

Pääsküla prügila biofiltri materjalide uuring

Lõpparuanne



Tellija: Tallinna Strateegiakeskus

Teostaja: Eesti Maaülikool

Töörühm koosseisus: prof Mait Kriipsalu; prof Kaja Orupõld; prof Toomas Tamm; spetsialist Morten Poolakese

Tartu, 31.10.2023.

Sisukord

Sisukord.....	2
Eesmärk.....	3
Metoodika.....	4
Proovide võtmine ja eeltöötlus.....	4
Analüüsimeetodid.....	5
Nõrgumiskatsed	5
Vee infiltratsiooni määramine	5
Segud.....	6
Kolonnikatse.....	7
Tulemused.....	8
Biofiltrid 2 ja 3 ning nende seire	14
Rahvusvaheline koostöö	15
Kokkuvõte	16
Lisad.	17
Lisa 1. Analüüsitavad parameetrid.....	17
Lisa 2. Biofiltrite/bioakende asukohad ja tähistus.....	18
Lisa 3. Proovide võtmine.....	19
Lisa 4. Pääsküla praeguse kattepinnase omadused biofiltrite (BF) jaoks ette nähtud kohtades	24
Lisa 5. Orgaanilise aine rikaste substraatide omadused.....	25
Lisa 6. Segude koostise valimise kaalutlused.....	26
Lisa 7. Lisasubstraatide pinnas 1 ja 2 omadused	28
Lisa 8. Pääsküla biofiltrites kasutusele võetud substraadi omadused.....	29

Eesmärk

Pääsküla suletud prügilasse on prügilagaasi kogumissüsteemi asemele kavandatud passiivne gaasikäitlussüsteem biofiltritena. Töö alus on Kobras OÜ tehtud Pääsküla prügila sulgemiskava ja sulgemisprojekti muudatus. Prügilale rajatakse kuus biofiltrit. Biofiltrites kasutatav materjal peab olema teatud omadustega, et lagundada prügilagaasis olevat metaani. Uuringu eesmärk on välja selgitada Pääsküla prügilasse kavandatavate biofiltrite rajamiseks sobivate materjalide või materjali segude omadused. Materjalina uuriti Tallinna linnast ja lähiümbrusest saadud ning muuks kasutamiseks ebasobivaid pinnaseid ja materjale, pidades silmas ringmajanduse põhimõtteid. Töö teostati kolmes etapis.

Töö etapp 1. 01.02.2023 – 14.04.2023

- Pinnaseproovide võtmine kuuest projekteeritavast biofiltri asukohast Pääsküla prügilas.
- Proovivõtt AS Tallinna Vesi reoveesetstekompostist, Tallinna Jäätme keskuse (TJK) ning AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskuse (TJT) praakkompostidest.
- Proovide füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste omaduste määramine vastavalt Lisale 1.

Töö etapp 2. 14.04.2023 – 30.06.2023

- Tellija poolt toodud kuni kolme lisamaterjali analüüsimine.
- Segude valmistamine materjalidest, mis vastaks Lisas 1 toodud sihtarvudele.
- Potentsiaalsete biofiltri-materjalide metaanilagundamisvõime tuvastamine.
- Soovitused biofiltri rajajatele materjalide valimiseks ja vajadusel täiendavaks töötlemiseks.

Töö etapp 3. 01.05.2023-31.10.2023

- Kolonnikatsed segudega, et imiteerida biofiltris toimuvaid protsesse laboris (d 300 mm, h 2 m). Kolonn täideti Pääsküla prügilasse rajatud biofiltris 2 ja 3 kasutusele võetud materjaliga.

Projekti käigus esitati tellijale kaks vahearuanne, mille materjale on tervikliku ülevaate saamiseks kasutatud käesolevas lõpparuandes.

Metoodika

Proovide võtmine ja eeltöötlus

Töös käsitletud pinnased/substraadid olid järgmised:

- Pääsküla prügila igast biofiltri asukohast võeti kattepinnaest proov ning tähistati biofiltri numbrist lähtuvalt (nt Biofilter 1 →, pinnaseproov BF 1). Proovid tähistati BF 1 kuni BF 6 (Lisa 2);
- TJT on AS Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskuse praakkompost. Materjal on vähemalt üks aasta vana;
- TJK on Tallinna Jäätme keskuse praakkompost Pärnamäe jäätmejaamast. Hilisemas etapis võeti kasutusele ka sama tootja teine partii Rahumäelt. Et nad mõlemad on valmistatud sama tootja poolt ning samadest lähtematerjalidest, käsitleti Pärnamäe ja Rahumäe substraate samaväärsena. Peamine erinevus oli osakese suurus: Pärnamäe kompost oli sõelutud 10 mm, Rahumäe oma aga 40 mm sõeluriga. Materjal on vähemalt kaks aastat vana;
- RVP on AS Tallinna Vesi reoveesettekompost. Tugaine on turvas. Materjal on vähemalt neli kuud vana;
- Pinnas 1 on ehitusplatsilt kooritud ning suurtesse hunnikutesse kuhjatud materjal, võib sisaldada suuri paekamakaid, oksi ja kändusid;
- Pinnas 2 on savikas mineraalpinnas, mis on ladustatud ehitusobjektile;
- Liiv on tavaline ehitusliiv, mille lisamise eesmärk on vähendada poorsust ja lisada peent osist;
- Puukoorepuru, mille lisamise eesmärk on suurendada poorsust ja lisada orgaanilist ainet.

Proovid võeti 21.02.2023 ja 01.03.2023 (BF, TJT, TJK ja RVP) ning 11.08.2023 (pinnas 1) ja 29.08.2023 (pinnas 2). Iga proovi suurus ca 40 l. Proove säilitatakse EMU MIMV laos.

Proovide võtmis kirjeldab Lisa 3. Puistest/aunast kaevati proov vähemalt 30 cm sügavuselt mitme osaproovi seguna välja labidaga. Puurimise teel saadud proov võeti 100/200 mm pinnasepuuriga. Prooviks võeti vähemalt 70 cm sügavuselt välja puuritud südamik. Proovivõtupunkt märgistati puitlatiga, millele kanti augu märgistus (BF1 kuni BF6), kuupäev ja proovivõtja lühend (EMU). Ükski pinnas ega substraat ei olnud külmunud.

Teise etapi tööd sisaldasid proovide võtmist ja analüüsimist Pääsküla prügila töid teostava ettevõtte AS EG Ehitus välja pakutud materjalidest. Välitööde käigus oli selgunud, et Pääsküla prügila esimese kahe projekteeritava biofiltri asukoha pinnast (markeeritud kui BF2 ja BF3) ei olnud paraku võimalik kasutada biofiltrite rajamiseks põhjusel, et peale filtri asukohast murukamara koorimist osutus pinnas liialt heterogeenseks (st erines liiga palju varasematest proovidest) ning seoses vajadusega filtrite asupaik tasandada, ei jäänud uuritud BF materjali üle biofiltrite ehitamiseks. Valida tuli uus pinnas, mida on saada piisavas koguses ning logistiliselt atraktiivses läheduses.

Liiv ja peen puukoorepuru võeti oma laost.

Laborianalüüsideks (va osade hüdrofüüsikaliste parameetrite analüüs) sõeluti uuritavad materjalid 10 mm sõelaga. Füüsikalise-keemiline analüüs telliti Eesti Keskkonnauuringute Keskuse Tartu laborist. Bioloogilised parameetrid (hapnikutarve ja metaani oksüdeerimise potentsiaal) määrati EMÜ Bio- ja keskkonnakeemia laboris, savisisaldus EMÜ Mullalaboris ja hüdrofüüsikalised parameetrid EMÜ Veemajanduse õppetooli laboris.

Analüüsimetodid

Nõrgumiskatsed

Materjalidega sooritati 10 L mahus nõrgumiskatsed (joonis 1), mille käigus mõõdeti materjalide hüdrofüüsikalised omadused: veemahutavus (θ_v mahuline veesisaldus $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ pinnase/substraadi kohta) ja veeloovutuse kiirus.



Joonis 1. Proovikeha stendil vee loovutamise kiiruse määramiseks (nõrgumiskatse)

Vee infiltratsiooni määramine

Infiltratsioon määrati automaatse mõõteseadmega SATURO, Meter, Pullmann, USA (joonis 2). Tööpõhimõte seisneb uuritava pinnasega täidetud proovikeha pinnale mõõtekupli all teatud tüsedusega veekihi (nt 5 cm) hoidmises ning infiltratsioonikiiruse mõõtmisel.



