

# Kruusateede tolmutõrje meetodid

## II osa

**ARUANNE**

Projektijuht: Urmas Konsap

Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Tallinn  
2017

Projektijuht:

Urmas Konsap

Töös osalesid:

Aleksander Kollo

Andres Brakmann

Arto Juhansoo

© Maanteeamet, 2016

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

|                    |                                                                                                                                                                |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Töö number:</b> | 2015-7                                                                                                                                                         |
| <b>Tellijä</b>     | Maanteeamet                                                                                                                                                    |
| <b>Konsultant</b>  | Skepast&Puhkim OÜ<br>Laki 34, 12915 Tallinn<br>Telefon: +372 664 5808; e-post: info@skpk.ee<br>Registrikood: 11255795;<br>MTR registreeringu number: EEP000894 |
| <b>Kuupäev</b>     | 20.06.2017                                                                                                                                                     |

## Teadus- ja arendustöö:

### KRUUSATEEDE TOLMUTÕRJE MEETODID II OSA



Versioon **1**  
Kuupäev **20.06.2017**  
Koostanud: **Urmas Konsap**  
Kontrollinud: **Andres Brakmann**  
Kooskõlastanud: **Taavi Tõnts**

Projekti nr **2014-0096**

SKEPAST&PUHKIM OÜ  
Laki 34  
12915 Tallinn  
Registrikood 11255795  
tel +372 664 5808  
e-mail info@spk.ee  
www.skpk.ee

## Sisukord

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sisukord .....</b>                                                                  | <b>5</b>  |
| <b>1. Sissejuhatus .....</b>                                                           | <b>6</b>  |
| <b>2. Tolmutõrje materjalide katsetamine.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| 2.1. Tolmutõrje materjalid ja meetodid .....                                           | 7         |
| 2.2. Katselõigu seisukord .....                                                        | 7         |
| 2.3. Tolmutõrje kloriididega .....                                                     | 7         |
| 2.4. Tolmutõrje toor rapsiõliga .....                                                  | 8         |
| 2.5. Tolmutõrje kopolümeeride LBS ja LDC lahusega.....                                 | 10        |
| 2.6. Tolmutõrje bituumenemulsiooniga.....                                              | 11        |
| 2.7. Kruuskatte pindamine.....                                                         | 12        |
| 2.8. Tolmutõrje katselõikude võrdlus .....                                             | 12        |
| 2.8.1. Kloriididega töödeldud katselõikude kloriidide sisaldus .....                   | 12        |
| 2.8.2. Heittolmu kogused .....                                                         | 13        |
| 2.8.3. Tolmutõrje meetodite ekspluatatsioonikulud .....                                | 15        |
| 2.8.4. Kruuskattega ja pinnatud kruuskattega tee kulude võrdlus.....                   | 15        |
| 2.8.5. Tolmutõrje katselõikude võrdluse kokkuvõte .....                                | 17        |
| <b>3. Kruuskatte stabiliseerimise materjalide katsetamine .....</b>                    | <b>18</b> |
| 3.1. Kruuskatte stabiliseerimise materjalid ja meetodid .....                          | 18        |
| 3.2. Kruuskatte stabiliseerimine InfraCrete® ja tsemendiga .....                       | 18        |
| 3.3. Kruuskatte stabiliseerimine M10+50™ ja LBS polümeeridega .....                    | 20        |
| 3.4. Kruuskatte pindamine.....                                                         | 21        |
| 3.5. Kruuskatte stabiliseerimise katselõikude võrdlus .....                            | 22        |
| 3.5.1. Teekatte tasasus.....                                                           | 22        |
| 3.5.2. Teekatte kandevõime .....                                                       | 22        |
| 3.5.3. Tolmutõrje ja kruuskatte stabiliseerimise meetodite ekspluatatsioonikulud ..... | 23        |
| 3.5.4. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude võrdluse kokkuvõte .....  | 23        |
| <b>4. Kokkuvõte ja ettepanekud .....</b>                                               | <b>24</b> |
| 4.1. Tolmutõrje materjalid ja meetodid .....                                           | 24        |
| 4.2. Kruuskatte stabiliseerimise meetodid.....                                         | 25        |
| 4.3. Ettepanekud .....                                                                 | 26        |
| <b>5. Summary .....</b>                                                                | <b>27</b> |

## Lisad

- Lisa 1. Kruuskatte kulumiskihi kloriidide sisalduste katsetulemuste koondandmed
- Lisa 2. Tolmutõrje katselõikude heittolmu koguste mõõtmiste aruanne
- Lisa 3. Kruuskattega ja pinnatud kruuskattega teede kuluarvestus HDM-4 tarkvara põhjal

## 1. Sissejuhatus

Maanteeamet algatas 2014. aastal teadus- ja arendustöö: Kruusateede tolmutõrje meetodid, et selgitada välja tolmutõrjeks riigi seisukohalt kulutõhusaid lahendusi. 2014 aastal viis Ramboll Eesti AS läbi antud arendustöö I etapi, mille tulemusena selgitati välja tolmutõrje materjalid ja meetodid, mida katsetati arendustöö II etapis 2015-2016 aastal. Lisaks katsetati kruuskatte stabiliseerimise materjale tolmuwabade kergkatete ehituseks.

Käesolevas aruandes antakse ülevaade 2015-2016 aastal läbi viidud kruuskattega teede tolmutõrje ning stabiliseerimise materjalide ja meetodite katsetuste tulemustest, sealhulgas võrreldakse kasutatud materjalide ja meetodite tõhusust katselõikude seisukorra visuaalsete ülevaatuste, laboratoorsete katsetuste ja mõõtmiste ning katselõikude eksploatatsioonikulude analüüsi põhjal.

Tolmutõrje materjalide katsetamine viidi läbi kõrvalmaanteel nr 16176 Vanamõisa – Koonga – Ahaste, Mihkli – Koonga teelõigul, km 11,8 – 16,9. Tolmutõrjet teostati 467 m pikkustel katselõikudel granuleeritud kaltsium- ja magneesiumkloriidide ning nende lahustega, toor rapsiõliga, kopolümeeride LBS ja LDC lahusega ning bituumenemulsiooniga. Lisaks teostati ühe- ja pooleteistkordset pindamist.

Kruuskatte stabiliseerimist teostati kõrvalmaanteel nr 24109 Kõo – Kolga- Jaani teelõigul, km 17.7 - 19.1. Ühel lõigul kasutati stabiliseerimisel InfraCrete materjali ja tsementi ning teisel lõigul M10+50<sup>TM</sup> ja LBS polümeeridega segatud lahust ja tsementi. Stabiliseeritud katselõigud kaeti 1,5x pindamisega. Võrreldes 2015 ja 2016 aastate tolmutõrje materjalide katsetuste, seire, tolmutõrje tõhusust iseloomustavate mõõtmiste tulemusi ja eksploatatsioonikulusid võib kokkuvõtteks järeldada, et tolmutõrje materjalidest ja meetoditest osutus kuluefektiivsemaks kaltsiumkloriidiga töödeldud kruuskate.

Stabiliseeritud kruuskatte visuaalse seire, mõõtmiste ja katsetuste tulemusena võib järeldada, et kruuskatte kandevõime parandamiseks kasutatud InfraCrete ning M10+50<sup>TM</sup> ja LBS materjalid ei ole sobilikud tolmuwabade kergkatete ehituseks arvestades nende meetodite kõrget eksploatatsioonikulu ja katsetuste tegelikke tulemusi.

## 2. Tolmutõrje materjalide katsetamine

### 2.1. Tolmutõrje materjalid ja meetodid

2015-2016 aastatel katsetati erinevaid tolmutõrje materjale ja meetodeid kõrvalmaanteel nr 16176 Vanamõisa – Koonga – Ahaste, Mihkli – Koonga teelõigul, km 11,8 – 16,9, samadel 467 m pikkustel katselõikudel.

**Tabel 1. Tolmutõrje katselõigud**

| Lõik | Aadress PK      | Materjal                                                                                 |
|------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 118+18 - 122+85 | 1,5 x pindamine kruuskillustiku ja bituumenemulsiooniga - teostatud 2015                 |
| 2    | 122+85 - 127+52 | 1 x pindamine kruuskillustiku ja bituumenemulsiooniga - teostatud 2015                   |
| 3    | 127+52 - 132+19 | Bituumenemulsioon                                                                        |
| 4    | 132+19 - 136+86 | Kruuskate                                                                                |
| 5    | 136+86 - 141+53 | Kruuskate (2015), Kopolümeeri LBS (Silicate Polymer) vesilahus (2016)                    |
| 6    | 141+53 - 146+20 | Kopolümeeride LBS (Silicate Polymer) ja LDC (Liqued Dust Control) lahus – teostatud 2015 |
| 7    | 146+20 - 150+87 | Toor rapsiõli                                                                            |
| 8    | 150+87 - 155+54 | CaCl <sub>2</sub> lahus                                                                  |
| 9    | 155+54 - 160+21 | MgCl <sub>2</sub> lahus                                                                  |
| 10   | 160+21 - 164+88 | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub>                                                          |
| 11   | 164+88 - 169+56 | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub>                                                          |

Algselt oli plaanis katsetada ka Kehras asuva Horizon Tselluloosi ja Paberi AS tehase jääkprodukti, tallõli keedujääki, kuid kuna Keskkonnauuringute Keskuse labori hinnangul on tegemist liialt happelise ainega, mis võib keskkonnale olla kahjulik, siis loobuti selle materjali katsetamisest tee peal.

### 2.2. Katselõigu seisukord

2016 aastal oli Maanteeameti liiklusloenduse andmete põhjal Mihkli – Koonga teelõigul aasta keskmine ööpäevane liiklusintensiivsus (AKÖL) 92 autot/ööp.

Esimene pool antud teelõigust kulgeb põldude vahel, teine pool, väljaarvatud viimane 400 m teelõik, jääb peamiselt metsa vahele. Sademevee äravool on tagatud, metsavahelistel lõikudel on külgkraavid.

2015 aasta kevadel ehitati katselõikudele uus 12 cm paksune purustatud kruusast 0/16 kruuskatte kulumiskiht.

### 2.3. Tolmutõrje kloriididega

Tolmutõrjet helbelise kaltsiumkloriidi ja magneesiumkloriidi ning nende lahustega teostati traditsioonilisel meetodil 2015 aastal 19. juunil ja 2016 aastal üks kuu varem, 18 mail. 2016 aastal katseti kruuskatet enne tolmutõrjet veega tagamaks tolmutõrje materjalide tõhusaks toimimiseks kruuskattes vajaliku niiskuse. Soola puistamise järel kulumiskiht segati ja viimistleti teehöõvliga ning tihendati rulliga. Kloriidide lahused pihustati nelja käiguga eelnevalt tapiteraga karestatud kruuskatele ja

siis tihendati rulliga. Tolmutõrjel kasutatud kloriidide kulunormid on esitatud tabelis 2. Sõidetavuse parandamiseks profileeriti teelõigud üle kolm kuud pärast tolmutõrjet.

**Tabel 2. Kloriidide kulunormid**

| Lõik | Materjal                        | Kulunorm               | Kloriidi kogus |
|------|---------------------------------|------------------------|----------------|
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 2,1 m <sup>3</sup> /km | 700 kg         |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 2,1 m <sup>3</sup> /km | 850 kg         |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 1,8 t/km               | 850 kg         |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 1,4 t/km               | 650 kg         |

Kloriididega töödeldud katselõikude kruuskatete sõidetavus oli hea või rahuldav kolm kuud pärast tolmutõrjet. Siis vajasisid need profileerimist.

2016 aasta septembris kaeti kloriididega töödeldud katselõigud nr 9, 10 ja 11 2,5-kordse eelpuistega pindamisega.

2017 aasta juunis oli kaltsiumkloriidi lahusega 2016 aastal tehtud tolmutõrje toime veel märgata, Pilt 1.



**Pilt 1. 2016.a. kaltsiumkloriidi lahusega teostatud tolmutõrje katselõik, 2017**

## 2.4. Tolmutõrje toor rapsiõliga

Tolmutõrjet rapsiõliga teostati Eestis esmakordselt. Rapsiõli kulunorm määrati enne tolmutõrjet laboratoorsete katsetuste tulemusena. 2015 aastal kasutati tolmutõrjeks 3100 l / 2,8 t rapsiõli kulunormiga 1,1 l/m<sup>2</sup> ja 2016 aastal 2 800 l rapsiõli kulunormiga 1,0 l/m<sup>2</sup>.

2015 aastal pihustati rapsiõli seitsme käiguga eelnevalt tapiteraga karestatud kruuskatele. Peale tapiteraga kulumiskihi ja õli segamist tihendati rapsiõliga töödeldud kruuskate rulliga. 2016 aastal lasti rapsiõli voolikust eelnevalt teehöövliga tee keskele lükatud kruuskate materjali valli. Peale materjali segamist ja tasandamist tihendati teekate rulliga.

2015 aastal segati rapsiõliga töödeldud kruuskate kulumiskiht tapiteraga uuesti läbi, tasandati ja tihendati kallurautoga 1 kuu pärast tolmutõrjet, kuna kruuskate muutus ebatasaseks, kohati auklikuks. 2016 aastal doseeriti ja segati rapsiõli paremini, ühtlasemalt. Tulemuseks oli see, et 2016 aastal rapsiõliga töödeldud kruuskate kestis kaks korda kauem kui 2015 aastal tehtud.

Kruuskate töötlemisel rapsiõliga tuleb erilist tähelepanu pöörata rapsiõli võimalikult ühtlasele pihustamisele ning rapsiõli ja kruuskate materjali ühtlasele segamisele. Vastasel juhul muutub kate kiiresti auklikuks.





**Pilt 2. Tolmutõrje toor rapsiõliga**



**Pilt 3. Rapsiõliga töödeldud kruuskate kaks päeva pärast tolmutõrjet**



**Pilt 4. Rapsiõliga töödeldud kruuskate kolm kuud pärast tolmutõrjet.**



**Pilt 5. Rapsiõliga töödeldud kruuskate 5 päeva pärast selle üle profileerimist.**

Rapsiõliga tolmutõrje ei ole sobilik elamute lähedal, kuna rapsiõli lõhna oli tunda katselõigul veel aasta pärast tolmutõrjet.

2017 aasta juunis võis katselõigul kohati veel sõidujälgedes täheldada rapsiõliga 2016 aastal teostatud tolmutõrje toimet ja tunda rapsiõli lõhna.



**Pilt 6. Rapsiõliga töödeldud kruuskate aasta pärast tolmutõrjet, juuni 2017. Kohati on kruuspinnas rapsiõliga tugevasti seotud, märgata on hõõvli tapitera jälgi.**

## 2.5. Tolmutõrje kopolümeeride LBS ja LDC lahusega

Kopolümeeridega LBS (Silicate Polymer) ja LDC (Liqued Dust Control) töödeldud kruuskatte kulumiskihi materjal peaks jääma kopolümeeride koosmõjul elastseks. LBS viib välja vee ning LDC tekitab ümber kruusmaterjali osakeste kaitsekihi sidumata osakesi kokku.

2015 aastal teostati katselõigul nr 6 tolmutõrjet kopolümeeride LBS (Silicate Polymer) ja LDC (Liqued Dust Control) lahusega. Tolmutõrjeks kasutati 300 l LDC ja 110 l LBS kulunormiga vastavalt 0,1 l/m<sup>2</sup> ja 0,036 l/m<sup>2</sup>.

