

NANÓEFNI Í VIÐHALDSSTARFI: VINNUVERNDARÁHÆTTUR OG FORVARNIR

Nanótækninni vindur hratt fram og notkun nanóefna verður æ algengari bæði í daglegu lífi okkar og á vinnustöðum. Það þýðir að fleiri starfsmenn, sem starfa við viðhald, geta orðið fyrir nanóefnum. Þrátt fyrir viðvarandi rannsóknir hefur nanótæknin þróast hraðar en þekkingarmyndunin um heilbrigðis- og öryggisáhrif nanóefna. Enn er margt á huldu, en það vekur upp spurningar um mat á vinnuverndaráhættum.

Þetta e-staðreyndablað útskýrir hvernig nanóefni kunna að verða á vegi starfsmanna við viðhaldsvinnu og veitir upplýsingar um hvað ætti að gera til þess að koma í veg fyrir hugsanleg váhrif.

1. Inngangur

1.1. Hvað eru nanóefni?

Nanóefni eru efni sem innihalda agnir með eina eða fleiri víddir á milli 1 og 100 nm¹, skali sem er samanburðarhæfur við atóm og sameindir. Þau kunn að vera náttúruleg, eins og frá eldfjallaösku, eða óviljandi afleiðing mannlegrar starfsemi, svo sem þau sem finna má í díselútbæstri. Hins vegar er stór hluti nanóefna framleiddur af ásettu ráði og markaðssettur en það eru þau efni sem við beinum sjónum okkar að.

Jafnvel þó að nanóefni geti myndað þyrpingar eða stærðir sem geta orðið stærri en 100 nm, geta þær brotnað niður og gefið frá sér nanóefni. Af þeim sökum ætti að líta á þyrpingarnar/stærðirnar sem nanóefni við áhættumatið.

Sérstöku (nýju) eiginleikar framleiddra nanóefna hafa í för með sér ýmiss konar ávinning við margs konar aðstæður. Framleidd nanóefni má nota annaðhvort ein og sér eða í samblandi við önnur efni til þess að fá fram til dæmis:

1. smækkun (t.d. á rafmagnsbúnaði);
2. þyngdarminnkun (afleiðing aukinnar efnisskilvirkni); og
3. aukinna eiginleika efna (t.d. aukið slitþol, leiðni, hitastöðugleiki, leysni, minni núningur).

Gerðir framleiddra nanóefna, sem hugsanlega eru til staðar á vinnustöðum, fer eftir þeirri starfsemi, sem framkvæmd er, þeim vörugerðum, sem eru framleiddar, og þeim efnum, sem notuð eru sem hráefni eða til aðstoðar við vinnsluna.

(¹) Samkvæmt tilmælum framkvæmdastjórnar Evrópusambandsins [1]:

- „Nanóefni“ er náttúrulegt, tilfallandi eða tilbúið efni sem inniheldur agnir í óbundnu ástandi eða sem þyrpingu eða samansafn og þar sem, fyrir 50% eða meira af ögnunum í fjöldastærðardreifingunni, ein eða fleiri hafa ytra umfang af stærðinni 1 nm - 100 nm. Fjöldadreifingin er gefin upp sem fjöldi hluta innan gefins stærðarsviðs deilt með heildarfjölda hlutanna.“

- „Í ákveðnum tilvikum og þar sem áhyggjur vegna umhverfisins, heilbrigðis, öryggis eða samkeppnishæfni réttlætir, má skipta fjöldadreifingarþröskuldinum um 50% út fyrir þröskuld á milli 1 og 50%.“ -

- „Þrátt fyrir framangreint, ætti að telja fullerenes, graphene flögur og kolefnananoíðslur með einföldum vegg, með eina eða fleiri ytri víddir undir 1 nm til nanóefna.“

1.2. Viðhald

Reglubundið viðhald er nauðsynlegt til þess að halda búnaði, vélum, byggingum og mannvirkjum (til dæmis brúm og göngum) svo og vinnuumhverfinu öruggu og áreiðanlegu. Viðhaldsvinna tekur til ýmiss konar starfa í mjög mismunandi geirum og vinnuumhverfum. Venjulega felst hún í þjónustu, viðgerðum, skoðunum, prófunum, aðlögunum eða skiptum á íhlutum og kann að hafa í för með sér, til dæmis, að opna lokuð framleiðslukerfi, skipti á síum, fjarlægja málningslög, blástur, mulningu, söndun, beitingu fylliefna, málningar, einangrunarstarf og viðgerðir á rafmagnskerfi, gas- eða vatnsveitukerfi. Þar sem viðhald fer fram að einhverju leyti í öllum geirum og vinnustöðum, eru viðhaldsstarfsmenn líklegri en aðrir starfsmenn til þess að komast í snertingu við fjölbreyttar vinnuverndarhættur.



Höfundur: Dovile Cizaite

Viðhald getur verið forvirkt – til þess að koma í veg fyrir bilanir á vélum eða mannvirkjum og óöruggum aðstæðum á vinnustaðnum – eða sem viðbrögð – til þess að gera við búnað eða byggingareiningar. Viðhaldsstarf getur því verið hluti af daglegum störfum starfsmanna, til dæmis þrif og skoðun á úðabyssu í lok vinnudagsins, eða sérstakur starfi sem á sér stað þegar búnaður eða vélar virka ekki sem skyldi. Viðhaldsvinna getur verið aðalstarf byggingarverkamanna.

Nytsamlegar upplýsingar um viðhald og vinnuvernd má finna á vefsíðu EU-OSHA á <https://osha.europa.eu/en/topics/maintenance>.

1.3. Nanóefni í viðhaldsstarfi

Jafnvel þó að nanótækni sé tiltölulega ný grein í iðnaðinum eru nanóefni þegar notuð við margar aðstæður vegna sérstakra eiginleika sinna. Það þýðir að hafa þarf hugsanleg vahrif nanóefna í huga við viðhaldsstarf í sífellt fleiri geirum og vinnustöðum.

Eftir því sem fjöldi framleiðsluvara, sem innihalda nanóefni, eykst, eru starfsmenn líklegri til þess að þurfa að framkvæma viðhald á slíkum vörum og komast þannig hugsanlega í snertingu við nanóefni. Dæmi um slíkar vörur, sem innihalda nanóefni, eru til dæmis, bifreiðar, léttrúllandi viðnámsdekk, rafmagns- og rafeindabúnaður, svo sem háskilvirkir nemar og rafeindatækni, orkuframleiðslubúnaður, svo sem háorku, endurhlaðanleg rafgeymakerfi, eða þunnfilmu sólarrafhlöður. Byggingarnar sjálfar geta einnig innihaldið nanóefni.

Auk þess er aukinn fjöldi viðhaldsvara á markaðnum með framleiddum nanóefnum, sem notuð eru við viðhaldsvinnu, svo sem smurefni, yfirborðsefni eða límefni. Ef fullnægjandi fyrirbyggjandi ráðstafanir eru ekki til staðar, geta þau leitt til váhrifa fyrir starfsmenn.

Ákveðin beiting nanóefna getur einnig haft í för með sér mikinn ávinning fyrir viðhaldsstarfsmenn frá sjónarmiði vinnuverndar, til dæmis snjallmálning, sem notuð er til að greina sprungur eða tæringu á máluðu yfirborði. Snjallmálning inniheldur kolefnananópípur sem leiða rafmagn. Slíkar skemmdir á yfirborðinu hafa áhrif á leiðni þeirra og því má nota slíka málningu til að greina vandamál, sem annars væri annars aðeins hægt að sjá í smásjá, til dæmis á brúm, vindhverflum og koma þannig í veg fyrir þörfina á því að vinna í hæð til þess að skoða slík mannvirki.

