

Soiden ja turpeen taloudellinen hyödyntäminen ja käyttömuotojen aiheuttama säteilypakote

MINNA VÄLIRANTA, ANNALEA LOHILA, KARI MINKKINEN,
PAAVO OJANEN ja BRITTA SANNEL

Suot ovat tuhansien vuosien aikana varastoineet huomattavia määriä hiiltä ilmakehästä. Tuorein arvio jääkauden jälkeen pohjoisiin soihin kertyneen hiilen määrästä on noin 1000 Gt (Nichols ja Peteet 2019). Tämä uusi arvio lähes kaksinkertaisti aiemman arvion, joka oli noin 600 Gt (Yu *et al.* 2010). Hiilen sitoutuminen ja varastoituminen turpeeseen toimii negatiivisena palautekytkentänä, eli ilmakehää viilentävänä prosessina, missä tapauksessa suon säteilypakote on negatiivinen.

Tyypillisesti suon kehityksen alkuvaiheessa suon säteilypakote on positiivinen eli ilmakehää lämmittävä, koska nuori kostea suotyyppi ja sen kasviyhteisöt, kuten sarat ja kortteet sekä turpeen nopea hajoaminen tuottavat paljon metaania ilmakehään. Suosukcession edetessä kohti ombrotrofiaa ja rahkasammalten vallitsemia kasviyhteisöjä, turpeen kertymisnopeus kiihtyy ja säteilypakote muuttuu negatiiviseksi (kuva 1) (Mathijssen *et al.* 2017). Ihmisen harjoittama soiden hyödyntäminen taloudellisiin tarkoituksiin kuitenkin vaarantaa tai muuttaa soiden luonnollisia hiilensidontaprosesseja (Petrescu *et al.* 2015). Esittemme tässä yhteenvedossa tärkeimmät Suo-

nessa käytössä olevat soiden käyttötavat ja kuvaamme näiden toimintojen vaikutusta hiilen virtoihin ja edelleen ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuksiin ja niistä aiheutuvaan säteilypakotteeseen.

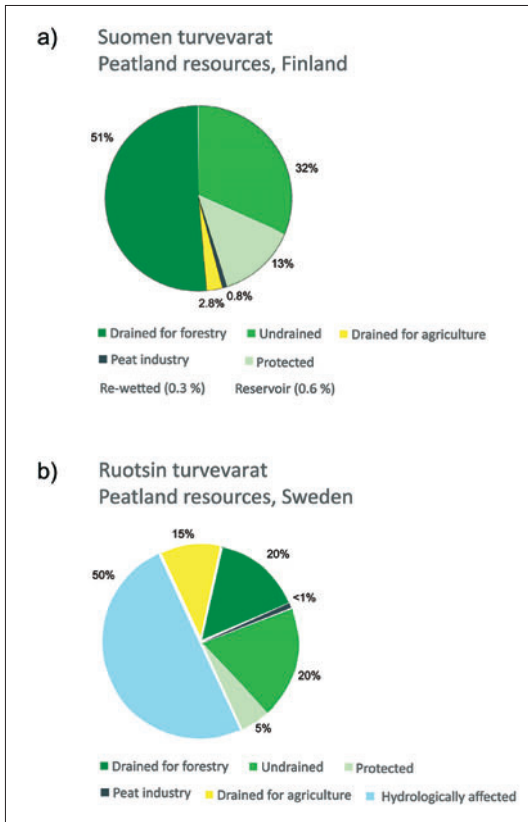
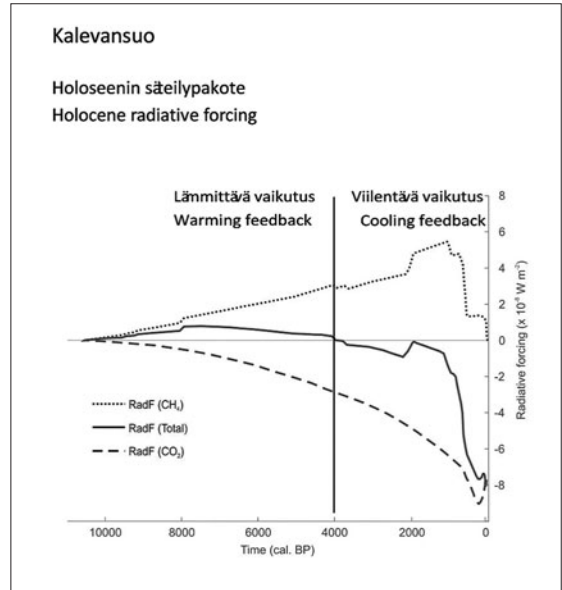
Suomen maapinta-alasta suota on noin kolmannes ja soiden peittämä pinta-ala on noin 9 miljoonaa hehtaaria (Suomen tilastollinen vuosikirja 2014). Suot ovat jakautuneet tasaisesti ympäri maata. Tekojärvien alle on jäänyt noin 50 000 hehtaaria suota. Pieni osa soista, noin 3 prosenttia, on maatalouskäytössä (Turunen 2008). Noin 40 prosenttia soista on säilynyt luonnontilaisina ja noin 10 prosenttia soista on suojeltu.

