

Tartu Ülikool

Loodus- ja tehnoloogiateaduskond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geoloogia osakond

Kalev Ellervee

OLMEJÄÄTMETE PÕLETAMISEL TEKKIVA KOLDETUHA JA SINISAVI SEGU
KASUTAMINE POOLLÄBILASKVAS KATTES AS TALLINNA JÄÄTMETE
TAASKASUTUSKESKUSE OLMEJÄÄTMETE LADESTUSALA
(TALLINNA PRÜGILA) NÄITEL

Juhendajad: Annette Sedman

Peeter Talviste

Katsmisele lubatud:

Tartu 2013

Sisukord

1. Sissejuhatus	3
2. Tallinna prügila	6
3. Materjal ja metoodika	8
3.1 Materjal	8
3.2 Optimaalse koldetuha-savi vahekorra leidmine	8
3.3 Külumumis-sulamistsüklite mõju optimaalsele koldetuha-savi segule	9
3.4 Füüsikalised ja geotehnilised omadused	10
4. Tulemused	11
4.1 Optimaalse koldetuha-savi vahekorra leidmine	11
4.2 Külumumis-sulamistsüklite mõju optimaalsele koldetuha-savi segule	12
4.3 Füüsikalised ja geotehnilised omadused	13
5. Arutelu	15
6. Kokkuvõte	17
7. Summary	18
8. Tänuavaldused	20
9. Kasutatud kirjandus	21
Lihtlitsents	23

1. Sissejuhatus

Esimesed ametlikud ühiskondlikud prügilad rajati Ateenas juba ligi 2500 aastat tagasi – prügist on alates esmaste inimasustuste tekkest saanud igapäevane nähtus. Prügilate areng on selle aja jooksul läbi teinud suure hüppe, muutudes väikestest kuhjatistest asulate lähedustes mitmeid ruutkilomeetreid hõlmavateks megaehitisteks tänapäeval.

Praegused seadused reguleerivad väga rangelt igasugust tegevust, millega võib kaasneda oht keskkonnale, seega on ka prügilate rajamine ning käitamine täpselt paika pandud ja Euroopa Liidu direktiivid karmistasid taolisi seadusi veelgi. Veel 20. sajandi keskpaigas olid Eestis prügilad enamasti kohad, kuhu prahti kokku veeti ja siis omapäi jäeti, rajamata isoleerivaid tõkkeid prügilate põhja ümbritseva keskkonna reostuse vältimiseks, rääkimata hilisemast korrektsest sulgemisest või võimalikult suurest taaskasutamisest. Tänapäevaks on prügilate rajamiseks, käigushoidmiseks, sulgemiseks ja seireks olemas mitmed seadustega kehtestatud juhised ning nõuded.

Kõige täpsemalt käsitlevad prügi ja prügilatega seotud tegevusi Eesti Vabariigi Jäätmeseadus ning keskkonnaministri määrus „Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded“. Tänapäevast suhtumist Eestis prügilatesse iseloomustab vast kõige paremini viimati mainitud määruse §4 „Prügilast tuleneva keskkonnahäiringu vältimise või vähendamise põhimõte“, mille lõige 1 ütleb: „Prügila rajamisel, kasutamisel, sulgemisel ja järelhooldel tuleb nii palju kui võimalik vältida või vähendada jäätmete ladestamisest ja ladestatud jäätmetest lähemas ja kaugemas tulevikus tuleneda võivat negatiivset mõju keskkonnale, eelkõige pinna- ja põhjavee ning pinnase ja õhu saastamist, kasvuhooneefekti põhjustavate gaaside teket ja nendest mõjudest tulenevat ohtu inimese tervisele.“ ja lõige 2 „Arvulise normi piiresse jääva või arvulise normiga reguleerimata keskkonnahäiringu /.../ vähendamiseks ja võimalusel vältimiseks tuleb rakendada kõiki asjakohaseid meetmeid, mille kulud ei ole selgelt ülemäärased.“ Ehk sellest tulenevalt võib väita, et prügilad, mis kunagi olid mõeldud rohkem prügi silma alt ära saamiseks, on praeguseks muutunud kohtadeks, mis peavad lisaks esteetilisele puhtusele tagama ka selle, et prügist vabanetaks võimalikult keskkonnasäästvalt.

Siiani on keskkonnakaitselistele nõuetele vastavaid prügilaid rajatud peamiselt põhimõttega, et need oleksid ümbritsevast keskkonnast maksimaalselt eraldatud isoleeritud süsteemid. Selleks rajatakse prügilate alla ja peale isoleeriv kiht, mis tehakse enamasti kas kunstkatetest või kasutades madala veejuhtivusega looduslikke pinnaseid, nagu savipinnased. Taolise

lähenemise miinuseks on see, et ühel hetkel saab vesi jäätmemassist otsa ning anaeroobne lagunemine ja metaani moodustumine aeglustuvad või peatuvad. Samuti peatub nõrgvee moodustumine ja seeläbi jäävad jäätmetesse ühendid, mis niiskes keskkonnas laguneksid või nõrgveega lasundist välja liiguksid. Nii saavad seesugustest prügilatest väga pikaajaliselt potentsiaalselt ohtlikud lasundid, mis on ohutud vaid seni, kuni nende isoleerivad kihid on terved või kuni ohtlikud keemilised protsessid lõppevad, mis aga väiksema veesisalduse tõttu võtavad tunduvalt kauem aega (Kumar et al., 2011)

Kaasajal maailmas kogub populaarust nn bioreaktorprügila kontseptsioon, mis käsitleb prügilaid hiiglasuurte mahutitena, milles toimuvad prügilale iseloomulikud protsessid – lagunemisel tekib metaan ja muud gaasid, näiteks vesiniksulfiid, ühendite väljaleostumine jne. Bioreaktorprügilaks saab muuta iga prügila, millel on nõrgvee keskkonda levimist takistav prügila-alune isolatsioonikiht. Tehakse vahet aeroobsete ja anaeroobsete reaktorprügilate vahel, kuid kuna aeroobse bioreaktorprügila puhul tuleb lisaks veele viia jäätmetesse ka õhku, muutub lahendus kulukamaks ja seega anaeroobne tüüp on oluliselt levinum (Kumar et al., 2011). Edaspidi tähistab magistritöös mõiste bioreaktorprügila just anaeroobset tüüpi reaktorprügilat.

