EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Kati Tammjärv

METAANILAGUNDUSKATTEKIHI SOBIVUS PUUDE KASVUKS KUDJAPE PRÜGILAL HARILIKU KUUSE JA EUROOPA LEHISE NÄITEL

THE EVALUATION OF METHANE OXIDATION LAYER AS GROWING MEDIA FOR *PICEA ABIES* AND *LARIX DECIDUA* IN KUDJAPE LANDFILL

Balkalaureusetöö
Loodusvarade kasutamise ja kaitse õppekava

Juhendajad: professor Mait Kriipsalu, PhD
lektor Andres Jäärats, MSc

Tartu 2015

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja/või üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kati Tammjärv
(isikukood 49206052751)

1. Annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „Puude kasvutingimused metaanilagunduskattekihil Kudjape prügila näitel“, mille juhendajad on professor Mait Kriipsalu ja Andres Jäärats,

1.1 salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil
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.

Lõputöö autor _____
Allkiri

Tartus, 2015

Lõputöö koostasin iseseisvalt. Kõigile töös kasutatud teiste autorite töödele ja andmeallikatele on viidatud. Kinnitan, et annan oma intellektuaalomandi varalised õigused lõputöö tulemuste suhtes üle Eesti Maaülikoolile.

……
kuupäev /nimi / allkiri /

Tunnistan lõputöö kaitsmisvalmiks.

Juhendaja: Mait Kriipsalu

……
kuupäev /nimi / allkiri /

Juhendaja: Andres Jäärats

……
kuupäev /nimi / allkiri /

www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Kati Tammjärv		Õppekava: Loodusvarade kasutamine ja kaitse	
Pealkiri: Metaanilagunduskattekihi sobivus puude kasvuks Kudjape prügilal hariliku kuuse ja euroopa lehise näitel			
Lehekülgi: 53	Jooniseid: 19	Tabeleid: 3	Lisasid: 7
Osakond: Metsakasvatuse osakond Uurimisvaldkond: Keskkonnatehnoloogia Juhendaja(d): professor Mait Kriipsalu, lektor Andres Jäärats Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2016			

Käesoleva bakalaureuse töö teema valimise põhjuseks oli suurema projekti raames toimunud uurimine, mis tegeleb Saaremaal, Kudjapel paikneva metaanilagunduskihiga kaetud Kudjape prügila seirega. Töö eesmärgiks on uurida Kudjape prügila kattekihi sobivust kõrghaljastuse kasvuks, sinna istutatud hariliku kuuse (*Picea abies*) ja euroopa lehise (*Larix decidua*) näitel. Saadud andmete põhjal koostada mäest mudelid säilinud puude kohta, mida oleks võimalik vaadelda indikaatorina kattekihi seisundi hindamisel.

Töös kasutatud andmete seas on nii töö koostaja enda poolt kogutud andmeid, kui ka teiste projektis osalevate teadurite andmeid, mida vaadeldakse ühtse tervikuna. Töö autori poolt läbi viidud välitööd toimusid 2015. aasta oktoobris, mille tulemusel on teada puude säilivus ning aastased juurdekasvud.

Mäel kasvavatest puudest ning mitmesugustest pinnase karakteristikutest (niiskus, prügilagaas, pH, temperatuur, elektrijuhtivus) on koostatud mudelid, tänu millele on võimalik hinnata puude säilivust ning kasvutingimusi.

Kudjape prügilasse istutatud euroopa lehistest (*Larix decidua*) on säilinud vaid 40 % ning harilikest kuuskedest (*Picea abies*) 60 %. Aastased keskmised juurdekasvud 2015. aastal olid lehisel 6 cm ja kuusel 3,5 cm. Prügilast tingitud teguritest on Kudjapel puude kasvu ilmselt enim mõjutanud pH kõrgem tase ning kattekihi niiskusrežiim. Prügilagaasi emissioon Kudjapel on väike. Tõenäoliselt mõjutasid puude suremust ka hiline istutamine ning liiga suured istikud. Samalaadsete tööde tegemiseks tulevikus tuleks Kudjape metaanilagundukattel olevate puude kasvu pikemalt edasi uurida.

Märksõnad: prügila, metaanlagunduskate, haljastamine, mudelid

www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor´s Thesis	
Author: Kati Tammjärv		Specialty: Natural Resources Management	
Title: Title: The evaluation of methane oxidation layer as growing media for *Picea abies* and *Larix decidua* in Kudjape landfill			
Pages: 53	Figures: 19	Tables: 3	Appendixes: 7
Department: Department of Silviculture Field of research: Environmental technology Supervisors: Mait Kriipsalu, PhD and Andres Jäärats, MSc Place and date: Tartu, 2014			

Kudjape landfill was closed in 2009 and was covered with methane oxidation layer, composed of landfill fine fraction (60 %), sludge compost (20 %) and mineral soil (20 %). In 2013, right after the restoration works had fnished, *Larix decidua* and *Picea abies* where planted on the hill. Soon it was noticed that the trees started to die.

This bachelor thesis is part of a bigger project in which Kudjape landfill is being studied and monitored. The aim of this thesis is to find out whether methane oxidation layer is suitable as growing media for threes; and which landfill characteristics have influenced their growth.

Data used in this thesis is collected by the author or from other studies related to the Kudjape landfill. Many characteristics common for closed landfills were studied and models where created, which help to visualize various tree-growth related parameters, and analyse the influence of landfill on tree growth and mortality.

Main soil characteristics that have an effect on tree growth are usually landfill gas, moisture and pH. In Kudjape landfill, soil pH is about 7,5 which is much higher than larch and spruce are used to. Soil moisture content was low probable because of long dry period and the fact, that waste has low capillary rise. It shows that in dry periods cover might dry out and trees would need irrigation. A long-term study should be carried out, to understand the relationship between cover moisture and tree growth. In Kudjape, landfill gas is probably not an issue for tree growth, because emission of methane and CO_2 was low.

The planted trees where quite big and the planting time was late (in august), landfill conditions might have had a stronger influence on trees, due to slower adaptability.

Keywords: landfill, methane oxidation layer, vegetation, models

SISUKORD

SISSEJUHATUS 8

1. PRÜGILATE SULGEMINE 10

1.1. Prügilate lõppkatmise võimalusi 10

1.2. Prügilate haljastamine 13

1.2.1. Prügila haljastamise tähtsus 13

1.2.2. Prügila haljastamist mõjutavad tegurid 15

1.2.3. Prügilast mittetulenevad keskkonnamõjud puudele 18

1.2.4. Kõrghaljastuse valik rekultiveerimistöödel 20

1.2.5. Kõrghaljastuse valik prügilas 21

1.3. Näiteid prügilate ja tuhamägede haljastamise kohta 24

1.4. Prügila katmine ja haljastamine Kudjape näitel 28

2. PUUDE KASVUTINGIMUSED KUDJAPE SULETUD PRÜGILA NÄITEL 31

2.1. Eesmärk 31

2.2. Materjal ja metoodika 31

2.3. Tulemused ja arutelu 33

2.3.1. Kattekihi omadused 33

2.3.2. Puude säilivus ja juurdekasv suletud Kudjapa prügilas 35

2.3.3. Puude säilivuse võrdlemine erinevate kasvutingimusi mõjutavate teguritega mudelite abil 40

2.3.4. Tähelepanekud 44

2.3.5. Hinnang Kudjape kõrghaljastamisele 45

2.3.6. Soovitused 46

3. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED 48

4. KASUTATUD KIRJANDUS 50

LISAD 54

Lisa 1. Kattekihi keemilis-füüsikalised omadused, 2015. aastal võetud mullaproovide põhjal 30 ja 50 cm sügavuselt 55

Lisa 2. Puude seire andmed: puu number, liik (Lh – *larix decidua*, Ku – *picea abies*), kõrgused 2013-2015, juurdekasv 2014 ja 2015, keskmine niiskus (%) 56

Lisa 3. Metaani emissioon kattekihist 63

Lisa 4. Süsihappegaasi emissioon kattekihist 64

Lisa 5. Pinnase temperatuur 50 cm sügavusel 65

Lisa 6. Kattekihi pH väärtused 66

Lisa 7. Kattekihi elektrijuhtivus (mS/cm) 30 cm sügavuselt 67

SISSEJUHATUS

Prügilad on maailma üks enim kasutatud viise prügist vabanemiseks ning kogu maailmas ladestatakse endiselt suur osa jäätmetest prügilaisse. Kuigi jäätmete tekkimist püütakse vähendada ning üha enam töötatakse neid ümber ja taaskasutatakse, siis eriti arengumaades jääb ladestamine alles ka edaspidi, sest see on lihtsaim ja odavaim viis jäätmeteist vabanemiseks (Xiaoli *et al*. 2011; Seshadri *et al.* 2016). See aga tähendab, et prügilaid on vaja jätkusuutlikult ja teadlikult majandama õppida kogu nende olelusea jooksul. Halvasti või valesti projekteeritud, kasutatud, hooldatud ning suletud prügila võib veel aastakümneid peale sulgemist keskkonnale suurt kahju teha (Seshadri *et al.* 2016).

Prügilate sulgemisel lähtutakse tavaliselt põhimõttest, et prügikeha tuleb katta gaase ja vett mitteläbilaskva kihiga, mis vähendab nõrgvee hulka ja takistab prügilagaasi lendumist atmosfääri (Kriipsalu *et al.* 2016). Kuigi oma olemuselt on selline katmine keskkonnasõbralik, ei ole see pikemas perspektiivis siiski hea lahendus, kuna suletud süsteemis ei lagune orgaanilised jäätmed täielikult, mistõttu on prügi keskkonnale ohutu vaid senikaua, kuni sellel olev kattekiht toimib (Simon and Müller 2004).

Selleks, et prügimägi stabiliseeruks ning ajapikku muutuks keskkonnale ohutuks, peavad biolagunevad jäätmed lagunema ning lade peab stabiliseeruma. See aga tähendab, et prügilademesse peaks vähesel määral jõudma ka niiskust. Kattekihist, kust niiskust läbi pääseb, pääsevad ka prügilagaasid atmosfääri, mistõttu tuleks kattekihti paigaldada gaasikogumissüsteem (Simon and Müller 2004). Väikestes prügilates, kus gaasi tekib vähe ei ole sellise süsteemi paigaldamine ja üleval pidamine otstarbekas. Seetõttu on heaks alternatiiviks prügila katta metaanilagunduskihiga, kus prügilagaas laguneks (Kriipsalu *et al.*2016).

Metaanilagunduskiht on soodne pinnas ka taimekasvuks – pinnas kattub nii või teisiti taimkattega (sh puudega), olgu siis haljastamise või loodusliku uuenemise läbi. Ühelt poolt aitab see kaasa metaanilagunduskihi toimimisele ning teisalt väheneb tänu taimtervendamisele ka prügilast tulenev keskkonnareostust (Kriipsalu *et al.*2016).

Kuna alternatiivsed kattemeetodid on alles hilja aegu kasutusele võetud ning traditsioonilisema vettpidava kihiga prügilate puhul puude istutamist ei soosita (Licht *et al.*

2001; Li *et al*. 2016), on nii Eestis kui ka maailmas suletud prügilademetele sobiva kõrghaljastuse istutamise kohta infot vähe.

Käesoleva töö eesmärk on uurida puude kasvamise võimalikkust metaanilagunduskattekihiga kaetud prügilas. Kirjandusülevaates tuuakse välja peamiseid prügila haljastamist mõjutavaid tegureid ning eri maades läbiviidud katsete põhjal prügilate tingimustes vastupidavaimad puuliigid.

Eestis on kõrghaljastust kasutatud metaanilagunduskihiga kaetud Kudjape prügilas ning sinna on istutatud harilikku kuuske (*Picea abies*) ja euroopa lehist (*Larix decidua*). Kudjape prügilas on välitööde käigus teostatud puude seiret alates 2014. aasta oktoobrist kuni 2016. aasta aprillini.

Tänusõnad:

Autor tänab inimesi, kes on töö valmimisele või Kudjape endise prügimäe haljastamisele kaasa aidanud: Kaja Orupõld, Kaur-Mikk Pehme, Ottar Tamm, Liis Koppel, Valdo Liiv, Mihkel Paljak (Saaremaa Prügila OÜ), RTS Infra, ning Rootsi Instituudi (Swedish Institute) projekti Phytoremediation park for treatment and recreation at glassworks contaminated sites PHYTECO.

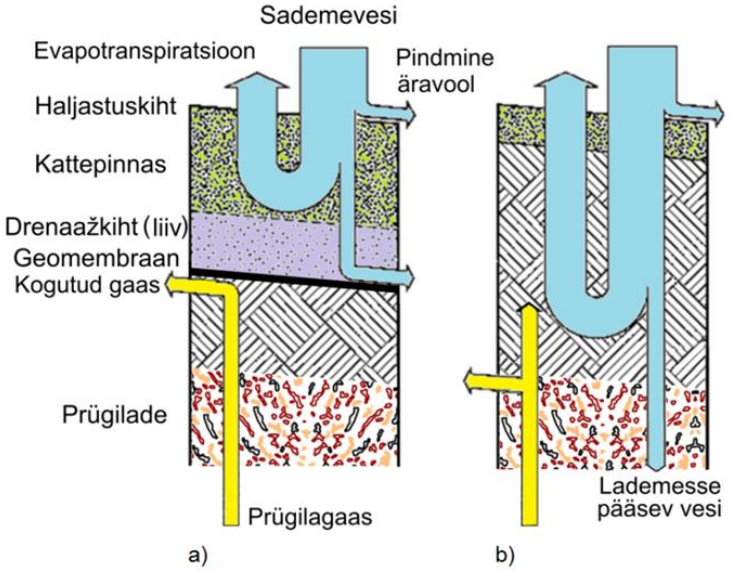
1. PRÜGILATE SULGEMINE

1.1. Prügilate lõppkatmise võimalusi

Prügilate lõppkatmisel on palju olulisi eesmärke ja nõudeid (Environmental Engineering 2003; Albright *et al*. 2003):

1) prügila peab olema täielikult kaetud. Tüüpiliselt kaetakse prügila veetiheda paksu savi kihiga või geomembraaniga;
2) läbi kattekihi ei tohi prügilademesse sattuda sademevett. Sademevee imbumisel läbi jäätmekihi tekib keskkonnale ohtlikku nõrgvett;
3) kattekihti tuleb paigaldada gaasikogumissüsteem või katta prügila metaanilagunduskattega, kuna jäätmete lagunemisel tekkivad gaasid ei tohi pääseda atmosfääri;
4) prügila territoorium peab seireperioodi (mis sõltuvalt vajadusest võib kesta kuni 30 aastat) jooksul olema taraga ümbritsetud, et võõrad ligi ei pääseks;
5) prügi ei tohi olla kättesaadav inimestele, lindudele ja loomadele;
6) kattekiht peab olema ajas kestev ja ei tohi puruneda;
7) prügila peaks olema esteetiline. Kattekiht tuleb haljastada, kuid tavaliselt ei soovitata kõrghaljastust.

Tüüpiliselt püütakse prügila lõppkatmisel prügilade veekindlaks muuta, sest pikka aega peeti nõrgvett suurimaks reostusallikaks prügilast. Kui prügila soovitakse muuta täielikult vee- ja gaasitihedaks (joonis 1.1, a), siis kaetakse prügilade geomembraaniga, mis takistaks veel prügisse imbuda ning prügilagaasidel atmosfääri lenduda ning veetiheda kihi alla luuakse gaasikogumiskiht ja gaasidrenaaž (Albright *et al.* 2003; Seshadri *et al*. 2016; Kriipsalu *et al.* 2016). Geomembraani võib asendada ka tüseda loodusliku savikihiga, mis muudab kattekihi peaaegu veetihedaks (joonis 1.1, b), sest savikiht võib ajajooksul mõraneda (Li *et al.* 2016) ja nii võib osa vihmaveest sattuda lademesse ning osa prügilagaasist sellest välja, kuid sellist kattekihti loetakse väikeprügilate katmisel keskkonnaohutuks (Kriipsalu *et al.* 2016). Eestis on selliselt kaetud näiteks Valga prügila (Keskkonnaamet 2016).



Joonis 1.1. Erinevaid lõppkatmise viise: *a* – veetihe lõppkate geomembraani ja drenaažikihiga, *b* – vett osaliselt läbi laskev lõppkate. *Allikas:* (Kriipsalu *et al* 2016)

Kattekihi konstruktsioonivalikul tuleb otsustada vastavalt ala edasisele kasutusel, kuid eelkõige tuleb lähtuda seadustest. Eesti jäätmeseaduse (Jäätmeseadus 2004) alusel vastu võetud määruse (Prügila rajamise... 2004, § 35 lg 1) kohaselt tuleb tavajäätmeprügila jäätmelade katta gaasi kogumise kihi, vettpidava mineraalkihi, vähemalt 0,5 m paksuse dreenkihi ja vähemalt 1 m paksuse kattepinnase kihiga. Neile nõuetele vastavad joonise 1.1 lahendused a ja b.

Veetihedal katmisel tuleb aga arvestada mitmesuguste ohtudega. Näiteks savikiht võib ajajooksul kuivada ning sinna võivad kergesti tekkida praod (Albright *et al*. 2003) või erosiooninõvad, kust sademevesi sisse ning prügilagaasid välja pääsevad. Ka tuleb arvestada võimalusega, et prügila kattekihile aja jooksul kasvavate puude juured võivad tungida sügavale ja veetihedat kaitsekihti ohustada (Licht *et al.* 2001; Li *et al*. 2016; Kriipsalu *et al.* 2016).

Uue võimalusena on viimase aastakümne jooksul kasutama hakatut looduslikumat viisi, kus prügila kaetakse tüseda vett ja gaasi mõningal määral läbi laskva kattekihiga, mis haljastatakse. Üheskoos hakkavad pinnas ja haljastus mõjutama prügila vee- ja gaasirežiimi (Albright *et al*. 2003; Kriipsalu *et al.* 2016).

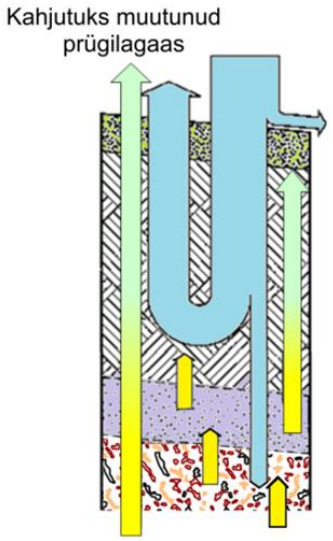
Sellise kattesüsteemi puhul oleks parim, kui prügilal on veekindel alusvooder, et nõrgvesi ei saastaks keskkonda, ning pealt kaetud metaanilagunduskihiga, mis vähendab metaani

sattumist atmosfääri (Kriipsalu *et al.* 2016). Osaliselt prügi kihti imbuv vesi aidatab kaasa orgaaniliste jäätmete lagunemisele, mis omakorda kiirendab lademe stabiliseerumist ning prügilagaas lendub läbi kattekihi, milles elutsevad mikroorgnismid selle ära lagundavad. Toimuvat reaktsiooni kirjeldab võrrand (Humer-Huber 2008):

$$CH4 + 2O2 => CO2 + 2\ H2O + 210{,}8\ kCal \quad (1.1)$$

Metaanilagunduskihiga kattesüsteem

Metaanilagunduskate koosneb oksüdatsioonikihist ja gaasijaotuskihist (joonis 1.2, c). Prügila katmisel sellise kihiga on võimalik katta nii terve prügila või tekitada tavapärase kattekihi sisse ''bioaknaid'' (ingl *biowindows*) või ''biopüüniseid'' (ingl *biotraps*). Esimesel juhul tuleb kate rajada juba prügila sulgemise käigus (Eestis nt Adistel ja Kudjapel), bioaknaid või -püüniseid võib teha ka hiljem (Eestis nt Lagujal), kuna nende rajamine kattesse on lihtne ja odav. Üldiselt on metaanilagunduskatte rajamine otstarbekas väikeprügilatesse, kus gaasi tekib vähe ning selle kogumine ei tasu end ära (Kriipsalu *et al.* 2016).