2. Vinnuverndaráhættur starfsmanna af völdum nanóefna við viðhaldsvinnu

Þrátt fyrir að nanóefni hafi í för með sér ýmiss konar ávinning, geta sum þeirra verið hættuleg heilsu manna og öryggi [2–4] og skapað áhættur fyrir viðhaldsstarfsmenn.

2.1. Hættur og váhrifsleiðir

Öryggishættur geta myndast vegna mikillar sprengifimi, eldfimi og hvatandi eiginleika sums nanódufts (nanóefni í duftformi), einkum málmnanódufts.

Nanóefni getur haft í för með sér margskonar eitrandi áhrif, jafnvel þó að sama efni á stærra sniði geri það ekki. Þetta er aðallega vegna smæðar þeirra en einnig vegna lögunar agnarinnar, kemískrar samsetningar, yfirborðsstöðu (t.d. yfirborðssvæðis, yfirborðsvirkni, yfirborðsmeðferðar), stöðu samsöfnunar/þyrpingar, o.s.frv. [3, 4].

Við venjuleg umhverfisskilyrði kunna nanóefni að mynda þyrpingar eða stærðir, sem eru stærri en 100 nm, og breyta þannig um (en tapa ekki endilega) sérstökum nanóeiginleikum sínum. Hins vegar kunna nanóefni að losna aftur úr frá veikbyggðum samsetningum og jafnvel við ákveðnar aðstæður sterkbyggðum þyrpingum. Það er í skoðun hvort slíkt geti gerst í lungnavökva eftir innöndun á slíkum samsetningum eða þyrpingum [3, 4]. Samsetningar og þyrpingar, sem innihalda nanóefni, ætti því að hafa í huga í áhættumatinu fyrir vinnustaðinn.

Innvortis váhrif, í kjölfar þess að nanóefni berast inn í líkamann, gætu meðal annars verið frekari upptaka, dreifing og umbrot. Sum nanóefni fundust, til dæmis í lungum, lifur, nýrum, hjarta, æxlunarfærum, fósttri, heila, milta, beinagrind og mjúkvæfjum [5]. Spurningum varðandi uppsöfnun nanóefna og útskilnaðar þeirra frá frumum og líffærum er ósvarað. Annað málefni er að þó að nanóefnið sjálft sé ekki eitrad að þá gæti það virkað sem Trójuhestur, það er að segja að annað og eittraðra efni kann að festa sig við nanóefnið og komast þannig inn í líffæri og frumur líkamans [6].

Mikilvægustu áhrif nanóefna hafa fundist í lungum og eru meðal annars bólgur og vefjaskaði, oxunarálag, langvarandi eitrunaráhrif, bandvefsmyndun og æxlismyndun. Sum nanóefni kunna einnig að hafa áhrif á hjarta- og æðakerfið. Hugsanlegir hættulegir eiginleikar framleiddra nanóefna eru enn í rannsókn [3, 4].

Dæmi um nanóefni, sem viðhaldsstarfsmenn kunna að komast í snertingu við og hættuáhrif þeirra, eru talin upp í töflu 1. Þessi nanóefni eru sérstaklega mikilvæg fyrir viðhaldsstarf þar sem þau eru notuð í málningu, sóttþreinsiefnum, hreinsiefnum eða öðrum vörum sem algengt er að nota við viðhaldsvinnu.

Tafla 1: Dæmi um nanóefni sem viðhaldsstarfsmenn kunna að komast í snertingu við og hugsanleg hættuáhrif þeirra

Gerð nanóefnis	Heilsufarshættur
Silfurnanóagnir	Notkun silfurnanóagna getur skapað hugsanlega hættu fyrir heilbrigði manna [8] en vísindanefnd Evrópusambandsins um aðsteðjandi og nýgreindar heilsufarsáhættur var falið að gera vísindalegt mat á öryggis-, heilbrigðis- og umhverfisáhrifum þeirra og hlutverki í örverueyðandi viðnámi nanósilfurs [9]. Áhyggjur eru uppi um að silfurnanóagnir geti valdið alvarlegum heilsufarsvandamálum, svo sem ofnæmi [10], lungnabjúg [11] og silfursvertingu (þ.e. gráleit eða grá-bláleit mislitun eða sverting á húð, nöglum, augum, slímhúð eða innri líffærum af silfri), sem ekki er hægt að snúa við og eru ólæknandi [12]. Einnig hefur komið í ljós í rottum að silfurnanóagnir geta borist til heila í gegnum efri öndunarveg [13]

Gerð nanóefnis	Heilsufarshættur
Títantvíoxíð (TiO ₂) nanóagnir	Títantvíoxíðagnir hafa, við innöndun, verið flokkaðar af Alþjóðastofnuninni um krabbameinsrannsóknir (IARC) sem hugsanlegur krabbameinsvaldur í mönnum (krabbameinsvaldandi flokkur 2B) [14]. Vinnuverndarstofnun Bandaríkjanna (NIOSH) gerði tilmæli um lægri útsetningarmörk fyrir mjög fínar (e. ultrafine) agnir af TiO ₂ : 0.3 mg/m ³ fyrir TiO ₂ nanóagnir (< 100 nm), á móti 2.4 mg/m ³ fyrir fínar agnir (> 100 nm) [15].
Kísilnanóagnir	Rannsóknir um eitrandi áhrif nanókísils byggðu á heilbrigðisáhrifum kísils í kjölfar útsetningar í gegnum öndunarveg, eftir bráða eða meðalbráða útsetningu. Lungnabólga, bólguhnúðamyndun og einangruð lungnabema (e. focal emphysema) eru dæmi um heilsufarsáhrif sem greint hefur verið frá [16]

Það eru aðallega þrjár hugsanlegar leiðir fyrir útsetningu á nanóefnum á vinnustöðum [2, 3, 6, 17–19]:

- **Innöndun** er algengasta útsetningarleiðin fyrir nanóagnir í loftinu á vinnustaðnum. Innandaðar nanóagnir geta sest að í öndunarvegi og lungum eftir lögun þeirra og stærð. Í kjölfar innöndunar kunna þær að berast yfir í þekjuvef lungna, fara út í blóðrás og berast þannig til frekari líffæra og vefja. Einnig hefur komið í ljós að sumar innandaðar nanóagnir bærust til heila í gegnum lyktarskynfærataugina.
- **Inntaka** getur verið afleiðing af óviljandi yfirfærslu frá höndum-til-munns af völdum mengaðs yfirborðs eða með inntöku á menguðum mat eða vatni. Inntaka getur einnig átt sér stað af völdum innöndunar á nanóefnum þegar innandaðar agnir losna úr öndunarvegi í gegnum slímbífhárafæribandið og eru gleypar. Sum inntekin nanóefni kunna að berast að berast yfir í þarmaþekjuvef, fara út í blóðrás og berast til frekari líffæra og vefja.
- **Húðinntaka** er enn í rannsókn [2, 18]. Ósködduð húð virðist vera góð hindrun gegn upptöku nafnóefna [20]. Sködduð húð virðist vera áhrifaminni, en upptökustig eru líklegri til þess að vera lægri en í tengslum við innöndun [20]. Þrátt fyrir þetta, ætti hins vegar að koma í veg fyrir og hafa stjórn á snertingu þeirra við húð.