Toisen maailmansodan jälkeen soiden taloudellinen hyödyntäminen kiihtyi. Noin 50 prosenttia soista on ojitettu metsätalouden tarkoituksiin (kuva 2). Tällä hetkellä luonnontilaisten soiden ojitamista metsätalouteen rajoitetaan tarkoin. Ennemminkin suuntana on aiemmin ojitettujen soiden ennallistaminen, sillä aikoinaan on ojitettu paljon myös niukkaravinteisiä soita, joilla metsän kasvatusta ei ole osoittautunut taloudellisesti kannattavaksi.

Metsän kasvatuksen lisäksi soita hyödynnetään turvetuotantoon, joskin määrä on pieni, vain noin 1 prosentti (kuva 2). Tällaisilta

Kuva 1. Eteläsuomalaisen Kalevansuon jääkauden jälkeinen säteilypakote. Suo syntyi noin 10 500 vuotta sitten. Kun pitkäaikaiset holoseenin hiilidioksidi- ja metaanivuot otetaan huomioon, Kalevansuon säteilypakote muuttui positiivisesta (lämmittävästä) negatiiviseksi (viilentäväksi) noin 4000 vuotta sitten. Muutos liittyy ennen kaikkea turpeen kertymiseen. Kalevansuo ojitettiin metsätalouden tarpeisiin vuonna 1969. Tämän jälkeen metaanivuosta johtuva pakote on laskenut lähelle nollaa. Viimeisen sadan vuoden aikana hiilidioksidin aiheuttaman pakotteen voimakkuus on pienentynyt ja tämä johtuu siitä, että ilmakehässä olevan metaanin ja hiilidioksidin määrät ovat kasvaneet.

Figure 1. Holocene radiative forcing of Kalevansuo southern Finland. The peatland initiated ca. 10 500 cal BP. When accounting for CO₂ and CH₄ fluxes over the Holocene the total radiative forcing turned negative, i.e. cooling around 4000 cal BP, reflecting the long-term peat accumulation. Kalevansuo was drained for forestry in 1969. Subsequently the calculated CH₄ forcing decreased close to zero. Over the last century the negative CO₂ radiative efficiency has been weaker because of increase in atmospheric CH₄ and CO₂ concentrations (modified from Mathijssen et al. 2018).



Kuva 2. a) Soiden ja turpeen käyttömuodot Suomessa. Osuudet on koostettu julkaisuista Turunen (2008) ja [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/geologia/kuvat/turvemaiden_kaytto_suomessa_2017.jpg].

b) vertailukohteena vastaavanlainen esitys Ruotsin soiden ja turpeen käyttömuodoista. Tiedot ja arviot eivät ole aivan yhtä tarkkoja kuin Suomen tiedot ja lisäksi luokittelusta eroaa Suomessa käytetystä luokittelusta. Lähdeaineistona on käytetty Naturvårdsverket (2003). Ruotsissa soita on valjastettu maatalouskäyttöön huomattavasti Suomea enemmän, Suomessa metsätalouskäyttö on yleisempää. Lisäksi Ruotsin luokittelun mukaan suuri osa soista on suon vesitalouden kannalta tavalla tai toisella häiriintyneitä, eli luonnontilaisia soita on noin 50 prosenttia.