Joonis 1.2. Metaanilagunduskihiga lõppkate prügilale. Allikas: (Kriipsalu *et al* 2016)

Oksüdatsioonikiht peab olema poorne, homogeenne ning vähemalt 1,2 m paksune. Kiht peab olema efektiivseks metaani lagundamiseks piisavalt õhustatud (hapnikusisaldus poorides vähemalt 15-20%) ning piisavalt niiske (metanotroofide tegevus vaibub, kui kihis on vett alla 13%) (Kriipsalu *et al.* 2016).

Gaasijaotuskiht peab olema vähemalt 50 cm paksune ning koosnema koredast materjalist. Selle kihi ülesandeks on prügilademest tõusev metaan ühtlaselt oksüdatsioonikihi all laiali jaotada, et üksikutele aladele oksüdatsioonikihis ei langeks liiga suur koormus ning metanotroofid suudaksid gaasi edukalt lagundada (Kriipsalu *et al.* 2016).

Lisaks metaani oksüdeerimisele, toimib metaanilagunduskate ka haljastuskihina, mis omakorda pakub kaitset pinnase erosiooni eest (Kriipsalu *et al.* 2016).

1.2. Prügilate haljastamine

1.2.1. Prügila haljastamise tähtsus

Eelnevad kattekihid on küll mõeldud toimima iseseisvalt ning tänu neile on jäätmete kahjutegurid keskkonnale minimeeritud, kuid teatavat sünergiat on võimalik saavutada siis, kui kattekiht haljastada (Albright *et al*. 2003; Venkatraman and Ashwath 2009; Xiaoli *et al.* 2011).

Prügila lõppkattekihi haljastamisel on kaks lähenemisviisi. Esimene võimalus on katta prügila lihtsalt madal- või kõrghaljastusega ning luua kohalikule faunale elupaik ning kujundada prügila ümbritseva keskkonnaga võimalikult sarnaseks. Teiseks võimaluseks on kõrge produktsiooniga liikide istutamine, et ala efektiivselt ära kasutada ning selle pealt ka tulu teenida (Seshadri *et al*. 2016), kuid antud töös sellele ei keskenduta.

Siiski on mõlemal juhul oluline valida vastavalt oludele ning asukohale sobivad taimeliigid, et haljastuse kasutegurid lõppkatekihi omaduste parandamiseks oleksid maksimaalsed (Venkatraman and Ashwath 2009).

Veel umbes 30-40 aastat tagasi peeti kaetud prügilatele puude istutamist ebasobivaks, kuna kardeti et juurestik lõhub kattekihti, ummistab kuivendussüsteeme ning soodustab vihmavee otsevoolu prügi hulka (Licht *et al.* 2001). Seda seisukohta toetab ka Li *et al.* (2016) poolt läbiviidud uuem uurimus, kust lähtub, et vettpidava savikihiga kaetud prügilates võib haljastus eelkõige juurte kasvu tõttu probleeme tekitada, põhjustades soovimatud prügilagaaside ning vee liikumist prügila eri kihtide vahel. Metaanilagunduskiht ei ole veetihe, seega seal ei ole ohtu, et puujuured võiks veetiheda katte lõhkuda.

Mujal on leitud, et haljastus võib avaldada positiivset mõju, parandades kattepinnase õhu- ja niiskusrežiimi, vähendades erosiooni ja aidates kaasa pinnase parandamisele (Susarla *et al.* 2002, Nagendrana *et al.* 2006; Kriipsalu 2016).

Üks olulisemaid haljastuse ülesandeid on erosiooni ohu vähendamine (Landfill manuals... 1999). Värskelt kaetud prügila on tihtipeale suur küngas keset lagedat ala, olles tuultele ning vihmaveele avatud, seetõttu on erosiooni oht suur (Flower *et al.* 1981) ning kui suletud prügilat kuidagi muul otstarbel kasutusele ei võeta (parklana vms), tuleb see võimalikult kiiresti haljastada (Prügilate rajamine... 2004).

Lisaks aitab haljastus tasakaalustada vee hulka prügila kihtides. Seda süsteemi kutsutakse ''käsna ja pumba'' (*sponge and pump*) mehhanismiks (Licht *et al*. 2001; Venkatraman and Ashwath 2009). Pinnase poorid hoiavad käsnana endas vett, mida taimed elutegevuseks kasutavad ning taimestik on kui pump, mis imab vee endasse ning läbi lehtede tranpiratsiooni jõuab vesi uuesti atmosfääri. Nii labori (Molz and Browning 1977; Venkatraman and Ashwath 2009) kui ka välikatsed (Ettala 1992; Dwyer *et al*. 2000) on näidanud, et tänu haljastusele ja evapotranspiratsioonile väheneb tunduvalt nõrgvee hulk ning seega ka võimalik keskkonnareostus.

Mitmete uurimuste kohaselt vähendab haljastus ka prügilagaaside hulka (Stalis-Pavese *et al.* 2004; Hrad 2010; Xiaoli *et al.* 2011). Esiteks aitavad taimed kaasa metaani lagundamiseks sobiva keskkonna loomisele, kuna nende juurestik parandab pinnase poorsust (Susarla *et al.* 2002; Li *et al.* 2016), õhustab kattepinnast, parandab vee ja prügilagaaside liikumist ning seeläbi soodustab metaanioksüdatsiooni (Susarla *et al*. 2002; Kriipsalu *et al.* 2016). Teiseks vähendavad taimed prügilast lenduva süsihappegaasi emissiooni, kuna kasutavad seda fotosünteesil (Licht *et al*. 2001; Hrad 2010; Xiaoli *et al.* 2011).

Lisaks eelnevatele põhjendustele on kõrghaljastatud prügila ka esteetilisem, suurendab bioloogilist mitmekesisust ning loob kohalikele loomaliikidele elupaiku (Chan *et al.* 1997; Licht *et al.* 2001; Venkatraman and Ashwath 2009).

Samuti on täheldatud, et alternatiivsed kattemeetodid (kaasa arvatud haljastatud metaanilagunduskihiga kaetud prügilad) on soodsamad kui traditsioonilised katteviisid, vähendades pikaajaliselt prügila sulgemisega seonduvaid kulutusi (Dwyer *et al*. 2000; Licht *et al*. 2001; Susarla *et al*. 2002; Bulc 2006; Nagendran *et al*. 2006).

1.2.2. Prügila haljastamist mõjutavad tegurid

Peamised prügila haljastamist mõjutavateks teguriteks on prügilagaasid (Flower *et al*. 1981; Xiaoli *et al*. 2011), kattepinnase vähene hapnikusisaldus (Valmis and Davis 1944; Flower *et al*. 1981), vähene toitainesisaldus (Tchobanoglous *et al.* 1993), kattekihi vähene veesiduvuse võime ja madal veesisaldus, pinnase kõrgem temperatuur, kehv struktuur ja juurtele ebasobiv tihedus (Flower *et al*. 1981; Tchobanoglous *et al.* 1993).

Gaasid

Prügilagaaside koostis sõltub jäätmete lagunemisastmest ja hapniku ning niiskuse olemasolus. Peale prügila korrastamist ning katmist, hakkab aja jooksul gaaside koostis muutuma. Kuid tavaliselt moodustab orgaaniliste jäätmete lagunemisel tekkivast gaasist erinevate uurimuste andmeil 45-64 % metaan ning umbes 40-60 % süsihappegaas (Flower *et al*. 1981; Tchobanoglous *et al.* 1992; Dobson and Moffat 1995). Lisaks leidub prügilagaasis 2-5 % lämmastikku, vähesel määral kloori-, floori- ja väävliühendeid ning kantserogeenseid aineid (Tchobanoglous *et al.* 1993).

Prügilagaas mõjutab seda, kui sügavale kattekihti suudab õhuhapnik tungida ning kui prügilagaaside kontsentratsioon pinnases on suur, võib kogu kattekiht muutuda anaeroobseks (Flower *et al*. 1981). Puud aga kasvavad sellistes tingimustes halvasti ning kui anaeroobne keskkond juuretsoonis on püsiv, siis puud hukkuvad. Puude suremust võivad põhjustada nii hapnikupuudus juuretsoonis kui ka süsihappegaasi ja metaani liig (Flower *et al*. 1981; Dobson and Moffat 1995; Nagendran *et al.* 2006).

Vastupidavus gaaside hulgale või puudusele oleneb suuresti puuliigist. Valmis and Davis (1944) kohaselt kahjustab O_2 puudus juuretsoonis taimede kasvus tunduvalt rohkem, kui CO_2 liig, kuna hapnikupuudus stimuleerib juurte kudedes toksiliste ühendite teket. Teisalt Nagendran *et al.* (2006) väitel mõjuvad just CO_2 kõrged kontsentratsioonid juurtele toksiliselt ning seda ka juhul, kui pinnase hapnikusisaldus on piisav.

Taimedele eluks vajaliku hapniku sisalduse protsent pinnases oleneb lisaks konkreetsest liigist ka pinnase temperatuurist (Rajappan and Boyton 1956) ning pinnase tihedusest (Giller and Miller 1956). Mida kõrgem temperatuur ja tihedam pinnas, seda rohkem hapnikku taim kasvuks vajab. Üldjuhul on prügilad soojemad kui tavapinnas (Flower *et al.* 1981), mis on tingitud metanotroofide elutegevusest, kuna metaani lagundamine on

eksotermiline protsess (Kriipsalu *et al.* 2016). Pinnase kõrgenenud temperatuur võib aga taimedes stressi tekitada (Flower *et al.* 1981).

Niiskus

Xiaoli *et al.* (2010) poolt läbiviidud uurimustulemustes järeldati, et kõige olulisemaks haljastust mõjutavaks teguriks on pinnase veesisaldus.

Flower *et al.* (1981) kohaselt mõjutab kattekihi niiskust nii pinnase tüüp kui ka tihedus, kuid üldiselt on prügila pinnas kuivema iseloomuga, kui sama pinnas looduslikes tingimustes, kuna gaasijaotuskihi või muude suurema struktuuriga kihtide tõttu on prügilademest tuleva vee kapillaartõus katkestatud, ning kuivematel perioodidel ei tõuse niiskus kattepinnase ülakihti. Teisalt on prügilagaas niiske ning gaasi väljumisel prügilast võib vesi kattekihi ülaosasse kondenseeruda. Niiskuse säilimiseks on prügila haljastamiseks vaja piisavalt tüsedat kattepinnast, mis peaks Dobson ja Moffati (1995) hinnangul olema vähemalt 1,5 m paksune. Sellisel juhul on sobivate omadustega pinnas võimeline hoidma endas taimede eluks piisavas koguses vett, toitaineid ning pakub juurestikule kasvuruumi. Xiaoli *et al.* (2010) teostatud uurimuses täheldati, et mida paksem oli kattekiht, seda rohkem niiskust suudab see endas hoida. Samas piisas loodusliku haljastuse tekkimiseks ka vähemalt 0,5 m paksusest kattekihist.

Vee koostis

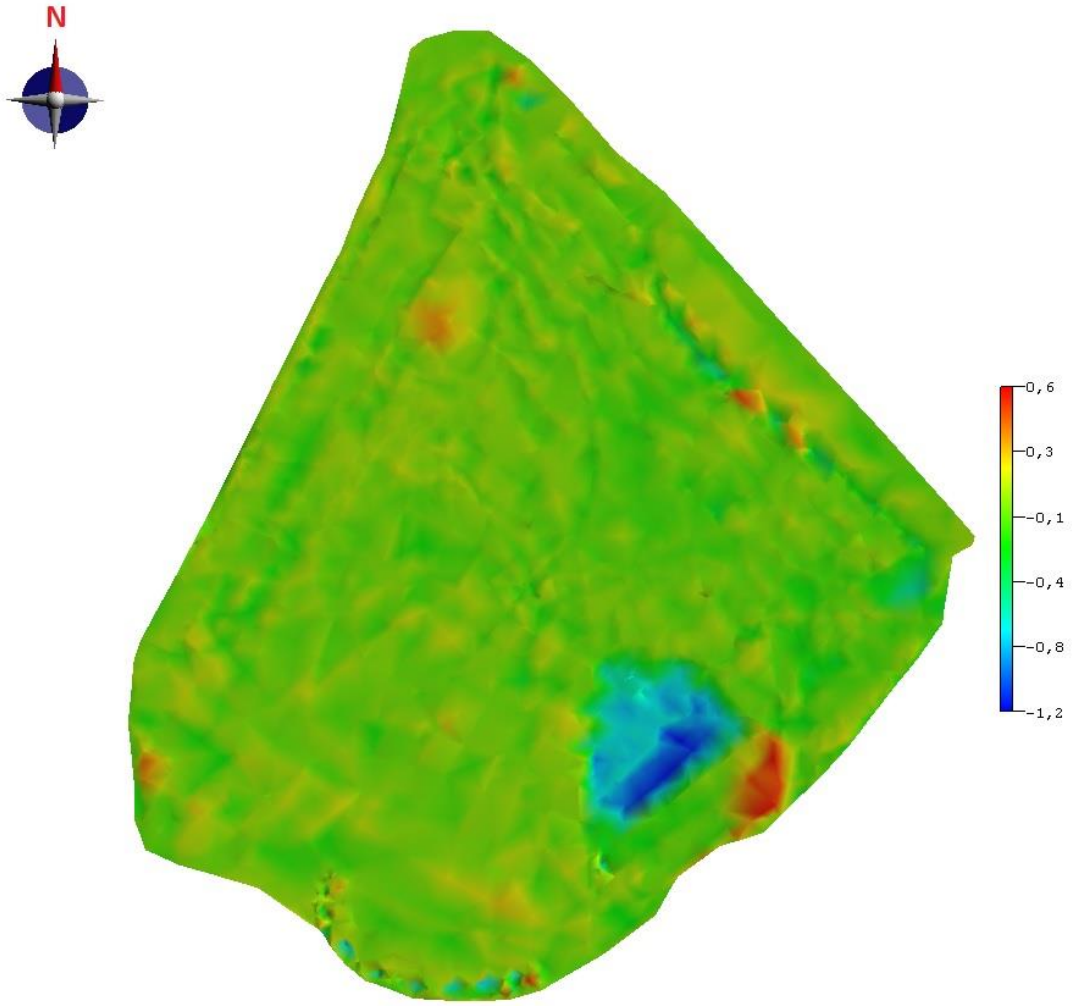
Prügila kattekihis olev vesi ei ole päris puhas. Selles võib olla ka lahustunud gaase (nt metaani). Seega vee olemasolu üksi ei taga, et see puudele sobib. Vee koostise uurimine aga ei olnud selle töö eesmärk seega tuleks edaspidid seda uurida.

Kattekihi tihenemine ning muutused prügimäe stabiliseerumisel

Prügila katmisel võib probleemiks osutuda kattekihi liigne tihenemine tallamise käigus, kuna katmistööde ajal sõidavad mäel rasked masinad. Olukorda parandaks istutuseelne pinnase kobestamine (Dobson and Moffat 1995) ning orgaanika lisamine (Flower *et al.* 1981).

Ka tuleb arvestada värskelt suletud ja korrastatud prügilas aja jooksul toimuva pinnase tihenemisega. Iirimaa Keskkonnakaitseagentuuri poolt koostatud prügila majandamise käsiraamatus (Landfill manuals... 1999) ning raamatus *Environmental Engineering* (2003)

on välja toodud, et prügilademe intensiivnse vajumine toimub esimese 5 aasta jooksul peale suletud prügila korrastamist ning olenevalt ladestatud jäätmete koostisest võib mäe kõrgus väheneda 10-30 % võrra. Böckleri ja Keskküla (2015) poolt tehtud Kudjape prügila mõõtmiste tulemustest selgus, et prügilas võivad lisaks pinnase vajumistele esineda ka pinnase kerkimist (joonis 1.3). Suurimad muutused toimusid mäenõlvadel. Esimesel aastal oli vajumeid maksimaalselt 1,2 m ja kerkimist 0,6 m ulatuses. Mäe tasasematel aladel jäid muutused 0,1 m juurde (Böckler and Keskküla 2015).



Joonis 1.3. 2014. aasta kevadel ja sügisel teostatud mõõtmiste põhjal valminud kaart Kudjape prügimäe vajumistest ja kerkimistest, mõõtühik: m. *Allikas:* (Böckler, Keskküla 2015)

Kattekihi füüsikalis-keemilised omadused

Kattekihi füüsikalis-keemiliste omaduste seisukohalt peab Rawlinson *et al.* (2004) kõrget pH väärtust puude kasvu kõige pärssivamaks teguriks. Kuna metaanilagunduskihis on vajalik metanotroofidele sobiliku keskkonna loomine, on Humer-Huber (2009) järgi soovituslik hoida pH vahemikus 6,5-8,5. Wang *et al.* (2011) uurimuse kohaselt väheneb metaani oksüdatsioon tunduvalt, kui pH langeb alla 6,4 ning nende elutegevuseks on optimaalne pH väärtus vahemikus 6,7-7,9.

Selline kattekihi happesus ei ole aga puude kasvuks kuigi sobiv, sest enamik Eestis kasvavaid puuliike eelistavad happelisemaid muldasid. Okaspuud ja kased kasvavad paremini mõõdukalt happelise reaktsiooniga (pH 4,6-5,5) ning kõvalehtpuud nõrgalt happelise (pH 5,6-6,5) kuni neutraalse (pH 6,6-7,2) reaktsiooniga muldades (Abiks metsakasvatajale 2006). Mulla reaktsiooni happelisemaks muutmine on aga kulukas ja keeruline tegevus, mille puhul tuleks kasutada hapusid väetiseid (Abiks metsakasvatajale 2006).

Elektrijuhtivus

Suurenenud elektrijuhtivus viitab pinnase suuremale soolsusele ning see võib negatiivselt mõjutada puude kasvu. Soolsus võib olla tingitud saastunud pinnasest (üleliigne väetamine, teede soolamine), kuid seda põhjustab ka sademete vähesus, mil pinnases olevate soolade hulk muutub kontsentreeritumaks. Soolsuse kasvades võivad puude juured surra ning seeläbi väheneb vee ning toitainete omandamise võime, mis omakorda pärsib puu kasvu. Soolakahjustuste välisteks tunnusteks on okaspuudel pruunistumine, millele järgneb okaste varisemine ning tugevamate kahjustuste korral hukkumine. Ka on täheldatud, et soolasel pinnasel võivad puude pungad hävida ning seejäärel hakkavad oksad arenema arvukatest lisaungadest, mistõttu puudele tekivad nõialuua sarnased oksakimbud (Haljasalade kasvupinnased... 2011).

