

Pinnaste mass-stabiliseerimisvõimaluste
uuring
Lõpparuanne

Ramboll Eesti AS

2007-4



Maanteeamet

Tallinn 2007

SISUKORD

1	ÜLDOSA.....	4
1.1	UURIMISTÖÖ EESMÄRK	4
1.2	UURINGU KOOSSEIS	4
2	EHITUSGEOLOOGIA.....	5
2.1	EHITUSGEOLOOGILINE UURING.....	5
2.1.1	Uuringu objekt.....	5
2.1.2	Välitööd	5
2.1.3	Laboriuuringud	7
2.1.4	Tulemuste interpreteerimine.....	7
2.2	GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS	7
2.2.1	Reljeef	7
2.2.2	Aluspõhi.....	7
2.2.3	Pinnakate.....	7
2.3	HÜDROGEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS.....	8
3	PINNASTE MASSSTABILISEERIMINE	9
3.1	ÜLDIST	9
3.2	PINNASEPROOVIDE VÕTMINE.....	10
3.3	SIDEAINED	16
3.3.1	Tsement	16
3.3.2	Tuhk.....	16
3.3.3	Tuhkade laboratoorsed testid.....	18
3.4	STABILISEERITAVATE MATERJALIDE TESTID	20
3.4.1	Pinnaseproovid	20
3.4.2	Pinnaseproovide homogeniseerimine	21
3.4.3	Proovikehade valmistamine	21
3.4.4	I tööfaasi proovikehade vajumid	22
3.4.5	I tööfaasi survetestid.....	23
3.4.6	II tööfaasi testid	25
4	KULUDE HINNANG	27
4.1	VÕRDLUSE ALUSED	27
4.2	ASENDUSMEETOD	27
4.2.1	Konstruktiivne lahendus.....	27
4.2.2	Ühikhinnad	28
4.2.3	Muud mõjutegurid	29

4.3	STABILISEERIMINE	29
4.3.1	Konstruktiivne lahendus.....	29
4.3.2	Ühikhinnad	30
4.3.3	Muud mõjutegurid	30
4.4	ARVUTUSTE TULEMUSED	31
4.5	TUNDLIKKUSANALÜÜS.....	31
5	KOKKUVÕTE	34
6	LISAD	35
7	KASUTATUD KIRJANDUS	36

1 ÜLDOSA

1.1 UURIMISTÖÖ EESMÄRK

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 teede ehitusprojektide käigus on kasvav loodusressursi ja keskkonnaprobleem. Üha raskem on leida eemaldatavale pinnasele sobivaid ladustamiskohti järgides ELi prügilate regulatsiooni. Teisalt tuleb eemaldatud pinnased asendada kõrgemakvaliteedilise materjaliga ning üsna sageli tuleb materjale 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.

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.

Uurimistöö spetsiifiliseks eesmärgiks on saada esmane ülevaade pinnase mass-stabiliseerimise võimalustest Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee uuel teetrassil asuva Võõbu-Mäo lõigu näitel, kus asuvad teadaolevalt turbamassiivid ja pinnased, mis tuleksid teehituse käigus teisaldada.

Uurimistöö lähteülesanne on esitatud lisas (Lisa 1).

1.2 UURINGU KOOSSEIS

- Esmalt määrati koostöös Maanteeameti esindajatega olulised punktid, milliste osas viia läbi esialgsed geoloogilised uurimised. Uuringu viis läbi IPT Projektijuhtimise AS ja pinnaste põhilised parameetrid määrati Eesti Keskkonnauuringute keskuse geotehnikalaboratooriumis.
- Uuringu tulemuste alusel täpsustati piirkonda ja võeti pinnaseproovid stabiliseerimiskatsete läbiviimiseks laboritingimustes.
- Valiti sideained - kolm erinevat tuhka Narva Elektrijaamast (elektrifiltri, tsükloni ja keevkihi tuhk) ja kaks erinevat tsementi (portlandtsement ja teetsement)
- Rambolli Soome laboratooriumi (Luopioinen) viidi pinnase ja sideaine proovid, Laboratoorsed katsed jagati kahte faasi:
 - esimeses faasis teostati tuhmade ja pinnaste keemilised analüüsid, teostati survetugevuse ja vajumi katsed 28 päeva vanuselt ning selgitati välja sobivamad segud edasiseks, teise faasi, katseteks.
 - teises faasis täpsustati segude sideainete koguseid esimeses faasis paremaid tulemusi andnud segukoostistega, viidi läbi survetugevuskatsed 28 ja 90 päeva möödudes, teostati keskkonna- ja külmakindlustestid.
- Arvestades Kose-Mäo lõigu projekteerimisel kasutatavat tüüpset ristprofiili, täpsustati ehitustööde tehnoloogiat, koostati algoritmid mahtude arvutamiseks ning selle baasil metoodika võrreldava maksumuse arvutamiseks (pinnase stabiliseerimine või asendamine).

2 EHITUSGEOLOOGIA

2.1 EHITUSGEOLOOGILINE UURING

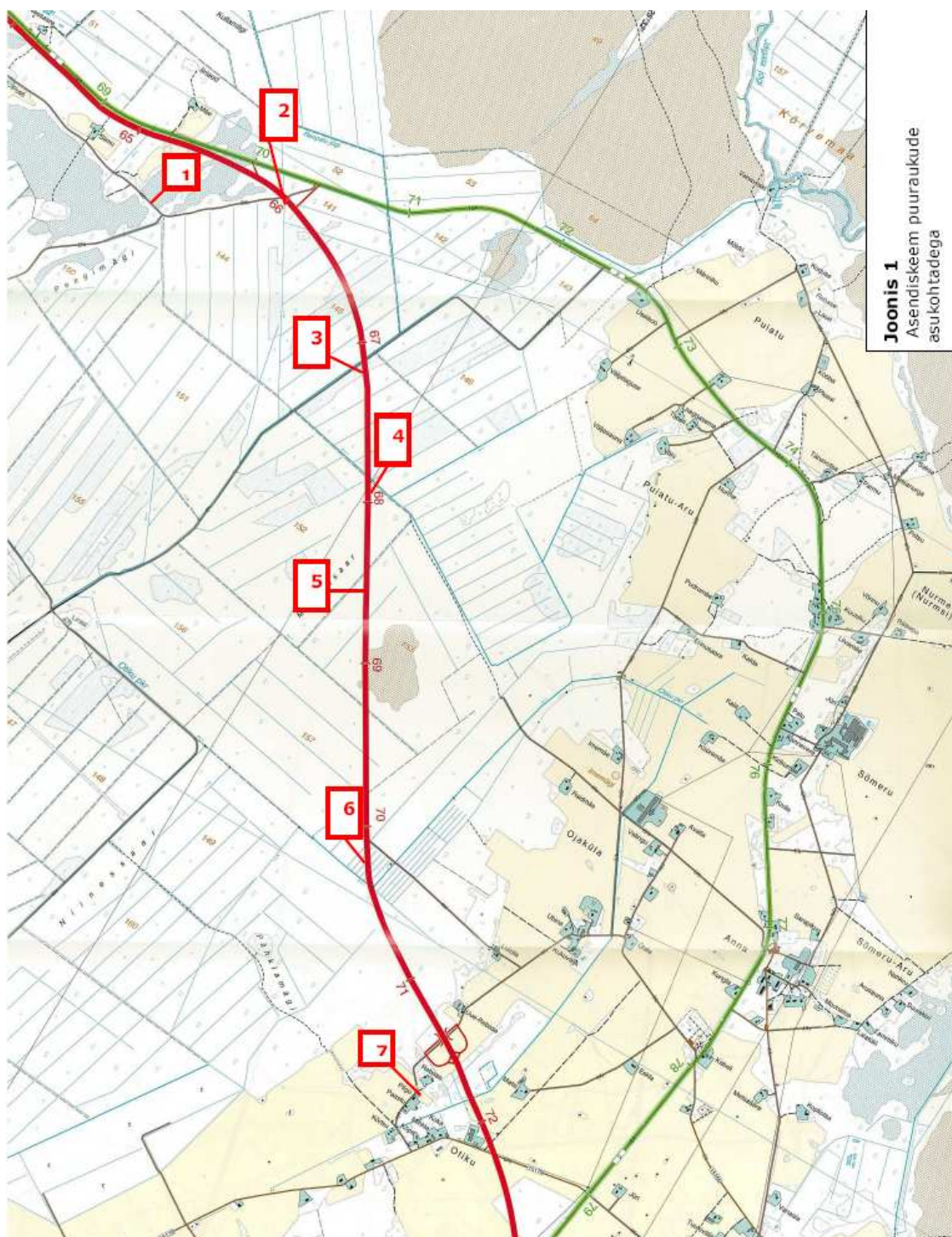
2.1.1 Uuringu objekt

Käesolev ehitusgeoloogiline uuring viidi läbi mööda Tallinn-Tartu maantee perspektiivset uut teetrassi, mis kulgeb ca 8 km pikkuselt veidi kaarjalt praeguse tee ca 70 km-st kuni ca 80 km-ni.

2.1.2 Välitööd

Tööde eesmärgiks oli ala geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste tingimuste selgitamine. Välitööd tehti 2007. a 24.-25. jaanuaril. Agregaadiga GM 65 GTT (fotod 9 ja 10 Lisas 3) tehti 7 puurauku (PA) sügavusega 3,65...5,80 m.

Puuraugud tehti piki Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee võimaliku uue trassi telgjoont või selle vahetusse lähedusse tellijaga eelnevalt kooskõlastatud kohtadesse. Uuringupunktide numeratsioon on sama, mis alljärgneval plaanil (vt Joonis 1).



Joonis 1 - Asendiskeem

Puuraukudes esinevad pinnased kirjeldati visuaalselt, lisaks võeti kokku 55 rikutud struktuuriga proovi loodusliku veesisalduse, plastsuspiiride, lõimise ja kuumutuskao määramiseks.

