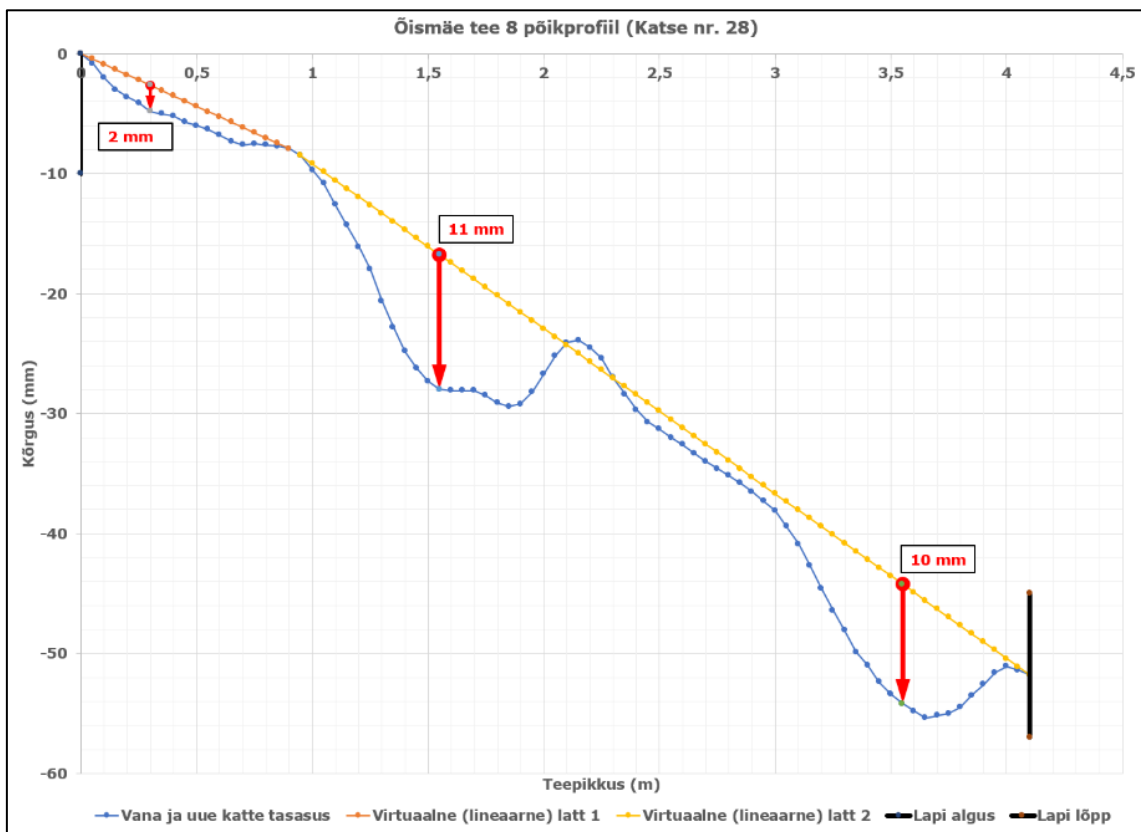
Joonis 5.35 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformatsioonide väärtuste mõõtetulemustest on näha et kaeviku telg on tugev, kui kaeviku üleminekualad. Samas kaeviku telg on nõrgem, kui vana katte konstruktsioon. Sel katseobjektil töötab Karel Vergi teooria, et kaeviku üleminekuala kandevõime on madalam kui uue konstruktsiooni kandevõime kaeviku teljel ja vanal töödest mõjutamata konstruktsioonil. Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus laiendamata.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonistel 5.36 ja 5.37, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.36 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.37 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 27 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil parempoolsel sõidurajal. Graafikus on näha, et kõige suurem vajum oli 22 mm ning see asub kaeviku teljel. Kohapeal olukorda hindades on näha, et restkaev asub murdmispunktis, kuhu vesi voolab pikikalletega nii vasaku, kui ka parema poolt. Seega ei saa arvestada 22 mm pikivajumit, sest on tegemist vee ärajuhtimisega, kus restkaev ja pikivajum täpselt asuvad murdmispunktis. Selle olukorra arvestades saab järeldada et teine maksimaalne pikivajumi sügavus oli 12 mm ning see asub kaeviku üleminekualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud vasakul ja paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine vasakul pool ja kaeviku kaks korda nõrgemad üleminekualad, kui vana kattel.

Katse nr. 28 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil keskmisel ja parempoolsel sõidurajadel. Äärekivi juures parempoolsel sõidurajal esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 10 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 11 mm. Kuna tööde käigus keskmisel sõidurajal tehti tasandusfreesimist kaeviku servast kuni keskmise sõiduraja keskpunktini, siis olid ka tasasuse mõõtmised tehtud vanal ja lapitud katendil poole keskmisel sõidurajal, kus keskmisel sõidurajal esines parempoolne roobas 2 mm sügavusega. Roopad asuvad kaeviku kohal.

Parempoolsel sõidurajal roobaste rattavahe on 2 m. Seega tasasuse graafikult loeb välja, et jäljed parempoolsel sõidurajal on üksikratastega raskesõiduki jäljed ehk läbivajumine, mitte teekatte kulumine.

2 aastaga taastatud katendil esinevad keskmised vajumid ja roopad. Teekatte seisukord on rahuldav, kuna juba esinevad roopad vahemikus 10-20 mm.

Teekattes olevad roopad on märgatavad. Vihmase ilmaga hakkab roobastesse kogunema vesi. Teekasutaja hakkab sõidutrajektoori valima. 1-3 aasta jooksul tuleks roopad kõrvaldada [20].

Sõpruse puiestee 219

Katseobjekt asub Mustamäe linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiiäeg on juba möödunud. AKÖL antud katseobjektile on 36380 autot/ööp. Kaevetööde algus oli 08.06.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 10.06.2021. Deformeeritavuse ja tasasuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



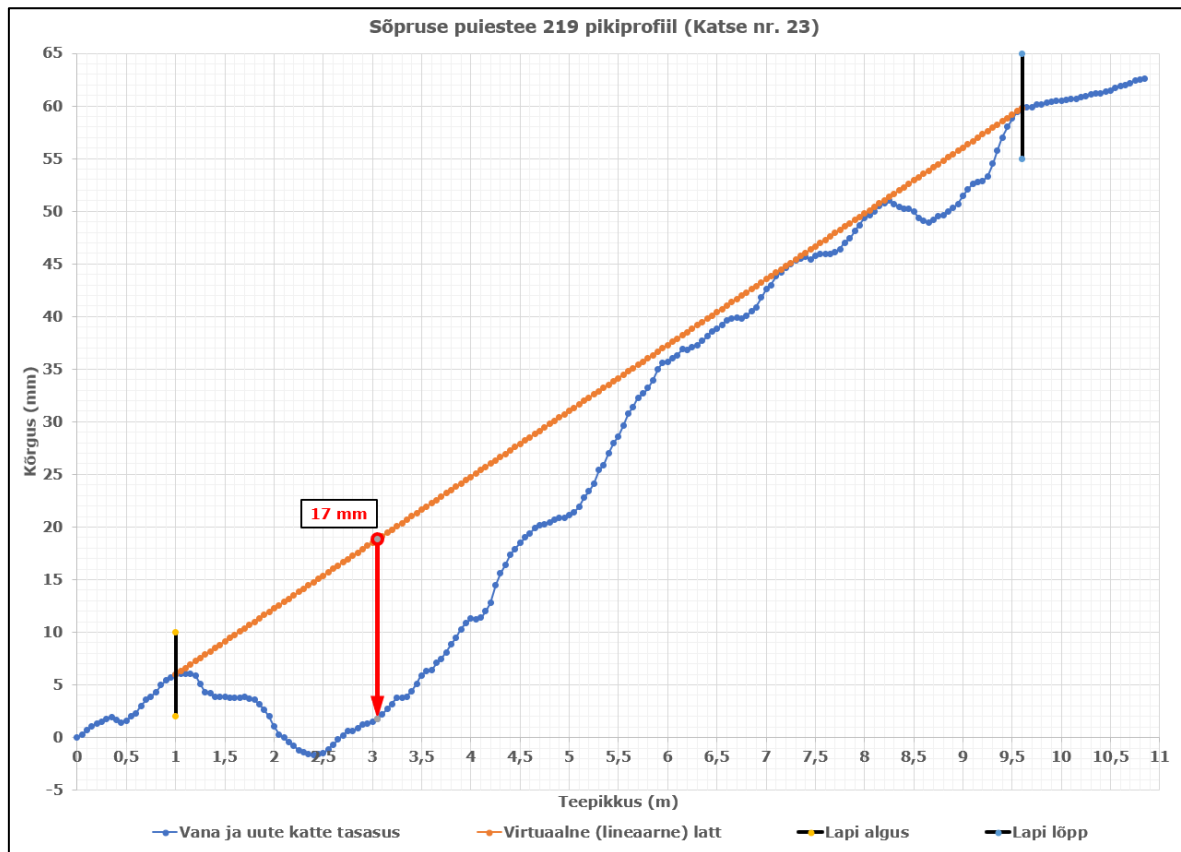
Joonis 5.38 Sõpruse puistee 219 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 2,00 m. Teostatud tööde käigus teostati kaevu remonti.