Bioreaktorprügila puhul on võtmeküsimuseks jäätmete veesisalduse viimine sellisele tasemele, et oleks tagatud nende kiirem lagunemine (Townsend et al., 2008, Kumar et al., 2011). Veesisalduse suurenemise tulemusena kiireneb ja kasvab prügilagaasi ehk metaani teke, väheneb ohtlike ainete sisaldus jäätmelasundis, prügila muutub keskkonnale vähem ohtlikuks ning jäätmelasundi vajumine ja mehaaniline stabiliseerumine toimub oluliselt kiiremini võrreldes tavaprügilaga (Kumar et al., 2011) Tavaliselt rajatakse ka bioreaktorprügilatele isoleeriv kattedkiht, mistõttu on veesisalduse suurendamiseks vaja aktiivse niisutusüsteemi kaudu vett jäätmetesse viia – enamasti pumbatakse selleks prügilas tekkinud nõrgvesi spetsiaalse torustikusüsteemi kaudu jäätmetesse, vajadusel kasutatakse täiendavat vett (sademevesi, põhjavesi) (Townsend et al., 2008)

Alternatiivse lahendusena aktiivsele nõrgvee pumpamissüsteemile on hakatud rajama poolläbilaskva kattega prügilaid (ADEME, 2008). Sel juhul imbub osa sademete veest kontrollitult läbi katte jäätmetesse, tagades selle toimimise bioreaktorprügilana. See hoiab imbuva vee hulga tasemel, mis tagab anaeroobseks lagunemiseks vajaliku veesisalduse, kuid

samal ajal ei teki üleliigselt nõrgvett. Sellist lahendust tahab kasutusele võtta ka AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskuse olmejäätmete ladestusala (edaspidi Tallinna prügila).

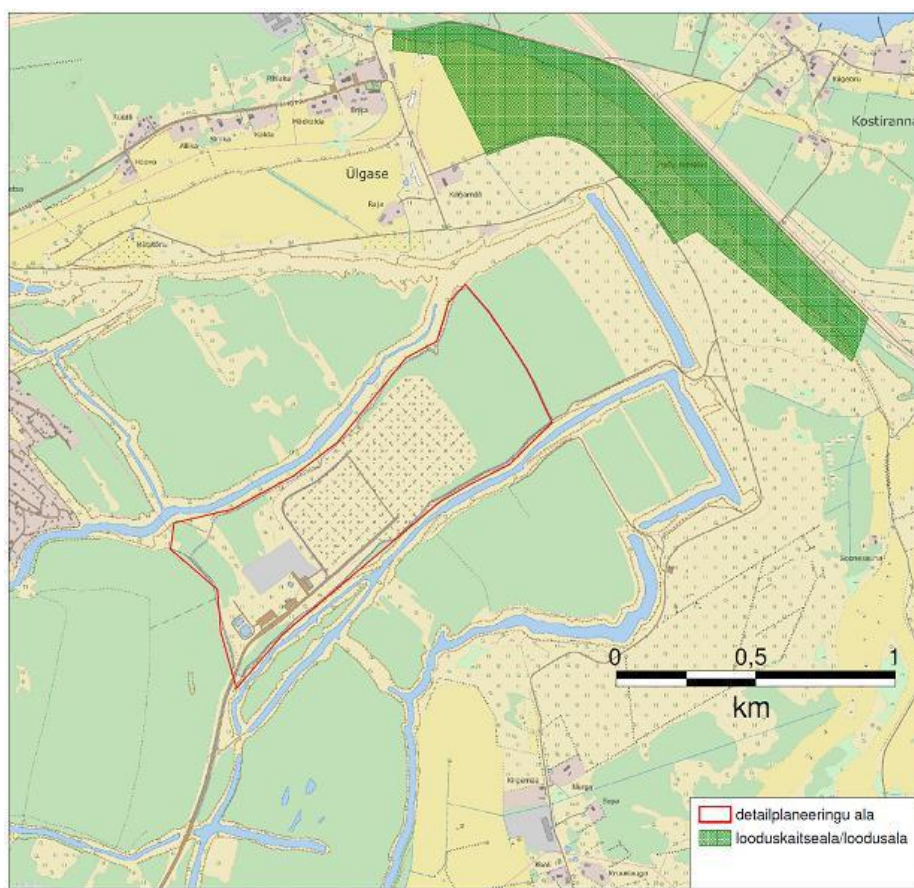
Käesolev töö käsitleb Tallinna prügila poolläbilaskva kihiga katte rajamist. Kate on planeeritud ehitada sobivas vahekorras savi ja olmejäätmete tuha segust. Taolise lähenemise eelisenä nähakse seda, et esiteks saab vähendada kulutusi, mis kaasneks isoleeritud lahenduse korral lisavett jäätmemassi kunstlikult pumbates, teiseks on ladestusala kogumahutavus 16% suurem praegu planeeritust ning kolmandaks ei peaks tarvistama looduslikke pinnaseid poolläbilaskva kihi rajamiseks, vaid saaks ära tarbida olmejäätmete põletusest tekkiva koldetuha.

Käesoleva töö eesmärkideks on: esiteks selgitada välja, mis vahekorras on vaja segada olmejäätmete põletamisel tekkiv koldetuhk ja murenenud sinisavi, et saavutada segu filtratsioonikoefitsient suurusjärgus 10^{-7} m/s; teiseks analüüsida talviste külmumis-sulamistsüklite mõju väljatöötatud segule; kolmandaks hinnata optimaalse koldetuha-savi segu sobivust Tallinna prügila poolläbilaskva kihi rajamiseks.

2. Tallinna prügila

Tallinna prügila paikneb Harju maakonnas Jõelähtme vallas Rebala külas ja on kogupindalaga 66,83 ha, millest jäätmete ladestusala alla jääb ca 8,5 ha (Joonis 1). Piiranguteks antud ala läheduses on 500 m kaugusel paiknev Ülgase looduskaitseala (Natura 2000 loodusala) ja 700 m kaugusel jäätmekeskuse territooriumi piirist paikneb III kategooria kaitsealuse taimeliigi kasvukoht. Jäätmekeskus jääb tervikuna Rebala muinsuskaitsealale.

Pürgila ladestusala on rajatud endise maapealse fosforiidikaevanduse alale. Kaevandus on täidetud aherainega ning põhjavee kaitseks tihendati aluspinnas, millele paigaldati saviekraan paksusega 0,6 m ning HDPE (kõrge tihedusega polüetüleen) kile. Ladestusala põhi on profileeritud viilkatuse kujuliselt ja sellele on paigutatud nõrgvee kogumissüsteem. Prügilagaasi kogumiseks on paigaldatud horisontaalsetest ja vertikaalsetest komponentidest koosnev gaasikogumissüsteem (Consultare OÜ Tallinna prügila KMH, 2012)



Joonis 1. TJTK territooriumi asukoht.