Figure 2. a) Approximate proportions of land-use practices in Finland combined from Turunen (2008) and [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/geologia/kuvat/turvemaiden_kaytto_suomessa_2017.jpg].

b) Comparable data from Sweden (Naturvårdsverket 2003). In Sweden, peatland use for agriculture is more extensive, while in Finland peatlands are mainly drained for forestry. However, in Sweden a large proportion of peatlands are classed as "hydrologically affected", meaning that ca. 50 % of peatlands are not in their natural state.

soilta kerätään turvetta energiaksi tai kasvuturpeeksi. Vaikka turvetuotantoon hyödynnettävien soiden määrä on pieni, turpeentuotajana Suomi on maailman suurin. Siinä missä suon hyödyntäminen metsätalouskäyttöön ei laajamittaisesti tuhoa paikalla olevaa turvevarastoa, turvetuotannolliset toimet tuhoavat muutamassa vuosikymmenessä koko vuosituhanien aikana kertyneen hiilen varaston. Turpeen käyttö energian tuotantoon tulee ilmastoympäristöstä tulevaisuudessa huomattavasti vähe-

nemään tai kokonaan loppumaan, koska ilmastomuutoksen torjuntastrategioissa turve luokitellaan hiilen tavoin fossiiliseksi polttoaineeksi.

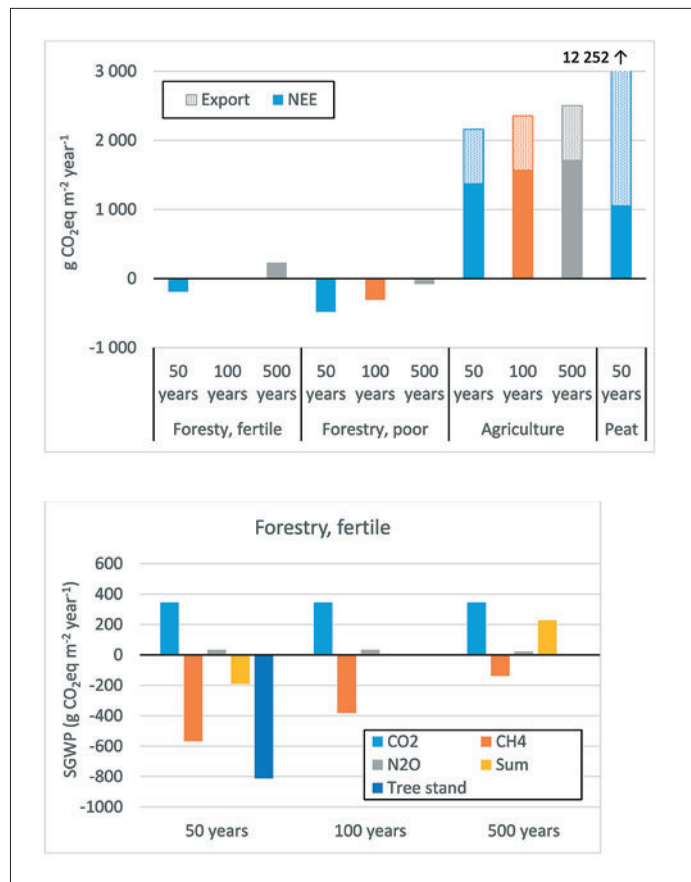
Kaikkein merkittävien ilmastoaluetta lämmittävä vaikutus tulee turvetuotannosta. Siinä suurimmat päästöt aiheutuvat turpeen poltosta, mutta myös turpeentuotantoalueilta vapautuu hiilidioksidia (CO₂) ilmaan, joskin vähemmän kuin turvepelloista. Suurimmat suorat CO₂-päästöt tulevatkin viljelyiltä turvemailta (kuva

