

Turvetta korvaavien kasvualustojen käytön työhygienia
Luke, Suonenjoki 3.-6.6.2024

Pertti Pasanen

Antti Karjalainen

Itä-Suomen yliopisto, ympäristö- ja biotieteiden laitos

4.2.2025

Sisällys

1 Johdanto	3
2 Tuotanto ja sen vaiheet mittausjaksojen aikana	4
3 Menetelmät.....	7
3.1 Ilman mikrobit	7
3.2 Hiukkaset ja olosuhteet.....	7
3.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	8
4 Tulokset ja niiden tarkastelu	9
4.1 Ilman mikrobit	9
4.2 Hiukkaset ja olosuhteet.....	11
4.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	17
5 Johtopäätökset	21
Lähteet.....	22
Liitteet	
Liite 1. Kuvia näytteenottopaikoista	
Liite 2. Kuvia mikrobimaljoista ja Andersen-keräimen leikkausrajat.....	

1 Johdanto

Energiaturpeen tuotannon alasajo heijastuu myös puun taimien kasvualustana käytetyn turpeen tuotannon vähentymiseen. Tämä muutos vaikuttaa suoranaisesti taimitarhojen toimintaan ja niiden on etsittävä vaihtoehtoisia, turvetta korvaavia kasvualustoja. Korvaavat materiaalit poikkeavat koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan merkittävästi turpeesta ja siten työntekijöiden altistuminen niiden käsittelyssä on erilaista. Kasvualustoista ilmaan pääsevät altisteet ovat pääasiassa orgaanisia hiukkasia, mutta niiden joukossa on myös mm. bakteereja ja homesieniä. Lisäksi turvetta vähemmän maatuneiden kasvipohjaisten kasvualustojen esim. sammaleen tai puupurun hiilivetyemissioiden voimat poiketa maatuneemman turpeen emissioista. Materiaalien hiukkasemissiossa on eroja, mikä vaikuttaa työskentelyalueen pölypitoisuuteen.

Tämän työhygienisen selvityksen tavoitteena oli tarkastella työntekijöiden hengitystiealtistumista mikrobeille, hiukkasille ja haihtuville orgaanisille yhdisteille metsäpuiden paakkutaimien kasvatuksessa käytettävien kennojen täytössä Luonnonvarakeskuksen (Luke) Suonenjoen tutkimustaimitarhalla. Mittaukset ja altistumisen arviointi liittyvät Luken hankkeeseen ”Uudet kasvualustat”, johon sisältyy turvetta korvaavien kasvualustojen työ- ja käyttöturvallisuuden alustava selvitys. Mittaukset toteutettiin taimituotantohallissa, jossa käytettiin taimikennostojen täyttö- ja kylvölinjastoa 3.–6.6.2024.

2 Tuotanto ja sen vaiheet mittausjaksojen aikana

Mittausjakson aikana tuotantohallissa täytettiin taimien kasvatuksessa käytettäviä kennoja. Kunakin tutkimuspäivänä kennoja täytettiin eri kasvualustalla. Kennojen täyttölaitteisto ja tuotantotila puhdistettiin huolella tuotantopäivän jälkeen, jolloin myös hallin ilmassa olevat epäpuhtaudet ehtivät huuhtoutua ennen seuraavan päivän koetta.

Kasvualustoina oli kaupallisesti tuotettuja materiaaleja, joita käytettiin sopivaan kosteustasoon säädettyinä sellaisenaan tai seostamalla eri raaka-aineita keskenään. Seokset mitattiin lapioiden avulla kasvualustamassoja 50 litran saaveihin, josta ne kaadettiin sekoittimeen 400 litran sekoituseriksi. Yhden koejakson aikana sekoitettiin kolme sekoittimellista kasvualustaa. Kasvualustojen täyttökoneita käytettiin testien aikana mahdollisimman yhtäjaksoisesti.

Taulukossa 1 on kuvattu eri päivinä käytetyt kasvualustat ja seokset.

Taulukko 1. Eri testauspäivinä käytetyt kasvualustat.

Testauspäivä	Kasvualusta	Valmistaja/alkuperä ja seossuhde
3.6.	Kasvuturve	Kekkilän metsätaimiturve, lannoitettu ja kalkittu
4.6.	Sammal	Novarbon 100 % rahkasammal (suobiomassa), lannoitettu ja kalkittu, tyypillisä Suonenjoella
5.6.	Turve-sammal-puukuitu	Kekkilä Ecoboost, C-turve 50 % + sammal 25 % + puukuitu 25 %, lannoitettu ja kalkittu, tyypillisä Suonenjoella
6.6.	Sammal-mädätejäännös	Kekkilän sammal 75 %, lannoitettu ja kalkittu + tuore mädätejäännös 25 %

Altistumismittaustulosten vertailtavuuden vuoksi sekoituksen työvaiheet ja linjaston käyttöajat pyrittiin pitämään eri testipäivinä samanlaisina. Työvaiheet ja niiden kesto eri kasvualustojen täytöillä on kirjattu taulukoihin 2–5.

Taulukko 2. Sekoittimen ja täyttölinjaston käyttöajat turpeen käyttöjaksolla 3.6. Täyttölinjasto oli päällä noin 48 min, josta se oli tehollisessa toiminnassa n. 20 min.

Aloitusklo	Kestomin	Työvaihe
9.56	6	Sekoittimen täyttö: massan lapiointi 50 litran saaveihin, kaato sekoittimeen, yhteensä 400 litraa
10.02	5	Sekoitus ja massan kostutus
10.07	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
10.12	6	2. sekoittimen täyttö
10.18	5	Sekoitus ja massan kostutus
10.23	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
10.26	3	3. sekoittimen täyttö
10.32	7	Sekoitus ja massan kostutus
10.40	8	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
10.50	10	Täyttö tehty, pientä siivoilua sekoittimen luona
10.55		Valmista täytön osalta

Taulukko 3. Sekoittimen ja täyttölinjaston käyttöajat sammalen käyttöjaksolla 4.6. Täyttölinjasto oli päällä noin 55 min, josta liikkeellä n. 20 min.

Aloitusklo	Kestomin	Työvaihe
9.25	11	Sekoittimen täyttö: massan lapiointi 50 litran saaveihin, kaato sekoittimeen, yhteensä 400 litraa, yhteen annokseen lisätty hidasliukoinen typpilannoite
9.36	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.41	8	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
9.49	5	2. sekoittimen täyttö
9.54	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.59	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
10.02	7	3. sekoittimen täyttö
10.10	5	Sekoitus ja massan kostutus
10.15	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
10.20	5	Täyttö tehty, pientä siivoilua sekoittimen luona
10.25		Valmista täytön osalta

Taulukko 4. Sekoittimen ja täyttölinjaston käyttöajat turve-sammal-puukuitu-kasvualustan käyttöjaksolla 5.6. Täyttölinjasto oli päällä noin 38 min, josta liikkeellä n. 20 min.

Aloitusklo	Kestomin	Työvaihe
9.25	5	Sekoittimen täyttö: massan lapiointi 50 litran saaveihin, kaato sekoittimeen, yhteensä 400 litraa, yhteen annokseen lisätty hidasliukoinen typpilannoite
9.30	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.35	3	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
9.38	5	2. sekoittimen täyttö
9.43	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.48	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
9.53	5	3. sekoittimen täyttö
9.58	5	Sekoitus ja massan kostutus
10.03	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
10.12	7	Täyttö tehty, pientä siivoilua sekoittimen luona
10.15		Valmista täytön osalta

Taulukko 5. Sekoittimen ja täyttölinjaston käyttöajat sammal-mädätejäännös-kasvualustan käyttöjaksolla 6.6. Täyttölinjasto oli päällä noin 51 min, josta liikkeellä n. 17 min.

Aloitusklo	Kestomin	Työvaihe
9.27	10	Sekoittimen täyttö: massan lapiointi 50 litran saaveihin, kaato sekoittimeen, yhteensä 400 litraa
9.37	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.42	5	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön aloitus
9.43	9	2. sekoittimen täyttö
9.52	5	Sekoitus ja massan kostutus
9.53	15	3. sekoittimen täyttö (saavien täyttö alkaa saman tien)
9.57	7	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
10.08	5	Sekoitus ja massan kostutus
10.13	2	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
10.15	10	Linjasto tukossa, tauko ja linjaston puhdistus
10.25	8	Linjaston käynnistys ja kennostojen täytön jatkaminen
10.33		Valmista täytön osalta

Näytteenottopäivinä sääolosuhteet olivat aurinkoiset ja kuivat. Tämä vaikutti erityisesti ulkoilman mikrobipitoisuuteen. Mitatut lämpötilat ja kosteudet ulkomittausten aikana olivat keskimäärin 24,4 °C ja 49,3 % (4.6.), 24,5 °C ja 45,5 % (5.6.), 25,1 ja 41,3 % (6.6.). Ulkoilman olosuhdetiedot on tarkemmin esitetty taulukossa 10.

3 Menetelmät

3.1 Ilman mikrobit

Ilman mikrobiinäytteet kerättiin kuusivaiheisella Andersen-keräimellä suoraan kasvatusalustoille. Keräin jaottelee eri kokoiset mikrobihiukkaset kuuteen eri kokoluokkaan. Keräimen tilavuusvirraksi kalibroitiin $28,3 \text{ dm}^3/\text{min}$. Homesieni-itiöt kerättiin 2 % mallasuuteagarille (M2) ja bakteerit kerättiin tryptoni-hiivauute-glukoosi-alustalle (THG). Näytteenottomenetelmä on kuvattu mm. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa IV (2016).

Bakteeri- ja homesieni-itiönäytteet kerättiin rinnakkaisina näytteinä tuotantotiloista kahdella eri Andersen-keräimellä kahtena peräkkäisenä näytteenä. Näytteenkeräyspaikka (kp2, ks. luku 3.2) oli sekoituslaitteen ja kennojen täyttölaitteiston läheisyydessä, n. kahden metrin päässä molemmista (Liite 1, kuva L1.2).

Ensimmäinen (A) näytteenotto käynnistettiin 2–5 min ensimmäisen sekoituksen aloittamisen jälkeen ja toinen (B) näytteenotto n. 15 min kuluttua ensimmäisen näytteenoton aloittamisen jälkeen. Andersen-keräimen maljojen järjestys ja keräimen eri vaiheiden keskimääräiset leikkausrajat on esitetty liitteessä 2 (kuva L2.1 ja taulukko L2.1). Keräysaika oli kahtena ensimmäisenä päivänä (3.6. turve, 4.6. sammal) 10 min ja kahtena viimeisenä päivänä (5.6. turve-sammal-puukuitu, 6.6. sammal-mädätejäännös) 2 min. Lisäksi jokaisena päivänä otettiin ulkoilman (C) mikrobiinäytteet (Liite 1, kuva L1.4). Ulkoilmanäytteiden keräysaika oli 10 min. Bakteerimaljat inkuboitiin 30°C :een lämpötilassa ja homemaljat huoneenlämpötilassa, n. 25°C (5 vrk $\pm$ 2 h).