Tallinna prügila kogumaht on viimaste mahumõõdistuste põhjal 1 359 004 m³, kuid lõplikuks ladestusväljakute kogumahuks on projekteeritud ca 3,5 mln m³ (Consultare OÜ Tallinna prügila KMH, 2012)

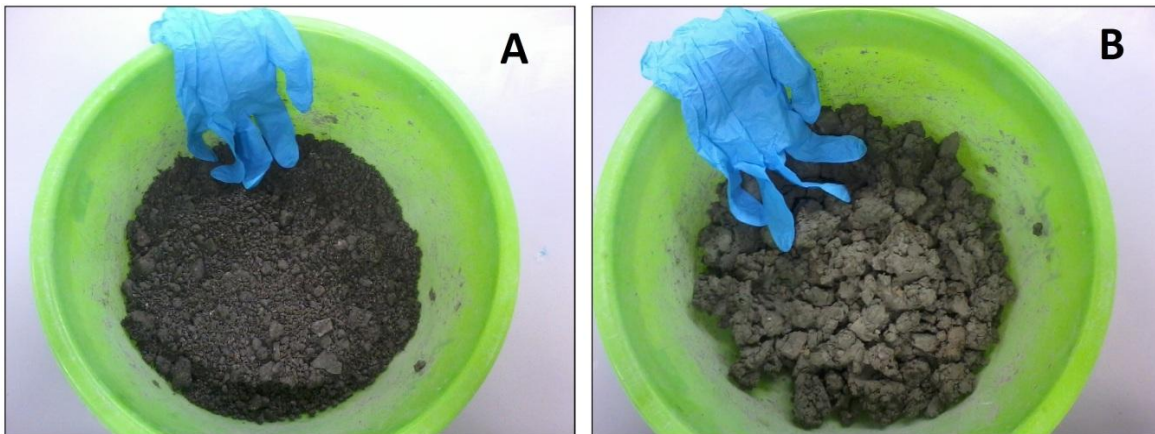
Kuna Tallinna prügila mõnesid ladestusalasid on tarvis sulgema hakata, on selleks uuritud erinevaid lahendusi ning Tallinna prügila puhul nähakse sulgemiseks kahte võimalikku lahendust. Esimesel juhul tehtaks traditsiooniline kate ehk jäätmemass isoleeritaks ümbritsevast keskkonnast ka ülevalt poolt ning piisava lagunemiskiiruse tagamiseks tuleks rajada kunstlik niisutussüsteem. Teise lahendusena on kattes võimalik kasutada poolläbilaskvat kihti, mille filtratsioonikoefitsient on 10⁻⁷ m/s ja mis võimaldab jäätmemassi juhtida sademevett.

Kuigi taoline lahendus oleks antud hetkel Eestis kehtivate lahendustega vastuolus, ei ole selle kasutamine keelatud, sest prügilate rajamist reguleerivate seaduste järgi („Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded“) on lubatud kasutada lahendusi, mis tagavad keskkonnaohutuse samal määral või paremini, kui ettenähtud piinormides. Seega ei piira seadusandlus erinevate tehnoloogiliste ja konstruktsiooniliste lahenduste kasutusvõimalusi, seades esmatähtsaks lahenduse toime-efektiivsuse. Järelikult saab poolläbilaskvat katet kasutada, kui keskkonnaohutus on tagatud.

3. Materjal ja meetoodika

3.1 Materjal

Katsetes kasutatud olmejäätmete koldetuhk (Joonis 2A) pärines Soomest Ekokem-Palvelu OY jäätmepõletustehasest, kust saabus juba vanandatud ehk ühtlaselt stabiliseerunud koldetuhk. Antud tehases põletatavate jäätmete koostis sarnaneb jäätmetele, mida on kavas põletada Iru jäätmepõletusplokis ning mõlemas jäätmepõletustehases on sarnane jäätmete käitlemise tehnoloogia. Kasutatud tuhas oli suures hulgas ka suuremaid tükke, peamiselt klaasi ja metalli, millest viimast üritatakse Tallinna prügilas enne saviga segamist võimalikult suures osas eraldada.



Joonis 2. Katses kasutatud materjalid: A – koldetuhk, B – sinisavi.

Katsete tegemisel kasutusel olnud sinisavi (Joonis 2B) pärines Muuga sadama ehitussüvenditest ning oli katsete tegemise ajaks ladestatult seisnud umbes ühe aasta. Sealne savi on pärit Alam-Kambriumi Lontova ladestust ja on värvuselt rohekas-sinine violetsete laikudega. Tegemist oli füüsikaliselt murendatud saviga, milles leidis üksikuid suuremaid savitükke.

3.2 Optimaalse koldetuha-savi vahekorra leidmine

Optimaalse koldetuha-savi vahekorra leidmiseks valmistati erineva koldetuha-savi suhtega segud. Segude tegemisel eraldati tuhandest suuremad põlemata esemed, milleks oli peamiselt metall või klaas. Samuti eemaldati sinisavist suuremad kivistunud tükid, et muuta segu

homogeensemaks. Eelnevalt kontrolliti mõlema materjali veesisaldust, mis jäi samasse suurusjärku, seetõttu polnud veesisalduse erinevusest tingitud parandust tarvis sisse viia. Seejärel kaaluti välja sobivad kogused koldetuhka ja sinisavi, segati materjalid omavahel läbi ning paigutati ca 10 liitri mahuga ämbrisse, kus segu kergelt käsitsi tihendati. Iga segu puhul segati valmis vähemalt kaks erinevat proovi. Kokku kasutati katsete tegemiseks viit erineva sinisavi ja koldetuha suhtega segu (massi põhjal):

Savi 5 – savi sisaldus 5% ja 95% tuhka

Savi 10 – savi sisaldus 10% ja 90% tuhka

Savi 15 – savi sisaldus 15% ja 85% tuhka

Savi 20 – savi sisaldus 20% ja 80% tuhka

Savi 30 – savi sisaldus 30% ja 70% tuhka

Filtratsioonikoefitsendi mõõtmised tehti Rootsi firma GeoNordic AB seadmega GeoN Permeameter Pi301 (BAT-seade). Filtratsioonikoefitsent on suurus, mis iseloomustab pinnase veejuhtivust ehk seda, kui lihtne on vedelikel pooriruumi läbida. See sõltub peamiselt pinnase poorsusest, osakeste suuruselt ja nende pinna omadustest (Coduto, 1999).