Kuva 3. Eri maankäyttömuotojen vaikutus maaperän kasvihuonekaasupäästöihin (vaikutus = ojitetun suon päästöt - ojittamattoman suon päästöt). Metaani- ja typpioksiduulipäästöt on yhteismittallistettu hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂ eq) sustained global warming -kertoimilla (SGWP) vaihtoehtoisesti 50, 100 ja 500 vuoden ajanjaksoille. Hiilidioksidiekvivalentit kuvaavat siten sellaista koko ajanjakson ajan jatkuvaa vuotuista hiilidioksidipäästöä, jolla olisi vastaava ilmastoa lämmittävä (+) tai viilentävä (-) vaikutus kuin maankäytön jatkumiselle kyseisen ajanjakson ajan. Maa-taloudelle (Agriculture) ja turpeenostolle (Peat) päästö on jaettu paikan päällä syntyvään päästöön (NEE) ja pois vietävän sadon tai turpeen takia syntyvään päästöön (export). Ojista tulevat metaanipäästöt ovat mukana metsätalouden (Forestry) ja turpeennoston päästöissä. Metsäojitetut suot on jaettu reheviin (fertile) ja karuihin (poor) kasvupaikoihin.

Figure 3. The effect of different land uses on peat soil greenhouse gas emissions. CH₄ and N₂O emissions are converted to CO₂ equivalents by applying sustained global warming potentials (SGWP) for 50, 100 and 500 year time periods. Thus, the CO₂ equivalents describe the annual CO₂ emission that sustained over the time period would cause similar average radiative forcing during that time period. For agriculture and peat harvesting, emissions are divided into on site emissions (NEE) and carbon export (crop or peat).

(Lähdeaineisto kuvalle 3 on lueteltu lehden verkkoversiossa.)

(Data sources for Figure 3 are listed in the online version of this issue.)



3) (Lohila *et al.* 2004, Maljanen *et al.* 2010, Kendal *et al.* 2013, Tiemeyer *et al.* 2016, Jensen *et al.* 2017). Tyypillisesti maatalouskäyttöön on hyödynnetty ravinteikkaita soita. Maatalouskäyttöön valjastetuilta soilta pääsee ilmakehään myös tyypidioksiduulia (N_2O), joka on hyvin voimakas kasvihuonekaasu. Luonnontilaisilla soilla tätä kasvihuonekaasua ei juurikaan muodostu eikä vapaudu (Martikainen *et al.* 1993, Lohila *et al.* 2010). Kasvien CO_2 - ja N_2O -päästöjen vastapainoksi kaikki soiden käyttömuodot johtavat suovedenpinnan laskuun ja siten vähentävät luonnontilaisille soille tyypillisiä korkeita metaanin (CH_4) päästöjä ilmakehään (kuva 3).

Metsänkasvatukseen ojitettujen soiden hiilitalous vaihtelee riippuen suon alkuperäisestä ravinnetasosta. Ravinteikas suo toimii hiilidioksidin lähteenä, kun taas niukkaraviteinen suo usein toimii edelleen, joskin heikkona, hiilen nieluna (kuva 3) (Ojanen *et al.* 2013). Jos hiilitaseet skaalataan ekosysteemin tasolle, myös ravinteikkaat suot toimivat hiilen nieluina, kunnes puut korjataan. Vaikka ojituksen aiheuttama vedenpinnan lasku johtaa huomattavaan metaanipäästöjen väheneemiseen eli ilmakehäpakote on viilentävä, pitkällä aikavälillä pakote muuttuu lämmittäväksi, kun puut korjataan ja niiden sitoma hiili palautuu ilmakehään.

Yhteenvedona voidaan todeta, että maatalouskäyttöön valjastettujen soiden pinta-alaa kohti vakioitu lämmittävä ilmakehäpakote on Suomessa paljon pienempi kuin maatalouskäytössä olevien soiden. Turvetuotannosta aiheutuvat kokonaispäästöt, kun maaperä ja turpeen poltto huomioidaan, ovat kaikista suurimmat. Lisäksi menetetään vuosituhansien aikana kertynyt hiilen varasto. Jos tarkastellaan pelkkiä suoria maaperäpäästöjä, ovat turvepellot suurin päästölähde, pääosin suurien CO_2 -päästöjen ja pienemmältä osin myös ilokaasupäästöjen vuoksi.