3.2 Hiukkaset ja olosuhteet

Hiukkasten massapitoisuuksia mitattiin sekä suodatinkeräyksellä että jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Suodatinnäytteillä määritettiin hengittyvien hiukkasten (aerodynaaminen halkaisija $D_{ae} < 100 \mu\text{m}$) pitoisuus käyttäen IOM-keräimiä (SKC Inc.) ja SKC AirChek 224 -pumppuja (tilavuusvirta 2 l/min). Keräin kiinnitettiin muoviletkulla pumppuun ja näyte kerättiin suodattimelle, joka oli asetettu keräimen sisällä olevaan suodatinkasettiin.

IOM-näytteet kerättiin kahden tutkimusmestarin (Mikko Hentunen ja Martti Udd) hengitysvyöhykkeeltä (hv1 ja hv2) sekä kolmesta kiinteästä pisteestä: täyttökoneen vierestä (kp1), sekoituspisteen vierestä (kp2) ja ulkoilmasta (Liite 1, kuvat L1.1–L1.3). Yksi työntekijöistä kirjasi paperille työvuoron aikaiset työtehtävät ja niiden kestot kunakin mittauspäivänä. Hengitysvyöhykenäytteissä pumppu asetettiin reppuun, joka annettiin työntekijöiden kannettavaksi työvuoron ajaksi. IOM-keräin ja letku kiinnitettiin repun olkaimeen. Kiinteän pisteen näytteissä IOM-keräin, letku ja pumppu kiinnitettiin telineeseen (IOM-keräin n. 1,4 m korkeudelle). Mittaus käynnistettiin työvuoron alussa jokaisena mittauspäivänä. Keräysajat olivat 40–75 min (hv1 ja hv2), 61–76 min (kp1 ja kp2) sekä 66–132 min (ulkona).

Hiukkasten reaaliaikaisia massapitoisuuksia mitattiin DustTrak II Aerosol Monitor 8530 ja Optical Particle Sizer Model 3330 (OPS) -mittalaitteilla (TSI Inc.). Molemmat laitteet tallensivat pitoisuuksia 10 s:n välein. DustTrak II mittasi PM₁₀-hiukkasten ($D_{ae} < 10 \mu\text{m}$) pitoisuuksia. OPS mittasi pitoisuuksia seuraaville hiukkaskokoluokille: 0,3–0,5 μm , 0,5–1 μm , 1–3 μm , 3–5 μm , 5–8 μm ja 8–10 μm .

Olosuhteiden osalta mitattiin lämpötilaa ($^{\circ}\text{C}$), suhteellista kosteutta (RH%) ja hiilidioksidia (CO_2) käyttäen jatkuvatoimista IAQ-Calc-mittalaitetta. Laite tallensi olosuhdetietoja 10 s:n välein.

Jatkuvatoimisilla laitteilla (DustTrak II, OPS, IAQ-Calc) mitattiin edellä kuvatuissa kiinteissä pisteissä (kp1, kp2, ulkona). Laitteet sijoitettiin tuotantotilassa pöydille ja ulkona tuotantotilan vieressä olevalle puulavalle. Mittauspäivänä 1 (3.6.) laitteilla mitattiin taustapitoisuuksia ja olosuhteita ennen työvuoron alkua 20 min täyttökoneen vierestä (kp1) ja 48 min sekoituspisteen vierestä (kp2). Mittauspäivinä 2–4 (4.–6.6.) taustapitoisuuksia ja olosuhteita mitattiin ennen työvuoron alkua seuraavasti: täyttökoneen vierestä 20–30 min, sekoituspisteen vierestä 20 min ja ulkona 10 min. Työvuoron aikana mittaukset tehtiin ko. laitteilla sekoituspisteen vierestä kunakin mittauspäivänä. Työvuorot olivat kestoltaan noin tunnin mittaisia.

3.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin ja analysoitiin standardin ISO 16000-6 (2021) mukaisesti. Keräyksessä käytettiin AirChek 3000 -pumppuja (SKC Inc.) (tilavuusvirta 120–140 ml/min) ja Tenax TA -adsorbenttiputkia (Sigma Aldrich Corporation). Keräystilavuudet olivat 4,9–7,6 l. Keräysajat vaihtelivat välillä 40–60 min. Näytteitä kerättiin kahden tutkimusmestarin (Mikko Hentunen ja Martti Udd) hengitysvyöhykkeeltä (hv1 ja hv2) sekä edellä kuvatuista kiinteistä pisteistä (kp1, kp2, ulkona) kunakin mittauspäivänä. Täyttökoneen ja sekoituspisteen vierestä (kp1 ja kp2) kerättiin myös taustanäytteet jokaisena mittauspäivänä. Kiinteissä pisteissä pumput ja adsorbenttiputket kiinnitettiin samoihin telineisiin (adsorbenttiputki n. 1,4 m:n korkeudelle), joita käytettiin IOM-näytteiden keräyksessä.

Näytteet analysoitiin TD-GC-MS-laitteistolla (termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometri), johon kuului TD100-termodesorptiolaitte (Markes International Ltd.), 7890A-kaasukromatografi (Agilent Technologies Inc.) ja 5975C-massaselektiivinen detektori (Agilent Technologies Inc.). Yhdisteet tunnistettiin MSD ChemStation F.01.00.1903 -ohjelmalla (Agilent Technologies Inc.) ja niiden pitoisuudet laskettiin. Terpeeniyhdisteiden määrittämisessä hyödynnettiin terpeenistandardia, johon kuului 21 yhdistettä. Muiden yhdisteiden määrittämiseen käytettiin standardia, jossa oli 48 yhdistettä. Terpeenien pitoisuudet laskettiin yhdisteiden omilla vasteilla. Muiden yhdisteiden pitoisuudet ja VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) laskettiin tolueeniekvivalenttina yhdisteille, joiden retentioaika oli välillä C₆ (heksaani) ja C₁₆ (heksadekaani).

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

4.1 Ilman mikrobit

Ilman bakteeripitoisuudet on esitetty taulukossa 6. Kuvia bakteerimaljoista on liitteessä 2 (kuvat L2.2, L2.4, L2.6, L2.8). Bakteeripitoisuudet ovat korkeita verrattuna useimpiin muihin ympäristöihin ja työpaikkoihin.

Taulukko 6. Ilman bakteeripitoisuudet eri kasvualustojen käytön aikana. A- ja B-näytteet ovat peräkkäisiä näytteitä, A edustaa tuotannon alkupuolta ja B sen loppuvaihetta. C on kennojen täytön jälkeen määritetty ulkoilman bakteeripitoisuus.

Kasvualusta	Bakteeripitoisuus (pmy/m ³)		
	Työvaihe		Ulkona
	A	B	C
Turve	5 800	14 200	85
Sammal	3 400	2 300	25
Turve-sammal- puukuitu	38 800	31 100	95
Sammal- mädätejäännös	6 700	11 200	12

Ilman homesieni-itiöpitoisuudet on esitetty taulukossa 7. Kuvia homemaljoista on liitteessä 2 (kuvat L2.3, L2.5, L2.7, L2.9). Homesieni-itiöpitoisuudet olivat korkeita. Osassa näytteitä pesäkemäärä oli niin suuri, että pitoisuuden luotettava määrittäminen oli mahdotonta. Näin ollen esitetty tulos saattaa aliarvioida todellisen pitoisuuden.

Taulukko 7. Ilman homesieni-itiöpitoisuudet eri kasvualustojen käytön aikana. A- ja B-näytteet ovat peräkkäisiä näytteitä, A edustaa tuotannon alkupuolta ja B sen loppuvaihetta. C on kennojen täytön jälkeen määritetty ulkoilman homesieni-itiöpitoisuus.

Kasvualusta	Homesieni-itiöpitoisuus (pmy/m ³)		
	Työvaihe		Ulkona
	A	B	C
Turve	8 000	11 000	290
Sammal	9 000	5 100	930
Turve-sammal- puukuitu	30 900	34 600	270
Sammal- mädätejäännös	8 200	14 700	270

Sisäilman bakteeripitoisuudet olivat korkeimmat turve-sammal-puukuidun käsittelyssä (taulukko 6). Sammaleen ja turve-sammal-puukuidun osalta pitoisuudet olivat korkeammat

tuotannon alkupuolella kuin sen loppuvaiheessa. Tässä tulkinnessa on huomioitava korkeasta pitoisuudesta johtuva mittauksen epäluotettavuus, joten pitoisuus turve-sammal-puukuitunäytteissä voi olla esitettyä huomattavasti korkeampikin. Sen sijaan turvetta ja sammal-mädätejäännöstä käsiteltäessä pitoisuudet olivat korkeammat tuotannon loppuvaiheessa kuin alkupuolella. Ulkoilman bakteeripitoisuudet olivat tyypillisen alhaisia.

Myös sisäilman homesieni-itiöpitoisuudet olivat korkeimmat turve-sammal-puukuidun käsittelyssä (taulukko 7). Sammalta käsiteltäessä pitoisuudet olivat korkeammat tuotannon alkupuolella kuin sen loppuvaiheessa, sen sijaan muiden kasvualustojen osalta korkeammat pitoisuudet mitattiin tuotannon loppuvaiheessa. Ulkoilman homesieni-itiöpitoisuudet olivat alhaisia.

Mikrobien ilmapitoisuuksille ei ole olemassa raja-arvoja riittämättömän annos- ja vastetiedon vuoksi (Pääkkönen 2015). Tutkimustietoa mikrobipitoisuuksista taimikennostojen täytössä ei ole myöskään saatavilla, mutta tuloksia voidaan verrata turvepehkun käsittelylaitoksissa, tienvarsihaketuksessa ja kasvihuoneissa mitattuihin mikrobipitoisuuksiin.

Turvepehkun käsittelylaitoksissa tehdyissä tutkimuksissa (Mériaux ym. 2006, Létourneau ym. 2010) ilman mikrobipitoisuudet mitattiin kiinteissä pisteissä käyttäen Andersen-keräintä. Keskimääräiset bakteeripitoisuudet ($35\,000\text{--}37\,000\text{ pmy/m}^3$) olivat samalla tasolla kuin tässä selvityksessä turve-sammal-puukuidun käsittelyssä ($31\,100\text{--}38\,800\text{ pmy/m}^3$). Muiden kasvualustojen käsittelyssä bakteeripitoisuudet olivat alhaisemmat kuin turvepehkun käsittelylaitoksissa mitatut pitoisuudet. Sen sijaan kyseisissä tutkimuksissa saadut homepitoisuudet ($1,6\text{--}7,2 \times 10^6\text{ pmy/m}^3$) olivat yli 100–1 000-kertaiset verrattuna tässä selvityksessä saatuihin homepitoisuuksiin. On huomattava, että tässä selvityksessä pitoisuudet ylittivät käytetyn menetelmän luotettavan mittauksen ylärajan.

Tienvarsihaketuksen työympäristöriskien hallintaa käsitelleessä tutkimuksessa (Laitinen ym. 2014) bakteeripitoisuudet olivat $1\,500\text{--}650\,000\text{ pmy/m}^3$ mitattuna haketettavan kasan vierestä, työkonen ohjaamosta ja hakettajan hengitysvyöhykkeeltä. Vastaavat homepitoisuudet vaihtelivat välillä $1,1 \times 10^4\text{--}5,0 \times 10^6\text{ pmy/m}^3$. Osa mitatuista bakteeri- ja homepitoisuuksista oli samansuuntaisia kuin tässä selvityksessä taimikennostojen täytössä havaitut pitoisuudet. On huomattava, että Laitinen ym. keräsivät ilman mikrobit eri menetelmällä käyttäen polykarbonaattisuodattimia, josta mikrobien määrä määritettiin viljelymenetelmällä (CAMNEA).