Puuraukude koordinaadid loeti GPS-seadme Magellan eXplorist XL abil. Uuringupunktide kõrguslikku sidumist ei tehtud.

Välitöid teostas IPT Projektijuhtimine OÜ

2.1.3 Laboriuuringud

Pinnaseproovid teimiti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalaboris.

Analüüside tulemused on toodud lisas (Lisa 2).

Uuringud sisaldasid järgmisi määranguid:

- loodusliku veesisalduse määramine vastavalt GOST 5180-84, 38 teimi
- savipinnaste plastsuspiirid vastavalt GOST 5180-84 ja liigitus vastavalt GOST 25100-95 (MA parandus 2006), 8 teimi
- orgaanikat sisaldavatel pinnastel orgaanilise aine sisalduse määramine kuumutuskaoga vastavalt GOST 5180-84, 6 teimi
- pinnaste granulomeetriline koostis vastavalt GOST 12536-79 (setteanalüüs areomeetriga ja sõelanalüüs) ja liigitus vastavalt GOST 25100-95 (MA parandus 2006), 11 teimi

2.1.4 Tulemuste interpreteerimine

Pinnaste läbilõige puuraukudes on esitatud lisas (Lisa 2) geoloogilistel tulpadel.

Pinnaste külmaohtlikkuse grupp määrati pinnase nimetuse järgi vastavalt SNiP 2.05.02.85, kohustuslik lisa tabelile 7.

Pinnaste filtratsioonimoodulid leiti lõimisanalüüsi tulemuste järgi. Kasutati parameetrit d_{15} (lõimiskõveral 15%-le vastav osakeste läbimõõt), mille järgi saadi vastav filtratsioonimoodul graafikult (GeoSyntec, 1991).

Pinnaste külmaohtlikkuse grupp ja filtratsiooni moodul on toodud geoloogilistel tulpadel (Lisa 2).

2.2 GEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

2.2.1 Reljeef

Uus teetrass kulgeb mööda võrdlemisi soist ala, reljeefi liigestavad rohked kuivenduskraavid ja Reopalu jõgi.

2.2.2 Aluspõhi

Aluspõhjaks on uuritud alal lubjakivi. Lubjakivi pealispind paikneb maapinnast 3,45 kuni 5,25 m sügavusel. Puuraugus PA3 paikneb lubjakivi pealispind sügavamal kui 5,8 m.

Lubjakivi on valkjashall kuni hall, kihi ülemine osa kohati 0,2...0,3 m ulatuses murenenud lahmakateks või rähaks.

2.2.3 Pinnakate

Tulenevalt liigniisketest tingimustest on pea kõikjal pindmiseks kihiks turvas või turvastunud muld. Turbakihi paksus on maksimaalne - 4 m puuraugus PA4. Turvas on valdavalt keskmiselt kuni hästi lagunenenud, PA1 asukohas esines ka halvasti lagunenenud turvast, värvus on pruun kuni mustjaspruun, kiht sisaldab paiguti puidujäänuseid.

Turba all esinevad erinevas paksuses peeneteraliseid pinnased: tolmlüiv, tolme saviliiv, tolme liivsavi. Puuraukudes PA1 ja PA3 ka peenliiv keskliivaga.

Puuraukudes PA2, PA3, PA6 ja PA7 esineb lubjakivi peal moreen, mis lõimise järgi on kerge saviliiv või tolmne saviliiv kruusaga. Jämepurru sisaldus on ülemises osas 5-20%, sügavuse suunas see kasvab kuni 50-60%-ni, minnes üle jäme purdmoreeniks.

Kihtide lasumus, paksused ja üksikteimide tulemused on detailsetl toodud lisas (Lisa 2), samas on summeeritud ka laboritulemused.

2.3 HÜDROGEOLOOGILINE ISELOOMUSTUS

Pinnasevesi paiknes välitööde ajal (24.-25. jaanuaril 2007. a.) maapinnast 0,00...1,20 m sügavusel, peamiselt maapinnal avanevas turba või turbamulla kihis. Vaid PA7 asukohas paiknes pinnasevesi peenliivas.

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

Planeeritav uus trass kulgeb tee Tallinna poolses osas üle Reopalu jõe, lisaks mitmel pool üle rohkearvuliste kuivenduskraavide.

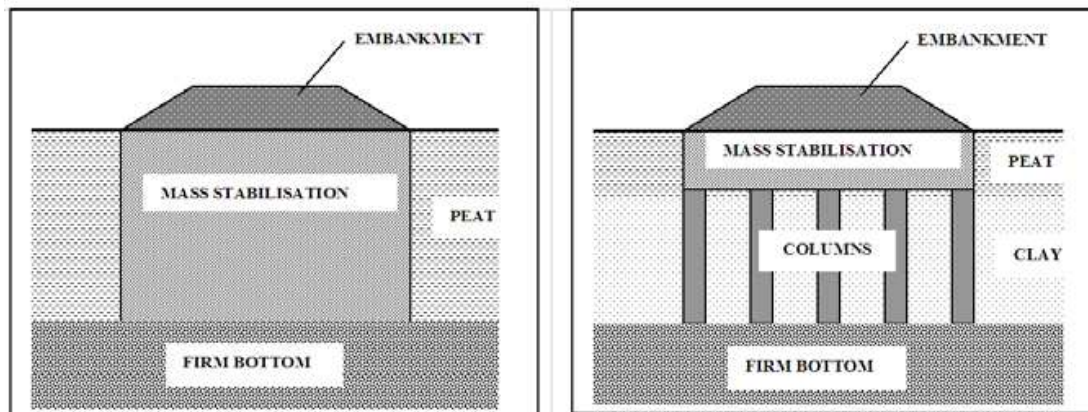
Pinnasevee tasemed on toodud geoloogilistel tulpadel lisas 2.

Paikkonna tüübi kirjelduse järgi (*Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. Tallinn 2001. L1.2 Paikkonna tüübi kirjeldus ja pinnaste suhtelised niiskused.*) on tegemist liigniiske alaga (tüübi nr 3) kõikide puuraukude asukohas. Paikkonna tüübi iseloomustamiseks on toodud fotod iga puuraugu asukohast (Lisa 3).

3 PINNASTE MASSSTABILISEERIMINE

3.1 ÜLDIST

Pinnaste mass-stabiliseerimine on suhteliselt uus pehmete pinnaste stabiliseerimise meetod. Stabiliseerimine viiakse läbi segades sobiva koguse kuiva või märga sideainet parendatava pinnasemassiga. Stabilisaatorina võib kasutada kas ühte või mitut sideinet nagu tsement, lubi, lendtuhk või šlakk. Rambolli laboratooriumis katsetatakse pidevalt sideainetena erinevaid tööstuslikke kõrvalsaadusi. Mass-stabiliseerimist võib kombineerida koos vaistabiliseerimisega (vt Skeem 1).



Skeem 1 - Mass-stabiliseerimise tehnoloogiad (Mass Stabilisation Manual, Ramboll 2005)

Pinnaste stabiliseerimise põhilisteks eesmärkideks on:

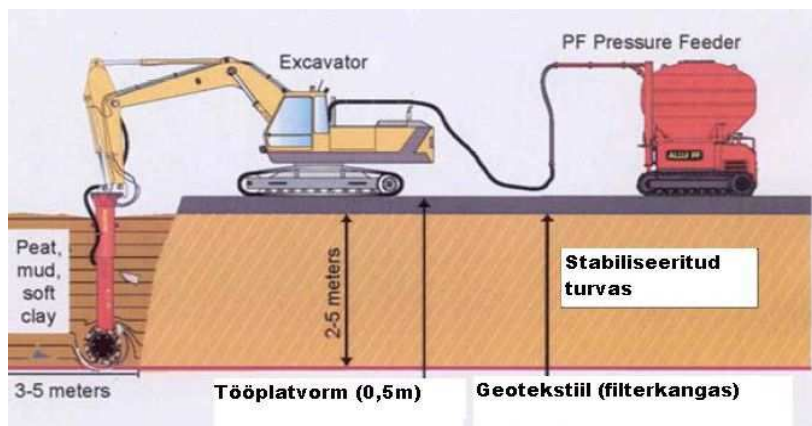
- Tõsta nõrga pinnase tugevust
- Vähendada deformatsioone (vajumeid)
- Parendada saastunud pinnast

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 transpordikulusid 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 keskkonnoahtlike osiste minimaalset leostumisohtu.