BAT-seade võimaldab *in situ* määrata pinnase filtratsioonikoefitsente, mis on väiksemad kui 10^{-6} m/s. Kasutati langeva rõhuga katsetoodikat, mille puhul mõõdetakse vee voolamise kiirust rõhu all olevast silindrist pinnasesse (GeoNordic AB, 1985). Mõõtmised teostati 10–15 cm sügavusel ette puuritud 30 mm läbimõõduga aukudes, mille läbimõõt vastas BAT-seadme filterotsiku läbimõõdule.

Iga prooviga tehti 3 paralleelmõõtmist erinevates punktides, et vähendada võimalike heterogeensuste mõju katsetulemustele. Kokku tehti erinevate segudega 38 mõõtmist. Katsed viidi läbi Tartu Ülikooli geoloogia osakonna sedimentoloogialaboris.

3.3 Külumumis-sulamistsükli mõju optimaalsele koldetuha-savi segule

Selleks, et hinnata, kuidas külumumis- ja sulamistsüklid laboris välja töötatud optimaalse segu filtratsioonikoefitseni mõjutavad, rajati 23.10.2012 Tallinna prügila territooriumile välitingimustesse alt avatud puidust katsekast. Katsekasti paigutati segu, milles oli 25% savi ja 75% koldetuhka. Kuigi laboris välja töötatud optimaalse segu puhul oli savisisaldus 20%,

suurendati seda katsekasti puhul 5% võrra, sest kasutatud sinisavi sisaldas visuaalsel hinnagul ca 5% jämedamaid osakesi, mis käituvad mehaaniliselt kui koldetuhk. Katsekast tehti mõõtudega (PLK) 1200x1000x600 mm ning sinna pandud segu tihendati vibreeriva pinnasetihendajaga (Joonis 3). Kõige lõpuks lisati savile 15 cm paksune kiht liiva, et ühtlustada segusse imbuva vee jaotust ja kaitsa pinda otseste kahjustuste eest.



Joonis 3. Katsekasti rajamine – materjali tihendamine vibroplaadiga.

Katsekastis määrati filtratsioonikoefitsendi väärtused kohe pärast valmimist ning poole aasta möödudes (25.04.2013) ehk pärast külmumis-sulamistsüklite läbimist. Katsed tehti sama meetodika järgi nagu eelnevalt laboris tehtud katsete puhul. Sügisel tehti katsekastis 2 mõõtmist, kevadel 7. Kuna vahetult pärast katsekasti paigutamist ei erinenud segu omadused laboris välja töötatud segu omadustest, loeti kaht katset sügisel piisavaks.

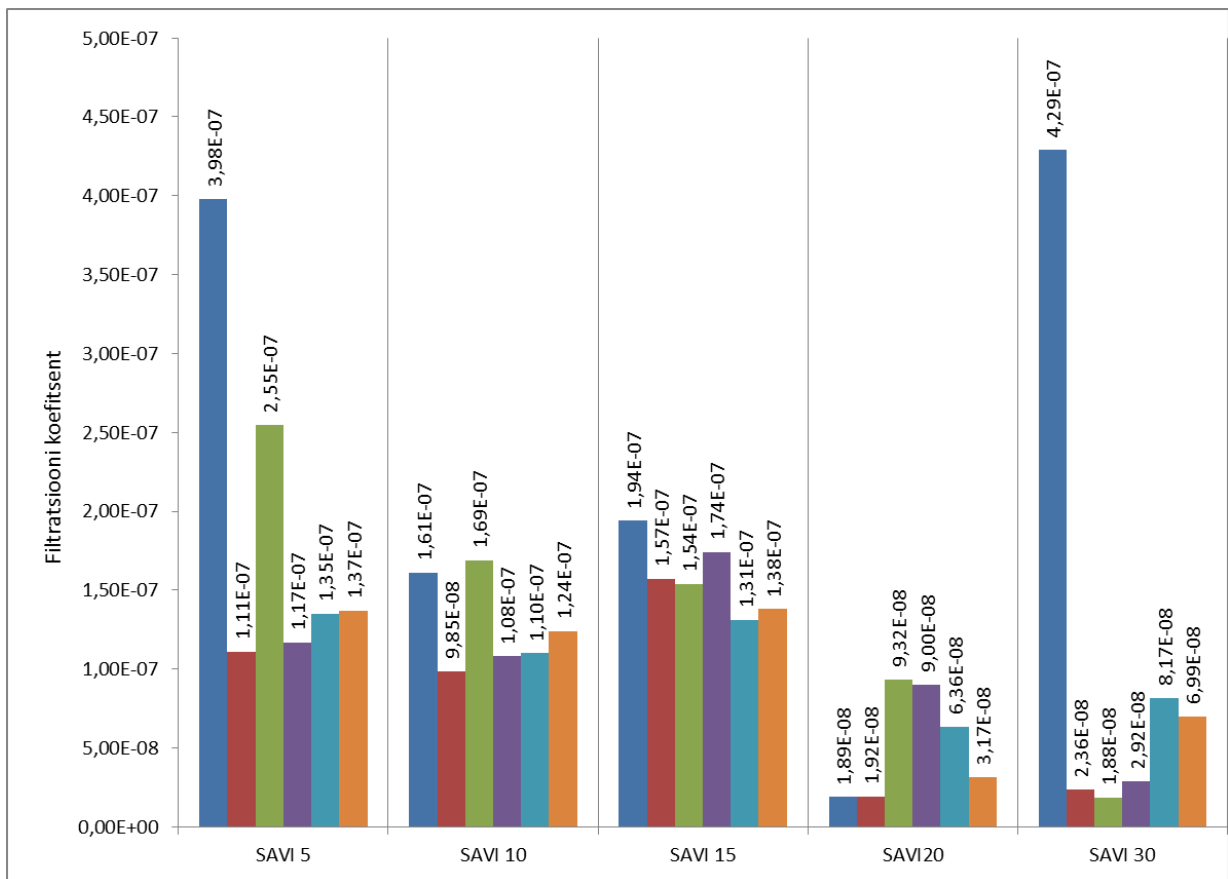
3.4 Füüsikalised ja geotehnilised omadused

Lisaks filtratsioonikoefitsendi määramisele tehti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse geotehnikalaboris katsed, kus mõõdeti 20% savi ja 80% tuhka sisaldava segu füüsikalisi ja geotehnilisi omadusi (veesisaldus, mahukaal, lõimis, plastsusomadused, kokkusurutavus ja tugevus). Neid andmeid kasutati töös segu üldise sobivuse hindamiseks kattekihi ehitamisel.