Suojalehto ym. (2022) mittasivat mikrobialtistumista Andersen-keräimellä kasvihuoneissa (tomaatti- ja kurkkuhuoneet), joissa kasvualustana oli mullan sijasta kivivilla ja ravintoliuos. Kasvihuoneissa työnaikaiset bakteeri- ($7\text{--}490\text{ pmy/m}^3$) ja sienipitoisuudet ($6\text{--}20\,000\text{ pmy/m}^3$) olivat kiinteissä pisteissä keskimäärin alhaisemmat kuin tässä selvityksessä mitatut pitoisuudet. Kyseisessä tutkimuksessa hengitysvyöhykenäytteissä mikrobien määrä oli noin 10-kertainen yleisilmanäytteisiin verrattuna, joten samansuuntainen havainto olisi mahdollisesti tehty myös taimikennostojen täytössä, jos mikrobialtistuminen olisi määritetty hengitysvyöhykkeeltä. Suojalehton ym. tutkimus osoittaa kasvualustalla olevan huomattava vaikutus työntekijöiden mikrobialtistumiseen.

Biologiset tekijät jaetaan neljään vaaraluokkaan vaarojen arviointia ja hallintaa varten. Luettelo biologisten tekijöiden luokituksesta on esitetty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (748/2020) liitteessä. Tässä työhygieenisessä selvityksessä bakteerien ja homesieni-itiöiden tunnistusta ei kuitenkaan tehty, joten em. luokittelua ei voida tehdä. Tulosten perusteella mikrobien haitallisuutta työympäristössä ei voida suoraan päätellä.

4.2 Hiukkaset ja olosuhteet

Taulukossa 8 on esitetty IOM-keräimellä määritetyt massapitoisuudet hengitysvyöhykenäytteelle ja kiinteän pisteen näytteelle.

Taulukko 8. Hengittyvien hiukkasten massapitoisuudet IOM-näytteissä.

Näyte	n	Massapitoisuus (mg/m ³)
		Keskiarvo (vaihteluväli)
Hv1	4	0,69 (0,20–1,23)
Hv2	3 ^{a)}	0,48 (0,14–0,91)
Kp1	3 ^{b)}	0,27 (0,10–0,42)
Kp2	4	0,26 (0,20–0,31)
Ulkona	2 ^{c)}	0,08 (0,07–0,08)

a) mittauspäivänä 1 IOM-näytettä ei kerätty, b) mittauspäivänä 3 tulos oli alle havaitsemisrajan, c) mittauspäivinä 3 ja 4 tulos oli alle havaitsemisrajan, hv1 = hengitysvyöhykenäyte 1 (Mikko Hentunen), hv2 = hengitysvyöhykenäyte 2 (Martti Udd), kp1 = kiinteä piste 1 (täyttökoneen vieressä), kp2 = kiinteä piste 2 (sekoituspisteen vieressä), n = mittausten lukumäärä

Hengittyvien hiukkasten massapitoisuudet (taulukko 8) alittivat orgaanisen pölyn haitalliseksi tunnetun pitoisuuden eli HTP_{8h}-arvon, 5 mg/m³ (STM 2020). Korkein hengitysvyöhykkeen massapitoisuus (1,23 mg/m³) oli hv1:ssä mittauspäivänä 2, jolloin kasvualustana oli sammal. Sen sijaan korkein kiinteän pisteen massapitoisuus (0,42 mg/m³) mitattiin kp1:ssä (täyttökoneen vieressä) mittauspäivänä 1, jolloin kasvualustana oli turve.

Taulukkoon 9 on koottu DustTrak II -mittalaitteella mitatut PM₁₀-hiukkasten massapitoisuudet kiinteissä pisteissä kunakin mittauspäivänä.

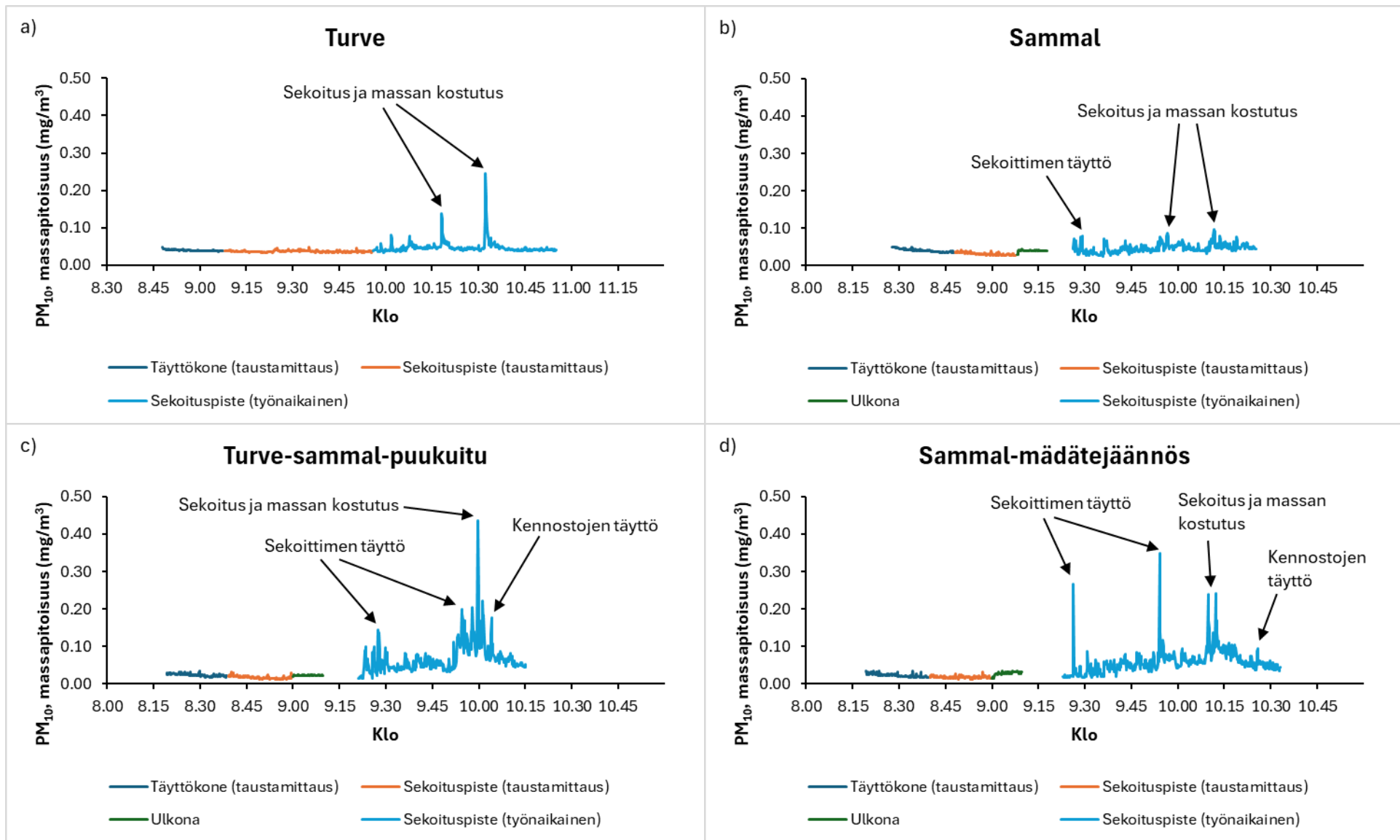
Taulukko 9. PM₁₀-hiukkasten massapitoisuudet kiinteissä pisteissä eri mittauspäivinä DustTrak II -mittalaitteella mitattuna.

Mittauspiste	Massapitoisuus (mg/m ³), keskiarvo (vaihteluväli)			
	3.6.2024 Turve	4.6.2024 Sammal	5.6.2024 Turve-sammal- puukuitu	6.6.2024 Sammal- mädätejäännös
Tausta, kp1	0,04 (0,04–0,05)	0,04 (0,03–0,05)	0,02 (0,02–0,04)	0,02 (0,02–0,03)
Tausta, kp2	0,04 (0,03–0,05)	0,03 (0,03–0,04)	0,02 (0,01–0,03)	0,02 (0,01–0,03)
Sekoittimen täyttö, kp2	0,04 (0,03–0,08)	0,04 (0,02–0,08)	0,08 (0,02–0,21)	0,06 (0,02–0,35)
Sekoitus ja massan kostutus, kp2	0,06 (0,04–0,24)	0,05 (0,04–0,10)	0,08 (0,03–0,44)	0,07 (0,02–0,24)
Linjaston käynnistys ja kennostojen täyttö, kp2	0,05 (0,04–0,08)	0,05 (0,03–0,08)	0,06 (0,03–0,18)	0,07 (0,03–0,11)
Ulkona	– ^{a)}	0,04 (0,03–0,04)	0,02 (0,02–0,03)	0,03 (0,01–0,03)

a) mittauksia ei tehty, kp1 = kiinteä piste 1 (täyttökoneen vieressä), kp2 = kiinteä piste 2 (sekoituspisteen vieressä)

PM₁₀-hiukkasten keskimääräiset massapitoisuudet olivat alhaiset mittauspisteissä kunakin mittauspäivänä (taulukko 9). Työvuorojen aikaiset pitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeammat kuin tausta- ja ulkopitoisuudet. Turvetta, sammalta sekä turve-sammal-puukuitua (mittauspäivät 1–3) käsiteltäessä korkeimmat pitoisuuspiikit (0,24, 0,10 ja 0,44 mg/m³) mitattiin sekoituksessa ja massan kostutuksessa. Sammal-mädätejäännöksen (mittauspäivä 4) käsittelyssä korkein pitoisuuspiikki (0,35 mg/m³) havaittiin sekoittimen täytössä. Työnaikaiset keskiarvopitoisuudet olivat samalla tasolla kunakin mittauspäivänä, joten kasvualustalla ei ollut merkittävää vaikutusta pitoisuuksiin. PM₁₀-hiukkasille ei ole olemassa työperäisen altistumisen ohjearvoa.