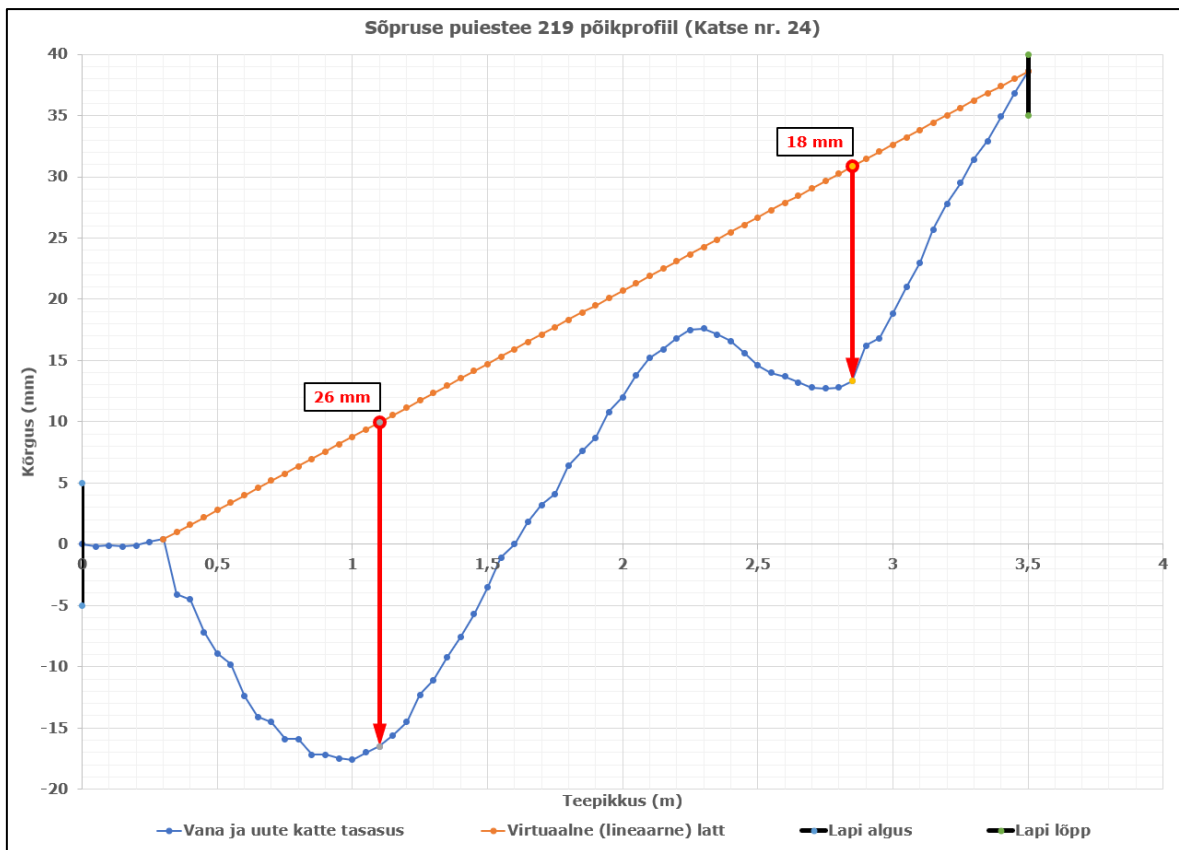
Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.39, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on lapitud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.40 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.

katendi ressurss on vähem, kui vana katendi ressurss ning tulevikus vajub kogu kaeviku taastatud ala.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonistel 5.41 ja 5.42, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused on esitatud meetrites (m).



Joonis 5.41 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.



Joonis 5.42 Katseobjekti sõidutee põikprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 23 oli tehtud sõidutee pikisuunaga vanal ja lapitud katendil parempoolsel sõidurajal. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 17 mm ning see asub kaeviku üleminekualal. Graafikust on näha olukord, kus lapitud katendi servast vana kate on ära vajunud vasakul ja paremal poolel ning selle tekkimise põhjuseks on kaeviku nõrgemad üleminekualad, kui vana kattel.

Katse nr. 24 oli tehtud sõidutee põiksuunaga vanal ja lapitud katendil parempoolsel sõidurajal. Äärekivi juures parempoolsel sõidurajal esinevad roopad, kus parempoolse roopa sügavus oli 26 mm ja vasakpoolse roopa sügavus oli 18 mm. Roopad asuvad kaeviku kohal.

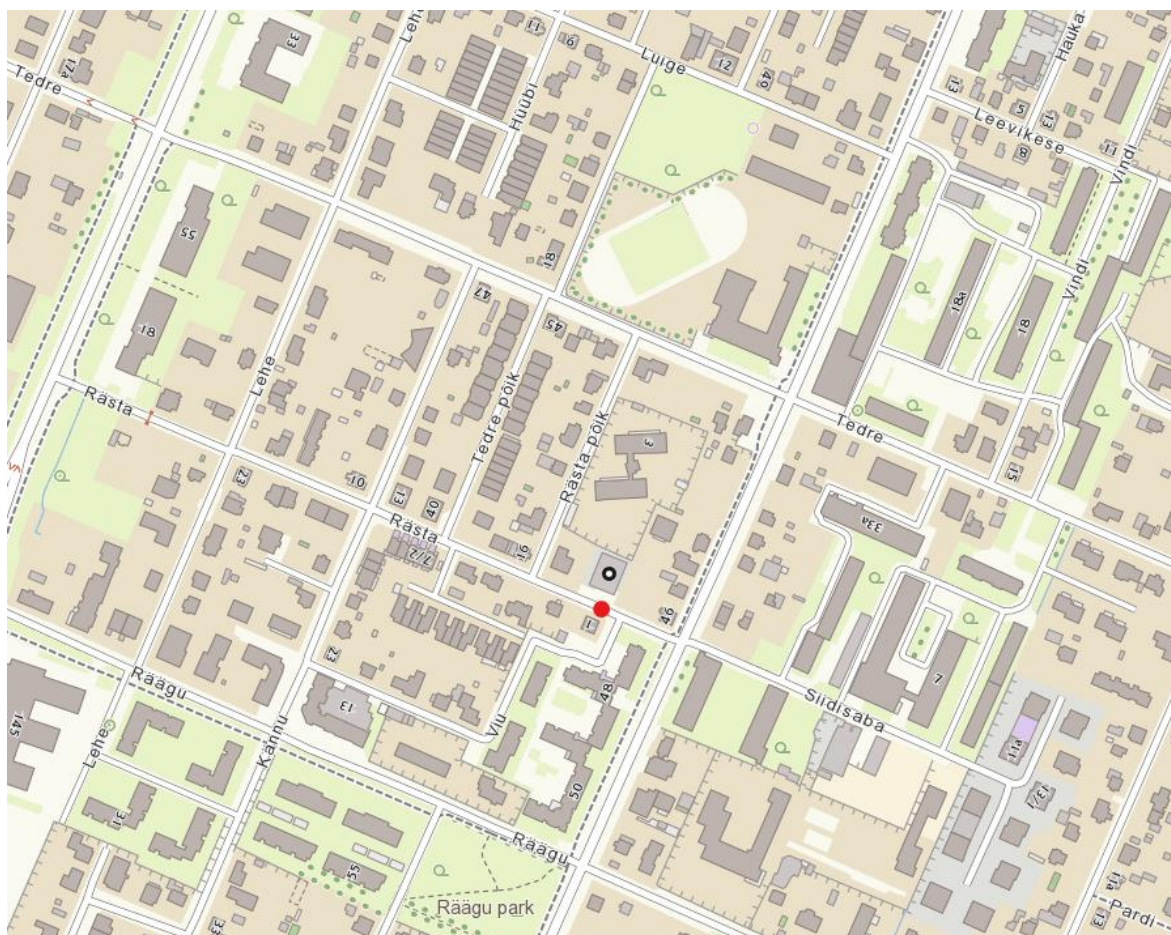
Parempoolsel sõidurajal roobaste rattavahe on 1,75 m. Seega tasasuse graafikult loeb välja, et jäljed parempoolsel sõidurajal on paarisratastega raskesõiduki jäljed ehk läbivajumine, mitte teekatte kulumine.

2 aastaga taastatud katendil esinevad suured pikivajumid ja roopad. Esineb probleem taastatud katendi konstruktsiooni liiva- ja killustiku kihtides, kus arvatavasti olid halvasti tihendatud need kihid. Teekatte seisukord on halb, kuna juba esinevad roopad vahemikus 20-30 mm.

Roopad on teekattel selgelt eristatavad ja nad hakkavad mõjutama nii sõidutrajektoori kui ka kiirust. Vihmase ilmaga koguneb roobastesse palju vett ja tekib oht sattuda vesiliugu. Roopad tuleks kõrvaldada [20].

Rästa tänav 2a

Katseobjekt asub Kristiine linnaosas. Tegemist vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiaeg on juba möödunud. AKÕL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 31.03.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 02.04.2021. Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C. Kuna asfalteeritud lapp oli ilma vajumiteta ja ilma roobasteta, siis tasasuse mõõtmist ei teostanud.



Joonis 5.43 Rästa tänava 2a mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,20 m. Tööde käigus teostati kaevu remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonises 5.44, kus helehalli värviga ala on kaeviku

Sillutiskivi (Kartano)

The diagram illustrates a road cross-section with the following dimensions and labels:

- Äärekivi** (Edge Stone): Located at the top center of the road surface.
- Käev** (Ditch): Located in the center of the road surface, with a width of **153**.
- Central Road Surface Width:** **249**
- Left Shoulder Width:** **355**
- Right Shoulder Width:** **323**
- Total Width:** **927**

Deformatsioonide väärtused mikromeetrites (μm) esitatud taastatud kaeviku ristlõikena (pikiprofiil)

Position (approx. %)	Deformation Value (μm)
0	350
25	250
50	155
75	185
100	325

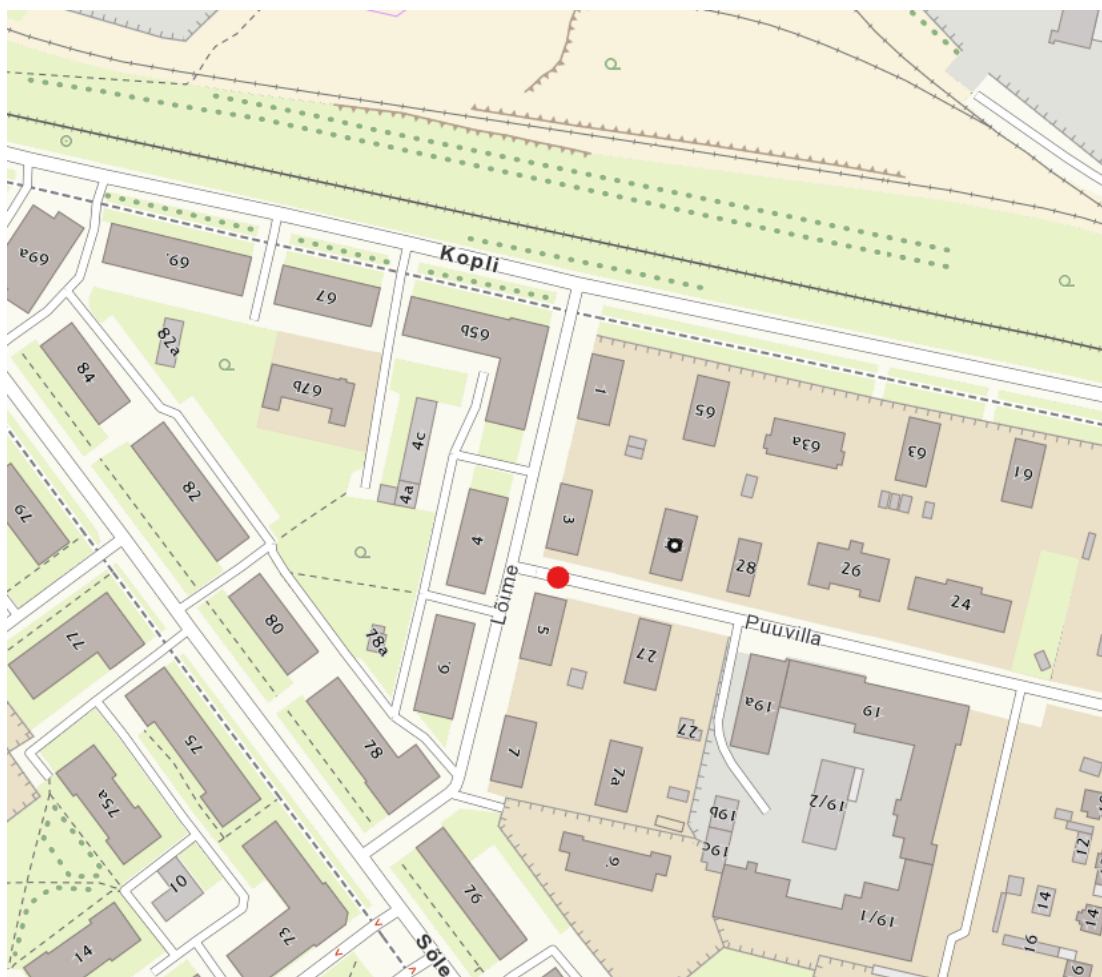
Deformatsioonide väärtuste mõõtetulemustest on näha et kaeviku üleminekuvalad on nõrgemad, kui kaeviku telg. Sel katseobjektil töötab Karel Vergi teooria, et kaeviku üleminekuvala kandevõime on madalam kui uue konstruktsiooni kandevõime kaeviku

teljel. Kaevetööde käigus kaeviku seinas hõrenenud materjali ei ole võimalik piisavalt tihendada ilma kaevikut töö käigus laiendamata.