Olenevalt taimeliigist, peaks kasvupinnase elektrijuhtivus jääma vahemikku 0,5-6 mS/cm (Haljasalade kasvupinnased... 2011).

1.2.3. Prügilast mittetulenevad keskkonnamõjud puudele

Lisaks prügilale omastele kasvutingimustele, mõjutavad puude kasvu ja säilivust ka mitmed tüüpilisemad keskkonnategurid (Metsamajanduse alused 2011) ning olenevalt

liigist taluvad puud neid erinevalt. Siinkohal tuuakse välja tähtsamad mõjurid, millega tuleb arvestada eelkõige Kudjapele istutatud hariliku kuuse (*Picea abies*) ja euroopa lehise (*Larix decidua*) seisukohast.

Valgus

Üldiselt jagunevad puud valguse nõudlikkuse järgi kahte klassi: varjutaluvad ning mittetaluvad liigid. Varjutaluvust sõltub ka taime vanusest, kasvukohast jt teguritest. Varju mittetaluvate liikide hulka kuuluvad näiteks lehised, arukask ja harilik mänd. Varjutaluvate liikide hulka aga näiteks harilik kuusk, harilik pärn ja harilik vaher (Metsamajanduse alused 2011). Kuigi noores eas talub harilik kuusk hästi varju, siis edasise hea kasvu muutub ka kuusk valguse suhtes nõudlikumaks (Laas 2004).

Temperatuur

Esmalt mõjutab soojus puude vegetatsiooniperioodi, sest puude kasvufaas algab olenevalt liigist alles siis, kui keskmine õhutemperatuur on jõudnud sobivale tasemele. Puujuurte kasv, kui mulla temperatuur on 3-5 °C (Metsamajanduse alused 2011).

Puude kasvu seisukohalt tekitavad kahjustusi liiga kõrged ja liiga madalad õhutemperatuurid taime vegetatsiooniperioodil ning sügisel, talvel ja kevadel tekitab enam kahjustusi temperatuuri suur kõikumine. Harilikku kuuske kahjustavad ka kevadised hiliskülmad (Metsamajanduse alused 2011).

Soojad ja põuased suved ning eriti sügisene pikk kuivaperiood ei lase puudel talveks ettevalmistuda ning see võib põhjustada puude suremise.

Miinuskraadidest tulenevad levinumad kahjustused on (Metsamajanduse alused 2011):

- ärakülmunud võrsed;
- talvine põud. See ohustab sügavalt külmunud muldadel kasvavaid okaspuid lumevaestel päikeselistel talvedel, mil lumikatteta puudel on päikese tõttu transpiratsioon suurenenud ning pinnasest ei saada piisavalt niiskust.
- külmakergitus ehk –kohrutus. Selle all kannatab enam kuusk, kui kasvukoht on raskema lõimisega ning juurestik on pinnapealne ja nõrk.

Niiskus

Vesi on puudele nagu ka paljudele teistele elusorganismidele väga oluline. Taimed koosnevad 60-85 % ulatuses veest ning normaalseks elutegevuseks on vajalik optimaalne veesisaldus. Puud toituvad läbi juurte, mis omastavad mulla vesilahustest toitaineid (Metsamajanduse alused 2011).

Vee puuduse korral häirub kogu puu elutegevus ning pikaajalise põua tagajärjel taim hukkub. Täheldatud on ka seda, et isegi põuasele suvele järgnenud heade tingimustega aastal võib puude juurdekasv olla madal (Metsamajanduse alused 2011).

Nagu valgusegi puhul on puud kohastunud erinevates tingimustes kasvamiseks, seega jaotatakse puuliigid niiskuse nõudlikkuse suhtes kolme rühma: hüdrofüügid – suudavad kasvada niisketes oludes (nt harilik mänd ja sookask), mesofüüdid – kasvavad parasniisketel muldadel (nt arukask, harilik haab, kuusk, lehised) ning kserofüüdid – kohastunud kuivades tingimustes kasvamiseks (nt harilik mänd, harilik kadakas) (Metsamajanduse alused 2011).

1.2.4. Kõrghaljastuse valik rekultiveerimistöödel

Eduka haljastamise kõige olulisem aspekt on õige puuliigi valik vastavalt kasvukoha tingimustele, olgu selleks siis metsamaa, põllumaa või suletud prügila (Laas 2001; Venkatraman and Ashwath 2009).

Laas (2001) on välja toodud peamised kriteeriumid puuliikide valikul. Olulisimad asjaolud on mulla niiskus, viljakus ja happelisus, mis omakorda on seotud mulla lähtekivimi ning lõimisega. Samuti tuleb arvestada puude varjutaluvusega. Metsamaa uuendamisel on sobiva puuliigi valikul võimalik abi saada Erich Lõhmuse õpikust ’’Eesti metsakasvukohatüübid’’ (2006), kus on välja toodud kõik Eestis esinevad kasvukohatüübid koos neile kõige omasemate puuliikidega. Lisaks on antud soovitusi kuidas kasvukohatüüpi määrata.

Põllumaa metsastamisel tuleb aga arvestada hoopis teistsuguste mulla füüsikaliste ja keemiliste omadustega. Pidevalt haritud, väetatud, lubjatud või kuivendatud maadel kasvavad puud on enamasti madalajuurelised. Ka on põllumuldades ohtralt umbrohuseemneid. Seetõttu on parim aeg maa kultiveerimiseks vahetult peale põllumaa kasutamise lõppu, mil pind on kobe ning tänu maaharimisele umbrohuvaba (Laas 2001).

Põllumaade puhul on parimaks puuliigiks pakutud kodumaine harilik kuusk (*Picea abies*), kuna selle kasvamaminek on kiiresti rohutvatel aladel kiireim.

Võõrliikidest sobib Eestis metsastamiseks lehis (Laas 2001), mis kasvab hästi kerge lõimisega viljakatel parasniisketel muldadel, eriti künklikul reljeefil. Ja kuigi lehis on külmakindel ja kiirekasvuline puuliik, ei ole väljaspool areaali mõistlik seda kehvadele kasvukohtadele kultiveerida (Lehis – metsa-.. 2004).

1.2.5. Kõrghaljastuse valik prügilas

Eestis ei ole puude kasvatamist prügila tingimustes uuritud, seega ei ole ka infot, milliseid kodumaised puuliike tuleks kasutada, kuid maailmas läbiviidud uuringute põhjal on võimalik teha järeldusi ning leida parimaid võimalikke liike.

Chan *et al.* (1997) poolt Hong Kongis läbi viidud katsete tulemustes toodi välja, et suletud prügilad võivad olla väga heaks elukeskkonnaks võrreldes sarnase kattekihiga jäätmaadele. Katsetest tulenes, et suletud prügilad osutusid nii fauna kui floora poolest bioloogiliselt palju mitmekesisemateks kui võrdlusesse võetud kontrollalad. Siiski pöörati tähelepanu sellele, et prügilates kasvavad taimed olid oma loomult vastupidavamad ja tolerantsemad prügilagaaside ning nõrgvee kahjulikule mõjule. Eriti toodi välja liblikõieliste taimede sobivust.

Sarnaselt eelnevale leidsid ka Kudjape suletud prügilas taimkatteuuringut teostanud Saarema kooliõpilased, et prügila metaanilagunduskattega pinnasel oli liigirikkus suurem võrreldes mineraalpinnasega analüüsiruutudel (Orb and Sai 2015).

Üldiselt on parimaid tulemusi prügilate haljastamisel saavutatud kohalike taimedega, seetõttu on erinevates piirkondades läbi viidud uurimuste tulemustel esile tõstetud mitmeid liike.

Inglismaal (Rawlinson *et al*. 2004) läbi viidud uuringu kohaselt, kus katsetati 21 erineva puuliigi kasvamist vanades suletud prügilates, leiti, et kasutatud liikide seas andsid paremaid tulemusi kohalikud liigid (võrreldes eksootilisematega), lehtpuud (võrreldes okaspuudega) , põõsad (võrreldes puudega) ning suktsessioonis hilisemad liigid (võrreldes pioneeri liikidega). Siiski tuleb täpsustada, et antud katses oli 21 taimeliigi seast vaid kaks okaspuuliiki ning kaks põõsa liiki. Täpsemalt toodi välja parimaid tulemusi näidanud

Fraxinus excelsior, Quercus petraea, Malus sylvestris, Sorbus aucuparia, Acer pseudoplatanus, Crataegus monogyna, Alnus glutinosa, Prunus padus ja *Prunus spinosa.*

USA-s kasutusel oleva puudeistutamise süsteemi *Ecolotree Cap* (*ECap*) kohaselt soovitavad Lich *et al.* (2004) prügilatesse istutada näiteks sügava juurestikuga hübriidhaaba (*Populus spp*). Sellisel juhul eeldatakse, et lõpuks, kui prügila pinnase toksilisus ning anaeroobsus on vähenenud, tungib juurestik kuni prügini välja.

Haava sobivust on soovitanud oma uurimuses ka Reese *et al.* (2013), kus katse tulemustest lähtub, et hübriidhaab suudab kasvada boori ning raskmetallidega saastunud paberivabriku jäätmete prügilas. Ühtlasi toimib haab seal fütotervendajana, akumuleerides endasse pinnases olevaid raskmetalle.

Guidi *et al.* (2008) viisid läbi katsed lüsimeetris, kus võrreldi haava ja paju evapotranspiratsiooni võimet. Pinnase pH oli 8,2 ning puid niisutati nõrgveega. Tulemuste kohaselt on mõlemad liigid sobilikud nõrgvee puhastamiseks ning evapotranspiratsiooni suurendamiseks.

Ettala (1992) katsetes on häid tulemusi näidanud *Salix* spp, mida on prügilates kasutatud lühikese rotatsiooniga energiavõsana. Pajud on näidanud head vastupidavust prügilagaaside suhtes.

Flower *et al.* (1981) läbi viidud uuringus USA-s New Jersey's, võrreldi 17 puuliigi kohanemisvõimet prügila tingimustes. Katses istutati puud nii prügilasse kui kontrollalale ning selgus, et parimaid tulemusi näitasid Jaapani must mänd (*Pinus thunbergii*) ja harilik kuusk (*Picea abies*). Mõlemale on omane pinnalähedane juurestik, tänu millele puutuvad juured vähem kokku sügavamale kihtidesse kontsentreerunud mürgiste ja kasvu pärssivate gaasidega. Ühtlasi toodi välja, et nii ei kahjusta juurestik sügavamal paiknevat veetihedat kihti.

Hiina tingimustes on Xiaoli *et al.* (2011) uurimuse kohaselt vastupidavaimaks taimeliigiks kujunenud mitmeaastane pilliroog *Phragmites australis.*

Istutamine ja hooldamine prügilas

Kuigi suletud prügila tuleb erosiooniohu vähendamiseks haljastada koheselt peale korrastustööde lõppu, võiks kõrghaljastuse istutamisega paar aastat viivitada, et mägi

korralikult vajuks ning esmased vajumised ja paisumised oleksid toimunud. Sel viisil ei kahjusta need muutused kasvavate puude juuri ning ühtlasi on võimalik mäel veel täiendavaid korrastustöid teha, ilma et puud veokeid või rasketehnikat segaksid või viga saaksid (Flower *et al.* 1981; Landfill manuals... 1999).

Ka annab selline ootamine võimaluse valida istutamiseks sobivaimad kohad. Vältida tuleks puude istutamist prügilas aladele, kus on näha surnud haljastust või paljast pinnast, kuna need viitavad gaasiprobleemidele (Dobson and Moffat, 1995). Kui prügila korrastustööde käigus või juba prügila kasutamise ajal on võimalik eraldada jäätmed vastavalt koostisele ning luua piirkondi, kuhu biolaguevaid jäätmeid ei ladestada, parandaks see prügilagaaside puudumise tõttu oluliselt puude kasvutingimusi (Flower *et al.* 1981; Tchobanoglous et al., 1993).

Eduka haljastamise osaks on ka kvaliteetse istutusmaterjali valik. Lisaks taimlas tehtavale selekteerimisele, kus valitakse välja kõlblikud istikud, tuleb neid enne istutamist ka õigesti hoiustada, et vältida nende kuivamist (päikese ja tuule kätte jäetud paljasjuurelistel taimedel võivad juured kuivada juba paari minutiga!) (Laas 2001). Võimalusel tuleks valida ka pigem väiksemad puud, sest need suudavad paremini uute tingimustega kohaneda. Suuremate puude juured on juba istutamise hetkel sügavamal ning surevad prügilagaaside tõttu, kuna ei suuda piisavalt kiiresti pinnalähedasi juuri kasvatada (Flower *et al*. 1981). Samas tuleb nooremate ja väiksemate puude istutamisel pöörata rohkem tähelepanu hooldusele, et vähendada umbrohtude ja nendest tuleneva konkurentsi negatiivseid mõjusid (Laas 2001; Rawlinson *et al*. 2004).

Kui sobiv istutusmaterjal on valitud, tuleb arvestada ka õige istutusajaga. Varapuhkevad puuliigid nagu lehis, arukask ja mänd vajavad eelisjärjekorras istutamist. Järgmisena (mai esimesel poolel) võivad tulla harilik kuusk, ebatsuuga jt hiljem puhkevad liigid. Harvem tehakse hiliskultuurina hariliku kuuse istutamist augusti keskpaigast kuni septembri keskpaigani (Laas 2001).

Veel soovitatakse prügilate haljastamisel istutada puud koos juurepalliga, puud toestada ning kuivematel perioodidel puid niisutada. Valida tuleks puuliigid, mis ei kasva liiga kõrgeteks, kuna prügilad on enamasti tuultele avatud ning seetõttu võib madala juurestikuga puude puhul esineda palju tormiheidet (Flower *et al*. 1981; Dobson and Moffat 1995).

Istutamise järgselt vajavad puud korralikku järelhooldust veel umbes 10 aastat. Eriti esimestel aastatel on mäe regulaarne niitmine ning umbrohutõrje olulised, et vähendada konkurentsi toitainetele, niiskusele ja valgusele ning vajadusel pakkuda noortele puudele kaitset näriliste jm loomade eest (Landfill manuals... 1999). Ka on tähtis surnud puude asendamine esimesel võimalusel (Landfill manuals... 1999; Laas 2001).

1.3. Näiteid prügilate ja tuhamägede haljastamise kohta

Maailmas on teada mitmeid näiteid, kus suletud prüglaid on kujundatud nii ökoaladeks, metsadeks kui vaba aja veetmise keskusteks.

Inglismaal muudeti Bromborough prügila 35 ha suuruseks pargiks (*Port Sunlight River Park*). Prügila on kaetud geomembraani ja sellel lasuva 1 m kattepinnasega ning sinna on istutatud üle 12 000 puu (Port Sunlight ... 2016). Goemembraani olemasolu viitab ka sellele, et prügilas on gaasikogumistorustik.

USA-s Chandleris on endise suletud prügila peale ehitatud Paseo Vista puhkeala. Prügila kaeti Ameerika Ühendriikide Keskkonnaagentuuri nõuete kohaselt savi ja kattepinnasega. Prügila sulgemise nõuete, prügila võimaliku vajumise ning drenaaži probleemide tõttu ei loodud puhkealale spordiväljakuid, suurt niisutamist vajavaid rohealasid ega istutatud suuri puid (Paseo Vista 2009).

Rootsis on mitmed vanad suletud prügilad puhkealadeks kujundatud, näitkes Malmös (joonis 1.4) ja Lundis (joonis 1.5).

Joonis 1.4. Puhkealaks kujundatud endine prügila Malmös, Rootsis. *Allikas:* (Kriipsalu)

Joonis 1.5. Puhkealaks kujundatud endine prügila Lundis, Rootsis. *Allikas:* (Kriipsalu)

Eesti näitel on olmeprügilate sihipärasest haljastamisest puudega vähe näiteid. Enamik suletud prügilad on korrastamistööde käigus kaetud vaid heintaimedega nagu näiteks Sillamäe prügilas (joonis 1.6). Kõrghaljastus on istutatud näiteks Kudjape prügilas.

Joonis 1.6. Sillamäe suletud ja haljastatud prügila, september 2014. Allikas: KIK

Küll aga on pikaajaline kogemus tuhamägede kõrghaljastamisega. Kohtla-Järvel alustati poolkoksimägede haljastamisega juba 1970. aastal ning 40 aastaga istutati sinna üle 160 000 puu ja põõsa, millest 26 liiki olid võõrliigid ning 8 kodumaised. (Sepp *et al.*

2010). Aastaks 2010 oli mitmesuguste projektide käigus haljastatud ligi 60 hektarit ning lisaks oli üle 20-hektariline ala looduslikult haljastunud.

2004. ning 2006. aasta suvel läbiviidud Kohtla-Järve poolkoksimägede taimkatte uuringus selgus, et kõige rohkem esines mägedel arukase (*Betula pendula*) puistuid. Teisel kohal oli arvukuselt palsamipappel (*Populus balsamifera*), mida leidub ka looduslikult tuhamägede ümbruses. Küll aga täheldati, et mägedel kasvavatel, üle 20-aastastel paplitel esines palju kuivanud ladva või tüvemädaniku tunnustega puid ning palju oli ka surnud puid (Sepp *et al.* 2010).

Põõsarindes leidus nii arukaske, palsamipaplit, harilikku haaba (*Populus tremula*) kui ka looduslikult mäele levinud paju (*Salix spp.*), mis kasvas seal hästi (Sepp *et al.* 2010).

Euroopa Liidu direktiivi (1999/31) nõudel tuli aga Eesti tuhamäed nõuetekohaselt korrastada aastaks 2013 ning sulgemisprojekt nägi ette nõlvade tasandamist, vettpidava kihi ja pinnasega katmist ning haljastamist (Sepp *et al.* 2010).

Kohtla-Järve poolkoksiladestute korrastustööde käigus mäed tasandati, kaeti 0,5 m paksuse tihendatud värske poolkoksikihiga, mis muutub tsementeerudes vettpidavaks kihiks. Seejärel kaeti mägi kasvupinnasega. Hüdrokülviga kaeti 60 hektari suurune ala heintaimedega ning 24 hektarile istutati arukaske (*Betula pendula*), sest senised kogemused on nende vastupidavust tõestanud. Haljastatud nõlvad on näha joonisel 1.7 (Käärt 2010; Tööstusjäätmete ja... 2014)

Joonis 1.7. Kohtla-Järve haljastatud poolkoksi tuhamäed. *Allikas:* (AS Merko 2016)

Kiviõlis muudeti peamiselt tootmisjääkidest, poolkoksist ja koldetuhast koosnev mägi Eesti suurimaks seiklusspordikeskuseks (Keskkonnatehnika 2009). Praeguseks on 80 ha suurusele alale loodud maailmatasemel tervise-, suusa-, moto-, ratta- ja seiklusspordi võimalusi pakkuv keskus (Kiviõli Seikluskeskus). Joonisel 1.8 on nähtav ka aerofoto mäe tõstukipoolsest küljest.

