



Altistumisen hallinta metallien 3D-tulostustöissä

Metallien 3D-tulostus on kehittyvä toimiala, jonka työntekijämäärä on lisääntynyt nopeasti viime vuosina. Metallien 3D-tulostustöissä ilmaan vapautuu ultrapieniä hiukkasia, jotka voivat kulkeutua syvälle hengitysteihin ja muualle elimistöön. Tutustu toimenpiteisiin, joilla voit minimoida työntekijöiden altistumisen työpaikalla.

Tulostusmenetelmät ja -materiaalit

- Metallien 3D-tulostus jauhepetisulatuksella on materiaalia lisäävä valmistustekniikka. Siinä valmistettava kappale muotoutuu tietokonemallin mukaan kerros kerrokselta.
- Tulostimeen ladattu hienojakoinen jauhemateriaali kovetetaan haluttuun muotoon laserilla.
- Metallien 3D-tulostustyöhön liittyy myös tulostusjauheen käsittelyä, kuten siivilöintiä sekä jälkikäsittely- ja ylläpitotöitä.
- 3D-tulostuksessa käytetään eri käyttötarkoitusten mukaan monenlaisia metallijauheita, jotka voivat sisältää esim. rautaa, kromia, nikkeliä, alumiinia ja titaania.

Ohjeet koskevat erityisesti jauhepetitulostusta

KYSY LISÄÄ

Maija Leppänen
Erikoistutkija
majja.leppanen@ttl.fi
+358 30 474 3483

Antti Karjalainen
Tutkijatohtori
antti.karjalainen@uef.fi
+358 50 501 3984

Altistumisen terveysvaikutukset

- Metallien 3D-tulostustöissä voi altistua metallihuuruille ja -hiukkasille hengittämällä hienojakoista ja nanokokoista metallipölyä. Lisäksi voi altistua ihon kautta tai hiukkasia voi siirtyä käsien kautta suuhun.
- Metallihuuruilla ja -hiukkasilla on haitallisia terveysvaikutuksia. Esimerkiksi keuhko- ja verenkiertoelimistön sairaudet, heikentynyt keuhkojen toiminta ja vaikutukset hermostoon ja aivoihin.
- Tietyt metallit on luokiteltu syöpää aiheuttaviksi (luokka 1A/1B). Tällaisia ovat esimerkiksi kuusiarvoinen kromi ja nikkeliyhdisteet.
- Hiukkasten koko ja massa vaikuttavat niiden aerodynamiikkaan ja siihen, miten syvälle hiukkaset pääsevät keuhkoihin.
- Altistumisen arvioinnissa täytyy aina selvittää lähtöaineen ja ilmaan vapautuvien hiukkasten kemialliset ominaisuudet.

Altistuminen metallien 3D-tulostustöissä

Metallien 3D-tulostuksessa tulostettava materiaali kuumenee, jolloin ilmaan vapautuu hitsaushuuruksen kaltaisia hiukkasia. 3D-tulostimet ovat yleensä koteloituja ja niissä on IV-kanavaan liitetty poistoputki ja/tai ulostuloilman suodatusjärjestelmä, minkä vuoksi tulostuksen aikana vapautuu työympäristöön hyvin vähän hiukkasia.

Hienojakoisia metallihiukkasia voi vapautua työympäristöön, kun käsitellään tulostusjauhetta ja tulostettuja, valmiita tuotteita.

Tulostusjauheen käsittely

- Tulostusjauhetta käsitellään esim. siivöinnissä ja kun 3D-tulostin ladataan.
- Kun tulostusjauhetta käsitellään, altistumisriski liittyy tulostusjauheen pölyämiseen.
- Metallijauheiden syttyvyyden ja pölyräjähdysriskin takia niitä on käsiteltävä ja säilytettävä oikein.
- Kiinnitä huomiota esim. staattisen sähkön hallintaan ja tehokkaaseen ilmanvaihtoon. Käytä aina oikeita sammutusmenetelmiä, esim. D-luokan jauhesammuttimia.

Tulostettujen tuotteiden käsittely

- Metallien 3D-tulostuksen jälkikäsittelyyn liittyy suurin hiukkasaltistumisriski.
- Jälkityöskentelyä ovat esimerkiksi kappaleiden sahaus ja hionta. Ne ovat lähes aina työntekijän manuaalisesti suorittamia tehtäviä.
- Jälkityöskentelyssä on monia eri toimintatapoja, mutta työprosessit tuottavat yleensä hyvin suuria määriä ultrapieniä hiukkasia.