Joonis 2. Proovikeha ning seade infiltratsiooni määramiseks (imbumiskatse)

Segud

Segud valmistati esimese etapi proovide materjalidest ning tööd korraliti hiljem lisandunud substraatidega (pinnased 1 ja 2 ning liiv ja puukoor). Segud valmistati tabeli 1 kohaselt.

Tabel 1. Segude koostis mahuprotsentides (massiprotsent (märgkaal) sulgudes)

Segu nr	BF	TJT	TJK	RVP	Pinnas 1	Pinnas 2	Liiv	Puukoor
Segu 1	20 (31)	60 (55)	-	20 (14)	-	-	-	-
Segu 2	30 (44)	70 (56)	-	-	-	-	-	-
Segu 3	30 (44)	-	70 (56)	-	-	-	-	-
Segu 4	70 (80)	30 (20)	-	-	-	-	-	-
Segu 5	70 (82)	-	-	30 (18)	-	-	-	-
Segu 6	30 (45)	-	-	70 (55)	-	-	-	-
Segu 7	-	-	-	-	100	-	-	-
Segu 8	-	-	-	-	-	100	-	-
Segu 9	-	-	100	-	-	-	-	-
Segu 10	-	-	70	-	30	-	-	-
Segu 11	-	-	60	-	20	-	20	-
Segu 12	-	-	60	-	20	-	-	20
Segu 13	-	-	50	-	50	-	-	-

Kolonnikatse

Eksperimentaalne seadmestik kolonnikatse läbi viimiseks asub EMU MIMV laboris, Kreutzwaldi 56, Tartus. Katseseade koosneb kolmest ühesugusest läbipaistvast kolonnist ($d=300$ mm, $H=2000$ mm) ning on ühendatud gaasi sisselaske ning jääkgaaside väljalasketorustikuga. Iga kolonn on eraldi juhitud. Katsekolonn täideti järgnevalt: kergkruusast gaasijaotuskiht 30 cm (22 L) ning selle peal metaanilagunduskiht 140 cm (100 L) (joonis 3).

Kolonn on ühendatud gaasiballooniga, milles on CH_4 ja CO_2 vastavalt 60 ja 40% (Linde gaasid).

Mõõteriistad: portatiivne gaasianalüsaator GA5000 (Geotechnical Instruments, UK) gaasikontsentratsiooni määramiseks kohapeal. Vaakumpudelid gaasi kogumiseks ja gaasi koostise määramiseks gaaskromatograafiga.



Joonis 3. Kolonnikatse aparatuur. Käesolevas projektis kasutatav materjal asub keskmises kolonnis.

Tulemused

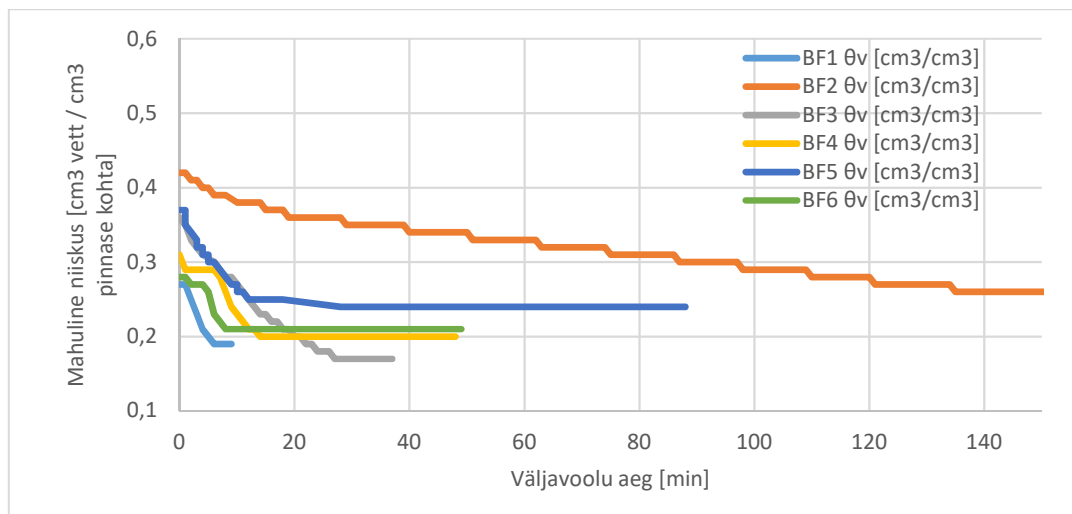
Mineraalmaterjal BF

Pääsküla praegune kattepinna oli puurimisel saadud proovimaterjali põhjal kõigi biofiltrite asukohas ligilähedaselt samasugune (Lisa 4). Olulisi erinevusi materjali struktuuris ega väljanägemises ei tuvastatud ei puurimise käigus ega laboris.

Tegu on pinnasega, mille lõimis on kerge ehk siis saviliivad ja kerged liivsavid. Füüsikalise savi sisaldus varieerub vahemikus 8,83-11,49 %. Õhuga täidetud poorida arv on normi piires, kuid suurem poorsus tuleb kasuks. Kõik BF-proovid olid keskmiselt kuni aeglaselt vett läbilaskvad ning varieerusid väga väikeses vahemikus. Saviliivadel moodustusid kergesti purunevad koorikud. Taimekasvatuse seisukohast on pinnas keskmise kuni suure viljakusega, st haljastuseks sobib, kuid biofiltri funktsionaalsuse poolest jääb taimetoitaineid puudu.

Joonis 4 kirjeldab veemahutavust ja veeloovutuse kiirust. Mida kõrgem on joonistel graafiku alguspunkt, seda rohkem on seal poore ja seda rohkem mahub pinnasesse vett (nt sademevett). Suur veemahutavus küllastunud ja väliveemahutavusele vastava niiskuse vahel (graafiku kiirelt muutuv osa) näitab võimet vastu võtta suurem kogus sademevett, kuid kuna selles vahemikus on tegemist gravitatsioonile alluva veega, siis pinnas ka vabaneb veest. Teiseks oluliseks näitajaks on vee loovutamise kiirus. Mida järsem on katsegraafiku langus, seda kiiremini vabaneb vesi uuritavast materjalist.

Teistest eristub selgelt BF2 ja mõnevõrra ka BF5, kus savi sisaldus oli mõlemas kõige väiksem (12 %, teistel kuni 19%) ja BF 2 mahumass kõige suurem (1,62 kg/l, teistel 1,41 kg/l). Katsegraafikutel on konkreetsete materjalide väärtused ilma materjali võimaliku sisemise varieeruvuse hindamiseta, st tulemused võivad reaalses kasutuses olla võimalikku heterogeensust arvestades mingil määral erinevad. Näiteks lasuvustiheduse määramisel võib seda oluliselt muuta suuremate kivide esinemine materjalis. Kuigi proovivõtul suuri kive ei täheldatud, ei ole prügila kattematerjal sõelutud pinnas.



Joonis 4. BF mahuline niiskus [cm^3 vett/ cm^3 pinnase kohta].

Keemilised parameetrite poolest on heas vastavuses elektrijuhtivus, pH ning ammoonium. Ehkki nitritite määramispiir laboris oli suurem, kui piirsisaldus, saab tulemusega siiski rahul olla. Pinnases jääb puudu sulfaatidest, lämmastikust, fosforist ja orgaanilisest süsinikust.

Pääsküla kattepinnase bioloogiline aktiivsus on madal ja ta on bioloogiliselt stabiilne. Seda iseloomustab pinnase hapnikutarve, mis on väga madal ja jääb lubatud piiridesse. Kui füüsikaliste ja keemiliste parameetrite parandamiseks segada pinnase hulka bioloogiliselt aktiivseid komposte, tuleks eelkõige jälgida, et 7-päeva hapnikutarve ei ületaks 8 mgO₂/g KA. Töös kasutatud kompostid olid ka ise stabiilsed, nii et seda ohtu ei olnud.

Füüsikaliste parameetrite poolest on Pääsküla kattepinna biofiltri substraadi jaoks liiga tihe ja liiga mineraalainerikas. Mahumass ületab piirsaldust oluliselt. Kasutamise jaoks on pinnast on vaja segada kergema ja õhulisema materjaliga. Et ka osakesed on kattepinna liiga peened, siis tuleks seda segada koreda, orgaanilise aine ja taimetoidainerikka materjaliga, nt komposti, reoveesetekomposti või ka praakkompostiga.

