

Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste
katselõigu uurimistöö
III etapi lõpparuanne

Ramboll Eesti AS

2007-4 (III etapp)



Maanteeamet

Tallinn 2011

SISUKORD

1	ÜLDOSA.....	3
1.1	UURIMISTÖÖ EESMÄRK	3
1.2	UURIMISTÖÖ KÄIGUS LÄBIVIIDUD TEGEVUSED.....	3
2	KATSELÕIGU ALA.....	5
2.1	KATSELÕIGU ASUKOHT	5
2.2	PIIRKONNA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS.....	6
3	PINNASTE MASSSTABILISEERIMINE KATSELÕIGUL	7
3.1	ÜLDIST	7
3.2	SIDEAINED	7
3.3	STABILISEERIMISTÖÖDE LÄBIVIIMINE KATSELÕIGUL	8
4	KATSETÖÖD	12
4.1	VÄLIKATSED.....	12
4.2	Laborikatsed.....	14
4.2.1	Vajum laboratoorsetes tingimustes.....	15
4.2.2	Survetugevus	15
5	KATSELÕIGU VAJUMI MÕÕTMISED	17
5.1	Muldkeha paksuse suurendamise tulemus	18
6	KOKKUVÕTE.....	19
7	KASUTATUD KIRJANDUS	20

LISAD

- Lisa 1. Uurimistöö lähteülesanne
- Lisa 2. E-kirjavahetus Eesti Energia AS-ga
- Lisa 3. Vajumised laboratoorsetel katsetel
- Lisa 4. Laboratoorsetes tingimustes läbiviidud survetugevuse katsete tulemused
- Lisa 5. Laboratoorsete tingimustes läbiviidud survetugevuse katsete graafikud
- Lisa 6. Välikatsete tulemused

1 ÜLDOSA

1.1 UURIMISTÖÖ EESMÄRK

Teede rajamisel tõstatub tehnoloogiline vajadus tugevdada tee muldkeha alla jäävad ebastabiilsed pinnased. Traditsiooniliselt on taolised pinnased välja kaevatud ja asendatud kõrgemakvaliteedilise stabiilse materjaliga.

Pinnaste asendamine tee-ehitusprojektide käigus on kujunemas tõsiseks keskkonnaprobleem. Üha raskem on leida eemaldatavatele pinnasele sobivaid ladustamiskohti, et järgida ELi prügilate regulatsiooni nõudeid. Teisalt, eemaldatud pinnased tuleb asendada kõrgemakvaliteedilise materjaliga, mida sageli veetaksekaugelasuvatest maardlatest, tõstes oluliselt rajatava infrastruktuuri hinda.

Seetõttu on Maanteeametil tõstatunud vajadus uurida alternatiivseid, keskkonnale vähem kahju tekitavaid ning kuluefektiivseid pinnase kasutamise võimalusi.

Maanteeameti üheks eesmärgiks on minimeerida teehoiutöödega kaasnevaid kulutusi ja negatiivset mõju keskkonnale. Mõju on üldjuhul kõige suurem uue tee ehitamisel, kus pinnaste vahetamisele alternatiivsete meetmete väljatöötamine võib anda kõige suuremat efekti.

Maanteeamet on antud tööle eelnevalt tellinud pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuringu, mille põhjal otsustati rajada Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee uuele Kose-Mäo trassile massstabiliseerimise katselõik. Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuringu andmeid kasutati massstabiliseerimise katselõigu kavandamisel.

Massstabiliseerimise katselõigu rajamise ja sellega seonduvate uuringute spetsiifiliseks eesmärgiks on saada teavet erinevate sideainete ning nende erinevate koguste käitumisest ehituslikes tingimustes ning võimalike probleemide väljaselgitamiseks enne meetodi laialdasemat kasutamist Kose-Mäo teelõigul.

Uurimistöö lõpptulemuseks on soovitusel erinevate sideainesegude kasutamiseks ning stabiliseeritud pinnase vajumite andmed.

Uurimistöö lähteülesanne on esitatud lisas (Lisa 1).

1.2 UURIMISTÖÖ KÄIGUS LÄBIVIIDUD TEGEVUSED

Uurimistöö sisaldab alljärgnevaid töid:

I etapp (katselõigu rajamisele eelnevad tööd):

1. Katselõigu asukoha määratlemine koos MA ja RKM esindajatega
2. Katselõigu ehitamise põhimõtete kooskõlastamine MA-ga (ajakava, sideainete tarnijad, kooskõlastused)
3. Pinnaseuuringud, proovide võtmine ja laboratoorsed katsetused pinnase geotehniliste näitajate määratlemiseks
4. Katselõigu dimensioneerimisarvutused (stabiilsus ja vajum)
5. Tööde spetsifikatsiooni koostamine katselõigu ehitustööde läbiviijale

II etapp (katselõigu rajamise aegsed ja vahetult järgnevad tööd):

1. Katselõigu tööde järelevalve ja juhtimine
2. Stabiliseeritud pinnasest proovide võtmine, välikatsete ja laborikatsete läbiviimine

3. Stabiliseeritud pinnase laborikatsed
4. Vahearuande koostamine

III etapp (katselõigu jälgimine – vajumid)

1. Katselõigu tööde ajal paigaldatud reeperite põhjal vajumite mõõtmine (periood 2009 I kv- 2011 I kv). Mõõtmine toimub kvartaalselt.
2. Aruande koostamine

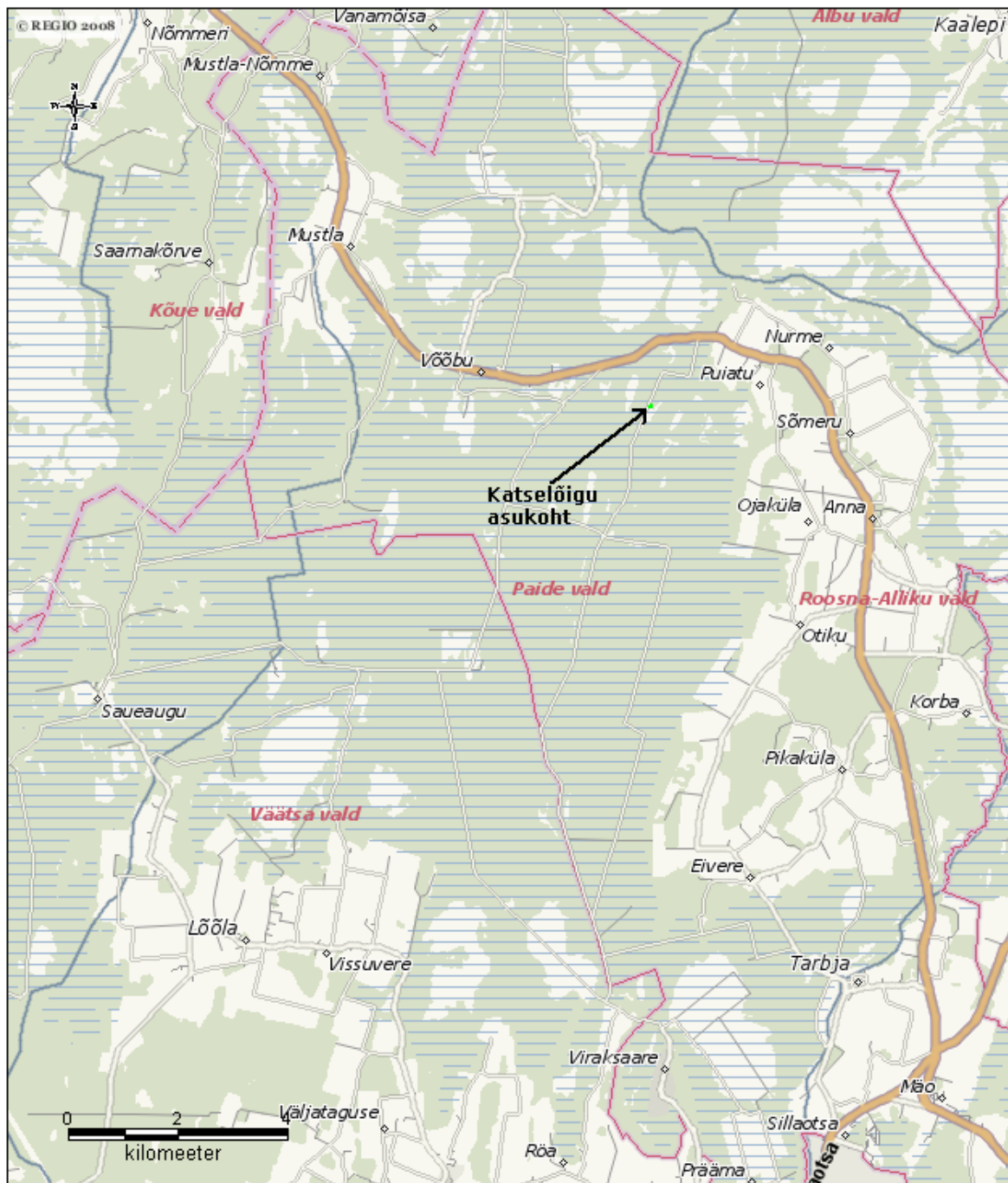
Käesolev aruanne käsitleb:

- II etappi, mille andmed on esitatud ka juuni 2009 esitatud II Etapi aruandes
- III etappi, mille viimane mõõdistus toimus aprillis 2011

2 KATSELÕIGU ALA

2.1 KATSELÕIGU ASUKOHT

Käesolev uuring viidi läbi Tallinn-Tartu maantee perspektiivse uue teetrassi lähedal Paide vallas.



Joonis 1. Katselõigu asukoht



Joonis 2. Katselõigu skeem

2.2 PIIRKONNA GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

Aluspõhjaks on uuritud alal lubjakivi. Lubjakivi pealispind paikneb maapinnast 3,45 kuni 5,25 m sügavusel. Lubjakivi on valkjashall kuni hall, kihi ülemine osa kohati 0,2...0,3 m ulatuses murenenud lahmakateks või rähaks.

Tulenevalt liigniisketest tingimustest on pea kõikjal pindmiseks kihiks turvas või turvastunud muld. Turvas on valdavalt keskmiselt kuni hästi lagunenenud.

Turba all esinevad erinevas paksuses peeneteralised pinnased: tolmlüiv, tolme savilüiv, tolme liivsavi.

Kohati esineb lubjakivi peal moreen, mis lõimise järgi on kerge savilüiv või tolme savilüiv kruusaga. Jämepurru sisaldus on ülemises osas 5-20%, sügavuse suunas see kasvab kuni 50-60%-ni, minnes üle jäme purdmoreeniks.

Veehorisondi toitumine toimub sademetest. Sademeterohkel perioodil ja lumesulamise ajal võib pinnasevee tase kõikjal ulatuda maapinnani.

3 PINNASTE MASSSTABILISEERIMINE KATSELÕIGUL

3.1 ÜLDIST

Pinnaste mass-stabiliseerimine on suhteliselt uus pehmete pinnaste stabiliseerimise meetod(2;3). Stabiliseerimine viiakse läbi segades sobiva koguse kuiva või märga sideainet parendatava pinnasemassiga. Stabilisaatorina võib kasutada kas ühte või mitut sideainet nagu tsement, lubi, lendtuhk või šlakk.

Pinnaste stabiliseerimise põhilisteks eesmärkideks on:

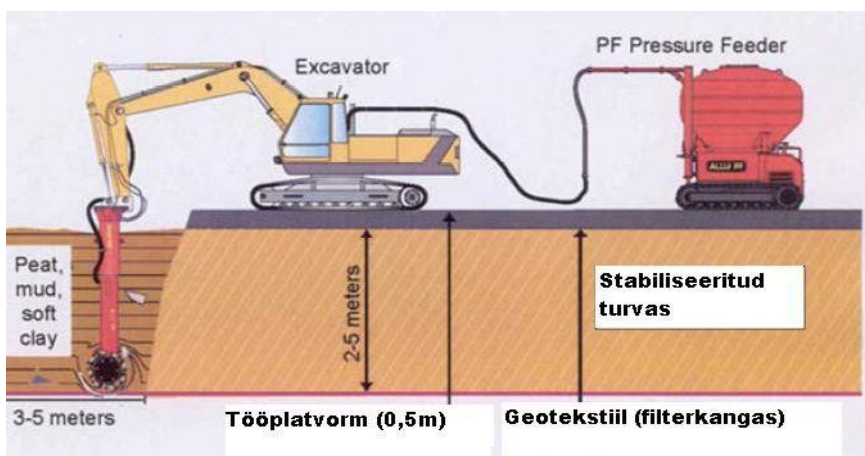
- Tõsta nõrga pinnase tugevust
- Vähendada deformatsioone (vajumeid)
- Parendada saastunud pinnast

Mass-stabiliseerimise meetodil on mitmeid eeliseid:

- kiire pinnase parendamise meetod, mis sobib erinevatele pinnastele
- enamustel juhtudel majanduslikult soodne säästes materjali ja energiat
- ei vaja materjali teisaldamist, vähendades transpordikuluseid ja vajadust teisalduskohtade järele

Mass-stabiliseerimine on keskkonnasõbralik tehnoloogia avaldades minimaalset mõju keskkonnale. Ehitusaegne müra ja vibratsioon on madal, samuti on arvukad laborikatsed tõestanud sideainete keskkonnaohtlike osiste minimaalset leostumisohtu.

Mass-stabiliseerimise põhimõtteline Skeem 1 on alljärgnev:



Skeem 1. Mass-stabiliseerimise põhimõtteline skeem

3.2 SIDEAINED

Esialgsete kavade kohaselt oleks pidanud läbi viima katsed segudega, mis sisaldavad elektrifiltri tuhka (Tuhk 1), mis pärineb vanast katlast ja keevkihi tuhka (Tuhk 3), mis pärineb uuest katlast. Uue katla tuha väljastamise juures tekkisid aga tõrked ja 3 polnud võimalik katselõigul kasutada. E-kirjavahetus Eesti Energia AS-ga on toodud Lisa 2-s. Sel põhjusel muudeti Tellijaga kooskõlastatult segu tüüpe aladel, kus oli plaanis keevkivi tuhka kasutada.

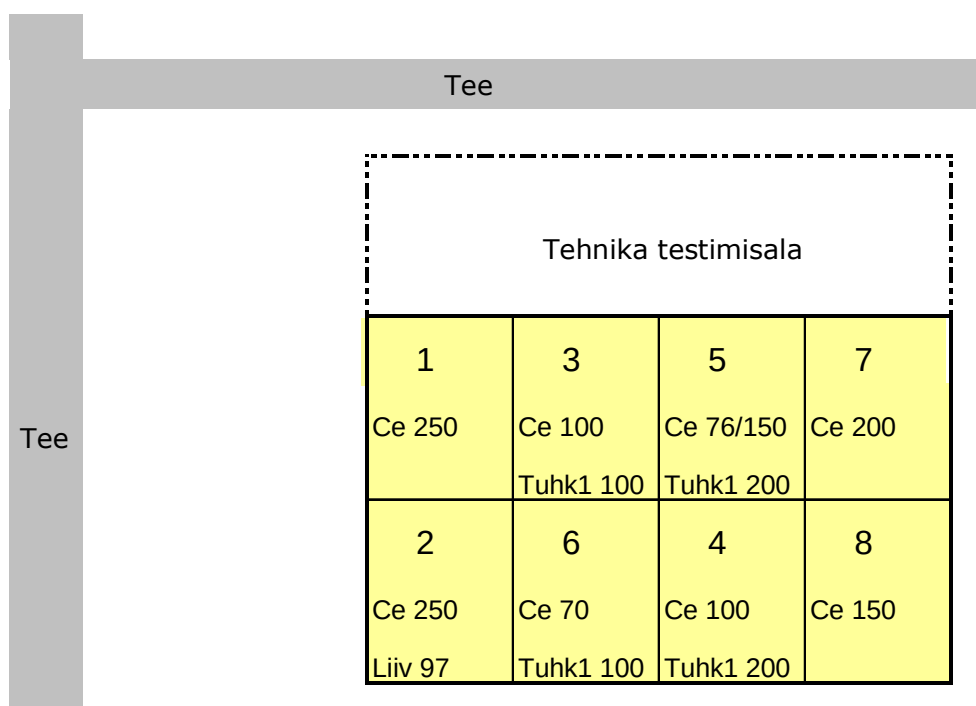
Juhul, kui edaspidi on kavas kasutusele võtta uue katla tuhk tuleb välja ehitada tuha tööstuslikud väljavõtukohad ja laadimisvõimalused. Vastavalt eelnevalt läbi viidud laboratoorsetele katsetustele (1) on uue katla keevkivi tuhal head stabiliseerimisomadused.