Möguleikar á váhrifum byggja þar af leiðandi aðallega á líkum þess að nanóefni berist í loft, en duftform eða úðar skapa meiri áhættu en sviflausnir, þykkir vökvar, kornaefni eða samsett efni. Á móti skapa nanóefni í vökva meiri áhættu en bundnir eða fastir nanóstrúktúrar, svo sem þá sem finna má í fjöllíðustofefni [21].

2.2. Viðhaldsstarf með áhættu á útsetningu nanóefna

Viðhaldsstarfsmenn kunna að komast í snertingu við nanóefni í eftirfarandi aðstæðum:

- við notkun viðhaldsvara sem innihalda nanóefni;
- við viðhald á mannvirkjum þar sem nanóefni koma við sögu, til dæmis vörulínu þar sem nanóefni eða vörur, sem innihalda nanóefni, eru notuð eða unnin, og þegar þessi nanóefni hafa, til dæmis, borist yfir á yfirborð mannvirkisins í viðhaldi; og
- þegar viðhaldsferlið sjálft myndar nanóefni, til dæmis við mölun eða fægingu.

Tafla 2 sýnir dæmi um vörur, sem viðhaldsstarfsmenn kunna að nota, meðhöndla eða undirbúa, og innihalda nanóefni, sem þeir kunna að komast í snertingu við, við vinnu sína.

Tafla 2: Dæmi um vörur sem innihalda nanóefni notuð við viðhald

Helstu gerðir nanóefna	Dæmi um vörur sem notaðar eru við viðhaldi
Títandíoxíð (TiO ₂)	Málning, örverudrepani yfirborðsefni, hreinsivörur, sement, flísar, veggyfirborðsefni, yfirborðsefni sem hrindir frá sér óhreinindum fyrir glugga, bílayfirborðsefni (allar þessar vörur nýta sér dauðhreinsandi, lyktardrepandi, móðueyðandi og sjálfhreinsandi eiginleika TiO ₂ á nanóformi); og í gleri fyrir þá eiginleika að breyta um lit þegar það kemst í snertingu við ljós [6, 22–24]
Kísill (SiO ₂)	Málning, steypa og hreinsivörur [6, 23]
Silfurnanóagnir	Notaðar sem sæfiefni í litarefnum/málningu og lakki, fjölliður, hreinlætisefni fyrir vaska og hreinlætistæki ásamt ýmiss konar „neytendanotkun“ svo sem sóthreinsiefni og hreinsiefni [6]
Kolefnisnanópípur	Málning [23], léttvigtisframkvæmdir
Kolefnissverta	Litarefni
Karbíðar (t.d. WC, TiC, SiC), nitríð (t.d. TiN, CrN), málmur (t.d. W, Ti, Mo) eða keramik (t.d. Al ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃)	Núningshúðun yfirborðs íhlutar til þess að stýra núningi og slit [25]
Járnoxíð	Aukaefni í lími; formúlur til þess að heimila bindingu og afbindingu að óskum [25]
Sirkontvíoxíð	Aukaefni í steypu, aukaefni í plasti
Koparoxíð	Viðarvarnarefni
Gullnanóagnir	Bífreiddar og smurefni [26]

Nokkur af þeim viðhaldsverkum þar sem starfsmenn kunna að komast í snertingu við nanóefni eru meðal annars:

- **Notkun vökvaefna sem inniheldur nanóefni:**
 - notkun vökva (t.d. smurefna, málningar, yfirborðsefna, límeffna) eða þrif á efnum, sem hafa sullast niður, og geta leitt til húðútsetningar á varnarláusri húð.
 - Við nokkrar kringumstæður felst viðhaldið í undirbúningi á vökvum, það getur verið helling eða blöndun, þar sem mikil æsingur kemur við sögu, og myndað þannig örður sem má innanda (og síðan taka inn að hluta) eða berast á óvarða húð og leitt þannig til húðútsetningar.
 - úðun, til dæmis með einangrandi nanóhúð eða nanómálningu, getur leitt til innöndunar, inntöku eða húðútsetningar; og
 - úðun eldfimra nanóefna á vökvaformi eykur einnig áhættuna á sprengingu eða eldsvoða.
- **Notkun nanóefnadufts:**
 - Meðhöndlun (t.d. vigtun, helling eða blöndun) dufts, sem inniheldur nanóefni, til þess að undirbúa vörur fyrir viðhaldsstarf kann að mynda nanóefna í lofti og leiða til húðútsetningar, innöndunar og inntöku á nanóefnum.

- **Notkun bundinna eða fastra nanóstrúktúra (fjölliðustofni):**
 - Vélvinna, söndun, borun eða annað starf, sem kann að skaða fjölliðustofnið, getur leitt til þess að nanóefni berast út í andrúmslofið, en það getur leitt til húðupptöku, innöndunar eða inntöku á nanóefnum. Nanóefnin, sem finna má í burðarefninu, sem unnið er við, losna ekki endilega sem frumagnir því þær geta bundist öðrum ögnum í loftúðanum sem myndast við ferlið; hins vegar er mögulegt að þetta bundna nanóefni losni frá loftúðaögnunum þegar þeim er andað inn og berist þannig í líkamann.
- **Viðhald á búnaði sem notaður er til framleiðslu eða vinnslu á nanóefnum eða vörum sem innihalda nanóefni:**
 - getur gefið frá sér nanóefni, stundum af slysförum, með áhættu á húðútsetningu, innöndun og inntöku.
- **Þrif á ryksöfnunarkerfum sem notuð eru til að fanga nanóefni:**
 - kann að koma starfsmönnum í snertingu við mjög samsöfnuð nanóefni á hlutum eða í lofti, sem getur leitt til húðútsetningar, innöndunar eða inntöku.
- **Þrif á nanóefnum sem hafa spillst:**
 - getur leitt til húðútsetningar, innöndunar og inntöku.
- **Flutningur og förgun á úrgangsefni sem inniheldur nanóefni:**
 - getur leitt til húðútsetningar, innöndunar og inntöku.

Auk þess getur dreifing á nanódufti í lofti aukið áhættuna á sprengingu eða eldsvoða.

Váhrifsáhrifin aukast ef starfið er framkvæmt í lokuðu rými, svo sem tönkum, án þess að gripið sé til fullnægjandi ráðstafana.

3. Forvarnir

Samkvæmt tilskipun ESB 89/391/EBE [5], skulu atvinnurekendur framkvæma regluleg áhættumöt á vinnustaðnum og gera fullnægjandi fyrirbyggjandi ráðstafanir. Þetta gildir einnig um hugsanlegar áhættur af nanóefnum á vinnustöðum. Auk þess inniheldur tilskipun 98/24/EB um kemísk efni á vinnustöðum [27] strangari ákvæði um stjórnun á áhættu af völdum efna á vinnustöðum, sem einnig gildir um nanóefni því þau falla undir skilgreininguna á „efnum“. Þess utan ef nanóefnið, eða örefni á sama formi, er krabbameinsvaldandi eða stökkbreytivaldandi, þarf að fylgja ákvæðum tilskipunar 2004/37/EB um krabbameins- og stökkbreytivalda á vinnustöðum [28]. Einnig kann að vera að innlend löggjöf kveði á um strangari skilyrði og þarf að kanna það sérstaklega.