Mass-stabiliseerimise põhimõtteline Skeem 2 on alljärgnev:



Skeem 2 - Mass-stabiliseerimise põhimõtteline skeem

3.2 PINNASEPROOVIDE VÕTMINE

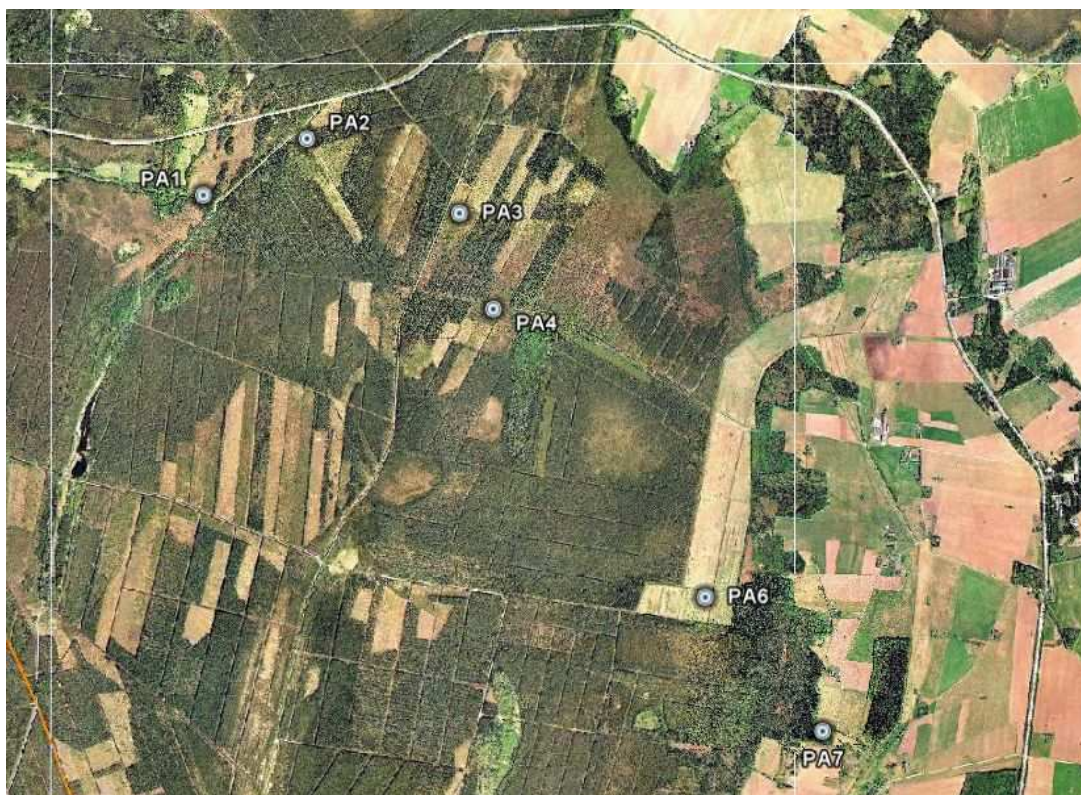
Pinnaseproovid võeti Riigi Metsamajanduse Keskuse hallatavalt alalt. Pinnaseproovide võtmine kooskõlastati RMK-ga. Proovide võtmisel ning proovivõtukohtade taastamisel järgiti RMK poolt esitatud nõudeid.

Pinnaseproovid võeti ekskavaatoriga.



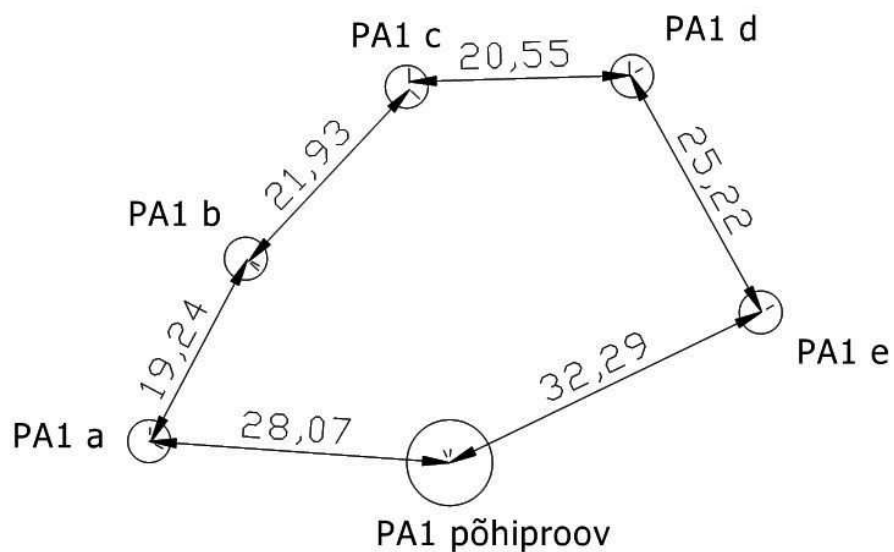
Foto 1 - Pinnaseproovide võtmisel kasutatud ekskavaator

Proovid võeti kuuest punktist, nende asukohad on toodud lisatud ortofotol (vt Kaart 1). PA5 proovivõtmine osutus keeruliseks ilma loodust oluliselt kahjustamata ning proovivõtmisest antud punktis loobuti.



Kaart 1 - Proovipunktide asukohad

Pinnaseproovid võeti vastavalt Rambolli Soome laboratooriumi juhistele (Lisa 4). Proove võeti proovivõtipunktis ühe põhiproovina ja 2-5 väiksema proovina kuni ca 50 meetri kauguselt põhiproovi võtmise kohast. Skeem 3 - PA1 proovivõtmise põhimõtteline skeem kujutab PA1 proovivõtmise põhimõttelisi asukohti. Põhiproov võeti pinnase erinevatest kihtidest, üks proov 0,5-1 meetri kohta. Väiksemad pinnaseproovid võeti 1-2 meetri sügavuselt. Üksiku pinnaseproovi (erinevast kihist) kogused olid 10-50 liitrit. Pinnaseproovid tähistati ning proovikanistrid suleti teibiga vältimaks niiskuse kadu proovist. Pinnaseproovid saadeti testimiseks Ramboll Soome pinnaselaboratooriumisse.



Skeem 3 - PA1 proovivõtmise põhimõtteline skeem

Järgnevalt on esitatud erinevatest proovivõtukohtadest tehtud pinnaseid iseloomustavad Foto 2-Foto 8.



Foto 2 - PA1 - turvas pealiskihis (kiht kuni 1,65m)



Foto 3 - PA1 - pinnas turbakihi all (1,65-2,30m)



Foto 4 - PA2 – rähkne pinnas kasvumulla kihi all (tolmliiv 0,70-1,35m, moreen kuni 3,45m)



Foto 5 - PA3 – turvas 2 meetri sügavusel



Foto 6 - PA4 – puuraugu läbilõige (turvas kuni 4m)



Foto 7 - PA7 – proovivõtmine (tolmne saviliiv 1,70-3,85m)



Foto 8 - Pinnaseproovid valmis laborisse saatmiseks – 27.juuni 2007

3.3 SIDEAINED

Kokkuleppel tellijaga katsetati stabiliseerimisel 5 sideainet: 2 tsementi ja 3 tuhka.

3.3.1 Tsement

Tsementidena kasutati AS Kunda Nordic Cement (KNC) tehases toodetavaid tsemente:

- Portlandtsement CEM I 42,5 N
- Teetsement HRB 32,5 E

Tsemendiproovid tarnis RE-le KNC. Proovid pakendati niiskuskindlalt paberikottidesse.

Tsemendiproovid transporditi Ramboll Soome pinnaselaboratooriumisse.

3.3.2 Tuhk

Tuhkadena kasutati AS Narva Elektriijaamad, Eesti Elektriijaamast (EEJ) pärinevat 3 tuhka:

- keevkihituhk (uus katel) /ingliseelses kirjelduses kasutatakse mõistet fluidized bed/
- tsüklontuhk (vana katel)
- elektrifiltrituhk (vana katel)

Tsüklontuha ja elektrifiltrituha väljavõtu põhimõtteline toimeskeem on toodud skeemil 4.

Tuhaproovid ca 30 kg iga tuhka võeti 10.10.2007 EEJ töötajate poolt ja pakendati niiskuskindlalt paberkottidesse.

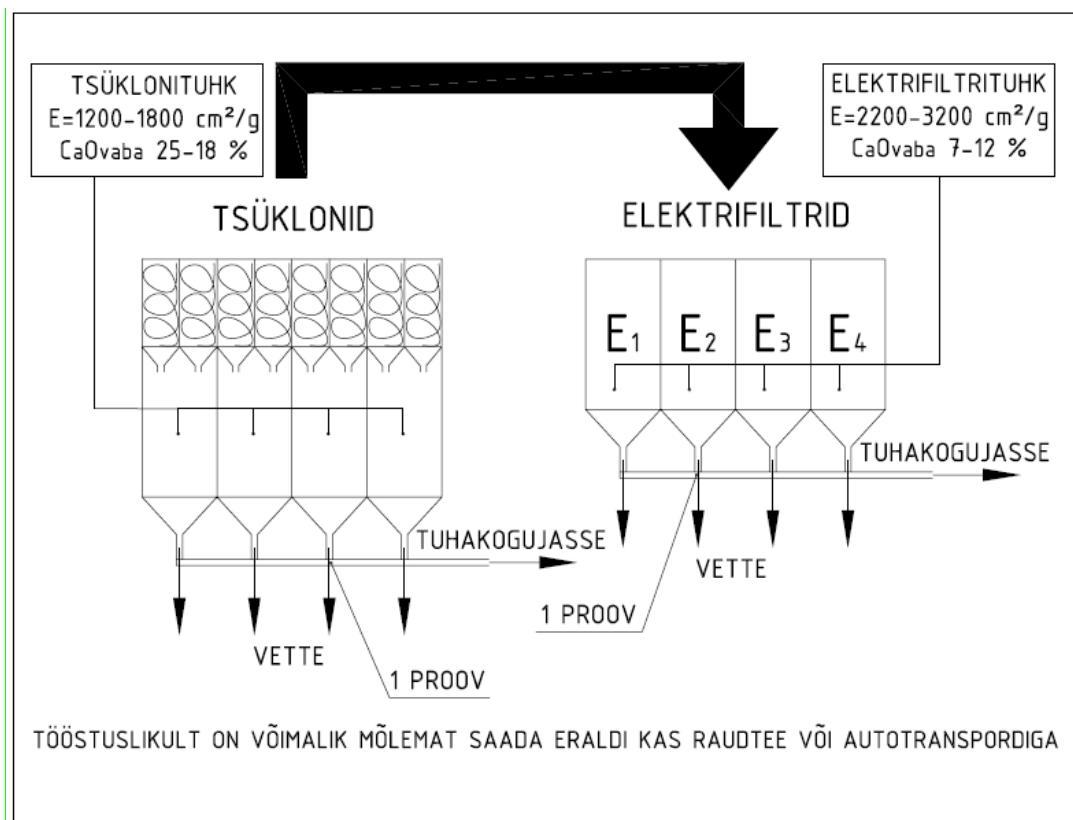
Tuhaproovidel käis järel RE esindaja. Proovid andis üle Viktor Jakovlev, EEJ vahetuse ülem.

