

Please note! This is a self-archived version of the original article.

Huom! Tämä on rinnakkaistallenne.

To cite this Article / Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:

Hiipakka, M., Hurmalainen, J. & Kanto, P. (2021) Mittausympäristöjä vähähiilisten ja kierrätettävien materiaalien käytön edistämiseksi. TAMKjournal, 29.4.2021.

URL: <https://sites.tuni.fi/tamk-julkaisut/tekniikka/mittausymparistoja-vahahiilisten-ja-kierratettavien-materiaalien-kayton-edistamiseksi/>

# Mittausympäristöjä vähähiilisten ja kierrätettävien materiaalien käytön edistämiseksi | Marita Hiipakka, Juha Hurmalainen ja Piia Kanto

29.4.2021



Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen, jätemäärien kasvaminen ja EU:n kiristynvä lainsäädäntö lisäävät tarvetta uusille kestävästä kehitystä ja kiertotaloutta tukeville pakkausmateriaaleille. Ratkaisuja tarjoavat esimerkiksi kierrätysmateriaalien käytön lisääminen ja uudet biopohjaiset materiaalit, joiden käyttöönotto lisää myös testauksen tarvetta.

---

Uudenlaisten materiaalien käyttöönotto esimerkiksi erilaisissa pakkausratkaisuihin vaatii testauksia, joiden avulla voidaan osoittaa, että ne soveltuvat käyttötarkoitukseensa ja ovat turvallisia käyttää. PIHI-hankkeen (2021) aikana Tampereen ammattikorkeakoulussa pystytettiin erilaisia mittausmenetelmiä sekä biopohjaisten kalvomateriaalien että kierrätysmuovikalvojen testaukseen. Nämä menetelmät ovat osa hankkeessa luotua pirkanmaalaista osaamiskeskittymää, jossa tarjotaan yrityksille ratkaisuja

materiaalitestaukselle vähähiilisten materiaalien ja kierrätysmateriaalien käytön edistämiseksi. PIHI-hanketta rahoittaa Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR).

## **Pakkausmateriaalien kompostoitavuutta mitataan standarditein**

Pakkausmerkinnöissä puhutaan usein kompostoinnista ja biohajoamisesta. Biohajoaminen on tapahtuma, jossa materiaali hajoaa biologisesti eli erilaisten mikrobin avulla pienemmiksi yhdisteiksi, kuten vedeksi ja hiilidioksidiksi, tietyissä olosuhteissa ja ajassa. Jos pakkausmateriaalin sanotaan olevan kompostoitava, se tarkoittaa, että materiaali hajoaa kompostiksi teollisessa kompostointiprosessissa (tai kotikompostissa) oikeanlaisissa olosuhteissa ja tietyssä ajassa. Valmistajan tulee testata pakkauksen kompostoitavuus teollisessa kompostissa standardin SFS-EN 13432 (2001) mukaisesti. Tämä standardi määrittelee sekä pakkausmateriaalien biohajoavuuden (SFS-EN 14046, 2003) että kompostissa tapahtuvan hajoamisen eli disintegraation (SFS-EN 14045, 2003) testausmenetelmät. Nämä menetelmät pystytettiin TAMKIin PIHI-hankkeen aikana. Biohajoavuuskokeet tehtiin laboratoriomittakaavassa. Hajoamistestausta varten ympäristö rakennettiin merikonttiin, jossa testaus tapahtui suurissa kompostoreissa. Kumpaankin testaukseen liittyi lisäksi kemiallista analytiikkaa.

Biohajoavuustestauksella määritetään pakkausmateriaalien biohajoavuutta aerobisissa olosuhteissa minimissään 45 päivän ajan. Siinä testimateriaali sekoitetaan kypsään kompostiin, minkä jälkeen vakio-olosuhteissa oleviin testastioihin aletaan johtaa hiilidioksiditonta ilmaa (kuva 1). Testauksen aikana kompostiaستioissa biohajoava materiaali vapauttaa hiilidioksidia, jonka määrä voidaan mitata ja jonka avulla materiaalin biohajoavuus voidaan arvioida.