Pihustamise ajal läksid paakauto pihustid umbe. Selgus, et LBS ei olnud vees lahustunud ja jäi tükiliseks. Põhjuseks oli vale kopolümeeride veega segamise järjekord. Hõõvliga lükati kruuskatte materjal tee keskele valli ja kopolümeeridega lahusti koos LBS tükkidega lasti voolikust valli. Peale materjali segamist ja tasandamist rulliti teekate kallurauto ratastega.

Kuna 2016 aastal kopolümeeride LBS ja LDC tarne viibis, siis teostati tolmutõrjet ainult vees segatud LBS lahusega katselõigul nr 5. Tolmutõrjeks kasutati 600 l kopolümeeri LBS, mis segati 6000 l veega. Enne veega segatud kopolümeeride lahuse pihustamist karestati kruuskate tapiteraga. Peale materjali imbumist kruuskattes tihendati teekate rulliga.

Kuna kopolümeeri LBS vesilahusega tehti 2016 aastal tolmutõrjet kaks kuud teistest tolmutõrje meetoditest hiljem, siis kopolümeeri LBS tolmutõrje tõhusust ei saa teiste katsetatud materjalidega adekvaatselt võrrelda.

Visuaalse seire tulemusena oli kopolümeeridega töödeldud kattes rohkem lahtist kruusa ja ebatasususi kui kloriididega töödeldud lõikudel.

2017 aasta juunis tehtud katselõigu nr 6 järelevaatusel võis kohati veel märgata 2015 aastal kopolümeeride LBS ja LDC lahusega töödeldud kruuskatte tolmutõrje toimet. Sõidujälgedes oli kattepinde tumedam ja peenosid oli seotud kruusamassiga.



**Pilt 7. Tolmutõrje kopolümeeridega LBS ja LDC**



**Pilt 8. Kopolümeeridega LBS ja LDC töödeldud kruuskatte vahetult peale teostust. Kate on vihma tõttu üleniiskunud.**



**Pilt 9. Tolmutõrje kopolümeeriga LBS**



**Pilt 10. Kopolümeeridega töödeldud kruuskate vahetult peale teostust.**





**Pilt 11. 2015.a. kopolümeeridega töödeldud kruuskate, juuni 2017.  
Märgata on tolmutõrje toimet.**

## **2.6. Tolmutõrje bituumenemulsiooniga**

Tolmutõrjeks kasutati 30% bituumenemulsiooni bituumeniga 160/220. Bituumenemulsiooni temperatuur teele pihustamisel oli 55°C.

Enne bituumenemulsiooni pihustamist karestati kruuskate tapiteraga ja kasteti veega. Peale bituumenemulsiooni pihustamist puistati emulsioonile sõelutud liiva ja lõpuks kate tihendati rulliga.

Tolmutõrjel kasutati erinevaid bituumenemulsiooni kulunorme. 2015 aastal oli katselõigu alguses kulunorm 1,5 kg/m<sup>2</sup> ja lõpus 0,6 kg/m<sup>2</sup>, vahepeal kasutati veel 1,0 ja 0,8 kg emulsiooni 1 m<sup>2</sup> kohta. 2016 aastal kasutati tolmutõrjel bituumenemulsiooni kulunormi 0,6 - 0,8 kg/m<sup>2</sup>.

2016 aastal bituumenemulsiooniga töödeldud kruuskate sõidetavas oli hea ja kestis kaks korda kauem kui 2015 aastal tehtud.

Bituumenemulsiooniga töödeldud kulumiskiht on kruuskatte hooldamiseks kergesti töödeldav ja hõõveldatav.

2016 aasta septembris kaeti bituumenemulsiooniga töödeldud katselõik 2,5-kordse eelpuistega pindamisega.



**Pilt 12. Tolmutõrje  
bituumenemulsiooniga.**



**Pilt 13. Bituumenemulsiooni katmine  
sõelutud liivaga**



**Pilt 14. Bituumenemulsiooniga töödeldud kruuskate vahetult peale tolmutõrjet. Bituumenemulsioon on kaetud sõelutud liivaga.**



**Pilt 15. Bituumenemulsiooniga töödeldud kruuskate 10 päeva peale tolmutõrjet.**

## 2.7. Kruuskatte pindamine

2015 aastal teostati katselõikudel nr 1 ja 2 kruuskatte pindamine.

Lõigul 1 tehti 1,5-kordne pindamine kruuskillustikkude 8/12 ja 4/8 ning bituumenemulsiooniga C67B4.

Lõigul 2 tehti 1-kordne pindamine kruuskillustiku 8/12 ja bituumenemulsiooniga C67B4.

2016 aasta kevadeks oli mõlemal lõigul killustik ulatuslikult lahti tulnud ja teepind oli auklik. Seda ilmselt soodustas asjaolu, et pindamine teostati vahetult peale uue kulumiskihi ehitust. Lagunenud kohad parandati pritskillustikuga.

2016 aasta septembris kaeti need lõigud üle 1,5-kordse eelpuistega pindamisega.

Kõik pinnatud lõigud olid 2017 aasta juunis heas seisukorras, olulisi defekte ei täheldatud.

## 2.8. Tolmutõrje katselõikude võrdlus

Tolmutõrje materjalide tõhususe hindamiseks ja võrdlemiseks teostati lisaks visuaalsetele vaatlustele lendtolmu heitkoguste mõõtmist mobiilse mõõteseadmega REAL ja määrati kloriididega töödeldud kruuskatete kloriidide sisaldust. 2015 aastal teostati ka teepinna tasasuse mõõtmine.

2015 aastal teostati kloriididega ning kopolümeeridega LBS ja LDC töödeldud katselõikudel teekatete profileerimine 4 kuud pärast tolmutõrjet, 29 oktoobril. Selleks ajaks ei vastanud tolmutõrje materjalidega töödeldud katselõikude teekatete tasasus liiklejate soovidele, kuid vastasid seisunditasemele 2. Rapsiõli ja bituumenemulsiooniga töödeldud katted profileeriti üle juba 1 kuu pärast tolmutõrjet.

2016 aastal profileeriti kloriididega töödeldud kruuskatted üle 3 kuud pärast tolmutõrjet. 2016 aastal rapsiõliga ja bituumenemulsiooniga töödeldud kruuskatted pidasid vastu 2015 aastal tehtust kauem.

### 2.8.1. Kloriididega töödeldud katselõikude kloriidide sisaldus

2015 ja 2016 võeti igalt kloriididega töödeldud katselõigult kruuskatte kulumiskihist kolm proovi. Proovid võeti vahetult peale tolmutõrjet ja kolm kuud pärast seda. Erinevatel aegadel võetud proovid on võetud samadest kohtadest, välimisest sõidujäljest, maksimaalselt 1 m nihkega. Kruuskatte materjali kloriidide sisaldus määrati Eesti Keskkonnauuringute Keskuse laboratooriumis pinnase vesileotisest. Pinnase vesileotis on tehtud suhtega 1:5 (50 g pinnast ja 250 ml destilleeritud vett) fraktsioonist < 1 mm.

Labori katsete tulemuste põhjal võib järeldada, et kloriidide sisaldus kruuskattes on kolme kuuga muutunud oluliselt ja kloriidid on suuremalt jaolt kolme kuuga materjalist välja leostunud. Granuleeritud kloriididega katselõikudel on kloriidide sisalduse muutus väiksem kui kloriidide lahustega töödeldud katselõikudel.

Võrreldes 2015 aasta katse tulemustega oli 2016 aastal kloriidide sisalduse muutus kõikidel lõikudel suurem. Proovide võtmise vaheaeg oli 2016 aastal üks nädal pikem. Kui 2015 aastal teostati tolmutörjet kloriididega 19. juunil, siis 2016 aastal üks kuu varem, 18. mail.

**Tabel 3. Kloriidide sisalduse muutus**

| Lõik | Materjal                        | Proovi nr | Kloriidide sisalduse muutus % |      |
|------|---------------------------------|-----------|-------------------------------|------|
|      |                                 |           | 2015                          | 2016 |
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 12        | 94,34                         | 99,6 |
|      |                                 | 11        | 94,35                         | 99,0 |
|      |                                 | 10        | 98,37                         | 98,3 |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 9         | 94,64                         | 98,8 |
|      |                                 | 8         | 92,45                         | 98,7 |
|      |                                 | 7         | 96,30                         | 89,4 |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 6         | 86,96                         | 95,9 |
|      |                                 | 5         | 96,11                         | 82,4 |
|      |                                 | 4         | 98,32                         | 65,2 |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 3         | 95,65                         | 86,9 |
|      |                                 | 2         | 74,63                         | 93,0 |
|      |                                 | 1         | 71,43                         | 82,2 |

2015 ja 2016 aastate kloriidide sisalduste katsetulemuste koondandmed on esitatud lisas 1.

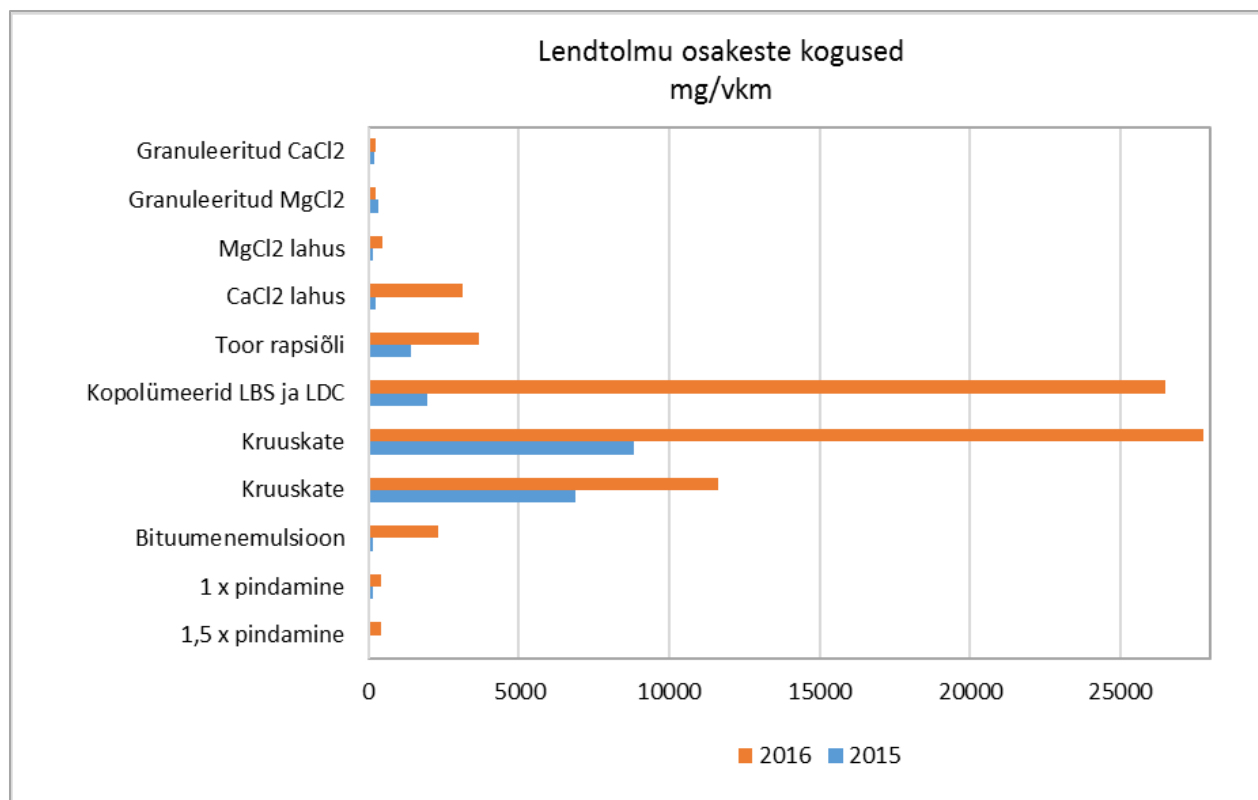
## 2.8.2. Heittolmu kogused

Katselõikudel mõõdeti lendtolmu emissiooni Eesti Keskkonnauuringute Keskuse OÜ poolt mõõteseadmega REAL (Pilt 16).

Vastavalt lendtolmu heitkoguste mõõtmise metoodikale mõõdetud kontsentratsioonide (milligrammi kuupmeetris, mg/m<sup>3</sup>) põhjal arvutati uuritava heittolmu hetkeline heitkogus (milligrammi sekundis, mg/s) ja uuritava heittolmu eriheide (milligrammi sõiduki sõidukilomeetri kohta, mg/vkm). Peenosakeste fraktsioonid (0,001 – 1m) summeeriti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>1,0</sub> ning tulemused on esitatud graafikul 1.



**Pilt 16 ja 17. Lendtolmu mõõtmine seadmega REAL**



**Graafik 1. Lendtolmu PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> ja PM<sub>1,0</sub> osakeste kogused.**

**Tabel 4. Heittoolmu kogused**

| Lõik | Materjal                        | Heittoolmu PM <sub>10</sub> kogused [mg/vkm] |            |
|------|---------------------------------|----------------------------------------------|------------|
|      |                                 | 21.07.2015                                   | 19.08.2016 |
| 1    | 1,5 x pindamine                 | 57,32                                        | 392,53     |
| 2    | 1 x pindamine                   | 123,42                                       | 428,55     |
| 3    | Bituumenemulsioon               | 138,42                                       | 2 321,94   |
| 4    | Kruuskate                       | 6 885,68                                     | 11 603,40  |
| 5    | Kruuskate                       | 8 839,50                                     | 27 771,94  |
| 6    | Kopolümeerid LBS ja LDC         | 1 951,63                                     | 26 507,06  |
| 7    | Toor rapsiõli                   | 1 393,69                                     | 3 686,44   |
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 247,23                                       | 3 136,18   |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 160,67                                       | 473,61     |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 309,14                                       | 222,05     |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 204,10                                       | 231,02     |

Väiksemad lendtolmu heitkogused mõõdeti kaltsium- ja magneesiumkloriidi helvestega töödeldud kruuskatetelt. 2016 tolmasid granuleeritud kloriididega katselõigud isegi vähem kui kruuskillustikuga pinnatud lõigud. Pindamislõikudel oli pindamiskiht kohati lagunened ja oli nähtav kruusakate. See omakorda mõjutas kindlasti ka mõõtmistulemusi.

Võrreldes 21.07 2016 a. mõõtetulemusi 19.08 2015 a. tulemustega, siis nähtub, et 2016 aasta heittoolmu PM<sub>10</sub> kogused on suuremad, välja arvatud granuleeritud kloriidide näitajad, mis on sarnased. 2016 aasta suuremad kogused on seletatavad sellega, et 2016 aastal teostati tolmutõrjet

üks kuu varem võrreldes varasema aastaga. Kui 2015 aastal teostati mõõtmisi 2 kuud pärast tolmutõrjet, siis 2016 aastal 3 kuud pärast seda. Kopolümeeridega töödeldud katselõikude heittoolmu koguste suur erinevus on tingitud sellest, et 2016 aastal antud lõigul kopolümeeridega tolmutõrjet ei teostatud.

2016 aasta tolmutõrje katselõikude heittoolmu koguste mõõtmiste aruanne on esitatud lisas 2.

### 2.8.3. Tolmutõrje meetodite ekspluatatsioonikulud

Tolmutõrje meetodite ekspluatatsioonikulud põhinevad 2015 aasta aruandes esitatud arvutustele. Täpsustatud on kloriididega, rapsi toorõli ja kopolümeeriga teostatud tolmutõrje meetodite kulud, kuna lisandusid täiendava profileerimisega seotud kulud. Täiendav profileerimine on suvel vajalik, et tagada kruuskatte nõutav tasetas.