Uue katla keevkihituhk on EEJ esindaja V.Jakovlevi sõnul erinevate uue katla tuhkade segu.

Tuhaproovid transporditi Ramboll Soome pinnaselaboratooriumisse. Suurtest tuhaproovidest eraldasime eelnevalt Maanteeameti soovil igast proovist ca 1 liitrit klaaspurkides TTÜ laborisse saatmiseks.

EEJ esindaja sõnul on vanade katelde tuha tootmisvõimsus on käesolevaga:

- tsüklontuhka ca 24 tonni/tunnis
- elektrifiltrituhka ca 12 tonni/tunnis



Skeem 4 - Tsüklontuha ja elektrifiltrituha väljavõtu põhimõtteline toimeskeem

Vanadele kateldele on välja ehitatud tuha tööstusliku väljavõtukohtad, kust tuhka on võimalik suunata transpordisõlme (Foto 9). Transpordisõlmes on laadimisvõimalused nii auto- kui raudteetranspordile. Uute katelde tuhale ei ole käesolevaga tööstuslikku väljavõtukohta.



Foto 9 Tuha laadimisjaam

EEJ tuhade suurimaks kasutajaks on käesoleval hetkel KNC (Kunda Nordic Cement).

3.3.3 Tuhkade laboratoorsed testid

3.3.3.1 Tuhkade füüsikalis-keemiliste näitajad

Maanteeameti tellimusel määrati TTÜ Ehitlustootluse Instituudi ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis tuhade füüsikalis-keemiliste näitajad. Laboriprotokoll on esitatud lisas (Lisa 5). TTÜ labori katsetulemuste põhjal eristuvad tuhad oluliselt eripinna näitajate osas. Kõige suurema eripinnaga (406 m²/kg) on keevkihttuhk ehk uue katla tuhk. Elektrifiltri tuha ja tsüklontuha vastavad näitajad on oluliselt väiksemad (vastavalt 288 m²/kg ja 86 m²/kg).

Erinevustest tasub välja tuua erinevused vaba lubja (CaO_{vaba}) sisalduste osas. Kevvkihttuha vaba lubja sisaldus (6,7%) on tunduvalt väiksem elektrifiltri tuha ja tsüklontuha vastavatest näitajatest (vastavalt 11,7% ja 18,6%).

3.3.3.2 Tuhkade granulomeetiline analüüs

Ramboll Finland OY Luopiose laboratooriumis teostati tuhkade granulomeetiline analüüs. Sõelkõverad on esitatud lisas (Lisa 6). Kõige suurem peenosiste osakaal on elektrifiltrituhal, mille puhul alla 0,063mm osiste osakaal on 98 %. Keevkihituha ja tsüklontuha alla 0,063mm osiste osakaal on vastavalt 46% ja 71%.

3.3.3.3 Tuhkade keemiline analüüs

Tuhkade keemiline analüüs teostati Ramboll Analytics Oy laboris. Laboriprotokoll on esitatud lisas (Lisa 7).

3.3.3.4 Tulemuste võrdlus KKM kehtestatud piirnormidega

Keemilise analüüsi tulemusi saab keskkonnakaitselisest seisukohast hinnata keskkonnaministri 2 aprilli 2004 aasta määruse 12 „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid“ pinnasele kehtestatud piirnormide alusel. Vastavalt antud määrusele on piirarv selline ohtlike ainete sisaldus, millest suurema väärtuse korral on pinnas või põhjavesi reostunud ning inimese tervisele ja keskkonnale ohtlik. Pinnasele on kehtestatud erineva väärtusega piirarvud elu- ja töötsooni jaoks. Määruses on kehtestatud sihtarv, mis on pinnase või põhjavee ohtliku aine sisaldus, millega võrdse või väiksema väärtuse korral on pinnase või põhjavee seisund hea ehk inimesele ja keskkonnale ohutu. Tuhkade keemilise analüüsi ja antud määruses esitatud piirsisalduste võrdlemise juures tuleb arvestada, et läbi viidud testid tehti puhastele sideainetele, mida segatakse loodusliku pinnasega selle stabiliseerimiseks. Stabiliseerimise tagajärjel pinnase ohtlike ainete sisaldus on madalam, kui sideainete elementide sisaldus (vt. Peatükk 3.4.6).

Järgnevalt on toodud Keskkonnavalaste testide tulemused võrrelduna keskkonnaministri 2 aprilli 2004 aasta määruse 12 „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid“ pinnasele kehtestatud piirnormidega:

Keevkihi tuhk

Keskkonnavalaste testide tulemused ei ületa peale pliisisalduse ühtegi kehtestatud sihtarvu ega ole ühelegi neist sihtarvudest ohtlikult lähedase tulemusega. Plii osas on testi tulemused:

Aine	testi tulemus	Sihtarv	Piirarv elutsoonis	Piirarv tööstustsoonis
Plii (Pb)	51 mg/kg	50 mg/kg	300 mg/kg	600 mg/kg

Tabel 1 Väljavõte keevkihi tuha analüüsi võrdlusest piirnormidega

Pb sisalduse osas on laboratoorne tulemus minimaalselt üle sihtarvu.

Tsüklontuhk

Keskkonnavalaste testide tulemused ei ületa ühtegi kehtestatud sihtarvu ega ole ka ühelegi sihtarvule ohtlikult lähedase tulemusega.

Elektrifiltri tuhk

Keskkonnavalaste testide tulemustes tuleb välja tuua arseeni, plii ja vanaadiumi väärtused:

Aine	testi tulemus	Sihtarv	Piirarv elutsoonis	Piirarv tööstustsoonis
Arseen (As)	40 mg/kg	20 mg/kg	30 mg/kg	50 mg/kg
Plii (Pb)	120 mg/kg	50 mg/kg	300 mg/kg	600 mg/kg
Vanaadium (V)	57 mg/kg	50 mg/kg	300 mg/kg	1000 mg/kg

Tabel 2 Väljavõte elektrifiltri tuha analüüsi võrdlusest piirnormidega

Arseen, Plii ja Vanaadium ületavad sihtarvu. Plii ja vanaadium jäävad siiski piirarvudest tunduvalt madalamale tasemele. Arseeni kontsentratsioon jääb oma tasemelt elu ja tööstustsooni piirarvu vahele. Rõhutada tuleb siiski, et käesoleval juhul on tegemist puhta sideainega kuid normid on kehtestatud pinnastele.

Tulemuste võrdlus Soomes kehtivate normatiividega

Täiendavalt uuriti katsetatavaid pinnaseid Soome Riiginõukogu otsuse 591/2006 (<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>) alusel, mis määratleb tuha keemiliste ainete sisalduse piirmäärad. Antud katseseeriates kasutatud tuhkade keemiline koostis ei ületa ühtki Soome normides sätestatud piirmäära, mistõttu Soomes on nende tuhkade kasutamine lubatud ilma kohustusliku KMH protseduurita.

3.4 STABILISEERITAVATE MATERJALIDE TESTID

Materjalide katsetamine viidi läbi kahes faasis.

Esimese tööfaasi katsete eesmärgiks on:

- Testida erinevate sideainete ja nende segamisel saadava komposiit-sideainete toimivust stabilisaatorina
- Võrrelda erinevate sideainekoguste mõju survetugevusele
- Valida survekatsel paremaid tulemusi andnud segureseptid edasisteks testideks (sideainekoguste täpsustamine, keskkonnatestid).

Teise tööfaasi katsete eesmärgiks on:

- Täpsustada sideainekoguseid stabiliseeritavas pinnases
- Viia läbi külmakindlus- ja keskkonnatestid
- Leida olemasolevale pinnasele sobivaimad segukoosseisud

3.4.1 Pinnaseproovid

Neli põhilist asukohta määratleti uuringu valimist – PA4, PA1, PA3 ja PA5 – nendes ristlõigetes määratud geoloogilise struktuuri alusel, kuna antud asukohtades on tegemist stabiliseerimismeetodi kasutamiseks piisavalt paksu madal kandevõimega pinnasekihiga (peamiselt turvas). Teised asukohad olid PA2, PA6 ja PA7.

Valdav osa testidest viidi läbi seguga, mis koosneb PA4 proovidest (sügavus 0,5-3m, tabelid 1-3). Selles profiilis on turbakihi paksus 4 meetrit mis on geotehnilise uuringu tulemuste alusel sügavaim trassil. Väiksem osa proovikehadest on valmistatud PA1 (turvas ja tolmlüiv) ning PA2 (turvas) baasil.



Foto 10 - Proovid punktist PA4

3.4.2 Pinnaseproovide homogeniseerimine

Pinnas homogeniseeriti enne laborikatseid (vt Foto 11). PA1 (turvas, sügavus 0,5-1,5 m), PA3 ja PA4 osas segati mikseriga sama punkti eri sügavustest võetud turbapinnaseproovid. PA1 osas testiti eraldi proovikehad 2,1-3,1m sügavuselt (tolmliiv), kuna turba ja tolmlüva stabiliseerimisel on tarvis erinevaid sideainekoguseid. Homogeniseerimine võimaldab katsetes luua reaalsele stabiliseerimisele lähedase olukorra.



Foto 11 - Proovikeha enne ja pärast homogeniseerimist

3.4.3 Proovikehade valmistamine

Stabiliseeritud proovikehade valmistamiseks kasutatav meetoodika põhineb Soomes üldiselt kasutataval praktikal. Meetoodika on esitatud EuroSoilStab projekti (Design Guide Soft Soil Stabilisation, CT97-0351, Project No.: BE 96-3177) materjalides.