Järeldus BF materjali kohta: Pääsküla prügilt 6 punktist (BF1 kuni BF6) võetud kattepinnase proovid oli sarnaste füüsikaliste ja keemiliste omadustega, nii, et neid käsitleti edaspidises töös ühetaolise sarnaste omadustega materjalina (BF). Materjal BF ei sobi üksi biofiltri substraadina, kuid segudes täiendaks positiivselt poorsete ja orgaanilise aine rikaste substraatide koostist.

Orgaanilise aine rikas materjal

Orgaanilise aine rikaste substraatide – komposti, reoveesetekomposti ja praakkomposti omadused on esitatud Lisas 5. TJT ja TJK keemiline koostis oli biofiltri materjaliks valdavalt pigem sobiv. Puuduseks oli osakeste suuruse ebaühtlane jaotus, mida on võimalik korrigeerida mineraalmaterjali lisamisega. Ehkki kirjandusest on teada ka 100 % komposti baasil valmistatud biofiltreid, siis materjali saadavuse suurendamiseks mõjub positiivselt, kui seda oleks võimalik segada mineraalmaterjaliga. Eriti veel, kui see on saadaval kohapeal või läheduses.

Paljassaare reoveesetekompost (RVP) omaette substraadina ei sobi ning seda saab võtta vaid lisasubstraadiks, mitte segu peamiseks koostisosaks. Seda on vaja lisada siis, kui biofiltri materjali peamine koostisosa ei sisalda orgaanilist ainet piisavalt, või kui on soov suurendada mikrobioloogilist aktiivsust.

Järeldus orgaanikarikka materjali kohta: Ükski substraatidest ei vastanud eraldi võetuna biofiltri materjali kõikidele piirsalduste väärtustele, kuid TJT ja TJK keemiline koostis oli biofiltri materjaliks pigem sobiv ning RVP pigem mitte. Substraate mineraalainerikka materjaliga kombineerides on võimalik parameetreid soovitud suunas muuta.

Biofiltri materjalide segude valmistamiseks on kolm teed:

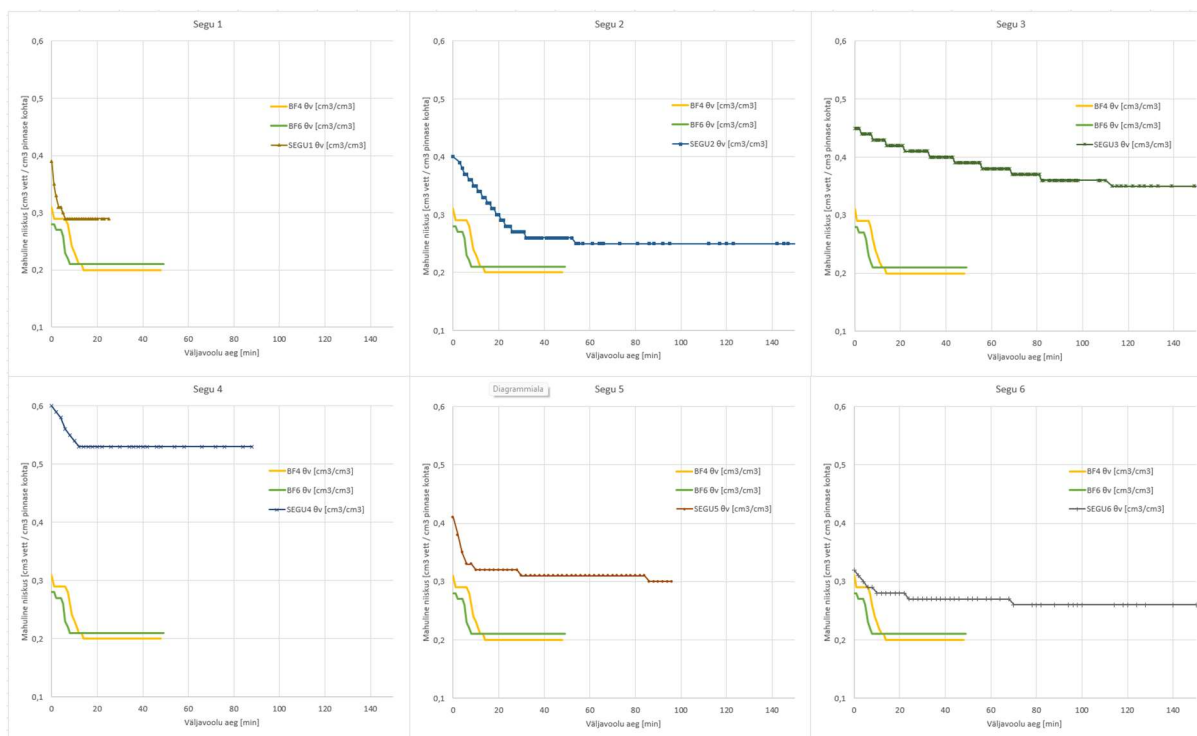
1. Kasutusele võtta võimalikult palju Pääsküla pinnast. Sel juhul tuleks BF-pinnasele lisada TJT, TJK või Paljassaare RVP substraate. Pääsküla pinnase kasutamine võimaldaks vähendada veokulu, kattekihis kasutatav materjal läheks kasutusse;
2. Vältida Pääsküla BF-pinnast ja kasutada peamise komponendina TJT või TJK substraate. Sel juhul tuleb selgeks teha nende materjalide saadavus ette nähtud mahus ning põhikomponendiks valida saadavuse, omaduste ja hinna poolest parim ning lisada muid substraate, kusjuures sellegipoolest on vaja ka mineraalset pinnast, nt teatav hulk Pääsküla prügila BF-kattepinnast;
3. Kasutada peamise komponendina TJT või TJK substraate, kuid mahu suurendamiseks segada juure muid Tallinna ümbrusest pärit saada olevaid mineraalmaterjale.

Segud

Materjalide omavaheline segamine muudab oluliselt saadud segude omadusi. Segude valmistamise kaalutlusi on kirjeldatud Lisas 6. Keemiliste ja bioloogiliste parameetrite kõrval keskenduti eelkõige valmistatud segude hüdrofüüsikaliste omaduste uurimisele. Biofiltri/bioakna töö jaoks on vaja, et materjal/substraat laseks vett sisse ja seoks vett, st hoiaks seda kaua (ei loovutaks vett kiiresti), ning et mikroobikoosus saaks areneda oludes, mis ei muutu muutuvates ilmastikutingimustes liiga kiiresti. Vee loovutamise korral jäävad pinnasepoorid tühjaks, mis on vajalik prügilagaasi liikumise tagamiseks. Veega küllastunud materjali nõrgumiskatses järgneb kiiremale või aeglasemale niiskuse sisalduse vähenemisele nn platoo (nn väliveeniiskus platoo alguses), mille juures gravitatsiooniline vesi on valdavalt lahkunud ja järelejäänud vesi allub kapillaarjõududele, st vesi hakkab aeglaselt liikuma üles (näiteks aurumiskao kompensatsiooniks, mida käesolevas katses ei täheldatud, kuid välitingimustes võib esineda) või alla, kui allapoole jäävad kihid on kuivemad (seda võib ette tulla olukorras, kus lagugaasides olev vesi kondenseerub biofiltri pinnakihis).

Järsk langus joonisel 5 kujutatud graafiku alguses näitab suurt poorsust ja poorides/tühimikes liikuva gravitatsioonilise vee hulka. Ajahetkel t_0 vastab θ_v veega küllastunud pinnasele, nt $\theta_v=0,37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ tähendab, et 1 kuupsentimeetrisse materjali mahub $0,37 \text{ cm}^3$ vett, 100 mm paksusesse kihti mahub 37 mm vett. Kõrge „platoo“ graafiku lõpus näitab, et materjali sisse jäi palju vett. See on vajalik reserv mikroobide veega varustamisel.

Joonisel 5 on näidatud segude erinevus kahe kõige iseloomulikuma BF (BF 4 ja BF 6) materjali suhtes. Selgub, et kõigi segude mahuline niiskus suurenes võrreldes materjaliga BF, st mahuühik segu pinnast suutis hoida rohkem vett. Segude omavahelised erinevused olid suured. Vee väljavooluaeg oli kõikidel segudel erinev. Parim on vee loovutamine võimalikult aeglaselt, et tagada võimalikult stabiilne elukeskkond mikroobidele.



Joonis 5. Segude mahuline niiskus [$\text{cm}^3 \text{ vett}/\text{cm}^3 \text{ pinnase kohta}$] võrrelduna BF materjaliga.