Tuhkade omadusi on täpsemalt kirjeldatud Maanteeameti poolt tellitud Ramboll 2007 aasta uurimistöös "Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuring"(1).

3.3 STABILISEERIMISTÖÖDE LÄBIVIIMINE KATSELÕIGUL

Stabiliseerimise katselõigu tööde läbiviimise aeg lükkus edasi kehvade ilmaolude tõttu. 2008 aasta sügis ja 2008/09 aasta talv oli soe ja vihmaderohke, mis ei võimaldanud suurte masinatega katselõigule kohaleminekut. Sel põhjusel viidi stabiliseerimine läbi planeeritust hiljem, ehk 20.01.2009 – 29.01.2009.

Alljärgnevalt on esitatud Niska&Nyyssönen Oy poolt läbi viidud katselõigu stabiliseerimistööde läbiviimise andmed testala kaupa (Joonis 3).



Joonis 3. Testala skeem

Kõikidel testimisaladel kasutati erinevaid stabiliseerimissegusid (Tabel 1).

Tabel 1. Stabiliseeritud ala segude koostis

Ala nr	Segu tüüp	Portland Ce [kg/m³]	Tuhk 1 [kg/m³]	Liiv [kg/m³]
1	Portland Ce	250	-	-
2	Portland Ce + liiv	250	-	97
3	Portland Ce + tuhk 1	100	100	-
4	Portland Ce + tuhk 1	100	200	-
5	Portland Ce + tuhk 1	¼ 76/ ¾ 150	200	-
6	Portland Ce + tuhk 1	70	100	-
7	Portland Ce	200	-	-
8	Portland Ce	150	-	-

Peale stabiliseerimist pandi aladele peale moreenist vajum. Vajumi soovitud kõrgus oli 74 mümp.

- Ala 1**
- Tööde läbiviimine 20-21.01.2009
 - Segu: Tsement 250kg/m^3 +/- $0,5\text{kg/m}^3$
 - Temperatuur: -2 - -3°C
 - Näha oli pinnase stabiliseerumist.
 - Kuni 1,8 meetri paksuse vajumi peale panemine toimus 24 tundi peale stabiliseerimist ja probleeme ei esinenud.
 - Tähelepanek: Mõningane vajumine Ala 3 ääres ekskavaatori raskuse tõttu, kui Ala 3 stabiliseeriti.
- Ala 2**
- Tööde läbiviimine 21-22.01.2009
 - Segu: Tsement 250kg/m^3 +/- $0,2\text{kg/m}^3$, liiv 97kg/m^3 +/- 5kg/m^3
 - Temperatuur: -1°C
 - Liivaga segu tegemisel probleeme ei esinenud
 - Näha oli pinnase stabiliseerumist.
 - 30-50cm paksune vajum pandi peale 24 tundi peale stabiliseerimist, ülejäänud vajum pandi peale 48 tunni pärast. Kogu vajumi paksus 0,9-1,8 m. Vajumi surve pressis vesi pinnasest ülesse, mistõttu moreeni peale jäi seisev vesi, tehes selle ala hästi ebastabiilseks.
 - Mõningane vajumine toimus ekskavaatori raskuse ja kõrge pinnasevee tõttu ala 6 ja ala 7 ääres. Ala 6 vajumi pealepanemise ajal surus ala 2 ääres segatud materjal alast 6 välja mõlema ala äärte peale.
- Ala 3**
- Tööde läbiviimine 22-25.01.2009
 - Segu: Tsement 100kg/m^3 +/- $0,2\text{kg/m}^3$, tuhk 100kg/m^3 +/- $0,4\text{kg/m}^3$
 - Temperatuur: 0- -1°C
 - Pinnase stabiliseerumist silmaga näha ei olnud.
 - 30-50cm raskus pandi peale 24 tundi peale stabiliseerimist, ülejäänud vajum pandi peale umbes 72 tunni pärast. Kogu vajumi paksus 1,0-1,5 m.
 - Vajumi pealepanemisel surus materjal alast välja.
- Ala 4**
- Tööde läbiviimine 26-27.01.2009
 - Segu: Tsement 100kg/m^3 +/- $0,2\text{kg/m}^3$, tuhk 200kg/m^3 +/- $0,9\text{kg/m}^3$
 - Temperatuur: +2°C
 - Veetase umbes 20 cm üle taimestikust puhastatud loodusliku pinnase.
 - Pinnase stabiliseerumist silmaga näha ei olnud.
 - 0,6-2,1 meetri paksune vajum pandi peale 24 tundi peale stabiliseerimist. Raskendatud ligipääs alale ebastabiilse pinnase tõttu. Ala 6 ääres oli eriti ebaühtlane stabiliseeritud ala. Kõrvalolevale alale vajumi pealepanemisel surus materjal alast välja.
- Ala 5**
- Tööde läbiviimine 23-29.01.2009
 - Segu: 1/4 Tsement $76,5\text{kg/m}^3$, 3/4 Tsement 150kg +/- $0,2\text{kg/m}^3$, tuhk

200kg/m³ +/- 0,2kg/m³

- Temperatuur: -2- +2°C
- Ala esimene veerand tehti seguga 76kg/m³ tsementi. Selle juures stabiliseerumist ei nähtud. Ülejäänud alal 150kg/m³ tsemendiga segu kasutamisel oli näha aeglast stabiliseerumist.
- 30-50cm vajum pandi peale 6 tunni pärast, ülejäänud vajum pandi peale umbes 48 tundi peale stabiliseerimist – nii nagu pinnase kandevõime võimaldas. Kogu vajumi paksus 0,9-1,3 m. Alaga 4 piirnevas osas pandi vajum peale 26.01.09.

Ala 6 - Tööde läbiviimine 25-26.01.2009

- Segu: Tsement 70kg+/-0,2kg/m³, tuhk 100kg/m³ +/- 0,3kg/m³
- Temperatuur: 0 - +2°C
- Pinnase stabiliseerumist silmaga näha ei olnud.
- 20-40cm vajum pandi peale 10-24 tundi peale stabiliseerimist. Stabiliseeritud pinnas ei kannatanud vajumit ja hakkas ebaühtlaselt vajuma. 4 päeva pärast üritati ülejäänud vajum peale panna, kuid pinnas ei olnud üldse stabiliseerunud. Geotekstiil ei pidanud vastu ja moreen vajus läbi stabiliseeritud pinnase, surudes turvast väiksema kattega aladelt ülesse. Kogu vajumi paksus 0,8-1,2 m. Ala siluti 26.01.09.

