

Grafeenimateriaalit työympäristössä

Grafeenipohjaisten materiaalien käyttö lisääntyy. Uudet teknologiat ja materiaalit voivat aiheuttaa turvallisuushuolia työympäristössä. Työntekijöiden altistuminen uusissa tai kehitteillä olevissa prosesseissa on arvioitava huolellisesti terveysriskien vähentämiseksi.

Grafeeni ja grafeenipohjaiset materiaalit

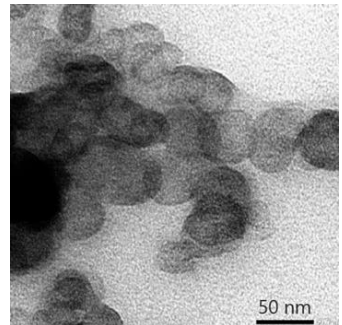
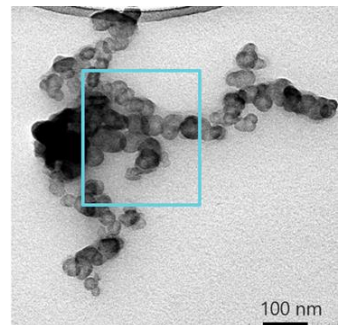
Grafeeni on kaksiuotteinen materiaali, joka koostuu hunajakennomaiseksi yksikerroksiseksi rakenteeksi järjestyneistä hiiliatomeista. Grafeenilla on suuri pinta-ala tasomaisen akselin molemmilla puolilla. Grafeeni eristettiin grafiitista vuonna 2004 mekaanisella kuorinnalla ja kiinnostus materiaalia kohtaan on lisääntynyt sen ainutlaatuisen fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien vuoksi.

Grafeeni on sata kertaa vahvempaa kuin teräs, mutta silti joustavaa. Se johtaa sähköä ja on kaasuja läpäisemätön. Hapetuksen ja/tai funktionalisoinnin avulla voidaan tuottaa erilaisia grafeenipohjaisia materiaaleja, kuten grafeenioksidia (GO), pelkistettyä grafeenioksidia (rGO), muutamakerroksista grafeenia (FLG), grafeenilevyjä ja -hiutaleita. Grafeenin tasomainen pinta voidaan funktionalisoida esimerkiksi karbonyyli-, hydroksyyli- ja epoksiryhmillä, päällystysaineilla tai pinnoitteilla (esim. polyetyleeniglykoli).

Grafeeni-materiaaleilla on monia ainutlaatuisia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat käytön erilaisissa sovellutuksissa, kuten energian varastoinnissa, aurinkokennoissa, kehittyneissä elintarvikepakkauksissa, taivutettavissa kosketusnäyttöissä, tuuliturbiinien ja laivojen suoja-pinnoitteissa sekä biolääketieteessä esimerkiksi lääkkeiden annostelujärjestelmissä ja kuvantamisessa.

Grafeenin lisääntyvä käyttö edellyttää perusteellista arviointia mahdollisista terveysvaikutuksista. Grafeenimateriaalien ainutlaatuiset fysikaaliskemialliset ominaisuudet voivat myös vaikuttaa vuorovaikutukseen biologisten järjestelmien kanssa ja johtaa sitä kautta haittavaikutuksiin.

Todennäköisin grafeenimateriaalien aiheuttama riski ihmisten terveydelle liittyy hengitysteitse tapahtuvaan työperäiseen altistumiseen grafeenin tuotannon, käytön ja hävittämisen aikana.



Elektronimikroskooppikuva grafeenioksidihiuksista työntekijän hengitysvyöhykkeeltä kerättyssä ilmanäytteessä.

CONTACT US

Tomi Kanerva
erityisasiantuntija
tomi.kanerva@ttl.fi
+358 30 474 8670

Julia Catalán
johtava tutkija
julia.catalan@ttl.fi
+358 30 474 2210

Vaaran ja altistumisen arviointi

Vaaran arviointi

Soluviljelmissä tehdyt tutkimukset osoittavat, että grafeenimateriaalien haitalliset vaikutukset riippuvat niiden fysikaaliskemiallisista ominaisuuksista. Siksi kunkin materiaalin terveysvaikutukset on arvioitava erikseen.

Grafeenin haittavaikutusten pääasiallinen mekanismi on reaktiivisten happiradikaalien muodostuminen, mikä voi aiheuttaa solu- ja DNA-vaurioita. Hienot grafeenihiukkaset leviävät helposti ilmaan ja edelleen hengitysteihin.