Järeldus segude kohta:

Segu 1 (BF 20%, TJT 60%, 20% RVP) – materjal loovutab väga kiiresti gravitatsioonilise vee, nt vihmavee, kuid materjali sisse jääb oluliselt rohkem vett alles võrreldes puhta BF materjaliga;

Segu 2 (BF 30%, TJT 70%) – materjal loovutab gravitatsioonilist vett aeglasemalt, on suurima küllastunud niiskusega ja segusse jääb puhta BF materjaliga võrreldes mõnevõrra rohkem vett alles;

Segu 3 (BF 30%, TJK 70%) – kõige aeglasemalt vett loovutav materjal, mille küllastunud veemahutavus on teiseks suurim, samuti on suur ka gravitatsioonile halvasti alluva vee hulk, st poorsus on väga hea;

Segu 4 (BF 70%, TJT 30%) – suurima küllastunud veemahutavusega, kuid gravitatsiooniline vesi lahkub kiiresti. Segu on suurima gravitatsioonile halvasti alluva poorides oleva veega. Tegu oli ka kõige heterogeensema materjaliga. Suur erinevus kõigist teistest tulemustest viitab vajadusele kordusanalüüsi järele;

Segu 5 (BF 70%, RVP 30%) – väga kiiresti gravitatsioonilist vett loovutav materjal, kuid alles jääva vee hulk oluliselt suurem võrreldes BF materjaliga;

Segu 6 (BF30%, RVP70% – gravitatsioonilise vee hulk on suhteliselt väike, alles jääva vee hulk veidi suurem võrreldes puhta BF materjaliga.

Segu 3 andis väga hea tulemuse ja soovitati kasutusele võtta. Paranes veehoiuvõime ja vee loovutamine pikenes võrreldes BF materjaliga. Segu 2 veehoiuvõime paranes, kuid TJT segu koostises mõjutas vee loovutamist vähem kui TJK, ehkki keemiliste omaduste poolest olid TJT ja TJK ligilähedased. 70 % TJT materjali segus muutis segu 2 liiga poorseks. Kui vähendati TJT osakaalu, 70 % BF ja 30 % TJT (segu 4), oli olukord soodsam ja segu hoidis kõige rohkem vett. Selle seguga saadud tulemus oli aga TJT materjali heterogeensuse tõttu kõige ebatüüpilisem.

Reoveesetekomposti (RVP) lisamine suurendas veehoiuvõimet suhteliselt vähe kõigil juhtudel (segud 1, 5 ja 6). Parem on olukord juhul, kui setet lisati vähe. Seega saab RVP arvelt muuta pigem segu keemilisi parameetreid, nt suurendada sulfaatide, orgaanilise aine, fosfori ja lämmastiku sisaldust, kui hüdrofüüsikalisi parameetreid.

Metaani oksüdeerivaid baktereid leidub tavaliselt keskkonnas (pinnases), kus on korraga saadaval metaan ja hapnik. Metaani oksüdeerimise potentsiaali määramisel laboris selgus, et kõikide segude korral katsenõudes metaani kontsentratsioon vähenes, st kõikidel segudel oli võime lagundada metaani. Teistest segudest mõnevõrra kiiremini toimus metaani mikroobne lagundamine segudes 5, 1 ja 4. Neist segud 1 ja 5 sisaldavad reoveeset. See viitab võimalusele, et RVP arvelt korrigeeritud segu koostis on mikroobide elutegevuseks soodne. Kõige aeglasem oli metaani lagunemine segus 3, mille struktuur oli samas kõige parem. Biofilter/biokate paigaldatakse aastate/aastakümnete pikkuse efektiivse toimimise eesmärgil. Sellest lähtekohast olenevalt on vajalik materjali parim struktuur ja selle säilimine pika aja jooksul. Laborioludes saavutatud metaani lagunemise edukuse pingerida ei ole segude valikul esmase tähtsusega. Oluline on tulemus, et kõigil segudel oli võime metaani lagundada.

Järeldus segude kohta:

Kõigi segude mahuline niiskus võrreldes puhta BF materjaliga suurenes, st mahuühik segu pinnast suutis hoida rohkem vett. Biofiltrid tuleb seega rajada segudena. TJK 70 % ja BF 30% (segu 3) andis soovitatavate omadustega substraadi. Selles segus paranes veehoiuvõime ja vee loovutamise aeg pikenes võrreldes BF materjaliga.

Segud valmistati laboris mahuprotsendi alusel. Teisendamise vajadus massiprotsendiks oleneb arve pidamise metoodikast välitöödel. Komponendi osakaalu arvuline väärtus ei eelda protsendi väärtusest pedantselt kinni pidamist (ilma edasiste uuringuteta võiks lubada $\pm 5\%$). Olulisem on, et materjalid oleks võimalikult hästi omavahel läbi segatud.

Lisakatsed

Projekti käigus selgus, et BF-pinnast ei ole biofiltrite 2 ja 3 ehitamisel võimalik kasutada. Seetõttu võeti uurimiseks kaks uut materjali, pinnas 1 ja pinnas 2. Pinnas 1 oli Tallinnas kinnisvaraarenduse käigus ära kooritud looduslik pinnakiht, mis muuks otstarbeks ei olnud kõlblik. Pinnas 2 oli ehitusplatsil ladustatud looduslik pinnas. Kuna mõlemad pinnased sisaldasid savi, siis materjali sobivuse selgitamiseks alustati esmalt hüdrofüüsikaliste parameetrite selgitamisega. Biofiltri töö jaoks on vaja, et materjal laseks vett sisse ja hoiaks seda, kuid savi takistab vee infiltreerumist.

Lisasubstraatide keemiliste omaduste poolest oli mõlemal pinnasel oli parameetreid, mis nõuetele vastasid (Lisa 7), kuid peamise koostisosana neid ei saa soovitada. Mõlema struktuur ja kuivainesisaldus oli piiridest väljas ning keemilise analüüsi tulemusena selgus, et mõlema pinnase puhul on tegemist toitainevaese materjaliga, milles süsiniku ja lämmastiku sisaldus jääb alla soovitatud piirväärtuste. Mõlema pinnase bioloogiline aktiivsus on väga madal. Pinnas 1 orgaanilise aine sisaldus oli mõnevõrra suurem.

Hüdrofüüsikalised parameetrid olid Pinnas 1 ja Pinnas 2 erinevad selle poolest, et Pinnas 1 agregaadid pudenesid kuivades laiali, Pinnase 2 agregaadid mitte (Lisa 3). Pinnas 2 on savirikkam ning savi esineb ka suurte klompidena. Mõlemad pinnased on kivised. Selgus, et kumbki materjal omaette ei sobinud (segu 7 ja 8), sest veekiht aitas mõlema materjali pinna peene savikihiga katta. Tulemus oli parem, kui nende pinnaste baasil tehti seeria segusid (tabel 1 segud 9 kuni 13), kus lisandite abil (liiv, puukoor) püüti poorsust nii suurendada kui vähendada. Pinnaste omadusi on kirjeldatud Lisas 7. Pinnase 2 omadused olid halvemad kui pinnasel 1, mistõttu uurimine keskendus pinnasele 1.

Tabel 2. Vee infiltreerumise kiirus

	Infiltreerumiskiirus (cm/h)	Kommentaar
Segu 8	1,30-1,33	Vesi imbub materjali sisse väga halvasti. Materjali pinnale kujunes peen savikiht.
Segu 7	1,10	Vesi imbub materjali sisse väga halvasti. Materjali pinnale kujunes peen savikiht.
Segu 10	16,43	Vesi imbub materjali sisse hästi.
Segu 11	4,75	Vesi imbub materjali sisse hästi. Tulemus oleneb liiva omadustest, mida on vaja eraldi uurida. Katse viga oli väga suur, tulemus oleneb väga palju materjali tihendamisest.
Segu 12	0,49	Vesi imbub materjali sisse väga halvasti. Tulemus oleneb materjali tihenemisest ja puidu rollist selles, mida on veel vaja uurida.
Segu 13	0,59	Vesi imbub materjali sisse väga halvasti.

Järeldus lisakatsetes uuritud segude kohta:

Segu 10 (Pinnas 1 seguna 30 % ja TJK 70 %) – tulemus oli väga hea, vee infiltratsioon paranes oluliselt. Segu 10 soovitatakse kasutusele võtta biofiltrite 2 ja 3 rajamisel ja kolonnikatsel. Pinnast võiks olla pigem alla kui üle 30 % määra, et vältida Segu 13 tulemust.