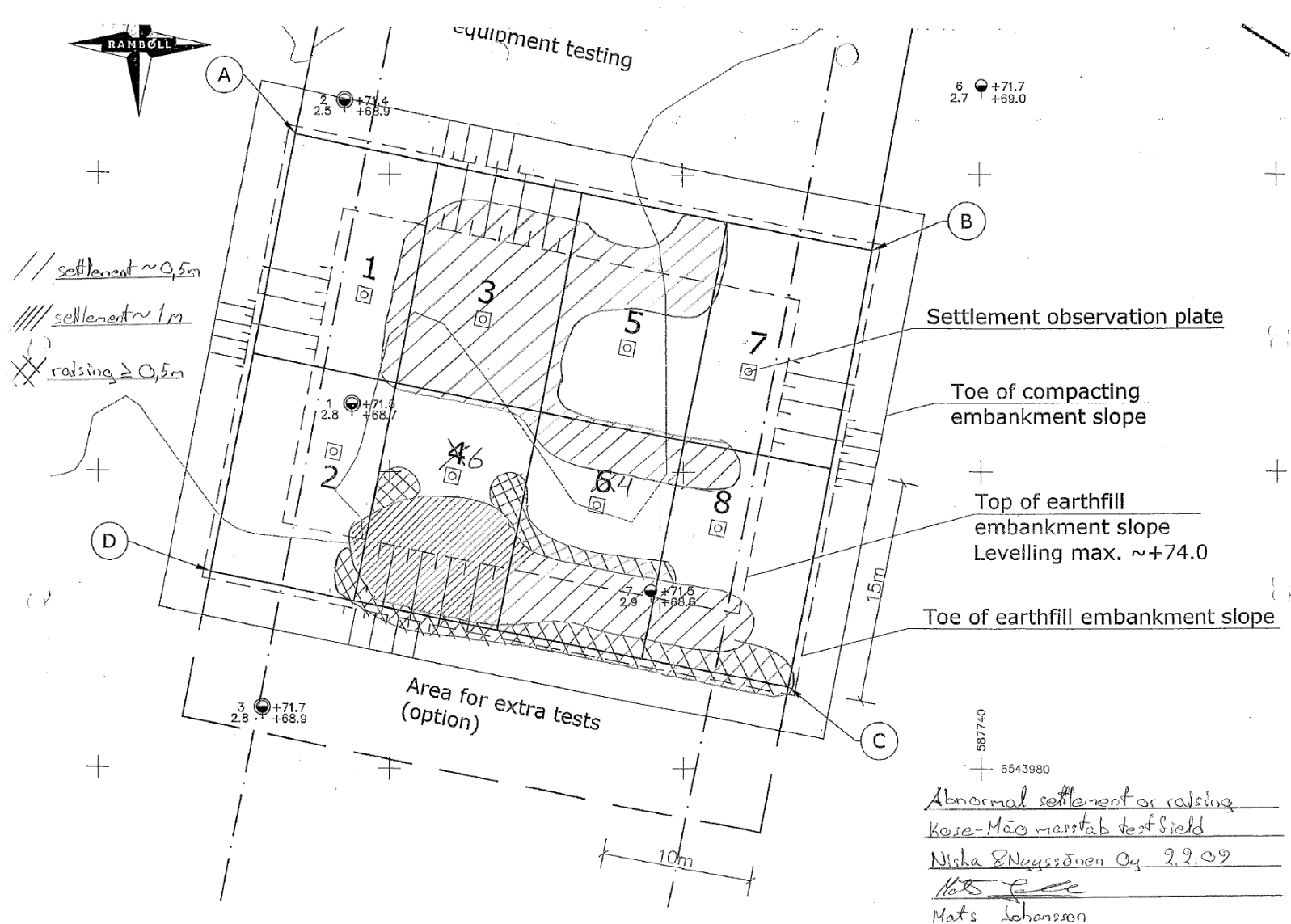
Ala 7 - Tööde läbiviimine 28-29.01.2009

- Segu: Tsement 150kg+/-0,2kg/m³
- Temperatuur: -2 - +2°C
- 30-50cm vajum pandi peale 4 tundi peale stabiliseerimist, ülejäänud 24 tunni pärast. Kogu vajumi paksus 0,9-1,1 m. Vajumisega probleeme ei olnud.

Ala 8 - Tööde läbiviimine 26-27.01.2009

- Segu: Tsement 200kg+/-0,2kg/m³
- Temperatuur: +2°C
- Veetase umbes 20 cm üle taimestikust puhastatud loodusliku pinnase.
- Mõningane mitteplaneeritud vajumine ala nelja ääres juba stabiliseeritud pinnasega. Selle põhjustas tõenäoliselt vesi.
- 30-50cm vajum pandi peale 4 tundi peale stabiliseerimist. Ülejäänud vajum pandi peale 24 tunni jooksul. Kogu vajumi paksus 1,0-1,3 m. Kõvastumine toimus aeglaselt, kuid seda oli näha.

Järgnevalt on toodud Joonis 4, kus on välja toodud stabiliseerimise käigus toimunud kerked ja vajumised.



Joonis 4. Stabiliseerimise käigus toimunud vajumised ja kerkimised.

4 KATSETÖÖD

Stabiliseeritud katselõigul viidi Ramboll Eesti AS ja Ramboll Finland OY poolt läbi välikatsed ja pinnaseproovide võtmine laboratoorsteks töödeks.

Välikatsete eesmärgiks oli teada saada stabiliseeritud alade survetugevus (nihketugevus). Selleks viidi igal alal läbi CPT (Column penetration tests) ja CV (Column vane tests) katsed.

Lisaks viidi läbi laboratoorsed katsed, et saada täpsemat informatsiooni segude stabiliseerumise kiiruse kohta.

4.1 VÄLIKATSED

CPT (Column penetration tests) ja CV (Column vane tests) välikatsed 30.03.2009-1.04.2009 teostas Ramboll Finland OY puurmasina juht Ari Kaski puurmasinaga "GM 65 GTT" (Joonis 5). Igal alal läbi viidi 8 CPT (Column penetration tests) katset ja 3 CV (Column vane tests) katset, mille tulemusel saadi usaldusväärsed nihketugevuse tulemused igalt stabiliseerimise alalt.



Joonis 5. Penetratsioonikatsete läbiviimine katselõigul

Välikatsete täpsed tulemused on ära toodud Lisa 6. Välikatsete tulemused kokkuvõtvalt toodud Tabel 2.

Tabel 2. Välikatsete tulemused alade kaupa

Ala nr	Ala	Portland Ce [kg/m³]	Tuhk 1 [kg/m³]	Väikseim nihketugevus	Suurim nihketugevus
1	Portland Ce	250	-	120 kPa	160 kPa
2	Portland Ce + liiv 97kg/m ³ liiva	250	-	105 kPa	140 kPa
3	Portland Ce + tuhk 1	100	100	95 kPa	130 kPa
4	Portland Ce + tuhk 1	100	200	90 kPa	120 kPa
5.1/4	Portland Ce + tuhk 1	76	200	65 kPa	220 kPa
5.3/4	Portland Ce + tuhk 1	150	200	150 kPa	200 kPa
6	Portland Ce + tuhk 1	70	100	40 kPa	80 kPa
7	Portland Ce	200	-	80 kPa	120 kPa
8	Portland Ce	150	-	50 kPa	60 kPa

Vastavalt Ramboll Finland OY geotehnika ja massstabiliseerimise ekspert Juha Forsman kogemusele ja geotehnilistele arvutustele on 3 kuu jooksul vajalik saavutada stabiliseeritud pinnase nihketugevuseks 50 kPa, mis tagab tee muldkeha jaoks vajaliku stabiilsuse.

Välikatsete tulemusel on näha, et nihkejõudude osas on 3 kuuga soovitud 50 kPa jäänud saavutamata alal 6 (70 kg/m³ Portland tsementi ja 100 kg/m³ tuhka). Piiripealne tulemus oli alal 8 (150 kg/m³ Portland tsementi).

Alade nihketugevuste põhilised erinevused ühe ala lõikes tulenevad loodusliku materjali koostise erinevusest vertikaallõikes. Mida suurema sideainekogusega kihti on stabiliseeritud, seda suurem nihketugevus on saavutatud. Stabiliseerimise käigus esilekerkinud probleemid on välja toodud peatükis 3.3.

4.2 Laborikatsed

Laboratoorsete uuringute jaoks võeti katselõigu stabiliseeritud ala kõrvalt 01.04.2009 looduslikku stabiliseerimata pinnast 0,5; 1,0; 1,5 ja 2,0 meetri sügavuselt. Antud pinnastega teostati 2009. aasta aprilli ja mai kuu jooksul laboratoorseid katseid. Alljärgnevalt on nendel sügavustelt pärit materjalide pildid:



Joonis 6. Looduslikud pinnased stabiliseerimise katselõigult.

Lisaks võeti kõikidelt aladelt stabiliseeritud pinnaste proovid välikatsete läbiviimise ajal (30.03.2009-1.04.2009), juhul kui tekib vajadus neid täpsemalt uurida.

Laboratoorsetes tingimustes viidi loodusliku pinnasega läbi alljärgnevas tabelis olevate segude uuringud.