4. Tulemused

4.1 Optimaalse koldetuha-savi vahekorra leidmine

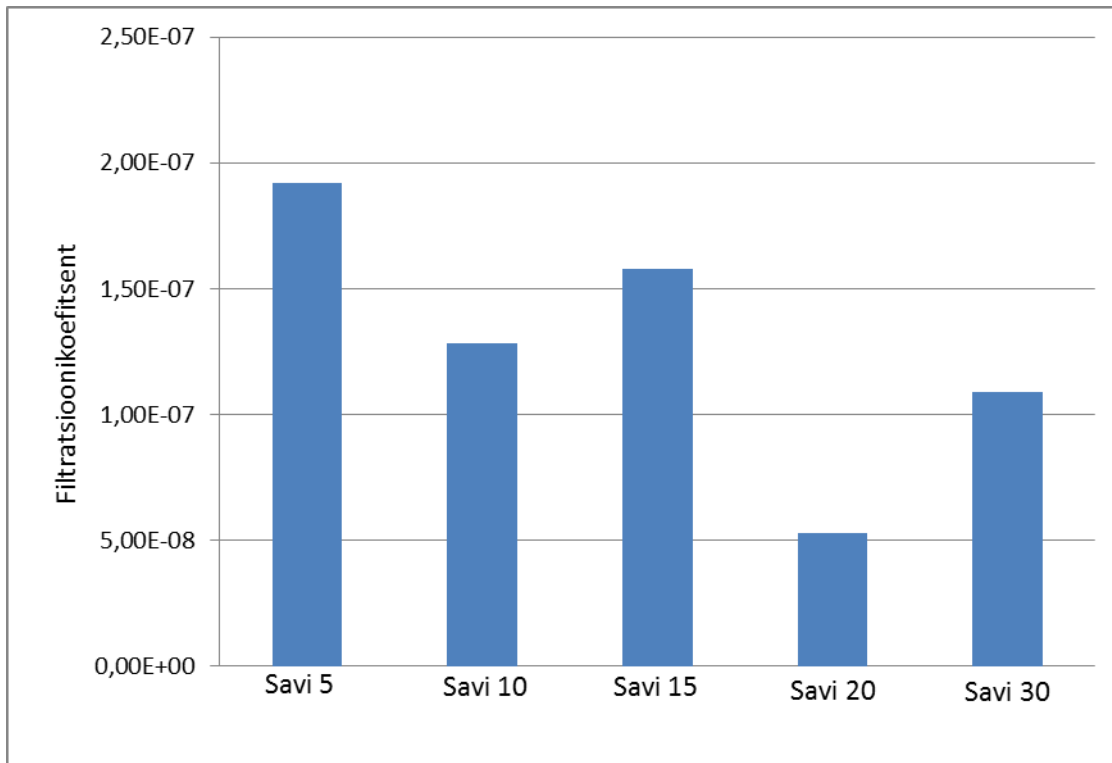
Joonisel 4 on toodud laboris tehtud katsete tulemused erinevate segude kaupa. Nagu graafikult näha, põhjustab savi suurem sisaldus segus veejuhtivuse langust. Samas vaadates näiteks segu Savi 30 esimese proovi tulemust, võib öelda, et paljuski mõjutas laboris tehtud proovide tulemusi ka kindlasti proovipunkti valik ehk kuhu parasjagu sattus BAT seadme filtriosa. Juhul, kui filtri ümber oli tühimikke jäänud, võis see põhjustada anomaalselt head veejuhtivust antud punktis ning savikamasse punkti sattudes võis seal olla madalam tulemus kui sama segu teistes punktides.



Joonis 4. Filtratsioonikoefitsendi sõltuvus segu savisisaldusest. Üksikute mõõtmiste tulemused.

Keskmete filtratsioonikoefitsendi väärtuste põhjal saab siiski leida otsese seose savisisalduse

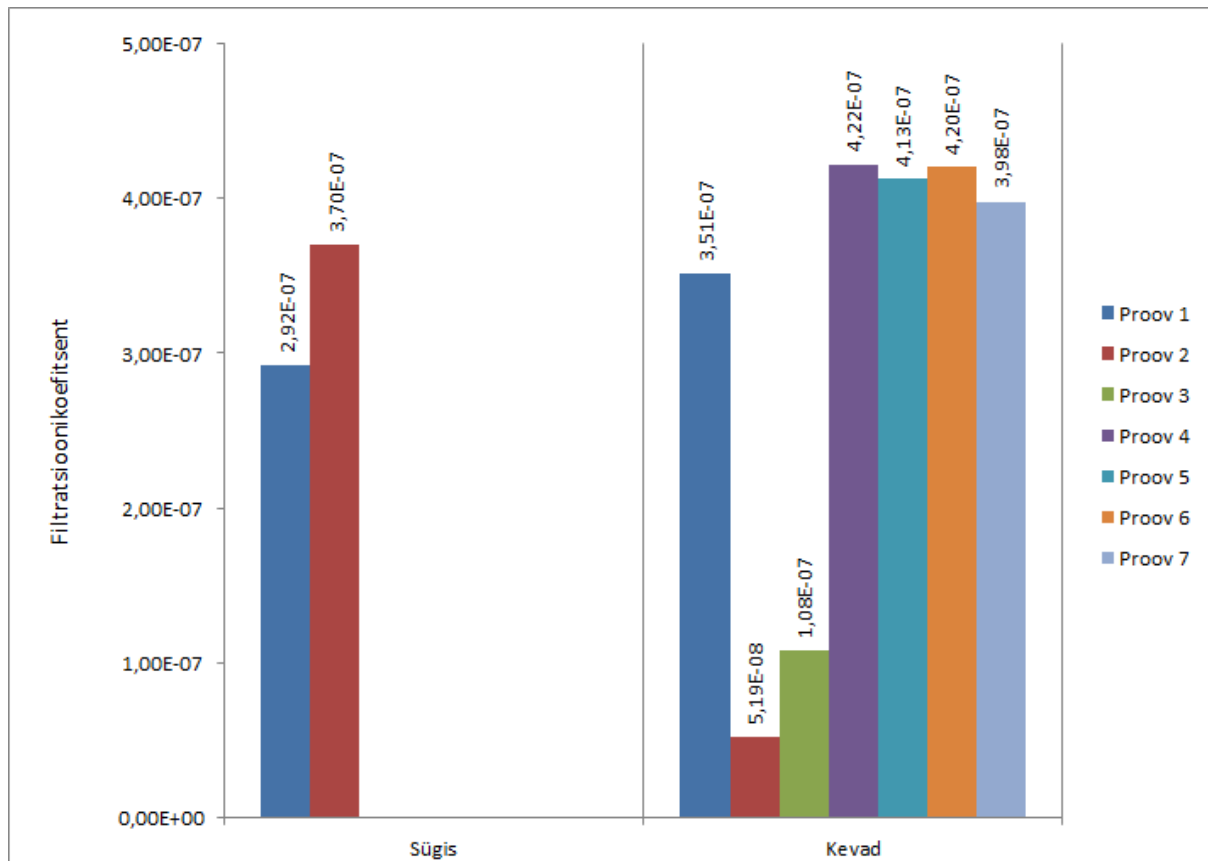
kasvu ja filtratsioonikoefitsendi vähenemise vahel (Joonis 5). Savi 30 puhul mõjutas keskmist väga tugevalt esimese proovi tulemus, mis oli ainsana 10^{-7} m/s, samal ajal, kui kõik teised proovitulemused jäid selles segus suurusjärku 10^{-8} m/s. Põhjustada võis seda filterotsiku sattumine mõnda segu tühimikku, mis võis omakorda olla tingitud sellest, et suurem savisisaldus põhjustas ebahühtlasemat segunemist. Ehk nende tulemuste põhjal võib väita, et vahemikus