**Tabel 5. Tolmutõrje materjalidega töödeldud kruuskatete 25.a. diskonteeritud ekspluatatsioonikulud**

| Lõik | Materjal                        | 25.a. diskonteeritud ekspluatatsioonikulud €/km |
|------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1    | 1,5 x pindamine                 | 45 706,00                                       |
| 2    | 1 x pindamine                   | 45 853,00                                       |
| 3    | Bituumenemulsioon               | 99 454,00                                       |
| 4,5  | Kruuskate                       | 34 794,00                                       |
| 6    | Kopolümeerid LBS ja LDC         | 136 173,00                                      |
| 7    | Toor rapsiõli                   | 107 228,00                                      |
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 43 549,00                                       |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 46 857,00                                       |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 51 819,00                                       |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 46 030,00                                       |

### 2.8.4. Kruuskattega ja pinnatud kruuskattega tee kulude võrdlus

Erinevate ekspertide hinnangutel on kruuskatetel tolmu ja lahtise kattekruusa tõttu teekasutaja kulud 10-30% kõrgemad võrreldes tolmuwabade katetega. Lisaks kaasnevad tolmuuga kaudsed kulud, mis seotud sõiduaja pikenemisega, teede ääres elavate inimeste tervise riskidega, põllumajandussaaduste väiksema saagikusega jm. võimalike keskkonnakahjudega.

HDM-4 tarkvara baasil on võrreldud kruuskattega tee ja pinnatud kruuskattega tee kulusid, sealhulgas teekasutaja kulusid, mis sisaldavad sõiduki ülalpidamise kulusid (kütus, rehvid, määrdeained, varuosad, amortisatsioon jne), sõiduaja kulusid nii reisijatele kui kaubale ning liiklusõnnetuste kulusid ühiskonnale.

Analüüsitud teelõik on kruuskattega (baasvariant) ja alternatiivse variandina vaadeldakse selle teelõigu 2,5 kordset pindamist. Teelõigu pikkus on 10 km ja teekatte laius on 6 m. AKÖL on 100 autot/ööp. Analüüsis on eeldatud, et liiklusohutuse olukord analüüsitud variantide osas ei erine. Sõidukiiruseks on arvestatud kruuskattega teel 80 km/h ja pinnatud kruusateel 90 km/h.

Teekatte seisukorda iseloomustava parameetrina on arvestatud teekatte taset kirjeldavat IRI-arvu, milleks on kruusateel arvestatud vahemikku 3,0-4,0 mm/m ja pinnatud kruusateel 2,5-3,5 mm/m (pärast pindamist).

HDM-4 tarkvara baasil tehtud kulude analüüsi meetodika on esitatud lisas 3 ja analüüsi tulemused on alljärgnevas tabelites.

**Tabel 6. Analüüsitud variantide diskonteeritud koondkulud**

|                           | Kulud, miljon eurot |                               |                   |                |                   |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
|                           | Kapitali kulud      | Perioodilised (hooldus) kulud | Teekasutaja kulud | Sõiduaja kulud | Liiklus-õnnetused |
| Kruuskattega tee          | 0,376               | 0,027                         | 2,353             | 0,397          | 0,0               |
| Pinnatud kruuskattega tee | 0,464               | 0,002                         | 2,205             | 0,308          | 0,0               |

Viidates Tabelis 6 toodud andmetele on pinnatud kruuskattega tee puhul teekasutaja kulud koos sõiduaja kuludega 28,7% väiksemad kui kruuskattega teel.

Majandusanalüüsi tulemuste põhjal on pinnatud kruusatee puhul teehaldaja kulud küll suuremad kui kruusateel, kuid teekasutajate poolt saadavad tulud on suuremad. Peamine tulu saadakse teekasutaja kulude vähenemisest (62,4%). Sõiduaja kulude vähenemisest (ca 37,6%) saadav tulu on väiksem. Väljavõtte tarkvara HDM-4 majandusanalüüsi tulemuste kokkuvõttest on toodud joonisel 1.

**Joonis 1. Väljavõtte HDM-4 majandusanalüüsi kokkuvõttest**

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: SKPK\_kruus

Run Date: 15-06-2017

Currency: Euro (millions)

Discount: 4.00%

Analysis Mode: Analysis-by-Project

Alternative: Pinnatud kruuskate vs Alternative: Base alternative

No Sensitivity Analysis Conducted

|              | Increase in Road Agency Costs |           |         | Savings in MT VOC | Savings in MT Travel Time Costs | Savings in NMT Travel & Operating Costs | Reduction in Accident Costs | Net Social / Exogenous Benefits | Net Economic Benefits (NPV) |
|--------------|-------------------------------|-----------|---------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|              | Capital                       | Recurrent | Special |                   |                                 |                                         |                             |                                 |                             |
| Undiscounted | 0.06                          | -0.04     | 0.00    | 0.24              | 0.15                            | 0.00                                    | 0.00                        | 0.00                            | 0.37                        |
| Discounted   | 0.09                          | -0.03     | 0.00    | 0.15              | 0.09                            | 0.00                                    | 0.00                        | 0.00                            | 0.17                        |

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 13.9% (No. of solutions = 1)

HDM-4 Version 2.1

Page 1 of 1



## 2.8.5. Tolmutõrje katselõikude võrdluse kokkuvõte

Kuna 2016 aastal teostati tolmutõrjet võrreldes 2015 aastaga 1 kuu varem, siis kokkuvõttes tolmutõrje toime võrdluses on kasutatud 2016 aasta mõõtmiste tulemusi.

**Tabel 7. Tolmutõrje katselõikude võrdlus**

| Lõik | Materjal                        | Kloriidide sisalduse muutus, 3 proovi keskm | Heittolmu PM <sub>10</sub> kogused | 25.a. diskonteeritud eksploatatsiooni kulud |
|------|---------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
|      |                                 | %                                           | mg/vkm                             | €/km                                        |
| 1    | 1,5 x pindamine                 | -                                           | 392,53                             | 45 706,00                                   |
| 2    | 1 x pindamine                   | -                                           | 428,55                             | 45 853,00                                   |
| 3    | Bituumenemulsioon               | -                                           | 2 321,94                           | 99 454,00                                   |
| 4    | Kruuskate                       | -                                           | 11 603,40                          | 34 794,00                                   |
| 5    | Kruuskate                       | -                                           | 27 771,94                          |                                             |
| 6    | Kopolümeerid LBS ja LDC         | -                                           | 26 507,06                          | 136 173,00                                  |
| 7    | Toor rapsiõli                   | -                                           | 3 686,44                           | 107 228,00                                  |
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 99,0                                        | 3 136,18                           | 43 549,00                                   |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 95,6                                        | 473,61                             | 46 857,00                                   |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 81,2                                        | 222,05                             | 51 819,00                                   |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 87,4                                        | 231,02                             | 46 030,00                                   |

Tabelis 7 esitatud andmete ja visuaalse seire tulemuste põhjal võib järeldada, et kui mitte arvestada pindamise katselõikusi, siis erinevate tolmutõrje tõhusust iseloomustavate näitajate põhjal on paremad tulemused granuleeritud kloriididega töödeldud kruuskatetel.

Kui 2015 aastal olid paremad tulemused kloriidide lahustega töödeldud katselõikudel, siis 2016 aastal olid granuleeritud kloriididega töödeldud katselõikudel. Kuid arvestades asjaolu, et kloriididega töödeldud katselõikude tolmutõrje tõhusust iseloomustavad näitajad on suhteliselt sarnased ning kaltsiumkloriidiga töödeldud katselõik asub põldude vahel ja teised on metsa vahel, siis võib kokkuvõttes järeldada, et kaltsiumkloriidiga töödeldud kruuskate on toiminud tõhusaima tolmutõrje materjalina.

1,5- ja 1-kordsed pindamised ei ole vastu pidanud olemasolevale liiklusele. Seda ilmselt soodustas ka asjaolu, et pindamine teostati vahetult peale uue kulumiskihi ehitust.

Toor rapsiõliga töödeldud kruuskate toimis 2016 aastal pikemalt ja paremini kui 2015 aastal, kuna kruuskate materjal segati toorõliga paremini läbi. Üldiselt toimib rapsiõli tolmutõrje materjalina hästi, kuid töödeldud kulumiskihi materjal vajab pärast kahte kuud uuesti läbi segamist ja profileerimist, sest rapsiõline kruusakiht muutub kohati ebatasaseks, auklikuks. Pärast profileerimist tolmutõrje toime püsib. Rapsiõli puhul on probleemiks selle ebameeldiv lõhn, mida on tunda ka aasta pärast tolmutõrjet.

2016 aastal bituumenemulsiooniga töödeldud katselõik pidas vastu terve suve, kuni 06. septembril see kaeti pindamiskihiga. Kohati bituumenemulsiooni kiht oli lagunenu, auklik ja kruusliiv oli välja tulnud, kuid üldine sõidetavus oli rahuldav ja see tolmutõrje meetod täitis eesmärgi.

2016 aasta septembris kaeti pindamise katselõigud 1,5-kordse eelpuistega pindamisega ning kloriididega ja bituumenemulsiooniga tolmutõrje katselõigud 2,5-kordse eelpuistega pindamisega. 2017 aasta järelevaatusel pinnatud lõikudel defekte ei täheldatud ja sõidetavus oli väga hea. Ka teistel katselõikudel oli sõidetavus väga hea. 2016 aastal rapsiõliga teostatud tolmutõrje katselõigul võis märgata veel tolmutõrje toimet.

### 3. Kruuskatte stabiliseerimise materjalide katsetamine

#### 3.1. Kruuskatte stabiliseerimise materjalid ja meetodid

Kruuskatte stabiliseerimise materjale ja meetodeid katsetati kõrvalmaanteel nr 24109 Kõo – Kolga-Jaani, teelõigul km 17.7 - 19.1. 2016 aastal oli Maanteeameti liiklusloenduse andmete põhjal antud teelõigul aasta keskmine ööpäevane liiklusintensiivsus (AKÖL) 123 autot/ööp, millest 2% oli raske-liiklus. Antud teelõik jaotati järgmisteks 468 m pikkusteks katselõikudeks:

**Tabel 8. Pinnase stabiliseerimise katselõigud**

| Lõik | Aadress PK      | Materjal                                                                          |
|------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 177+24 – 181+92 | Ridakillustikuga (OTTA) 0-16 pindamine (kruuskillustiku ja bituumenemulsiooniga)* |
| 2    | 181+92 – 186+59 | Pinnase stabiliseerimise materjal InfraCrete                                      |
| 3    | 186+59 – 191+27 | Pinnase stabiliseerimise materjalid M10+50™ ja LBS                                |

\*Algselt oli ette nähtud katsetada Consolide pinnase stabiliseerimise tehnoloogiat. Kuna olemasoleva tee muldkehast võetud kruuspinnase laboratoorsete katsetuste tulemusena selgus, et pinnase savisisaldus on antud materjali/meetodi kasutamiseks liiga väike 1,7-2,6%, siis loobuti antud materjali kasutamisest. Vastasel juhul oleks pidanud tee peale juurde vedama savikat materjali, mis ei oleks olnud mõistlik. Antud meetod sobib eelkõige savikate pinnaste stabiliseerimiseks.

2015 aastal teostati pinnase stabiliseerimine ja stabiliseeritud katselõikude 1,5-kordne pindamine pooles katselõigu ulatuses ning esimese katselõigu kruuskatte ridakillustikuga pindamine. Kruuskatte pindamine teostati vahetult peale uue kruuskatte kulumiskihi ehitamist. 2016 aastal teostati pindamata jäänud kruuskatte stabiliseerimise lõikudel defektide parandust ja kaeti need lõigud 1,5-kordse pindamisega.

#### 3.2. Kruuskatte stabiliseerimine InfraCrete® ja tsemendiga

Mineraalne aine InfraCrete on hüdrauliline lisaaine, mida kasutatakse pinnase stabiliseerimisel. Uus alus- ja külmumisvastane kiht valmistatakse olemasolevast teekatte ja aluse materjalist, mis segatakse tsemendi ja InfraCrete'ga. InfraCrete suurendab jõudlust ja neutraliseerib fulvic- ja karboksüülhapped ning seeläbi suurendab tsemendi hüdratatsiooni protsesse. Materjali struktuuri muutused tsemendi hüdratsiooni käigus tekkivate uute mineraalide kaudu suurendavad stabiliseeritud pinna elastsust, surve- ja tõmbetugevust ning muudavad ta külma-ja niiskuskindlaks. Sisuliselt saavutab stabiliseeritud pind betooni tugevusklassi. Tehnoloogiliselt on tegemist sisuliselt klassikalise stabiliseerimisega, mille käigus lisatakse InfraCrete ja tsementi.

Sõltuvalt katselõigu pinnase omadustest ja tee liikluskagedusest määrati Infrcrete kulunormiks 0,88 kg/m<sup>2</sup> ja tsemendi normiks 43,12 kg/m<sup>2</sup>. Tegelikult läks stabiliseerimiseks kahe kordne InfraCrete norm. Planeeritud 2,5 t InfraCrete aesemel kulus katselõigu stabiliseerimiseks 5,0 t materjali. Põhjuseks võis olla tsemendilaoturiga InfraCrete paanide kaupa laotamisel tehtud valearvestus. InfraCrete laotamiseks oleks pidanud olema spetsiaalne laotur, mis võimaldab doseerida väiksemaid materjali koguseid piisava täpsusega. Tsemendilaotur ei ole sobilik väikeste materjali koguste doseerimiseks.

Stabiliseeritud pinnase kihi paksuseks oli 30 cm.

2015 aastal stabiliseeritud lõigul teostati 1,5-kordne pindamine ainult poole lõigu ulatuses, et hinnata stabiliseeritud kruuskatte pinna seisukorda.

2016 aasta kevadel oli InfraCrete ja tsemendiga stabiliseeritud kruuskatte tasasus rahuldav, pindamata lõigul esines kohati ebatasasusi, väikseid auke. Kuni 5 mm laiuseid põikpragusi oli kokku 11,

sealhulgas pinnatud lõigul 3, mida eelmise aasta sügisel veel ei olnud. Võrreldes 2015 aasta sügisese ülevaatusega oli pindamata lõigul põikpragusid vähem, kuid stabiliseeritud kruuskatte oli muutunud ebatasasemaks. 2016 aastal teostati pindamata lõigul defektide parandus ja 1,5-kordne pindamine. 2017 aasta juunis oli antud lõigu sõidetavus hea, kuid see lõik, mis algselt jäi pindamata oli ebatasem. Katselõigul esines defekte, väikseid liiklusohutuid auke ja põikpragusid. Praod olid tekkinud juba 2016 aastal. Uusi pragusid ei täheldatud, kuid need on muutunud suuremaks.



**Pilt 17. Pinnase stabiliseerimine  
InfraCrete ja tsemendiga.**



**Pilt 18. Kattepind peale stabiliseerimist.**



**Pilt 19. Pindamata InfraCrete ja tsemendiga  
stabiliseeritud ja kruuskate, 2016**



**Pilt 20. InfraCrete ja tsemendiga stabiliseeritud ja 2015 pinnatud kruuskate, 2016**



**Pilt 21. InfraCrete ja tsemendiga stabiliseeritud ja pinnatud kruuskate, 2017**

### 3.3. Kruuskatte stabiliseerimine M10+50<sup>TM</sup> ja LBS polümeeridega

M10+50 (Inorganic Acrylic Co-polymer) on pinnast siduv vedelik, mida kasutatakse tee konstruktiooni erinevate aluskihtide füüsilis-mehaaniliste omaduste, sealhulgas kandevõime parandamiseks muutes töödeldud kihi veekindlaks ja elastseks. Savikate pinnaste puhul lisatakse LBS (Silicate Polymer) mitte siduvat polümeeri, mis eemaldab savist ja savistest materjalidest vee ja niiskuse läbi ionivahetuse protsessi ning ei lase uuel veel ja niiskusel materjali imbuda.