Vana katte deformatsioonid on kõrged, kate on visuaalselt kehvast seisust ja antud juhul ei ole kahtlust, et uus konstruktsioon on parem kui vana.

Puuvilla tänav 32

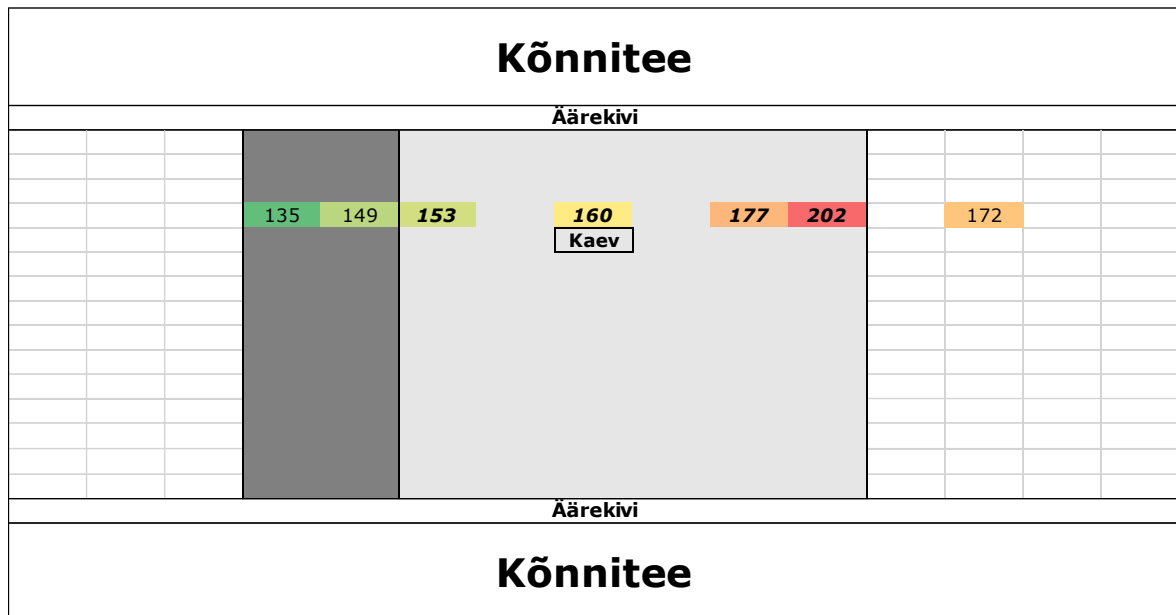
Katseobjekt asub Haabreesti linnaosas. Tegemist on vana katseobjektiga, mis oli tehtud 2021. aastal ja kus 2-aastane garantiiäeg on juba möödunud. AKÖL antud katseobjektile ei saanud arvutada, sest puudusid mõlemate sõidusuundade liiklussageduse arvud. Kaevetööde algus oli 20.01.2021 ja taastatud katend oli asfalteeritud 22.01.2021. Deformeeritavuse ja tasetuse mõõtmised olid teostatud 01.08.2023. Ilmastikuline olukord mõõtmiste ajal: kuiv, temp 20°C.



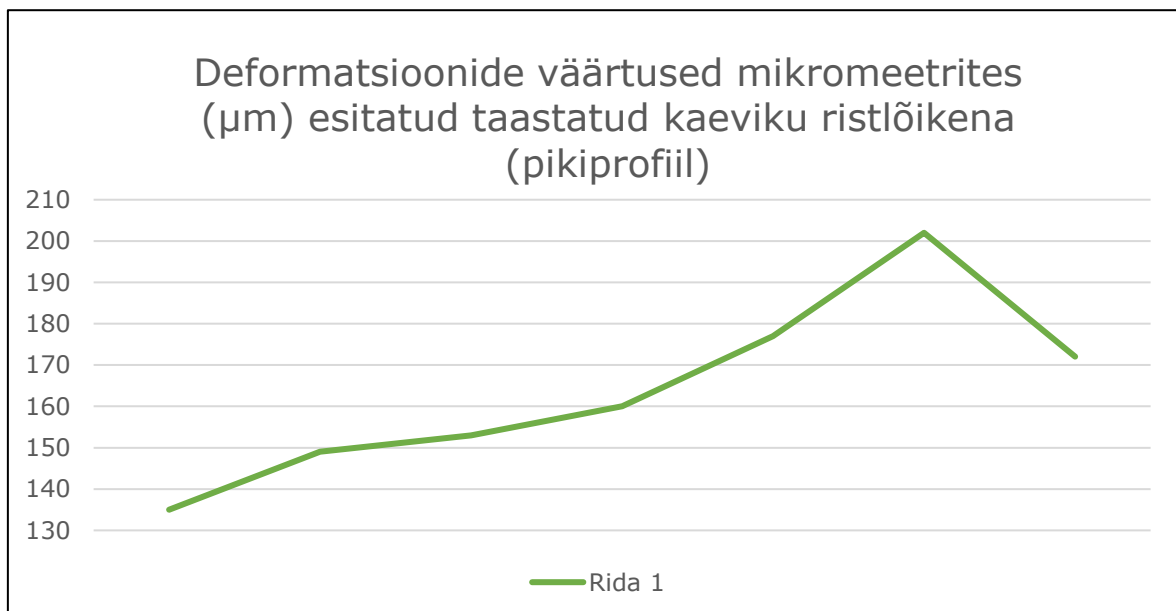
Joonis 5.46 Puuvilla tänava 32 mõõtmiste asukohaskeem märgistatud punase täpiga.

Kaeviku sügavus oli 1,91 m. Teostatud tööde käigus teostati kanalitoru remonti.

Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga mõõdetud deformeeritavuse väärtused on esitatud mikromeetrites (μm) joonisel 5.47, kus helehalli värviga ala on kaeviku asukoht ja tumehalli värviga ala on taastatud katendi uus asfalt. Deformeeritavused olid mõõdetud kaeviku ja vana katendi pealt. Joonisel 5.48 on esitatud deformeeritavuse väärtused vastavalt mõõdetud tulemustele. Mida suurem arv, seda suurem deformatsioon.



Joonis 5.47 Mõõdetud deformeeritavused asfalteeritud lapi ja vana katte pealt.

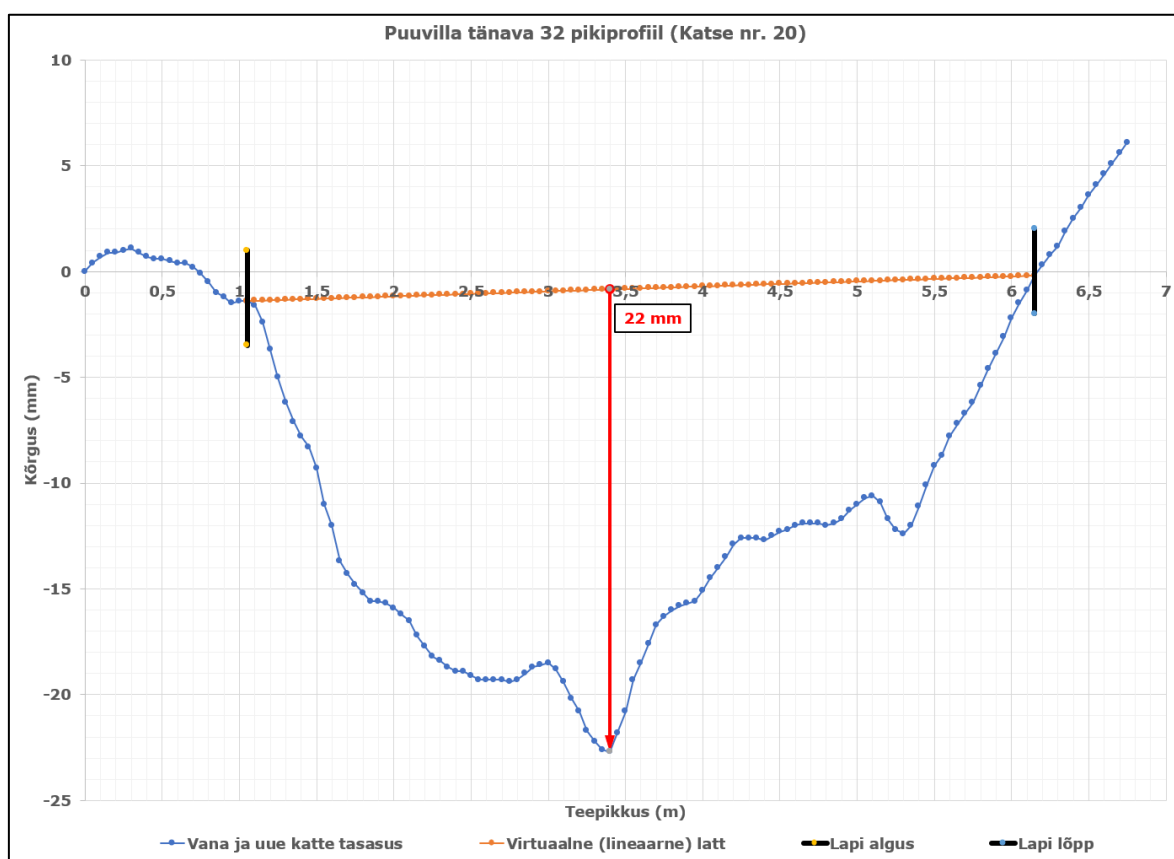


Joonis 5.48 Deformeeritavuse väärtuste illustreeriv graafik kaeviku ristlõikena.