Proovikehade valmistamisel kasutati sideainetena:

- Portlandtsement CEM I 42,5 N (tootja: AS Kunda Nordic Tsement)
- Teetsement HRB 32,5 E (tootja: AS Kunda Nordic Tsement)
- keevkihituhk (tootja: AS Narva Elektri jaamad, Eesti Elektri jaam)
- tsüklontuhk (tootja: AS Narva Elektri jaamad, Eesti Elektri jaam)
- elektrifiltrituhk (tootja: AS Narva Elektri jaamad, Eesti Elektri jaam)

Tuginedes eelnevatele stabiliseerimissegude valmistamise kogemusele valiti katsetes kasutatavad sideainekogused ja nende segud (Lisa 8) stabiliseerimisprotsessi aegne deformatsioon). Sideainena võib kasutada tsementi või tsementi segatuna tuhaga. Tuginedes eelnevatele kogemustele ei kasutata sideainena üksnes tuhka. Antud katseseerias on siiski katsetatud eraldi sideainena tuhkadest suurima eripinnaga (vt Lisa 5) keevkihituhka – tulemused on antud katses lähedased teetsemendiga.

Sideainega segatud homogeniseeritud pinnasest moodustati vahetult peale sideaine lisamist proovikehad (diameeter 68 mm, pikkus ca 190 mm). Igast erinevast segust moodustati kaks proovikeha (proovikeha A ja B) suurendamaks testide usaldusväärsust. Proovikehad paigutati koheselt eelkoormuspinki (vt Foto 12).



Foto 12 - Proovikehad eelkoormuspingis

3.4.4 I tööfaasi proovikehade vajumid

Eelkoormuspingis rakendati proovikehadele ca 18kPa vertikaalkoormus (rauast silindrilise koormusega) – see vastab 1 meetrisele eelkoormuskihile stabiliseerimisprotsessis.

Turbanäidiseid hoiti toatemperatuuril ca +20C, mis tagab praktilise kogemuse alusel välitöodes ja laboratoorsel teel saadud tulemuste võrreldavuse. Proovikehade alumine osa on vees (vee sügavus 3-4 cm) kogu stabiliseerimisperioodi jooksul. Proovikehasid kasteti ka ülalt et vältida nende kuivamist. Selline meetodika on välja töötatud välitingimuste modelleerimise protsessis ja on Soomes kasutusel aastaid.

Eelkoormuspingis jälgiti proovikehade vertikaaldeformatsiooni (mõõtmistäpsus ca 0,5mm) stabiliseerimisperioodi jooksul 1, 3 ja 28 päeva möödudes (Lisa 8). Deformatsiooni mõõdeti protsentides proovikeha algsest pikkusest. Mõõtmistulemus on

Rambolli labori juhendis kasutuselevõetud mõõtarv, mis annab lisateavet stabiliseeritava materjali käitumisest kivilinemisprotsessis. Laboratoorse eelkoormuse kestvuseks valiti 28 päeva, kuna selle aja jooksul saavutatud tugevus peegeldab kogemuste põhjal usaldusväärselt lõplikku stabiilsust.

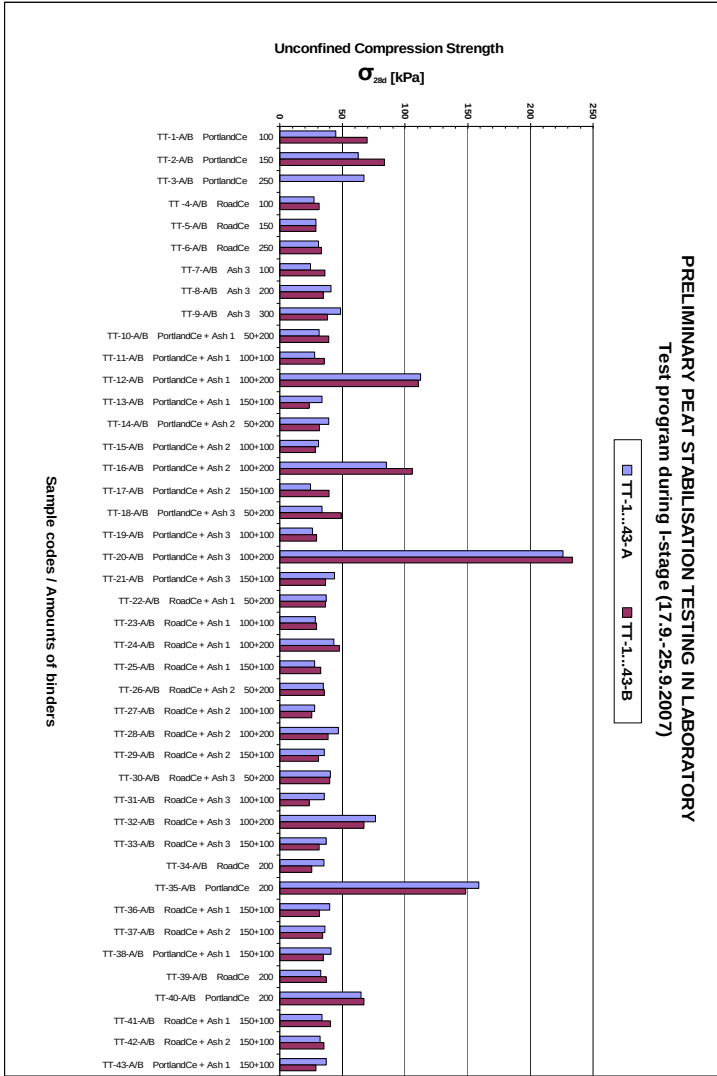
Deformatsioonikiirus kirjeldab stabiliseerimise käigus saavutatava tugevuse arengut. Deformatsiooni arengut jälgitakse kuni 90 päeva möödumiseni. Mõõtmistulemuste alusel modelleeritakse eeldatav vajum välitingimustes. Mõõtmised tuginevad Rambolli juhendil ja tulemused on korrelatsioonis praktilise seirega andes aluse ehitiste projekteerimiseks.

3.4.5 I tööfaasi survetestid

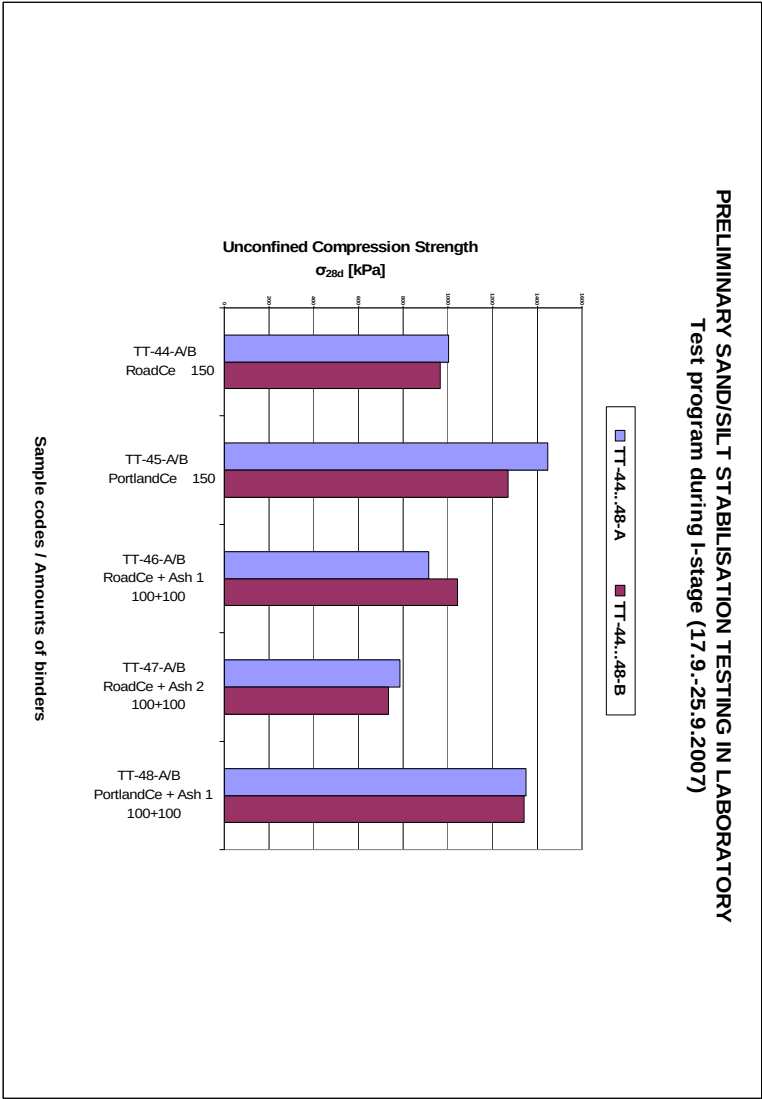
Pärast stabiliseerumisperioodi (28 päeva) võeti proovikehad eelkoormuspingist ja pakiti kilekottidesse ning katsetati survepingis (Foto 13) teljesuunalisel koormusel koormamise kiirusel 2 mm/min. Test tugineb betooni testimisel kasutatavatele standarditele. Turbast valmistatud proovikehad on nummerdatud TT 1-43 ja liiva ning savisisaldusega proovikehad TT-44...TT-48. A ja B tähistavad sama segukoostisega kahte proovikeha. Testi tulemused on esitatud graafikutel (Graafik 1; Graafik 2) ning lisas 9.