Joonis 5. Segude keskmised filtratsioonikoefitsendid

4.2 Külumumis-sulamistsüklite mõju optimaalsele koldetuha-savi segule

Joonisel 6 on toodud 2012. a sügisel ja 2013. a kevadel välitingimustes tehtud filtratsioonikoefitsendi mõõtmised välitingimustes olnud katsekastis. Graafikust paistab, et sügisel tehtud kaks mõõtmist katsekastis olnud 25% ulatuses sinisavi sisaldava seguga kinnitasid laboris tehtud tulemusi, et segu filtratsioonimoodul võiks jääda vajalikku 10^{-7} m/s juurde. Kevadistest proovitulemustest näeb, et talvised külumumis-sulamistsüklid pole mõjutanud katsekastis olnud segu filtratsioonimoodulit kummaski suunas ning see jääb käesolevas töös vajalikule tasemele.



Joonis 6. Filtratsioonikoefitsendi väärtused katsekastis sügisel 2012 ja kevadel 2013.

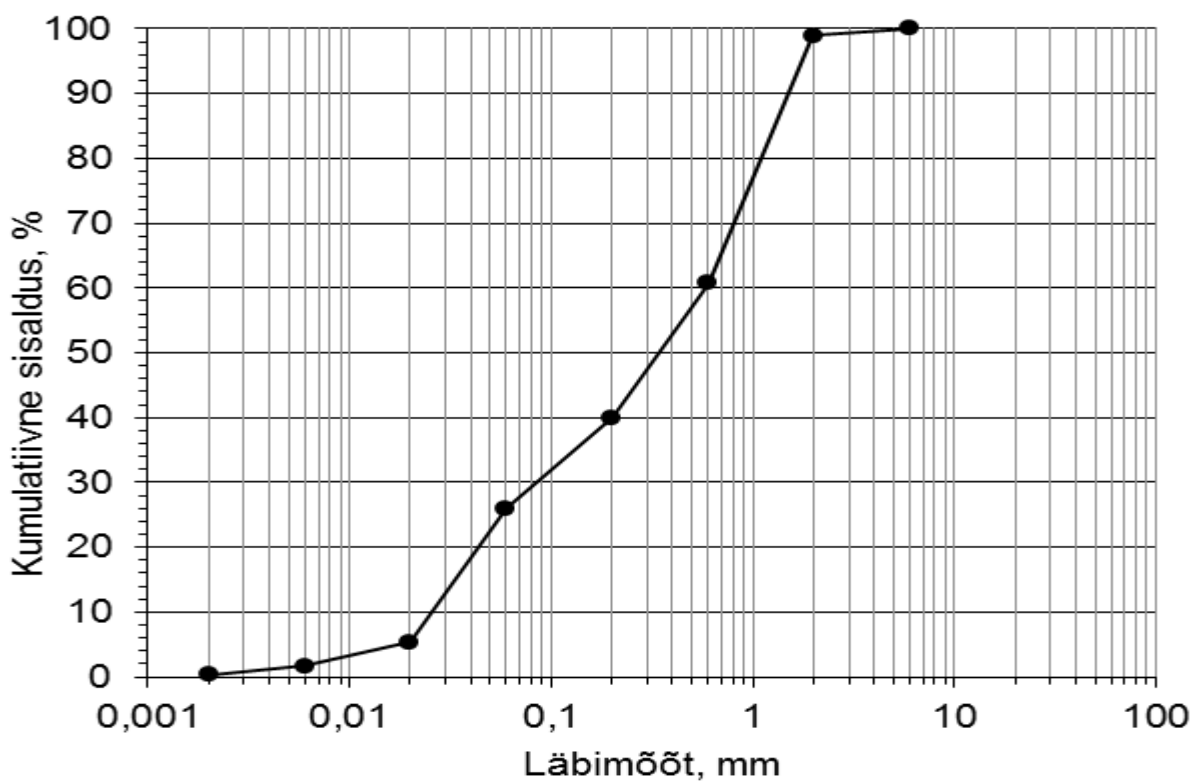
4.3 Füüsilised ja geotehnilised omadused

Lõimise alusel koosneb koldetuha (80%)-savi (20%) segu peamiselt kruusa- ja liivaosakestest, kuid sisaldab ka umbes 40% peenemaid osakesi (Joonis 7 – lõimisekõver). Saviosakeste (<0,002 mm) sisaldus < 2% näitab, et enamus sinisavist on tegelikult mölli fraktsioonis.

Tabelis 1 on toodud füüsiliste ja geotehniliste omaduste keskmised väärtused EKUK geotehnikalaboris läbi viidud katsete põhjal. Katsete tulemused näitasid, et koldetuha-savi segu on omadustelt küllaltki sarnane looduslikele pinnastele, nagu näiteks liivapinnased või ka kruusad. Segule on tänu savisisaldusele iseloomulikud ka plastsed omadused, mis puhtal koldetuhhal puuduvad – seda näitab plastsusarv.