Deformeeritavuse mõõtetulemustest on näha kuidas deformatsioonid hakkavad järjest suuremaks minema alates vana kattest uue katteni.

Vana katend on tugevam, kuna vasakul on ülekattega tehtud osa tugevam kui lapp ja paremal vana katend on tugevam kui lapp vahetult kõrval. Parempoolne vana katendi deformatsiooni tulemus on kehvem kui vasakpoolse vana katendi deformatsiooni tulemus, selle põhjuseks võiks olla ebaühtlase vana katte paksusega.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdetud tasasuse väärtused on esitatud joonisel 5.49, kus Y-teljel on kõrguste väärtused esitatud millimeetrites (mm) ja X-teljel on teepikkuse väärtused esitatud meetrites (m).



Joonis 5.49 Katseobjekti sõidutee pikiprofiili tasasuse väärtuste illustreeriv graafik.

Katse nr. 20 oli tehtud sõidutee pikisuunas vanal ja lapitud katendil. Maksimaalne pikivajumi sügavus oli 22 mm ning see asub kaeviku teljel kaevu juures. Ristmiku pool on kaeviku üleminekuala ja vana katte deformatsioonid väiksemad ning graafikust on näha olukord et pikivajumid on samuti väiksemad (umbes 2 korda väiksem). Graafikust on näha, et lapitud katendi servast ühel poolel vana kate on ära vajunud ning selle põhjuseks on teostamata tasandusfreesimine ja kaeviku nõrk üleminekuala.

2 aastaga taastatud katendil esinevad suured pikivajumid. Esineb probleem taastatud katendi konstruktsioonis liiva ja killustiku kihtides, mis on arvatavasti halvasti tihendatud ehituse ajal.

6 JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

6.1 Järeldused

Kokku katsetati 21 objekti:

- 6 objekti kaldega üleminekualaga (3 objekte suure ja 3 objekte väikse liiklussagedusega, mis oli tehtud 2023. aastal)
- 4 objekti kaldega üleminekualaga (2 objekte suure ja 2 objekte väikse liiklussagedusega, mis oli tehtud 2021. aastal)
- 7 objekti järsu üleminekualaga (4 objekte suure ja 3 objekte väikse liiklussagedusega, mis oli tehtud 2023. aastal)
- 4 objekti järsu üleminekualaga (2 objekte suure ja 2 objekte väikse liiklussagedusega, mis oli tehtud 2021. aastal)

Deformeeritavuse mõõtmised olid teostatud 21 objektil. Tasuse mõõtmised olid teostatud 11 objektil, kus oli selgelt silmaga näha vajumeid.

38% objektil oli tasandusfreesimine tehtud, 19% objektil oli tasandusfreesimine tegemata, 43% objektil oli tasandusfreesimine osaliselt tehtud.

Teekatte seisukorra hindamine oli tehtud roopa sügavuste Tabeli 6.1 järgi.

Tabel 6.1 Roopa sügavuste piirväärtused [20].

TEEKATTE SEISUKORD	ISELOOMUSTUS (SÕIDUOHUTUS JA MÕJU TEEKASUTAJALE)	ROOPA SÜGAVUSE PIIRID (MM)
Väga hea	Teekattel roopad puuduvad.	< 5
Hea	Teekattel ei ole roopaid märgata ning nende sügavus ei avalda mõju teekasutajale.	5 – 10
Rahuldav	Teekattes olevad roopad on märgatavad. Vihmase ilmaga hakkab roobastesse kogunema vesi. Teekasutaja hakkab sõidtrajektoori valima. 1-3 aasta jooksul tuleks roopad kõrvaldada.	10 – 20
Halb	Roopad on teekattel selgelt eristatavad ja nad hakkavad mõjutama nii sõidutrajektoori kui ka -kiirust. Vihmase ilmaga koguneb roobastesse palju vett ja tekib oht sattuda vesiliugu. Roopad tuleks kõrvaldada.	20 – 30
Väga halb	Teekattel olevad roopad on selgelt eristatavad ja nad mõjutavad sõidutrajektoori, kiirust ja ohutust. Roopad tekitavad teekasutajale liiklusohutlikke olukordi nii vihmase ilmaga kui ka kuivaga. Roopad tuleb koheselt kõrvaldada.	> 30

Magistritöö eesmärgiks oli kontrollida Karel Vergi teooriat, kus kaeviku üleminekuala kandevõime on madalam, kui uue konstruktsiooni kandevõime kaeviku teljel ja vanal töödest mõjutamata konstruktsioonil, lisaeesmärgina oli võrrelda millise üleminekuallaga taastatud katendil deformatsioon on kõige suurem. Lisaks oli vaja uurida kas Gapman käsiprofilomeetriga on näha seoseid ning oli vaja juurde teostada süvaanalüüsi lappidel tekkinud roobaste ja pikivajumite kohta.

14% katsetatud objektidel töötas Karel Vergi teooria, kus olid nõrgad kaeviku üleminekuallad ja tugev kaeviku telg. Kaeviku üleminekuallad olid nõrgemad, kui vana kate ja kaeviku telg. Kaeviku telg oli tugevam, kui kaeviku üleminekuallad.

19% katsetatud objektidel ei saanud adekvaatselt hinnata, kuna kas uue ja vana katete deformatsioonid olid ühtlased või uus kate oli tugevam, kui vana kate.

67% katsetatud objektidel kaeviku ala deformatsioonid olid ühtlased ja suuremad, kui vana katte deformatsioonid. Siit tuleb uus teooria et kogu kaeviku ala kandevõime (sealhulgas kaeviku üleminekuallad ja kaeviku telg) on nõrgem, kui vana katte kandevõime. Enamasti objektidel kogu kaeviku deformatsioonid olid kaks korda suuremad, kui vana katte deformatsioonid.

Tabel 6.2 Maksimaalsed roobaste sügavused ja deformatsioonid 2023. aastal tehtud objektidel.

Nr.	Objekti aadress	Kaevik tehtud	Mõõtmiste kuupäev	Maksimaalne roopa sügavus (mm)	Maksimaalne roopa deformatsioon (µm)	Kaeviku sügavus (m)	AKÖL autot/ööp	Kaeviku üleminekuala
1	Vabriku tn 4	16.04.2023	20.07.2023	7	244	1,65	4520	Järsk
2	Randvere tee 51	18.04.2023	20.07.2023	14	214	1,73	7660	Järsk
3	J. Vilmsi tn 32	22.04.2023	20.07.2023	34	210	2,11	9160	Järsk

Tabel 6.3 Maksimaalsed roobaste sügavused ja deformatsioonid 2021. aastal tehtud objektidel.

Nr.	Objekti aadress	Kaevik tehtud	Mõõtmiste kuupäev	Maksimaalne roopa sügavus (mm)	Maksimaalne roopa deformatsioon (µm)	Kaeviku sügavus (m)	AKÖL autot/ööp	Kaeviku üleminekuala
1	Õismäe tee 8	31.07.2021	01.08.2023	11	133	1,91	16680	Järsk
2	Ehitajate tee, Õismäe tee 179	21.04.2021	01.08.2023	16	144	1,50	29960	Kaldega
3	Sõpruse pst 219	10.06.2021	01.08.2023	26	103	2,00	36380	Järsk
4	Suur-Sõjamäe tn 6	23.09.2021	01.08.2023	25	243	2,15	37400	Kaldega

Tabel 6.4 Maksimaalsed pikivajumite sügavused ja deformatsioonid 2023. aastal tehtud objektidel.

Nr.	Objekti aadress	Kaevik tehtud	Mõõtmiste kuupäev	Maksimaalne pikivajum (mm)	Maksimaalne pikivajumi deformatsioon (µm)	Kaeviku sügavus (m)	Kaeviku üleminekuala	AKÖL autot/ööp
1	Komeedi tn 4	02.07.2023	17.07.2023	4	256	2,15	Järsk	-

Tabel 6.5 Maksimaalsed pikivajumite sügavused ja deformatsioonid 2021. aastal tehtud objektidel.

Nr.	Objekti aadress	Kaevik tehtud	Mõõtmiste kuupäev	Maksimaalne pikivajum (mm)	Maksimaalne pikivajumi deformatsioon (µm)	Kaeviku sügavus (m)	Kaeviku üleminekuala	AKÖL autot/ööp
1	Ehitajate tee, Õismäe tee 179	21.04.2021	01.08.2023	6	146	1,50	Kaldega	29960
2	Looga tn 15	07.04.2021	01.08.2023	14	266	1,85	Kaldega	-
3	Õismäe tee 8	31.07.2021	01.08.2023	12	130	1,91	Järsk	16680
4	Härjapea tn 23	19.02.2021	01.08.2023	15	193	1,96	Kaldega	1200
5	Sõpruse pst 219	10.06.2021	01.08.2023	17	89	2,00	Järsk	36380
6	Puuvilla tn 32	22.01.2021	01.08.2023	22	160	2,15	Järsk	-
7	Suur-Sõjamäe tn 6	23.09.2021	01.08.2023	27	222	2,15	Kaldega	37400

Tabel 6.6 Maksimaalsed pikivajumite ja roobaste sügavused ning deformatsioonid 2021. aastal tehtud objektidel.

Nr.	Objekti aadress	Kaevik tehtud	Mõõtmiste kuupäev	Maksimaalne roopa sügavus (mm)	Maksimaalne roopa deformatsioon (µm)	Maksimaalne pikivajum (mm)	Maksimaalne pikivajumi deformatsioon (µm)	Pikivajumi sügavus % roopa sügavusest	Pikivajumi deformatsioon % roopa sügavusest	Kaeviku üleminekuala
1	Õismäe tee 8	31.07.2021	01.08.2023	11	133	12	130	105%	98%	Järsk
2	Ehitajate tee, Õismäe tee 179	21.04.2021	01.08.2023	16	144	6	146	38%	101%	Kaldega
3	Sõpruse pst 219	10.06.2021	01.08.2023	26	103	17	89	64%	86%	Järsk
4	Suur-Sõjamäe tn 6	23.09.2021	01.08.2023	25	243	27	222	107%	91%	Kaldega

Tabelite 6.2 ja 6.3 järgi hindades tuleb uus järeldus roopa sügavuste kohta, kus on olemas tugev seos maksimaalsel roopa sügavusel ja AKÖL-il. Saab järeldada, et AKÖL-iga tõusuga, tõuseb ka roobaste sügavused lapil ehk mida suurem AKÖL, seda suurem roopa sügavus. Suure tõenäosusega ASTV paigaldab AC base asfaldikihi asemel AC surf asfaldikiht. Suvel lähevad AC surfi kihid pehmemaks ning liikluskooormuse all roobaste tekkimine tuleb kiiremini, kui tavapäraselt AC base ja AC surf paigaldatud asfaldikihtidega.

Tabel 6.7 Teede gruppidesse jagamine.