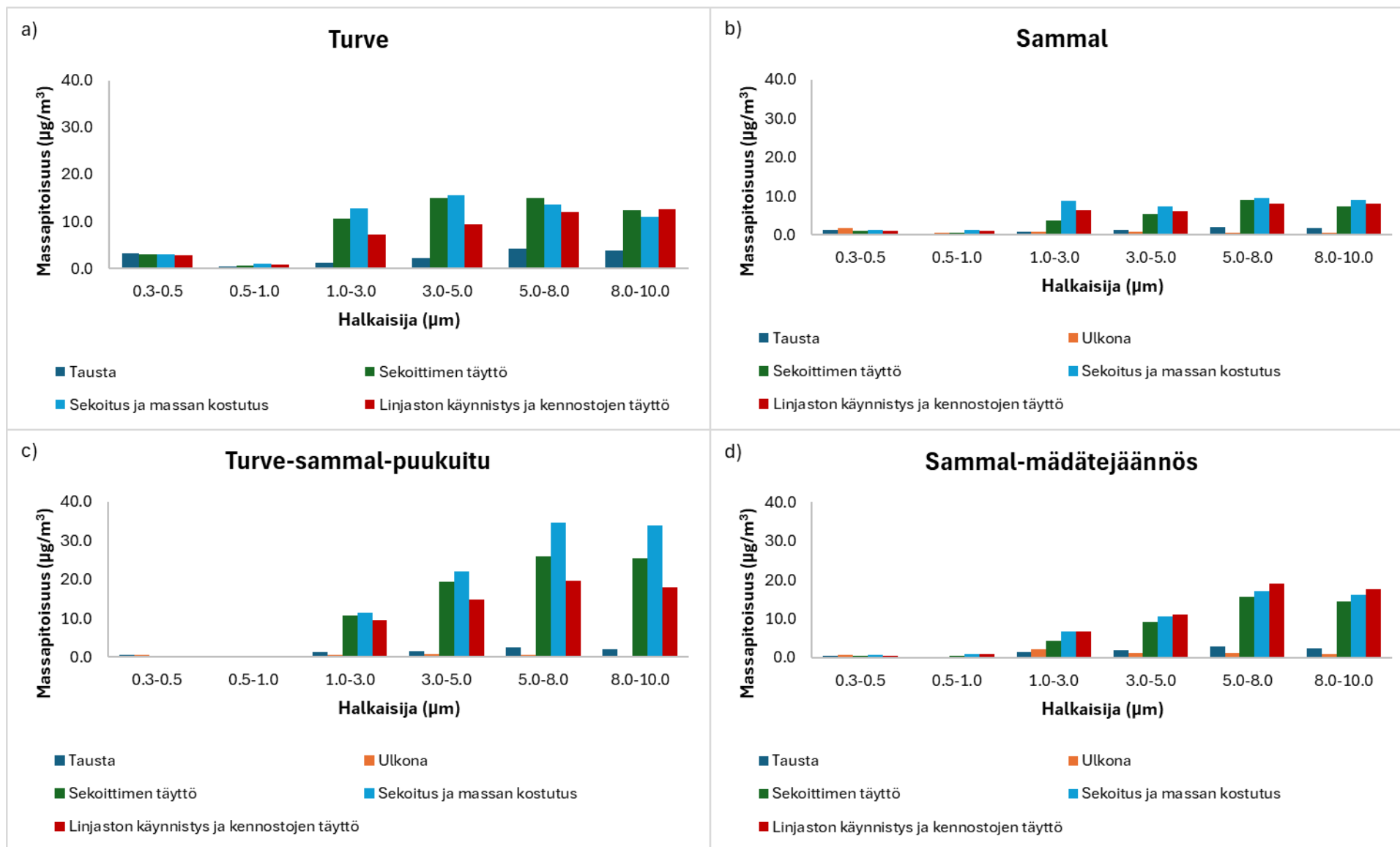
DustTrak II:lla mitattu PM₁₀-hiukkasten reaaliaikainen massapitoisuus eri mittauspisteissä kunakin mittauspäivänä on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. PM₁₀-hiukkasten reaaliaikainen massapitoisuus mitattuna DustTrak II -laitteella kiinteässä pisteessä 1 (täyttökoneen vieressä) ja 2 (sekoituspisteen vieressä) sekä ulkona eri mittauspäivinä (kuvat a–d).

Kuvasta 1 nähdään, että PM₁₀-hiukkasten massapitoisuudet kohosivat hetkellisesti työvuorojen aikana. Kuvassa on havainnollistettu piikkipitoisuuksia, joita mitattiin sekoittimen täytön, sekoituksen ja massan kostutuksen sekä kennostojen täytön aikana. Mittauspäivänä 1 ulkomittausta ei tehty.

OPS-mittalaitteella mitatuista hiukkasten massapitoisuuksista lasketut keskiarvot eri mittauspisteissä ja hiukkaskokoluokissa (0,3–0,5 µm, 0,5–1 µm, 1–3 µm, 3–5 µm, 5–8 µm ja 8–10 µm) on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Hiukkasten massapitoisuuksien keskiarvot kokoluokittain kiinteissä pisteissä mitattuna OPS-laitteella eri mittauspäivinä (kuvat a–d). Tausta on mitattu molemmissa kiinteissä pisteissä, työnaikaiset pitoisuudet on mitattu kiinteässä pisteessä 2.

Kuvasta 2 huomataan, että sekoittimen täytössä sekä sekoituksessa ja massan kostutuksessa keskimäärin suurin massaosuus oli 3–5 µm:n hiukkasilla turpeen käsittelyssä (mittauspäivä 1) ja 5–8 µm:n hiukkasilla muiden kasvualustojen (sammal, turve-sammal-puukuitu, sammalmädätejäännös) käsittelyssä (mittauspäivät 2–4). Sen sijaan linjaston käynnistyksessä ja kennostojen täytössä keskimäärin suurin massaosuus oli 8–10 µm:n hiukkasilla turvetta käsiteltäessä ja 5–8 µm:n hiukkasilla muita kasvualustoja käsiteltäessä.

Taulukossa 10 on esitetty IAQ-Calc-laitteella mitatut olosuhdetiedot (lämpötila, suhteellinen kosteus, hiilidioksidi) kiinteissä pisteissä kunakin mittauspäivänä.

Taulukko 10. Olosuhteet kiinteissä pisteissä kunakin mittauspäivänä IAQ-Calc-mittalaitteella mitattuna.

Mittauspäivä/olosuhteet	Keskiarvo (vaihteluväli)		
	Tausta ^{a)}	Ulkona	Työnaikainen ^{b)}
3.6.2024			
Lämpötila (°C)	24,3 (24,0–24,9)	– ^{c)}	25,1 (24,8–25,3)
Kosteus (RH%)	58,6 (56,6–61,5)	– ^{c)}	58,6 (56,8–62,0)
CO ₂ (ppm)	446,3 (427,0–532,0)	– ^{c)}	493,1 (461,0–673,0)
4.6.2024			
Lämpötila (°C)	24,9 (24,5–25,3)	24,4 (21,8–25,3)	25,6 (25,2–26,0)
Kosteus (RH%)	49,3 (48,1–52,4)	47,0 (44,5–49,4)	52,2 (48,6–56,1)
CO ₂ (ppm)	442,2 (431,0–544,0)	390,9 (371,0–481,0)	555,4 (468,0–916,0)
5.6.2024			
Lämpötila (°C)	24,5 (24,1–24,9)	19,5 (18,2–24,8)	24,5 (23,8–24,8)
Kosteus (RH%)	45,7 (44,7–47,4)	54,3 (43,2–60,9)	50,3 (46,6–54,7)
CO ₂ (ppm)	431,6 (416,0–540,0)	384,9 (362,0–468,0)	485,7 (436,0–524,0)
6.6.2024			
Lämpötila (°C)	25,1 (24,6–25,4)	20,7 (18,6–25,4)	25,4 (24,7–25,6)
Kosteus (RH%)	41,3 (40,6–43,9)	43,8 (36,7–49,5)	44,9 (41,3–49,0)
CO ₂ (ppm)	440,6 (424,0–595,0)	387,1 (356,0–463,0)	625,4 (455,0–888,0)

a) mitattu kiinteässä pisteessä 1 (täyttökoneen vierestä) ja 2 (sekoituspisteen vierestä), b) mitattu kiinteässä pisteessä 2, c) ei mitattu

Olosuhteissa oli hieman vaihtelua mittauspäivien ja -pisteiden välillä (taulukko 10). Lämpötilaan, suhteelliseen kosteuteen ja hiilidioksidin määrään vaikuttavat ulkoilman olosuhteet, sisätilassa olevien ihmisten määrä, koneiden ja laitteiden käyttö, ilmanvaihto sekä tuuletus. Mittausten aikana sisätilassa oli 2–3 tutkijaa sekä 3–5 Luken työntekijää. Tilan ovi pidettiin pääsääntöisesti kiinni, mutta ovi avattiin hetkellisesti henkilöiden tullessa tilaan sekä heidän käydessä ulkona ja tullessa takaisin tilaan.

4.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Taulukkoon 11 on koottu VOC-yhdisteiden osalta terpeenien pitoisuudet sekä TVOC-pitoisuudet kiinteissä pisteissä. Kyseisen taulukon alapuolella olevissa selitteissä n kuvaa, kuinka monessa näytteessä terpeeniyhdistettä havaittiin. Terpeenistandardin yhdisteet, joita ei havaittu yhdessäkään näytteessä, on jätetty pois taulukosta. Liittyen pitoisuuksiin, joiden perässä ei ole kirjainta a, b) tai c), kyseistä yhdistettä havaittiin kaikissa neljässä näytteessä. Toista hengitysvyöhykenäytettä (hv2) ei kerätty mittauspäivänä 1.

Taulukko 11. Terpeeniyhdisteiden pitoisuudet sekä TVOC-pitoisuudet hengitysvyöhykkeellä (hv) ja kiinteissä pisteissä (kp).

Yhdiste	Pitoisuus (µg/m³), keskiarvo (vaihteluväli)						
	Kp1 (tausta)	Kp2 (tausta)	Kp1 (työ)	Kp2 (työ)	Hv1	Hv2	Ulkona
1,8-sineoli (eukalyptoli)	–	0,2 (0,1–0,3) ^{b)}	0,2 (0,1–0,2) ^{b)}	0,3 (0,3–0,3) ^{a)}	0,2 (0,2–0,3) ^{c)}	0,2 (0,2–0,2) ^{a)}	0,2 (0,1–0,3) ^{c)}
3-kareeni	2,8 (1,1–4,0)	3,3 (0,8–5,9)	2,2 (1,3–4,0)	3,2 (1,2–6,7)	4,7 (3,9–6,4)	3,1 (2,6–4,2) ^{c)}	0,1 (0,1–0,2) ^{b)}
Alfa-fellandreeni	–	–	–	–	–	1,8 (1,8–1,8) ^{a)}	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}
Alfa-humuleeni	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–	–	–	–
Alfa-pineeni	4,3 (1,4–5,9)	5,3 (1,4–8,3)	3,4 (1,8–6,2)	5,5 (3,2–9,5)	6,0 (4,7–7,7)	4,7 (3,6–6,9) ^{c)}	0,4 (0,2–0,6) ^{c)}
Alfa-terpinoli	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–	–	–	–	–
Beta-pineeni	0,6 (0,3–0,8) ^{c)}	0,9 (0,7–1,1) ^{c)}	0,5 (0,3–0,7) ^{c)}	0,8 (0,4–1,2) ^{c)}	0,9 (0,7–1,1)	0,6 (0,4–0,8) ^{c)}	–
Borneoli	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{b)}	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–
D-limoneeni	0,5 (0,1–0,8)	0,7 (0,4–1,0) ^{c)}	0,4 (0,2–0,8)	0,8 (0,5–1,3) ^{c)}	0,9 (0,5–1,2)	1,1 (0,4–2,4) ^{c)}	< 0,1 ^{a)}
Kamfeeni	0,2 (0,2–0,2) ^{b)}	0,3 (0,3–0,3) ^{a)}	0,1 (0,1–0,1) ^{a)}	0,1 (< 0,1–0,2) ^{b)}	0,2 (0,1–0,2) ^{b)}	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}
Kamferi	0,1 (0,1–0,1) ^{b)}	0,1 (0,1–0,1) ^{a)}	–	–	0,1 (< 0,1–0,1) ^{c)}	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{b)}
Terpinoleeni	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–	–	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–
Trans-beta-farnesaani	< 0,1 (< 0,1–< 0,1) ^{a)}	–	–	–	–	–	–
Σ (terpeenit)	8,3 (2,9–11,7)	10,0 (2,3–16,7)	6,5 (3,2–11,7)	10,0 (4,5–19,1)	12,8 (10,8–16,8)	10,2 (7,0–16,4)	0,5 (0,1–1,0)
TVOC	202,7 (54,6–484,4)	170,1 (32,8–404,1)	142,6 (53,2–376,7)	212,9 (72,6–446,6)	184,0 (72,1–362,8)	256,4 (157,7–449,9)	225,5 (45,8–607,9)

a) n = 1, b) n = 2, c) n = 3, n = lkm näytteissä, Σ (terpeenit) = terpeenien kokonaispitoisuus, TVOC = VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus

Terpeenyhdisteiden kokonaispitoisuudet ja TVOC-pitoisuudet kullekin mittauspisteelle eri mittauspäivinä on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Terpeenyhdisteiden kokonaispitoisuudet ja TVOC-pitoisuudet mittauspisteissä eri mittauspäivinä.