**Kuva 1** Biohajoavuuskokeen toteutus laboratoriomittakaavassa (Eshragh Jahromi 2020)

Pakkausmateriaalin hajoamista kontrolloiduissa kompostiolosuhteissa mitataan 12 viikon ajan. Kokeessa tietty määrä testimateriaalia sekoitetaan biojäteseokseen. Lämpötila nousee ja materiaalin hajoaminen alkaa spontaanisti biojätteessä luonnostaan olevien mikrobin

toiminnan seurauksena. Testauksen aikana kompostin sisältöä sekoitetaan ja happipitoisuutta, pH:ta, kosteutta sekä lämpötilaa seurataan koko testauksen ajan. Kokeen päätteeksi testattavan materiaalin hajoaminen todennetaan seulomalla hajoamaton materiaali 2 mm:n ja 10 mm:n seuloilla valmiin kompostin seasta. Lisäksi valmiille kompostille tehdään kemiallisia analyysejä.

## **Pakkausmateriaalista ei saa siirtyä haitallisia aineita elintarvikkeisiin**

Migraatiolla tarkoitetaan aineen siirtymistä pakkausmateriaalista elintarvikkeeseen. Siihen vaikuttavat muun muassa siirtyvän aineen, pakkausmateriaalin ja elintarvikkeen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, lämpötila ja altistusajan kesto. Myös pakkauksen koon suhteella elintarvikkeen tilavuuteen on vaikutusta siirtyvien aineiden määrään. Migroituvien aineiden kirjo on laaja, ja siihen vaikuttaa käytetty pakkausmateriaali. (Muncke 2013.)

Pakkausmateriaaleista voidaan määrittää kokonaismigraatiota ja ainekohtaista migraatiota. Kokonaismigraatio kertoo pakkausmateriaalista elintarvikkeeseen siirtyneiden aineiden kokonaismäärän. Vastaavasti ainekohtaisessa migraatiomäärityksessä selvitetään tiettyjen aineiden siirtymistä pakkausmateriaalista elintarvikkeeseen. (Muoviasetus 2011.)

TAMKissa pystytettiin erilaisia mittausmenetelmiä sekä biopohjaisten kalvomateriaalien että kierrätysmuovikalvojen testaukseen.

Migraation testauksessa tutkittava materiaali saatetaan kosketuksiin elintarvikesimulantin eli elintarviketta jäljittelevän aineen kanssa. Migraatiotesti voidaan toteuttaa kenno-, upotus- tai pussimenetelmällä. Käytettävän menetelmän valintaan vaikuttaa erityisesti testattava materiaali. Kenno- ja pussimenetelmissä vain toinen tutkittavan muovimateriaalin pinnoista on kosketuksissa elintarvikesimulantin kanssa, minkä takia nämä soveltuvat erityisesti monikerroskalvojen migraatiotutkimuksiin. Myös testilämpötilalla ja käytettävällä elintarvikesimulantilla on vaikutusta testimenetelmän valintaan. Olosuhteet ja testausaika valitaan siten, että ne vastaavat testattavan materiaalin epäsuotuisimpia ennakoitavissa olevia käyttöolosuhteita. (SFS-EN 1186-1, 2003.)

TAMKin kemian laboratoriossa otettiin käyttöön menetelmä migraation tutkimiseksi muovikalvoista yksinpintatestauksena kennomenetelmällä standardin SFS-EN 1186-5 (2003) mukaan. Tähän päädyttiin, koska osa testattavista kalvonäytteistä oli monikerroskalvoja. Elintarvikesimulanttina käytettiin vesipitoisia elintarvikkeita simuloivia aineita kuten laboratoriopuhdasta vettä, 3 % etikkahappoa ja 10 % etanolia. Tässä tutkimuksessa testausaika oli 10 vuorokautta ja testauslämpötila 40 °C. Nämä olosuhteet katsotaan niin sanotusti ankarimmiksi silloin, kun pakkausmateriaalin oletettu käyttöolosuhde on huoneenlämpö tai sitä alhaisempi lämpötila ja kosketusaika on määrittelemätön (SFS-EN 1186-1, 2003). Kennomenetelmällä tehdyissä migraatiokokeissa testattavasta muovikalvosta leikattu näytepala (kuva 2) asetettiin migraatiokennoon, minkä jälkeen kennoon annosteltiin elintarvikesimulantti. Suljettu migraatiokenno asetettiin testauslämpötilaan. Testausajan päätyttyä elintarvikesimulantti poistettiin kennosta ja haihdutettiin kuiviin. Kokonaismigraatio oli elintarvikesimulantin haihdutusjäännös, ja tulokset esitettiin milligrammoina neliödesimetriä tutkitun muovikalvon pinta-alaa kohden.