Maantee liik	Liiklussagedus, autot/ööp.					
	> 6000	6000-3001	3000-1001	501-1000	500-201	<=200
Põhimaanteed maanteelõigud	C1	C1	C2	C2	*	*
Tugi- kõrvalteede maantee lõigud	C1	C2	C3	C3	C4	C4
Asulalõigud	D1	D2	D3	D4	D5	D6

Tabel 6.8 Teekatte seisukorra näitajate otsustuspiirid maanteelõikude gruppidel.

Näitaja	Maanteegrupp C1		Maanteegrupp C2		Maanteegrupp C3		Maanteegrupp C4	
	Hoiatus- piir	Kriitili- -ne piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -ne piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -ne piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -ne piir
IRI >	2,5	3	3	3,5	3,5	3,8	3,8	4,5
DEFSUM2 >	4	6	5	8	6	10	8	15
Roobas >	13	17	14	18	15	20	18	23

Tabel 6.9 Teekatte seisukorra näitajate otsustuspiirid asulalõikude gruppidel.

Näitaja	Asulalõigu grupp D1		Asulalõigu grupp D2		Asulalõigu grupp D3		Asulalõigu grupp D4		Asulalõigu grupp D5		Asulalõigu grupp D6	
	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir	Hoiatus- piir	Kriitili- -line piir
IRI>	3,5	4	4	4,5	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6	6,5
DEF SUM2>	4	6	5	8	6	10	6	10	8	15	8	15
Roobas >	14	18	14	18	15	20	18	23	20	25	25	30

Tabel 6.10 Kattega tee seisundinõuded [21].

Näitajad	Seisunditaseme nõuded			
	1	2	3	4
SÕIDUTEE KATE				
Nõutav keskmine IRI ¹ arv maanteedel, mm/m	10	8	5	3
Praod laiusega kuni 2,0 cm ja teekatte murenemine sügavusega kuni 2,5 cm (maanteed)	Võib esineda 15. novembrist 15. juunini	Võib esineda 15. novembrist 1. juunini	Võib esineda 15. novembrist 15. maini	Võib esineda 15. novembrist 15. maini
Praod laiusega kuni 2,0 cm ja teekatte murenemine sügavusega kuni 2,5 cm (tänavad)	Võib esineda 15. novembrist 1. juulini	Võib esineda 15. novembrist 15. juunini	Võib esineda 15. novembrist 1. juunini	Võib esineda 15. novembrist 1. juunini
Augud läbimõõduga alla 20,0 cm ja sügavusega 2,5 kuni 5,0 cm (maanteed)	Võib esineda 15. novembrist 15. juunini	Võib esineda 15. novembrist 1. juunini	Ei või esineda	Ei või esineda
Augud läbimõõduga alla 20,0 cm ja sügavusega 2,5 kuni 5,0 cm (tänavad)	Võib esineda 15. novembrist 1. juulini	Võib esineda 15. novembrist 15. juunini	Ei või esineda	Ei või esineda
Augud läbimõõduga üle 20,0 cm ja sügavusega üle 5,0 cm (maanteed ja tänavad)	Võib esineda 15. novembrist 1. juunini	Võib esineda 15. novembrist 15. maini	Ei või esineda	Ei või esineda
Roopa lubatud suurim sügavus, mm	40	30	20	20

Kuna Tallinna linna tüüpkatendite juhendis puuduvad roobaste sügavuste piirid, siis mõõdetud katseobjektide puhul magistritöö autor kasutas Transpordiameti juhendi „Kattega tee rekonstrueerimise objektide valimine“ Tabeleid 6.7, 6.8, 6.9 ja Majandus ja taristuministri määruse nr 92 „Tee seisundinõuded“ Lisa 3 „Kattega tee seisundinõuded“ tabelit 6.10 roopa hoiatuspiiri ja kriitilise piiri, roopa lubatud suurima sügavuse ning roopa remondi vajaduse määramiseks.

Vabriku tn 4 (Tabel 6.2):

Kuna tegemist on kõrvaltänavaga, siis katseobjekti hindame asulalõikena. Asulalõigu grupp D1. Hoiatuspiir – 14 mm, kriitiline piir – 18 mm. Sõidutee kate seisunditase – 2. Roopa lubatud suurim sügavus – 30 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud

katseobjektile – 7 mm. Hoiatuspiiri ja kriitilise piiri ei ole ning roopa lubatud suurim sügavus ei ole ületatud. Roopa remondivajadus puudub.

Randvere tee 51 (Tabel 6.2):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 14 mm. Katseobjektile kehtib hoiatuspiir ning roopa lubatud suurim sügavus ei ole ületatud. Roopa remondivajadus puudub.

J. Vilmsi tn 32 (Tabel 6.2):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 34 mm. Katseobjektile kehtib kriitiline piir ning roopa lubatud suurim sügavus on ületatud. Roopad on vaja kõrvaldada.

Õismäe tee 8 (Tabel 6.3):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 11 mm. Hoiatuspiiri ja kriitilise piiri ei ole ning roopa lubatud suurim sügavus ei ole ületatud. Roopa remondivajadus puudub.

Ehitajate tee, Õismäe tee 179 (Tabel 6.3):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 16 mm. Katseobjektile kehtib hoiatuspiir ning roopa lubatud suurim sügavus ei ole ületatud. Roopa remondivajadus puudub.

Sõpruse pst 219 (Tabel 6.3):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 26 mm. Katseobjektile kehtib kriitiline piir ning roopa lubatud suurim sügavus on ületatud. Roopad on vaja kõrvaldada.

Suus-Sõjamäe tn 6 (Tabel 6.3):

Kuna tegemist on põhitänavaga, siis katseobjekti hindame maanteelõikena. Maanteegrupp C1. Hoiatuspiir – 13 mm, kriitiline piir – 17 mm. Sõidutee katte seisunditase – 3,4. Roopa lubatud suurim sügavus – 20 mm. Maksimaalne roopa sügavus antud katseobjektile – 25 mm. Katseobjektile kehtib kriitiline piir ning roopa lubatud suurim sügavus on ületatud. Roopad on vaja kõrvaldada.

Tabelis 6.4 on näha juba väikest pikivajumit lapitud katendil, kus mõõtmised olid teostatud kahe nädala pärast alates sellest, kui taastatud katend said asfalteeritud. Seega saab järeldada et tegemist on väga halva ehituskvaliteediga.

Tabelis 6.5 on selgelt näha maksimaalse pikivajumi sügavuse seos kaeviku sügavusega. Mida sügavam on kaevik tehtud, seda suurem pikivajum tuleb tulevikus.

Hetkel puuduvad nii Transpordiameti juhendis „Kattega tee rekonstrueerimise objektide valimine“, kui ka MTM m92-s Lisa 3 „Kattega tee seisundinõuded“ pikivajumite piirid. Piiride määramise jaoks on tehtud ettepanekud peatükis 6.2.1.

MTM m101-s [2] on kirjas:

§ 26. Kaevetöödele järgnev tee katendi taastamine

(2) Kaevik täidetakse ja tihendatakse kuni 2 meetri sügavuses samaväärsete omadustega materjaliga kuni 0,5 meetri paksuste kihtide kaupa. [RT I, 20.11.2020, 1 - jõust. 23.11.2020]

Tabelitest 6.4 ja 6.5 on näha olukord, kus suure tõenäosusega ASTV paigaldab rohkem kui 0,5 m täitekihi paksust. ASTV ei järgi MTM m101-st § 26 (2). Kui täitekihi paigaldatakse rohkem kui 0,5 m paksusena, siis ei saa seda täitekihi tihendada rohkem kui 0,5 m, seega alumine täitekihi osa aeg ajaga vajub ning vajub seejärel kogu kaeviku kihid.

Tabelis 6.6 on näha olukord, kus Sõpruse puiestee 219 objektile ja Suur-Sõjamäe tänav 6 objektile esinevad paralleelselt suured nii pikivajumid, kui ka roopad. Seega saab järeldada et tegemist on väga halva ehituskvaliteediga.

6.2 Ettepanekud

Ettepanekud on mõeldud Tallinna linna kaevetööde eeskirja täiendamiseks. Ettepanekud on tehtud vastavalt teostatud kaevetööde järgse deformeeritavuse ja tasetasuse seire tulemustele.

6.2.1 Uus metoodika garantiilevaatuse jaoks

Teede Tehnokeskuse oma Tabel 6.1 on loodud just maanteede roobaste hindamiseks. Hetkel linna teedele ei ole kehtivat normi/juhendit roobaste ja pikivajumite sügavuse määramiseks.

Kõige suurem roopa sügavus on lubatud kuni 20 mm. 2-aastase garantiiaja lõpus kohustuvad Omanikujärelevalve, Tellija ja Ehitaja garantiilevaatust tegema ning kirjalikult fikseerima kõik likvideerimisele kuuluvad puudused. Kui roopa sügavus ületab 20 mm, siis Ehitaja kohustub likvideerima ilmnenud puudused.

Kõige suurem pikivajumi sügavus on lubatud kuni 15 mm. 2-aastase garantiiaja lõpus kohustuvad Omanikujärelevalve, Tellija ja Ehitaja garantiilevaatust tegema ning kirjalikult fikseerima kõik likvideerimisele kuuluvad puudused. Kui pikivajumi sügavus ületab 15 mm, siis Ehitaja kohustub likvideerima ilmnenud puudused.

Garantiiaja lõpus nõuda mõõta taastatud lapi pealt deformatsiooni läbi Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga ja tasetasuse läbi Gapman käsiprofilomeetriga. Kui tulemustusest selgub, et taastatud katendil on kandevõime puudujääk või muutus taastatud katte profiil, siis Ehitaja kohustub likvideerima ilmnenud puudused.

6.2.2 Kontroll ning proovivõtt avariikaevetööde objektidel

Igal teostataval avariikaevetöö objektil nõuta kaevajal määrata tihedust kasutades liivakoonuse meetodit ja Proctor-katset liiva materjalile. Liiva tihenduskvaliteeti kontrollimiseks kasutatada dünaamilist penetromeetrit, koostades mõõteprotokolle. Kasutada Inspector/Loadman asemel Dynatest 3032 LWD deflektomeeter kandevõime mõõtmiseks.

Vastavuses MKM määrusega nr 101 võib Inspector/Loadman seadme asemel kasutada teistsuguseid seadmeid, kuid siis tuleb vastavate seadmetega saadud tulemus korrutada üleminekuteguriga. Taani koolkonna kergdeflektomeetrite (Dynatest, Prima) puhul on üleminekuteguriks 1,3 eeldusel, et liival teostatakse mõõtmised 100 kPa režiimis 300 mm tallaga ja killustikul 300 kPa režiimis 150 mm tallaga. $E_{Inspector} = 1,3 * E_{Dynatest}$ [3].

Kui saadud tulemused ei vasta nõuetele, siis on vaja avariikaevetööde käigus taastatud ala uuesti ümber ehitada.