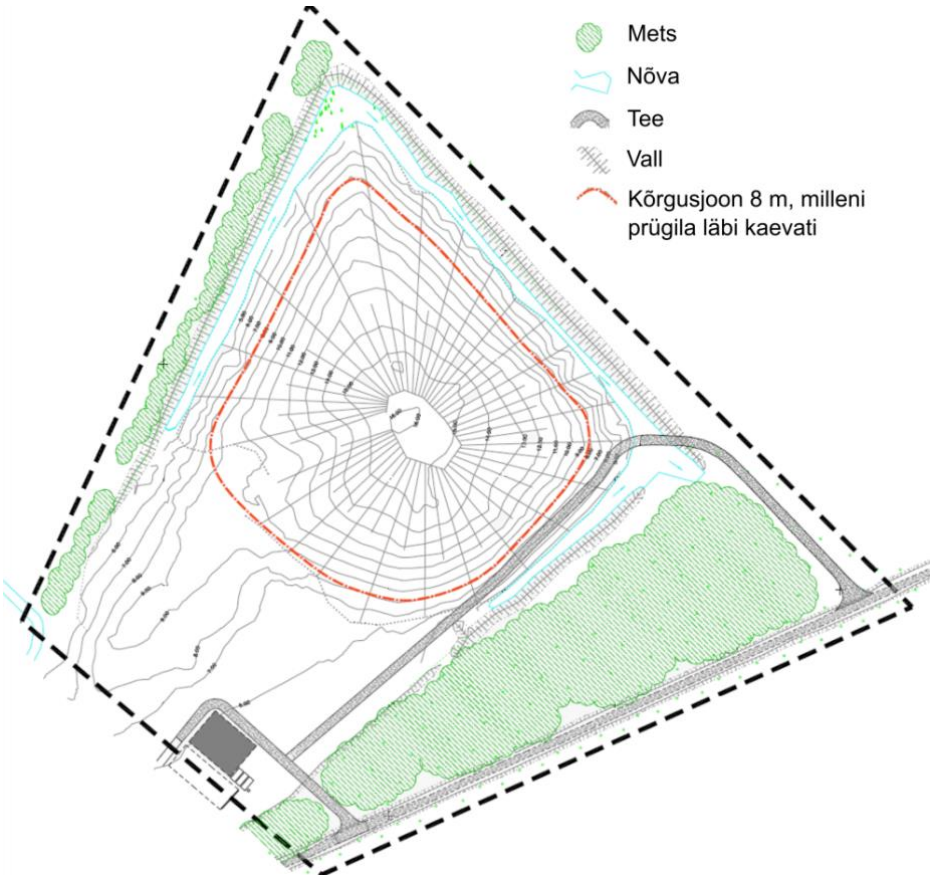
Joonis 1.8. Kiviõli Seikluskeskuse tuhamäe tõstukipoolne nõlv. *Allikas:*(Kiviõli Seikluskeskus 2016)

Korrastustööde käigus kujundati 110 000 m^3 suurune mägi ümber, haljastati 100 m kõrgused nõlvad ning loodi erinevad spordirajad. Haljastamisel kasutati hüdrokülvi, nõlvad kaeti kasvupinnasega ning taimekasvu parandamiseks veeti 13 ha ulatuses ka savipinnast. Mäele istutati 1400 mägimändi (Treial 2009).

1.4. Prügila katmine ja haljastamine Kudjape näitel

Kudjape 5,16 ha suurune prügila paikneb Saaremaal Kaarma vallas Kudjape alevikus. Tinglikult võib prügila jagada uuemaks (2,7 ha) ja vanemaks osaks (1,5 ha). Nagu kõik teisedki endisaegsed Eesti prügilad, oli Kudjape prügila vaja sulgeda, kuna see ei vastanud keskkonnaministri määruse (Prügilate rajamise... 2004) nõuetele.

Prügila esialgne sulgemisel plaanitud kavand on joonisel 1.9 ning selles nähti ette prügila sulgemist tüüpilisel moel, kus prügi mägi vormitakse kuplikujuliseks, kaetakse tüseda savika mineraalpinnasega ning ümbritsetakse aiaga.



Joonis 1.9. Kudjape prügila esialgselt kavandatud kujundus. *Allikas:* (Kriipsalu *et al.* 2016)

Tööde käigus aga leiti, et prügila mäge, kui piirkonna kõrgeimat tippu (17 m), võiks kasutada lähedal asuvate terviseradade laiendamiseks ja rajaprofiili mitmekesistamiseks. Nii loodigi mäele hoopis vaba aja veetmise keskus, mille lõplik kujundus on joonisel 1.10. Seal on sportimiseks jooksu- ja suusarajad, lastele kelgumägi ning mõnus piknikunurk (Kriipsalu 2013).

Joonis 1.10. Kudjape prügila kujundus vaba aja veetmise keskusena. *Allikas:* (Kriipsalu *et al.* 2016)

Eriliseks teeb Kudjape prügila asjaolu, et kattekihi moodustab prügilast endast väljasõelutud peenfraktsioon. Selline otsus tehti sulgemisprojekti muudatusega (Kudjape prügila... 2010), kuna vajatud mahus sobivat materjali ei olnud kusagilt võtta (Kriipsalu 2013).

Lõpliku sulgemiskava (Kudjape prügila... 2010) kohaselt on Kudjape prügila kaetud metaanoksüdatsiooni biofilter-kattekihiga, mille paksus ladestusala vanemas osas (1,5 ha) on 0,5 m ja uuemas osas (2,7 ha) vähemalt 1,2 m. Metaanilagunduskatte kihi alla on laotatud 0,5 m paksune mineraalne gaasijaotuskiht.

Kudjape prügila maastikukujunduse projekti koostas Liis Koppel ning tema projekti põhjal kaeti kogu ala kõrg- ja madalhaljastusega, mis toimib kattepinna stabiliseerijana ning ilmestab maastikku (Kriipsalu 2013). Prügila alale istutati hüdrokülviga heintaimedesegu, istutati madalamaid põõsaid (verev kontpuu, harilik kuslapuu, must leeder, pilliroog) ning kõrghaljastusena harilik kuusk (*Picea abies*), euroopa lehis (*Larix decidua*), harilik vaher (*Acer platanoides*) ja pensilvaania saar (*Fraxinus pensylvanica*). Istutamisel lisati kõikidele puudele nummerdatud lipikud. Puu ja põõsaliikide valikul lähtuti eelkõige maastiku ilmestamisest ning ilust, mitte liikide sobivusest prügila tingimustes kasvamiseks.

Joonisel 1.10 on näha ka istutatud taimede visuaalne paiknemine jaotatuna üldiselt puudeks ning põõsasteks.

2015. aastal teostasid Saaremaa kooliõpilased Kudjape prügilas taimkatte uuringu, millest selgus, et taimestik oli üsna liigirikas ning nii keskmine liikide arv kui ka keskmine üldkatvus olid metaanilagunduskattega pinnasel suuremad kui mineraalpinnasel. Kõikidest analüüsiruutudest leiti hüdrokülviga külvatud liike: aasristik (*Trifolium pratense*), karjamaa-raihein (*Lolium perenne*), harilik kerahein (*Dactylis glomerata*) aas-rebasesaba (*Alopecurus pratensis*), kuid mäele oli levinud ka looduslikke taimi, milledest peamiselt leidus jäätmaadele ja prügimägedele omaseid liike nagu harilikku puju (*Artemisia vulgaris*), harilikku kesalille (*Matricaria perforata*) ja harilikku hiirekõrva (*Capsella bursa-pastoris*) (Orb and Sai 2015).

Selles bakalaureusetöös keskendutakse istutatud taimedest kahe puuliigi – hariliku kuuse (*Picea abies*) ja euroopa lehise (*Larix decidua*) – kasvutingimuste uurimisele, kuna need on istutatud otseselt prügikeha peale. Prügikeha kõrvale on mineraalpinnasele istutatud ka kontrollpuud. Lisaks harilikule kuusele ja euroopa lehisele on kontrollalale istutatud ka harilik vaher ja pensilvaania saar, kuid nende kasvutingimusi selles töös ei käsitleta. Samuti on uurimisest välja jäetud mäele istutatud põõsad.

2. PUUDE KASVUTINGIMUSED KUDJAPE SULETUD PRÜGILA NÄITEL

2.1. Eesmärk

Kaks aastat peale Kudjape prügila katmistööde lõppemist ja puude istutamist täheldati puude suurt suremust. See võib olla tingitud nii ebatavalisest kasvukeskkonnast, kui ka muudest teguritest. Kudjape prügila metaanilagundus kattekiht koosneb 60 % ulatuses prügilast endast välja sõelutud peenfraktsioonist, seega oli vaja uurida, kuidas selline pinnas taimede kasvu mõjutab ning ka vastupidiselt, et kuidas taimed mõjutavad metaanilagunduskatet.

Selle bakalaureusetöö eesmärk on uurida suletud prügila metaanilagunduskatte sobivust puude kasvukeskkonnana.

2.2. Materjal ja metoodika

Esimesed mõõtmised Kudjape prügila kõrghaljastuse kohta tehti 2014 aasta sügisel ning mõõtmisi teostas Eesti Maaülikooli lektor Andres Jäärats koos tudengitega. Mõõdeti prügilasse istutatud harilike kuuskede ja euroopa lehiste kõrgused, juurdekasvud ning arvutati puude säilivus. Need mõõtmistulemused olid aluseks käesolevale uuringule.

Välitööd toimusid Kudjape prügilas oktoobris 14.-16.10.2016 ning tehti mitut sorti mõõtmisi. Esiteks mõõdeti üle kõigi Kudjape prügilasse istutatud puude kõrgused. Puude kõrguse mõõtmine toimus 3 meetrise lati abil. Mõõtmise meetod sõltus puu kõrgusest. Üle 3 meetri kõrguste puude puhul seisti puu kõrval, tõsteti lati ots puu ladvani, märgiti ära koht, kuhuni latt alates ladvast alla tüveni ulatus ning seejärel mõõdeti ära tüve pikkus märgistusest kuni maapinnani ning liideti saadud näidud kokku. Lühemate puude korral mõõdeti vaid puude juurdekasvu, et vähendada võimalikke mõõtmisel tekkivaid erinevusi eelneva aastaga. 2015 aasta puu kõrguse saamiseks liideti eelneval aastal mõõdetud puu kõrgusele oktoobris joonlauaga mõõdetud puude juurdekasvud.

Teiseks sai üle loendatud elusad ja surnud puud ning saadud andmete põhjal arvutati puude säilivus.

Kolmandaks mõõdeti iga puutüve vahetust lähedusest maapinna niiskus, milleks kasutati aparaati FieldScout TDR 300 (joonis 2.1). Aparaadil kasutati standard mõõterežiimi ning vardaid pikkusega 20 cm. Mõõtühik VW_c % (*volumetric water content*) (Spectrum Technologies 2016).

Joonis 2.1. FieldScout TDR 300. *Allikas:* (Spectrum Technologies 2016)

Iga puu juures korrati mõõtmist kolm korda ning aparaat määras ka proovide keskmise. Mõõtmised on tehtud võimalikult tüve lähedalt ning kolmest eri küljest.

Mudelite koostamisel on kasutatud ArcGis programmi ning nende koostamist juhendas Ottar Tamm. Kõikidel mudelitel on mäe aluspõhi, kõrgusjooned, 8 m joon (mille piires prügila läbi kaevati), teerajad, prooviaugud, Kudjapele istutatud puud. Mäe aluspõhja kihi andmed on saadud Böckleri ja Keskküla (2014) lõputööst, mille raames nad teostasid Kudjape prügilas geodeetilisi mõõtmisi. Kudjape prügila kaardistati siis kahel korral, 6 kuulise vahega ning koostati mudelid, näitamaks mäel toimuvaid muutusi, mida põhjustab prügilademe stabiliseerumine. Ühtlasi määrati ka kõikide istutatud puude koordinaadid, mis seoti vastava puu numbrilipikuga. Mudelitele kantud puude hulgas on näidatud vaid numbrilipikuga puud, kuna ilma selleta ei ole võimalik puud siduda vastavate koordinaatidega.

Laboriprotseduurid

Lisaks välitööde käigus tehtud mõõtmistele, võeti samal perioodil Kudjape prügilast pinnaseproove. Pinnaseproovid saadi mäele puuritud 29-st prooviaugust, mis paiknesid nelja kiirena üle mäe. Puurimistööd tehti Kaur-Mikk Pehme doktoritöö jaoks käesoleva töö autori kaasabil.

Pinnaseproovide alusel määrati Eesti Maaülikooli Bio- ja keskkonnakeemia laboris mulla elektrijuhtivus, pH, niiskuse ja kuivaine sisaldus (Kuldma 2016).

Elektrijuhtivus ja pH määrati kattekihi veeekstraktidest seadmega pH/Cond340i (WTW). Veeekstrakt valmistati viiest grammist mullaproovist ja 50 ml destilleeritud veest. Enne analüüsimist loksutati proove tund aega obitaalloksutil (GFL 3017) kiirusega 140 pööret minutis.

Kuivaine sisalduse määramiseks kuumutati proove 105 ˚C juures püsiva kaaluni.

Gaasid

Orgaaniliste jäätmede lagunemisel tekkinud gaasid, mis läbi kattekihi üles liiguvad, avaldavad puude kasvutingimustele mõju. Gaaside teket uuris magistritöö raames Merilin Heinsoo. Tema tulemuste põhjal valminud jooniseid on võimalik võrrelda hukkunud puude joonistega.

Statistiline analüüs

Statistiline analüüs teostati *MS Excel*-is, kus arvutati Kudjape prügilasse istutatud puude säilivus ning kõrguste ja juurdekasvude keskmised.

2.3. Tulemused ja arutelu

2.3.1. Kattekihi omadused

Kudjape prügila metaanilagundava kattekihi materjal koosneb 60% ulatuses prügilast endast kaevandatud ja sõelutud peenfraktsioonist, 20% reoveesettekompostist ja 20% ulatuses mineraalpinnasest (Pehme 2013). Sellise koostiseni jõuti läbi mitmete segude analüüsimisega, võttes arvesse Keskkonnaameti poolt kehtestatud nõudeid (Keskkonnaamet 2011) ning Humer-Huber (2008) uuringu soovitusi (Pehme 2013).

Nii väljasõelutud peenfraktsiooni kui ka maha pandud kattekihi keemilis-füüsikalisi omadusi on järjepidevalt analüüsitud, et uurida võimalikke muutusi ning veenduda kattekihi toimimises. Tabelis 1 on välja toodud Kudjape prügila peenfratsiooni ning kattekihi keemilis-füüsikalised omadused aastatel 2013-2014. Analüüsitud on elektrijuhtivust, pH-d, veesisaldust ning orgaanilise aine sisaldust (tabel 2). 2015. aasta analüüside tulemused on täpsemal kujul lisas 1.

Tabel 1. Kudjape prügilast välja sõelutud peenfraktsiooni ning maha pandud kattekihi keskmised keemilis-füüsikalised omadused 2013-2015. Allikas: (Sapelkova 2014; Kuldma 2016)

		Elektrijuhtivus (mS/cm)	pH	Veesisaldus (%)	Orgaanilise aine sisaldus (%)
Peenfraktsioon		2,62±1,05	7,82±0,21	33,90±2,83	18,84±2,45
Kattekiht	2013	1,13±0,47	7,54±0,06	30,26±1,00	13,81±1,94
	2014	0,87±0,29	7,92±0,07	28,96±2,71	11,08±1,76
	2015*	0,88	7,65	19	-

**2015. a. tulemuste keskmised on arvutatud 30 cm sügavuselt võetud proovide kohta*

Peenfraktsiooni segamisel reoveesette ning mineraalpinnasega on tunduvalt alanenud elektrijuhtivus ning orgaanilise aine sisaldus, mõnevõrra on vähenenud ka pH ning veesisaldus on iga aastaga mõnevõrra vähenenud.

Joonisel 2.2 on näha kui erinev võib kattekiht oma olemuselt kaetud prügilas olla. Joonisel 2.2 *a* on näha, et pinnas on tugevalt prügine, sisaldades ohtralt peenfraktsiooni ning joonisel 2.2 *b* jällegi prügi praktsiliselt puudub, viidates suuremale mineraalpinnase osakaalule. Samuti on näha värvierinevusi, mis võib tuleneda kattekihi niiskuse erinevustest.

a) b)

Joonis 2.2. Näited kattekihi erinevustest Kudjape prügilas: *a* – valdavalt peenfraktsiooni sisaldav kattekiht; *b* – valdavalt mineraalpinnasest koosnev kattekiht

Joonisest 2.2 võib arvata, et reoveesettekomposti, mineraalpinnase ning prügilast väljasõelutud peenfraktsiooni segamine nii suurtes kogustes oli keeruline, mistõttu ka kattekihi omadused võivad piirkonniti tunduvalt erineda, mõjutades omakorda ka puude kasvutingimusi.

Kuna otseselt istutatud puude all olevat kattekihti ei ole uuritud, ei ole võimalik otseseid seoseid puude suremuse puhul tuua.

2.3.2. Puude säilivus ja juurdekasv suletud Kudjapa prügilas

Kudjape prügilale istutatud 290-st harilikust kuusest ja euroopa lehisest oli 2015. aasta seisuga alles jäänud vaid pooled ning enamik puudest surid välja juba esimesel aastal. Tavametsa tingimustes peetakse kultuuri kordaläinuks, kui säilivus on 85 %, selle langemisel madalamale hakatakse kultuuri täiendama. Tabelis 2 on esitatud Kudjapele istutatud puude säilivused.

Tabel 2. Puude säilivus Kudjape prügilas, aastatel 2013-2015

Aasta	*Larix decidua*		*Picea abies*		Kokku	
	elus (tk)	%	elus (tk)	%	elus (tk)	%
2013	129	100	161	100	290	100
2014	58	45,0	100	62,1	158	54,5
2015	51	39,5	98	60,9	149	51,4

Tabeli andmete põhjal on näha, et euroopa lehis on tunduvalt suurema suremusega kui harilik kuusk. Peale esimest aastat on surnud 71 puud ehk säilivus on vaid 45 % ning teisel aastal on veel 8 puud surnud. 2015. aastaks on säilivus 39,5 %.