M10+50 ja LBS koosmõjul tagavad elastse stabiliseeritud pinnase kihi. LBS'i lisatakse selleks, et erinevatest savistest pinnase osakestest välja viia vesi ja niiskus ning muuta segu ilmastikukindlaks. M10+50 seob osakesed omavahel kokku ühtlaseks kihiks. Stabiliseeritud kihi tugevdamiseks lisatakse ka tsementi või tsement+tuhka.

Pinnase stabiliseerimiseks kasutati paakautot, millesse eelnevalt segati veega M10+50 ja LBS, pinnase stabilisaatorit, tsemendilaoturit, teehöövli ja vibrorulli. Tehnoloogiliselt on tegemist sisuliselt klassikalise stabiliseerimisega.

Kruuskatte stabiliseerimisel kasutatud materjalide kulunormid:

- M10+50 – 1 l/m<sup>2</sup>;
- LBS – 0,14 l/m<sup>2</sup>;
- Tsement – 22 kg/m<sup>2</sup>.

Stabiliseeritud kihi paksus on 30 cm.

2016 aastal oli M10+50<sup>TM</sup> ja LBS polümeeridega ning tsemendiga stabiliseeritud kruuskate pind ebatasane, murenenud, augud ja piki vaod <5 cm. Pindamata lõigul olid korrapäratud kuni 3 mm laiused põikpraod. Pinnatud lõigul oli 2 põikpragu, mida 2015 aasta sügisel ei olnud. Võrreldes 2015 aasta sügisese ülevaatusena on katte seisukord halvenenud. Pinnatud lõigul olid varakevadised augud lapitud, kuid kohati oli veel väiksemaid auke.

2017 aasta juunis oli antud katselõigul väikeseid auke ja pinnatud katte lagunemisi ning neli põikpragu. Võrreldes InfraCrete ja tsemendiga stabiliseeritud katselõiguga on antud katselõigul oluliselt rohkem defekte ja teelõik on ebatasasem, kuid põikpragusid vähem.



**Pilt 22. Kruuskatte stabiliseerimine M10+50<sup>TM</sup> ja LBS polümeeride ning tsemendiga**



**Pilt 23. Kattepind vahetult peale stabiliseerimist**





**Pilt 23. Remonditud M10+50™ ja LBS polümeeridega stabiliseeritud kruuskate enne pindamist, 2016**



**Pilt 24. M10+50™ ja LBS polümeeridega stabiliseeritud ning 2015 pinnatud kruuskate, 2016**



**Pilt 25. M10+50™ ja LBS polümeeridega stabiliseeritud kruuskate, 2017**



**Pilt 26. M10+50™ ja LBS polümeeridega stabiliseeritud ning 2015 pinnatud kruuskate. Taamal InfraCrete'ga stabiliseeritud kruuskate, 2017**

### 3.4. Kruuskatte pindamine

2015 aasta 01. novembril teostati katselõigul nr 1 eelnevalt ehitatud uuele kruuskatte kulumiskihile ridakillustikuga (OTTA) 0/16 pindamine (kruuskillustiku ja bituumenemulsiooniga), et võrrelda erinevate tolmuwabade kergkatete vastupidavust olemasolevale liikluskoormusele.

Juba 2016 aasta kevadel olid kattes augud, mis võis olla tingitud sellest, et pindamine teostati vahetult peale uue kulumiskihi ehitamist.

2017 aasta juunis oli pinnatud kruuskattes rohkesti auke.



**Pilt 27. Ridakillustikuga pinnatud kruuskate, 2017**

### 3.5. Kruuskate stabiliseerimise katselõikude võrdlus

Stabiliseerimise materjalide tõhususe hindamiseks teostati lisaks visuaalsetele vaatlustele teekatte tasasuse mõõtmine Roadroid mõõteseadmega ja tee kandevõime mõõtmine FWD seadmega.

#### 3.5.1. Teekatte tasasus

Stabiliseeritud katselõikude tasasust mõõdeti Roadroid Classic v1.7.2 seadmega.

Võrreldes 2015 ja 2016 aastate teepinna tasasuse mõõtmistulemusi võib järeldada, et tasasus on muutunud kehvemaks. Seda on mõjutanud asjaolu, et pool katselõikudest jäid 2015 aastal peale stabiliseerimist pindamata ning nendel lõikudel tekkisid augud ja roopad, eriti M10+50<sup>TM</sup> ja LBS põlumeeridega stabiliseeritud lõigul. Tegelikult vajavad stabiliseeritud kruuskatted koheselt katmist pindamiskihiga või muu kattega sõltuvalt liikluskoormusest.

Vastavalt kehtivatele Tee ehitamise kvaliteedi nõuetele on suurim lubatud IRI väärtus ühekihilisel uuel kattel killustik või kruusalusel 3,0 mm/m. Ainult ridakillustikuga pinnatud teelõigu tasasus vastab antud nõudele.

**Tabel 9. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude tasasus**

| Lõik | Materjal                                                        | Lõigu keskmine IRI mm/m |      |
|------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|------|
|      |                                                                 | 2015                    | 2016 |
| 1    | Ridakillustikuga (OTTA) 0-16 pindamine                          | 2,98                    | 2,97 |
| 2    | Pinnase stabiliseerimise materjal InfraCrete                    | 2,70                    | 3,06 |
| 3    | Pinnase stabiliseerimise materjalid M10+50 <sup>TM</sup> ja LBS | 3,45                    | 4,50 |

#### 3.5.2. Teekatte kandevõime

Katselõikude kandevõimet mõõdeti Dynatest FWD-8002 seadmega.

Viidates mõõteprotokollidele on InfraCrete materjaliga stabiliseeritud katselõigu kandevõime minimaalse ja maksimaalse näitaja erinevus suhteliselt suur. M10+50<sup>TM</sup> ja LBS materjalidega katselõigu kandevõime näitajad on ühtlasemad. Samas mõõtmisprotokolli põhjal võib järeldada, et kuna kandevõime näitajad kõiguvad suurtes piirides, siis stabiliseerimisel ei ole materjalid segatud ühtlaselt.

Võrreldes 2015 ja 2016 aastate tasasuse mõõtmistulemusi on InfraCrete materjaliga stabiliseeritud kruuskatte kandevõime pisut suurenenud ning M10+50<sup>TM</sup> ja LBS kopolümeeride puhul vähenenud.

**Tabel 10. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude kandevõime**

| Lõik | Materjal                                                        | Lõigu keskmine E <sub>mod</sub> Mpa |      |
|------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|
|      |                                                                 | 2015                                | 2016 |
| 1    | Ridakillustikuga (OTTA) 0-16 pindamine                          | 124                                 | 143  |
| 2    | Pinnase stabiliseerimise materjal InfraCrete                    | 569                                 | 596  |
| 3    | Pinnase stabiliseerimise materjalid M10+50 <sup>TM</sup> ja LBS | 322                                 | 269  |



### 3.5.3. Tolmutõrje ja kruuskatte stabiliseerimise meetodite ekspluatatsioonikulud

Kruuskatte stabiliseerimise meetodite ekspluatatsioonikulud põhinevad 2015 aasta aruandes esitatud arvutustele.

**Tabel 11. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskatete 25.a. diskonteeritud ekspluatatsioonikulud 1 km tee kohta**

| Lõik | Materjal                                                                              | 25.a. diskonteeritud ekspluatatsioonikulud €/km |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1    | Ridakillustikuga (OTTA) pindamine                                                     | 44 451,00                                       |
| 2    | Kruuskatte stabiliseerimine InfraCrete ja tsemendiga                                  | 116 871,00                                      |
| 3    | Kruuskatte stabiliseerimine M10+50 <sup>TM</sup> ja LBS polümeeridega ning tsemendiga | 123 411,00                                      |

### 3.5.4. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude võrdluse kokkuvõte

**Tabel 12. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude mõõtmiste tulemused ja efektiivsuse näitajad**

| Lõik | Materjal                                                           | Kandevõime E <sub>mod</sub> keskm | Katte tasasus IRI keskm | 25.a. diskonteeritud ekspluatatsioonikulud |
|------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
|      |                                                                    | Mpa                               | mm/m                    | €/km                                       |
| 1    | Ridakillustikuga (OTTA) 0-16 pindamine                             | 143                               | 2,97                    | 44 451,00                                  |
| 2    | Pinnase stabiliseerimise materjal InfraCrete                       | 596                               | 3,06                    | 116 871,00                                 |
| 3    | Kruuskatte stabiliseerimise materjalid M10+50 <sup>TM</sup> ja LBS | 269                               | 4,50                    | 123 411,00                                 |

Tabelis 12 esitatud stabiliseeritud kruuskatte tõhusust iseloomustavate näitajate põhjal on InfraCrete'ga stabiliseeritud kruuskatte tasasem, kuid probleemiks on põikpraod, mis tekkisid kuu aja jooksul peale kruuskatte stabiliseerimist. Arvestades teekatte vajalikku kandevõimet on stabiliseerimisel kasutatatud tsemendi kogus 43,12 kg/m<sup>2</sup> ülehinnatud.

M10+50<sup>TM</sup> ja LBS polümeeride ning tsemendiga stabiliseeritud kruuskatte kandevõime on samuti liiga suur arvestades olemasolevat liikluskoormust. Teekatte on ebatasane ja kattes on palju defekte sealhulgas mõned põikpraod.

Ebatasased stabiliseeritud ja pinnatud kruuskatted on tingitud asjaolust, et pärast kruuskatte stabiliseerimist 2016 aastal jäid katselõigud pooles ulatuses pindamata, et paremini hinnata stabiliseeritud kruuskatte seisukorra muutusi.

Ridakillustikuga pinnatud katselõigul on rohkesti auke ja ebatasasusi, mis tingitud asjaolust, et pindamine teostati sügisel vahetult peale kruuskatte uue kulumiskihi ehitust.

## 4. Kokkuvõte ja ettepanekud

### 4.1. Tolmutõrje materjalid ja meetodid

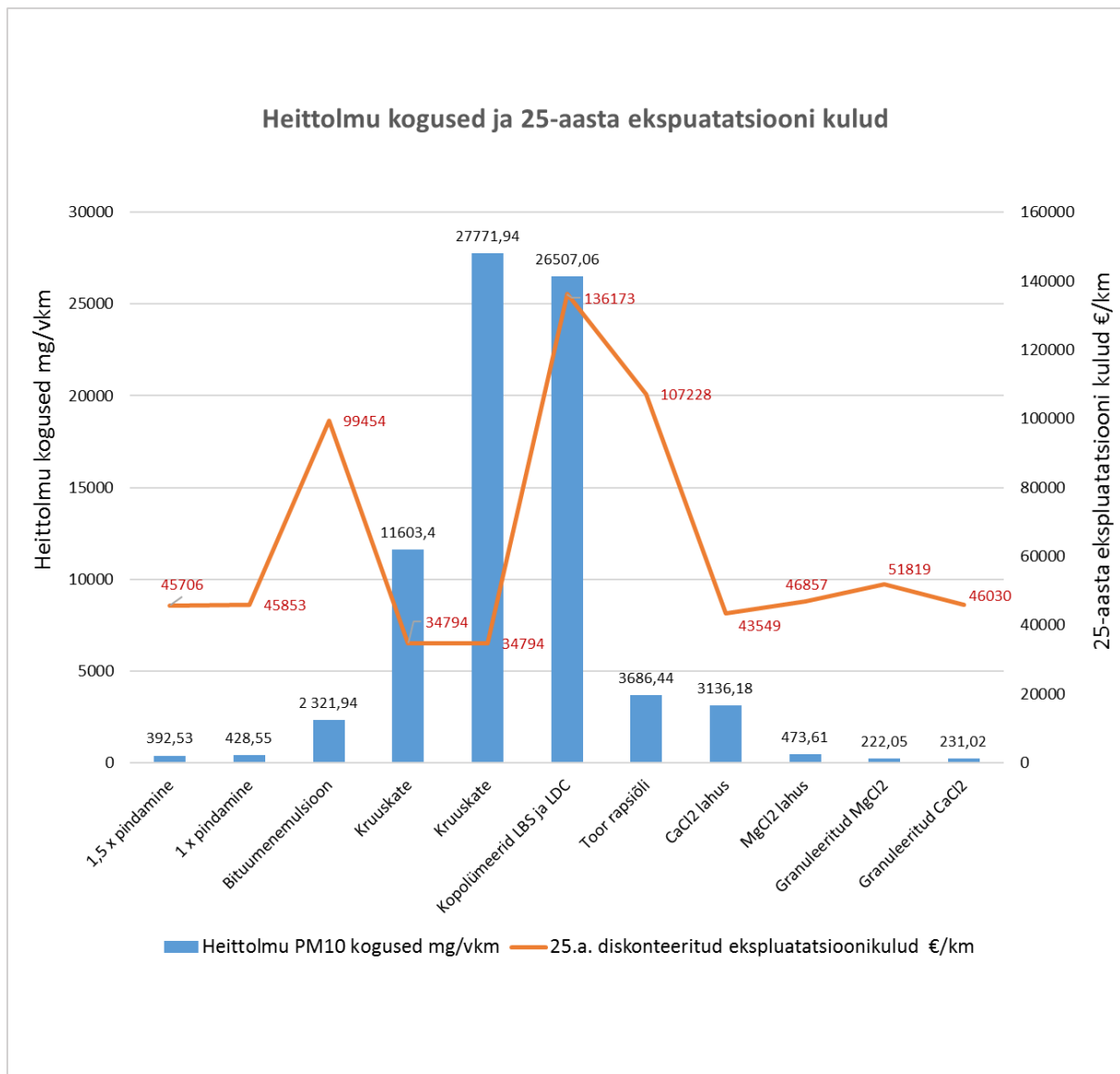
Tolmutõrje materjalide tõhusust iseloomustavate mõõtmistulemuste ja visuaalse seire põhjal selgus, et:

- Granuleeritud kloriididega töödeldud kruuskatted tolmasid vähem kui teiste tolmutõrje materjalidega töödeldud katted. 2016 aastal olid granuleeritud kloriididega töödeldud kruuskatetel mõõdetud heittolmu kogused isegi väiksemad kui pinnatud katselõikudel.
- Tänu paremale ja täpsemale materjalide läbisegamisele ja doseerimisele pidasid toor rapsiõliga ja bituumenemulsiooniga töödeldud kruuskatted 2016 aastal vastu oluliselt paremini kui 2015 aastal.
- 1,5- ja 1-kordne pindamine ei pidanud antud liikluskooormusele vastu.
- Kopolümeeridega LBS ja LDC tolmutõrje ei täitnud püstitatud eesmärki, kuna katselõik tolmas rohkem kui teised lõigud, vaatamata sellele, et kopolümeeridega teostati tolmutõrjet teistest meetoditest hiljem.
- Toor rapsiõli ja kopolümeeridega töödeldud kruuskatete 25 aasta ekspluatatsioonikulud on teiste tolmutõrje materjalidega töödeldud kruuskatete kuludest märkimisväärselt suuremad.

2015 ja 2016 aasta tolmutõrje katsetuste tulemuste põhjal võib kokkuvõtteks järeldada, et arvestades asjaoluga, et granuleeritud kaltsiumkloriidiga katselõik asus ainsana lageda peal, teised olid metsa vahel ning võttes arvesse mõõdetud heittolmu näitajaid ja 25-aasta ekspluatatsioonikulusid ei ole katsetatud tolmutõrje materjalidest granuleeritud kaltsiumkloriidile sobivat alternatiivi, kui liiklussagedus jääb alla 100 autot/ööp.