Seoses lisa nõuetega pikendada avariikaevetööde teostamiseks aeg – 48 tunni asemel panna 72 tundi.

Kõik liiva, killustiku ja asfaldi proove võetakse järgides:

„Muldkema ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhiskirja“

„Killustikust katendikihtide ehitamise juhiskirja“

„Asfaldist katendikihtide ehitamise juhiskirja“

„Tee-ehitustööde kontroll- ja vastuvõtutoimingute loetelu“

6.2.3 Muudatused Tallinna linna kaevetööde eeskirja

§ 37 Kaevetööloa avariikaevetöö korral

Kehtiv § 37 (1):

Kui avariikaevetöö kestab üle kolme ööpäeva, taotleb avariilise tehnovõrgu valdaja haldajalt lihtmenetlusega kaevetööloa. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008) [1].

Uus § 37 (1):

Kui avariikaevetöö kestab üle nelja ööpäeva, taotleb avariilise tehnovõrgu valdaja haldajalt lihtmenetlusega kaevetööloa.

§ 40 Kaevetöötrassi täitmine

Kehtiv § 40 (1):

Teekatte alla jääva kaevetöötrassi täitmist alustatakse kaevetöötrassi põhja tihendamisest, mis vajadusel teostatakse enne tehnovõrgu paigaldamist. Teekatte alla jääva kaevetrassi täitmist alustatakse kaevetrassi põhja tihendamisest, mis vajaduse korral tehakse enne tehnovõrgu paigaldamist. Kaevetrass täidetakse liivapinnasega (kui projektis ei ole ette nähtud teisiti) kihtide kaupa, iga kihti eraldi tihendades. Tihendatava kihi paksus sõltub kasutatava tihendusseadme tehnilistest näitajatest, kuid ei tohi ületada 30 cm. Iga kihi kohta esitatakse kaevaja poolt haldajale tiheduse mõõtmise laboratoorne õiend, mis on väljastatud vastavat tegevusluba omava isiku

poolt. Laboratoorsete uuringute kulud kannab kaevaja. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008; Tvk m 20.05.2010 nr 28, jõustumine 29.05.2010) [1].

Uus § 40 (1):

Teekatte alla jääva kaevetöotrassi täitmist alustatakse kaevetöotrassi põhja tihendamisest, mis vajadusel teostatakse enne tehnovõrgu paigaldamist. Teekatte alla jääva kaevetrassi täitmist alustatakse kaevetrassi põhja tihendamisest, 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. Liiva kihtidel määratakse materjali tihedust kasutades liivakoonuse meetodit ja Proctor-katset. Laboratoorsete uuringute kulud kannab kaevaja.

Kehtiv § 40 (2):

Haldajal ja haldaja esindajal on õigus [1]:

- 1) mõõta täitepinnase tihedust ka ise ning vajadusel nõuda kaevajalt täiendavat tihendamist;
- 2) nõuda kaevajalt laboratoorset õiendit täitepinnase omaduste kohta. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012).

Uus § 40 (2):

Haldajal ja haldaja esindajal on õigus:

- 1) mõõta täitepinnase tihedust ka ise ning vajadusel nõuda kaevajalt täiendavat tihendamist;
- 2) nõuda kaevajalt labori sõelkõverat ning karjääri poolne laborianalüüsi protokoll tihendatava kihi omaduste kohta.

Kehtiv § 40 (3):

Teekatte alla jääva kaevetöotrassi 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. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012) [1].

Eemaldada § 40 (3):

Kuna MTM m101-s on välja võetud filtratsioonimooduli nõue.

Kehtiv § 40 (4):

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. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008) [1].

Uus § 40 (4):

Muldkeha aluspinnas ja täitematerjali kihid peavad olema nõuetekohaselt tihendatud. Nõuetele mittevastava paigaldatud täitepinnase peab kaevikust eemaldama. Kui projektis ei ole asjakohaseid nõudeid esitatud, võib liivpinnasest muldkeha tihendusteguri vähim väärtus püsi- ja kergkatendiga teedel olla 0,92 (üksikmõõtmistel 0,90). Tihendusteguri kontrolliks võib kasutada ka Inspector-seadmeid. Liivaluse kandevõimet kontrollitakse Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga 100 kPa mõõterežiimis 300 mm tallaga vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Tihendatud muldkeha täitematerjali pealmise kihi ja liivakihi nõuetekohane kandevõime on $E_{v2} > 45 \text{ MPa}$.

Kehtiv § 40 (5):

Killustikaluse tihendamist kontrollitakse elastsusmooduli mõõtmise teel tihendatud aluse pinnal seadmega Inspector ja Loadman vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Kui projektis ei ole elastsusmooduli nõuet esitatud, siis peab see olema $>170 \text{ MPa}$. Talveperioodil ehitatud tee aluskonstruktsioon võetakse vastu pärast jäätunud maapinna sulamist. (Tvk m 15.05.2008 nr 19 jõust. 22.05.2008) [1].

Uus § 40 (5):

Killustikaluse kandevõimet kontrollitakse Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga 300 kPa mõõterežiimis 150 mm tallaga vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Kui kasutatakse sidumata segu, peaks sillutiskatete all olema kandevõime E_{v2} vähemalt 120 MPa, koormussagedusel üle 300 000 normtelje katendi kasutusaja kohta vähemalt 150 MPa (Saksa tüüpkatendite alusel). Seotud alusel sõidukiliikluse alas peab killustikaluse kandevõime olema vastavalt 100 ja 120 MPa, kergliiklusteedel sidumata alusel 100 MPa. Talveperioodil ehitatud tee aluskonstruktsioon võetakse vastu pärast jäätunud maapinna sulamist.

§ 43 Kaevetöö lõpetamine

Kehtiv § 43 (2) 1) 2) 3):

Kaevetöö lõpetamisel esitab kaevaja haldajale [1]:

- 1) täitepinnase kihtide tihedusmõõtmiste laboratoorsed õiendid;
- 2) taastatud asfaltbetoonkatte omaduste laboratoorse õiendi, mille on väljastanud sellekohase atesteeringuga laboratoorium. Asfaltbetoonkatte proovid võetakse ühe sõidusuuna ristlõikel kolmest punktist iga 100 m järel. Kui lõik on lühem kui 100 m, siis on kohustuslik võtta üks proovikomplekt. Alla 10 m² suuruste asfaldipaikade puhul võib haldaja loal laboratoorsetest proovidest loobuda, kui vaatlusel ei teki kahtlusi töö kvaliteedi kohta; (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012)
- 3) kasutatud ehitusmaterjalide sertifikaadid.

Uus § 43 (2) 1) 2) 3):

Kaevetöö lõpetamisel esitab kaevaja haldajale:

- 1) liiva kihtide materjali tiheduse määramise liivakoonuse ja Proctor-katse laboratoorsed tulemused ning labori sõelkõverat ja karjääri poolne laborianalüüsi protokoll täitepinnase omaduste kohta;
- 2) taastatud asfaltbetoonkatte omaduste laboratoorse õiendi, mille on väljastanud sellekohase atesteeringuga laboratoorium. Asfaltbetoonkatte proovid võetakse ühe sõidusuuna ristlõikel kolmest punktist iga 100 m järel. Kui lõik on lühem kui 100 m, siis on kohustuslik võtta üks proovikomplekt. Alla 10 m² suuruste asfaldipaikade puhul kohustub haldaja kaevajal nõuda võtta laboratoorseid proove. Kaevaja kohustub võtta asfaldi puurkehad omanikujärelevalve juuresolekul peale asfalteerimist ülejäärgmisel päeval. Laboris puurkehade kontrollitakse asfaldikihtide paksused, asfaltkatete jäävpoorsus ja tihendustegur. Kaevaja esitab haldajale puurkehade laboratoorsed tulemused. Juhul kui puurkehade laboratoorsed tulemused ei vasta nõuetele, siis kohustub kaevaja esimesel võimalusel üles freesida asfaldi ja uuesti asfalteerida taastatud katendi;
- 3) kasutatud ehitusmaterjalide sertifikaadid. Muldkeha, drenkihist, killustiku kihist võetakse proovid järgides Transpordiameti juhendit „Tee-ehitustööde kontroll- ja vastuvõtutoimingute loetelu“. Avariikaevetööde puhul võetakse vähemalt üks proov liivast ja killustikust. Kaevaja esitab haldajale ehitusmaterjalide laboratoorsed

tulemused. Juhul kui ehitusmaterjalide laboratoorsed tulemused ei vasta nõuetele, siis kohustub kaevaja esimesel võimalusel taastatud ala uuesti ümber ehitada.

§ 44 Garantii kaevetööle

Kehtiv § 44 (3):

Tellija korraldab garantiiajal kaeveobjektil omanikujärelevalvet avariikaevetööde tegemise korra järgi, tagab avastatud puuduste likvideerimise kohe ja teavitab haldajat vähemalt kolm päeva enne garantiiremonttööde algust [1].

Uus § 44 (3):

Garantii protseduur:

1) tellija korraldab garantiiajal kaeveobjektil omanikujärelevalvet avariikaevetööde tegemise korra järgi, tagab avastatud puuduste likvideerimise kohe ja teavitab haldajat vähemalt kolm päeva enne garantiiremonttööde algust. Kõige suurem roopa sügavus on lubatud kuni 20 mm. Kõige suurem pikivajumi sügavus on lubatud kuni 15 mm. 2-aastase garantiiaja lõpus kohustuvad omanikujärelevalve ja kaevaja garantiiülevaatust tegema ning kirjalikult fikseerima kõik likvideerimisele kuuluvad puudused. Kui roopa sügavus ületab 20 mm ning kui pikivajumi sügavus ületab 15 mm, siis kaevaja kohustub likvideerima ilmnenu puudused.

2) avariikaevetööde puhul garantiiaja lõpus omanikujärelevalve ja kaevaja kohustuvad mõõta taastatud lapi pealt deformatsiooni läbi Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga ja tasasuse läbi Gapman käsiprofilomeetriga. Kui tulemustusest selgub, et taastatud katendil on kandevõime puudujääk või muutus taastatud katte profiil, siis kaevaja kohustub likvideerima ilmnenu puudused.

§ 45¹ Tellija omanikujärelevalve

Kehtiv § 45¹ (2):

Tellija omanikujärelevalve tegija on kohustatud iga päev kontrollima kõiki töös olevaid kaevetöö- ja avariikaevetöö objekte, kontrolli tulemused fikseerima objektipäevikus ja kinnitama kaetud tööde aktid [1].

Uus § 45¹ (2):

Tellija omanikujärelevalve tegija on kohustatud viibima kaeve- ja avariikaevetöö objektidel algusest lõpuni, teostama ehituskvaliteedi kontrolli, võtta proove kaevaja

juuresolekul, kontrolli tulemused fikseerima objektipäevikus ja kinnitama kaetud tööde aktid. Tellija kohustub kontrollima omanikujärelevalve viibimist kaevetöö- ja avariikaevetöö objektidel. Avariikaevetööde objektil omanikujärelevalve puudumisel määrab Tellija omanikujärelevalvele lepingulisi sanktsioone.