Altistumisen hallinta

Jotta altistumista voidaan arvioida ja valita oikeat hallintatoimet, käytössä olevien tulostusjauheiden vaaraominaisuudet pitää selvittää ja arvioida jokaisen työtehtävän riskit.

- Apuna voi käyttää työhygienisiä mittauksia tai työntekijöiden biomonitorointia.
- Altistumisen hallintaan suositellaan STOP-mallia, joka kuvaa altistumisen estämisen tai vähentämisen tärkeysjärjestystä ja perustuu EU:n kemiallisia tekijöitä koskevaan direktiiviin.

Korvaaminen

- Tutustu tulostusjauheiden vaaraominaisuuksiin ja käyttöturvallisuustiedotteeseen. Suosi vähemmän haitallisia vaihtoehtoja.

Tekniset toimet

- Vähennä altistumista huolehtimalla tuotantotilan hyvästä ilmanvaihdosta ja kohdepoistoista.
- Koteloi tai osastoi työvaiheet, joihin liittyy altistumisen vaara.
- Tarkasta ilmanvaihdon ja kohdepoistojen toiminta säännöllisesti. Voit nimetä tehtävään vastuuhenkilön.

Organisatoriset toimet

- Pehdytä työntekijät turvallisiin työtapoihin ja rajoita pääsyä riskialueelle.
- Kiinnitä huomiota yleiseen siisteyteen, esim. imurointiin ja lattioiden märkäpyyhintään sekä hygieniaan. Muista siis käsipesu, siisteys ja suojainten puhtaanapito.

Henkilönsuojaimet

- Käytä työskentelyn aikana hiukkasuodattimilla varustettua puhallinsuojainta (TH3P tai TM3P). FFP3-luokan hengityksensuojain riittää lyhyissä työvaiheissa, jotka eivät sisällä jauheen käsittelyä tai tuotteen jälkikäsittelyä. Varmista, että suojain tiivistyy kasvoille hyvin.
- Käytä tyyppin 5 kertakäyttöistä kemikaalinsuojavaatetusta, joka suojaa pölyiltä.
- Käytä nitrilikumista valmistettuja kertakäyttökäsineitä. Käsineiden ranneke tulee ylettyä kunnolla suojapuvun rannekkeen alle.
- Pue nitrilikumikäsineiden päälle tarvittaessa esim. mekaanisilta vaaroilta suojaavat käsineet. Rannekkeen tulee ylettyä suojavaatteen hihan päälle.

S
T
O
P



Työhygieeniset raja-arvot

Riskinarvioinnin yhteydessä tulee huomioida eri altisteille mahdollisesti asetetut työilman pitoisuuden HTP-arvot sekä Työterveyslaitoksen ehdottamat tavoitetasot (8 tunnin altistumisaika). Tulostusjauheet voivat sisältää muitakin metalleja kuin ne, jotka on listattu alla.

Altiste	Raja-arvo tai tavoitetaso
	HTP-arvo
Alumiini ja sen niukkaliukoiset yhdisteet	1 mg/m ³
Epäorgaaninen pöly	10 mg/m ³
Kromi ja sen (II,III)-yhdisteet	0,5 mg/m ³
Nikkeli, hengittävä pöly Nikkeli, alveolijakeinen pöly	0,05 mg/m ³ (sitova raja-arvo) 0,01 mg/m ³ (sitova raja-arvo)
Rautaoksidi, huurut	5 mg/m ³
	Tavoitetaso, pöly
Alveolijakeinen pöly	0,5 mg/m ³
Hengittävä pöly	2 mg/m ³
	Tavoitetaso, teollisesti tuotetut nanohiukkaset
Hiukkaset, tiheys > 6 000 kg/m ³	20 000 #/cm ³
Hiukkaset, tiheys < 6 000 kg/m ³	40 000 #/cm ³

Lisätietoa kemikaalialtistumisen biomonitoroinnista ja toimenpiderajoista

<https://www.ttl.fi/kemikaalialtistumisen-biomonitorointi>

Etsitkö ohjeita 3D-tulostuksen kemikaaliturvallisuuteen, nanomateriaalien käsittelyyn, metallintyöstöön tai suojainten valintaan?