**Tabel 13. Tolmutõrje katselõikude 2016.a. mõõtmiste tulemused ja efektiivsuse näitajad**

| Lõik | Materjal                        | Kloriidide sisalduse muutus, 3 proovi keskm | Heittolmu PM <sub>10</sub> kogused | 25.a. diskonteeritud ekspluatatsiooni kulud |
|------|---------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
|      |                                 | %                                           | mg/vkm                             | €/km                                        |
| 1    | 1,5 x pindamine                 | -                                           | 392,53                             | 45 706,00                                   |
| 2    | 1 x pindamine                   | -                                           | 428,55                             | 45 853,00                                   |
| 3    | Bituumenemulsioon               | -                                           | 2 321,94                           | 99 454,00                                   |
| 4    | Kruuskate                       | -                                           | 11 603,40                          | 34 794,00                                   |
| 5    | Kruuskate                       | -                                           | 27 771,94                          |                                             |
| 6    | Kopolümeerid LBS ja LDC         | -                                           | 26 507,06                          | 136 173,00                                  |
| 7    | Toor rapsiõli                   | -                                           | 3 686,44                           | 107 228,00                                  |
| 8    | CaCl <sub>2</sub> lahus         | 99,0                                        | 3 136,18                           | 43 549,00                                   |
| 9    | MgCl <sub>2</sub> lahus         | 95,6                                        | 473,61                             | 46 857,00                                   |
| 10   | Granuleeritud MgCl <sub>2</sub> | 81,2                                        | 222,05                             | 51 819,00                                   |
| 11   | Granuleeritud CaCl <sub>2</sub> | 87,4                                        | 231,02                             | 46 030,00                                   |



## 4.2. Kruuskatte stabiliseerimise meetodid

Stabiliseeritud kruuskattega katselõikude laboratoorsete katsete ja mõõtmistulemuste ning visuaalse seire põhjal selgus, et:

- nii kandevõime, tasetuse kui ka ekspuatatsiooni kulude näitajate poolest on paremad tulemused InfraCrete'ga stabiliseeritud kruuskattega katselõigul.
- vastavalt katsetamise lähteülesandele oli eesmärgiks saavutada kergkatte arvutuslik elastsusmoodul 150 MPa, kuid tegelikult ületavad katselõikude kandevõime näitajad seda mitmekordselt.
- mõlema katselõigu puhul on probleemiks põikpraod, mis tekkisid peale kruuskatte stabiliseerimist. Arvestades teekatte vajalikku kandevõimet on InfraCrete'ga stabiliseerimisel kasutatatud tsemendi kogus 43,12 kg/m<sup>2</sup> ülehinnatud.
- stabiliseeritud ja pinnatud katted jäid ebatasaseks eriti nendel lõikudel, kus kate jäi vahetult pärast stabiliseerimist pindamata. Stabiliseeritud alused tuleb esimesel võimalusel katta pindamise või muu kattega.

Kruuskatte kandevõime parandamiseks kasutatud InfraCrete ning M10+50<sup>TM</sup> ja LBS materjalid ja stabiliseerimise meetodid ei ole sobilikud tolmuwabade kergkatete ehituseks arvestades nende meetodite kõrget ekspluatatsioonikulusid ja katsetuste tegelikke tulemusi. Antud tehnoloogiaid võiks kasutada tootmisterritooriumite ja muude platside ja parklate ehitamisel, kus vajalik suurem kandevõime.

**Tabel 14. Stabiliseeritud ja pinnatud kruuskattega katselõikude mõõtmiste tulemused ja efektiivsuse näitajad**

| Lõik | Materjal                                                           | Kandevõime<br>$E_{mod}$ keskm | Katte tasasus<br>IRI keskm | 25.a. diskonteeritud ekspluatatsiooni kulud |
|------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|
|      |                                                                    | Mpa                           | mm/m                       | €/km                                        |
| 1    | Ridakillustikuga (OTTA) 0-16 pindamine                             | 143                           | 2,97                       | 44 451,00                                   |
| 2    | Pinnase stabiliseerimise materjal InfraCrete                       | 596                           | 3,06                       | 116 871,00                                  |
| 3    | Kruuskatte stabiliseerimise materjalid M10+50 <sup>TM</sup> ja LBS | 269                           | 4,50                       | 123 411,00                                  |

### 4.3. Ettepanekud

Arvestades kruuskatte tolmutõrje ja stabiliseerimise katsetuste tulemusi on kuluefektiivsete tolmutõrje ja kruuskatete stabiliseerimise materjalide ja meetodite kasutamiseks järgmised ettepanekud:

- Kruuskattega teedel võiks kulumiskihis kasutada purustatud kruusa fraktsiooniga 0/24. Täna kasutatakse valdavalt purustatud kruusa fraktsiooniga 0/31,5, kuid nendel teedel on palju lahtist kruusmaterjali, sealhulgas veerevaid kive, mis võivad ohustada liiklust. Tolmutõrje materjalid seovad 0/24 fraktsiooniga purustatud kruusa paremini.
- Tuleks jätkata alternatiivsete innovaatiliste ja kuluefektiivsete tolmutõrje ning pinnase stabiliseerimise materjalide otsinguid ja katsetamisi, sealhulgas Eestis tekkivaid tootmisjääke. Näiteks oleks võimalik katsetada Jõgeval asuvast rapsiõli tehases tootmisprotsessis õli puhastamisel tekkivat töödeldud vett (vesi+letsitiin), millele rapsiõli tootjad üritavad hetkel kasutust leida.
- Pinnase stabiliseerimise materjale ja meetodeid pakutakse erinevate välismaa tarnijate poolt, kuid tuleks põhjalikumalt uurida ja katsetada meil Eestis kasutamata nn tootmisjääke nagu põlevkivituhk ja paekivisõelmed.
- Heittolmu emissiooni mõõtmiseks saab edukalt kasutada Eesti Keskkonnauuringute Keskuse OÜ mõõteseadet REAL.
- Viidates HDM-4 tarkvara baasil tehtud kulude analüüsile on kruuskattega teedel, kus liiklussagedus on 100 auto/ööp ja raskeliikluse osakaal ei ületa 2%, kuluefektiivne teostada 2,5-kordne eelpuistega pindamine.

## 5. Summary

In 2014 Estonian Road Administration initiated a study to find out the cost effective dust control method for Estonian gravel roads. In 2014 Ramboll Estonia AS carried out the first phase of this study. Based on this study the dust suppressants and methods, which will be tested in the second phase of this study in 2015-2016, were proposed. Additionally, the soil stabilisation materials and methods were proposed to test for construction of dust-free light pavements on low-volume roads.

In this report the overview of test results of dust suppressants and methods used in 2015-2016 on Vanamõisa – Koonga – Ahaste road, Mihkli – Koonga road section, km 11,8 - 16,9 and monitoring results of stabilised gravel course sections on Kõo – Kolga-Jaani road, km 17.7 - 19.1 performed in 2015 are introduced. The effectiveness of various dust suppressants and soil stabilisation materials and methods was evaluated and compared based on the results and data of visual monitoring, laboratory tests, measurements and cost benefit analysis carried out.

In 2016 the same dust suppressants and methods and on the same 467 m long test sections as in 2015 were tested, including solid calcium and magnesium chlorides and their solutions, rap oil, co-polymers LBS and LDC solution and bitumen emulsion. The condition of test sections with different surface dressings performed in 2015 was monitored.

In 2016 the monitoring of two in 2015 stabilised gravel course test sections and one with surface dressing with non-graded crushed stone aggregate on Kõo - Kolga-Jaani road was carried out. Soil stabilisation with InfraCrete material system and cement was performed on one test section and solution mixed with M10+50™ and LBS polymers was used with cement on second section. A half of the stabilised test sections were covered with surface dressing in 2015 right after the stabilisation works and other part has left unsealed to better evaluate the changes of condition of stabilised gravel course and covered in 2016. The surface dressing with non-graded crushed stone aggregate was done on the third test section to compare and evaluate the resistance of different dust-free light pavements to the existing traffic volume.

Based on the measurements results of effectiveness characteristics of dust suppressants it came out that test sections with solid chlorides gave off dust less than sections treated with other dust suppressants. In 2016 the measured amounts of dust emission on test sections treated with solid chlorides were even smaller than on test sections with surface dressing. The gravel courses treated with rap oil and bitumen emulsion in 2016 withstood much longer than in 2015 due to the proper and more precise mixing and dosage of materials. The test sections with 1,5- and 1-time surface dressings did not withstand the current traffic conditions. 25-years operational costs of gravel road treated with rap oil and co-polymers are much higher than costs of other tested dust control methods.

**Table 1. Results of the measurements of dust control effectiveness characteristics, 2016**

| Test section | Material                      | Change in chloride content, avg of 3 samples | Dust emission, PM <sub>10</sub> concentration | 25 years discounted operational costs |
|--------------|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
|              |                               | %                                            | mg/vkm                                        | €/km                                  |
| 1            | 1,5 x surface dressing        | -                                            | 392,53                                        | 45 706,00                             |
| 2            | 1 x surface dressing          | -                                            | 428,55                                        | 45 853,00                             |
| 3            | Bitumen emulsion              | -                                            | 2 321,94                                      | 99 454,00                             |
| 4            | Gravel road without treatment | -                                            | 11 603,40                                     | 34 794,00                             |
| 5            | Gravel road without treatment | -                                            | 27 771,94                                     |                                       |
| 6            | Co-polymers LBS and LDC       | -                                            | 26 507,06                                     | 136 173,00                            |



| Test section | Material                   | Change in chloride content, avg of 3 samples | Dust emission, PM <sub>10</sub> concentration | 25 years discounted operational costs |
|--------------|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
|              |                            | %                                            | mg/vkm                                        | €/km                                  |
| 7            | Raip oil                   | -                                            | 3 686,44                                      | 107 228,00                            |
| 8            | CaCl <sub>2</sub> solution | 99,0                                         | 3 136,18                                      | 43 549,00                             |
| 9            | MgCl <sub>2</sub> solution | 95,6                                         | 473,61                                        | 46 857,00                             |
| 10           | Solid MgCl <sub>2</sub>    | 81,2                                         | 222,05                                        | 51 819,00                             |
| 11           | Solid CaCl <sub>2</sub>    | 87,4                                         | 231,02                                        | 46 030,00                             |

Based on the results of the laboratory tests and measurements of the soil stabilisation test sections the better evenness, bearing capacity and 25-year operational costs have been achieved by InfraCrete material system. But for both tested methods the problem is transverse cracks that emerged after soil stabilisation. Taking into account the bearing capacity needed for that gravel course, the amount of cement, 43,12 kg/m<sup>2</sup>, used in stabilisation was overestimated.

**Table 2. Results of the measurements of soil stabilisation effectiveness characteristics, 2016**

| Test section | Material                                                                  | Bearing capacity E <sub>mod</sub> avg | Evenness IRI avg | 25 years discounted operational costs |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|
|              |                                                                           | Mpa                                   | mm/m             | €/km                                  |
| 1            | Surface dressing with non-graded crushed stone aggregate 0/16             | 143                                   | 2,97             | 44 451,00                             |
| 2            | Soil stabilisation with InfraCrete material system and cement             | 596                                   | 3,06             | 116 871,00                            |
| 3            | Soil stabilisation with polymers M10+50 <sup>TM</sup> and LBS, and cement | 269                                   | 4,50             | 123 411,00                            |

Based on the test results of dust control materials and methods performed in 2015 and 2016 it can be concluded, that taking into account the measured amount of dust emission and 25-years operational costs there is no alternative to the solid calcium chloride among of the tested dust suppressants if traffic volume is up to 100 cars/day.

The stabilisation methods with InfraCrete material and M10+50<sup>TM</sup> and LBS polymers used to improve bearing capacity of gravel course are not suitable for construction of dust-free light pavements on low-volume roads taking into account their high operational costs and the test results.

## Lisa 1 – Kruuskatte kulumiskihi kloriidide sisalduste katsetulemuste koondandmed

|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|----------------------------------------------|--|
| <b>EESTI KESKKONNAUURINGUTE KESKUS</b><br><small>ESTONIAN ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTRE<br/>GEOTEHNIKALABOR<br/>GEOTECHNICAL LABORATORY</small> |  |  |  |  | <b>EAK poolt akrediteeritud katselabor reg. nr. L008</b><br>Labor ei vastuta laborisse toodud proovide kvaliteedi eest |  |  |  |  | <b>** akrediteerimata teim</b>                                                                                       |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  | Tabel: 1A                                                                                                              |  |  |  |  | Objekt:                                                                                                              |  |  |  |  | Teimiprotokoll:                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  | <b>KLORIIDIDE SISALDUS **</b>                                                                                          |  |  |  |  | Kloriidide sisaldus kõrvalmnt. 16176<br>Vanamõisa - Koonga - Ahaste, Mikhli - Koonga lõigu, km 15,0 - 17,0 kruuskate |  |  |  |  | 27X - 15<br>43X - 15<br>20X - 16<br>32X - 16 |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |
|                                                                                                                                                 |  |  |  |  |                                                                                                                        |  |  |  |  |                                                                                                                      |  |  |  |  |                                              |  |

## Lisa 2 - Heittoolmu koguste mõõtmiste aruanne

### 1 Metoodika

Mõõtmiste eesmärgiks oli hinnata erinevate tolmutõrje meetodite mõju peenosakeste (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>) emissioonile kruusakattega Mihkli-Koonga teelõigult. Katsed viidi läbi 21.07.2016, ajavahemikul 12:00 kuni 15:00, Pärnumaal, Koonga vallas, Mihkli-Koonga katselõigul, kilomeetritel 11,8 – 16,9. Mõõtmiste alguspunkt paiknes Mihkli asulast Koonga suunas asuval katselõigul (5,137 km), kus oli eelnevalt teostatud tolmutõrjet erinevate vahenditega (Joonis 3). Kokku oli katselõigul 11 katsetransekti (a 467 m). Kokku läbiti katselõiku 11 korda (sh iga transekti 11 korda), keskmine liikumiskiirus katselõigul oli 35 km/h.

Mõõtmiste ajal oli sõidukiks Volkswagen Amarok (2015) 2,0 TDI, (turbodiesel) mootori võimsuseks 132 kW. Sõiduki mõõtmed: pikkus 5181 mm, laius 1944 mm, kõrgus 1834 mm, registrimass 2820 kg. Tagumise telje koormus, kus paikneb sond, oli 1510 kg. Testmõõtmiste ajal kasutati rehvidena lamellrehve Michelin Latitude cross 265/70 R15 M+S. Sõiduki taga paiknes mõõtmisteks ümberehitatud järelveetav haagis, kus paiknesid analüsaatorid koos muude vajalike lisaseadmetega. Haagise mõõtmed olid: kogupikkus 5140 mm, laius 1920 mm ja kõrgus 2334 mm, registrimass 1700 kg.