Mittauspäivä	Pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Σ (terpeenit) / TVOC						
	Kp1 (tausta)	Kp2 (tausta)	Kp1 (työ)	Kp2 (työ)	Hv1	Hv2	Ulkona
3.6.2024 (turve)	2,9 / 54,6	2,3 / 32,8	6,6 / 77,3	4,5 / 77,6	10,8 / 117,1	–	0,1 / 45,8
4.6.2024 (sammal)	11,0 / 130,6	9,5 / 104,0	4,4 / 53,2	5,8 / 72,6	12,7 / 72,1	7,0 / 157,7	0,3 / 106,1
5.6.2024 (turve- sammal-puukuitu)	7,5 / 141,2	11,3 / 139,5	3,2 / 63,1	10,5 / 254,8	10,8 / 183,9	7,2 / 161,6	1,0 / 142,0
6.6.2024 (sammal- mädätejäännös)	11,7 / 484,4	16,7 / 404,1	11,7 / 376,7	19,1 / 446,6	16,8 / 362,8	16,4 / 449,9	0,7 / 607,9
Keskiarvo	8,3 / 202,7	10,0 / 170,1	6,5 / 142,6	10,0 / 212,9	12,8 / 184,0	10,2 / 256,4	0,5 / 225,5

Σ (terpeenit) = terpeenien kokonaispitoisuus, Hv1 = hengitysvyöhykenäyte 1 (Mikko Hentunen), Hv2 = hengitysvyöhykenäyte 2 (Martti Udd), Kp1 = kiinteä piste 1 (täyttökoneen vieressä), Kp2 = kiinteä piste 2 (sekoituspisteen vieressä), TVOC = VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus

Terpeenyhdisteiden pitoisuudet olivat alhaiset (taulukko 11). Työnaikaiset terpeenipitoisuudet eivät poikenneet merkittävästi taustanäytteiden pitoisuuksista tuotantotilassa. Pitoisuudet vaihtelivat välillä $< 0,1\text{--}9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskiarvo $< 0,1\text{--}6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Yleisimmät yhdisteet, joita havaittiin kaikissa näytteissä, olivat 3-kareeni ja alfa-pineeni. Korkein yksittäinen pitoisuus ($9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mitattiin alfa-pineenille sekoituspisteen vieressä (kp2) sammal-mädätejäännöksen käsittelyssä (mittauspäivä 4). Myös korkein keskiarvopitoisuus ($6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli alfa-pineenillä, hengitysvyöhykenäytteessä 1 (hv1). Ulkona mitatut terpeenipitoisuudet olivat keskimäärin alhaisemmat tuotantotilan pitoisuuksiin verrattuna.

Kaikkien terpeenyhdisteiden pitoisuudet alittivat selvästi haitalliseksi tunnetut pitoisuudet eli HTP-arvon (STM 2020). Esimerkiksi d-limoneenin pitoisuudet olivat $< 0,1\text{--}2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja d-limoneenin HTP_{8h}-arvo on $140 \text{ mg}/\text{m}^3$ eli ko. yhdisteen korkein pitoisuus oli $0,0017 \%$ HTP-arvosta.

Taulukosta 12 nähdään, että terpeenyhdisteiden kokonaispitoisuudet vaihtelivat välillä $0,1\text{--}19,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskiarvo $0,5\text{--}12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), kun taas TVOC-pitoisuudet olivat $32,8\text{--}607,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskiarvo $142,6\text{--}256,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Terpeenien kokonaispitoisuuksien massaosuudet olivat vain $0,1\text{--}17,7 \%$ TVOC-pitoisuuksista, joten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien osalta suurempi massaosuus oli muilla kuin terpeenyhdisteillä.

Keskimäärin korkeimmat TVOC-pitoisuudet olivat hengitysvyöhykenäytteessä 2 (hv2). Sen sijaan korkein yksittäinen TVOC-pitoisuus ($607,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oli ulkonäytteessä mittauspäivänä 4. Tähän mahdollisesti vaikuttivat tuotantotilan ulkopuolella liikkuneet ajoneuvot ja niiden pakokaasut.

Työterveyslaitos (2012) on ehdottanut teollisten työympäristöjen yleisilman TVOC-pitoisuuksille tavoitetasoa $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja viitearvoa $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Keskimääräiset TVOC-pitoisuudet alittivat tavoitetason, kun taas yksittäisissä näytteissä tavoitetaso ylittyi kaikissa mittauspisteissä. TVOC-pitoisuuden ollessa $\leq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tilannetta voidaan pitää hyvänä. Sen sijaan pitoisuuden ollessa $< 300\text{--}1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tilanne on kohtuullinen, jos yksittäisten yhdisteiden viite-, ohje- tai raja-arvot eivät ylitä. Kaikki TVOC-pitoisuudet alittivat selvästi viitearvon, joten lisäselvitykselle emissiolähteistä ja torjuntatoimenpiteistä ei ole tarvetta.

Muiden VOC-yhdisteiden osalta näytteissä havaittiin esim. aldehydejä ja karboksyylihappoja. Pitoisuudet alittivat HTP-arvot (STM 2020). Yhdisteitä, joita esiintyi kaikissa näytteissä, olivat esim. bentsoehappo ($14,0\text{--}52,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dekanaali ($5,6\text{--}12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja nonanaali ($4,7\text{--}8,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kyseisiä yhdisteitä emittoituu tyypillisesti Tenax TA -adsorbenttiputkista, muita mahdollisia lähteitä ovat esim. kasvualustat (bentsoehappo), kemikaalit (bentsoehappo) ja hajusteet (dekanaali, nonanaali).

5 Johtopäätökset

Tässä selvityksessä mitatut bakteeripitoisuudet olivat samalla tasolla tai alhaisempia ja homepitoisuudet olivat huomattavasti alhaisempia kuin turvepehkun käsittelylaitoksissa tehdyissä tutkimuksissa. Mikrobipitoisuudet olivat myös joko selvästi alhaisempia tai samansuuntaisia kuin tievarsihaketuksessa mitatut pitoisuudet. Pitoisuudet olivat kuitenkin keskimäärin korkeammat kuin kasvihuoneissa tehdyssä tutkimuksessa, jossa tomaatti- ja kurkkuhuoneissa kasvualustana oli mullan sijasta kivivilla ja ravintoliuos. Mikrobin ilmapitoisuuksille ei ole työhygieenisistä raja-arvoja.

Hengittyvien hiukkasten massapitoisuudet olivat alhaiset ja alittivat orgaanisen pölyn haitalliseksi tunnetun pitoisuuden eli HTP_{8h}-arvon. Myös PM₁₀-hiukkasille mitattiin alhaisia pitoisuuksia. Korkeimmat hetkelliset pitoisuuspiikit havaittiin sekoittimen täytön sekä sekoituksen ja massan kostutuksen aikana. PM₁₀-hiukkasille ei ole myöskään työperäisen altistumisen ohjearvoa.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta terpeenipitoisuudet alittivat selvästi HTP-arvot. Työnaikaisissa pitoisuuksissa ei ollut merkittävää eroa taustapitoisuuksiin tuotantotilassa. Keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) alittivat Työterveyslaitoksen (TTL) ehdottaman työympäristöjen yleisilman tavoitetason, vaikka yksittäisissä näytteissä tavoitetaso ylittyi kaikissa mittauspisteissä. Sen sijaan TVOC-pitoisuudet alittivat selvästi TTL:n ehdottaman viitearvon. TVOC-pitoisuuksien osalta suurempi massaosuus oli muilla kuin terpeeniyhdisteillä, mutta pitoisuudet olivat niidenkin osalta alle HTP-arvojen.

Työhygieenisestä näkökulmasta turvetta korvaavien kasvualustojen käyttö on soveltuva vaihtoehto. Vaikka mitattujen altisteiden pitoisuudet olisivat viitearvojen alapuolella, työntekijöiden herkistyminen on kuitenkin mahdollista, minkä seurauksena voi kehittyä allerginen nuha, astma tai ihottuma. Pölyn koostumuksen vuoksi työntekijän suojautuminen pölyltä ja rokotussuojan ylläpitäminen (jäykkäkouristusrokote) on tärkeää. Esimerkiksi kasvihuonetyöntekijöillä on todettu runsaasti työhön liittyviä allergioita kohtuullisista altistumistasoista (pöly, endotoksiinit, mikrobi) huolimatta. Allergiariskin suuruuteen vaikuttavat altistumisen määrä ja kesto.

Herkistymistä ja allergioita voidaan vähentää kehittämällä työympäristöä pölyttömämmäksi esimerkiksi teknisillä ratkaisilla, muuttamalla työtapoja sekä käyttämällä henkilönsuojaimia. Jos pölyämistä ei voida muuten estää, hengityksensuojaimia on käytettävä. Suojaluokaltaan FFP2-luokan hengityksensuojaimet suojaavat riittävästi ilman biologisilta tekijöiltä. Puhallinsuojaimet rasittavat työntekijöitä vähemmän ja pidempiaikainen työskentely on helpompaa kuin koko- tai puolinaamarisuojaimilla. Lisäksi puoli- ja kokonaamarin käytössä on huolehdittava kasvo-osan asettumisen tiiviystä ja niiden suositeltava käyttöaika on noin kaksi tuntia. Työntekijöiden on suositeltavaa suojata iho käyttämällä käsineitä ja pitkähihaista paitaa. Tuotantotilan hyvällä ilmanvaihdolla, henkilökohtaisella hygienialla ja siivouksella voidaan myös vähentää altistumista biologisille ja kemiallisille tekijöille. Suojavarusteet sekä työ- ja siivousvälineet tulee myös puhdistaa säännöllisesti. Työssä käytettävä suojavarustus on suositeltavaa vaihtaa muuhun vaatetukseen taimikennostojen täytön jälkeen ja säilyttää

tuotantotilassa tai sen sosiaalisissa tiloissa. Työnantajan on tiedotettava työntekijöitä mahdollisista riskeistä sekä annettava heille koulutusta riskinhallintakeinoista.