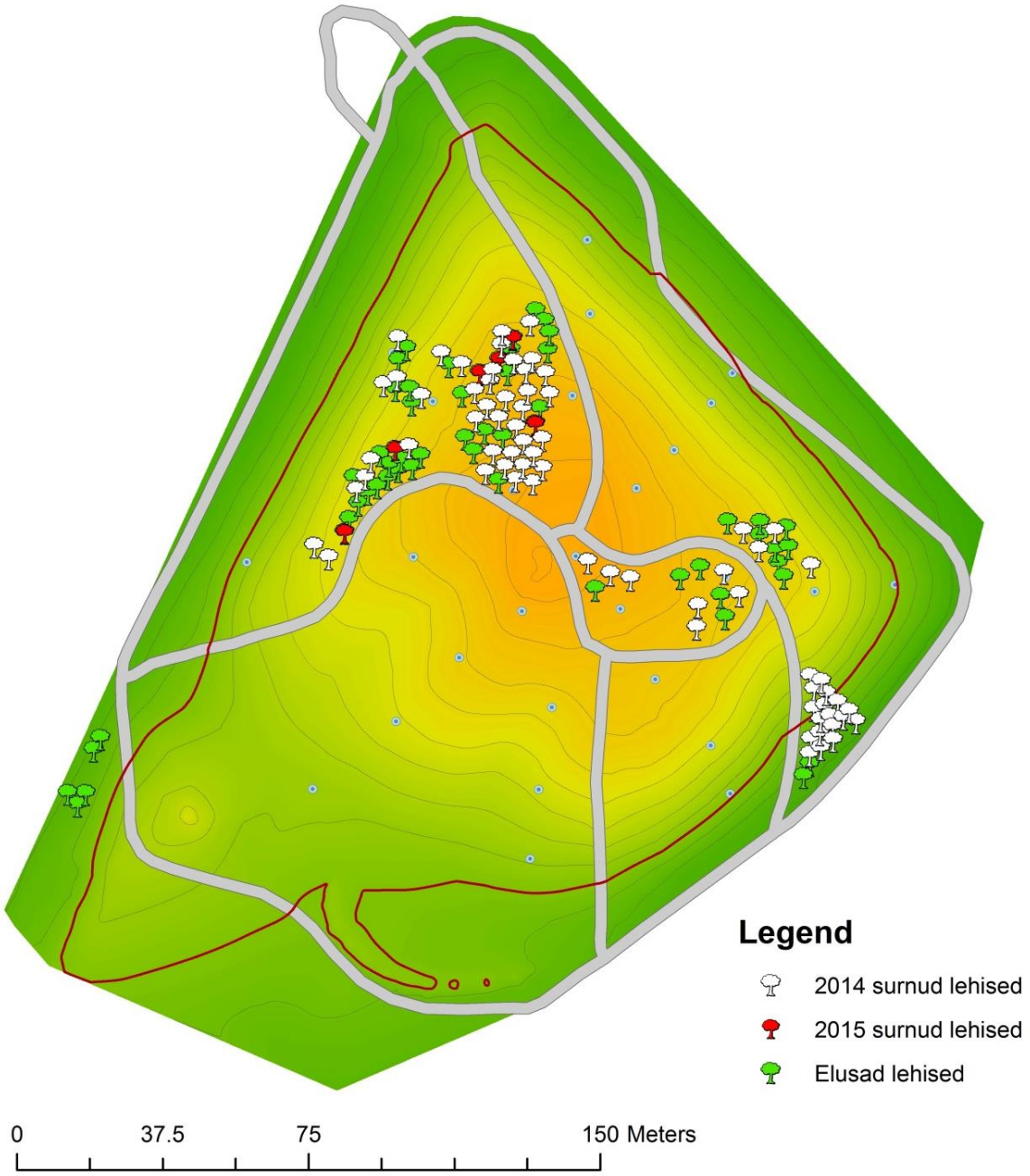
Rawlinson *et al.* (2003) läbiviidud uurimuses oli euroopa lehise kasv ja säilivus kõigis 11-s uuritud prügilas kehv ning uuritud paikades oli lehise kolme aasta keskmine suremus üle 50 %.

Kuuse säilivus Kudjapel on kõrgem, kuid on samuti kordaläinud kultuuri säilivusprotsendist tunduvalt madalam. Esimesel aastal suri 61 puud ehk säilivus oli 62 %. Teisel aastal lisandus üks surnud puu.

Joonisel 2.3 on näidatud elusate puude ning 2014 ja 2015 aastal surnud puude paiknemine Kudjape prügimäel. On näha, et mõnedes kohtades on puud surnud välja grupiti ning samas on piirkondi, kus elus ja surnud puud paiknevad läbisegi. Just nende läbisegi piirkondade puude hulgas on raskem välja selgitada põhjuseid, miks puud võisid surra.

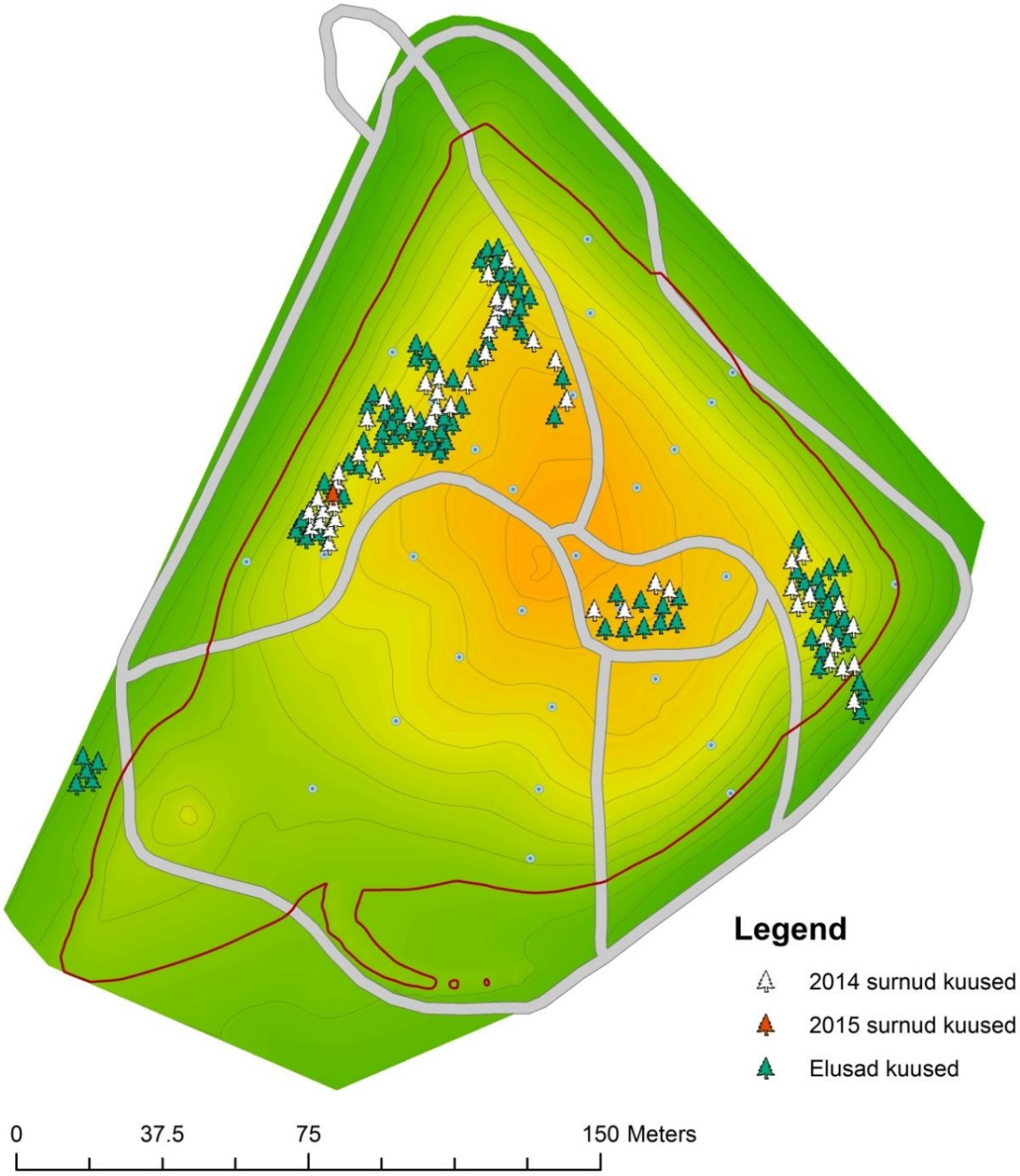
Joonis 2.3. Elus ja surnud puud suletud Kudjape prügilas aastatel 2014 ja 2015

Joonisel 2.4 on toodud elusate ja surnud lehiste paiknemine prügilas ning sealt on näha, et just lehis on see puuliik, mis grupiti mäel välja on surnud. Üks suurem grupp paikneb mäe tipu osas ning teine nõlva alumises osas, mis jääb allapoole 8m joonest, mis tähistab läbikaevatud prügilaosa alas (punase joonega) väljapoole.



Joonis 2.4. Elusate ja surnud euroopa lehiste paiknemine Kudjape prügimäel. (Ottar Tamm)

Joonisel 2.5 on näha ka elusate ja surnud kuuskede paiknemine mäel. Selle liigi puhul on puude suremus olnud pigem kaootiline.



Joonis 2.5. Hariliku kuuse elusate ja surnud puude paiknemine suletud Kudjape prügilas

Kuigi euroopa lehise säilivus on tunduvalt madalam kui harilikul kuusel, siis paljud seni säilinud kuuskedest on üsna kehvas seisus ning esineb poolkuivanud ja kiduraid puid (joonis 2.6), mis tõenäoliselt ei taastu ning lähiaastatel surevad.

Joonis 2.6. Kudjape suletud prügilas kasvav poolkuivanud kuusk

Teisalt selgus puude seire käigus, et mõned puud (nii hariliku kuuse kui euroopa lehise hulgas) on väga elujõulised ning nende juurdekasvud on võrreldes teiste puudega väga head, seetõttu võiks edaspidi nende puude kasvutingimusi täpsemalt uurida.

Puude keskmised kõrgused ning juurdekasvud aastatel 2013-2014 on toodud tabelis 3. Sealt on näha, et puud olid istutamise hetkel juba üsna suured ning kahe aastaga ei ole keskmine kõrguskasv kuigi palju tõusnud, mis näitab, et vähemalt esimeste aastatega ei ole puud uute kasvutingimustega harjutud või on tingimused kasvu tugevalt pärssinud. Mõlema puuliigi puhul on keskmist kõrgust mõjutanud suur puude suremus, eriti hästi näitab seda hariliku kuuse (*Picea abies*) aastate võrdlus, kus 2015. aasta puude keskmine kõrgus on madalam kui 2014. aastal. See on ilmselt põhjustatud sellest, et mitmed 2014 aastal mõõdetud kõrgemad puud on 2015. aastaks ära surnund.

Tabel 3. Puude keskmised kõrgused ning juurdekasvud aastatel 2013-2015, mõõtühik: cm.

Aasta	Kõrgus		Juurdekasv	
	larix decidua	*picea abies*	*larix decidua*	*picea abies*
2013	210	169	-	-
2014	211	172	2,5	4
2015	220	169	6	3,5

Aastased juurdekasvud on mõlema puuliigi puhul madalad. Kuuse puhul võibki kõrguskasv esimesel 5-6 aastal aeglane olla, saavutades maksimaalse kõrguskasvu vanuses 15-25 (Laas 2004). Vastupidiselt kuusele on lehis väga kiirekasvuline ning aastane juurdekasv võib juba noores eas ulatud 100 cm-ni aastas (Lehis metsa-... 2004). Seega Kudjape kasvutingimused pärsivad oluliselt lehise kasvu.

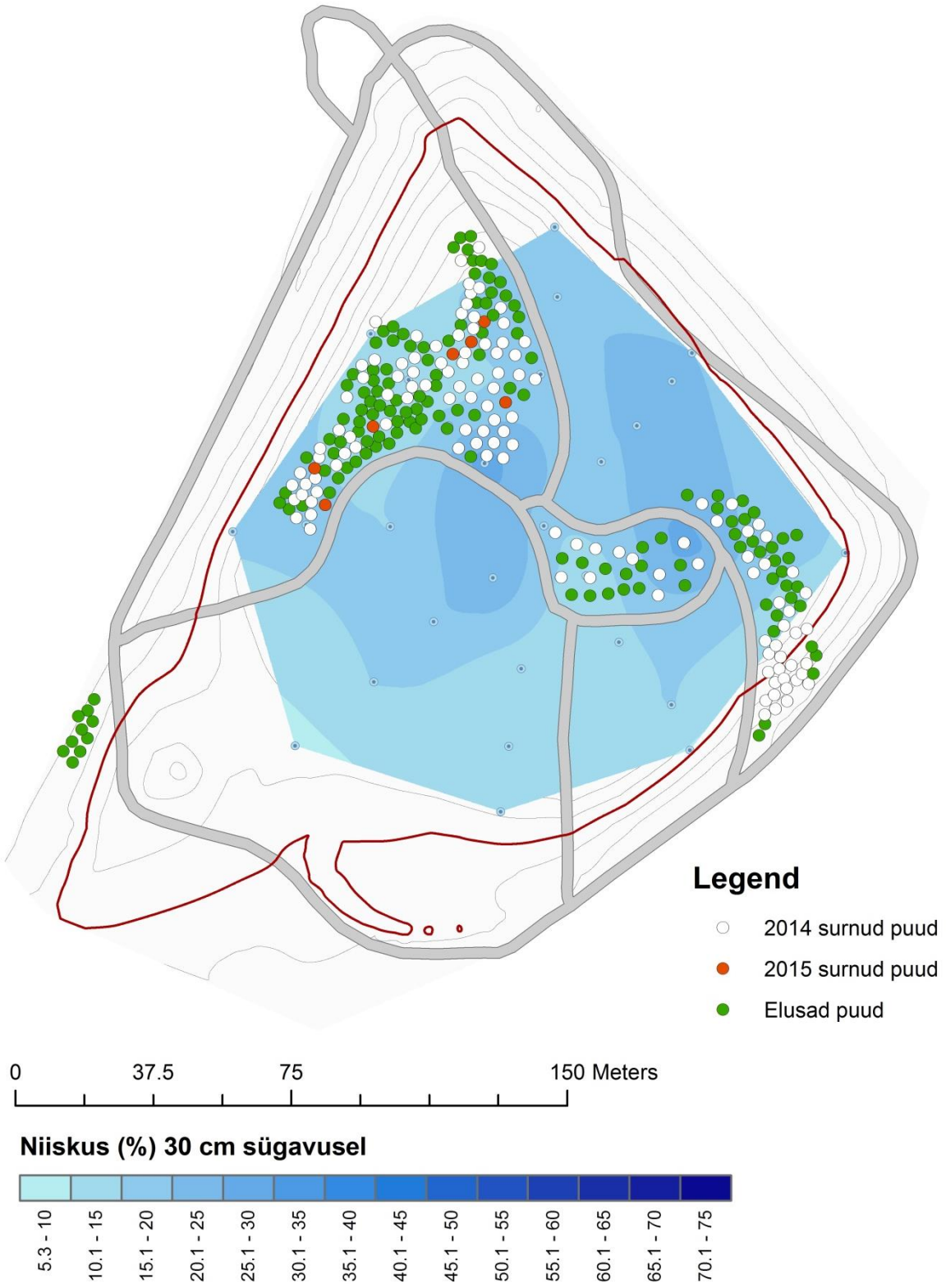
Kahe aastase seireperioodi vältel on mõned üksikud puud näidanud keskmisest tunduvalt kõrgemat juurdekasvu, kuid siiski jäävad need looduslikes tingimustes kasvavate puude juurdekasvule alla.

Kõikide nummerdatud puude kõrgused ning juurdekasvud on aastate kaupa välja toodud lisas 2. Puud, millel mõõteandmed puuduvad, olid surnud.

2.3.3. Puude säilivuse võrdlemine erinevate kasvutingimusi mõjutavate teguritega mudelite abil

Niiskus

Pinnase niiskust mõõdeti nii prooviaukudest võetud pinnaseproovidest laboritingimustes kui ka välitööde käigus pinnalt. Joonisel 2.7 on näha puude paiknemine oktoobris 2015. aastal laboritingimustes mõõdetud niiskuste kaardil. Pinnaseproovidest analüüsitud niiskuse koondandmed on lisas 1. Samuti on lisades puude ümber mõõdetud pinnase niiskuse keskmised väärtused (lisa 2), mille kohaselt pooled puud paiknevad pinnasel, mille veesisaldus on 5-10 % ning pooled puud umbes 20-25 % veesisaldusega pinnasel.



Joonis 2.7. Kattekihi niiskus 30 cm sügavuselt.

Üldiselt on mäe niiskuse tase väga erinev, istutatud puude läheduses oli kattekihi veesisaldus 5-25 % pinnalt mõõdetud tulemuste järgi. Laboris tehtud 30 cm võetud pinnaseproovide tulemused olid sõltuvalt kohast erinevad, jäädes vahemikku 10-30 %, kuigi neist suurem osa jäi 10-15 % veesisaldusega aladele.

Tuleb aga arvestada, et 2015. aasta oli keskmisest sademetevaesem. Vilsandil, mis on Kudjape prügilale lähim sademete ja kompleksseirejaam, oli aastane sademete hulk 550 mm. Kuigi september oli üks aasta sademerikkamaid, jäädes Vilsandil 50 mm juurde, siis oktoober, kui välitööde käigus niiskust mõõdeti, oli kõige kuivem kuu, mil sademete hulk Vilsandil oli vaid 7,5 mm (Eesti pikaajaline keskmine on 74 mm) (Kabral 2016).

Ka 2014. aastal oli sademete hulk Vilsandil madal (Kabral 2015). Võib kahtlustada, et väheste sademetega perioodidel võis kattepinnas vähemalt pealmises pooles läbi kuivada ning kuna 2016. aastal välja kaevatud puude juurestikku uurides on näha, et need ei ole oma mullapallist väljapoole kasvanud, olid sellised puud kuivale perioodile eriti tundlikud.

Pehme (2013) töö kohaselt on Kudjape kattepinnase veesiduvusvõime hea. Joonisel 2.7 on näha mäe ülemises piirkonnas niiskemat ala. See võib tuleneda septembrikuisest suuremast sademetehulgast, mida pinnas nüüd käsnana endas hoiab. Kuid selle, teooria toetamiseks oleks vaja teostada lisauuringuid veesisalduse muutuste kohta pikema perioodi vältel. See annaks ka parema ülevaate pinnase sobivusest puude kasvuks.

Euroopa lehis eelistab kasvamiseks hea veerežiimiga parasniiskeid muldi. Nad on tugevad vee transpireerijad ning neil on kõrge niiskusevajadus. Teisalt ei talu nad mulla liigniiskust (Laas 2004).

Suurem grupp lehiseid on välja surnud mäe nõlva alumises osas. See ala jääb välja läbikaevatud prügila osast (alla punasega märgitud 8 m joone), mistõtt pinnaseproove sealt ei võetud. Suremuse üheks põhjuseks võib olla mäelt imbunud nõrgvee kogunemine, kuid selle teooria kontrollimiseks oleks tulevikus vaja teha täpsustavaid uurimusi võimaliku nõrgvee kogunemise ning selle koostise kohta.

Harilik kuusk eelistab samuti parasniisked muldasid ning halvasti sobivad nii läbikuivavad mullad kui ka seisva veega märjad mullad (Laas 2004). Kuuse puhul on Kudjapel ilmselt kõige enam puude kasvu mõjutanud pikematest põuaperioodidest suvekuudel (näiteks 2014. aasta augustikuu).

Gaasid

Puude säilivuse ja gaaside eraldumise võrdlemisel on kasutatud 2015. aasta juulis võetud gaasiproovide tulemusi, kuna siis oli gaaside eraldumine suurim. Metaani eraldus vaid kahesti prooviaugust (lisa 3), süsihappegaasi peaaegu üle kogu mäe (lisa 4). Kuid mõlema gaasi puhul oli eraldunud hulk väike, mistõttu ilmselt ei omanud need puude suremusele kuigi suurt mõju.