Tabel 3. Laboris katsetatud segud

Labori nr ^(*)	Segu tüüp	Portland Ce [kg/m ³]	Tuhk 1 [kg/m ³]
KM-1 ja KM-10	Portland Ce	150	-
KM-2	Portland Ce	175	-
KM-3	Portland Ce	200	-
KM-4	Portland Ce + Tuhk 1	80	100
KM-5	Portland Ce + Tuhk 1	80	130
KM-6	Portland Ce + Tuhk 1	100	70
KM-7	Portland Ce + Tuhk 1	100	100

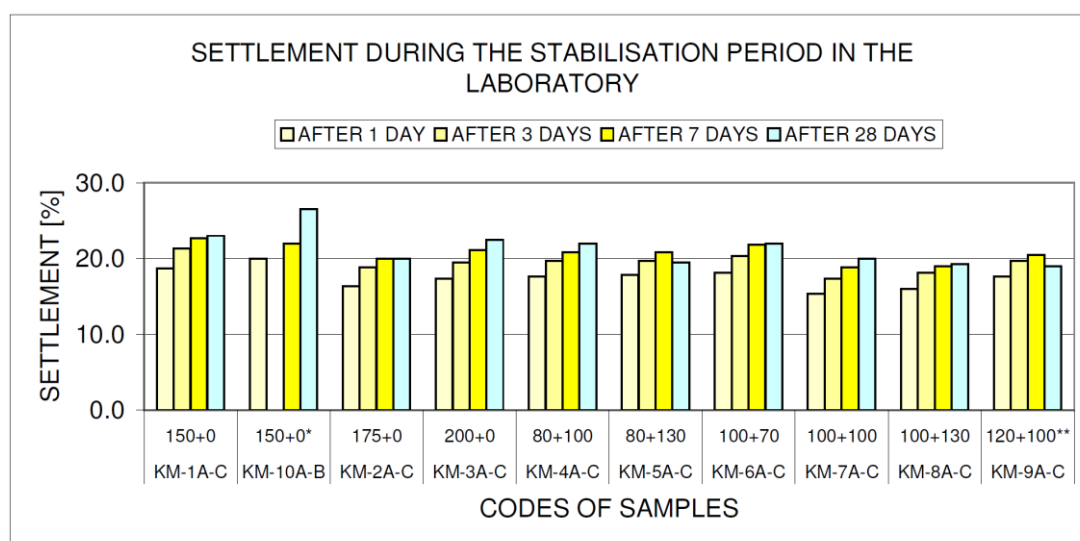
KM-8	Portland Ce + Tuhk 1	100	130
KM-9	Portland Ce + Tuhk 1	120	100

*) katsetatud segude laborinumbrile lisati erinevatel katsetel täht (nt KM-1A)

Labori katsete sideainete vahekordi muudeti võrreldes katsealal kasutatud sideainetega vastavalt välikatsete tulemustele. Välikatsete järgselt oli selge, et alal 6 (70 kg/m^3 Portland tsementi ja 100 kg/m^3 tuhka) sideainete segu ei taga piisavat mulde stabiilsust. Samuti puudub vajadus muldel nii suure nihketugevuse järgi, mis saadi katsealadel 1 ja 2 (250 kg/m^3 Portland tsementi).

4.2.1 Vajum laboratoorsetes tingimustes

Laboris katsetatud segude vajumisi selgitab järgnev joonis.



Joonis 7. Laboris katsetatud segude vajumine

Vajumiste tulemused on numbriliselt toodud Lisa 3.

Vastavalt laboratoorsete vajumite uuringutele on:

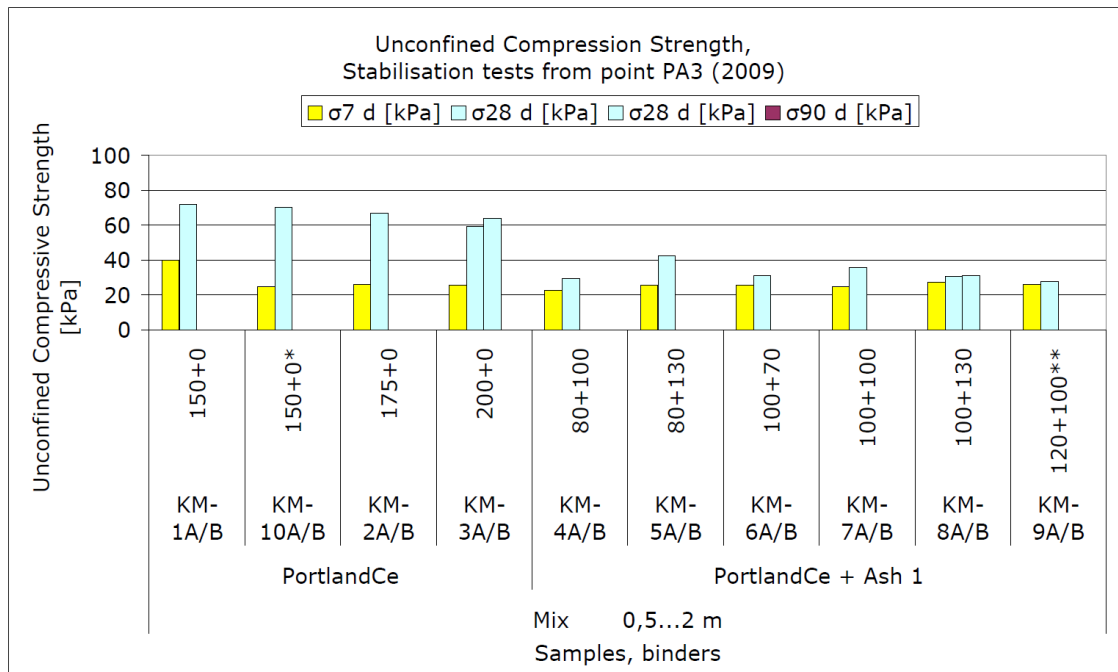
- Üksnes Portland tsemendist segul vajum umbes 20...27%
- Portland tsemendi ja tuhk 1 segude puhul on antud aja jooksul vajumine 19...22%

4.2.2 Survetugevus

Peale teatud perioodi (7 päeva ja 28 päeva) testiti stabiliseeritud pinnast ühel suunal laadimiskiirusega 2 mm/min . Testi tulemused on esitatud Joonis 8. Laboratoorsetes tingimustes läbi viidud survetugevuse katsete tulemused on esitatud Lisa 4. Laboratoorsete tingimustes läbi viidud survetugevuse katsete graafikud on esitatud Lisa 5.

Peale 28 päeva möödumist on üksnes Portland tsemendiga ($150\text{...}200 \text{ kg/m}^3$) stabiliseeritud pinnas umbes 50 % suurema survetugevusega, kui Portland Ce ja Tuhk 1 kombineeritud seguga ($80+100\text{...}130 \text{ kg/m}^3$ või $100+70\text{...}130 \text{ kg/m}^3$) stabiliseeritud pinnas (Joonis 8). Näha ei ole ka tugevnemise kasvu tsemendi lisamisel segusse.

28 päeva jooksul ei selgu tsemendi koguse mõju segus. 28 päeva jooksu on üksnes erineva kogusega Portland tsemendiga stabiliseeritud pinnastel (KM-1B, KM-2B, KM-3B/C ja KM-10B) sarnane survetugevus. Samuti on 28 päeva möödumisel sarnane survetugevus tuhk 1 ja Portland tsemendiga kombineeritud segudega stabiliseeritud pinnastel (KM-4A/B, KM-5A/B, KM-6A/B, KM-7A/B, KM-8A/B ja KM-9A/B) olenemata tsemendi sisaldusest. (Joonis 8).