Foto 13 - Survetesti seadmed, proovikeha enne ja pärast survetesti



Graafik 1 - Turbast valmistatud stabiliseerimis-proovikehade survetugevused 28 päeva möödudes



Graafik 2 - Savi ja liivpinnasest valmistatud stabiliseerimis-proovikehade survetugevused 28 päeva möödudes

Survetugevustestide (28 päeva) tulemusena saab teha segukoostiste osas järgimisi tähelepanekuid:

TT-1...43 (turvas)

- Katsete tulemusel selgus, et portlandtsement annab nii üksiku sideainena kui segatuna tuhkadega märkimisväärselt paremad tulemused kui teetsement ja keevkihituhk
- Teetsement ja keevkihituha survetugevuse näitajad on sarnased
- Üksiku sideainena kasutades oli portlandtsemendiga valmistatud proovikehade survetugevus ca 2 korda suurem teetsemendiga ja keevkihituhaga valmistatud proovikehadest
- Proovikehade survetugevused portlandtsement+tuhalisand (200 kg/m³) tõusevad 1,5-3,5 korda võrreldes portlandtsemendi kasutamisega ilma tuhalisandita.
- Eriti head tulemused on portlandtsemendil koos keevkihituhaga (200 kg/m³), mis on 3,5 korda paremad kui ainult portlandtsemendiga
- Kombinatsioonid teetsemendi ja erinevate tuhcade (200 kg/m³) segamisel tõusid survetugevused 1,2 kuni 2,4 korda võrreldes ainult teetsemendi kasutusega.
- Parim sideainesegu turba stabiliseerimisel koosneb portlandtsemendist (100 kg/m³) ja tuhast (200 kg/m³),

TT-44...48 (liiv/savi)

- Kõik sideained andsid väga häid tulemusi, erinevused on oluliselt väiksemad kui turbast valmistatud proovikehade puhul

3.4.6 II tööfaasi testid

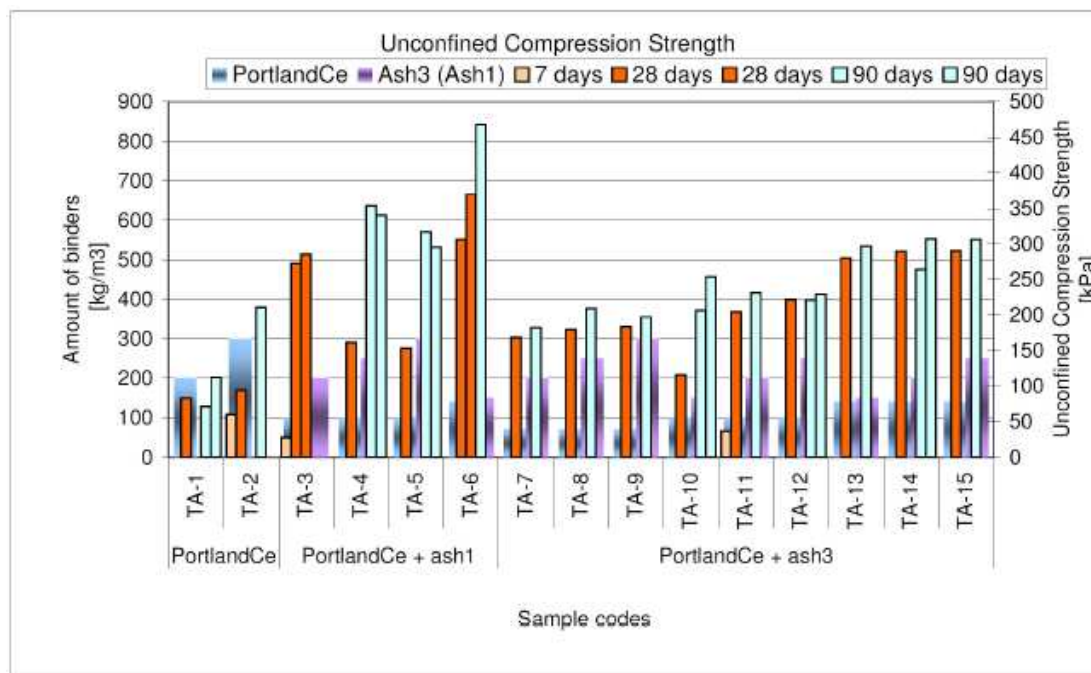
II tööfaasi katsete eesmärgiks on:

- Täpsustada sideainekoguseid stabiliseeritavas pinnases (survetugevustestid)
- Viia läbi külmakindlus- ja keskkonnatestid
- Leida olemasolevale pinnasele sobivaimad segukoosseisud

Survetugevustestid sideainesisalduse täpsustamiseks

Teiseks seeriaks valitud sideineteks on portlandtsement koos keevkihi põlevkivituhaga. Täiendavalt sooritati võrdlus elektrifiltri tuhaga, et tõsta valiku usaldusväärsust.

Iga segu puhul valmistati katseseerias ka võrdlusproovikehad kasutades sideaineks ainult portlandtsementi. Kõik segud katsetati survetugevustele 28 ja 90 päeva möödudes (Graafik 3).



Graafik 3 - Ühest turbasegust valmistatud erinevate stabilisaatorite proovikehade survetugevused ajas

Keskkonnatestid

Keskkonnatestidest teostati leostuvustestid (ca 5 proovikeha a 2-3 testi) ja vee läbilaskvustestid (4 testi – turvas ilma sideaineteta+ 3 segu) eesmärgiga hinnata sideainetes sisalduvate elementide lahustuvust looduskeskkonda. Leostuvustestide tulemused on peatükis 3.3.3.4 esitatud stabiliseerimiseks kasutatavate tuhkade keemilisest sisaldusest tuhandeid kordi väiksemad. Välja võib tuua antud juhul kolm tähtsamat sisaldust:

- Arseeni leostuvustesti tulemus on 0,03-0,036 mg/kg
- Plii leostuvustesti tulemus on alla määramispiiri, mis on 0,02 mg/kg
- Vanaadiumi leostuvustesti tulemus on alla määramispiiri, mis on 0,01 mg/kg

Külmakindlustestid

Külmumis-sulamistestid (6 testi 3 seguga) eesmärgiga hinnata stabiliseeritud pinnaste külmakindlust.

Külmutamistestid (3 testi) eesmärgiga hinnata stabiliseeritud aluse võimalikke külmakerkeid.

Survetugevustestide II tööfaasis saadud andmed on esitatud lisas 10.

4 KULUDE HINNANG

Kulude hinnangu eesmärgiks on võrrelda asendusmeetodi ja stabiliseerimismeetodi maksumusi.

Kulude hinnangu raames on kirjeldatud asendus- kui stabiliseerimismeetodi tehnoloogiat ning koostatud arvutusalgoritmid rajatise geomeetria ja seeläbi töömahtude määramiseks.

Tööde ja materjalide lõikes on leitud ühikumaksumused.

Asendus- ja stabiliseerimismeetodi kulude hinnangu põhjal on koostatud tundlikkusanalüüs ceteris paribus põhimõttel, et selgitada erinevate kulukomponentide muutmise mõju kogumaksumusele.

Kulude hinnangu ja tundlikkusanalüüsi arvutused on teostatud MS Excelis ning fail on lisatud käesolevale aruandele (elektroonilisele versioonile).

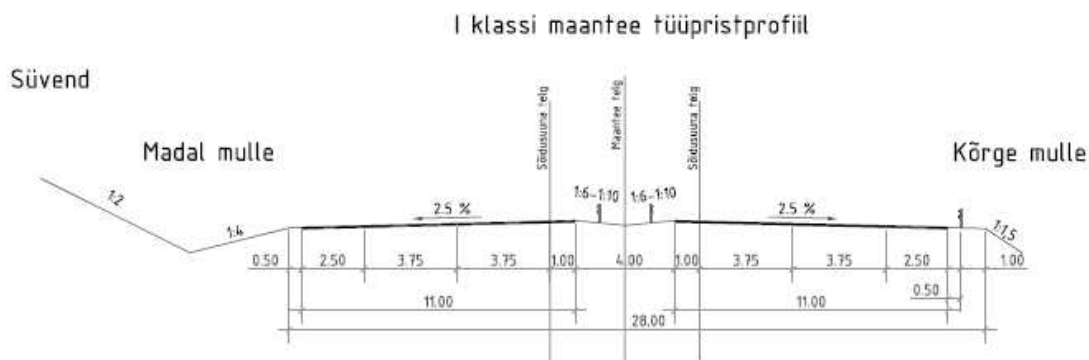
4.1 VÕRDLUSE ALUSED

Analüüsis on võrreldud 1 km maksumust.

Stabiliseeritavaks/asendatavaks pinnaseks on kulude hinnangus turvas.

Kuna uurimistöö teostamise ajal ei ole kasutada täpset geoloogiat piki tulevast trassi, on kasutatud arvutustes keskmist stabiliseeritava/asendatava pinnase paksust. Stabiliseeritava/asendatava kihi keskmine paksus on muutuja, mis varieerub 1,5 kuni 4 meetrini.

Ristprofiiliks on valitud Kose-Mäo teelõigu eelprojektis (teenuse osutamise leping nr 009/5 29.08.2007) kasutatav I-klassi maantee ristprofiil (vt joonis 2) minimaalsete erisustega millised arvestavad muldkeha rajamist turbapinnases.



Joonis 2 - I klassi maantee tüüpristprofiil

Kulukomponentidena on võrreldud neid, mis kahe meetodi puhul erinevad. Kuna sarnased kulukomponendid maksumuste erinevust ei mõjuta, siis neid arvutustes ei kasutata.