MINNA VÄLIRANTA
ECRU, Ekosysteemit ja Ympäristö
Tutkimusohjelma
PL 65, 00014 Helsingin yliopisto
minna.valiranta@helsinki.fi

ANNALEA LOHILA
Ilmatieteen laitos,
PL 503, 00101 Helsinki, Finland
Ilmakehätieteiden keskus
PL 68, 00014 Helsingin yliopisto
annalea.lohila@helsinki.fi

KARI MINKKINEN
PAAVO OJANEN
Metsätieteiden osasto, Helsingin yliopisto,
PL 27, Helsingin yliopisto
kari.minkkinen@helsinki.fi
paavo.ojanen@helsinki.fi

BRITTA SANNEL
Department of Physical Geography
Stockholm University
britta.sannel@natgeo.su.se

Yliopistotutkija Minna Väiliranta on paleoekologi, joka tällä hetkellä tutkii ilmastonmuutokseen ja luonnontilaisten pohjoisten soiden hiilenkiertoon liittyviä yhteyksiä, MV oli aloitteellinen ja koordinoi artikkelin kirjoittamista.

Apulaisprofessori Annalea Lohila tutkii ekosysteemien ja ilmakehän välisiä biogeokemiallisia vuorovaikutuksia. Hänen toimi artikkelissa asiantuntijana ja kanssakirjoittajana.

Yliopistonlehtori Kari Minkkinen on käsiteltyjen soiden ja niihin liittyvien kasvihuonekaasutaseiden asiantuntija. Hänen toimi artikkelissa asiantuntijana ja kanssakirjoittajana.

Yliopistotutkija Paavo Ojanen tutkii boreaalisten soiden hiilen kiertoa ja kasvihuonekaasuvirtoja sekä maankäytön ilmastovaikutuksia. Hänen toimi artikkelissa asiantuntijana ja kanssakirjoittajana ja laati yhteenvedokuvan 3.

Yliopistonlehtori Britta Sannel tutkii subarktisten soiden toimintaa ja vastetta ilmastonmuutokseen. Hän koosti kuvan 2b Ruotsin soiden ja turpeen käyttömuodoista.

Summary

High-latitude peatland management implications on atmospheric radiative forcing

Over millennial time-scales northern peatlands have stored huge amount of carbon from the atmosphere, with the current estimate at ca. 1000 Gt, and have formed a negative, i.e. cooling climate feedback. Post-glacial peatland development typically involves a succession where a peatland first creates a positive, warming, radiative forcing to the atmosphere due to emergence of methane fluxes. Gradually the cooling impact due to net CO₂ uptake and peat accumulation overcomes the warming impact of CH₄ emissions. However, human-induced land-use pressure is jeopardizing the natural C sink process at high, latitudes. In this paper, we synthesize data of the most

common land-use practices at high-latitudes and their impact on peatland C dynamics using Finland as a case example. In Finland, roughly a half of peatlands have been drained for forestry and a small proportion of peatlands, ca. 3 %, is used for agriculture. Only ca. 1 % is used for peat industry. In brief, the positive atmospheric radiative forcing of peatlands drained for forestry is relatively small, while for peatlands exploited for agriculture it is much larger, mainly due to large CO₂ soil emissions. Most importantly, energy use of peat leads to greatest positive radiative forcing and destruction of ancient carbon storage.