Þar sem nanóefni teljast til efna, gilda REACH (skráning, mat og leyfisveiting kemískra efna) reglugerðin [29] og CLP (flokkun, merking og umbúðir efna og blandna) reglugerðin [30] að sama skapi.

3.1. Áskoranir við að koma í veg fyrir nanóefnaáhættur í viðhaldsstarfi

Það getur verið áskoranir að framkvæma áhættumat fyrir nanóefni á vinnustaðnum vegna núverandi takmarkana sem tengjast:

1. takmarkaðri þekkingu á hættueiginleikum nanóefna;
2. takmörkuðum aðferðum og búnaði í boði til þess að auðkenna nanóefni og uppruna þeirra ásamt því að mæla váhrifsmörk; og
3. skorti á upplýsingum um tilvist nanóefna, einkum í blöndum eða hlutum einnig líka neðar í notendakeðjunni þar sem nanóefni eða vörur, sem innihalda nanóefni, eru notuð eða meðhöndluð.

Öryggisupplýsingablöð, sem eru mikilvægt upplýsingatöl við að fyrirbyggja áhættur af völdum hættulegra efna á vinnustöðum, innihalda almennt litlar eða engar upplýsingar um tilvist nanóefna og einkenna þeirra, áhættur fyrir starfsmenn og forvarnir gegn þeim [31–34]. Þetta er einkum vandamál neðar í framboðs- eða samningskeðjunni. Til dæmis eru um 75% starfsmanna og atvinnurekenda í byggingariðnaði ekki meðvitaðir um tilvist nanóvara á vinnustöðum þeirra [35]. Fyrirtækjum er því

ráðlagt að hafa beint samband við birgja til þess að fá aukalegar upplýsingar. Fjöldi nytsamlegra gagnagrunna, sem auðkenna söluvörur, sem innihalda nanóefni, er einnig í boði [36–38]. Auk þess er gert ráð fyrir því að breytingar á REACH viðauka II [39], lagarammanum fyrir öryggisupplýsingablöð, ásamt leiðbeiningum frá Efnastofnun Evrópu (ECHA) um öryggisupplýsingablöð [40], sem veita frekari ráðgjöf um hvernig eigi að takast á við einkenni nanóefna, bæti gæði þeirra upplýsinga sem finna má á öryggisupplýsingablöðunum.

E-staðreyndablað nr. 72 (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) veitir upplýsingar um þær leiðbeiningar og tól, sem eru til staðar, og hjálpa til við að hafa stjórn á áhættunum af völdum nanóefna á núverandi sniði. Hins vegar kunna aðrar og sérstakar áskoranir að vera til staðar, hvað varðar stjórnun á áhættum af völdum nanóefna og verndun starfsmanna í tengslum við viðhaldsstarf.

Ráðning undirverktaka til þess að framkvæma viðhaldsstarf er mjög algeng. Verktakar framkvæma oft á tíðum vinnu sína við aðstæður, sem þeir þekkja ekki, og ef þeir hafa ekki verið upplýstir með fullnægjandi hætti, kunna þeir að komast í snertingu við nanóefni án þess að vita af því. Skortur á upplýsingum um nanóefni, sem kunna að vera til staðar í vélbúnaði (t.d. á framleiðslulínunum þar sem nanóefni eða vörur, sem innihalda nanóefni, eru notuð eða unnin), búnaði (t.d. útblásturskerfum) eða byggingum (t.d. yfirborð málað með málningu, sem inniheldur nanóefni) sem á að viðhalda, veldur því að erfitt er að leggja mat á og koma í veg fyrir áhættur með fullnægjandi hætti. Slíkar aðstæður stafa aðallega af illa skipulagðri starfsemi, slæmu vinnuskipulagi og slæmum samskiptum upp og niður samningskeðjuna.

Önnur áskorun tengist þeirri staðreynd að viðhald hefur oft í för með sér óeðlileg notkunarskilyrði og notkun búnaðar. Áhættustjórnunarráðstafanir eru stundum óvirkjaðar við viðhaldsvinnuna, til dæmis þegar lokað kerfi er opnað svo starfsmenn geti framkvæmt viðhald á vél sem framleiðir eða vinnur nanóefni, eða þegar tæknilega áhættustjórnunarbúnaðurinn sjálfur er í viðhaldi. Leiðbeiningar í boði til að koma í veg fyrir vinnuverndarhættur af völdum nanóefna fjalla venjulega um vinnuaðstæðurnar en snerting starfsmanna við þessar „óvenjulegu“ vinnuaðstæður við viðhaldsvinnuna gætu verið allt öðruvísi. Ef fullnægjandi eftirlitsráðstafanir eru ekki til staðar við viðhaldsvinnuna að þá setur það vitanlega viðhaldsstarfsmennina í hættu en einnig hugsanlega starfsmenn viðskiptavinarins.

Hugsanlegar vinnuverndaráhættur, sem tengjast nanóefnum, þarf að auðkenna, meta og koma á framfæri með fullnægjandi hætti áður en viðhaldsvinna (falin undirverktökum) er ráðgerð og framkvæmd [41]. Það er mikilvægt að viðhaldsstarfsmenn fái fullnægjandi upplýsingar um tilvist, einkenni og hugsanlegar áhættur og fullnægjandi fyrirbyggjandi ráðstafanir í tengslum við nanóefni, sem notuð eru, meðhöndluð eða unnin á vinnustaðnum þar sem þeir sjá um viðhald - einnig í tengslum við aðrar vinnustaðahættur. Einnig er fullnægjandi þjálfun og vinnuleiðbeiningar mjög mikilvægar.

3.2. Fyrirbyggjandi ráðstafanir

Val á fyrirbyggjandi ráðstöfunum ætti að byggja á áhættumati vinnustaðarins og ætti að fylgja stigveldi eftirlitsráðstafana þar sem útrýming og staðgengi er sett í forgang en þar á eftir tæknilegar ráðstafanir við upptökin, skipulagsráðstafanir og loks persónulegur hlífðarbúnaður sem síðasta úrræðið. Ef óvissa er til staðar um áhættu af völdum nanóefna ætti að sýna aðgát við val á fyrirbyggjandi ráðstöfunum til þess að koma í veg fyrir útsetningu.

3.2.1. Útrýming og staðgengd

Skoða ætti möguleikana til þess að útrýma og skipta út hættulegum nanóefnum hjá fyrirtækinu þar sem viðhaldið fer fram. Ef viðhald fer fram á vinnustöðum þar sem nanóefni myndast eða eru notuð vegna sérstakra nanóeiginleika sinna, eða ef viðhald er framkvæmt á núverandi mannvirkjum sem þegar innihalda nanóefni, getur verið að útrýming og staðgengt sé ekki kostur. Hins vegar ætti ávallt að hafa jafnvægið á milli óska um eiginleika og áhrif annars vegar og áhættu gegn heilbrigði hins vegar, og taka útrýmingu og staðgengd til alvarlegrar skoðunar. Í tilviki hættulegra nanóefna í vörum, sem notaðar eru til dæmis við þríf eða viðgerðir, ætti að leggja mat á kosti þess að nota hættuminni valkosti.

Í öllu falli, ætti að skipta öllum nanóefnum út, sem kunna að berast í andrúmsloft (svo sem duft), fyrir efni á uppleystu eða vökvaformi, kornefni, þykkvökva eða nanóefni bundin í föst efni, og forðast notkun dufts þar sem slíkt er hægt.