Temperatuur

Kudjape prügilas 50 cm sügavuselt mõõdetud temperatuurid jäid vahemikku 9,2-25,2 °C. Puud ning prooviaukudest mõõdetud temperatuuride kaart on lisas 5. Kõige kõrgemad mõõtmised andsid pinnase temperatuuri 25 °C ning enamik istutatud puid paikenevad aladel, kus temperatuur jäi vahemikku 14-20 °C. Lyr (1996) uurimuses on välja toodud, et nii hariliku kuuse kui euroopa lehise kasvuks on optimaale juuretsooni temperatuur 15 °C, seega ei tohiks prügila pinnase temperatuur puude säilivust mõjutada ning pigem soosib nende kasvu. Prügilas valitsev kõrgem temperatuur on seotud bioloogiliste laguprotsessidega ja seda tehniliste vahenditega alandada ei saa. Temperatuur hakkab alanema aastate jooksul, sedamööda, kuidas orgaaniline aine prügilas mineraliseerub.

PH

2015. aastal mõõdetud pH tulemuste põhjal on näha (lisa 6), et kattekihi reaktsioon on üle terve mäe jaotunud üsna ühtlaselt, jäädes peamiselt vahemikku 7,36-7,88 (täpsemad koondtulemused lisas 4). Vaid kahest prooviaugust on saadud keskmisest tunduvalt erinevad tulemused, kuid nende prooviaukude lähedusse ei ole puid istutatud.

Kuna kogu kattekihi ulatuses on pinnase pH kõrgem, kui euroopa lehisele ja harilikule kuusele sobiks (Abiks metsakasvatajale 2004; Landfill manuals... 2004), võib kattekihi kõrge pH olla prügilasse istutatud kuuskede ja lehiste üheks oluliseks suremuse põhjustajaks. Teisalt Minnesota ülikooli poolt koostatud artikli (*Tough trees*… 2016) kohaselt talub harilik kuusk ka aluselist pinnast, mille pH väärtus on >7. Seega võib aluselisema pinnase talumine olla üheks hariliku kuuse parema säilivuse põhjuseks.

Elektrijuhtivus

Kudjape prügila kattekihi elektrijuhtivus jääb vahemikku 0,3-1,7 mS/cm (lisa 7). Metsades üldiselt elektrijuhtuvust ei mõõdeta, kuid taimekasvuks on sobilikuks peetud vahemikku 0,5-6 mS/cm. Seega pigem on Kudjape kattekihi elektrijuhtivus ja seega ka soolsus madal. Soolsuse mõju kohta Kudjape puudele tuleks läbi viia täiendavaid uurimusi.

Tegurite koosmõjud

Kuigi mõne teguri puhul ei saa täheldada otsest mõju puude säilivusele (temperatuur on puude kasvuks pigem soosiv, gaaside eraldumine on väike), võivad need siiski olla pinnases toimuvate protsesside sümptomid, mida antud uurimuses ei ole kirjeldatud. Seetõttu tuleks prügila haljastamist mõjutavate tegurite koosmõju Kudjapel edaspidi täpsemalt uurida ning võimalusel tulemuste täpsuse huvides võtta pinnaseproovid istutatud puude vahetust lähedusest.

2.3.4. Tähelepanekud

Surnud puude välja kaevamisel 2016. aasta aprillis selgus, et lehiste juurestik ei ole oma algsest mullapallist juuri eriti edasi kasvatanud ning elanud peamiselt mullapalliga kaasas olnud toitainerikkast turvasest (joonis 2.8).

Joonis 2.8. Välja kaevatud surnud lehise vähe arenenud juurestik

Samuti esines mõnedel lehistel loomade poolt tekitatud tüvekahjustusi (joonis 2.9), mis tekitab juba kehvas seisus taimedele lisastressi.

Joonis 2.9. Tüvekahjustusega euroopa lehis

2.3.5. Hinnang Kudjape kõrghaljastamisele

Lähtudes puude säilivusest (euroopa lehisel 39,5 % ja harilikul kuusel 60,9 %), madalast juurdekasvus ning arvestades hetkel veel elus olevate puude seisukorda, võib arvata, et antud juhul ei ole istutatud lehised ja kuused osutunud Kudjape prügila haljastamisel sobivateks.

Prügilast mitteolenevad tegurid, mis võisid põhjustada puude suremust Kudjape prügilas:

- vale istutusaeg. Sügisene istutamine jättis liiga vähe aega puudel talveks valmistuda;
- liiga suurte puude istutamine (väljaarenenud juurestik ei suutnud kohaneda uute tingimustega);
- keskmisest sademetevaesemad aastad ning põuased suvekuud.

Kudjape prügilale omastest tingimustest tulenevad põhjused:

- kattekihi kõrgem pH väärtus pärsib lehiste ja kuuskede kasvu. Kuid kuna metaanilagundusbakteritele on Wang *et al.* (2011) kohaselt parim pH väärtus vahemikus 6,7-7,9, siis ei ole bioloogiliselt aktiivse kattekihi efektiivsuse huvides paslik pH-d alandada.
- kattekihi ebaühtlane koostis (nii suurte koguste segamine on keeruline) – mõnes kohas on näha, et juurtetsoonis on kohev puhas pinnas, teises kohas on kattekiht kohe pinna lähedalt prügine. Seega ka orgaaniline aine jm puude kasvuks vajalik on kattekihis väga ebaühtlaselt jaotunud.
- gaasijaotuskiht katkestab kapillaartõusu, mistõttu põuasematel perioodidel võib pinnase läbikuivamise oht olla suurem kui looduslikus pinnases.

2.3.6. Soovitused

Töö käigus uuritud artiklite ning välitöödest saadud info kohaselt soovitaksin kasutada järgnevaid puuliike:

- *Picea abies* – tänu oma pinnalähedasele juurestikule ning vastupidavusele on Flower *et al.* (1981) soovituste kohaselt sobilik puuliik eelkõige vettpidava kattekihiga prügilatesse. Samuti suudab taluda prügilapinnase kõrgemat pH-d (Tough trees... 2016). Tähelepanu tuleb pöörata istutatavate puude suurusele ning kuna ei talu pinnase läbikuivamist, võib kuivematel perioodidel vajada lisaniisutamist.
- *Poplar sp.* – sobib haljastamaks prügilaid, kus ei ole kasutatud veetihedat kattekihti, kuna haava juurestik võib tungida sügavatesse kihtidesse ning seda kihti ohustada. Samas just tänu juurestiku levikule aitaks kaasa kattepinnase õhustamisele ja niisutamisele, mis omakorda parandaks metaanioksüdatsiooni.
- *Petula bendula* – Tuhamägede haljastamisel enim kasutatud liik (Sepp *et al.* 2010). Arukask sobib prügilate haljastamiseks, kuna on hästi kohanev ning kiiresti kasvav puuliik, taludes pinnase madalat viljakust. Teisalt võib aluselise pinnase suhtes tundlik olla (Landfill manuals... 2004).
- *Salix spp.* – tuhamägedel on levinud loodusliku uuendusena kõrval olevatel aladelt. Erinevates uurimustes (Ettala 1992) on kasutatud lühikese rotatsiooniga haljastamisel energiavõsana. Ettala (1992) uuringust selgus, et ka kõrged prügilagaasi kontsentratsioonid ei kahjusta paju juurestikku. Soovitatud on *Salix*

cinerea ja *Salix caprea* kasutamine (Landfill manuals... 2004), kuna taluvad prügilate aluselisemat kasvupinnast.

Soovitused edukamaks haljastamiseks:

- kuna biojäätmete anaeroobsel lagunemisel tekivad taimedele mürgised gaasid, oleks üheks võimaluseks suletavas prügilas eraldada biolagunevate ja mitte biolagunevate jäätmetega alad. Sel viisil oleks võimalik tekitada prügilas piirkondi, kus puudel on kasvamiseks paremad tingimused (Tchobanoglous et al., 1993);
- peale prügila korrastamist ning esmast haljastamist oodata paar aastat, mäel toimuvad esmased suuremad vajumised ja kerkimised oleksid toimunud ning alles seejärel istutada puud;
- vältida puude istutamist prügilas piirkonda, kus on näha haljastuseta paljast pinnast või surnud haljastusega alasid, kuna need viitavad gaasiprobleemidele (Dobson and Moffat, 1995);
- Üldiselt tuleks istutamisel eelistada nooremaid ja väikesemad puid ning istutada koos mullapalliga (Flower *et al*. 1981; Dobson and Moffat 1995);
- kuivematel perioodidel tuleks kattepinnast niisutada, et vältida selle läbikuivamist (Flower *et al*. 1981; Dobson and Moffat 1995).

Ettepanekud tulevikuks:

- lähiajal tuleks istutatud puude numbrilipikute kinnistused välja vahetada, et need puude kasvades tüve ja oksi ei sooniks;
- 2016. aasta aprillis istutati varem surnud puude (hariliku kuuse ja euroopa lehise) asemele arukaske ja harilikku mändi. Ka võeti igast puu istutamise august pinnaseproovid, mida laboris analüüsitakse. Edaspidi tuleks jälgida uute puude säilivust ning tänu võetud pinnaseproovidele on võimalik täpsemalt hinnata puude kasvutingimusi;
- jälgida gaaside hulka puude juuretsoonis;
- selleks, et uurida puude veetarbimist, tuleks edaspidi niiskust mõõta puude vahetust lähedusest vegetatsiooni perioodil ning mõnepäevaste vahedega mitmel korral;
- pinnase soolsuse osas tuleks samuti teostada täpsemaid uuringuid.

3. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Vanade prügilate sulgemisel või juba suletud prügilate korrastamisel tuleb teha otsuseid, mis viisil ja eesmärgiga seda teha. Traditsiooniline võimalus on jäätmelade tihendada, katta vettpidava savika kihi või geomembraani ning mineraalpinnasega. Seejärel ümbritsetakse mägi taraga, et hoida eemale inimesi ja loomi. Kuid tihtipeale asuvad vanad prügilad linnade läheduses ning suur suletud küngas oleks väärtusliku linnaruumi raiskamine. Seetõttu on hakatud leidma viise, kuidas prügila alasid efektiivselt kasutusse võtta ning üheks selliseks võimaluseks on pargi või vabaaja keskuse loomine.

Just nii on tehtud 2009. aastal suletud Kudjape prügilas, mis korrastamistööde käigus muudeti inimestele avatud vabaaja keskuseks, kuhu loodi jooksu- ning suusarajad koos kelgunõlva ning piknikualaga. Mägi haljastati hüdrokülviga ning sinna istutati puud ja põõsad. 2014. aastal koostatud taimkatte uuringust (Orb, Sai 2015) selgus, et Kudjape metaanilagunduskiht, mis koosneb prügilast välja sõelutud peenfraktsioonist (60%), reovesettekompostist (20%) ning mineraalpinnasest (20%), on haljastuseks soodne pinnas ning taimkate oli mitmekesisem ja tihedam kui mineraalpinnasega kontrollaladel.

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida metaanilagunduskihiga kaetud Kudjape prügila sobivust kõrghaljastuse kasutamiseks ning leida põhjuseid sinna istutatud euroopa lehise ja hariliku kuuse suurele suremusele.

Prügilates mõjutavad puude kasvu mitmed prügilast tulenevad tegurid (prügilagaas, kattekihi omadustest tulenev niiskus, pinnase kõrge pH ning soolsus). Kudjape prügila kattekihist võetud proovide tulemustest on näha, et pinnas on mäe erinevates kohtades väga erinev, seetõttu on ka tingimused puude kasvuks erinevad. Täpsemalt on tegurite mõjud ning võimalikud Kudjape puude suremuse põhjused välja toodud tulemuste ja järelduste peatükis.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et prügilagaasi eraldumine Kudjapel ei ole kuigi suur, seega üksi ei tohiks see puude kasvu tugevalt mõjutada. Kattekihi pH on prügilale omaselt kergelt aluseline (vahemikus 7,36-7,88), kuid euroopa lehis ja harilik kuusk eelistavad Eestis kasvades pigem happelisemaid muldasid (vahemikus 5-5,5). Pinnase veesiduvusvõime on Pehme (2013) sõnul hea, seega mõõdetud niiskuse paigutine madalam tase võib olla tingitud pinnaseproovide võtmisele eelnenud kuivast perioodist ning täpsema info jaoks

tuleks teostada uurimus pinnase niiskuse kohta kogu vegetatsiooniperioodi vältel. Siiski tuleb arvestada, et suur kuivanud puude hulk võib olla põhjustatud kattekihi läbikuivamisest, mida soodustasid istutamisele järgnenud keskmisest sademetevaesemad aastad ning lisaniisutuse puudumine. Pinnase elektrijuhtivus (soolsus) on tihedalt seotud pinnase niiskusega, seega oleks soolsuse mõjust puudele samuti vaja läbi viia täpsemaid uuringuid.

Siiski tuleb välja tuua, et kõikide nende tegurite mõju võib harilikule kuusele ja euroopa lehisele olla tugevam, kuna puud ei istutatud neile sobivaimal ajal (kevadel), vaid alles augustis ning haljastamiseks kasutati üsna suuri puid, mille kohanemisvõime ei ole nii hea kui väiksematel puudel. Seetõttu võis istutusjärgne šokk puudele mõjuda tavapärasemast enam.

Kuna iga prügila on oma olemuselt erinev (erinevad nii kattepinnase kui ladestatud prügi koostis), tuleb arvestada, et töös jõutud järeldused ei pruugi ühtida teistes prügilates läbiviidavate katsetega ning sobiva haljastuse valimisel peab lähtuma sealsetest tingimustest.

Siiski tuleb Eesti tingimustesse sobivamate puuliikide leidmiseks jätkata Kudjape prügila haljastuse seiret, et näha, kas ja kuidas euroopa lehise ja hariliku kuuse kasv ja säilivus edaspidi jätkuvad. Lisaks kaasata seiresse ka 2016. aasta aprillis istutatud harilik mänd ja arukask. Uued puud olid istutamisel tunduvalt väiksemad, seega on võimalus uurida, kas väiksemad puud kohanevad prügila tingimustega paremini ning saavutavad seal parema kasvu.

Täpsemaid uurimusi kattekihi omaduste mõju kohta puude kasvutingimustele prügilas võimaldab 2016. aasta aprillis istutatud hariliku männi ja arukase uurimine, kuna nende istutamise käigus võeti iga taime kasvukohast ka pinnaseproov. Nii on täpsemalt võimalik hinnata pinnase omaduste mõju puudele.

4. KASUTATUD KIRJANDUS

Albright, W. H., Benson, C. H., Gee, G. W., Abichou, T., Roesler A. C., Rock, A. A. (2004). Field Water Balance of Landfill Final Covers. – *Journal of Environmental Quality* Nr. 33, lk. 2317-2332.

Bulc, T. G. (2006). Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. – *Ecological Engineering*. Nr. 26 (4), lk 365-374.

Böckler, K., Keskküla, H. (2014). Kuressaare prügila mõõdistamine ja 3D mudeli analüüs (Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.

Chan, Y. S. G., Chu, L. M., Wong, M. H. (1997). Influence of landfill factors on plants and soil fauna – an ecological perspective. – *Environmental Pollution.* Nr 97 (1-2), lk 39-44.

Do, Y., Kim, J. Y., Kim, G-Y., Joo, G-J. (2014). Importance of closed landfills as green space in urbanized areas: ecological assessment using carabid beetles. – *Landscape Ecol Eng.* Nr 10, lk 277-284.

Dobson, M., Moffat, A. (1995). Site capability assessment for woodland creation on landfills. The Forestry Authority. Forestry Commission. *Research Information Note 263.*

Dwyer, S., F., Reavis, B., Newman, G. (2000) Alternative Landfill Cover Demonstration, FY2000 Annual Data Report.

Ettala, M. (1992). Effects of Vegetation on Landfill Hydrology. – *Landfill of Waste: Leachate.* Lk 53-64.

Flower, F. B., Gilman, E. F., Leone, I. A. (1981). Landfill gas, what it does to trees and how its injurious effects may be prevented. – *Journal of Arboriculture*. Nr. 7 (2), lk 43-52.

Guidi, W., Piccioni, E., Bonari, B. (2008). Evapotranspiration and crop coefficient of poplar and willow short-rotation coppice used as vegetation filter - *Bioresource Technology*. Nr. 99, lk 4832–4840.

Haljasalade kasvupinnased ja multšid. (2011). Luua. /Koost. A. Mölder. Toim. K. Tuul. [e-raamat] http://www.ekk.edu.ee/vvfiles/0/haljasalade_kasvupinnased_ja_multsid.pdf (8.05.2010)

Heinsoo, M. (2016). Kudjape prügila metaanilagunduskatte uuring. (Magistritöö). Eesti Maaülikooli Linna- ja tööstusmaastike korralduse õppekava. Tartu.

Hrad, M. (2010). Quantification of landfill gas emissions in biocovers – an experimental simulation in lysimeters. (Doktoritöö). Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft. Vienna.

Humer-Huber, M. (2008). Technischer Leitfaden. Methanoxidationsschichten. Wien.

Humer-Huber, M., Röder, S., Lechner, P. (2009). Approaches to assess biocover performance on landfills. – *Waste Management.* Nr. 29, lk 2092-2104.

Jäätmeseadus (vastu võetud 28.01.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.01.2008). – Riigi Teataja [WWW] https://www.riigiteataja.ee/akt/12897090#para33lg1p1 (16.04.2016)

Kabral, N. (2015). Vilsandi kompleksseire 2014. aasta aruanne. [WWW] http://seire.keskkonnainfo.ee/ (8.05.2016)

Kabral, N. (2016). Sademete seire 2015. aasta aruanne. [WWW] http://seire.keskkonnainfo.ee/ (8.05.2016

Kiviselg, R. (2009). Prügilate Sulgemise Tagamaad ja Tulemused. – *Keskkonnatehnika.* Nr 4, lk 18-19.

Kiviõli Seiklusspordikeskus. – *SA Kiviõli Seiklusturismi Keskus.* [WWW] http://www.tuhamagi.ee/et/keskus (19.04.2016)

Kriipsalu, M., Koppel, L. (2013). Kudjape prügimäe uus elu. – *Keskkonnatehnika.* Nr.5, lk 36-37.

Kudjape prügila sulgemiskava (2010). Koostaja: Liiv, V. Tallinn.

Kudjape prügila sulgemiskava kinnitamise ja sulgemise otsus. Korraldus nr HLS 1-15/11/398. (2011). *Keskkonnaamet*. Haapsalu.

Kuldma, K. (2016) Magistritöö käsikiri. Eesti Maaülikool, Tartu.

Käärt, U. (5. Jaanuar 2010) Ida-Virumaa tuhamäed saavad rohelisema näo – *Eesti Päevaleht* [e-ajaleht] http://epl.delfi.ee/news/eesti/ida-virumaa-tuhamaed-saavad-rohelisema-nao?id=51185587 (19.04.2016)

Laas, E. (2001). Metsauuendamine ja metsastamine. Tartu: SA Erametsakeskus. 93 lk.

Landfill manuals: Landfill restoration and aftercare. (1999). Wexford, Iirimaa: Environmental protection agency.

Lehis – metsa- ja pargipuu. (2004). Tartu: Eesti Metsaselts. /Koost. Ja Toim. H. Parves. 160 lk.

Li, J.H., Li, L., Chen, R., Li, D.Q. (2016) Cracking and vertical preferential flow through landfill clay liners. – *Engineering Geology*. Nr.

Licht, L., Aitchison, E., Schnabel, W., English, M., Kaempf, M. (2001). Landfill Capping with Woodland Ecosystems. – *Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management.* Nr 5 (4), oktoober, lk 175-184.