**Kuva 2** Näytteen leikkaaminen (Kanto 2020)

## **Helposti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) voidaan tutkia kaasukromatografialla**

Monet arkielämästä tutut tuotteet sisältävät VOC-yhdisteitä (Cabanes, Valdés, & Fullana 2020). Tällaisia ovat muun muassa maalit ja lakat, liimat, rakennus- ja sisustusmateriaalit sekä puhdistusaineet. Helposti haihtuvat orgaaniset yhdisteet voivat olla terveydelle haitallisia. Tämän vuoksi tulee valvoa, että tuotteista ei vapaudu raja-arvot ylittäviä määriä VOC-yhdisteitä.

Kaasukromatografia on menetelmä, jolla voidaan erottaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä toisistaan ja määrittää niiden pitoisuuksia (Dettmer-Wilde & Engewald 2014). Kaasukromatografiassa tutkittava näyte höyrystetään ja syötetään ohuen kapillaarikolonnin läpi inertin kantajakaasun mukana. Yhdisteiden erottuminen perustuu niiden vuorovaikutukseen kolonnin sisäpintaa peittävän stationäärifaasin kanssa. Usein kaasukromatografissa yhdisteiden havainnoimiseen käytetään liekki-ionisaatiodektroria (FID), jossa muodostuvien ionien aiheuttama sähkönjohtokyvyn muutos on suoraan verrannollinen yhdisteen pitoisuuteen.

Kun tutkittavien yhdisteiden pitoisuudet ovat hyvin pieniä tai jos näyte sisältää tuntemattomia yhdisteitä, voidaan kaasukromatografiin liittää massaspektrometri. Tällaisesta kokoonpanosta käytetään lyhennettä GC-MS (Sneddon, Masuram & Richert 2007; Gruber, David & Sandra 2020). Kun näytteen sisältämät yhdisteet ovat kulkeneet kaasukromatografian kolonnin läpi, ne ohjataan massaspektrometrille, jossa yhdisteet ionisoidaan. Muodostuneet ionit ohjataan laitteen analysaattorille, jossa ne erottuvat massavaruussuhteensa ( $m/z$ ) perusteella. Tuloksena saadaan näytteen sisältämien yhdisteiden massaspektrit, joiden perusteella yhdisteet voidaan tunnistaa, kun saatuja tuloksia verrataan kattaviin spektrikirjastoihin.

Joskus voi olla haastavaa tai mahdotonta saada tutkittavasta näytteestä aikaiseksi helposti injektoitava liuos. Tällöin voidaan käyttää headspace-menetelmiä (HS), joissa näytteestä vapautuvat haihtuvat yhdisteet analysoidaan näytematriisin yläpuolella olevasta ilmatilasta (Espert, de las Heras & Karlsson 2005; Kamarulzamana, Le-Minha & Stuetz 2019).

Headspace-menetelmissä näytettä kuumennetaan suljetussa näyteastiassa haihtuvien yhdisteiden vapauttamiseksi näytematriisista, minkä jälkeen astia paineistetaan inertillä kantajakaasulla ja näyte syötetään kantajakaasun mukana kaasukromatografille analysoitavaksi. TAMKin kemian laboratorion HS-GC-MS-laitteisto on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 3** VOC-tutkimuksissa käytetty HS-GC-MS-laitteisto (Hurmalaianen 2021)

### **TAMKissa tehty työ tuotti arvokasta tietoa testien toteuttamisesta**

PIHI-hankkeen myötä TAMKin biohajoavuus- ja kompostointiympäristöjä pystyttiin kehittämään alustaviin testauksiin soveltuviksi. Kehitystyö jatkuu, ja esimerkiksi biohajoavuuden mittaukseen tullaan jatkossa lisäämään mittauskapasiteettia. Testauksen aikana molemmat testausmenetelmät edellyttävät viikoittaista monitorointia ja ylläpitoa, ja myös työprosessia tulee vielä virtaviivaistaa.