Einnig kann að vera hægt að draga úr hættulegri hegðun nanóefna með því að breyta því, til dæmis með því að húða það í því skyni að breyta dufthegðun þess, leysni og öðrum eiginleikum.

Sérstök upplýsingatól á Netinu, eins og Stoffenmanager [42] eða GISBAU [43], má nota til þess að finna staðgengilskosti.

3.2.2. Tæknilegar ráðstafanir

Innleiða ætti tæknilegar fyrirbyggjandi ráðstafanir við upptök nanóefnaútsetningarinnar. Skilvirkustu tæknilegu ráðstafanirnar við upptökin er einangrun með því að nota lokuð kerfi og mannvirki. Hentug skilvirk staðbundin útblásturskerfi með HEPA (e. high-efficiency particulate air) eða ULPA (e. ultra-low penetration air) síum sem einnig duga vel við að fanga nanóefni við upptök þeirra í þeim tilvikum sem einangrun er ekki fýsilegur kostur.

Hins vegar getur viðhaldsvinnan sjálf í sumum tilvikum falist í því að kanna og gera við þessar tæknilegu ráðstafanir og því er fyrirbyggjandi virkni þessara tæknilegu ráðstafana óvirk. Til dæmis þegar framleiðslukerfi nanóefna (venjulega lokað kerfi) er opnað vegna viðhalds og útblásturskerfið stöðvað af þeim sökum, að þá þarf viðhaldsstarfsmaðurinn að treysta á persónulegan hlífðarbúnað (sjá kafla 4.4).

Staðbundin (hreyfanleg) loftsgogskerfi kunna að vera sérstaklega nytsamleg til þess að verja starfsmenn gegn útsetningu við viðhald, til dæmis þegar málning er fjarlægð af yfirborði sem hefur í för með sér agnamyndun. Föngunarskilvirkni staðbundinna loftræstikerfa er ekki lægri í tilviki nanóefna í samanburði við grófari efni. Við notkun hreyfanlegra loftræstikerfa ætti öndunarsvæði starfsmannsins ekki að vera innan loftflæðisins á milli hugsanlegs útsetningarstaðs nanóefnanna og loftræstikerfisins.

Loftræstikerfi, sem notuð eru til þess að stjórna útsetningu á nanóefnum, þurfa að búa yfir margstíga síum þar sem HEPA (H14) eða ULPA síurnar eru lokasíurnar. Rannsókn á skilvirkni síuefnis fyrir nanóagnir og agnúða leiddi í ljós að í mörgum tilvikum eru hefðbundnar síur úr glertrefjum og rafsegulsíur skilvirkar fyrir nanóagnir og agnúða almennt.

Í lokuðum rýmum þarf að skipta sogloftinu út fyrir ferskt loft.

3.2.3. Skipulagsráðstafanir

Skipulagsráðstafanir leika mikilvægt hlutverk við forvarnir. Vegna mikillar fjölbreytni í staðsetningu viðhaldsins og verkefnum, er skipulag á ferlinu og aðrar skipulagsráðstafanir mjög mikilvægar. Þar á meðal:

- Skilgreining á ákveðnum svæðum við viðhaldsvinnunna þar sem útsetning nanóefna getur verið möguleg (annaðhvort frá viðhaldsvörum eða viðhaldsviðfanginu). Þessi svæði ætti að einangra eða aðskilja, til dæmis með veggjum, frá öðrum vinnusvæðum og merkja vel með viðeigandi merkjum.
- Lágmarka fjölda starfsmann í hugsanlegri áhættu og lengd snertingar við nanóefnin.
- Banna aðgang óheimilla starfsmanna að svæðinu þar sem viðhaldsstarf fer fram, til dæmis með því að setja upp merkingar eða girða af svæðið.
- Regluleg þrif (blautþrif) á vinnusvæði þar sem nanóefni eru notuð eða meðhöndluð.
- Eftirlit með loftstyrknum, til dæmis í samanburði við loftstyrk þegar engin meðhöndlun á nanóefnum fer fram.

Þar sem engin stöðluð nálgun er nú fyrir hendi fyrir notkun á öryggismerkjum eða merkingu á vinnustöðum eða ílátum með nanóefnum, er mælt með því að sýna fyrirbyggju með því að nota núverandi áhættu- og öryggissetningar úr reglugerð Evrópusambandsins um flokkun, merkingar og umbúðir efna og blandna (CLP) [30] og viðvörunarmerkja til þess að bjóða upp á fullnægjandi, viðeigandi og sérmiðaðar upplýsingar um viðvarandi eða hugsanlegar heilbrigðis- og öryggisáhættur af völdum notkunar og meðhöndlunar nanóefna.

Viðhaldsferlar ættu að fylgja þeim almennum meginreglum, sem gilda, án tillits til þess hvort nanóefni koma við sögu eða ekki:

- Skipulag viðhaldsvinnunnar ætti að byggja á áhættumati og starfsmenn ættu að koma að gerð þess. Ef viðhaldið fer fram á vinnustöðum þar sem nanóefni með óþekkt eituráhrif og hegðun eru meðhöndluð, skal tekið mið af því. Forgangsverkefni í áhættustýringu ætti ekki einungis að varða þekktar áhættur heldur einnig mat og stjórnun á nanóefnum á vinnustaðnum þar sem hættur og váhrifsupplýsingar eru ekki fyrir hendi, ófullnægjandi eða óvissar.

- Forðast ætti tímapressu með því að gera ráð fyrir fullnægjandi tíma til þess að framkvæma og standa að viðhaldsvinnunni.
- Þjóða þarf upp á fullnægjandi þjálfun til þess að tryggja að viðhaldsstarfsmenn hafi þá færni og þekkingu, sem þörf er á, til þess að framkvæma vinnu sína af öryggi og til þess að verja sig gegn váhrifum nanóefnaútsetningar.
- Viðhaldsleiðbeiningar og upplýsingar ættu ávallt að vera fyrir hendi fyrir alla viðhaldsstarfsmenn, einkum þegar starfsmenn eru einungis ráðningar til viðkomandi verkefni og/eða þekkja ekki hvaða kemisku áhættur almennt og af völdum nanóefna eru til staðar. Þessar upplýsingar ættu að vera skrásettar í leiðbeiningum vinnustaðarins.
- Varúðarnálgun við áhættuforvarnir gegn nanóefnum; grípa ætti til allra tiltækra ráðstafana í samræmi við forvarnastigveldið, til þess að draga úr útsetningu nanóefna.
- Eftir að viðhaldinu lýkur ætti að þrifa vinnustaðinn og skrásetja allt viðhaldsferlið.

Starfsmenn sem komast í snertingu við hættuleg nanóefni í viðhaldsvinnunni ætti að hafa með í heilsuefirlitinu á vinnustaðnum þar sem ítarleg skráning á váhrifsaðstæðunum fer fram.

3.2.4. Persónulegur hlífðarbúnaður

Persónulegan hlífðarbúnað ætti að nota sem síðasta úrræði þegar ekki er hægt að draga úr útsetningu með skilvirkum hætti með þeim ráðstöfunum sem nefndar eru að ofan. Ef talið er að persónulegur hlífðarbúnaður er talinn nauðsynlegur í áhættumatinu ætti að búa til áætlun um notkun hans. Góð áætlun um persónulegan hlífðarbúnað samanstendur af eftirfarandi þáttum: val á viðeigandi persónulegum hlífðarbúnaði, mátun, þjálfun og viðhald á persónulegum hlífðarbúnaði.