Sõidukil kasutati mõõtmiste ajal tagasillavedu. Haagises paiknesid osakeste analüsaator ELPI+ (Electrical Low Pressure Impactor, Dekati), selle pump ning muud seadmed (elektrigeneraator, proovivõtusondid koos reguleeritavate ventilaatoritega, juhtarvuti, temperatuuriandurite logerid, katkematu voolutoite allikas, elektrikilp). Mõõteseadme REAL täpsem kirjeldus on toodud Maasikmets et al. (2013). Elektrienergiat analüsaatorite ja muude seadmete jaoks toodeti diisलगeneraatoriga (GE 12000 LD/GS, MOSA), mille võimsus oli 10 kW. Diisलगeneraatori heitgaasid juhiti läbi haagise katuse välisõhku ning seega generaatori heitgaasid sõiduki liikumisel mõõtetulemusi ei mõjutanud. Sõiduk oli varustatud globaalse positsioneerimisseadmega (GPS), mis võimaldas 1 sekundilise intervalliga salvestada sõiduki koordinaadid (kraadides) ja kiiruse (kilomeetrit tunnis). Sõiduki rattakoopasse oli kinnitatud spetsiaalne proovivõtuotsik pindalaga 400 cm<sup>2</sup>, mille ees paiknes sõel (augu diameeter 3 mm), mis takistas suurte osakeste sattumist proovivõtusondi (Joonis 1). Proovivõtusondid (2 tk) läbimõõduga 100 mm, pikkusega 3000 mm (sõiduki ja haagise vahel asuv paenduv sond) + 3563 mm (haagises asuv sond, paiknes järelhaagise põrandale kinnitatuna horisontaalselt). Õhu väljapuhe toimus haagise tagumistesse ustesse tehtud avauste kaudu. Kummaski proovivõtusondis oli kolm 10 mm läbimõõduga vertikaalselt paiknevat proovivõtuotsa, mille kaudu analüsaatorid imesid vajamineva õhuproovi. Proovivõtusondi oli lisaks paigaldatud ELPI+ temperatuuriandur, mis mõõtis analüüsitava õhu temperatuuri. Isokineetilise proovivõtu tagamiseks oli proovivõtusondide lõppu paigutatud reguleeritavad tõmbeventilaatorid (TD-800/200, maksimaalne väljapuhe 2x1100 m<sup>3</sup>/h) (Joonis 2). Proovivõtusondides liikuva õhu kiirust mõõdeti pisteliselt rõhuerinevuste kaudu automaatanalüsaatoriga Testo 400 (Testo AG). Auto esiosas paiknes fooniõhu analüsaator ELPI+ (Dekati), mis mõõtis paralleelselt peenosakeste sisaldust mõõtekäru paignevate analüsaatoriga. Lisaks mõõdeti reaalaajas teekatke niiskust ja temperatuuri mõõteseadmega MARWIS.

Mõõdetud kontsentratsioonide (milligrammi kuupmeetris, mg/m<sup>3</sup>) põhjal arvutati uuritava saasteaine hetkeline heitkogus (milligrammi sekundis, mg/s) ja uuritava saasteaine eriheide (milligrammi sõiduki sõidukilomeetri kohta, mg/vkm). Peenosakeste fraktsioonid (0,001 – 10 µm) summeeriti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ja PM<sub>1.0</sub> ning tulemused esitati PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ja PM<sub>1.0</sub> fraktsioonidena. Sõiduki rehvi tagant mõõdetud tulemustest lahutati fooniõhu tulemused.

Eriheite arvutamiseks kasutati alljärgnevaid valemeid (Mathissen et al., 2012)

$$E = \sum_t c_{av} \times A \times v_{sõiduk}$$

Võrrand 1

$$EF = \frac{E_{Total}}{d} \pm \frac{Stdev}{d}$$

Võrrand 2

kus:

E on hetkeline heitkogus (mg/s);

EF on eriheide (mg/vkm);

$C_{av}$  on PM10 massikontsentratsioon, millest on taustakontsentratsioon lahutatud ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

A on rehviaalne pindala ( $0,10 \text{ m}^2$ );

$V_{sõiduk}$  sõiduki kiirus ( $\text{m}/\text{s}$ );

d on läbitud vahemaa

Stdev on hetkelise heitkoguse standardhälve.



Joonis 1 Proovivõtusondi ja temperatuurianduri paigutus tagarehvi juures





Joonis 2 Mõõtesead REAL

## 2 Tulemused ja kokkuvõte

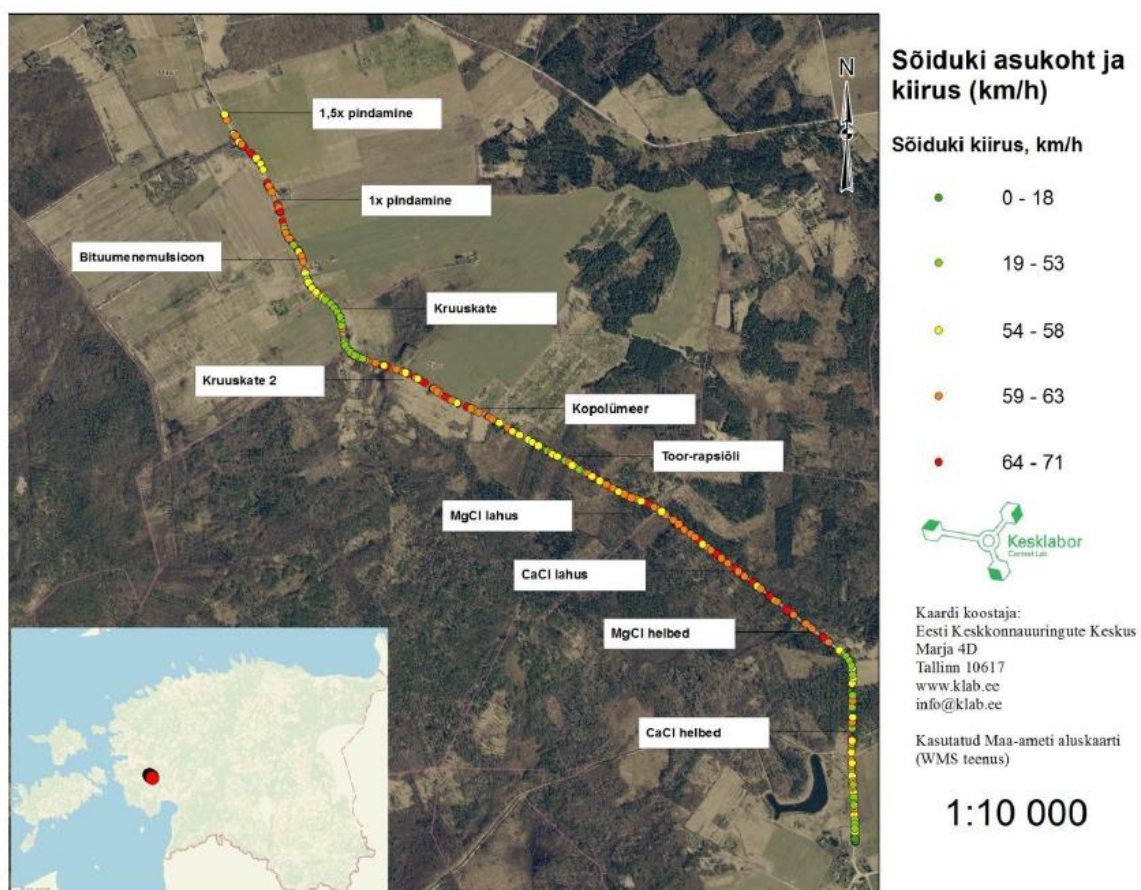
21.07.2016 oli Koongas sademeteta, vahelduva pilvisusega ilm, puhus kirdetuul kiirusega kuni 4 m/s (Joonis 5), õhutemperatuur oli 18-20 °C ning suhteline õhuniiskus oli keskmiselt 80% (Joonis 4). Kuna teekate oli kohati suhteliselt kuiv, siis võis see mõjutada peenosakeste emissiooni teekattelt kuna niiske teekate seob paremini osakesi (Bukowiecki et al., 2010). Samas esines teekattel löike (metsa vahel, kopolümeeri ja toorapsiõli katselõik), kus teekatte niiskus oli märkimisväärselt kõrgem teistest katselõikudest (Joonis 9).

Suurimad PM10 eriheid (mg läbitud kilomeetri kohta, mg/vkm) pärinevad antud katsemõõtmistel kruuskattega (1 ja 2) ja kopolümeeri (olulisuse järjekorras) kaetud transektidelt, kus kruuskattelt pärinevad eriheid küündisid ligi 27 000 mg/vkm (Joonis 6). Kopolümeeri ja toorapsiõliga töödeldud teekattelt küündis PM10 eriheid vastavalt 26 000 ja 3600 mg/vkm. Võrreldes kruuskattelt mõõdetud PM10 eriheidet kirjanduses (Mathissen et al., 2012) leiduva eriheidetega, mis on 24 000 mg/vkm, siis on antud katse käigus mõõdetud kruuskattega transekti PM10 eriheid samas suurusjärgus. Madalaim PM10 eriheid mõõdeti MgCl helvestega töödeldud teekattelt, kus vastav näitaja oli 222 mg/vkm. Suhteliselt madalad eriheid olid veel CaCl helvestega, 1.5x ja 1x pinnatud transektil, kus PM10 eriheid olid vastavalt 231, 392 ja 428 mg/vkm. Soolalahustega kaetud transektil oli madalaim PM10 eriheid CaCl lahusega kaetud lõigul, kus PM10 eriheid oli 473 mg/vkm. MgCl lahuse kasutamise puhul oli PM10 eriheid 3136 mg/vkm. Toorapsi õli kasutamise korral oli PM10 eriheid 3686 mg/vkm.

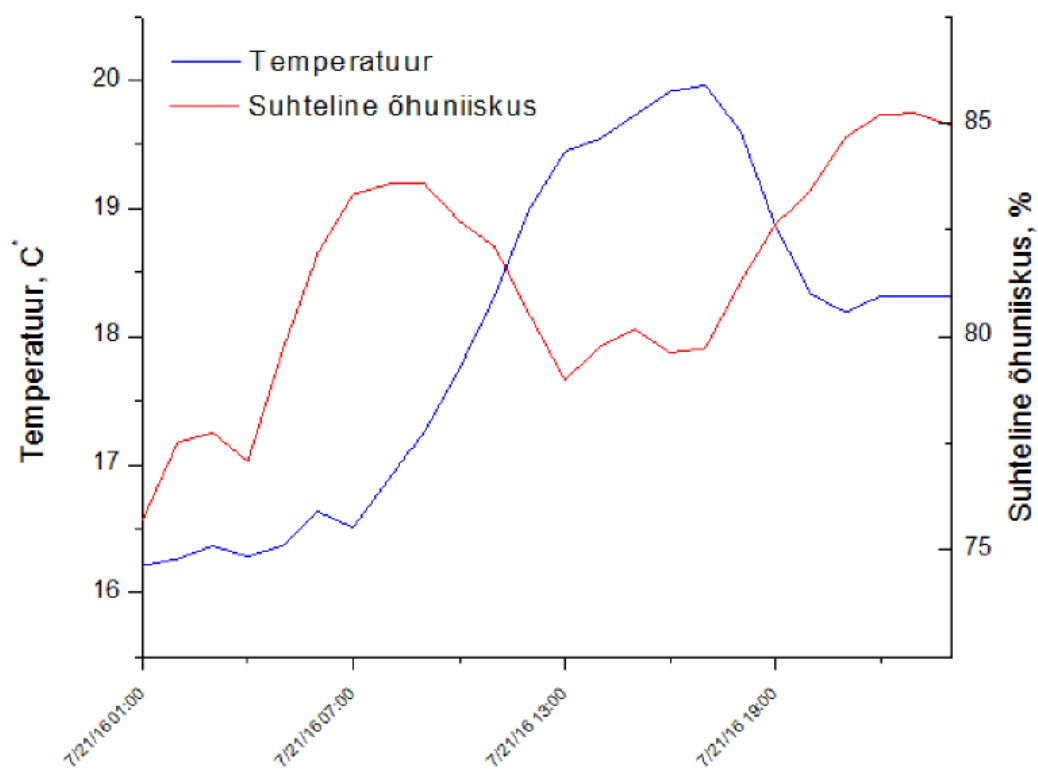
Üldiselt valitses sõiduki kiiruse (km/h) ja PM10 eriheid vahel positiivne korrelatsioon ehk teisisõnu suurenes PM10 heitkogus lineaarselt sõiduki kiiruse suurenemisega. Antud asjaolu on oluline seetõttu, et taoline seos ilmneb juba üsna väikestel kiirustel. 1.5x ja 1x pinnatud transektide puhul pärines ilmselt enamus PM10-st osakesi resuspensioonist, st varem sinna sadestunud osakesed keerutati sõiduki rehvide poolt uuesti õhku. Võrreldes eelmisel aastal teostatud mõõtmistega oli täheldatav 1.5x ja 1x pindamisega kaetud transektide oluliselt kehvem seisukord. Kohati esines teelkõike, kus pinnakate oli lagunenenud ja oli nähtav kruusakate. See omakorda mõjutas kindlasti ka mõõtetulemusi, Antud mõõtmised näitasid, et soolalahused on võimelised siduma märkimisväärselt nii teekattelt pärinevaid kui ka sinna sadenenud osakesi.

Võrreldes 2016 a. mõõtetulemusi 2015 a. tulemustega, siis nähtub, et käesoleva aasta mõõtetulemused on märkimisväärselt kõrgemad, mille üheks põhjuseks võib olla asjaolu, et 2016. a. mõõtmised viidi läbi oluliselt hiljem peale viimase pindamise teostamisest. Visuaalselt oli täheldatav teekatte oluliselt kehvem seisukord.