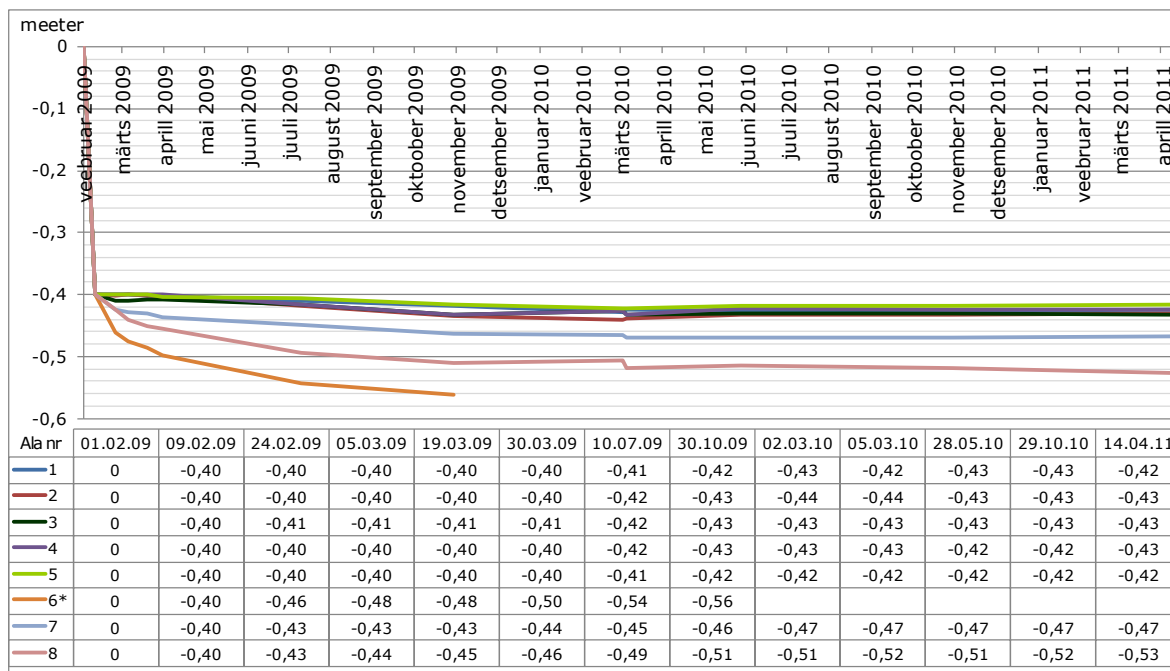


Joonis 8. Survetugevuse katsed laboratoorsetes tingimustes

5 KATSELÕIGU VAJUMI MÕÕTMISED

Alljärgnevalt on käsitletud katselõigult saadud vajumite mõõtmistulemusi veebruarist 2009 kuni aprillini 2011. Järgnev tabel käsitleb antud mõõtmistulemusi põhimõttel, esimene mõõtmistulemus kõikidelt aladelt on võetud nulltasemeks.

Läbiviidud mõõtmistulemuste kohaselt on stabiliseeritud aladel peale mulde pealepanekut toimunud minimaalsed vajumised. Samas on näha, et muldkeha, mis on stabiliseeritud pinnase peal, ei ole niivõrd kõrgel, võrreldes ümbritseva maapinnaga, kui muldkeha paksuse järgi võiks eeldada. Võimalik on, et valdav osa vajumisi toimus ära vajumi pealepanemise ajal või vahetult peale vajumi pealepanekut. Vastavat teooriat toetab ka laboris tehtud vajumiste mõõdistamine (Joonis 7). Seda seisukohta pole võimalik 100 %-liselt kindlalt kinnitada, kuna vahetult enne stabiliseerimist ei mõõdistatud stabiliseeritavat ala täpselt ära. Labori arvutuste kohaselt võeti keskmiseks vajumiks vahetult peale stabiliseerimist 40 cm ja vastavalt on toodud ka alljärgnev vajumiste mõõtmistulemuste joonis.



* Mass-stabiliseerimise käigus pinnase visuaalset tugevnemist ei täheldatud; stabiliseerimise ala mõõteplaat liikus igas suunas mulde pealepaneku käigus ja 04.11.2009 toimunud kontrolli käigus selgus, et mõõteplaadi varras oli murdunud.

Joonis 9. Katselõigu vajumiste mõõtmistulemused

Vajumite erinevuse osas võib täheldada, et kõige enam vajusid katseala 8 ja 4. Nende alade stabiliseerimisel kasutati kõige väiksemat stabiliseerimisseguga hulka ning vastavad segud andsid välikatsetel (peatükk 4.1) ka kõige nõrgemaid pinnase tugevuste tulemusi.

Ülejäänud alade vajumite ja stabiliseerimisseguga/välikatsete vahele kindlat paralleeli (aasta pärast stabiliseerimist) tuua ei saanud, kuna aladele peale veetud muldkehade paksus oli erinev (peatükk 3.3). Sel põhjusel soovitas pinnasestabiliseerimise ekspert, geotehnik Juha Forsmann lisada katselõigule 50-80 sentimeetri paksuse kihi muldkehaks sobivat pinnast. Lisaks selgitas ta, et muldkeha tõstmine annab teavet

stabiliseeritud pinnase stabiilsuse ja tugevuse kohta, kuna võimaldab näha vajumi muutust pinnase raskuse muutumisel.

5.1 Muldkeha paksuse suurendamise tulemus

Maanteeameti tellimusel toodi katselõigule märtsis 2010 (vahetult peale 02. märtsil 2010 toimunud vajumiste mõõtmisi) lisaraskus, mille paksus oli keskmiselt 60 cm. Erandina ei toodud katsealale nr 6 peale lisaraskust, kuna oli juba kindlalt näha, et antud ala ei stabiliseerunud piisavalt. Lisaraskuse pealetoomise järel mõõdeti mass-stabiliseerimise katselõigul vajumisi veel 12 kuud. Antud mõõtmised näitasid, et alal nr 1, 2, 3, 4, 5 ja 7 vajumisi ei toimunud. Mõõtmistulemuste väiksed erinevused olid mõõtmisvea piires ($\pm 0,5$ cm). Vaid alal nr 8 võis näha kindlat 1-2 cm kõrgust vajumist (Joonis 9).

Seega võib vajumite mõõtmistulemuste alusel väita, et katsealal nr 8 vajumised ei lõppenud 24 kuulisel vajumiste mõõtmisperioodil ja lisaraskuse juurde toomisel võis näha lisavajumist. Ülejäänud alade vajumiste mõõtmistulemustest selgus, et kasutatud sideaine segusid võib sarnastes tingimustes kasutada.

6 KOKKUVÕTE

Testlõigul viidi läbi stabiliseerimiskatsed kaheksa erineva seguga. Kolm segu sisaldasid eri kogustes üksnes Portland tsementi (vastavalt 250, 200 ja 150 kg/m³), üks segudest sisaldas 250 kg/m³ Portland tsementi ja 97 kg/m³ liiva ning neli segu sisaldasid Portland tsementi ja elektrifiltri tuhka ehk Tuhka 1 (100 kg/m³ tsementi+100 kg/m³ tuhka; 100 kg/m³ tsement+200 kg/m³ tuhka; 76/150 kg/m³ tsementi+200 kg/m³ tuhka; 70 kg/m³ tsementi+100 kg/m³ tuhka).

Laboratoorsetest uuringutest selgus, et ainult Portland tsemendiga stabiliseeritud pinnased omavad stabiliseerimisest 28 päeva möödudes suuremat survetugevust kui tuhka 1 ja Portland tsemendiga kombineeritud segud. 28 päeva jooksul ei selgu tsemendi koguse mõju survetugevusele.

Välikatsete tulemusel selgus, et kaheksast kasutatud segust üks jäi nihketugevuselt alla 50 kPa (Ala 6). Antud segu omas ka kõige väiksemat Portland tsemendi ja tuha sisaldust (70 kg/m³ Portland tsementi ja 100 kg/m³ tuhka). Ülejäänud segud ületasid 50 kPa piiri.

Veebruarist 2009 kuni aprillini 2011 läbi viidud katselõigu vajumiste mõõtmise andmed näitavad selgelt, et ala nr 6 ei stabiliseerunud piisavalt ning vajumised ja sellega kaasnenud nihked pinnases viisid vajumisplaadi varda murdumiseni.

Lisaraskuse peale toomine märtsis 2010 näitas, et selle raskus mõjutas vajumist üksnes alal nr 8, kus toimus järgneva 12 kuu jooksul lisaks veel 1-2 cm kõrgust vajumisi. Ülejäänud aladel (nr 1; 2; 3; 4; 5 ja 7) oli vajumine juba lisaraskuse pealetoomise ajaks lõppenud ja ka lisaraskus ei põhjustanud lisanduvat vajumist.