Ráðleggingar um persónulegan hlífðarbúnað gegn nanóefnum eru þær sömu eins og er fyrir fyrirbyggjandi útsetningu á ryki og agnúða eða, það fer eftir gerð viðkomandi útsetningar, húðútsetningu [44]. Talið er að slíkar varúðarráðstafanir séu jafnskilvirkar fyrir nanóefni.

Leggja þarf mat á vinnutíðni og líkamlegt atgeri notanda persónulega hlífðarbúnaðarins til þess að tryggja að búnaðurinn veiti fullnægjandi vernd og hægt sé að nota hann með réttum hætti. Prófanir á persónulega hlífðarbúnaðinum ættu að tryggja að notendur hans geti framkvæmt vinnu sína af öryggi með búnaðinn á sér og að hann geri þeim enn kleift að nota annan nauðsynlegan búnað (t.d. gleraugu) eða tól á sama tíma eins og þörf er á. Hafa ætti í huga að vernd persónulega hlífðarbúnaðarins kann að veikjast með notkun á mörgum persónulegum hlífðarbúnaði á sama tíma. Einnig geta aðrar hættur, aðrar en nanóefni, haft áhrif og dregið úr áhrifum persónulega hlífðarbúnaðarins. Því ætti að taka allar hættur á vinnustaðnum til skoðunar við val á persónulegum hlífðarbúnaði. Allur persónulegur hlífðarbúnaður ætti að búa yfir CE merkingum og notaður í samræmi við leiðbeiningar framleiðanda án breytinga.

Viðhaldsstarfsmenn kunna að þurfa að nota persónulegan hlífðarbúnað sem ef til vill er ekki nauðsynlegur við venjuleg störf á vinnustaðnum þar sem viðhaldið fer fram. Ef, til dæmis, framleiðslukerfi, sem blandar málningu, sem inniheldur nanóefni, er opnað, ætti starfsmaðurinn að klæðast öndunargrímu með loftveitubúnaði til þess að koma í veg fyrir innöndun á nanóefnum. Við venjuleg störf er kerfið lokað svo að ekki er þörf á neinum öndunarvarnbúnaði.

▪ Öndunarvarnir

Ef ekki er hægt að koma í veg fyrir váhrif nanóefna í lofti með þeim fyrirbyggjandi ráðstöfunum, sem áður hafa verið nefndar í köflum 4.1 til 4.3, að þá er ráðlagt að nota viðeigandi öndunarvarnir við slíkar váhrifsaðstæður. Þær geta verið hálf- eða heilgrímur með P3/FFP3 eða P2/FFP2 síum, agnasiunarbúnaði með loftblæstri og hjálmi (TH2P eða MH3P) eða agnasiunarbúnaður með loftblæstri og heil- eða hálfgrímum (TM2P og TM3P)⁽²⁾ [45].

HEPA síur, öndunarhyliki og grímur með trefjasíuefni eru talin áhrifarík gegn nanóefnum.

Val á öndunarvarnbúnaði byggir á:

- gerð, stærð og samsöfnun nanóefnisins í lofti;

⁽²⁾ Samkvæmt rannsóknnum er gegnflæði P2 sía 0,2% og P3-síu 0,011% fyrir nanóagnirnar kalíumklóríð. Prófanir með mismunandi stærðir af grafitögnum sýndu 8% hámarksgegnflæði. Þetta gefur til kynna hærri varnir P3 síu, en ekki er hægt að kveða almennt á niðurstöður fyrir allar nanóagnir (sjá [45]).

- viðeigandi verndarþætti fyrir öndunarvarnarbúnaðinn (sem samþættir síunarskilvirkni og hversu vel búnaðurinn fellur að andlitinu); og
- vinnuaðstæðurnar.

Síunarskilvirkni öndunargríma og sía er mikilvægur þáttur þegar mat er lagt á persónulegan hlífðarbúnað. Aðrir þættir, eins og lögum að andliti, tímalengt sem búnaðurinn er borinn og hvort persónulega hlífðarbúnaðinum er rétt við haldið, geta einnig haft áhrif á váhrifsforvarnirnar. Hvað varðar síandi hálfgrímur, hefur verið sýnt fram á að einangrun á milli andlits og grímu sé ráðandi áhættuþáttur [44]. Ávallt ætti að líta á váhrifsminnkun sem sambland af skilvirkni síunnar og notkunareiginleika öndunargrímunnar, en slíkt er sýnt með svokölluðum öndunargrímupáttum í nokkrum Evrópusambandslöndum.

Þar sem öndunargríman nær ekki yfir augu ætti einnig að nota augnvarnir (þéttpassandi öryggisglæraugu).

▪ Hlífðarfatnaður

Velja ætti óvafna vefnaðarvöru (loftþétt efni) mjög þétt pólýetýlen (lág rykfesting og ryklosun) fram yfir vafin efni. Mælt er með því að forðast notkun hlífðarfatnaðar úr bómullarefnum [44].

Ef fjölnota hlífðarföt eru notuð, svo sem stakkar, ætti að gera ráð fyrir reglulegum þvotti á þeim og koma í veg fyrir útsetningu af öðrum völdum (e. secondary). Gera þarf ráðstafanir til þess að fara megi í hreina stakkar og hlífðarfatnað og úr óhreinum með þeim hætti að slíkt mengi ekki einstaklingana eða vinnustaðinn almennt.

▪ Hanskar

Hanskar eru sérstaklega mikilvægir við viðhaldsvinnu þar sem starfsmenn eru oft í beinni snertingu við nanóefni, annaðhvort í vörunum sem þeir nota eða þeim hlutum og efni sem er í viðhaldi. Almennt gildir um kemísk efni að skilvirkni hlífðarefnisins tengist sérstaklega einkennum nanóefnisins. Hafa ætti í huga ráðleggingar birgjans varðandi nanóefnið, t.d. á öryggisupplýsingablaðinu. Nítríl, latex og gervigúmmí hafa reynst vel fyrir títantvíoxíð- og plátínúmagfir [44]. Þykkt hanskaefnisins er ráðandi þáttur þegar kemur að því að ákvarða flæðihlutfall nanóefnisins. Af þeim sökum er mælt með því að nota tvö pör af hönskum á sama tíma [46].

Hins vegar gildir þetta ekki um árangur hanska við meðhöndlun vökva eða örsvifa. Skilvirkni hanska fyrir ákveðið nanóefni á formi sem finnst á vinnustaðnum (ryk, vökvar, o.s.frv.) ætti að kanna sérstaklega hjá birgja hanskana.

3.3. Fyrirbygging sprenginga og/eða eldsvoða

Vegna smárrar stærðar sinnar kunna nanóefni á duftformi að valda sprengihættu þegar samsvarandi grófara efni gerði slíkt ekki ⁽³⁾ [47]. Því ætti að sýna aðgát við meðhöndlun eða myndun nanódufts, þar á meðal við mölun, söndun eða fægingu efna sem innihalda nanóefni.