TAMKin kemian laboratoriossa ei ole aiemmin tehty migraatiomäärytyksiä, ja PIHI-hankkeessa tehtyjen testien myötä saatiinkin arvokasta tietoa niiden toteuttamisesta. Vaikka testit perustuivat olemassa oleviin standardeihin, havaittiin niiden käytännön toteutuksessa useita ongelmakohtia. Migraatiomäärytykset ovat aikaa vieviä ja tarkkuutta vaativia testejä, mikä tulee huomioida niiden toteutuksessa. Jatkossa tulee testata migraatiomäärytysten todenmukaisuutta, ja testien toistettavuuden kehittämiseen tulee myös kiinnittää huomioita.

PIHI-hankkeen osana tehdyissä VOC-tutkimuksissa kehitettiin menetelmä haihtuvien yhdisteiden analysoimiseksi kierrätysmuovikalvoista. Tutkimusten aikana korostui

näytteenoton merkitys luetettavien mittaustulosten saamiseksi. On syytä huomioida, että nyt kehitetty menetelmä soveltuu tässä hankkeessa analysoitujen kalvomateriaalien tutkimiseen. Kalvomateriaaleista ja niiden sisältämistä yhdisteistä riippuen voi olla tarpeen muokata nykyistä menetelmää tai tarvittaessa kehittää kokonaan uusi mittausten menetelmä.

---

## Lähteet

Cabanes, A., Valdés, F. J. & Fullana, A. 2020. A Review on VOCs from Recycled Plastics. *Sustainable Materials and Technologies* 25, 179–201.

Dettmer-Wilde, K. & Engewald, W. (eds.) 2014. *Practical Gas Chromatography*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Espert, A., de las Heras, L. A. & Karlsson, S. 2005. Emission of Possible Odourous Low Molecular Weight Compounds in Recycled Biofibre/Polypropylene Composites Monitored by Head-Space SPME-GC-MS. *Polymer Degradation and Stability* 90 (3), 555–562.

Gruber, B., David, F. & Sandra, P. 2020. Capillary Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Current Trends and Perspectives. *Trends in Analytical Chemistry* 124, 1003–1012.

Kamarulzamana, N. H., Le-Minha, N. & Stuetz, R. M. 2019. Identification of VOCs from Natural Rubber by Different Headspace Techniques Coupled Using GC-MS. *Talanta* 191, 535–544.

Muncke, J. 2013. Migration. *Food Packaging & Health*. Food Packaging Forum. Luettu 10.2.2021. <https://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/migration>

Muoviasetus (EU) 10/2011. Komission asetus (EU) elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista. Luettu 10.2.2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1519732647532&uri=CELEX:02011R0010-20180208>

PIHI-hanke. 2021. Luettu 5.4.2021. <https://projectsites.vtt.fi/sites/pihi/>

SFS-EN 1186-1. 2003. Elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevat materiaalit ja tarvikkeet. Muovit. Osa 1: Ohje olosuhteiden ja testimenetelmien valitsemiseksi kokonaismigraatiomäärityksiin. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. Luettu 5.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 1186-5. 2003. Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvat materiaalit. Muovit. Osa 5: Testimenetelmät kokonaismigraation määrittämiseksi vesipitoisiin elintarvikesimulantteihin käyttäen kennoa. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. Luettu 5.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 13432. 2001. Pakkaukset. vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Testausmenettely ja arviointiperusteet pakkauksen hyväksynnälle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 5.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 14045. 2003. Packaging. Evaluation of the disintegration of packaging materials in practical oriented tests under defined composting conditions. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 5.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 14046. 2003. Packaging. Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability of packaging materials under controlled composting conditions. Method by analysis of released carbon dioxide. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Luettu 5.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

Sneddon, J., Masuram, S. & Richert, J. C. 2007. Gas Chromatography-Mass Spectrometry: Basic Principles, Instrumentation and Selected Applications for Detection of Organic Compounds. Analytical Letters 40 (6), 1003–1012.

---

## **Kirjoittajat**

**Marita Hiipakka**, lehtori  
Rakennettu ympäristö ja biotalous, TAMK  
[marita.hiipakka@tuni.fi](mailto:marita.hiipakka@tuni.fi)

**Juha Hurmalainen**, laboratorioinsinööri  
Rakennettu ympäristö ja biotalous, TAMK  
[juha.hurmalainen@tuni.fi](mailto:juha.hurmalainen@tuni.fi)

**Piia Kanto**, lehtori  
Rakennettu ympäristö ja biotalous, TAMK  
[piia.kanto@tuni.fi](mailto:piia.kanto@tuni.fi)

Kuvituskuva: Juha Hurmalainen