Segu 11 (Pinnas 1 seguna 20 %, TJK 60 % ja liiv 20 %) – tulemus paranes, liivast oli kasu, kuid välioludes võib see katsekihi muuta liiga raskeks. Kuna liivadel on endil väga erinevad omadused, peaks liiva soovitamisele eelnema uus katseseeria ehitaja poolt valitud liivadega. Projekti raames ei olnud see võimalik.

Segu 12 (Pinnas 1 seguna 20 %, TJK 60 % ja peen puukoorepuru 20 %) – peen puukoorepuru ei õigustanud, sest veeimamisvõime ei suurenenud.

Segu 13 (Pinnas 1 seguna 50 % ja TJK 50 %) – tulemus oli halb, vee infiltratsioon aeglane. Segu 13 ei soovitata kasutusele võtta.

Ehitustööde edasised etapid

Pääsküla ehitustööde edasiste etappide jaoks on vaja välja pakkuda biofiltri alternatiivne koostis juhaks, kui TJK materjalivoog ammendub. Kandidaadid on segu 4 (BF 70 % ja TJK 30 %) ja segu 5 (BF 70 % ja RVP 30 %). Viimasel juhul on kindlasti vaja lisada koredust andvat materjali (hakkpuut). Projekti raames ei olnud võimalik katsetada erinevate hakkpuudu liikide ega fraktsioonidega. Kuna aga Rahumäelt saadud materjal oli sõelutud jämedama sõelaga kui Pärnamäel, siis see sisaldas küllaltki palju puitset materjali ning uuring hakkpuudule rohkem ei keskendunud. Materjali BF kasutamine segudena edaspidi ülejäänud nelja biofiltri rajamisel on endiselt võimalik. Kas ja mil määral BF-materjale on võimalik kasutusele võtta, selgub tööde käigus. tööde käigus.

Pinnast 2 ei soovitata kasutada selle suure savisisalduse tõttu.

Kui ehitustöödel soovitakse kasutada muid, seni läbi proovimata materjale, siis tuleks nende omadusi laboris kontrollida sama metoodika alusel.

Kolonnikatse

Kolonnikatsega alustamine viibis plaanitud rohkem, sest vaja oli välja vahetada esmalt olulise koostisosana välja pakutud materjal ning seetõttu teha rohkem uuringuid ja analüüse vajalike parameetrite välja selgitamiseks. Kolonnikatse käivitati alles sügisel ning katsetulemused veel ei ole kättesaadavad.

Kolonnikatse jääb kestma kevadeni 2024 ja selle tulemusi saab kasutada biofiltrite 1, 4, 5 ja 6 rajamisel 2024. aastal.

Biofiltrid 2 ja 3 ning nende seire

Pääsküla prügila biofiltrid 2 ja 3 rajati 2023. aastal. Nende täidismaterjalina kasutati aruandes soovitatud segu 10 (TJK 70 % ja Pinnas 1 30%). Sama seguga täideti ka kolonn EMÜ veelaboris.

Pinnase omadused on kokku võetud Lisas 8. Keemiliste omaduste poolest segu pigem vastab nõuetele.

Vett infiltreerub pinnasesse tiheduse 1000 kg/m³ juures 0,21 cm/h, mis on pigem liiga vähe. Seda leevendab puidufraktsiooni osakaal, mis katseseadme väikese mahu tõttu tuli välja sõeluda. Hakkpuidu lisamine biofiltritesse on endiselt arutelu teema.

Biofiltreid tuleb seirata, kontrollida ja hooldada. Soovitused põhinevad tööühma varem tehtud töödel ja kirjandusandmetel.

Kontrollida tuleb, kas biofiltrites leiab aset vajumeid ning kui neid on, tuleb nad tasandada, et sademevesi ei jääks biofiltritele loikudena.

Biofiltrid kattuvad aja jooksul murukamaraga. Filtreid tuleb hooldustööde käigus regulaarselt niita.

Filtrit soovitatakse prügilagaasiga koormata algul vähem ning kui filter on tööks kohandunud, alles siis täiel määral. Selleks soovitatakse gaasikollektori jaotustorule panna möödaviik, mida sulgeda aeglaselt. See võtab mõned kuud.

Visuaalselt tuleb kontrollida gaasikaevude seisukorda.

Seire käigus tuleb välja selgitada:

1. Kas prügilagaas voolab gaasikogumistorustikust gaasijaotuskihti?
2. Kas prügilagaas tungib gaasijaotuskihist metaanilagunduskihti?
3. Kas metaan jõuab ära laguneda enne, kui see atmosfääri jõuaks?

Esimesele kahele annab vastuse biofiltrisse ehitatud gaasikaevudes gaasisalduse määramine. Gaasikaevu konstruktsioon ja vaade on joonisel 6.



Joonis 6. Gaasikaevu paigaldamine ja näide gaasi mõõtmisest kaevus

Kolmandale küsimusele annab vastuse metaanisisalduse mõõtmine biofiltrite pinnalt. Selleks süvistatakse biofiltrisse püsivalt 1 kuni 3 mõõterõngast (joonis 7). Mõõtmiste teostamiseks pannakse rõngale mõõtekuppel. Selle alla jäävast ruumist võetakse vaakumpudelitega kümneminutilise vahega

neli gaasiproovi. Tulemus võimaldab hinnata, kas ja kui, siis millises koguses selle aja jooksul metaani lendus. Saadud andmete alusel on võimalik arvutada metaani emissiooni biofiltrist. Mõõtepunkte peaks olema ühes biofiltris kolm. Millisele biofiltrile mõõtesüsteem rajada, on edasiste arutelude teema.



Joonis 7. Mõõterõngas ja mõõtekuppel

Rahvusvaheline koostöö

Lepingu raames osaleti Euroopa suurimal jäätmekäitluskonverentsil 19th *International Symposium on Waste Management, Resource Recovery and Sustainable Landfilling*, 09-13.10.2023, Santa Margherita di Pula, Sardinia, Itaalia. Konverentsil oli biokatte kohta kaks sessiooni: *SESSION E03 Landfill methane oxidation systems*, juhataja Alexander Cabral (CA) ja *SESSION G10 Potential of candidate materials for methane oxidation systems*, juhatajad Julia Gebert (NL), Marion Huber-Humer (AT). Tegemist on teadlastega, kelle loodud kontseptsiooni alusel Pääsküla biofiltrite rajamine käib.

Konverentsil tutvustati Pääsküla tööde käiku ning saavutati kokkulepe, et IWWG CLEAR korraldab 2024. aastal Eestis seminari. Tegemist on erialaorganisatsiooniga [*International Waste Working Group (IWWG) CLEAR (Consortium for Landfill Emissions Abatement Research) Task Group (TG) on Landfill Gas Emission and Mitigation*], mis ühendab prügilagaasi vähendamisele pühendunud erialateadlasi kogu maailmas. Seminari Eestisse toomine on tunnustus meil seni tehtud tööle prügila biokatte uurimises ning näitab üles huvi kaasa lüüa Pääsküla prügila seires. Seminari aitab korraldada Eesti Maaülikool.

Kokkuvõte

Lepingu raames uuriti potentsiaalseid materjale Pääsküla prügila biofiltrite rajamiseks: kuus mineraalpinnaseproovi biofiltrite praegustest asukohtadest, kaks ehitusettevõtte poolt pakutud mineraalpinnast, praakkompostid Pärnamäe ja Rahumäe jäätmejaamast, praakkompost Tallinna Jäätmete Taaskasutuskeskusest ning reoveesettekompost Paljasaarest. Lisaks kasutati osades segudes ka liiva ja puukoorepuru.

Mitte ükski materjalidest ei vastanud metaanilagunduskatte materjalile esitatud nõuetele kõigi ette antud parameetritele osas, kuid parameetreid on võimalik segude kokku segamise abil sobivas suunas muuta. Keemilistest omadustest olulisemateks tunnistati hüdrofüüsikaliste omaduste vastavus – materjal peab vett laskma sisse ning hoidma seda kinni.

Järeldus orgaanikarikka materjali kohta: ükski substraatidest ei vastanud eraldi võetuna biofiltri materjali kõikidele piirsalduste väärtustele, kuid TJT ja TJK keemiline koostis oli biofiltri materjaliks pigem sobiv ning RVP pigem mitte. Substraate mineraalainerikka materjaliga kombineerides on võimalik parameetreid soovitud suunas muuta.