Fyrirbyggjandi ráðstafanir fyrir nanóefni á duftformi eru í megindráttum þær sömu og fyrir annað sprengifimt og eldfimt gróft efni og sprengifim rykský, en fylgja ætti ákvæðum tilskipunar 99/92/EB um lágmarkskröfur til að bæta öryggis- og heilsuvernd starfsmanna sem hugsanlega eru í áhættu af völdum sprengifims andrúmslofts. Þær eru meðal annars:

- Meðhöndlun ætti, þar sem slíkt er hægt, að takmarkast við sérstök sprengisvæði, og framkvæmd í óvirku andrúmslofti.
- Efni skal leyst með því að bleyta vinnustaðinn (fyrirbygging ryks).
- Lágneistabúnað og aðra íkveikjustaði eða aðstæður sem auðvelda rafstöðuhleðslu ætti að fjarlægja af vinnusvæðinu; hans í stað ætti að nota, þar sem slíkt er hægt, búnað sem í eðli sínu er öruggur (merkja- og stýrirafrásir á lágstraum og spennu).
- Fjarlægja ætti ryklög með blautþvotti.

⁽³⁾ Sprengifimi flests lífræns og margs málmdufts eykst eftir því sem agnirnar minnka. 500 µm virðast vera efri mörk agnastærðarinnar fyrir sprengifimt rykský. Eins og er hafa engin stærðarmörk verið sett þar sem útiloka má sprengingu fyrir neðan viðkomandi mörk (sjá [47]).

- Lágmarka ætti geymslu á sprengifimu eða eldfimu efni á vinnustaðnum. Hægt er að nota poka sem vinna á stöðurafmagni.

3.4. Könnun á skilvirkni forvarnanna

Endurskoða ætti áhættumatið reglulega og val og framkvæmd áhættustjórnunarráðstafanna með hliðsjón af skilvirkni þeirra. Það þýðir að tryggja viðeigandi virkni alls hlífðarbúnaðar, svo sem hreina bekki og lágstreymisbása, og reglulegar skoðanir á öllum loftræstibúnaði og síukerfum þeirra. Auk þess ætti að skoða hversu vel persónulegi hlífðarbúnaðurinn hentar og uppfæra hann ef þörf krefur.

Þess utan má leggja mat á skilvirkni ráðstafananna til þess að draga úr áhættunum með því að skoða samsöfnun nanóefna í lofti fyrir og eftir þær. Váhrifsmörkin, mæld þegar áhættustjórnunarbúnaðurinn er í notkun, ættu ekki að vera mjög frábrugðin þeirri samsöfnun þegar engin uppspretta nanóefna er til staðar. Einnig má beita öðrum óbeinum mælingum á skilvirkni tæknilegra ráðstafana, svo sem reykrófum og/eða mælingar á hraðastjórnun.

Vinnuverndaráhrifsmörk (e. Occupational Exposure limit values, OEL) fyrir nanóefni ⁽⁴⁾ [48] kunna að verða búin til í framtíðinni, hins vegar ætti lágmarkun váhrifa að vera aðalmarkmið áhættustjórnunar vinnustaða en af þeim sökum eru vinnuverndaráhrifsmörkin ófullnægjandi.

Heimildir

1. Tilmæli framkvæmdastjórnarinnar frá 18. október 2011 um skilgreiningu á nanóefnum, Stjórnartíðindi Evrópu L 275, bls. 38–40. Tiltækt á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>
2. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Approaches to Safe Nanotechnology - Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, rit nr. 2009–125, 2009.
3. Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins (EB), *vinnuskjal starfsmanna framkvæmdastjórnarinnar: Gerðir og notkun nanóefna, þar á meðal öryggishliðar. Fylgirit með orðsendingu framkvæmdastjórnarinnar til Evrópuþingsins, ráðsins og efnahags- og félagsmálanefndar Evrópu um aðra regluendurskoðun á nanóefnum*, SWD(2012) 288 lokaskjal, Brussel, 2012, Tiltækt á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
4. Vinnuverndarstofnun Evrópu (EU-OSHA), *Nanóefni á vinnustöðum*, Evrópska áhættuathugunarstöðin, umfjöllun um útgefið efni, 2009. Tiltækt á: http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles
5. Tilskipun ráðsins 89/391/EBE frá 12. júní 1989 um lögleiðingu ráðstafana er stuðla að bættu öryggi og heilsu starfsmanna á vinnustöðum, *Stjórnartíðindi Evrópu L 183, 29.6.1989*. Tiltækt á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:EN:NOT>
6. Senjen, R., “Nanomaterials - Health and Environmental Concerns”, *Nanotechnologies in the 21st century*, Umhverfisstofnun Evrópu, 2. tbl., júlí 2009. Tiltækt á: <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>
7. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Tiltækt á: http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php (sótt 19. október 2012).
8. ENRHES verkefnið, *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Tiltækt á: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report> (sótt 29. apríl 2013).
9. Vísindanefndin um aðsteðjandi og nýgreindar áhættur gegn heilsufari (e. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR), *ósk um vísindalegt álit á nanósilfri: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Tiltækt á: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf

⁽⁴⁾ Sjá, til dæmis, Félags- og efnahagsráð Hollands (SER) [48], nanógildi til bráðabirgða fyrir tilbúin nanóefni, 2012, og Nanowerk [42] heildarleiðbeiningar fyrir bresku BSI staðla SAFENANO teymisins fyrir örugga meðhöndlun nanóefna, 2012.

10. Bundesministerium für Gesundheit (BMG, austurríska heilbrigðisráðuneytið), *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikel und Lebensmittelkontaktmaterialien - Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte (Nanósilfur í snyrtivörum, hreinlætisvörum og fæðusnertingarefni – vörur heilsutengd og löggjafartengd efni)*, Víðarborg, 2010. Tiltækt á: http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf
11. Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins (EB), *vinnuskjal starfsmanna framkvæmdastjórnarinnar*: Gerðir og notkun nanóefna, þar á meðal öryggishliðar, fylgirit með orðsendingu framkvæmdastjórnarinnar til Evrópuþingsins, ráðsins og efnahags- og félagsmálanefndar Evrópu um aðra regluendurskoðun á nanóefnum, SWD(2012) 288 lokaskjal, Brussel, 3. október 2012, Tiltækt á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
12. Luoma, S.N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*, the Pew Charitable Trust and the Woodrow Wilson alþjóðastofnunin fyrir fræðimenn, 2008. Tiltækt á: http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf
13. Haase, A., Rott, S., Manton, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., 'Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses', *Toxicology Science*, 2012, 126(2): bls. 457–468.
14. Alþjóðaheilbrigðismálastofnunin (WHO), kolefnissverta, títantvíoxíð og talkúm, IARC rit um mat á krabbameinsáhættu fyrir mannfólk, 93. tölublað, 2010. Tiltækt á: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>.
15. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 'Occupational exposure to titanium dioxide', *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Tiltækt á: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>.
16. Napierska, D., Thomassen, L.C.J., Lison, D., Martens, J.A., Hoet, P.H., 'The nanosilica hazard: another variable entity', *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7: bls. 39.
17. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, Report of Allianz Center for Technology & OECD, án dagsetningar. Tiltækt á: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
18. Murashov, V., 'Occupational exposure to nanomedical applications', *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1: bls. 203–213.
19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L.A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, Umhverfisverndarstofnun Bandaríkjanna, skýrsla númer. 12-P-0162, 2011. Tiltæk á: <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>
20. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., 'Penetration of quantum dot particles through human skin', *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5): bls. 586–595.
21. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Department Of Health And Human Services, rit númer 2012–147, 2012.
22. Elvin, G., *Nanotechnology for Green Building*, Green Technology Forum, 2007. Tiltækt á: http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf
23. Responsible Nano Forum, *Nano Products - Where and How Nanotechnologies are Used Now*, undated. Tiltækt á: <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (sótt 19. október 2012).
24. Ábyrgðarskrifstofa Bandaríkjastjórnar fyrir nanótækni (e. United States Government Accountability Office Nanotechnology GAO), *Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research* (2012). Tiltækt á: <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (sótt 19. október 2012).
25. Observatory NANO, *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry*, 2010. Tiltækt á: http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf (sótt 19. október 2012).
26. Sung, J.H., Ji, J.H., Park, J.D., Song, M.Y., Song, K.S., Ryu, H.R., Yoon, J.U., Jeon, K.S., Jeong, J., Han, B.S., Chung, Y.H., Chang, H.K., Lee, J.H., Kim, D.W., Kelman, B.J., Yu, I.J., 'Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles', *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8: bls. 16.