Parameeter	Ühik	Väärtus
Veesisaldus	%	22
Plastsusarv	%	10,3
Optimaalne veesisaldus	%	24
Kuivmahukaal (tihendatud)	kN/m ³	13,9
Kompressiooniindeks	-	0,184
Sisehõordenurk	°	29
Nidusus	kPa	32

Tabel 1. Koldetuha (80%) ja savi (20%) segu keskmised füüsikalised ning geotehnilised omadused (EKUK geotehnikalabori katseprotokollide põhjal).



Joonis 7. Koldetuha (80%) ja savi (20%) segu keskmine lõimisekõver (EKUK geotehnikalabori katseprotokollide põhjal).

5. Arutelu

Katsete tulemused näitasid, et 20-25% savisisaldusega koldetuha segu kasutades on võimalik edukalt saavutada segus filtratsioonikoefitsendi väärtus suurusjärgus 10^{-7} m/s, et kasutada seda prügila poolläbilaskva kihi rajamiseks. Mitmed varasemad uuringud on näidanud, et külmumis-sulamistsüklid mõjuvad tihendatud savide veejuhtivusele (Wong & Haug, 1991; Othman & Benson, 1993; Eigenbrod, 1996 ja Viklander, 1998) ja juba ühekordne külmumis-sulamistsükkel võib suurendada tunduvalt savide veejuhtivust. Samas antud töö käigus sooritatud välikatse 25% savi sisaldanud tihendatud seguga sarnast tulemust ei andnud. Antud tulemust saab põhjendada sellega, et segus kasutatud koldetuhk on suure poorsusega ehk koosneb suurtest osakestest ning savisisaldus üsna väike, mistõttu nende segu omab veel piisavalt suurt poorsust, et vastu pidada talvistele külmumis-sulamistsüklitele. Arvesse tuleb võtta ka seda, et antud välikatse paiknes katsekast otse maapinnal ehk selles olnud segu oli mõjutatud ümbritsevast keskkonnast palju enam, kui prügila katteks planeeritav poolläbilaskev kiht, mis rajatakse ca 1 m sügavusele pinnakatte alla, kus pinnase läbikülmumise tõenäosus on kord 50 aasta jooksul (Jaanisoo jt, 2002). Seega võib eeldada, et planeeritud kihti ei hakka tegelikkuses taolises mahus temperatuurikõikumised eriti mõjutama ning kui see ka juhtuma peaks, on segu koostis piisavalt poorne, et ei tekiks lõhesid.

Vaadates optimaalse koldetuha-savi segu geotehnilisi ja füüsikalisi omadusi (Tabel 1), võib öelda, et küllaltki kõrge savisisaldus ei muuda segu omadusi ehitusgeoloogia mõistes ebasoodsaks. Puhaste savide suurimaks puuduseks on nende väga suur kokkusurutavus ja väike tugevus. Seevastu on optimaalne koldetuha-savi segu tänu tugevale ja jämedateralisele koldetuhale küllaltki tugev ja väikese kokkusurutavusega, mis võimaldab seda komplikatsioonideta prügila katte ehitamisel kasutada. Olmejäätmete põletamisel saadud koldetuhka on kasutatud üle maailma erinevateks otstarveteks. Üheks laialt levinud kasutusala on tee-ehitus, kuna oma omadustelt sarnaneb koldetuhk väga kruusadele ja liivadele ning seda saab edukalt kasutada nende asendusena. (Lisaks sellele rakendatakse koldetuhka sageli täitepinnasena või kasutatakse seda vallide rajamiseks. Peenemafraktsioonilist koldetuhka tarvitatakse ka ehitusplokkide tootmisel).

Koldetuha kasutamise vastu võib rääkida see, et vaadates, milliseid aineid olmeprügis tõenäoliselt leidub, saab eeldada, et antud segud on ümbritsevale keskkonnale ohtlikud. Tallinna prügila sulgemislahenduse keskkonnamõju hindamise (OÜ Eesti

Keskkonnauuringute Keskus, 2012) käigus tehtud koldetuha analüüsid aga näitasid, et koldetuhk sisaldab äärmiselt väikeses kontsentratsioonis keskkonnale ohtlikke aineid, väärtused jäävad alla piirnormide. Lisaks töödeldakse prügi aina enam enne katlasse minekut ja võimalikult palju ohtlikke aineid eraldatakse juba varem ning põletusse läheb juba keemiliselt ohutum prügi (Lam et al., 2010, Travar et al., 2009) Seega võimaldab koldetuhasavi segu kasutamine säästa looduslikke pinnaseid, andes samas taaskasutusrakenduse jäätmele – koldetuhale

Nõrgvee tagasijuhtimist jäätmemassi ja selle mõju seal toimuvatele protsessidele on analüüsitud mitmeid kordi. Kõige mastaapsemas katses (Francois et al, 2007), kus retsirkuleeriti nõrgvett 50 kg massiga ja ca 1 m paksuses jäätmemassis 400 päeva, leiti, et nõrgvee taaskasutamine suurendas metaani teket. Negatiivne külg retsirkuleerimisel oli see, et suurenes ammoniaagi ja kloriidide sisaldus nõrgvees ning seda põhjusel, et tõenäoliselt ei tarbita neid ioone muudes protsessides ja nad akumulerevad iga korraga. Antud uurimus tõi positiivsete külgedena välja esmaste lagunemisprotsesside kiirenemise, suurenenud metaani tekke ja selle, et ohtlike ainete väljanõrutamine jäätmemassist kiirenes samuti. Kui nõrgvee asemel kasutada läbi katte imuvat sademevett, võib eeldada, et vähemalt osad eelpool välja toodud negatiivsed küljed on kadunud, sest vett ei kasutata korduvalt ja akumulereimist ei toimu, küll aga on tagatud kiirem metaaniteke ning teised positiivsed aspektid.