Järeldus BF materjali kohta: Pääsküla prügilalt 6 punktist (BF1 kuni BF6) võetud kattepinnase proovid oli sarnaste füüsikaliste ja keemiliste omadustega, nii, et neid käsitleti edaspidises töös ühetaolise sarnaste omadustega materjalina (BF). Materjal BF ei sobi üksi biofiltri substraadina, kuid segudes täiendaks positiivselt poorsete ja orgaanilise aine rikaste substraatide koostist. Kaevetööde käigus selgus, et BF-materjali omadused siiski varieerusid nii sügavuti kui ruumiliselt, kuid pigem olid nad liivased, mis mõjus sooritatud katsetes positiivselt. Kui eesmärk on kasutusele võtta Pääsküla biofiltrite asukoha pinnas, siis parima tulemuse andis Segu 3. Materjali saadavus selgub 2024. aastal.

Järeldus segude kohta: kõigi segude mahuline niiskus võrreldes puhta BF materjaliga suurenes, st mahuühik segu pinnast suutis hoida rohkem vett. Biofiltrid tuleb seega rajada segudena. TJK 70 % ja BF 30% (segu 3) andis soovitatavate omadustega substraadi. Selles segus paranes veehoiuvõime ja vee loovutamise aeg pikenes võrreldes BF materjaliga.

Järeldus lisakatsetes uuritud segude kohta: kui kasutusele võtta mujalt toodud pinnas, siis parima tulemuse andis Segu 10 (Pinnas 1 a 30 % ja TJK 70 %). Selle segu abil rajati 2023. aastal esimesed kaks biofiltrit BF2 ja BF3 ja seati üles ka kolonnikatse.

Kui 2024. aasta töödes soovitakse kasutusele võtta muid materjale, tuleks neid töös kasutatud metoodika abil kontrollida.

2023. aastal Pääsküla esimese kahe biofiltri seire tulemused ja kolonnikatse tulemused tuleks 2024. aasta tööde alustamise eel üle vaadata. Kolonnikatse jääb käesoleva projekti lõppedes veel vähemalt pooleks aastaks kestma.

Lisad.

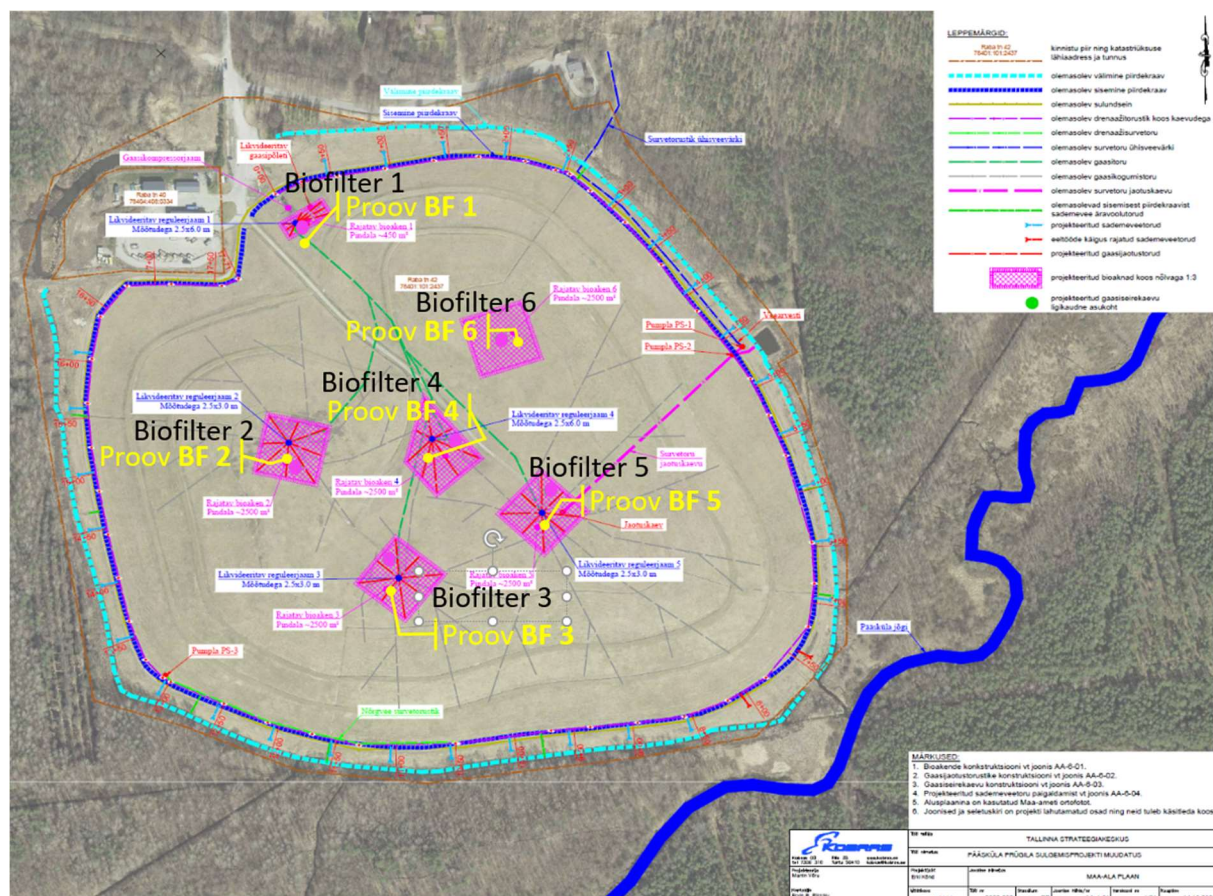
Lisa 1. Analüüsitavad parameetrid

Parameeter	Sihtarv/piirsisaldus ¹
Füüsikalised parameetrid	
mahumass	0,8-1,1 kg/l
veesisaldus	30-50 %
veemahutavus	50-130 %
õhuga täidetud pooride maht	>25 %
savisisaldus	
osakeste suuruse jaotus	Savi-fraktsioon 0,063-2 mm: 20-30 % 2-6,3 mm: ca. 40 % 6,3-20 mm: 20-40 % >20 mm: ca. 10 %
Keemilised omadused	
elektrijuhtivus	<4 mS/cm
pH	6,5-8,5
sulfaadid	>500 ppm
ammoonium	<400 ppm
nitraadid	
nitritid	<0,1 ppm
üldfosfor	>0,3 %
üldlämmastik	>0,5 %
orgaaniline aine (LOI 550°C)	>15 %
orgaaniline üldsüsinik (TOC)	>7 %
Bioloogilised omadused	
hapnikutarve 7d (Oxitop)	< 8 mgO ₂ / g KA
metaani oksüdatsioon	

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104

Joonis: OÜ Kobras

18



Lisa 3. Proovide võtmine



Joonis 1. Proovivõtupaik Jõelähtme prügilas (TJT). Proov võeti nn praak-komposti hunnikust, kuhu on ladustatud segaolmejäätmete mehaanilis-bioloogilise töötlemise peenfraktsioon. Materjal on vähemalt 1 a vana.



Joonis 2. Proovivõtupaik Pärnamäe jäätmejaamas (TJK). Proov võeti sertifitseerimisel kõlbmatuks osutunud komposti hunnikust. Materjal on sõelutud 10 mm, vähemalt 2 a vana.



Joonis 3. Proovivõtupaik Tallinna reoveepuhasti kompostimisplatsil. Proov võeti anaeroobse käärituse läbinud ning turbaga kokku segatud komposti hunnikust. Materjal on vähemalt 4 kuud vana.



Joonis 4. Proovivõturiistad pinnase puurimiseks Pääsküla prügilas. Puurid $\varnothing 100$ ja $\varnothing 200$ mm, pikendusvarras 50 cm, puurimissügavus 70-80 cm.