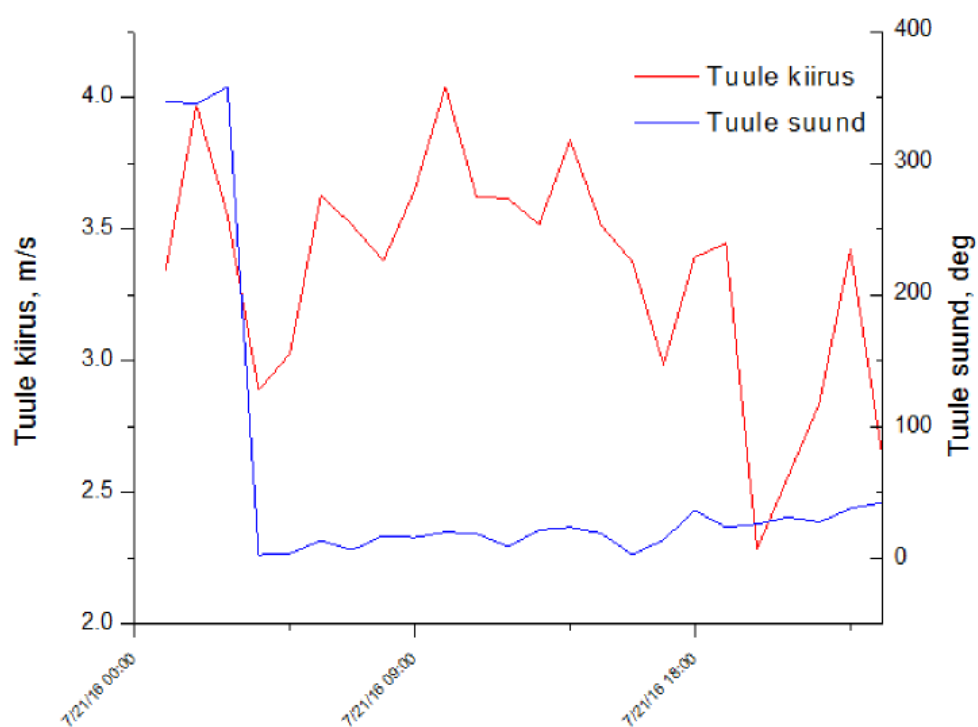




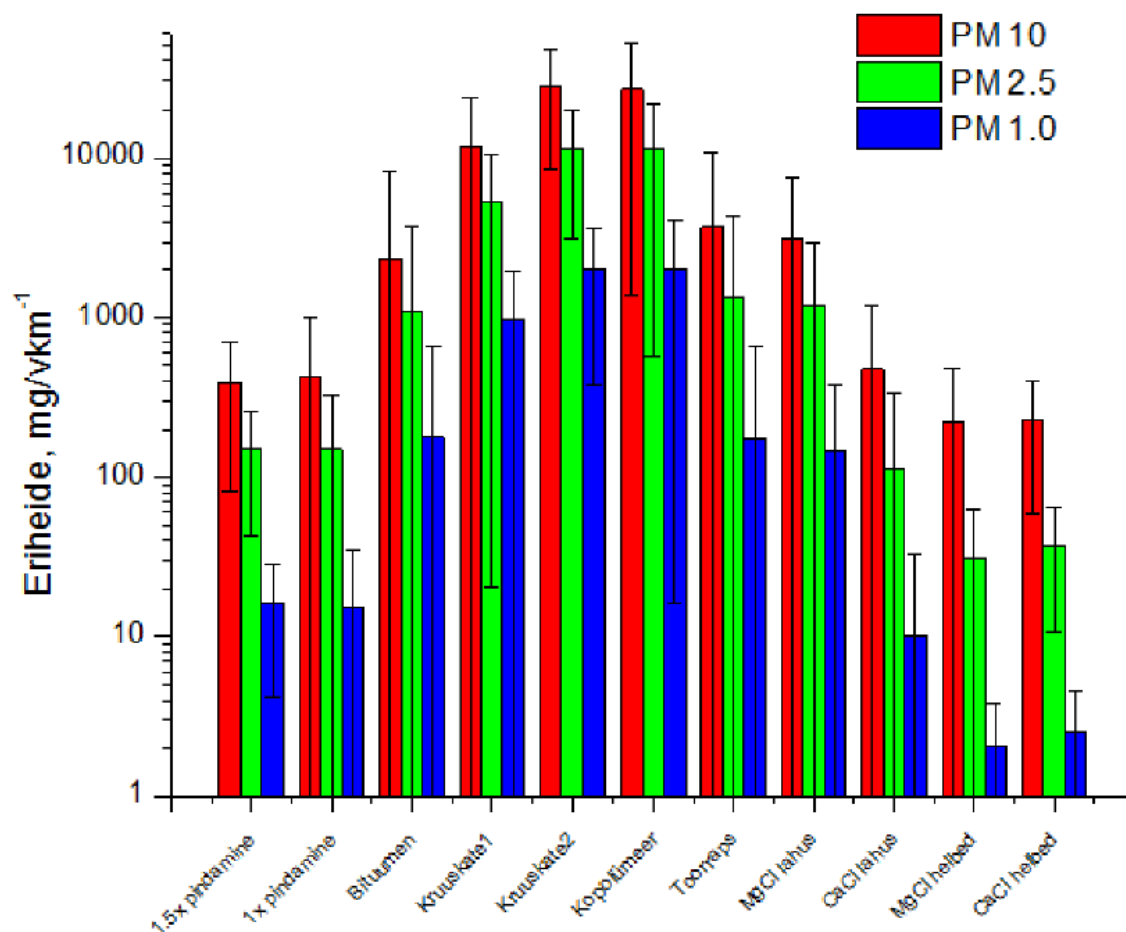
Joonis 3 Mõõtmiste trass ja sõiduki liikumiskiirus mõõtmiste hetkel



Joonis 4 Temperatuur ja suhteline niiskus 21.07.2016 (Uulu meteomast)

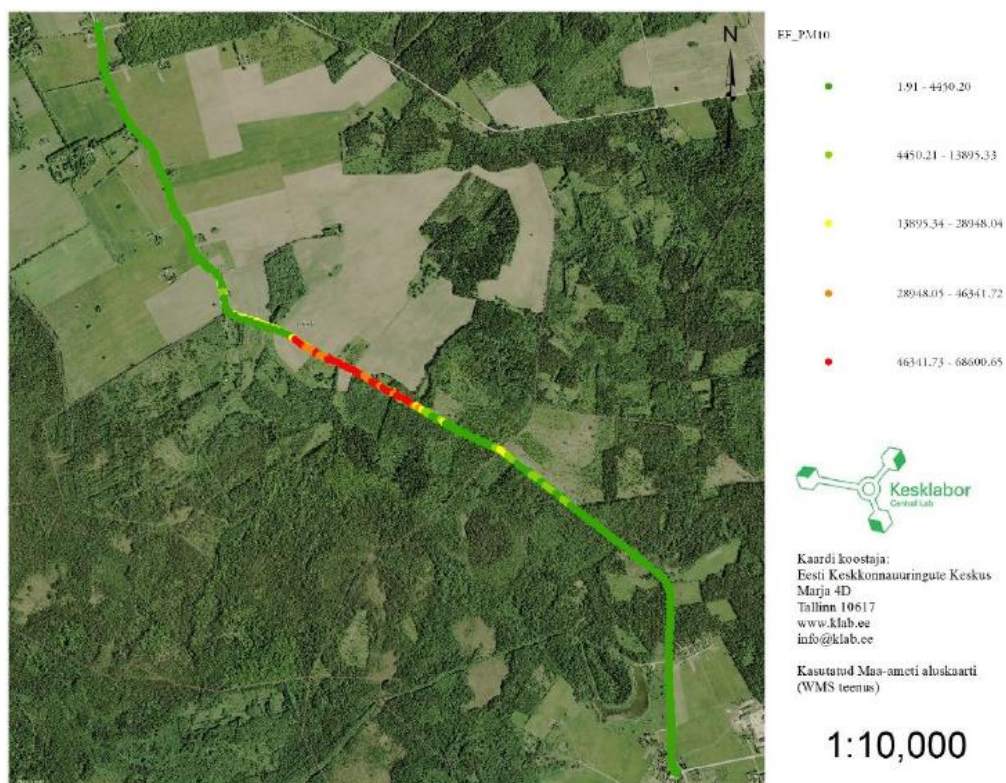


Joonis 5 Tuule kiirus ja suund 21.07.2016 (Uulu meteomast)

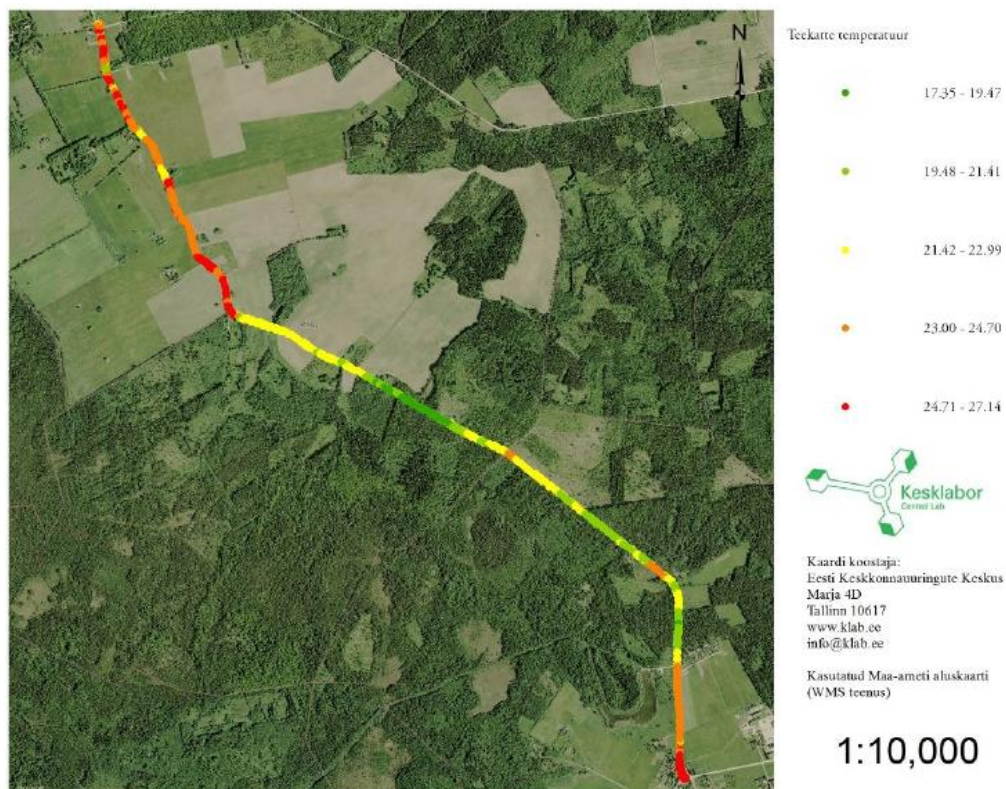


Joonis 6 PMx eriheid (mg/vkm) erinevate tolmutõrje meetoditega





Joonis 7 PM10 eriheid (mg/vkm) katselõigu ulatuses



Joonis 8 Teekatte temperatuur katselõigu ulatuses





Joonis 9 Veeihi paksus (µm) katselõigu ulatuses



Joonis 10 Mõõtmised kruuskate 1 katselõigul





Joonis 11 Mõõtmised CaCl katselõigul

## Lisa 3 - Kruuskattega ja pinnatud kruuskattega teede kuluarvestus HDM-4 tarkvara põhjal

### 1. Sissejuhatus

Vastavalt esitatud tellimusele on käesoleva töö eesmärgiks teostada kruuskattega tee ja pinnatud kruusalusega tee kuluarvestus HDM-4 tarkvara põhjal.

### 2. Analüüsi metoodika

Tasuvusanalüüsi koostamisel on kasutatud HDM-4 (Highway Development and Management Tool) tarkvaral põhinevaid mudeleid. Antud tarkvara on kasutusel üle maailma teede halduse ja investeerimisalternatiivide hindamisel. HDM-4 analüütilise raamistiku kontseptsioon põhineb teekatete elutsükli analüüsimisel. Seda rakendatakse teekatete lagunemise, remonditööde mõjude, teekasutaja kulude ja ühiskonna ning keskkonna mõjude ennustamisel teekatete elutsükli jooksul, mille kestvus on tavaliselt 15-40 aastat.

Pärast teekatete ehitamist hakkavad nad erinevate faktorite mõjutusel lagunema. Eelkõige mõjutavad teekatete lagunemist liikluskoormused, ilmastik ning puudused veeviimarites. Teekatete lagunemise kiirust mõjutab otseselt tekkinud pragude, aukude, jne parandamiseks ning teekatte struktuurse ühtsuse säilitamiseks läbi viidud remonditööde tase.

Teekatete üldine seisukord sõltub pikas plaanis otseselt rakendatud hooldus- ja remondimeetoditest. Ennustatavat teekatte seisukorra muutumist on võimalik kirjeldada sõidukvaliteedina, mida reeglina väljendatakse rahvusvahelise tasasuse indeksina (IRI). Hooldustaseme kindlaks määramisega seatakse ka teekatte lagunemise lubatud piir. Selle tulemusena sõltuvad teehaldaja kogukulud lisaks tee-ehituse investeerimiskuludele ka teelõigul ette nähtud hooldus- ja remonditööde tasemest. Teekatete seisukorra ja teede projekteerimistaseme mõju teekasutajatele mõõdetakse teekasutaja kuludega ning muude mõjudega ühiskonnale ja keskkonnale. Teekasutaja kulud sisaldavad sõiduki ülalpidamise kulusid (kütus, rehvid, määrdeained, varuosad, amortisatsioon jne), sõiduaja kulusid nii reisijatele kui kaubale ning liiklusõnnetuste kulusid ühiskonnale (s.o. inimelu kaotus, inimvigastused, sõidukite ja teeäärsete objektide vigastused jne). Mõjusid ühiskonnale ja keskkonnale on võimalik väljendada sõiduki heitgaaside, energiakulu, liikluspõlde ja hüvede kaudu, mida tee kasutamine ühiskonnale toob. Kuigi mõjusid ühiskonnale ja keskkonnale on kohati raske rahaliselt väljendada, võimaldab HDM-4 neid kasutada nn. väliste teguritena.

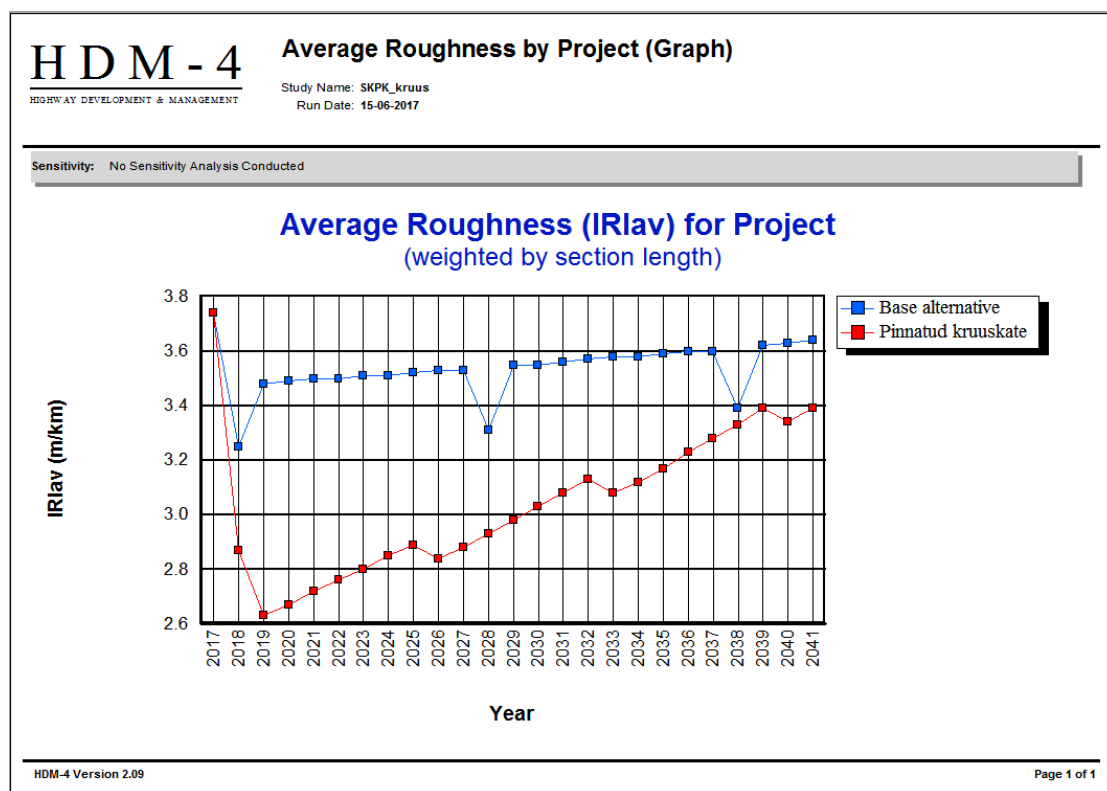
Teedeehitusse tehtud investeeringutelt saadav majanduslik tulu leitakse remonditööde kulude võrdlemisel nn. 0-variandiga (olukord, kui projekti ei viida ellu või tehakse nii vähe kui võimalik), mis reeglina sisaldab ainult hädavajalikke korrashoiutöid. HDM-4 on välja töötatud erinevate investeerimisvõimaluste kulude võrdlemiseks ning majandusanalüüsi teostamiseks. Selle abil saab hinnata erinevate alternatiivide kulusid aastate lõikes programmi kasutaja poolt kindlaks määratud perioodi jooksul. Kõik arvestusperioodil tehtavad kulutused diskonteeritakse määratletud lähteaastale. Alternatiivide võrdlemiseks on vaja investeerimisprogrammide, projekteerimishinnade ja erinevate hooldusvõimaluste üksikasjalisi kirjeldusi ning teada ühikhindasid, eeldatavat liiklusmahtu ja keskkonnamõjusid.