Lähteet

Andersen AA (1958). New sampler for the collection, sizing, and enumeration of viable airborne particles. *Journal of Bacteriology* 76(5): 471–484.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa IV (2016). Helsinki: Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto (Valvira).

International Organization for Standardization (ISO) (2021). Indoor air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID. ISO 16000-6. Geneva: ISO.

Laitinen S, Rytönen E, Jumpponen M, Ojanen K (2014). Työympäristöriskien hallinta tievarsihaketuksessa. Helsinki: Työterveyslaitos.

Létourneau V, Mériaux A, Goyer N, Chakir J, Cormier Y, Duchaine C (2010). Biological activities of respirable dust from Eastern Canadian peat moss factories. *Toxicology in Vitro* 24(4): 1273–1278.

Mériaux A, Cormier Y, Pageau P, Israël-Assayag E, Duchaine C (2006). Sensitization to airborne molds and its health effects in peat moss processing plant workers. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 3(8): 442–447.

Pääkkönen R (2015). Työhygieniä: Kemialliset, biologiset ja fysikaaliset haittatekijät. Helsinki: Työturvallisuuskeskus.

Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) (2020). HTP-arvot 2020: Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (748/2020) biologisten tekijöiden luokituksesta.

Suojalehto H, Lindström I, Koponen M, Suomela S, Hölttä P, Alenius H, Suuronen K (2022). Allergiat ja niiden ehkäiseminen kasvihuonetyössä: Loppuraportti tutkimuksesta Biologinen torjunta kasvihuoneissa – altistuminen allergiat ja niiden ehkäisy. Helsinki: Työterveyslaitos.

Työterveyslaitos (2012). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Helsinki: Työterveyslaitos.

Liitteet

Liite 1. Kuvia näytteenottopaikoista



Kuva L1.1. Näytteenotto (IOM- ja VOC) kiinteässä pisteessä 1 ja hengitysvyöhykkeellä täyttökoneen vieressä.



Kuva L1.2. Mittaukset kiinteässä pisteessä 2 sekoituspisteen vieressä (Optical Particle Sizer 3330 ja DustTrak II Aerosol Monitor 8530 -hiukkasmittarit, IAQ-Calc-olosuhdemittari, IOM-, VOC- ja Andersen-keräimet).

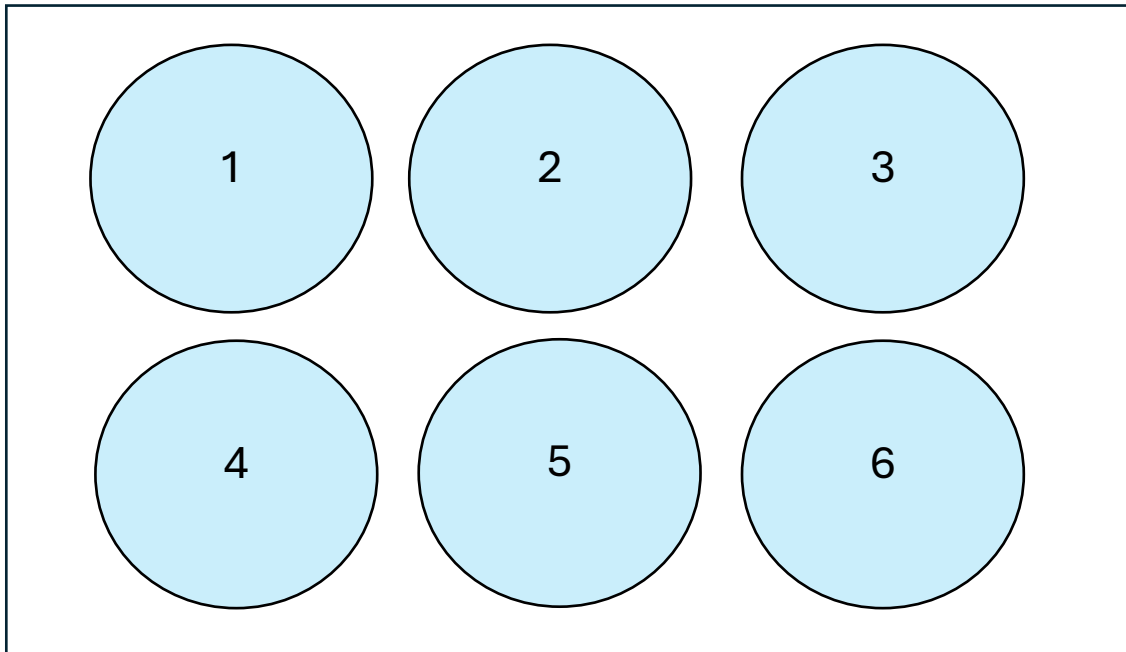


Kuva L1.3. Kiinteä piste ulkona (IOM- ja VOC-näytteenotto) tuotantotilan vieressä.



Kuva L1.4. Ulkoilman mikrobinäytteenotto tuotantotilan vieressä.

Liite 2. Kuvia mikrobimaljoista ja Andersen-keräimen leikkausrajat

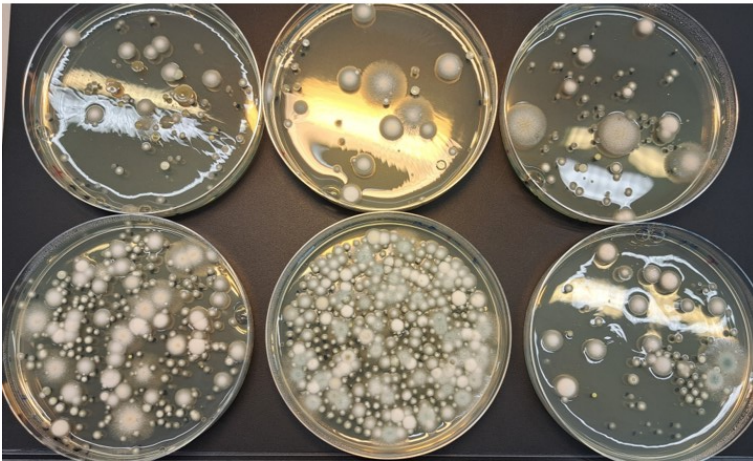


Kuva L2.1. Andersen-keräimen maljojen järjestys kuvissa.

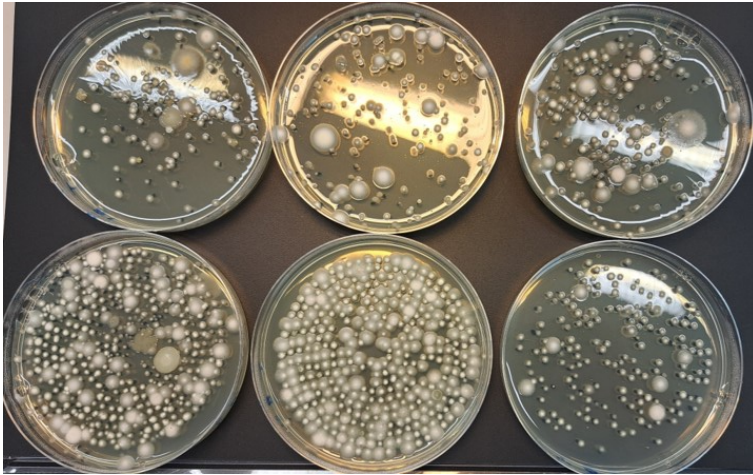
Taulukko L2.1. 6-vaiheisen Andersen-keräimen eri vaiheiden keskimääräiset leikkausrajat (Andersen 1958).

Vaihe	Reiän halkaisija mm	Virtausnopeus m/s	Leikkausraja d_{50} μm
1	1,18	1,08	7,2
2	0,91	1,80	4,8
3	0,71	2,97	3,2
4	0,53	5,28	2,1
5	0,34	12,8	1,0
6	0,26	23,3	0,6

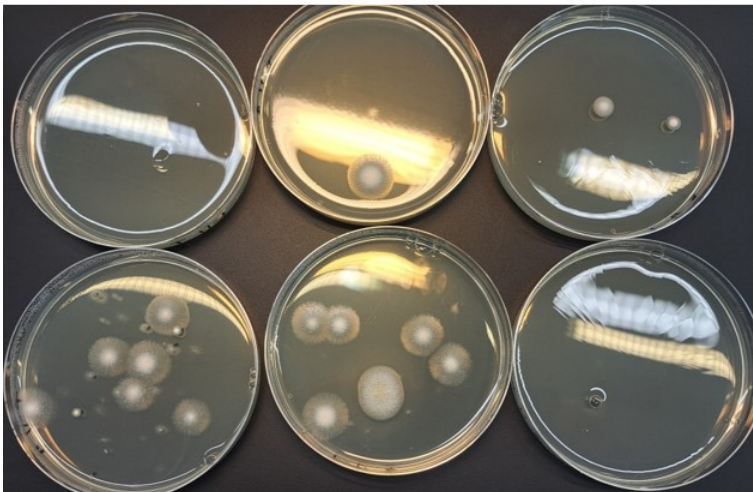
A



B



C

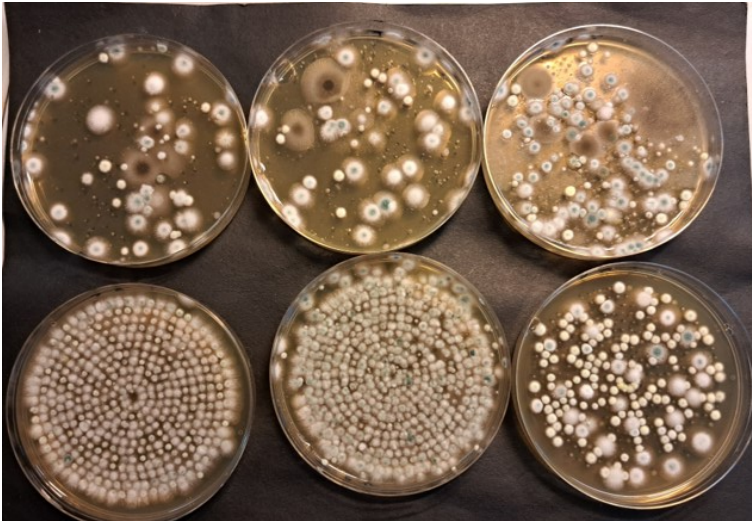


Kuva L2.2. Andersen-keräimen bakteerimaljat kennojen täytössä turpeella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