Lõhmus, E. (2006). Eesti metsakasvukohatüübid. (2. tr). Tartu: Eesti Loodusfoto. 80 lk.

Lyr, H. (1996). Effect of the root temperature on growth parameters of various European tree species. - *Annales des sciences foresti`eres.* Nr. 53, lk 317-323.

Metsamajanduse alused: Õpik kõrgkoolidele. (2011). Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. /Koost. E. Laas, V. Uri, M. Valgepea. Toim. E. Laas. 863 lk.

Molz, F. J, Browning, V. D. (1977). Effects of Vegetation on Landfill Stabilization. – *Ground Water.* Nr. 15 (6), lk 409-415.

Nagendran, R., Selvam, A., Joseph, K., Chiemchaisri, C. (2006). Phytoremediation and rehabilitation of municipal solid waste landfills and dumpsites: A brief review. – *Waste management.* Nr. 26, lk 1357-1369.

Orb, E-L., Sai, K. (2015). Metaanilagunduskattega prügila taimestiku tärkamine ja liigirikkus Kudjape prügila näitel. (Uurimustöö). Aste Põhikool. Aste.

Paseo Vista. [WWW] http://www.chandleraz.gov/default.aspx?pageid=755 (20.04.2016)

Pehme, K-M. (2013). Kudjape prügila metaanilagunduskihi keemiliste ja hüdrofüüsikaliste omaduste uuring (Magistritöö). Eesti Maaülikooli Metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu.

Port Sunlight River Park. [WWW] http://thelandtrust.org.uk/space/port-sunlight-river-park/ (20.04.2016)

Prügila rajamise, kasutamise ja sulgemise nõuded (vastu võetud 29.04.2004, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 24.12.2006). – Riigi Teataja [WWW] https://www.riigiteataja.ee/akt/12766418 (16.04.2016)

Rawlington, H., Dickinson, N., Nolan, P., Putwain, P. (2004). Woodland establishment on closed old-style landfill sites in N. W. England. – *Forest Ecology and Management.* Nr 202, lkl 265-280.

Rees, R., Robinson, B. H., Rog, C. J., Papritz, A., Schulin, R. (2013). Boron accumulation and tolerance of hybrid poplar grown on a B-laden mixed paper mill waste landfill. – *Science of the Total Environment.* Nr 447, lk 515-524.

Sapelkov, K. (2014). Uuring prügilademest välja sõelutud peenfraktsiooni kasutamisest Kudjape prügila kattematerjalina (Magistritöö). Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituut. Tartu.

Schnoor, J. L., Light, L. A., McCutcheon, S. C., Lee Wolfie, N., Carreia, L. H. (1995). Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. – *Environmental Science and Technology.* Nr. 29 (7), lk 318A-323A.

Sepp, M., Pensa, M., Luud, A,. Vaht, R. (2010). Kohlta-Järve poolkoksimäed on varsti minevik. – *Eesti Loodus*. Nr 10 [e-ajakiri] http://www.eestiloodus.ee/index.php?artikkel=3503 (19.04.2016)

Seshadri, B., Bolan, N. S., Thangarajan, R., Jena, U., Das, K. C., Wag, H., Naidu, R. (2016). Biomass energy from revegetation of landfill sites. Chapter 5

Simon, F-G., Müller, W. W. (2004). Standard and alternative landfill capping design in Germany – *Environmental Science and Policy.* Nr. 7, lk 277-290.

Spectrum Technologies, Inc. [WWW] http://www.specmeters.com/soil-and-water/soil-moisture/fieldscout-tdr-meters/tdr300/ (08.04.2016)

Stralis-Pavese, N., Sessitsch, A., Weilharter, A., Reichenauer, T., Riesing, J., Csontos, J., Murrell, J. C., Bodrossy, L. (2004). Optimization of diagnostic microarray for application in analysing landfill methanotroph communities under different plant covers. – *Environmental Microbiology.* Nr. 6 (4), lk 347-363.

Susarla, S., Medina, V., F., McCutcheon, S., C. (2002). Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. – *Ecological Engineering.* Nr. 18, lk 647-658.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues. New York: McGraw-Hill. 978 lk.

Tough trees and shrubs for tough sites. *University of Minnesota.* /Koost. G. R. Johnson, M. Zins ja M. Shippee. [WWW] http://www.extension.umn.edu/garden/yard-garden/trees-shrubs/tough-trees-and-shrubs-for-tough-sites/ (6.05.2016)

Tööstusjäätmete ja poolkoksi prügila sulgemine. *AS Merko Ehitus* [WWW] http://www.merko.ee/projekt/toostusjaatmete-ja-poolkoksi-prugila-sulgemine/ (19.04.2016)

Treial, H. (2009). Kiviõli Tuhamäest Saab Spordikeskus. – *Keskkonnatehnika.* Nr. 1, lk 32.

Tööstusjäätmete ja poolkoksi prügila sulgemine. (2014) – *AS Merko.* [WWW] http://www.merko.ee/projekt/toostusjaatmete-ja-poolkoksi-prugila-sulgemine/ (27.04.2016)

United States Environmental Protection Agency. (1985). Handbook. Remedial Action at Waste Disposal Sites (Revised). EPA/625/6-85/006

Valga prügila. Keskkonnaamet. [WWW] **(**http://sadr.keskkonnaamet.ee/public/adr_upload/Korrigeeritud_projekti_seletuskiri.12825.pdf**) ()**

Venkatraman, K., Ashwath, N. (2009). Phytocapping: Importance of Tree Selection and Soil Thickness. – *Water, Air, & Soi Pollution: Focus.* Nr. 9, lk 421-430.

Wang, J., Xia, F-F., Bai, Y., Fang, C-R., Shen, D-S., He, R. (2011). Methane oxidation in landfill waste biocover soil: Kinetics and sensitivity to ambient conditions. – *Waste Management* Nr 31 (5), lk 864–870.

Xiaoli, C., Ziyang, L., Shimaoka, T., Nakayama, H., Ying, Z., Xiaoyan, C., Komiya, T., Ishizaki, T., Youcai, Z. (2010). Characteristics of environmental factors and their effects on CH4 and CO2 emissions from a closed landfill: An ecological case study of Shanghai. – *Waste Management.* Nr. 30, lk 446-451.

Xiaoli, C., Xin, Z., Ziyang, L., Shimaoka, T., Nakayama, H., Xianyan, C., Youcai, Z. (2011). Characteristics of vegetation and its relationship with landfill gas in closed landfill. – *Biomass and bioenergy.* Nr 35, lk 1295-1301.

LISAD

Lisa 1. Kattekihi keemilis-füüsikalised omadused, 2015. aastal võetud mullaproovide põhjal 30 ja 50 cm sügavuselt

Prooviauk	Kuivaine, %		Niiskus, %		Elektrijuhtivus, µS/cm		pH	
	30 cm	50 cm	30 cm	50 cm	30 cm	50 cm	30 cm	50 cm
1	90,47		9,53		360		7,86	
2	84,55	81,11	15,45	18,89	578	638	7,50	7,83
3	87,52	87,86	12,48	12,14	849	988	7,73	7,76
4	89,15	86,61	10,85	13,39	248	680	7,70	7,68
5	82,51	73,52	17,49	26,48	1223	1118	7,67	7,61
6	72,42	72,70	27,58	27,30	1089	1134	7,63	7,96
7	83,05	81,95	16,95	18,05	661	850	7,52	7,71
8	89,72	85,11	10,28	14,89	490	448	7,70	7,50
9	85,50	82,55	14,50	17,45	672	1144	7,77	7,82
10	91,90	91,85	8,10	8,15	78	253	8,58	8,27
11	84,78	78,84	15,22	21,16	1344	1562	7,74	7,73
12	81,52	78,72	18,48	21,28	840	1099	7,67	7,76
13	74,62	62,19	25,38	37,81	451	676	6,75	6,61
14	83,40	81,21	16,60	18,79	1077	1000	7,68	7,83
15	76,87	44,07	23,13	55,93	1145	1057	7,52	6,98
16	76,33	74,60	23,67	25,40	934	1195	7,70	7,67
17	79,88	76,49	20,12	23,51	809	1305	7,80	7,77
18	85,07	77,41	14,93	22,59	1289	1200	7,64	7,69
19	87,93	83,69	12,07	16,31	556	693	7,54	7,52
20	87,89	86,18	12,11	13,82	304	895	7,69	7,81
21	85,11	78,65	14,89	21,35	1397	1164	7,76	7,89
22	79,87	75,95	20,13	24,05	906	1204	7,66	7,73
23	84,92	80,17	15,08	19,83	356	409	7,88	7,77
24	85,57	81,51	14,43	18,49	995	912	7,54	7,62
25	83,92	79,13	16,08	20,87	188	747	7,67	7,60
26	72,61	69,02	27,39	30,98	397	808	7,43	7,52
27	85,10	78,45	14,90	21,55	1179	1696	7,36	7,72
28	83,86	77,40	16,14	22,60	1228	1394	7,50	7,70
29	83,99	82,18	16,01	17,82	1269	1037	7,48	7,58
Keskmine	83,45	78,18	16,55	21,82	790	975	7,64	7,66

Lisa 2. Puude seire andmed: puu number, liik (Lh – *larix decidua*, Ku – *picea abies*), kõrgused 2013-2015, juurdekasv 2014 ja 2015, keskmine niiskus (%)

		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	LIIK	H_2013	H_2014	G_2014	H_2015	G_2015	W_AVG
412	Lh	262	267	5	275	8	20,2
413	Lh	237	241	4	244	3	23,1
414	Lh	266	270	4	274	4	25,7
415	Ku	169	171	2	173	2	23,8
416	Ku	165	170	5	172	2	22,4
417	Ku	175	180	5	182	2	21,5
418	Ku	178	184	6	187	3	30,0
419	Ku	180	184	4	185	1	30,5
420	Lh	220	224	4	233	9	24,6
421	Lh	278	285	7	293	8	33,7
441	Lh	191	191	0	191	0	6,8
442	Lh						
443	Lh						
444	Lh	163	163	0	170	7	7,2
445	Lh	231	231	0	238	7	9,4
446	Ku						
448	Ku	154	154	0	159	5	6,6
450	Lh						
451	Lh						
452	Lh						
453	Lh						
454	Lh						
455	Lh	216	216	0	222	6	12,8
456	Lh	153	153	0	162	9	10,4
457	Lh						
458	Lh						
459	Lh						
460	Lh						
461	Lh	200	204	4			
462	Lh						
463	Ku	180	182	2	183	1	6,7
464	Ku	166	168	2	172	4	6,6
465	Ku						
467	Ku	175	175	0	178	3	6,2

		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
468	Ku						
469	Ku						
470	Ku	179	181	2	184	3	6,5
471	Ku	172	184	12	189	5	8,1
472	Ku						
473	Lh	195	215	20	219	4	10,0
474	Lh	179	181	2	183	2	8,6
475	Lh	138	140	2	145	5	9,3
476	Lh	211	212	1			
477	Lh	242	244	2	249	5	8,7
478	Lh	223	224	1	228	4	12,4
479	Ku	164	167	3	168	1	9,5
480	Ku						
481	Lh	220	220	0			
482	Lh	206	209	3			9,4
483	Lh	216	218	2			
484	Ku	150	156	6	158	2	9,0
485	Ku	179	183	4	185	2	9,0
486	Ku	160	163	3	167	4	8,1
487	Ku	158	165	7	172	7	12,5
488	Ku	160	164	4	170	6	8,2
489	Ku						
490	Ku						
492	Lh	209	210	1			
493	Lh						
494	Lh						
495	Lh						
496	Lh						
497	Lh						
498	Lh						
500	Ku	150	150	0	150	0	12,2
501	Ku						
503	Ku						
504	Ku	179	180	1	181	1	8,0
505	Ku	161	164	3	166	2	8,8
506	Ku						
508	Ku	161	165	4	166	1	8,4
509	Ku						
510	Ku	176	180	4	181	1	9,5

		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
511	Ku	187	187	0			
512	Ku	154	157	3	161	4	9,9
513	Ku	168	173	5	176	3	11,2
516	Ku	173	175	2	177	2	11,7
521	Lh	195	195	0			
522	Lh						
523	Lh						
525	Lh	204	207	3	212	5	21,0
526	Lh						
527	Ku	182	185	3	188	3	25,1
528	Ku	179	182	3			
529	Lh						
530	Lh	226	228	2			24,2
531	Lh	159	163	4	164	1	21,7
532	Ku						
533	Ku	170	175	5	179	4	22,1
534	Ku						
535	Ku	143	146	3	148	2	24,4
536	Ku					-	
537	Ku	161	164	3	170	6	32,1
538	Ku	180	180	0			
540	Ku						
541	Ku	174	182	8	194	12	21,8
542	Ku	151	157	6	158	1	24,9
543	Ku	176	179	3	187	8	24,6
544	Ku	162	165	3	167	2	24,3
545	Ku						
546	Ku	165	167	2	170	3	21,0
547	Ku	178	182	4	187	5	21,4
548	Ku						
549	Ku	170	173	3	174	1	26,4
550	Ku	168	170	2	173	3	19,5
551	Ku	156	160	4	165	5	18,4
552	Ku	159	163	4	166	3	24,7
553	Ku	172	176	4	179	3	23,6
554	Ku	184	190	6	192	2	23,0
555	Lh	249	261	12	265	4	23,3
556	Lh						
557	Lh	188	190	2	195	5	27,2

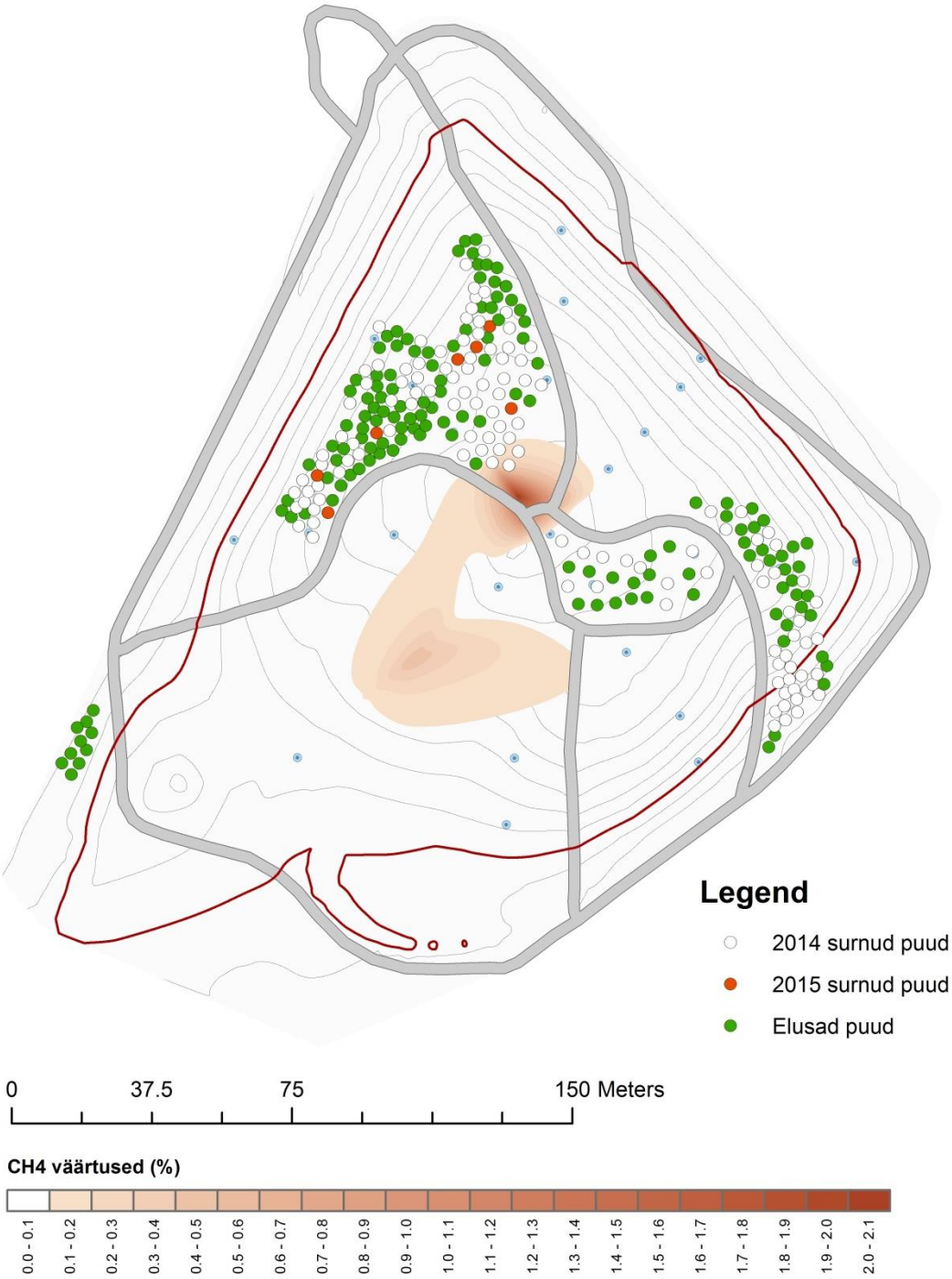
		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
558	Lh	283	288	5	291	3	25,0
559	Ku						
560	Ku	159	168	9	169	1	22,1
561	Ku						
562	Lh	210	210	0			
563	Lh	231	234	3	239	5	21,1
564	Ku	165	174	9	177	3	22,1
565	Lh	210	212	2			22,5
566	Lh						
567	Lh						
568	Lh	221	223	2	225	2	24,6
569	Lh	234	234	0			
570	Lh						
571	Lh						
572	Lh						
573	Lh						
574	Lh						
575	Lh						
576	Lh						
577	Lh						
578	Lh						
579	Lh	195	195	0	195	0	9,2
580	Ku						
581	Ku	150	152	2	156	4	7,9
582	Ku	148	151	3	153	2	11,6
583	Ku						
584	Ku	164	167	3	168	1	6,3
585	Lh						
586	Lh						
587	Ku	184	187	3	191	4	8,0
588	Ku	178	185	7	191	6	7,0
589	Ku	172	181	9	190	9	9,4
590	Ku	173	182	9	184	2	9,1
591	Ku	177	180	3	187	7	8,7
592	Ku	163	163	0			
593	Ku						
594	Ku	172	175	3	175	0	8,4
595	Lh						
596	Lh	218	222	4	228	6	7,0

		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
597	Lh	281	281	0			
598	Lh	277	281	4	283	2	11,1
599	Lh	228	231	3	240	9	9,5
600	Lh	179	181	2	184	3	6,1
601	Lh	220	220	0			
602	Lh						
603	Ku	159	164	5	167	3	23,1
604	Ku	150	155	5	158	3	26,7
605	Ku	171	174	3	178	4	27,2
606	Ku	180	183	3			
607	Ku	171	174	3	179	5	28,8
608	Ku						
609	Lh	131	134	3			32,3
610	Ku						
611	Ku						
612	Ku						
613	Ku						
614	Ku						
615	Lh	222	225	3	231	6	22,1
617	Ku						
618	Ku						
619	Ku	169	172	3	177	5	21,3
620	Ku	169	169	0			29,0
621	Ku	160	165	5	169	4	21,9
622	Lh	168	179	11	181	2	20,2
623	Lh	201	201	0			
624	Ku	175	175	0			
625	Ku						
626	Lh	240	240	0	240	0	19,7
627	Lh	199	206	7	218	12	20,0
628	Lh	206	209	3	219	10	23,3
629	Lh						
630	Ku	156	158	2	161	3	21,3
631	Ku	168	176	8	181	5	22,6
632	Ku						33,1
633	Lh	229	230	1	237	7	25,0
634	Lh	217	219	2	224	5	21,2
635	Lh	200	201	1	205	4	26,5
636	Lh	210	210	0			