§ 46 Kaevaja vastutuse ulatus

Kehtiv § 46 (1):

Kaevaja kannab täielikku vastutust teostatud töö tehnoloogia, ohutustehnika, tähtpäevade, kvaliteedi, liiklusohutuse ning ehitusprojekti ja selle juurde käivate kooskõlastuste nõuete täitmise eest. (Tvk m 15.12.2011 nr 42, jõustumine 01.01.2012) [1].

Uus § 46 (1):

Kaevaja kannab täielikku vastutust teostatud töö tehnoloogia, ohutustehnika, tähtpäevade, kvaliteedi, liiklusohutuse ning ehitusprojekti ja selle juurde käivate kooskõlastuste nõuete täitmise eest. Kaevaja kohustub järgida ehitusmaterjalide paigaldamise tehnoloogiast Transpordiameti juhendeid „Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis“, „Killustikust katendikihtide ehitamise juhend“, „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhis“.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös teostati kaevetööde järgselt taastatud teekatte deformeeritavuse ja tasetasuse seiret. Seire käigus katsetati kokku 21 avariikaevetööde objekti.

Magistritöö eesmärkideks oli:

- Teooria kontroll, et kaeviku üleminekualad on nõrgemad kui kaeviku telg ja vana kate;
- Uurida kas Gapman käsiprofilomeetriga tasetasuse mõõtmistes on näha seoseid;
- Teostada süvaanalüüs lappidel tekkinud roobaste ja pikivajumite kohta.

Teooria kontrollimisel selgus, et katsetatud objektidel enamasti ei leidnud püstitatud hüpotees kinnitust. Selgus, et kogu kaeviku ala kandevõime (sealhulgas kaeviku üleminekualad ja kaeviku telg) on nõrgem, kui vana teekonstruktsiooni kandevõime.

Gapman käsiprofilomeetriga mõõdeti kokku üksteist objekti, kus oli kohapeal silmaga näha vajumeid. Objektidel fikseeriti valdavalt pikivajumid ja roopad.

Roobaste ja pikivajumite analüüsi käigus jõuti kahele uuele järeldusele:

- Roopa sügavus on tugevas seoses aasta keskmise ööpäevase liiklussagedusega (AKÖL). AKÖL-i tõusuga tõusevad ka roobaste sügavused ehk mida suurem liiklus, seda suurem roopa sügavus.
- Pikivajumi sügavus on tugevas seoses kaeviku sügavusega. Tõenäoliselt on põhjuseks halb ehituskvaliteet – täitematerjal paigaldatakse rohkem kui 50 cm kihi paksusega, mida ei ole võimalik ehitusprotsessis tihendada.

Tõenäoliselt ei saavuta iga katendi konstruktsioon ehitusprotsessis veel saajaprotsendilist kandevõimet, seda mõjutab täiendavalt järeltiihenemine liikluse all. Suurema kandevõime puudujäägi puhul tuleb otsustada, kas midagi tuleks kohe ette võtta või jätta objekt seiresse ja otsustada edasised tegevused pärast järeltiihenemist. Väikese vahe võib tõenäoliselt aktsepteerida, eriti juhul, kui on teada, et konkreetne tänavalõik läheb lähiaastatel kapitaalremonti. Seireprotsessis tuleb hinnata tegelikku profiilimuutust ning vähemalt viimase garantiülevaatuse käigus ka kandevõimet või vajumit.

Tööde tellija kasutab reeglina inseneri-omanikujärelevalvet, kelle ülesanne on jälgida objektil toimuvat ning tagada tööde vastavus nii projekti kui mitmesuguste juhistega. Kvaliteedikontroll pärast katte taastamist võib näida tagantjärele tarkusena, kuid on siiski oluline kahes aspektis. Esiteks, hinnang inseneri tööle, sest tehnoloogianõuete rikkumise peaks insener suutma tuvastada õigeaegselt. Teiseks, arvestades, et analoogsed mõõtmised on võimalikud ka garantiiperioodi vältel, on oluline hinnata eriti garantiiperioodi lõppedes, mis seisus on teekonstruktsioon - kas on vajalik garantiiperioodi pikendamine või tuleks juba mingid remonditööd veel garantiilistena ära teha.

Avariikaevetööde järel taastatud katenditel on teostatud deformeeritavuse ja tasetasuse seire. Seire näitab, et esineb tõsine ja suur probleem. Magistritöö autor on seisukohal, et omanikujärelevalve ei viibi piisavalt objektidel ja ei teosta nõutud kvaliteedikontrolli. Tulemusena tekivad avariikaevetööde järel taastatud katenditel nii pikivajumid kui ka roopad, mis on ohtlikud teel liiklejatele.

SUMMARY

Monitoring the deformability and flatness of the restored road surface post-excavation was carried out in this master's thesis. During the monitoring, a total of 21 objects of accident excavations were surveyed.

The purposes of this master's thesis were:

- Testing the theory that trench transition areas are weaker than trench axis and old pavement;
- To investigate whether there are any correlations in flatness measurements with a Gapman walking profilometer;
- Carrying out an in-depth analysis of the ruts and longitudinal subsidences on the patches.

When the theory was tested, hypothesis was not confirmed. New finding was formulated, that the bearing capacity of the entire trench area (including the transition areas of the trench and the axis of the trench) is weaker than the bearing capacity of the old road structure.

A total of eleven objects were measured with the Gapman walking profilometer, where subsidences could be seen with the naked eye. Mostly on objects occurred the longitudinal subsidences and ruts.

During the in-depth analysis of ruts and longitudinal subsidences, two new conclusions were reached:

- Rut depth is strongly correlated to traffic frequency. The greater the traffic, the greater the rut depth.
- The depth of the longitudinal subsidence is strongly correlated to the depth of the trench. The reason is probably poor construction quality - the filling material is laid with a layer thickness of more than 50 cm, which is not possible to compact in the construction process.

It is also known that pavement structure does not reach one hundred percent bearing capacity in the construction process, post-compaction under traffic is affected. In the case of a larger bearing capacity deficit, it is necessary to decide whether something should be done immediately or to leave the site under monitoring and to decide on

further actions after probable post-compaction. A small difference can probably be accepted, especially if it is known that a particular section of street will undergo major repairs in the coming years. In the monitoring process, it is necessary to evaluate the actual change in pavement profile and, at least during the last warranty inspection, also the bearing capacity or subsidence.

As a rule, the contractor of the works uses an engineer - supervisor, who is responsible for monitoring on what is happening on the site to ensure that the works comply with the project and various instructions. Quality control after pavement restoration may seem like an afterthought, but it is important in two aspects. Firstly, an assessment of the engineer's work, because the engineer should be able to detect a violation of technology requirements in a timely manner. Secondly, considering that similar measurements are also possible during the warranty period, it is important to assess, especially at the end of the warranty period, the condition of the road structure, whether an extension of the warranty period is necessary or whether any repair work needs to be carried out while still under warranty.

Deformability and flatness monitoring has been carried out on the restored pavements of emergency excavations. Monitoring shows that there is a serious and large problem. In the opinion of the author of the master's thesis, the owner's supervision does not stay at the objects enough and does not perform requested quality control. In conclusion, both longitudinal subsidences and ruts, which are dangerous for road users, will occur on the pavements already made by the digger and on the future restored pavements of emergency excavations.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Tallinna Linnavolikogu määrus nr 32. Tallinna linna kaevetööde eeskiri. Lisa. (kehtiv alates 02.09.2004)
- [2] Majandus ja taristuministri määrus nr 101. Tee ehitamise kvaliteedi nõuded. Eesti Vabariik. (kehtiv alates 03.08.2015)
- [3] Tallinna Linnavalitsuse määrus nr 27 LISA 1. Sillutiskivi, asfalt- ja tsementbetooniga teede ja tänavate tüüpkatendikonstruktsioonide projekteerimisele, rajamisele ja remondile esitatavad nõuded. Tallinna Linnavalitsus. (kehtiv alates 18.09.2019)
- [4] Englo OÜ tootekataloog. [Online] <https://et.englo.eu/products-estonian/PM-1>. (2023)
- [5] R. Eichfuss. Lõputöö. Tee konstruktsiooni kihtide kandevõime ja selle mõõtmine seadmega Dynatest LWD. Tallinn. (2018)
- [6] AL-Engineering Oy tootekataloog. [Online] <http://www.al-engineering.fi/en/loadman.html>. (2023)
- [7] K. Vergi. Lõputöö. Kaevetöödejärgse katendi taastamise kvaliteedi kontroll läbi deformatsioonide mõõtmise Dynatest LWD seadmega. Tallinn. (2020)
- [8] Englo OÜ tootekataloog. [Online] <https://www.englo.eu/et/category-estonian/lightweightdeflectometer>. (2023)
- [9] Delft University of Technology arendustöö. Chapter 4. Mechanical behavior of road building materials. (2023)
- [10] T-Konsult OÜ. A. Kendra. (2023)
- [11] Teede Tehnokeskuse teadus- ja arendustöö aruanne. Mulde kandevõime ja tihendusnõuete kontrollimetoodikate arendamine kasutamiseks riigimaanteede rekonstrueerimisel ja ehitamisel. Teede Tehnokeskus AS. (2017)
- [12] Dynatest International A/S tootekataloog. [Online] <https://www.dynatest.com/structural-evaluation-equipment> (2023)
- [13] Field testing of pipeline trench backfill properties. [Online] <https://asmedigitalcollection.asme.org/IPC/proceedings-abstract/IPC2014/46100/V001T03A009/259880> (09.12.2014)
- [14] Evaluation of trench backfills at highway cross-drains. [Online] https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298430500137228?fbclid=IwAR1D2Nyq_IC3Q_P-JsGI480pKzO59xeeUygYxg88Zz4K3hzly3jwwUm-tM (31.01.2007)
- [15] Numerical analysis of the stress distribution in symmetrical backfilled trenches with inclined walls. [Online] https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298430500137228?fbclid=IwAR1D2Nyq_IC3Q_P-JsGI480pKzO59xeeUygYxg88Zz4K3hzly3jwwUm-tM (10.09.2014)

- [16] M. Einstein. Lõputöö. Gapman käsiprofilomeetri kasutusvõimalused katete ebatasasuste mõõtmisel Eestis. Tallinn. (2022)
- [17] „Gapman käsiprofilomeetri kasutamise juhend“, Englo OÜ. (2023)
- [18] Majandus ja taristuministri määrus nr 92. Tee seisundinõuded. Lisa 2. (kehtiv alates 14.07.2015)
- [19] Tallinna teede liigid. [Online] <https://www.tallinn.ee/et/tallinna-teede-liigid>. (2023)
- [20] Teede Tehnokeskus. Roopa sügavus. [Online] <https://teed.ee/teenused/katsetamine-ja-mootmine/mootmine/roopa-sugavus/>. (2023)
- [21] Majandus ja taristuministri määrus nr 92. Tee seisundinõuded. Lisa 3. (kehtiv alates 14.07.2015)

LISAD



Joonis 1: Puuvilla tänava 32 katseobjektil tasasuse mõõtmine Gapman käsiprofilomeetriga.