4.2 ASENDUSMEETOD

4.2.1 Konstruktiivne lahendus

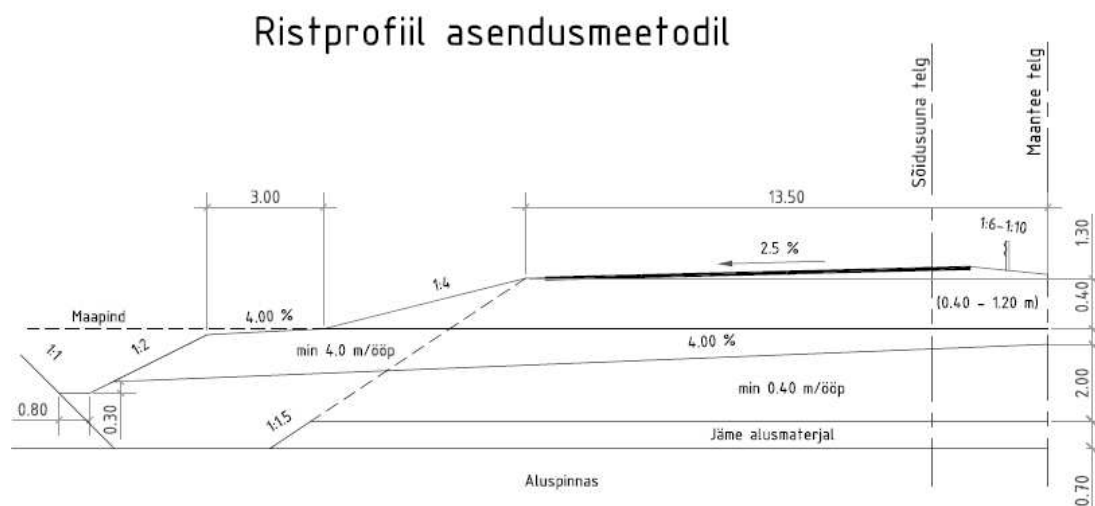
Tehnoloogiliselt arvestame, et turbakihi all paikneb tolmne liiv või suure savisisaldusega materjal, mis antud veerežiimi korral ei taga piisavat vastupidavust,

seega kasutame geovõrku muldealuse survekoonuse ulatuses. Turvas ladustatakse ajutiselt teetsooni äärde vaalu, peale kuivamist ja mulde valmimist veetakse turvas lõplikku ladustuspaika.

Asendusmeetodi puhul arvestatakse alljärgnevaid tehnilisi detaile:

- turbakiht eemaldatakse täies ulatuses koormusaluse survekoonuse alt
- survekoonuse ulatuses täidetakse süvend jämeda purdmaterjaliga (purustatud paas, jämekillustik, jämeda struktuuriga kruus) 70 cm ulatuses - aluskiht
- vahekihiks võib kasutada vähese filtratsiooniga muldkeha materjali (0,4 m/ööpäev), vahekiht profileeritakse 4% kaldega külgkraavi suunas
- vahekiht paikneb sügavamal minimaalsest veetasemest, et tagada vee muldkehast läbijuhtimine ja seeläbi võimalikult looduslik veetase mõlemal pool teed
- vahekihi minimaalne paksus mulde servas (aluskihi servas) on 0,1m (õhema arvutusliku vahekihi puhul sellist kihti ei rajata)
- külgkraavi põhi peab olema vähemalt 30 cm vahekihi servast sügavamal
- vahekihi peal on hästidreenivast materjalist muldkeha (dreenkiht).
- Survekoonuse nõlvuseks arvestatakse 1:1,5; kraavi nõlvuseks mulde poolel arvestame 1:2 ja turbasse rajatud süvendi poolel 1:1. Kraavi põhja laius on vähemalt 0,8 m ja kraavi sügavuseks on vähemalt 1,0 m.

Asendusmeetodit näitlikustab ristprofiil joonisel 3.



Joonis 3 - Valitud ristprofiil asendusmeetodil

4.2.2 Ühikhinna

Asendusmeetodi kuluartiklite maksumused:

- raadamine ja juurimine - 5 kr/m²
- turba süvendist kaevandamine draglain-kopaga ja ladustamine teetsooni äärde vaalu - 45 kr/m³
- vaaludes kuivanud turba (mahukaal 0,8 t/m³) vaalust kaevandamine – 20 kr/m³

- täitepinnase (materjali) hind on suurusjärgus 50 kuni 100 kr/m³, sõltuvalt valitavatest karjääridest. Arvutustes kasutame täitepinnase keskmise maksumusena 57,5 kr/t.
- arvutustes kasutatakse karjääri kaugust 10 km
- materjali karjäärist kaevandamine 40 kr/m³
- puistematerjali veo tonnkilomeetri hind 1,4 kr/tkm
- tööd mahalaadimiskohal 8 kr/m³
- mulde tihendamine 8 kr/m³.
- kraavide kaevamine 80 kr/m³.

4.2.3 Muud mõjutegurid

Asendusmeetodi puhul on mõjuteguriteks:

- Asendus- ehk täitematerjalide kättesaadavus tulevase trassi lähipiirkonnast (10-30 km)
- Väljakaevatava materjali ladustamiseks sobiva asukoha leidmine ja sellega kaasnevad võimalikud lisakulud (rekultiveerimine)

4.3 STABILISEERIMINE

4.3.1 Konstruktiivne lahendus.

Kasvupinnas eemaldatakse valitud ala laiuses võimalikult õhukese kihina, eesmärgiks on kõrvaldada puujuured, kuid võimalikult vähe lõhkuda pinnase struktuuri mis tagab turbapinnase vajaliku kandevõime ettevalmistustööde ajal.

Stabiliseerimistehnika (traktor spetsiaalse tööorganiga ja ühendatud haagis mahutiga) paikneb ettevalmistatud alal, tööorganiga purustatakse stabiliseeritava pinnase struktuur ja segatakse valitud seguga.

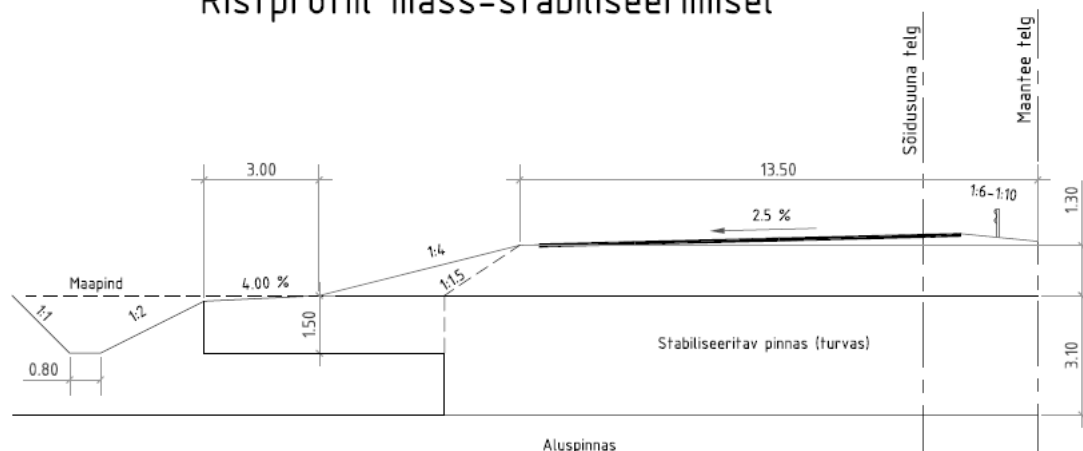
Töötsooniks on piki teetrassi 4 meetrit (tööorgani tööulatus). Töötlemise järel profileeritakse töödeldud pind, laotatakse pinnale geotekstiil ja rajatakse koormuskiht. Kihi paksuse määramisel tuleb arvestada eemaldatakse kasvupinnase mahu ja eeldatava vajumiga ning sellega, et rajatav kiht peab olema piisav et kanda stabiliseerimistehnikat järgmises pikitsüklis (ca 0,5 m). Eeldame, et stabiliseeritud pinnasele rajatav tehnoloogiline kiht ulatub ligikaudu olemasoleva maapinna tasemele ja endise maapinnajoone vahe täitmiseks enne mulde rajamist täiendavat mahtu arvestatud ei ole.

Tee muldkeha survekoonuse ulatuses (lõikumiseni vana maapinnatasemega) stabiliseeritakse pinnas täies ulatuses. Survekoonusega külgnev ala kuni kraaviperveni (1:4 mulde nõlva kalde alune ala ja 3-meetrise perve alune ala) stabiliseeritakse 1,5 meetri sügavuselt.

Reeglina, et kiirendada lõplikku vajumist, rajatakse stabiliseeritud alale koormus muldkeha materjalist (3-4 kuuks, mille järel vajum saavutab lõpliku taseme). Mahtude ja kulude arvutamisel oleme arvestanud eeldatava vajumiga (0,35m, tuginedes Soome praktikale – suurus täpsustatakse laboratoorsete katsete lõpuks).

Kraavi sügavuseks arvestame 1,5 m, kraavi perve nõlva kalle 1:2, kraavi põhja laius 0,8 m, kraavi välisserva nõlva kalle (turbapinnases) 1:1.

Ristprofiil mass-stabiliseerimisel



Joonis 4 - Valitud ristprofiil mass-stabiliseerimisel

4.3.2 Ühikhinnad

Asendusmeetodiga sarnastel töödel kasutatakse samasid ühikhindasid. Stabiliseerimismeetodi puhul lisanduvad kuluartiklid:

- Stabiliseerimise orienteeruvaks maksumuseks on Soome kogemustel 8-10 EUR / m³. Arvutustes kasutame stabiliseerimise maksumusena 9 EUR/m³
- tsemendi maksumus 1035 kr/tonn (Kunda Nordic Cement andmetel, 13.11.2007)
- tuha maksumus – 10% tsemendi hinnast (Eesti Elektri jaamade andmetel on tonni hinnaks 70 kr ilma investeringuteta keevkihituha väljaveosõlme)
- transportkulud – 1,2 kr/tkm (Kunda NC andmetel)

4.3.3 Muud mõjutegurid

Stabiliseerimismeetodi puhul tuleb arvestada asjaoluga, et antud tehnoloogiat ei ole Eestis 2007 aasta seisuga kasutatud. Nii tellijatel kui töövõtjatel puudub praktiline kogemus, mis võib mõjutada tehnoloogia valikut asendusmeetodi kasuks.

4.4 ARVUTUSTE TULEMUSED

Mahtude arvutus (ristlõige m²).