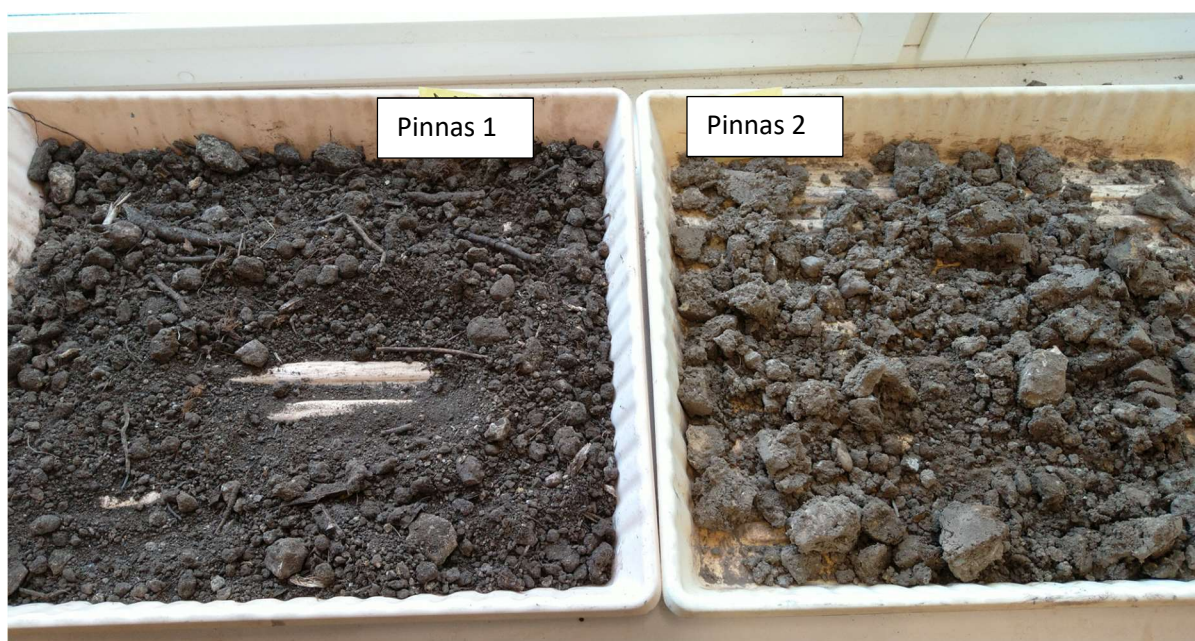
Joonis 5. Välja puuritud südamik koguti kokku, segati läbi ning sellest võeti ühendproov.



Joonis 6. Proovivõtupaigad märgistati ja tähistati.



Joonis 7. Pinnas 1 laoplatsil.



Joonis 8. Pinnas 1 ja 2 peale nädalast kuivamist toatemperatuuril.



Joonis 9. Biofiltritesse pandud materjali laadung EMÜ laboris. Materjal, millega täideti katsekolonn.

Lisa 4. Pääsküla praeguse kattepinna omadused biofiltrite (BF) jaoks ette nähtud kohtades

Parameetrid	Metoodika	Piirsisaldus ¹	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6
Füüsikalised								
Mahumass, kg/l		0,8–1,1	1,57	1,62	1,41	1,41	1,42	1,41
Vee sisaldus, %	EVS-EN 12880	30-50	14,3	12,5	13,2	17,3	16,9	14,0
Veemahutavus, %		50-130						
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)		>25	24	26	30	24	26,5	25
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)								
0,063-2 mm		20-30	77	79	86	72	78	86
2-6,3 mm		ca 40	5	6	5	7	7	5
6,3-20 mm		20-40	18	15	9	22	15	9
>20 mm		ca 10	0	0	0	0	0	0
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m) >10mm			16	12	15	19	12	13
Savi sisaldus			16	12	15	19	12	13
Kuivaine(KA), %	EVS-EN 12880	50-70	85,7	87,5	86,8	82,7	83,1	86,0
	EMÜ(103 °C)		85,6	86,5	87,8	82,1	85,7	86,0
Keemilised								
Elektrijuhtivus, mS/cm	CEN/TS 15937*	< 4000	127	104	119	127	134	115
	EMÜ (1:10w/w)		157	129	144	145	150	110
pH (H ₂ O)	ISO 10390	6,5-8,5	7,9	8,1	8,1	8,0	8,0	7,9
	EMÜ (1:10w/w)		7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA (ppm)	AOAC 973.57*	>167 SO ₄ -S	<32	<32	<32	<32	<32	<32
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA (ppm)	EVS-EN ISO 11732*	<400	1,5	2,2	2,1	4,0	4,0	1,3
Nitraadid, NO ₃ -N, mgN/kg KA (ppm)	EVS-EN ISO 13395*		7,7	0,74	1,0	0,82	1,2	8,7
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA(ppm)	SFS 3029*	<0,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Üldfosfor, %	STJnrMU91A	>0,3	0,17	0,17	0,13	0,12	0,11	0,12
Üldlämmastik, %	ISO 11261	>0,5	0,15	0,10	0,10	0,13	0,16	0,11
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	EVS-EN 12880	>15	4,2	4,2	3,3	5,1	5,4	3,7
	EMÜ (550 °C)		4,3	2,8	2,7	5,2	4,6	3,2
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	EVS-EN 15936	>7	2,7	1,7	2,1	2,0	2,4	1,3
Bioloogilised (stabiilsus)								
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	Oxitop (AT4 järgi)	< 8	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104

Rohelisega on märgitud parameetrid, mis vastavad nõuetele

Lisa 5. Orgaanilise aine rikaste substraatide omadused

Parameetrid	Metoodika	Piirsisaldus ¹	TJT	TJK	RVP
Füüsikalised					
Mahumass, kg/l		0,8–1,1	0,70	0,82	0,51
Vee sisaldus, %	EVS-EN 12880	30-50	42,5	34,6	74,3
Veemahutavus, %		50-130			
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)		>25			
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)					
0,063-2 mm		20-30	54	80	45
2-6,3 mm		ca 40	12	7	24
6,3-20 mm		20-40	33	13	31
>20 mm		ca 10	0	0	0
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m) >10mm			35	16	0
Savi sisaldus					
Kuivaine (KA), %	EVS-EN 12880	50-70	57,5	65,4	25,7
	EMÜ(103 °C)		59,0	65,1	25,2
Keemilised					
Elektrijuhtivus, mS/cm	CEN/TS 15937*	< 4000	2540	199	4630
	EMÜ (1:10 w/w)		2062	102	1271
pH (H ₂ O)	ISO 10390	6,5-8,5	7,3	7,7	5,5
	EMÜ (1:10 w/w)		7,3	8,2	5,3
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA (ppm)	AOAC 973.57*	>167	8200	<41	6600
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA (ppm)	EVS-EN ISO 11732*	<400	4,9	3,5	550
Nitraadid, NO ₃ -N, mgN/kg KA (ppm)	EVS-EN ISO 13395*		32	8,20	1070
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA(ppm)	SFS 3029*	<0,1	1,3	<0,3	5,4
Üldfosfor, %	STJnrMU91A	>0,3	0,3	0,3	2,4
Üldlämmastik, %	ISO 11261	>0,5	1,1	0,48	2,4
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	EVS-EN 12880	>15	26,9	16,9	65,5
	EMÜ (550 °C)		22,5	17,7	62,8
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	EVS-EN 15936	>7	15	8,2	33
Bioloogilised (stabiilsus)					
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	Oxitop (AT4 järgi)	< 8	1,1	0,6	6,6

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104

Rohelisega on märgitud parameetrid, mis vastavad nõutud sisaldusele. Alla joonitud väärtus on BF substraatidest märkimisväärselt erinev, st selle lisamine annab nende omavahelisel segamisel suurima efekti.

Lisa 6. Segude koostise valimise kaalutlused

Kaalutlused segude tegemiseks etapis 1 uuritud materjali BF omaduste korrigeerimiseks.

Füüsikalised parameetrid	Piirsisaldus ¹	min-max	Kommentaar
Mahumass, kg/l	0,8–1,1	1,41-1,62	Materjal liiga tihe. Vaja lisada õhulist ja kergemat, nt TJT, TJK
Vee sisaldus, %	30-50	12,5-17,3	Materjal liiga kuiv (veebruaries). Vaja lisada midagi, mis seob vett, nt TJT, TJK
Veemahutavus, %	50-130		
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)	>25	24-30	Piisav, kuid alumise piiri peal. Vaja õhulistust, nt TJT, TJK
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)			
0,063-2 mm	20-30	72-86	Liiga palju peeneid osakesi. Vaja koredamat, nt TJT, TJK
2-6,3 mm	ca 40	5-7	Liiga vähe, vaja lisada 2-6,3 mm materjali, nt TJT, TJK
6,3-20 mm	20-40	9-22	Liiga vähe, vaja lisada 6,3-20 mm materjali
>20 mm	ca 10	0	Fraktsioon on puudu. Sõelumine 10 mm ei ole vajalik. Vaja lisada nt hakkpuitu
Savi sisaldus		12-19	BF sisaldab savi, kuid ei ole savipinnas. Positiivne. Lahjenduseks nt TJT, TJK
Kuivaine(KA), %	50-70	82,7-87,5	Liiga kuiv. Vaja lisada suure veehoiuvõimega materjali, nt TJT, TJK
Keemilised parameetrid			
Elektrijuhtivus, mS/cm	< 4000	104-134	Vastab nõuetele
pH (H ₂ O)	6,5-8,5	7,9-8,1	Vastab nõuetele
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA	>167 SO ₄ -S	<32	Vaja lisada sulfaadirikast materjali, nt TJT, RVP
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA	<400	1,3-4,0	Vastab nõuetele
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA	<0,1	<0,3	Vastab nõuetele
Üldfosfor, %	>0,3	0,11-0,17	Vaja lisada fosforirikast materjali, nt RVP
Üldlämmastik, %	>0,5	0,10-0,16	Vaja lisada lämmastikurikast materjali, nt TJT, TJK, RVP, kuid ei tohi sisaldada liigselt NO ₂ ⁻ , st peab olema stabiilne
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	>15	3,7-5,4	Vaja lisada orgaanikarikast materjali, nt TJT, RVP
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	>7	1,3-2,4	Vaja lisada süsinikurikast materjali, nt TJT, RVP
Bioloogilised parameetrid			
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	< 8	0,1-0,3	Vastab nõuetele