Aladel nr 1; 2; 3; 4; 5 ja 7 tulemusel selgus, et nende sideaine segusid võib sarnastes tingimustes kasutada. Seetõttu soovitame antud sideainesegusid kasutada sarnastes pinnasetingimustes reaalse tee all, et kontrollida nende toimimist dünaamilise koormuse tingimustes.

7 KASUTATUD KIRJANDUS

1. Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuring, Ramboll 2007
2. Mass Stabilisation Manual, Ramboll 2005
3. Design Guide Soft Soil Stabilisation, CT97-0351, Project No.: BE 96-3177

Lisa 1. Uurimistöö lähteülesanne

PINNASTE MASS-STABILISEERIMISVÕIMALUSTE KATSELÕIGU UURIMISTÖÖD LÄHTEÜLESANNE

1 Taustateave

Teede rajamisel tõstatub tehnoloogiline vajadus lahendada tee muldkeha alla jäävate ebastabiilsete pinnaste küsimus. Traditsiooniliselt on taolised pinnased välja kaevatud ja asendatud kõrgemakvaliteedilise stabiilse materjaliga.

Pinnaste asendamine tee-ehitusprojektide käigus on kasvav keskkonnaprobleem. Üha raskem on leida eemaldatavale pinnasele sobivaid ladustamiskohti järgides ELi prügilate regulatsiooni. Teisalt tuleb eemaldatud pinnased asendada kõrgemakvaliteedilise materjaliga ning üsna sageli tuleb seda transportida kaugel asuvatest maardlatest, tõstes oluliselt rajatava infrastruktuuri hinda.

Seetõttu on Maanteeametil tõstatunud vajadus uurida alternatiivseid, keskkonnale vähem kahju tekitavaid ning kuluefektiivseid pinnase kasutamise võimalusi.

Maanteeamet on eelnevalt tellinud pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuringu, mille põhjal on otsustanud rajada Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee uuele Kose-Mäo trassile massstabiliseerimise katselõigu. Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuringu andmeid kasutatakse massstabiliseerimise katselõigu kavandamisel.

2 Uurimistöö eesmärk

Massstabiliseerimise katselõigu rajamise ja sellega seonduvate uuringute eesmärgiks on saada teavet erinevate sideainete ning nende erinevate koguste käitumisest ehituslikes tingimustes ning võimalike probleemide väljaselgitamiseks enne meetodi laialdasemat kasutamist Kose-Mäo teelõigul.

Uurimistöö tulemuseks on soovitud erinevate sideainesegude kasutamiseks ning stabiliseeritud pinnase vajumite andmed.

3 Eelnevalt kättesaadav informatsioon ja kaasabi Maanteeameti poolt

Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste uuring, Maanteeamet, 2007.

4 Uurimistöö käigus läbiviidavad tegevused

Uurimistöö sisaldab alljärgnevaid töid:

I etapp (katselõigu rajamisele eelnevad tööd):

1. Katselõigu asukoha määratlemine koos MA ja RKM esindajatega
2. Katselõigu ehitamise põhimõtete koostööstamine MA-ga (ajakava, sideainete tarnijad, koostööstused)

3. Pinnaseuuringud, proovide võtmine ja laboratoorsed katsetused pinnase geotehniliste näitajate määratlemiseks
4. Katselõigu dimensioneerimisarvutused (stabiilsus ja vajum)
5. Tööde spetsifikatsiooni koostamine katselõigu ehitustööde läbiviijale

II etapp (katselõigu rajamise aegsed ja vahetult järgnevad tööd):

1. Katselõigu tööde järelevalve ja juhtimine
2. Stabiliseeritud pinnasest proovide võtmine, välikatsete ja laborikatsete läbiviimine
3. Stabiliseeritud pinnase laborikatset
4. Aruande koostamine

III etapp (katselõigu jälgimine – vajumid)

1. Katselõigu tööde ajal paigaldatud reeperite põhjal vajumite mõõtmine (periood 2008 IIIkv- 2010 IIkv). Mõõtmine toimub kvartaalselt.
2. Aruande koostamine ja esitamine hiljemalt 10.08.2010.

Uuringu tegemise põhimõtted

Katselõigul katsetatakse varasemate laboratoorsete tööde järgi kaheksat paremat portlandtsemendist ja tuhast vahekorras 70...100 kg/m³ ja 150...200 kg/m³ koosnevat sideaineteseugu.

Stabilisatsiooniala katselõigu suurus ühele sideainele on soovitatavalt 5...10 m × 10...20 m.

Järgnevas tabelis on toodud soovitatavad kvaliteedi tagamise uuringumeetodid.

Tabel 1. Kvaliteedi kindlakstegemise meetodid ja mahud (massstabiliseerimise sügavus u 2,7 m).

Meetod	Määratavad omadused	Testi hulk ühe sideaine ala kohta	Testi läbiviimise aeg	Testide hulk kokku
CPT (Column penetration tests)	Penetratsiooni takistus => nihketuhevus	8	1...2 kuud peale stabiliseerimist	64
CV (Column vane tests)	nihetuhevus	3	1...2 kuud peale stabiliseerimist	24
Pinnaseproov	Sideaine ühtsus	1*	1...2 kuud peale stabiliseerimist	8 => 24 m *
Laboratoorsed stabilisatsiooni testid	tugevus	1**	Stabiliseerimise ajal	28 + 14
Vajumi jälgimine katselõigul	vajum	1	0, 0.5, 1, 3, 6, 9, 12, 18 ja 24 kuul	28

* visuaalne inspeksioon / fotograafia, penetromeeter mõõdistus, niton-mõõdistus, ühetelgne surve

** 1...2 m turba sügavus, kvaliteedi erinevuse tõttu kihtides.

Koostas:/Endel Nurm/





Lisa 2. E-kirjavahetus Eesti Energia AS-ga

Kersti Ritsberg

From: Aleksander Pototski [Aleksander.Pototski@energia.ee]
Sent: 20. jaanuar 2009. a. 11:14
To: Kersti Ritsberg
Cc: Jaan.Valtin@kmg.ee; Peeter Skepast
Subject: RE: Ash1 and Ash3

Tere,

probleem on CFB-tuha väljastamisega (vt.meie allolevat kirja 19.01.2009 21:17).
Seega, kui Te soovite siiski saada CFB-tuhka, meil tuleb peatada plokk.
CFB-ploki peatamiseks ja kooskõlastamiseks läheb ligi 3 päeva.
Siis hakatakse laadima tsemendiveokit selliselt,
et plokk iga natukese aja tagant lülitatakse sisse, siis jälle mõne aja möödudes välja -
siis saab laadida tuhka autosse. Ja nii korduvalt väheste vaheaegadega.
Autosse laaditav tuhk on 100-120-kraadine, see tähendab seda, et auto kuumeneb.
Vastutus võimaliku õnnetuse (ülekuumenemisest tingitud plahvatus) juures kannab transpordifirma.
30.tonnise auto käsitsi laadimiseks kulub ligi 2 ööpäeva.
Auto peab olema kohal alates eelneva päeva õhtust, seega autojuht ööbib kohapeal 2 ööd (Narvas).

Ja veel üks nüanss.
Vaatamata sellele, et me väljastame tuhka katsetusteks tasuta,
tuhal on oma turuhind 120 krooni tonn, tekib kaubavoog ning
Teil tuleb maksta käibemaksu summas 6977,00 krooni, millise Te saate hiljem tagasi.

Lugupidamisega,
Aleksander Pototski
Eesti Energia AS
Arendusprojektide juht
Tel.+372 715 1234
GSM +372 501 5545
E-mail: Aleksander.Pototski@energia.ee

"Kersti Ritsberg" <Kersti.Ritsberg@ramboll.ee>

20.01.09 10:30

To "Aleksander Pototski" <Aleksander.Pototski@energia.ee>

cc <Jaan.Valtin@kmg.ee>, "Peeter Skepast" <Peeter.Skepast@ramboll.ee>

Subject RE: Ash1 and Ash3

Tere,

Soovime katsetusteks 203 tonni vana katla elektrifiltrituhka (nii nagu kokkulepitud) ja samas koguses sooviksime saada uue katla Keevkihi tuhka.