Hengitystiealtistumista koskevat tutkimukset osoittavat, että jrsijöillä grafeeni aiheuttaa keuhkoissa tulehdusta ja fibroosia. Lisäksi materiaalin poistuminen keuhkoista on hidasta. Tutkimukset viittaavat myös siihen, että grafeenihiukkaset voivat siirtyä keuhkoista muihin elimiin, kuten imusolmukkeisiin ja maksaan, mutta tähän liittyviä terveysvaikutuksia tutkitaan edelleen.

Työperäinen altistuminen

Nanomateriaalien kuten grafeenin kohdalla hengitysteitä pidetään tärkeimpänä altistumisreitteinä, koska se johtaa suurempaan kehon sisäiseen annokseen. Myös ihoaltistuminen on mahdollista monissa työtehtävissä. Vahingoittumaton iho on tehokas suoja ulkoista altistumista vastaan.

Pitkäaikaisen työperäisen grafeenialtistumisen aiheuttamia terveysvaaroja ei vielä tunneta riittävän hyvin, joten altistumista on suositeltavaa välttää aina kun mahdollista.



Grafeenijauhetta sisältävä pölyrumpu tyhjennetään ja puhdistetaan vetokaapissa. Työntekijä käyttää suodatinsuojusta (TH3P), jossa on tuuletin ja huppu, tyypin 5 suojavaatetusta ja nitrilikäsineitä.

Altistumisen arviointi

Hengitystiealtistumisen arviointi tulee suorittaa OECD:n ja CEN-standardien (OECD 2015, CEN 2018) mukaisesti. Laajasti harmonisoitu mittausstrategia työpaikan altistumisen arviointiin tapahtuu kolmessa vaiheessa, jotka on kuvailtu alla.

Vaihe 1: Alkuarviointi

- Olennaiset tiedot työpaikka-, prosessi- ja tuotantotoiminnasta kootaan parhaiden työhygieniakäytäntöjen mukaisesti.
- Yksityiskohtaisten materiaali- ja prosessitietojen kanssa voidaan arvioida nanomateriaalin (mukaan lukien 2D-materiaalit) mahdollisuutta vapautua työpaikan ilmaan.
- Altistumispotentiaalin tutkimiseen voidaan käyttää riskinarvioinnin työkaluja, esim. control banding.

Vaihe 2: Altistumisen arviointi

- Nanomateriaaleille altistumista tutkitaan sopivilla mittauslaitteilla ilmassa olevien nanomateriaalien (nanohiukkasten, aerosolien) pitoisuustasojen havaitsemiseksi reaaliajassa työprosessien aikana.
- Työpaikan ilman off-line näytteenotto ja analysointi mahdollisten nanomateriaalien karakterisoinniseksi (esim. elektronimikroskopiaa käyttäen) yhdistetään reaaliaikaiseen arviointiin.

Vaihe 3: Henkilökohtaisen altistumisen arviointi

- Altistumisen arviointi ilmassa oleville hiukkasille työntekijän hengitysvyöhykkeellä suoritetaan uusinta tekniikkaa käyttäen ja tuloksia verrataan tällä hetkellä saatavilla oleviin vertailuarvoihin.

 Riskin ja altistumisen arvioinnissa grafeenihiukkasten luotettava erottaminen taustahiukkasista on olennaisen tärkeää.

Työperäisen altistumisen ehkäiseminen

Raja-arvot ja suositukset

Tällä hetkellä nanokokoiselle grafeenille tai millekään muulle nanomateriaalille ei ole asetettu työperäisen altistuksen raja-arvoja. Työterveyslaitos on määritellyt teollisesti syntyville nanohiukkasille tavoitetasot 8 tunnin altistusajalle:

- 20000 hiukkasta/cm³ (tiheys > 6000 kg/m³)
- 40000 hiukkasta/cm³ (tiheys < 6000 kg/m³)

Työterveyslaitoksen tavoitetasot työpaikan pölypitoisuuksille (8 h). Näitä arvoja voidaan soveltaa, jos erityisiä työperäisen altistuksen raja-arvoja ei ole asetettu kyseisen pölyn osalta:

- 0,5 mg/m³ (yleispöly, keuhkorakkuloihin päätyvä osuus)
- 2 mg/m³ (yleispöly, hengittävä osuus)

Työympäristö ja riskinarviointi

Työympäristössä altistuminen grafeenille ja/tai muille nanomittakaavan 2D-materiaaleille liittyy synteisiin (esim. grafiitin kuorinta, CVD), valmistusvaiheen prosessien ja toimintojen turvallisuuteen ja päästöjen hallintaan. Myös elinkaaren loppuvaiheessa, kuten kierrätyksessä ja jätehuollossa, riski työperäiseen altistumiseen on merkittävä.

Tällä hetkellä grafeenimateriaalien tuotannossa ja siihen liittyvissä käsittelyvaiheissa materiaali on usein neste-/tahnamuodossa, jolloin päästöt ja altistumisriski ovat vähäiset.