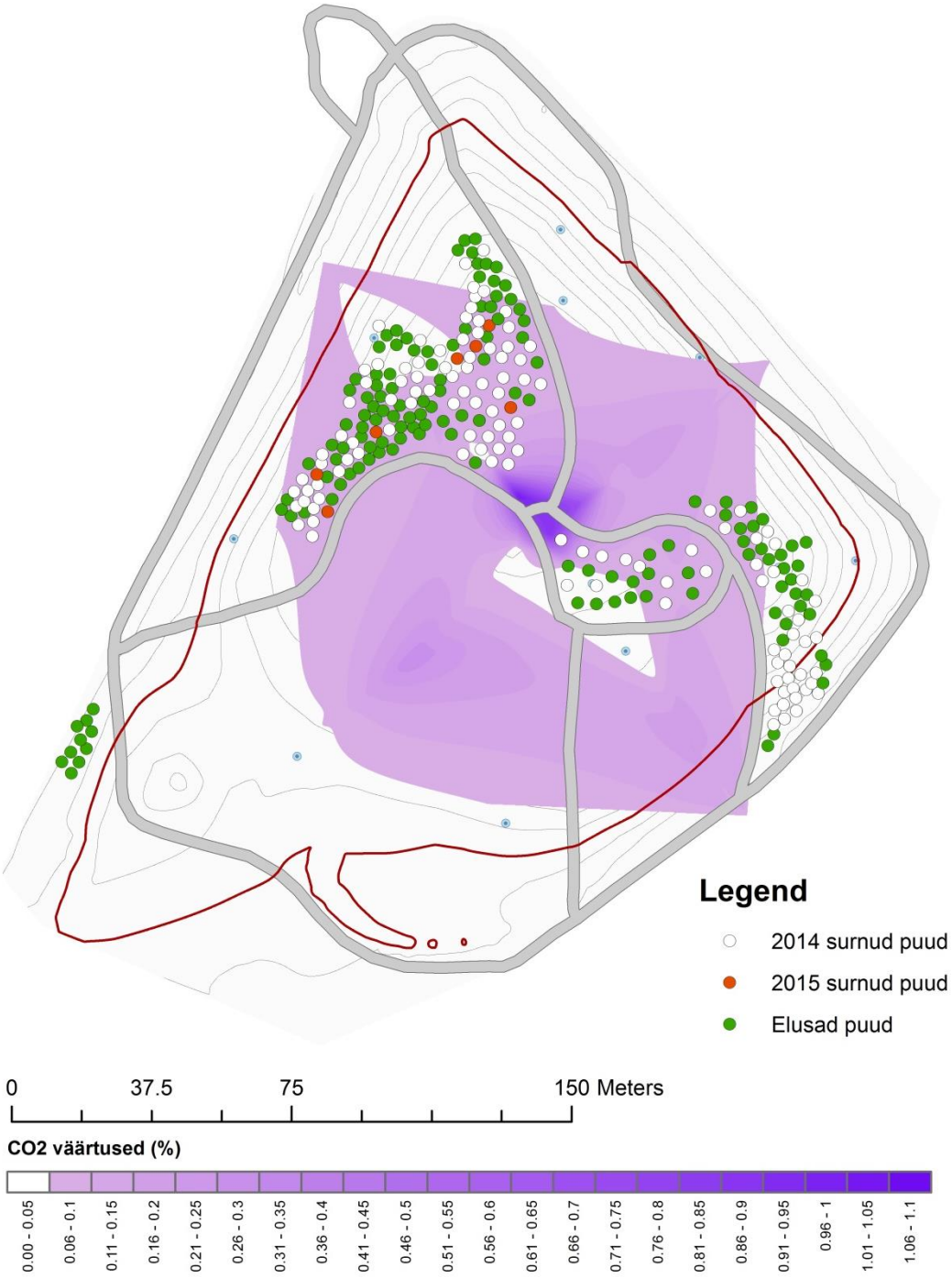
		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
637	Ku						
638	Lh	190	191	1	194	3	23,0
639	Ku	159	159	0	159	0	21,0
640	Ku	175	175	0	176	1	18,0
641	Lh	221	222	1			33,3
642	Lh	208	210	2	210	0	25,7
643	Lh	215	215	0	221	6	23,4
644	Lh	205	207	2	207	0	25,2
645	Lh	207	208	1			
646	Ku	143	148		10	10	26,4
647	Ku	179	180	1	148	0	24,4
649	Ku						
650	Ku	142	145	3	149	4	21,3
651	Ku	169	171	2	174	3	25,4
652	Ku	178	180	2	184	4	20,8
653	Ku	151	155	4	156	1	22,1
654	Ku	172	176	4	181	5	25,4
655	Ku						
656	Ku	157	160	3	163	3	22,6
657	Ku	172	175	3	176	1	33,9
659	Ku	161	162	1	165	3	25,2
660	Ku	176	180	4	187	7	22,8
661	Ku						
662	Ku	173	175	2	177	2	27,2
663	Ku	172	178	6			
664	Ku	171	175	4	178	3	20,3
665	Ku						
666	Ku	158	160	2	163	3	20,2
667	Lh						
668	Lh	200	200	0	212	12	23,6
669	ku	195	198	3	199	1	26,7
670	Lh	222	225	3	233	8	24,6
672	Ku	168	170	2	171	1	19,5
673	Ku	156	158	2	161	3	23,8
674	Ku	165	168	3	170	2	24,3
675	Ku						
676	Lh						
677	Lh	178	180	2	187	7	22,9
678	Lh						

		Kõrgus (cm) 2013	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2014	Kõrgus (cm) 2015	Juurdekasv (cm) 2015	Pinnase keskmine niiskus (%)
NR	**LIIK**	**H_2013**	**H_2014**	**G_2014**	**H_2015**	**G_2015**	**W_AVG**
679	Lh	236	238	2	248	10	28,8
681	Lh	223	227	4	231	4	20,8
682	Lh	187	187	0	194	7	24,9
683	Lh						
684	Lh	225	229	4	232	3	20,5
685	Lh						
686	Lh	265	265	0			
687	Lh	251	255	4	266	11	21,5
688	Lh	200	200	0			
689	Ku						
690	Ku						
691	Ku						
693	Lh	193	195	2			
694	Lh	210	210	0	222	12	17,5
695	Ku	158	165	7	174	9	22,4
697	Ku						
699	Lh	243	245	2	250	5	23,6
700	Ku	177	182	5	187	5	21,3
701	Lh	189	189	0			
702	Lh						
703	Ku						
704	Ku	174	180	6	183	3	19,2
705	Ku	177	180	3	186	6	21,3
706	Ku	165	166	1	169	3	31,3
707	Ku	169	170	1	171	1	28,7
708	Lh	108	108	0			
709	Lh	213	216	3	227	11	22,3
710	Lh	220	220	0			
711	Lh	240	240	0			21,8
712	Lh						
713	Lh						
714	Lh						
715	Lh	202	205	3	216	11	22,5
716	Lh						
717	Ku	223	225	2	225	0	28,0
718	Ku						28,8
719	Lh	200	200	0			23,3
720	Lh						

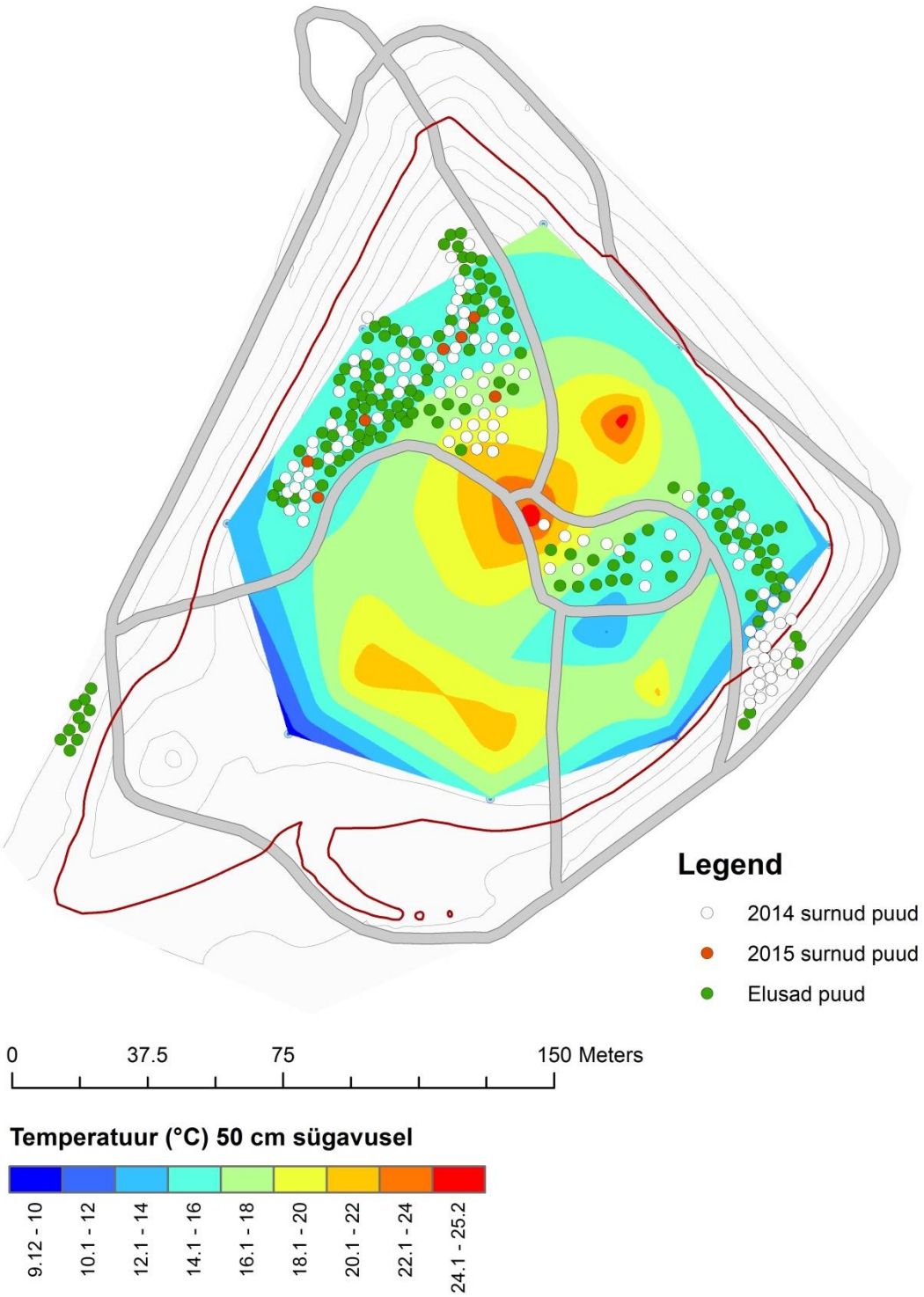
Lisa 3. Metaani emissioon kattekihist



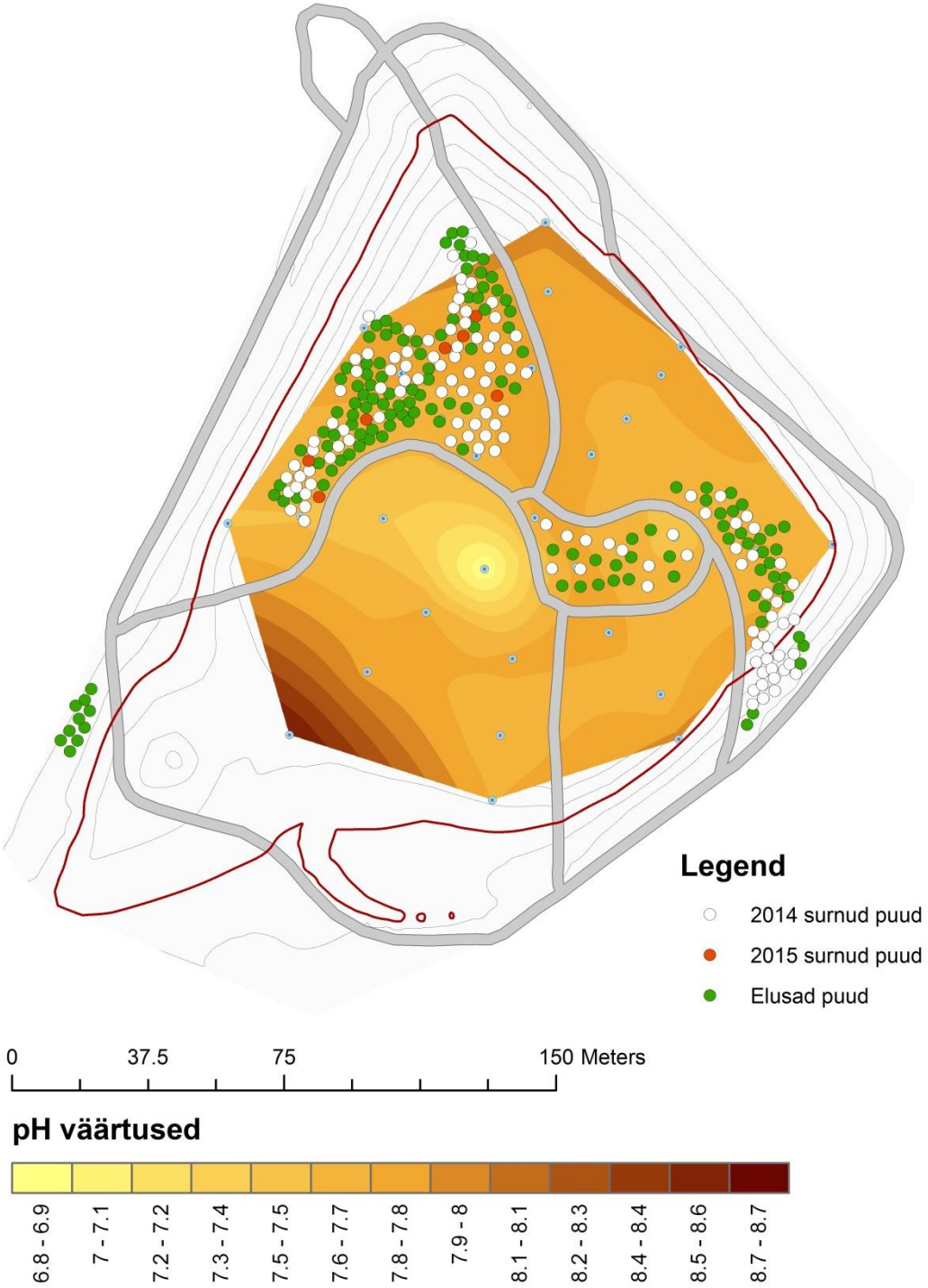
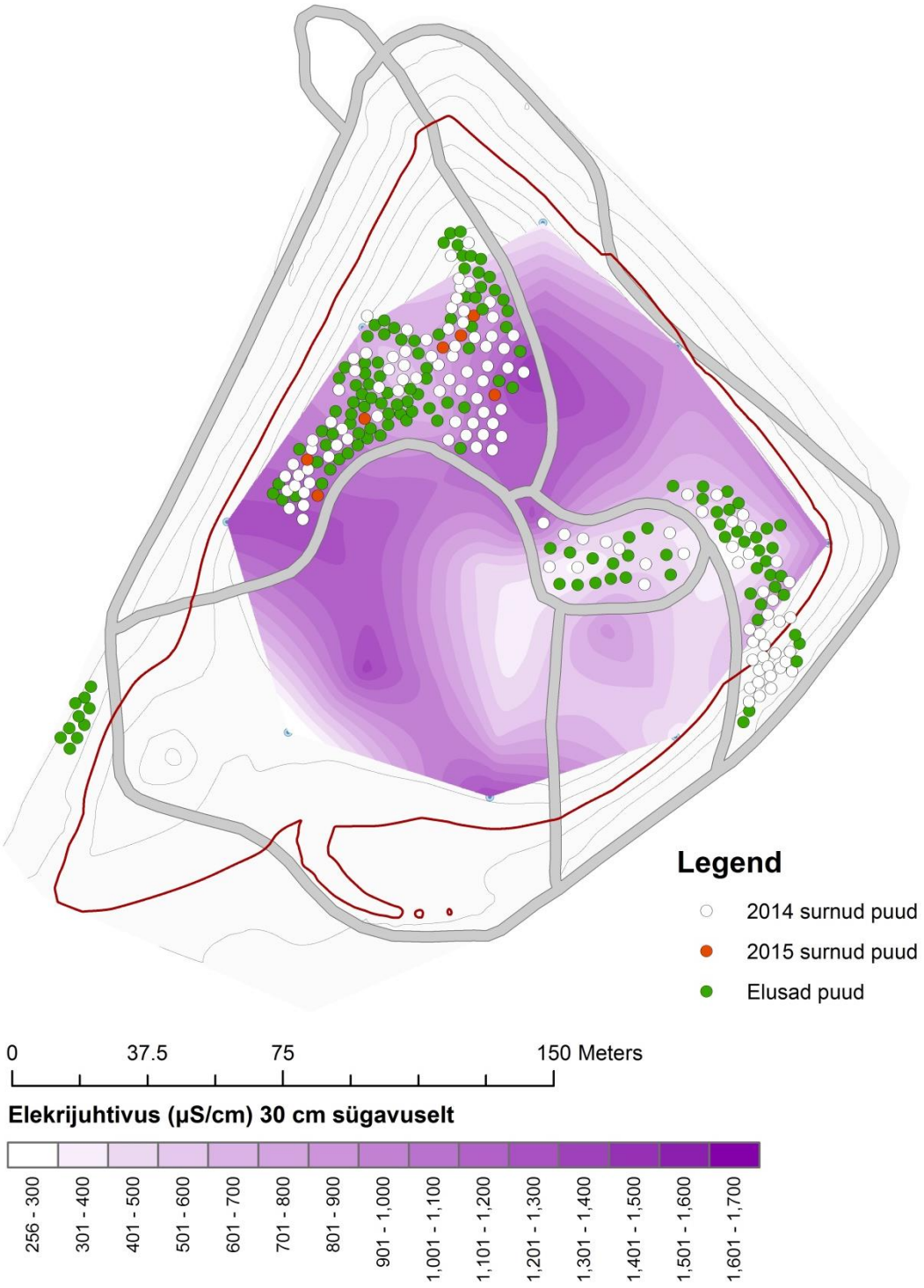
Lisa 4. Süsihappegaasi emissioon kattekihist



Lisa 5. Pinnase temperatuur 50 cm sügavusel



Lisa 6. Kattekihi pH väärtused



Lisa 7. Kattekihi elektrijuhtivus (µS/cm) 30 cm sügavuselt