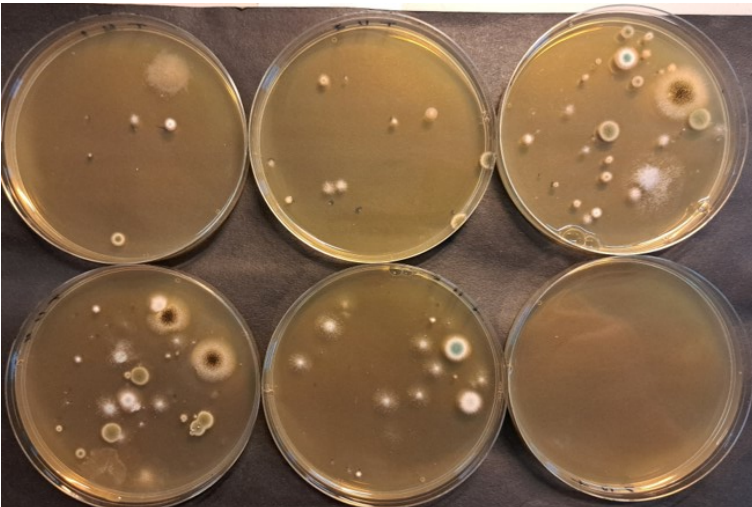
A



B

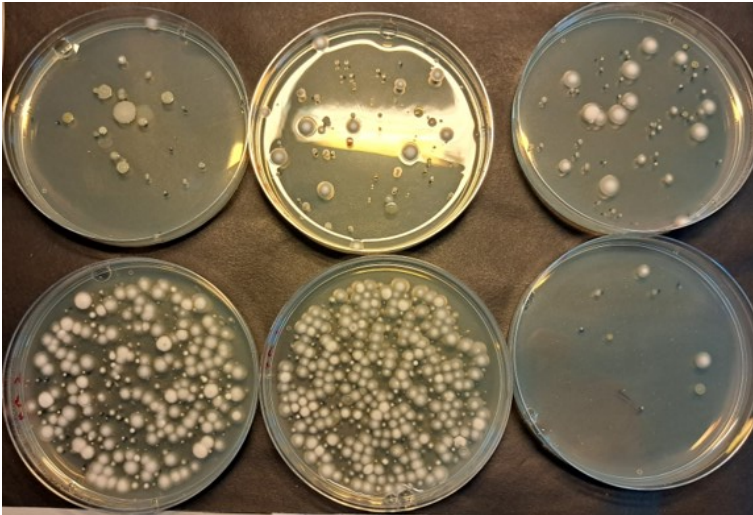


C

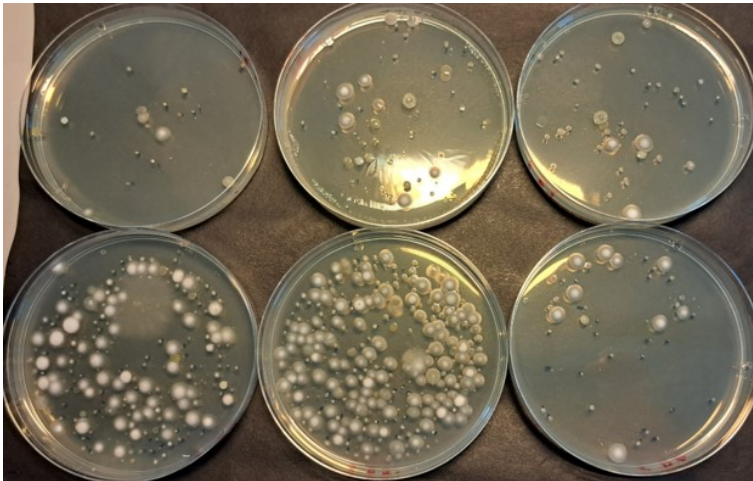


Kuva L2.3. Andersen-keräimen homemaljat kennojen täytössä turpeella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

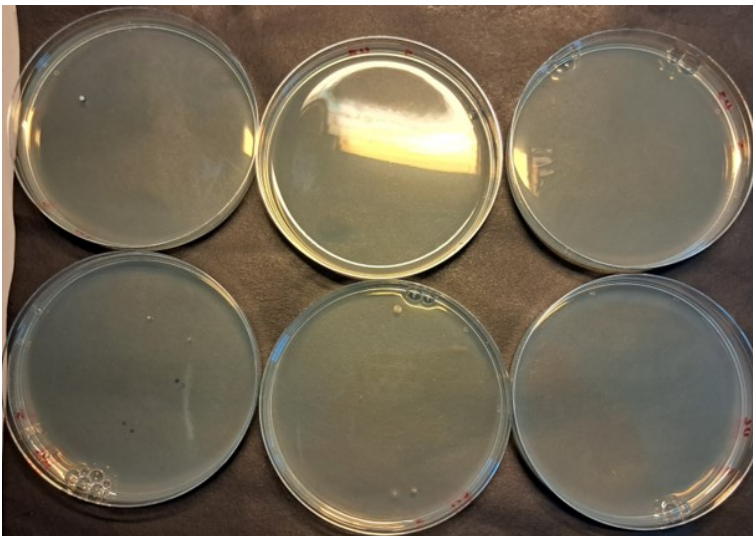
A



B

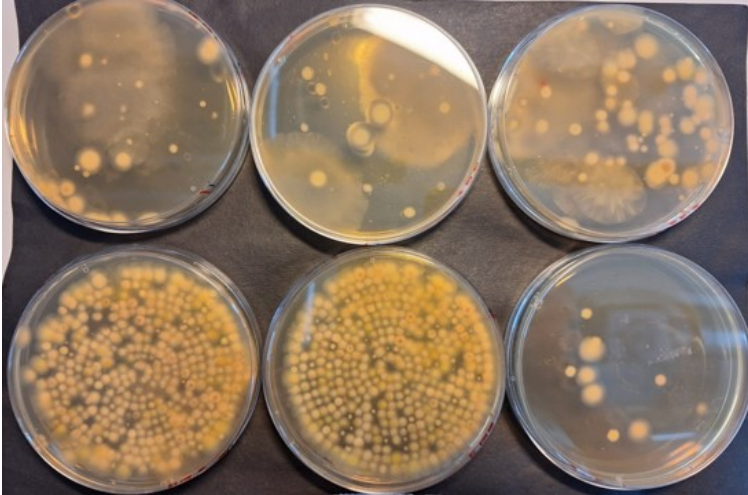


C

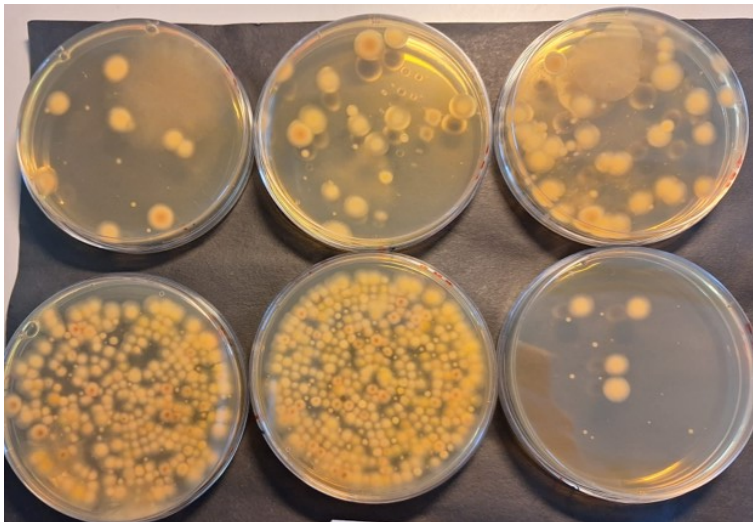


Kuva L2.4. Andersen-keräimen bakteerimaljat kennojen täytössä sammaleella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

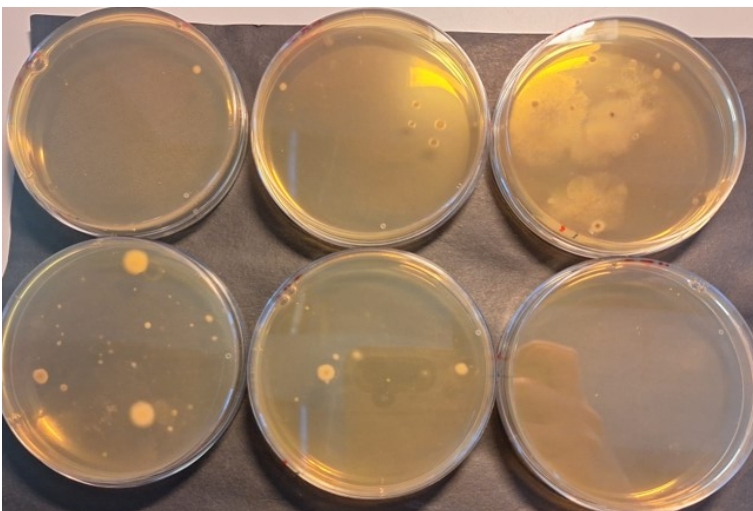
A



B

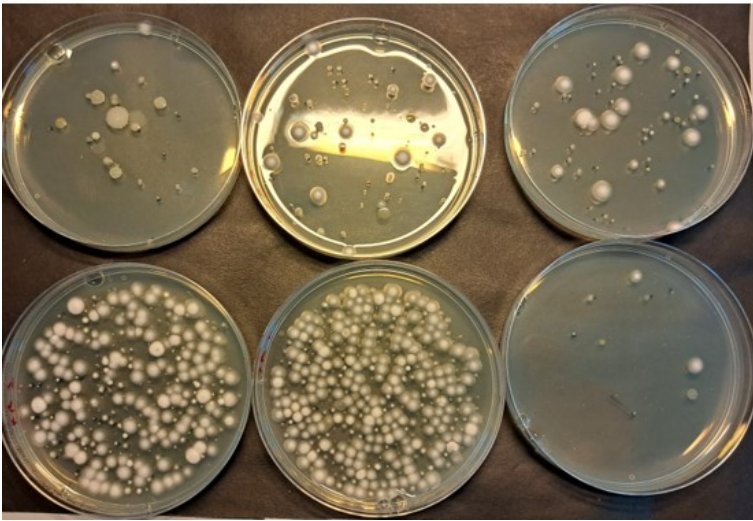


C

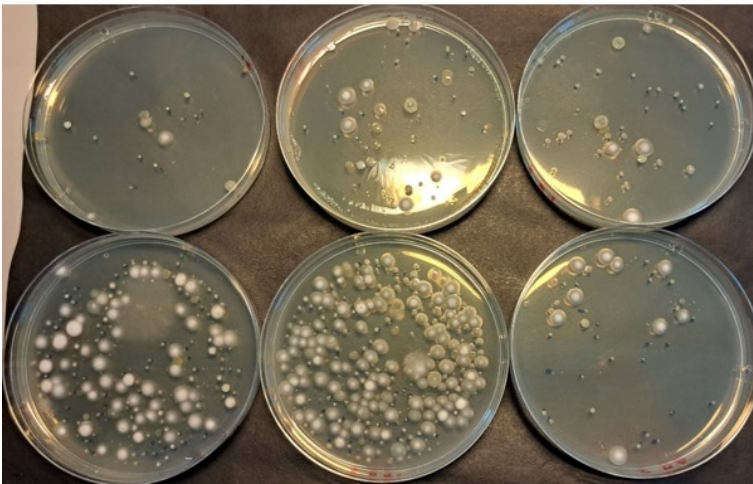


Kuva L2.5. Andersen-keräimen homemaljat kennojen täytössä sammaleella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