Kirjallisuus

- Jensen, R., Herbst, M. ja Friborg, T., 2017. Direct and indirect controls of the interannual variability in atmospheric CO₂ exchange of three contrasting ecosystems in Denmark. *Agricultural and Forest Meteorology* 233:12–31.
- Kandel, T.P., Elsgaard, L. ja Lærke, P. E. 2013. Measurement and modelling of CO₂ flux from a drained fen peatland cultivated with reed canary grass and spring barley. *Global Change Biology, Bioenergy* 5:548–561.
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J-P. ja Laurila, T., 2004. Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres* <https://doi.org/10.1029/2004JD004715>.
- Lohila A., Aurela M., Hatakka J., Pihlatie M., Minkkinen K., Penttilä T. et al., 2010. Responses of N₂O fluxes to temperature, water table and N deposition in a northern boreal fen. *European Journal of Soil Science*, 61, 651–661, doi:10.1111/j.1365-2389.2010.01265.x.
- Maljanen, M., Sigurdsson, B.D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J.T. ja Martikainen, P.J., 2010. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences* 7:2711–2738.
- Martikainen, P. J., Nykänen, H., Crill, P. ja Silvola, J., 1993. Effect of a lowered water table on nitrous oxide fluxes from northern peatlands. *Nature* 366:51.
- Mathijssen, P.J.H., Kähkölä, N., Tuovinen, J-P, Lohila, A., Minkkinen, K., Laurila, T. et al., 2017. Millennia-long climate warming impact due to expansion of a southern boreal peatland in Finland. *JGR Biogeosciences*, doi: 10.1002/2016JG003749.
- Naturvårdsverket 2003: Myllrande våtmarker. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Rapport 5328. 65s.
- Nichols, J.E. ja Petee, D.M., 2019. Rapid expansion of northern peatlands and doubled estimate of carbon storage. *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/s41561-019-0454-z.
- Neubauer, S.C. ja Megonigal, J.P., 2015. Moving Beyond Global Warming Potentials to Quantify the Climatic Role of Ecosystems. *Ecosystems* 18:1000–1013.
- Ojanen, P., Minkkinen, K. ja Penttilä, T., 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289:201–208.

Petrescu, A.M.R., Lohila, A., Tuovinen, J.-P., Baldocchi, D.D., Desai, A.R., Roulet, N.T., *et al.*, 2015. The uncertain climate footprint of wetlands under human pressure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112: <https://doi.org/10.1073/pnas.1416267112>.

Suomen tilastollinen vuosikirja, Metsätaous, 2014. *Met-säntutkimuslaitos*, Vantaa Suomi. ISBN 978-951-40-2505-1. 426s.

Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold,

M., Beetz, S., Beyer, C., *et al.*, 2016. High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22: 4134–4149.

Turunen, J., 2008. Development of Finnish peatland area and carbon storage 1950–2000. *Boreal Environmental Research* 13:319-334.

Yu, Z.C., Loisel, J., Brosseau, D. P., Beilman, D. W. ja Hunt, S. J., 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37:L1340.

Esipolton vaikutus laboratorioanalyseissä käytettävien keraamisten upokkaiden painoon

TEEMU JUSELIOUS ja ELIAS WECKSTRÖM

Upokkaat ovat keraamisia, kvartsisia tai metallisia astioita, joita voidaan käyttää korkean lämpötilan uuneissa laboratorioanalyseissä.

Laboratorioissa upokkaita hyödynnetään erilaisissa polttoa vaativissa menetelmissä, kuten orgaanisten aineiden tai järvisedimenttien hehkutushäviötä tutkittaessa (Heiri *et al.* 2001). Esipolton tarkoituksena on poistaa upokkaita korkeassa lämpötilassa säilytyksen ja käsittelyn aikana kertynyt lika sekä mahdolliset aiempien kokeiden jäämät. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia esipolton vaikutusta keraamisten upokkaiden painoon kahdella eri polttoajalla.

Menetelmät

Keraamisia upokkaita poltettiin muhveliuunissa kahdessa eri ryhmässä. Ensimmäisessä ryh-

mässä oli 169 upokasta ja toisessa ryhmässä 58 upokasta. Poltossa käytettiin Linn High Therm VMK 135 -uunia. Ensimmäistä ryhmää poltettiin 550 °C lämpötilassa 30 minuuttia ja toista ryhmää 15 minuuttia. Ennen polttoa upokkaat pestiin vedellä suurimpien epäpuhtauksien poistamiseksi ja niiden annettiin kuivua. Tämän jälkeen upokkaat numeroitiin lyijykynällä ja ne punnittiin Teopal Precisa 303A -vaa'alla 0,0001 gramman tarkkuudella. Punnituksen jälkeen upokkaat siirrettiin metallialustalle ja alusta asetettiin muhveliuuniin esipolttoa varten. Polton jälkeen upokkaat siirrettiin eksikaattoriin jäähtymään, jonka jälkeen huoneen lämpötilaan jäähtyneet upokkaat punnittiin uudelleen. Upokkaiden kontaminaation välttämiseksi upokkaita käsiteltiin pihdeillä koko tutkimuksen ajan.

Upokkaiden painojen muutosta tutkittiin tilastollisesti Wilcoxon-merkittyjen sijalukujen