### 2. Analüüsi lähteandmed

#### 3.1. Teedevõrk

Analüüsitud teelõik on kruuskattega (baasvariant) ja alternatiivse variandina vaadeldakse selle teelõigu 2,5 kordset pindamist. Teelõigu pikkus on 10 km ja teekatte laius on 6 m. Analüüsis on eeldatud, et liiklusohutuse olukord analüüsitud variantide osas ei erine. Sõidukiirusena on arvestatud kruuskattega teel 80 km/h ja pinnatud kruusateel 90 km/h.

Teedevõrgu seisukorda iseloomustava parameetrina on arvestatud teekatte taset kirjeldavat IRI-arvu, milleks on kruusateel arvestatud vahemikku 3,0-4,0 mm/m ja pinnatud kruusateel 2,5-3,5 mm/m (pärast pindamist). Teekatte seisukorda iseloomustava teekatte taset (IRI-arv) muutumine analüüsi perioodil baas alternatiivi (*Base alternative*) ja pinnatud teekatte (*Reconstruction of highway*) puhul on näidatud joonisel 1.



**Joonis 1.** Teekatte seisukorra (IRI-arv) muutumine analüüsitud teedevõrgul analüüsi perioodil

### 3.2. Teekasutaja kulud

Teekasutaja kulud on antud analüüsis määratletud tarkvara HDM-4 mudelite abil ja need põhinevad tarkvara kasutaja poolt sisestatud andmetel liikluskoosseisu, liiklusvahendite kasutamise ja erinevate ühikhindade kohta. Teekasutaja kulude määratlemisel ning HDM-4 vastavate mudelite kalibreerimisel on lähtutud Eesti tee- ja liiklusekspertide poolt viimaste aastate jooksul tehtud uuringute tulemustest. Tabelis 1 on toodud teekasutaja kulude arvutamise põhilised sisendparameetrid sõidukiliikide lõikes. Teekasutaja kulude algandmeid uuendatakse perioodiliselt sõltuvalt majanduse tegelikest arengusuundadest Eestis.

**Tabel 1.** Teekasutaja kulude põhilised sisendparameetrid sõidukitüübi (economic cost)

| Sõiduki tüüp | Sõiduki maksumus, € | Rehvi maksumus, € | Kütuse maksumus, €/l | Määrdeainete maksumus, €/l |
|--------------|---------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|
| SAPA         | 13 538              | 124.6             | 0.766                | 5.41                       |
| VAAB         | 78 064              | 297.1             | 0.836                | 3.44                       |
| AR           | 94 695              | 292.9             | 0.836                | 3.20                       |

### 3.3. Ajakulu

Teekasutajate ajakulude arvutuse aluseks on keskmine brutopalk Eestis. 2016 aastal oli Statistikaameti<sup>1</sup> andmetel keskmine brutopalk Eestis 1146 eurot/kuus. Eeldusel, et ühes kuus on 160 töötundi, tuleb ühe töötunni hinnaks 7,16 eurot.

Ajakulu arvestamise meetodika põhjal (kasutusel Euroopas)<sup>2</sup> arvestatakse töösõidu puhul aja väärtuseks 1,3 kordse palgamäära ja tööandja kulude (33.5%) summat. Sõitudele tööle ja tagasi (arvestuslikult kolmandik sõitudest) arvestatakse aja väärtuseks 35% keskmisest brutopalgast ning vabaajasõitudel 20% keskmisest brutopalgast. Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituudi poolt 2003. aastal valminud uurimistöö<sup>3</sup> põhjal on maanteedel (kõik sõidukitüübid kokku) töödega seotud sõite 45.8% ja vabaajasõite 54.2%. Lähtudes kirjeldatud arvutusmeetodikast on käesolevas analüüsis kasutatud ajakulude põhiparameetrid järgmised:

- keskmine tööajakulu (koos tööle sõidu ajakuluga) 5,02 euro/tund;
- keskmine mittetööajakulu 1.43 euro/tund.

### 3.4. Teehooldustööde rakendamine ja kulud

Analüüsis arvestatud erinevad teehooldus- ja remonditööd, nende teostamise tingimused ning maksumused on kirjeldatud tabelis 2.

**Tabel 2.** Teehooldustööd ja nende teostamise tingimused analüüsitaval teedevõrgul

| Kulu liik                          | Teostamise tingimus         | Ühik                | Ühikhind, km-ta / km-ga | Lisatööd                        |
|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|
| <b>Kruuskattega tee</b>            |                             |                     |                         |                                 |
| Kruuskatte hõõveldamine            | 6 korda aastas              | euro/km kord        | 27,50 / 33,00           | -                               |
| Purustatud kruusa lisamine 30 t/km | 1 kord aastas               | euro/m <sup>3</sup> | 27,00 / 32,40           | -                               |
| Kruuskatte säilitusremont          | 1 kord 10 aasta tagant      | euro/km             | 14040 / 16848           | -                               |
| <b>Pinnatud kruusatee</b>          |                             |                     |                         |                                 |
| Kruuskatte säilitusremont          | 1 kord analüüsi perioodil   | euro/km             | 14040 / 16848           | -                               |
| 2,5 kordne pindamine               | 1 kord analüüsi perioodil   | euro/km             | 15600 / 18720           | -                               |
| Kordus-pindamine                   | 1 kord 7 aasta tagant       | euro/km             | 10140 / 12168           | Eelnev aukude ja pragude remont |
| Aukude lappimine                   | Perioodiline igaaastane töö | euro/m <sup>2</sup> | 22,62 / 27,14           | -                               |
| Pragude täitmine                   | Perioodiline igaaastane töö | euro/m <sup>2</sup> | 7,35 / 8,82             | -                               |

### 3.5. Liiklussagedus

Analüüsi koostamisel on liikluse osas kasutatud kolme erinevat sõiduki tüüpi:

- **Tüüp 1 SAPA**, kerged sõidukid, ehk sõidukid pikkusega kuni 6 m – sõidu- ja pakiautod 94,2%, bussid 2,5% ja veoautod 3,3%;

<sup>1</sup> [www.stat.ee](http://www.stat.ee)

<sup>2</sup> „Tieliikenteen ajokustannusten yksikköarvot 2010“, Liikennevirasto, Helsinki 2010

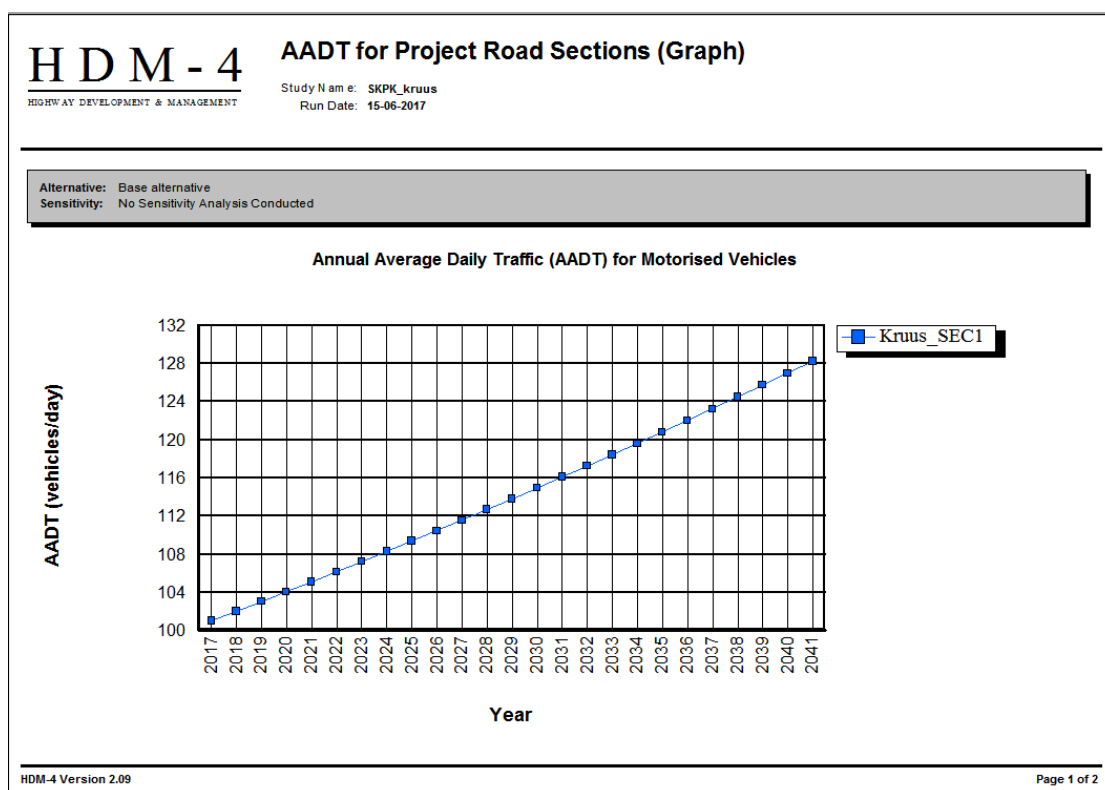
<sup>3</sup> „HDM-4 evitamiseks vajalike liikluskulude arvutamise lähteandmete panga koostamine. Lõpparuanne“, Tallinna Tehnikaülikooli Teedeinstituut, Tallinn 2003

- **Tüüp 2 VAAB**, keskmised veoautod ja autobussid, ehk sõidukid pikkusega 6...12 m – veoautod 76,8% ja autobussid 23,2%;
- **Tüüp 3 AR**, rasked sõidukid, ehk sõidukid pikkusega üle 12 m – autorongid 94,8% ja autobussid 5,2%.

Analüüsitud teelõigu liiklussageduse andmed on toodud tabelis 3 ja joonisel 2 on näidatud liiklussageduse muutumine analüüsi perioodil järgneva 25 aasta jooksul.

**Tabel 3.** Analüüsitud teelõigul liiklussageduse muutumine vastavalt prognoosile

| Aasta | Liiklussagedus, autot/ööp |      |      |    | Liiklussageduse muutus<br>aastas, % |      |      |
|-------|---------------------------|------|------|----|-------------------------------------|------|------|
|       | AKÖL                      | SAPA | VAAB | AR | SAPA                                | VAAB | AR   |
| 2016  | 100                       | 95   | 2    | 3  | 1,0%                                | 1,0% | 1,0% |



**Joonis 2.** Analüüsitud teelõigu AKÖL muutumine analüüsi perioodil



### 3. Analüüsi tulemused

Tasuvusanalüüsi teostamise eesmärgiks on võrrelda alternatiivseid variante olemasoleva olukorraga ja välja selgitada nende majanduslik mõju ühiskonnale, leidmaks kõige tulusam variant. Antud tasuvusanalüüs sisaldab ühe variandi (Variant 1) võrdlust olemasoleva olukorraga. Tasuvusanalüüsi algaastaks on 2017 ja analüüsiperioodiks 25 aastat. Rekonstrueerimistööde teostamine on planeeritud ühele aastale (2018). Tööde jääkväärtuseks on arvestatud 0% ning analüüsis kasutatud diskontomäär<sup>4</sup> on 4.0 %. Tabelis 5 on toodud kokkuvõtte tasuvusanalüüsi tulemustest.

Tasuvuskriteeriumina võrreldakse tehtud rekonstrueerimistööde realiseerumise tulemusena ühiskonnale laekuva säästu suurust selle realiseerimiseks tehtavate kulutustega. Seega tuleb tasuvusanalüüsi kriteeriumiteks lugeda järgmised tingimused:

- ajaldatud nüüdisväärtus, NPV>0
- piirdiskontomäär, EIRR>4.0%

**Tabel 4.** Analüüsitud variantide koondkulud (diskonteeritud) analüüsi perioodil

| Variant            | Kulud, miljonit eurot |                               |                   |                |                   |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
|                    | Kapitali kulud        | Perioodilised (hooldus) kulud | Teekasutaja kulud | Sõiduaja kulud | Liiklus-õnnetused |
| <b>Baasvariant</b> | 0,376                 | 0,027                         | 2,353             | 0,397          | 0,0               |
| <b>Variant 1</b>   | 0,464                 | 0,002                         | 2,205             | 0,308          | 0,0               |

**Tabel 5.** Tasuvusanalüüsi tulemused

| Variant          | Kulude nüüdisväärtus, milj euro                           |                                                              | Tulude nüüdisväärtus, milj euro           |                            |                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|-------------------|
|                  | Kapitali kulud                                            | Perioodilised (hooldus) kulud                                | Teekasutaja                               | Sõidu-aeg                  | Liiklus-õnnetused |
| <b>Variant 1</b> | 0,088                                                     | -0.025                                                       | 0,148                                     | 0,089                      | 0,0               |
| Variant          | Kulude ajaldatud nüüdisväärtus (NPV of costs), milj. euro | Tulude ajaldatud nüüdisväärtus (NPV of benefits), milj. euro | Ajaldatud nüüdisväärtus (NPV), milj. euro | Piirdiskontomäär (EIRR), % | Tulu / kulu suhe  |
| <b>Variant 1</b> | 0,063                                                     | 0,237                                                        | 0,174                                     | 13,9%                      | 3,76              |

Tasuvusanalüüsi tulemuste põhjal on analüüsitud variandi (pinnatud kruusatee) teostamine majanduslikult tasuv. Teehaldaja kulud on analüüsitud variandi (pinnatud kruusatee) puhul küll suuremad kui baasvariandil, kuid teekasutajate poolt saadavad tulud on jällegi analüüsitud variandi (pinnatud kruusatee) puhul suuremad. Peamine tulu saadakse teekasutaja kulude vähenemisest (62,4%). Sõiduaja kulude vähenemisest (ca 37,6%) saadav tulu on väiksem. Väljavõtte tarkvara HDM-4 majandusanalüüsi tulemuste kokkuvõttega on toodud joonisel 3.

<sup>4</sup> Komisjoni delegeeritud määrus (EL) nr 480/2014, Artikkel 19 Rahavoogude diskonteerimine  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R0480&from=ET>

# HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Economic Analysis Summary

Study Name: SKPK\_kruus

Run Date: 15-06-2017

Currency: Euro (millions)

Discount: 4.00%

Analysis Mode: Analysis-by-Project

---

Alternative: Pinnatud kruuskate vs Alternative: Base alternative

No Sensitivity Analysis Conducted

|              | Increase in Road Agency Costs |           |         | Savings in MT VOC | Savings in MT Travel Time Costs | Savings in N MT Travel & Operating Costs | Reduction in Accident Costs | Net Social / Exogenous Benefits | Net Economic Benefits (NPV) |
|--------------|-------------------------------|-----------|---------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|              | Capital                       | Recurrent | Special |                   |                                 |                                          |                             |                                 |                             |
| Undiscounted | 0.06                          | -0.04     | 0.00    | 0.24              | 0.15                            | 0.00                                     | 0.00                        | 0.00                            | 0.37                        |
| Discounted   | 0.09                          | -0.03     | 0.00    | 0.15              | 0.09                            | 0.00                                     | 0.00                        | 0.00                            | 0.17                        |

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 13.9% (No. of solutions = 1)

HDM-4 Version 2.1

Page 1 of 1

**Joonis 3.** Väljavõte HDM-4 majandusanalüüsi kokkuvõttest