Synteesi-/tuotantoprosessin loppuvaiheet, joissa raaka-aine eli tuotettu grafeeni/2D-materiaali kuivataan ja pakataan jatkokäyttöä varten, ovat työntekijöiden altistumisen kannalta kriittisimpiä kohtia. Lisäksi prosessilaitteiden huolto- ja puhdistustehtävissä kuivaa ainetta voi vapautua hallitsemattomasti tai vahingossa.

Altistumisen ehkäisy

Kuten kaikkien muiden haitallisten kemiallisten tekijöiden kohdalla myös grafeenimateriaaleille altistumisen minimointi työpaikalla edellyttää työhygienian periaatteiden noudattamista. STOP-periaatteen mukaan hallintatoimenpiteet suositellaan toteuttamaan alla näkyvässä järjestyksessä.



Kun grafeenia käsitellään nestemäisessä tai tahnamaisessa muodossa, suositellaan FFP3-hengityksensuojainta, suojavaatetusta ja nitrilikäsinettä.

S
T
O
P

Korvaaminen (Substitution) Käytä vähiten vaarallisia aineita, vältä kuivia aineita, käytä annosteluun syöttölaitteita ja kertakäyttöpakkauksia.

Tekniset toimenpiteet Suljettu järjestelmä, alipaine, vetohuuvat, kohdepoistoilmanvaihto, prosessin automaatio, ilmansuodatus.

Organisatoriset toimenpiteet Altistumisen minimointi (aika ja työntekijöiden määrä), riittävä perehdytys turvallisiin työtapoihin, märkäpuhdistus tai imurointi hienojakoiselle pölylle sertifioidulla laitteella, rajoitettu pääsy riskialueelle.

Henkilönsuojaimet (Personal protection) Hengityksensuojaimet (P3-luokka), suojavaatetus, käsineet, suojalasit.

Muistilistat ja lisätietoja



Muistilista työnantajalle

- Onko työpaikalla tehty riskinarviointi?
- Onko työpaikalla työprosesseja, joihin liittyy tunnistettu altistumisriski?
- Onko turvallisuusnäkökohdat otettu huomioon tuotantosuunnitelmassa?
- Ovatko materiaalien ja kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet saatavilla?
- Onko kaikki työntekijät perehdytetty noudattamaan vaadittuja turvallisuustoimenpiteitä?
- Onko grafeenin käsittelyä jauheena mahdollista välttää?
- Ovatko tekniset toimenpiteet riittävän tehokkaita ja toimivatko ne asianmukaisesti?
- Onko yleisilmanvaihto riittävä?
- Ovatko tarvittavat henkilösuojaimet helposti saatavilla?
- Onko suojaimille käyttö- ja huolto-ohjeet ja noudatetaanko niitä?
- Onko suojainten puhdistukseen toimintaohjeet?



Muistilista työntekijälle

- Oletko lukenut materiaalien ja kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteet?
- Varastoidaanko ja käsitelläänkö kemikaaleja, nanomateriaalit mukaan lukien, asianmukaisesti?
- Onko sinut perehdytetty noudattamaan vaadittuja turvatoimenpiteitä?
- Noudatetaanko turvallisuusohjeita kaikissa työvaiheissa?
- Käytätkö tarvittaessa henkilösuojaimia?
- Oletko lukenut suojainten käyttö- ja huolto-ohjeet ja noudatanko niitä?
- Onko työpaikalla puhdasta ja siistiä?
- Tiedätkö, miten toimia yllättävissä tilanteissa tai hätätilanteissa?

Pysy ajan tasalla tutkimustiedosta ja sääntelystä!



Lisätietoa

- Graphene Flagship -projektikonaisuus (engl.) <https://graphene-flagship.eu/>
- GrapHazard-projekti (engl.) <https://projects.safera.eu/project/26> eli Energiantuotannossa ja -varastoinnissa käytettävien grafeeniperäisten nanomateriaalien vaaranarvio –hanke <https://www.ttl.fi/tutkimus/hankkeet/energiantuotannossa-ja-varastoinnissa-kaytettavien-grafeeniperaisten-nanomateriaalien-vaaranarvio>
- EUON tutkimusraportti grafeenimateriaalien terveys- ja ympäristövaikutuksista (engl.) https://euon.echa.europa.eu/documents/2435000/3268573/echa_2021_28_6_graphene_study.pdf
- Euroopan kemikaaliturvallisuusviraston (ECHA) rekisteröintitiedot grafeenista (engl.) <https://echa.europa.eu/it/registration-dossier/-/registered-dossier/24678>
- Työterveyslaitoksen asettamat tavoitetasot <https://www.ttl.fi/tavoitetasot>
- Työterveyslaitoksen työympäristön riskienhallinnan malliratkaisut <https://www.ttl.fi/malliratkaisut>