Uue katla keevkivituha puhul soovime informatsiooni kuidas seda on võimalik kätte saada. Nimelt kas seda oleks võimalik kiiremini ja lihtsamalt kätte saada ladustuskohalt või on siiski vajalik peatada ploki töö, et

saada kätte kuum tuhk käsitsi. Kuna oleks võimalik seda tuhka kätte saada ja kaua selle ladustamine autole aega võtaks? Palume antud informatsiooni nii kiiresti, kui võimalik.

Lugupidamisega,
Kersti Ritsberg, B.Sc.(Geol)
geoloogia spetsialist
Ramboll Eesti AS
Laki 34
12915 Tallinn
www.ramboll.ee
tel +372 698 8356
kersti.ritsberg@ramboll.ee

From: Aleksander Pototski [<mailto:Aleksander.Pototski@energia.ee>]
Sent: 19. jaanuar 2009. a. 21:17
To: Kersti Ritsberg
Cc: Jaan.Valtin@kmg.ee; Peeter Skepast
Subject: Re: Ash1 and Ash3

Tere Kersti,

tuhkadega on väike segadus.

Nimelt uurisin Eesti Elektriijaama tuhakäitlusettevõtelt, millist tuhka on väljastatud Teile katseteks.

Selgus, et tolmpõletus- ehk vanade katelde (PF) tsüklon- ja 1.välja elektrifiltrituhka.

Lisaks, keevkihtpõletus- ehk uute katelde (CFB) tuha väljastamiseks pole ettenähtud väljastamiseadmeid, kogu tuhk läheb tuhamäele.

Seega, kui Te soovite siiski saada CFB-tuhka, meil tuleb peatada plokk ning ühe 30 tonnise auto käsitsi laadimiseks kulub ligi 2 ööpäeva.

Ning lõpuks, kui CFB-tuhk osutub väljavaliuks, tuleb enne tööstusliku keevkihtpõletus tuha väljastamist

investeerida tuha väljastamiseadmetesse ligi 70 miljonit krooni, projekteerimise ja ümberehituse aeg on vähemalt 1 aasta.

Seoses sellega palun teha korrektiive väljastatavate tühkade nimistus.

Lugupidamisega,
Aleksander Pototski
Eesti Energia AS
Arendusprojektide juht
Tel.+372 715 1234
GSM +372 501 5545
E-mail: Aleksander.Pototski@energia.ee

"Kersti Ritsberg"

<Kersti.Ritsberg@ramboll.ee>

19.01.09 09:45

To "Aleksander Pototski"

<Aleksander.Pototski@energia.ee>

cc <Jaan.Valtin@kmg.ee>, "Peeter Skepast"

<Peeter.Skepast@ramboll.ee>

Subject RE: Tuha tarnegraafik

Tere,

Ash1 nime all on elektrifiltri tuhka vanast katlast ja Ash3 nime all on keevkihi tuhk uuest katlast.

Ilusat algavat nädalat,
Kersti Ritsberg, B.Sc.(Geol)
geoloogia spetsialist
Ramboll Eesti AS
Laki 34
12915 Tallinn
www.ramboll.ee
tel +372 698 8356
mob +372 5140366
kersti.ritsberg@ramboll.ee

From: Peeter Skepast
Sent: 19. jaanuar 2009. a. 9:27
To: Kersti Ritsberg
Cc: Jaan.Valtin@kmg.ee
Subject: FW: Tuha tarnegraafik

Kersti

Palun tegele sellega.

Peeter Skepast

Ramboll Eesti AS
Laki 34, Tallinn
tel +372 6645804
mob +372 5090730
peeter.skepast@ramboll.ee
skype:peeterskepast

Knowledge taking people further---

From: Aleksander Pototski [<mailto:Aleksander.Pototski@energia.ee>]
Sent: Monday, January 19, 2009 9:05 AM
To: Peeter Skepast
Cc: Jaan.Valtin@kmg.ee
Subject: Tuha tarnegraafik

Tere Peeter ja Jaan,

täpsustage palun milliseid tuhkasid Teie peate silmas oma tarnete graafikus nimede Ash1 ja Ash3 all?

Lugupidamisega,
Aleksander Pototski
Eesti Energia AS
Arendusprojektide juht
Tel.+372 715 1234
GSM +372 501 5545
E-mail: Aleksander.Pototski@energia.ee

_____ Information from ESET NOD32 Antivirus, version of virus signature database 3821
(20090203) _____

The message was checked by ESET NOD32 Antivirus.

<http://www.eset.com>

Lisa 3. Vajumised laboratoorsetel katsetel

Kose - Mäo - Mass Stabilisation Test Stabilisation testing in laboratory

Diameter of cylinderform specimens are 68 mm and high about 136 mm.
Temperature of test specimens is approximately 18 °C and load 17 kPa during curing time.
Settlements of test specimens were determined after 1-, 3-, 7-, 28-days.
Binders: PortlandCe, Ash 1

Settlements during curing time (means from 1...3 specimens)

sample	binders	code	amounts	settlement _{1 d}	settlement _{3 d}	settlement _{7 d}	settlement _{28 d}
			[kg/m ³]	[%]	[%]	[%]	[%]
Tv-mix PA3, 0.5-2 m 1:1:1	PortlandCe	KM-1A-C	150+0	18.7	21.3	22.7	23.0
		KM-10A-B	150+0*	20.0	-	22.0	26.5
		KM-2A-C	175+0	16.3	18.8	20.0	20.0
		KM-3A-C	200+0	17.3	19.5	21.2	22.5
	PortlandCe + Ash 1	KM-4A-C	80+100	17.7	19.7	20.8	22.0
		KM-5A-C	80+130	17.8	19.7	20.8	19.5
	PortlandCe + Ash 1	KM-6A-C	100+70	18.2	20.3	21.8	22.0
		KM-7A-C	100+100	15.3	17.3	18.8	20.0
		KM-8A-C	100+130	16.0	18.2	19.0	19.3
	PortlandCe + Ash 1	KM-9A-C	120+100**	17.7	19.7	20.5	19.0

Lisa 4. Laboratoorsetes tingimustes läbiviidud survetugevuse katsete tulemused

Kose-Mäo - Mass Stabilisation Test Stabilisation testing in laboratory

Index properties of peat

	Sample depth [m]	w [%]	Hh [%]	pH	notes
Samples 28.1.2009	0,5	690	94.3	4.5	5.7 kg
	1,0	773	95.4	5.1	5.2 kg
	1,5	831	94.1	5.3	5.0 kg
	2,0	807	93.9	5.8	4.6 kg
Samples 4/09	0.5 - 1.0 m	798	95.4	-	25 l
	1.0 - 1.5 m	853	94.5	-	30 l
	1.5 - 2.0 m	824	94.6	-	30 l
	Mix 0,5...2 m	830	94,3	5,7	mix 1:1:1

Stabilisation tests (from samples taken week 13-14)

Diameter of cylinderform specimens are 68 mm and high about 136 mm.
Temperature of test specimens is approximately 18 °C and load 17 kPa during curing time.
Unconfined compression strength of test specimens were determined after 7, 28 or 90 days.
Binders: PortlandCe, Ash 1

Unconfined Compression Strength [kPa]

	binder	code	amount [kg/m3]	σ_7 d [kPa]	σ_{28} d [kPa]	σ_{28} d [kPa]	σ_{90} d [kPa]	notes
Mix 0,5...2 m	PortlandCe	KM-1A/B	150+0	39.8	71.9		x	
		KM-10A/B	150+0*	24.9	70			*Control test
		KM-2A/B	175+0	26.0	66.9		x	
		KM-3A/B	200+0	25.6	59.2	63.8		
	PortlandCe + Ash 1	KM-4A/B	80+100	22.5	29.4		x	
		KM-5A/B	80+130	25.6	42.4		x	
		KM-6A/B	100+70	25.4	31.1		x	
		KM-7A/B	100+100	24.5	35.9		x	
		KM-8A/B	100+130	27.0	30.6	31.1		
		KM-9A/B	120+100**	26.0	27.8		(x)	**R & D

Lisa 5. Laboratoorsete tingimustes läbiviidud survetugevuse katsete graafikud