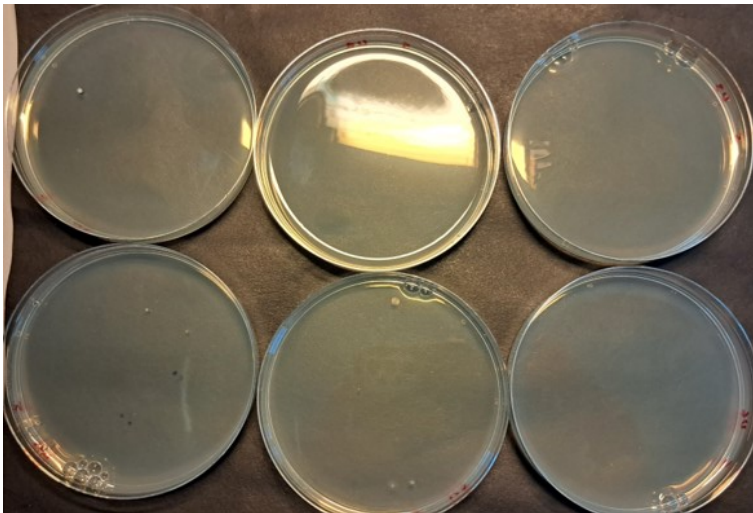
A



B

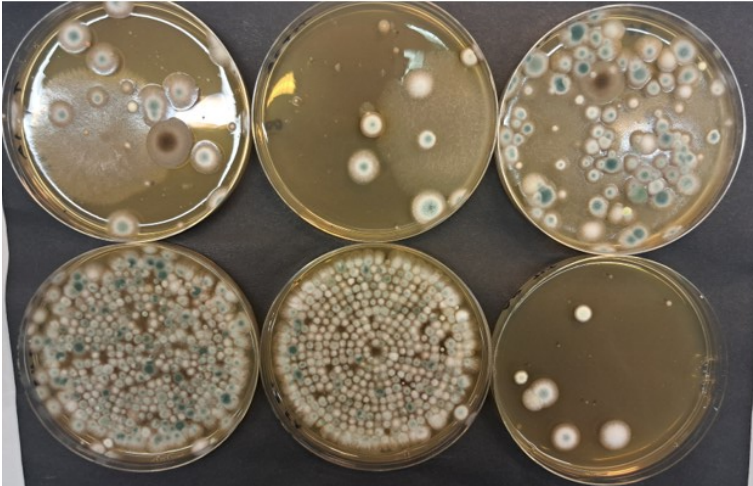


C

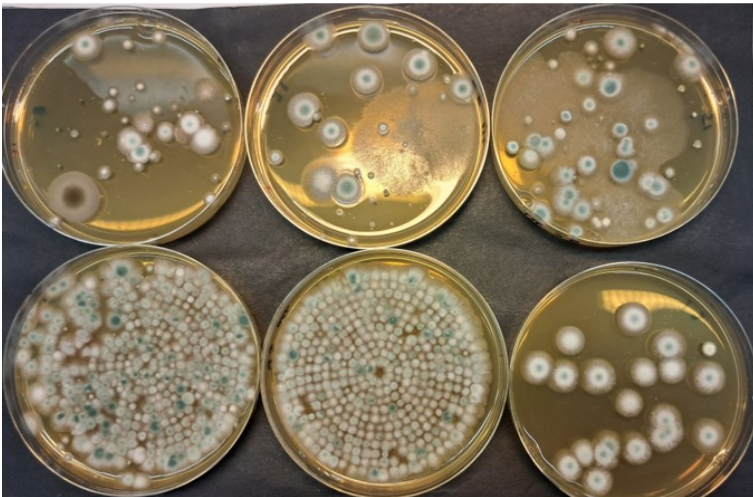


Kuva L2.6. Andersen-keräimen bakteerimaljat kennojen täytössä turve-sammal-puukuituseoksella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

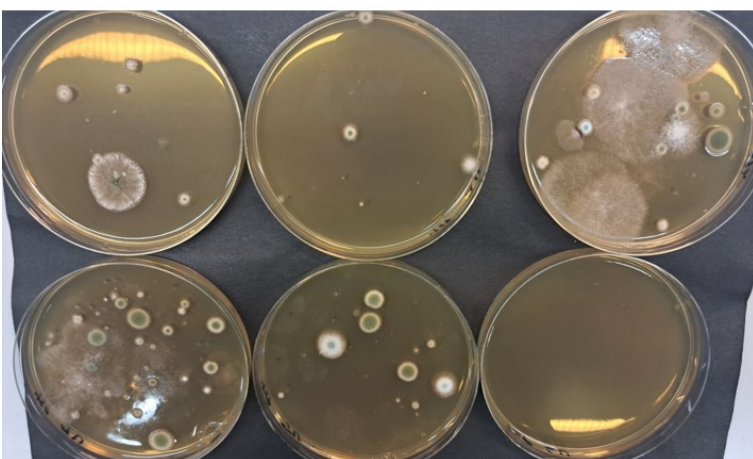
A



B

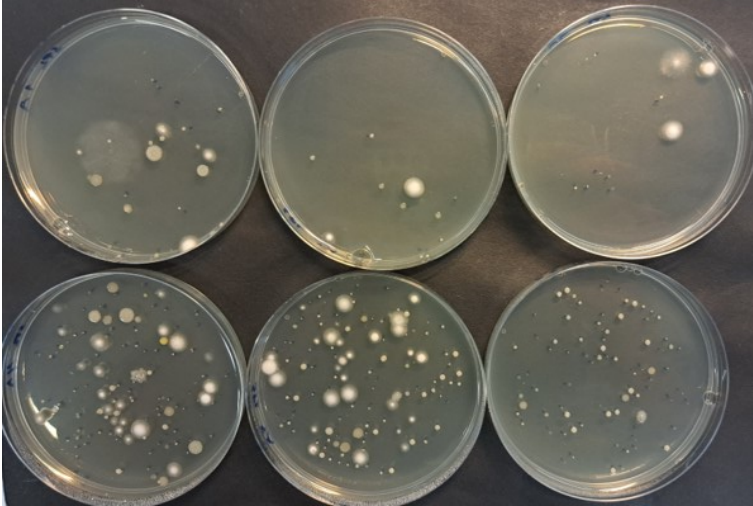


C

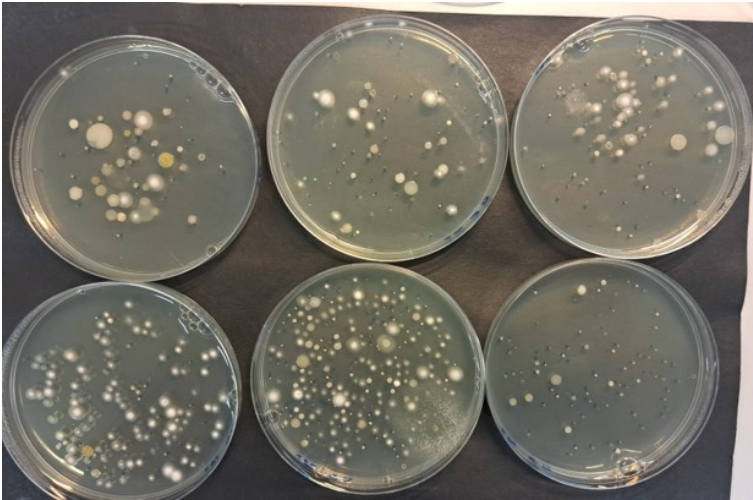


Kuva L2.7. Andersen-keräimen homemaljat kennojen täytössä turve-sammal-puukuitu-seoksella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

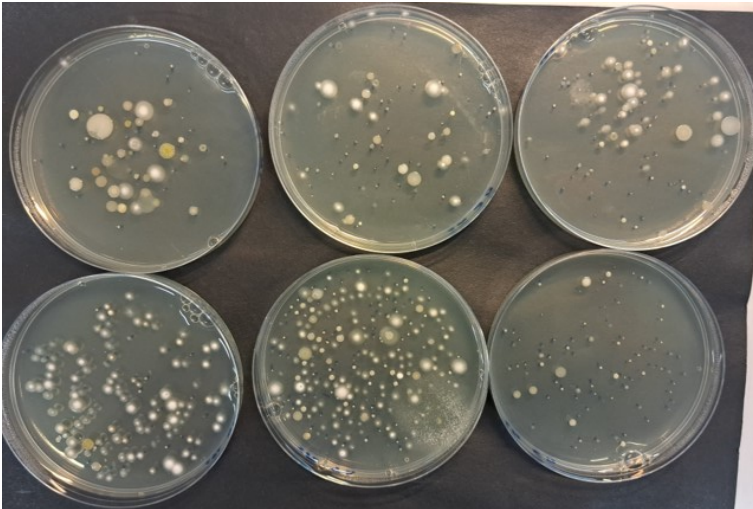
A



B

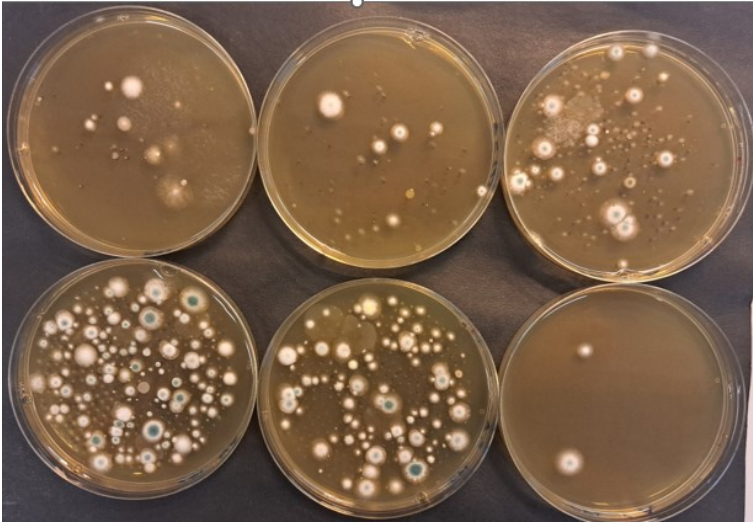


C



Kuva L2.8. Andersen-keräimen bakteerimaljat kennojen täytössä sammal-mädätejäännösseoksella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.

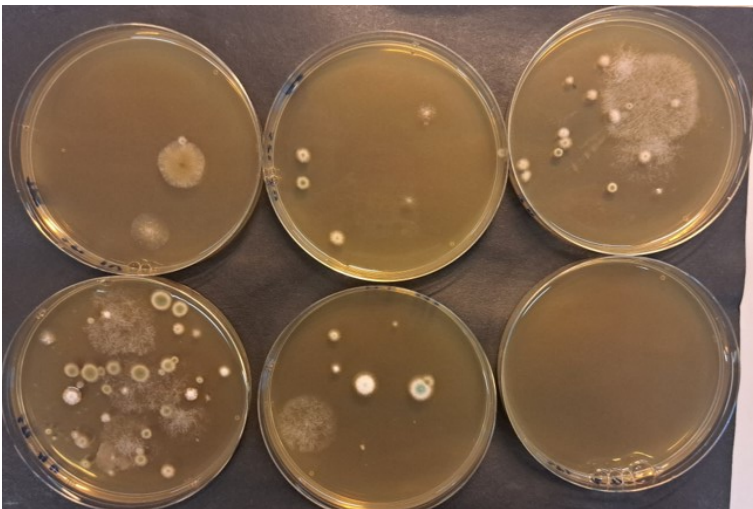
A



B



C



Kuva L2.9. Andersen-keräimen homemaljat kennojen täytössä sammal-mädätejäännösseoksella. A-B peräkkäiset näytteet, C ulkoilmanäyte.