Lisätietoa Työterveyslaitoksen verkkosivulla <https://www.ttl.fi/malliratkaisut>

Tutustu tarkemmin! Lue Meta3D-hankkeen loppuraportti
<https://julkari.fi/handle/10024/151338>



Tarkistuslista työpaikoille: Metallien 3D-tulostustyö

Ilmanvaihto

- ☐ Huolehdi tehokkaasta yleisilmanvaihdesta.
- ☐ Hyödynnä automatiikkaa ja suljettuja systeemejä mahdollisimman paljon.
- ☐ Voit myös rajoittaa altisteiden leviämistä tilojen osastoinnilla ja painesuhteilla.

Työjärjestelyt

- ☐ Kiinnitä huomiota jälkikäsittelyn työhygieniaan ja työjärjestelyihin, esim. teknisiin hallintatoimiin.
- ☐ Vältä hiukkasia levittäviä työmenetelmiä, kuten paineilmatyökaluja.
- ☐ Järjestä kulku tulostustiloihin erillisen pukuhuoneen kautta.
 - ✓ Säilytä suojavarusteet pukuhuoneessa ja pukeudu työvaatteisiin vasta ennen tulostustilaan menemistä.
 - ✓ Vaihda työvaatteet pölyisen työvaiheen jälkeen.
- ☐ Huolehdi, että kukaan ei tule vahingossa työtiloihin ilman suojausta pölyisen työvaiheen aikana.
 - ✓ Varmista esimerkiksi näköyhteys työtiloihin tai ilmoita työvaiheesta kyltillä.
- ☐ Jos tulostusjauheet sisältävät syöpävaarallisia metalleja, arvioi onko tarve ilmoittaa työntekijöitä ASA-rekisteriin. Pohdi myös työskentelyn riskit raskauden aikana.

Henkilönsuojaimet ja siisteys

- ☐ Käytä oikeanlaisia suojaimia ja varmista niiden yhteensopivuus.
- ☐ Huolehdi suojainten puhtaudesta ja tarkasta niiden kunto säännöllisesti. Vaihda suojaimet riittävän usein.
- ☐ Huolehdi, että työtilat ovat siistit ja ne ovat helposti siivottavissa:
 - ✓ Siivoa oma työpisteesi työn päätyttyä. Muistathan suojautua myös siivouksen aikana.
 - ✓ Älä säilytä tiloissa turhaa tavaraa. Näin tilat on helpompi pitää puhtaana.
 - ✓ Käytä siivoamiseen imuria tai märkäpyyhintää. Vältä hiukkasia levittäviä menetelmiä, kuten harjausta ja paineilmaa.
 - ✓ Arvioi voisiko sähköjohdot vetää tiloissa yläkautta. Vapaat lattiapinnat on helpompi siivota.
- ☐ Metallipöly voi kulkeutua tilojen välillä kenkien pohjissa. Vähennä kulkeutuvaa pölyä ja sijoita eri tilojen väliin tarramattoja.
- ☐ Pese kädet huolellisesti aina tuotantotiloista poistuessasi.
- ☐ Älä syö tai juo tuotantotiloissa.

Suositus: Henkilönsuojaimet metallien 3D-tulostustyössä

Metallien 3D-tulostustyössä on suojauduttava metallipölyiltä. Osa pölyistä jää leijumaan ilmaan aerosolina.

Varo, että et nostata ilmaan jo kerran alas laskeutunutta pölyä.



Kun työskentelet tuotantotiloissa alle 2 h ja et käsittele jauhetta tai tee tuotteiden jälkikäsittelyä, käytä:

- vähintään FFP3-luokan hengityksensuojainta
- tyypin 5 suojapukua, joka suojaa pölyltä
- kertakäyttöisiä nitrilikumikäsineitä, turvajalkineita ja karkeilta pölyiltä suojaavia silmiensuojaimia.



Kun työskentelet tuotantotiloissa yli 2h, käytä:

- hengityksen- ja silmiensuojainta, jossa on hiukkassuodattimella varustettu puhallinsuojain sekä kasvo-osana huppu tai kypärä, TH3P
- tyypin 5 suojapukua, joka suojaa pölyltä
- kertakäyttöisiä nitrilikumikäsineitä sekä turvajalkineita.



Vaihtoehto 2, kun työskentelet tuotantotiloissa yli 2 h, käytä:

- hengityksen- ja silmiensuojainta, jossa on hiukkassuodattimella varustettu puhallinsuojain sekä kasvoille tiivistyvä kokonaamari, TM3P.
- tyypin 5 suojapukua, joka suojaa pölyltä
- kertakäyttöisiä nitrilikumikäsineitä sekä turvajalkineita.
- TM3P-suojain on tehokkaampi kuin TH3P-luokan suojain.