27. Tilskipun ráðsins 98/24/EB frá 7. apríl 1998 um verndun heilbrigðis og öryggis starfsmanna gegn áhættum er tengjast kemískum efnum á vinnustöðum (fjórtaða sjálfstæða tilskipunin innan þýðingar 16. greinar (1) í tilskipun 89/391/EBE), Stjórnartíðindi Evrópu L 131, 5. maí 1998. Tiltæk á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:EN:PDF>
28. Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2004/37/EB um vernd starfsmanna gegn áhættum tengdum váhrifum krabbameinsvalda eða stökkbreytivalda á vinnustöðum (sjötta sjálfstæða tilskipunin innan þýðingar 16. grein (1) tilskipunar 89/391/EBE), Stjórnartíðindi Evrópu L 158, 30. apríl 2004. Tiltæk á: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):EN:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):EN:NOT)
29. Reglugerð Evrópuþingsins og ráðsins (EB) nr. 1907/2006 frá 18. desember 2006 varðandi skráningu, mat, leyfisveitingu og takmarkanir á kemískum efnum (REACH), stofnun Efnastofnunar Evrópu, breytingu á tilskipun 1999/45/EB og afnám reglugerðar ráðsins (EBE) nr. 793/93 og reglugerðar framkvæmdastjórnarinnar (EB) nr. 1488/94 ásamt tilskipun ráðsins 76/769/EBE og tilskipunar framkvæmdastjórnarinnar 91/155/EBE, 93/67/EBE, 93/105/EB og 2000/21/EB, Stjórnartíðindi Evrópu L 396, 30. desember 2006. Tiltæk á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:en:NOT>
30. Reglugerð Evrópuþingsins og ráðsins (EB) nr. 1272/2008 um flokkun, merkingar og umbúðir efna og blandna (CLP reglugerðin), Stjórnartíðindi Evrópu L 353, 31. desember 2008. Tiltæk á: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>
31. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K.A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., 'Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles', *TemaNord* 2007: 581, Norræna ráðherraráðið, Kaupmannahöfn, 2007. Tiltækt á: http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile
32. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, kynnt og dreift á Nano4All, 15. október 2008.
33. Austrian Central Labour Inspectorate (ACLI), *Use of Nano at the Workplace*, 2009. Tiltækt á: http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf
34. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, 2010. Tiltækt á: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
35. van Broekhuizen, F.A., van Broekhuizen, J.C., *Nanotechnology in the European Construction Industry— State of the art 2009 - yfirlit*, Evrópusamband byggingar- og trésmíðaverkamanna (EFBWW), Evrópusamband byggingariðnaðarins (FIEC), Amsterdam, 2009. Tiltækt á: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20GB%20Summary.pdf>
36. Evrópsku neytendasamtökin (ANEC/BEUC), *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market*, 2012. Tiltækt á: <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (sótt 19. október 2012).
37. National Library of Medicine, Consumer Product Information Database, *The Household Products Database*, 2011. Tiltækt á: <http://hpd.nlm.nih.gov/about.htm> (sótt 19. október 2012).
38. Framkvæmdastjórn Evrópusambandsins (EB), vinnuskjal starfsmanna framkvæmdastjórnarinnar - Gerðir og notkun nanóefna, þar á meðal öryggishliðar, fylgirit með orðsendingu framkvæmdastjórnarinnar til Evrópuþingsins, ráðsins og efnahags- og félagsmálanefndar Evrópu um aðra regluendurskoðun á nanóefnum, SWD(2012) 288 lokaskjal. Tiltæk á: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
39. Reglugerð framkvæmdastjórnarinnar (ESB) nr. 453/2010 frá 20. maí 2010 til breytingar á reglugerð Evrópuþingsins og ráðsins (EB) nr. 1907/2006 um skráningu, mat, leyfisveitingu og takmörkun á kemískum efnum (REACH), Stjórnartíðindi Evrópu L 133, 31. maí 2010.
40. Efnastofnun Evrópu (ECHA), leiðbeiningar um reglufylgni öryggisupplýsingablaða, desember 2011. Tiltæk á: http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_en.pdf
41. Nunes, I.L., 'The nexus between OSH and subcontracting', *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 2012, 41, supplement 1: bls. 3062–3068.

42. Hollenska félags- og atvinnumálaráðuneytið, *Stoffenmanager 4.5*, án dagsetningar. Tiltækt á: <https://www.stoffenmanager.nl/> (Hollenska, enska og finnska) (sótt 3. desember 2012).
43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU - GISBAU* [Upplýsingakerfi um hættuleg efni á vegum BG-BAU]. Tiltækt á: <http://www.gisbau.de/index.html> (sótt 3. desember 2012) Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols? (is. Er hefðbundinn varnarbúnaður, svo sem trefjasíur, öndunargrímur, hlífðarfátnaður og hanskar einnig áhrifaríkur gegn nanóagnúða?)*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Tiltækt á: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf
45. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 'Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche - Ein Betriebsleitfaden (Örugg notkun nanóefna í málningargeiranum - leiðbeiningar)', *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Tiltækt á: www.hessen-nanotech.de
46. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810–6, Nanosafe2, 2008. Tiltækt á: http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf
47. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Sprengivörn: þörf á aðgerðum vegna nanóryks)*, án dagsetningar. Tiltækt á: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (sótt 3. desember 2012).
48. Institute of Technology (OAWITA), *Assessment of the Austrian Academy of Science*, 2010. Tiltækt á: <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (sótt 10. júní 2011).

Ítarefni

- Vinnuverndarstofnun Evrópu (EU-OSHA), Gagnabanki á Netinu með raundæmum, 2012. Tiltækur á: http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical_solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search (sótt 23. júlí 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), Nanomaterialien - Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz (Nanóefni, áskorun fyrir vinnuvernd), Hauptvorstand, 2011. Tiltækt á: <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>
- Vinnuverndarstofnun Evrópu (EU-OSHA), Öruggt viðhald í framkvæmd, 2010. Tiltækt á: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Vinnuverndarstofnun Evrópu (EU-OSHA), tímarit 12 - Vinnuvernd er allra hagur. Evrópuherferð um öruggt viðhald, 2011. Tiltæk á: <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>
- Vinnuverndarstofnun Evrópu (EU-OSHA), Öruggt viðhald fyrir atvinnurekendur, öruggir starfsmenn, sparaðu pening, staðreyndir 89, 2011. Tiltækar á: <https://osha.europa.eu/en/publications/factsheets/89>
- Health and Safety Executive (HSE), Risk Management of Carbon Nanotubes, Crown, 2009. Tiltækt á: www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf (sótt).