6. Kokkuvõte

Võttes arvesse nii laboris kui ka välitingimustes katsekastis läbi viidud filtratsioonikatseid, võib väita, et segu, mis koosneb 20-25% ulatuses sinisavi ja 75-80% ulatuses olmejäätmete põletusel tekkinud koldetuhast, sobib oma omadustelt meie kliimaatilistes tingimustes prügilate kattekihtide poolläbilaskvaks kihiks. Kasutades segu, milles on 20-25% vahemikus savi, on võimalik saavutada filtratsioonikoefitsient 10^{-7} m/s. ning välikatse tulemuste põhjal võib väita, et taoline segu on äärmiselt vastupidav talvistele külmumis-sulamistsükklitele ning suudab filtratsioonimoodulit säilitada ka vaatamata selle mõjule. Geotehnilised analüüsid näitasid samuti, et taolise segu füüsikalised ja geotehnilised omadused on sobilikud kasutamaks seda poolläbilaskva kihi rajamiseks.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et koldetuha ja sinisavi kasutamine prügilate poolläbilaskvate kihtide rajamiseks oleks väga praktiline lahendus ning Tallinna prügila oleks väga hea koht, kus seesuguse katte toimimist reaalses tingimustes proovida saaks. Esiteks oleks taolise kihi kasutamine soodne prügila valdajale võrreldes loodusliku pinnase kasutamisega ning teiseks annaks järjekordse võimaluse koldetuhka realiseerida millegi kasulikuna ja mitte seda lihtsalt uuesti ladustada jäätmena, säästes seeläbi keskkonda.

7. Summary

Utilization of municipal solid waste incineration bottom ash and clay mixture in semi-permeable cover on the basis of Tallinn landfill

The aim of the study was to develop a semi-permeable cover layer for Tallinn landfill so it can be used as a bioreactor landfill. To date landfills are usually built in a way that they are totally isolated from the surrounding environment. This approach has been successful, because it prevents the contaminants escaping into the environment and ground water. However, the total isolation also keeps additional water from entering the landfill and that stops methane production and increases the time needed for the landfill to become stable. Nowadays another alternative – bioreactor landfills – has become popular. In a bioreactor landfill water is added into the waste body in order to accelerate anaerobic degradation, methane production and biostabilization of landfill. For this purpose usually leachate is re-circulated, but now also another alternative – semi-permeable cover has been proposed.

For Tallinn landfill one of the proposed methods of creating such a bioreactor landfill is to make a cover layer that is semi-permeable from a mixture of municipal waste bottom ash and clay. In that way bottom ash can be re-utilized in a very efficient manner and secondly the semi-permeable cover also allows necessary amount of water to enter the landfill body to keep anaerobic degradation at an optimal level. Because bottom ash would be too permeable on its own, clay is added to lower hydraulic conductivity to a proposed level of 10^{-7} m/s (ADEME 2011).

During 2012 and 2013 several tests were carried out to find a suitable mixture of clay and bottom ash and test its properties. Firstly, mixtures with different bottom ash to clay ratios were prepared and their hydraulic conductivity was measured in laboratory conditions in University of Tartu. Secondly, after the optimal mixture was developed, its physical and mechanical properties were tested in Estonian Environmental Research Centre's geotechnical laboratory to see if such mixture could be viable as building material compared to other natural or engineered soils. Thirdly, a field study was conducted with a mixture containing 25% clay and 75% bottom ash that lasted for 6 months (from October 2012 until April 2013) to see what effects do freeze-thaw cycles have on the mixture.

The results show that bottom ash and clay mixture serves well as a semi-permeable material and it retains hydraulic conductivity value of 10^{-7} m/s. The geotechnical and physical

properties also suggest that such mixture has similar physical properties to natural soils like sands due to bottom ash aggregated nature, and thus can be used as building material for landfill cover layers. The field test showed that freeze-thaw cycles do not have any adverse effects on the mixture and the permeability values remained the same over the winter.

To sum up it can be concluded that using bottom ash and clay mixtures for constructing semi-permeable layers for landfills would be a very viable solution. Not only is it cheaper than using natural materials, but it is also environmentally friendly as waste will be re-used as building material.

8. Tänuavaldused

Sooviksin tänada oma juhendajaid, kes osutasid igakülgset abi töö valmimisel ja AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskust, sest tänu nende uuenduslikule lähenemisele prügila kattekihi valmistamiseks sai antud töö üldse võimalikuks.

9. Kasutatud kirjandus

Qian, X., Koerner, R.M., Gray, D.H. (2002). Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction. Prentice-Hall, Inc. lk 576-602

Kumar, S., Chiemchaisri, V., Mudhoo, A. (2011). Bioreactor landfill technology in municipal solid waste treatment. Critical Reviews in Biotechnology, 2011; 31(1), lk 77–97

Townsend, T., Kumar, D., Ko, J. (2008). Bioreactor Landfill Operation: A Guide for Development, Implementation and Monitoring: version 1.0

Consultare OÜ (2012) AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus jäätmete ladestusala sulgemislahenduse muutmise keskkonnamõju hindamine. Töö nr: 05/12

ADEME (2011). Guide pour le dimensionnement et la mise en oeuvre des couvertures de sites de stockage de déchets ménagers et assimilés. Mots clés: Sites de Stockage, Couvertures, Déchets (prantsuse keeles; pealkiri: Juhend koduste olmejäätmete ja teiste sarnaste jäätmete prügilate katete mõõtmise ja projekteerimise kohta)

GeoNordic AB (1985). BAT Groundwater Monitoring System. Permeability Kit Instruction Handbook (<http://www.geonordic.se>).

Coduto, D. (1999) Geotechnical Engineering: principles and practices. Prentice-Hall, Inc.

Jaanisoo, V., Masso, T., Otsmaa, V., Talvik, I. (2002). Ehituskonstruktori käsiraamat, 2. osa. „Ehitame“ kirjastus, Tallinn

Bruder-Hubscher, V., Lagarde, F., Leroy, M., Coughanowr C., Enguehard F.(2001) Utilisation of bottom ash in road construction: evaluation of the environmental impact. Waste Management & Research 19, lk 545–556

Kayabali, K., Bulus G. (2000) The usability of bottom ash as an engineering material when amended with different matrices. Engineering Geology 56, lk 293–303

Lam C., Ip, A., Barford, J.P., McKay, G. Use of Incineration MSW Ash: A Review. Sustainability 2010, 2, lk 1943-1968

OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus (2012) Vanandatud tuha leostuvus. AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskus jäätmete ladestusala sulgemislahenduse muutmise KMH aruanne.

Travar I., Lidelöw, S., Andreas L., Tham G., Lagerkvist, A. (2009) Assessing the environmental impact of ashes used in a landfill cover construction. Waste Management 29, lk 1336–1346

Kasutatud veebilehed

Eesti Vabariigi „Jäätmeseadus“ <https://www.riigiteataja.ee/akt/104012013034>

Keskkonnaministri määrus „Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded“ <https://www.riigiteataja.ee/akt/108052013002>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina _____
(*autori nimi*)

(sünnikuupäev: _____)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on _____,
(*juhendaja nimi*)

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, _____