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104

Rohelisega on märgitud parameetrid, mis vastavad soovitud parameetritele

Kaalutlused segude tegemiseks etapis 1 uuritud orgaanilise aine rikaste substraatide (TJT; TJK; RVP) omaduste korrigeerimiseks.

Füüsikalised parameetrid	Piirsisaldus¹	TJT	TJK	RVP	
Mahumass, kg/l	0,8–1,1	0,70	0,82	0,51	TJT ja TJK sobivad, RVP liiga õhuline, st vajub kokku
Vee sisaldus, %	30-50	42,5	34,6	74,3	TJT ja TJK sobivad, RVP üksi kasutades liiga niiske
Veemahutavus, %	50-130				
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)	>25				
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)					
0,063-2 mm	20-30	54	80	45	Kõik liiga peened, vaja koredamat, nt hakkpuitu
2-6,3 mm	ca 40	12	7	24	Kõik liiga peened, vaja koredamat, nt hakkpuitu
6,3-20 mm	20-40	33	13	31	TJT parim, RVP oleneb tugimaterjalist.
>20 mm	ca 10	0	0	0	Kõik liiga peened, vaia koredamat, nt hakkpuitu
Savi sisaldus					Ükski substraat ei ole suure savisisaldusega
Kuivaine (KA), %	50-70	57,5	65,4	25,7	TJK ja TJT sobivad, RVP liiga niiske
Keemilised					
Elektrijuhtivus, mS/cm	< 4000	2540	199	4630	Kõik sobivad segudena, RVP osa ei tohi olla liiga suur
pH (H ₂ O)	6,5-8,5	7,3	7,7	5,5	Kõik sobivad segudena, RVP osa ei tohi olla liiga suur
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA	>167	8200	<41	6600	Suurima mõjuga TJT ja RVP
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA	<400	4,9	3,5	550	Kõik sobivad segudena, RVP osa ei tohi olla liiga suur
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA	<0,1	1,3	<0,3	5,4	Kõik sobivad segudena, RVP osa ei tohi olla liiga suur
Üldfosfor, %	>0,3	0,3	0,3	2,4	Kõik sobivad, suurim positiivne mõju RVP-I
Üldlämmastik, %	>0,5	1,1	0,48	2,4	Kõik sobivad, suurim positiivne mõju RVP-I
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	>15	26,9	16,9	65,5	Kõik sobivad, suurim positiivne mõju RVP-I
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	>7	15	8,2	33	Kõik sobivad, suurim positiivne mõju RVP-I
Bioloogilised parameetrid					
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	< 8	1,1	0,6	6,6	Kõik sobivad

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104;

Rohelisega on märgitud parameetrid, mis vastavad soovitud parameetritele.

Lisa 7. Lisasubstraatide pinnas 1 ja 2 omadused

Füüsikalised parameetrid	Piirsisaldus ¹	Pinnas 1	Pinnas 2	
Mahumass, kg/l	0,8–1,1	1,06	1,33	Pinnased liiga rasked, eriti pinnas 2
Vee sisaldus, %	30-50	22,9–30,9	14,7–15,7	Ei vasta, pinnased sisaldavad liiga vähe vett
Veemahutavus, %	50-130			
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)	>25			
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)				
0,063-2 mm	20-30	40,6	63,5	Peent mineraalainet liiga palju
2-6,3 mm	ca 40	11,7	9,8	Liiga vähe
6,3-20 mm	20-40	47,7	26,7	Enam-vähem
>20 mm	ca 10			Mõlemas pinnases oli palju kive, millest paljud +20 mm eemaldati käsitsi.
Savi sisaldus				Eraldi ei määratud, kuid raskeid saviklompe oli mõlemas pinnases palju.
Kuivaine (KA), %	50-70	69,1–77,1	84,3–85,3	Mõlemas pinnases on KA üle ette antud piiri.
Keemilised				
Elektrijuhtivus, mS/cm	< 4000	197–396	130–262	Vastab nõuetele
pH (H ₂ O)	6,5-8,5	7,23–7,7	8,0–8,28	Vastab nõuetele
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA	>167	120	57	Liiga vähe
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA	<400	2,8	3,1	Vastab nõuetele
Nitraadid NO ₃ -N, mgN/kg KA		36	19	
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA	<0,1	0,12	0,027	Vastab nõuetele
Üldfosfor, %	>0,3	0,11	0,07	Ei vasta, pinnased on P-vaesed
Üldlämmastik, %	>0,5	0,56	0,094	Pinnas 1 vastab, Pinnas 2 on N-vaene ja ei vasta.
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	>15	12,6–16,1	2,3–4,1	Pinnas 1 vastab, Pinnas 2 ei vasta.
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	>7	8,9	1,6	Pinnas 1 vastab, Pinnas 2 ei vasta
Bioloogilised parameetrid				
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	< 8	0,27	0,06	Mõlemad pinnased on väga väikese hapnikutarbega

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104

Rohelisega on märgitud parameetrid, mis vastavad nõuetele.

Punasega on märgitud parameetrid, mis ületavad lubatud piirsisaldusi.

Sinisega on märgitud parameetrid, mis jäävad alla soovitatud väärtuste.

Lisa 8. Pääsküla biofiltrites kasutusele võetud substraadi omadused

Tabelis materjal, mis segati kokku (70% TJK ja 30% pinna 1) ning võeti kasutusele biofiltri nr 2 ja 3 ehitamisel ning millega täideti katsekolonn EMÜ laboris.

Füüsikalised parameetrid	Piirsisaldus ¹	Tegelik	Hinnang
Mahumass, kg/l	0,8–1,1	ca 1,0	Vastab nõuetele
Vee sisaldus, %	30-50		
Veemahutavus, %	50-130		
Õhuga täidetud pooride maht, % (v/v)	>25		
Osakeste suuruse jaotus, % (m/m)			
0,063-2 mm	20-30	42,1	Ületab nõutut
2-6,3 mm	ca 40	8,8	Alla nõutu
6,3-20 mm	20-40	11,9	Alla nõutu
>20 mm	ca 10	37,3	Ületab nõutut
Savi sisaldus			
Kuivaine (KA), %	50-70	61,4	Vastab nõuetele
Keemilised			
Elektrijuhtivus, mS/cm	< 4000	690	Vastab nõuetele
pH (H ₂ O)	6,5-8,5	8,0	Vastab nõuetele
Sulfaadid, SO ₄ -S, mgS/kg KA	>167	150	Ligilähedane nõuetele
Ammoonium, NH ₄ -N, mgN/kg KA	<400	49	Vastab nõuetele
Nitraadid NO ₃ -N, mgN/kg KA		29	
Nitritid NO ₂ -N, mgN/kg KA	<0,1	1	Ületab nõutut, kuid parameeter on ajas muutuv
Üldfosfor, %	>0,3	0,21	Vastab nõuetele
Üldlämmastik, %	>0,5	0,51	Vastab nõuetele
Orgaaniline aine (LOI 550°C), %	>15	17,8	Vastab nõuetele
Orgaaniline üldsüsinik (TOC), %	>7		
Bioloogilised parameetrid			
7-päeva hapnikutarve, mgO ₂ /g KA	< 8	2,0	Vastab nõuetele

¹Huber-Humer et al. 2009, Waste Management 29, 2092–2104