Turbakihi paksus	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
ASENDUSMEETOD						
- äraveetav pinnas	88,2	116,6	144,5	171,9	198,8	225,2
- juurdeveetav pinnas	83,5	93,1	101,3	136,8	163,7	190,1
STABILISEERIMISMEETOD						
- stabiliseeritav ristlõige	65,1	80,6	96,0	111,5	126,9	142,4
- juurdeveetav pinnas	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8

Tabel 3 – Profiili ristlõike arvestus eri turbakihi sügavusel

Detailsem põhiliste tööde ja maksumuse arvestuse tabel on toodud lisas.

Kilomeetri aluse võrreldav maksumus (miljonit kr) on toodud järgnevas tabelis (Tabel 4 - Muldkeha aluse ettevalmistamise võrreldav maksumus)

Turbakihi paksus (m)	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
ASENDUSMEETOD	23,8	29,2	34,4	42,0	48,7	55,4
STABILISEERIMISMEETOD	23,8	28,8	33,8	38,9	43,9	48,9

Tabel 4 - Muldkeha aluse ettevalmistamise võrreldav maksumus

Valitud täitematerjali maksumuse ja teiste valitud näitajate korral on 1,5 m turbakihi sügavusel muldkeha aluse rajamine asendusmeetodil sama maksumusega, mis stabiliseerimismeetodil.

Maksumused on arvestatud p. 4.2.2 ja p. 4.3.2 toodud hindadega.

4.5 TUNDLIKKUSANALÜÜS

Aluse rajamise maksumus on erinevate muutujate suhtes erineva tundlikkusega. Et täpsustada võimalikke riske on uuritud maksumuse sõltuvust alljärgnevatest näitajatest:

- transpordikaugus (karjääri kaugus on võetud võrdseks turbapinnase veokaugusega), baasnäitajaks 10 km, võrreldud 20 ja 30 km kauguste karjääridega
- täitematerjali hinnatõus (eeldatud kõik täitematerjalid võrdse hinnaga, hinnatõusu skaalaks on arvestatud 10% kuni 50% 10% sammuga
- tuha ja tsemendi hinnatõus (eraldi, 10% kuni 50% 10% sammuga ja 75% ning 100%)
- transpordikulude tõus 10 km karjäärikauguse puhul ning 30 km karjäärikauguse puhul (eeldatud võrdset tõusu nii puistematerjali kui tsemendi ja tuha veol (arvestatud 10% kuni 50% 10% sammuga)

Järgnevalt on toodud tabelid, millised selgitavad transpordikauguse, täitematerjali hinnatõusu ja sideaine hinnatõusu mõju ehitusmaksumusele.

Ehitusmaksumuse sõltuvus transportkaugusest (milj.EEK/km)							
Turbakihi sügavus (m)		1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m	3,5 m	4,0 m
	Asendusmeetod						
Karjääri kaugus	10 km	23,8	29,2	34,4	42,0	48,7	55,4
	20 km	26,7	32,6	38,3	47,0	54,6	62,1
	30 km	29,5	36,0	42,2	52,0	60,5	68,9
	Stabiliseerimismeetod						
Karjääri kaugus	10 km	23,8	28,8	33,8	38,9	43,9	48,9
	20 km	24,0	29,1	34,1	39,1	44,1	49,1
	30 km	24,3	29,3	34,3	39,3	44,4	49,4

Tabel 5 - Ehitusmaksumuse sõltuvus karjääri kaugusest (milj.EEK/km)

Täitepinnase maksumuse muutuse mõju ehitusmaksumusele							
Turbakihi sügavus (m)		1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m	3,5 m	4,0 m
	Asendusmeetod						
Täitematerjali hinnatõus	10%	24,6	30,1	35,3	43,3	50,2	57,2
	20%	25,3	30,9	36,3	44,5	51,8	58,9
	30%	26,1	31,8	37,2	45,8	53,3	60,6
	40%	26,9	32,6	38,1	47,0	54,8	62,4
	50%	27,6	33,5	39,1	48,3	56,3	64,1
	Stabiliseerimismeetod						
Täitematerjali hinnatõus	10%	23,9	28,9	33,9	39,0	44,0	49,0
	20%	24,0	29,0	34,0	39,1	44,1	49,1
	30%	24,1	29,1	34,1	39,2	44,2	49,2
	40%	24,2	29,2	34,2	39,3	44,3	49,3
	50%	24,3	29,3	34,3	39,4	44,4	49,4

Tabel 6 - Täitepinnase maksumuse muutuse mõju (milj.EEK/km)

Sideaine maksumuse ehitusmaksumusele		muutuse	mõju	stabiliseerimismeetodil			
Turbakihi sügavus		1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m	3,5 m	4,0 m
Tuha hinnatõus	10%	23,9	29,0	34,0	39,1	44,1	49,2
	20%	24,1	29,2	34,2	39,3	44,4	49,5
	30%	24,2	29,3	34,4	39,6	44,7	49,8
	40%	24,3	29,5	34,6	39,8	44,9	50,1
	50%	24,5	29,7	34,8	40,0	45,2	50,4
	75%	24,8	30,1	35,3	40,6	45,9	51,1
	100%	25,2	30,5	35,8	41,2	46,5	51,8
Tsemendi hinnatõus	10%	24,6	29,7	34,8	40,0	45,2	50,4
	20%	25,4	30,5	35,8	41,2	46,5	51,8
	30%	26,2	31,3	36,8	42,3	47,8	53,3
	40%	27,0	32,2	37,8	43,5	49,1	54,8
	50%	27,8	33,0	38,8	44,6	50,4	56,3
	75%	29,9	35,1	41,3	47,5	53,7	59,9
	100%	31,9	37,2	43,8	50,4	57,0	63,6

Tabel 7 - Sideaine maksumuse mõju ehitusmaksumusele

Analüüsi käigus selgusid alljärgnevad järeldused:

- karjääri kauguse suurenemine 30 km-ni tõstab asendusmeetodil töö maksumust 23-25%, stabiliseerimisel 1-2%
- täitematerjali hinnatõus 50% tõstab asendusmeetodil töö maksumust 14-16%, stabiliseerimisel 1-2%
- tuha hinnatõus 100% tõstab stabiliseerimise maksumust 5,9%
- portlandtsemendi hinnatõus 100% tõstab stabiliseerimise maksumust 29-34%,

5 KOKKUVÕTE

Uurimistöös kasutatud pinnaste stabiliseerimine on põhimõtteliselt võimalik. Katsete tulemusena annab turba stabiliseerimisel parimaid tulemusi sideainesegu portlandtsemendist ja tuhast vahekorras 70...100 kg/m³ ja 150...200 kg/m³.

Tuhkades sisalduvate ohtlike ainete kontsentratsioon ei ületa tööstustsooni piirarve, ning vaid kahe komponendi osas ületatakse elutsooni piirarv. Ohtlike ainete võimalikku leket loodusesse täpsustati II faasi leostuvuse katsetega ja nende tulemused vastavad keskkonnaministri 2 aprilli 2004 aasta määrusele nr 12 „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid“.

Asendusmeetodi ja stabiliseerimismeetodi kulud on arvutustes kohaldatud lähtetingimuste korral võrdsed 1,5 meetri paksuse turbakihi korral. Stabiliseerimismeetodi eelised kasvavad turbakihi paksuse (mahu) suurenedes, täitematerjalide karjääri kauguse suurenedes või täitematerjalide kallinedes.

Meetodite maksumuse erinevusel ei pruugi olla otsustavat tähtsust meetodi valikul ehitusettevõtja poolt. Erinevus maksumustes ulatub uuringus käsitletud juhtudel kuni 40%. Määravaks meetodi valikul võivad saada muud tegurid, nagu näiteks: täitematerjalide kättesaadavus, keskkonnatingimused ladustatavale pinnasele, ehitusettevõtja konservatiivsus, jms.

Tuginedes Soome praktikale on soovitatav korraldada katselõigu stabiliseerimine, et veenduda ja veenda otsustajaid stabiliseerimistehnoloogia toimivuses ning täpsustada tehnoloogiat. Oluline on tutvustada praktilise näitena tehnoloogiat nii Eesti teedehitajatele kui asjast huvitatud ametkondadele.

6 LISAD

- Lisa 1. Uurimistöö lähteülesanne
- Lisa 2. Pinnaseproovide analüüsid (üksikteimide tulemused ja geoloogilised tulbad)
- Lisa 3. Fotod puuraukude asukohtadest
- Lisa 4. Pinnaseproovide võtmise juhend, Ramboll Finland OY Luopiose laboratoorium
- Lisa 5. Tuhkade füüsikalis-keemilised näitajad, TTÜ Ehitustootluse Instituudi ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumi protokoll
- Lisa 6. Tuhkade granulomeetriline analüüs – tuhkade sõelkõverad, Ramboll Finland OY Luopiose laboratoorium
- Lisa 7. Tuhkade keemiline analüüs, Ramboll Analytics Oy labori protokoll
- Lisa 8. Stabiliseerimisprotsessi 28 päeva järgne deformatsioon (vajumine), Ramboll Finland OY Luopiose laboratoorium
- Lisa 9. Stabiliseeritud pinnaste survetugevused 28 päeva vanuselt, Ramboll Finland OY Luopiose laboratoorium
- Lisa 10. Survetugevustestide II tööfaasi andmed, Ramboll Finland OY Luopiose laboratoorium
- Lisa 11. Asendus- ja stabiliseerimismeetodi tööde mahud ja maksumuse arvestus

7 KASUTATUD KIRJANDUS

Elastsete teekatendite projekteerimise juhend. Tallinn 2001

Pinnaste liigitus vastavalt GOST 25100-95* (MA parandus 2006).

Ehitusnormid ja -eeskirjad (maanteed) SNiP 2.05.02.85.

Mass Stabilisation Manual, Ramboll 2005

Design Guide Soft Soil Stabilisation, CT97-0351, Project No.: BE 96-3177

Keskkonnaministri 2 aprilli 2004 aasta määrus nr 12 „Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid”

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteen hyödyntämisestä maarakentamisessa, Helsinki, 28.06.2006