Joonis 2: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Kopli tänav 48.



Joonis 3: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Kopli tänav 48.



Joonis 4: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Mulla tänav 2.



Joonis 5: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Mulla tänav 2.



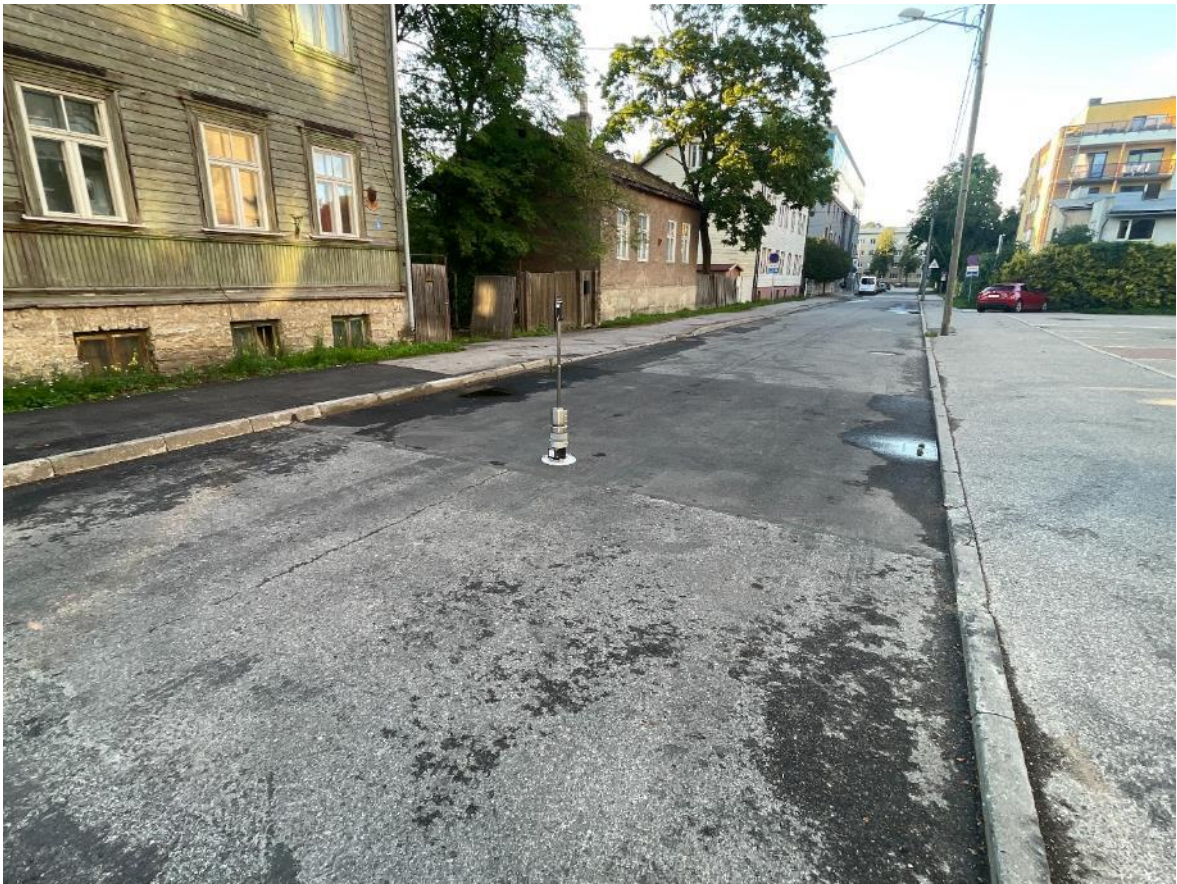
Joonis 6: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Mulla tänav 2.



Joonis 7: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Keemia tänav 16.



Joonis 8: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Keemia tänav 16.



Joonis 9: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Keemia tänav 16.



Joonis 10: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Räägu tänav 13.



Joonis 11: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Räägu tänav 13.



Joonis 12: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Lasnamäe tänav 32.



Joonis 13: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Lasnamäe tänav 32.



Joonis 14: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Tondi tänav 3.



Joonis 15: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Tondi tänav 3.



Joonis 16: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Tondi tänav 3.



Joonis 17: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Suur-Sõjamäe tänav 6.



Joonis 18: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Suur-Sõjamäe tänav 6.



Joonis 19: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Ehitajate tee, Õismäe tee 179.



Joonis 20: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Ehitajate tee, Õismäe tee 179.



Joonis 21: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Ehitajate tee, Õismäe tee 179.



Joonis 22: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Looga tänav 15.



Joonis 23: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Looga tänav 15.



Joonis 24: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Looga tänav 15.



Joonis 25: Kaldega üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Härjapea tänav 23.



Joonis 26: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Härjapea tänav 23.



Joonis 27: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Härjapea tänav 23.



Joonis 28: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Komeedi tänav 4.



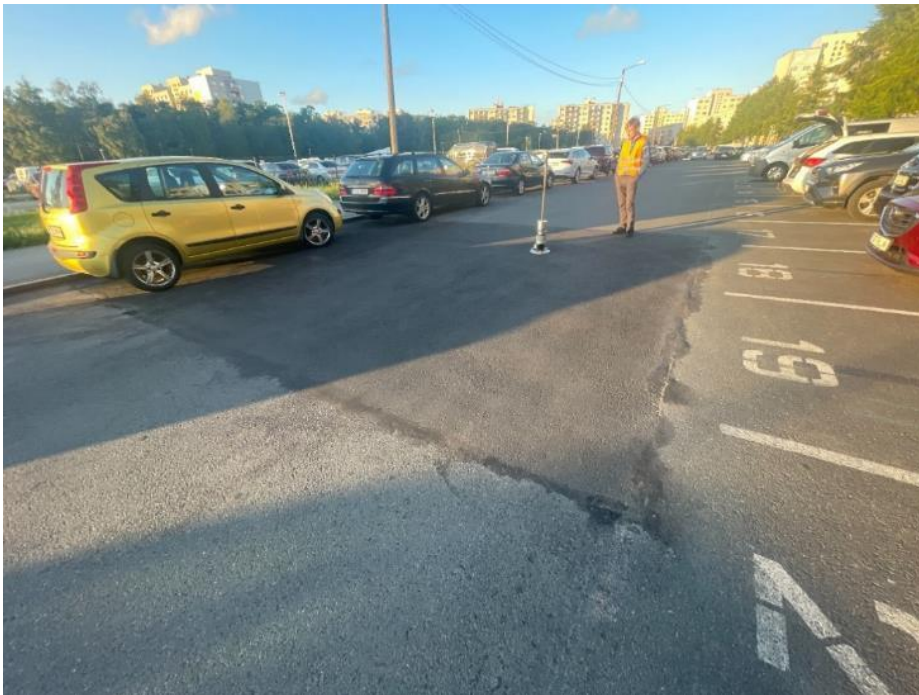
Joonis 29: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Komeedi tänav 4.



Joonis 30: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Komeedi tänav 4.



Joonis 31: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Paasiku tänav 6.



Joonis 32: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Paasiku tänav 6.



Joonis 33: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil J. Vilmsi tänav 32.



Joonis 34: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil J. Vilmsi tänav 32.



Joonis 35: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil J. Vilmsi tänav 32.



Joonis 36: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Sügise tänav 8.



Joonis 37: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Sügise tänav 8.



Joonis 38: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Sügise tänav 8.



Joonis 39: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Randvere tee 51.



Joonis 40: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Randvere tee 51.



Joonis 41: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Randvere tee 51.



Joonis 42: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Vabriku tänav 4.



Joonis 43: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Vabriku tänav 4.



Joonis 44: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Vabriku tänav 6.



Joonis 45: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Vabriku tänav 6.



Joonis 46: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Vabriku tänav 6.



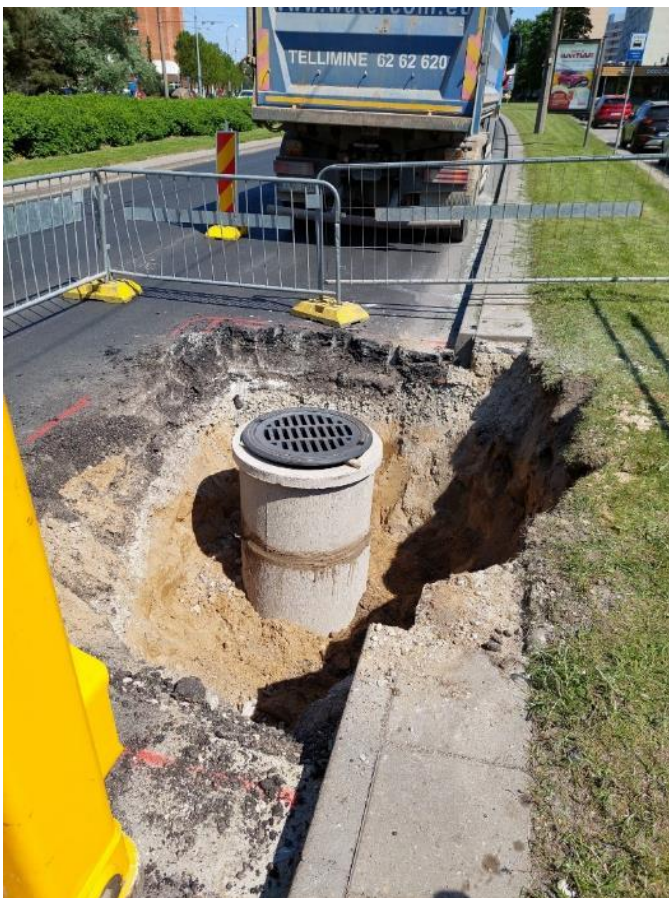
Joonis 47: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Õismäe tee 8.



Joonis 48: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Õismäe tee 8.



Joonis 49: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Õismäe tee 8.



Joonis 50: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Sõpruse puiestee 219.



Joonis 51: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Sõpruse puiestee 219.



Joonis 52: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Rästa tänav 2a.



Joonis 53: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Rästa tänav 2a.



Joonis 54: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Rästa tänav 2a.



Joonis 55: Järsu üleminekualadega tehtud kaevik katseobjektil Puuvilla tänav 32.



Joonis 56: Asfalteeritud lapi deformeeritavuse mõõtmised Dynatest 3032 LWD deflektomeetriga katseobjektil Puuvilla tänav 32.